

öNSöz

Elektrik Mühendisliği Dergisi arşivinden bu sayıda uydu haberleşmesi ile ilgili Nisan-Mayıs/1978 yılında yayınladığımız bir yazıyı yayınlayacağız.

Yazıdan önce uydu haberleşmesindeki durumumuzla ilgili bir kısa hatırlatma gerekli olacaktır.

Halen ülkemiz TürKSAT-1B ve TürKSAT-1C ile uydu üzerinden haberleşmektedir. TürKSAT-1B uydusu 10 Ekim 1994 tarihinde serv verilmiştir. Bu uydu TV kanalları, TES (Telephony Earth Station) projesi ve küçük çaplı IBS sistemleri için hizmet vermektedir. Ayrıca adet güneydoğu IBS/IDR telefon kanalı da uydu üzerinden hizmet vermektedir.

26 Eylül 1996'da servise verilen TürKSAT-1C üzerinden de TV kanalları, 30'a yakın radyo kanalı, Orta Asya IBS telefon kanalları, VS. data haberleşme şebekesi bulunmaktadır.

Ayrıca UYDU YER İSTASYONLARI INTELSAT ve EVTESAT uyduları üzerinden telefon, data, internet ve TV kanalları işletilmektedir

Uyduların %80'ini veri haberleşmesi için kullanılmakta ve 3000 kanal kapasiteli telefon trafiği taşımaktadır.

TürKSAT projesinin geleceğinin garanti altına alınması ve yeni nesil uyduların imal edilerek fırlatılması için 1996 yılı içinde Fransız Aerospatiale Firması ile Türk Telekom arasında bir Joint Venture şirketi kurulmuştur. %51 hissesi Türk Telekom'a ait olan firmanın hisseleri el değiştirmeler sonucu yeniden düzenlenecektir ve yeni düzenlemede Türk Telekom hissesi %75 olacaktır. Diğer %25 hisse ise Alcatel Spacecom'a ait olacaktır. Bu proje kapsamında iki kere uydu fırlatılması denenmiş fakat başarısız olmuştur.

İletişim alanındaki gelişmeler gözönüne alındığında uydu haberleşme sisteminde programlı bir aciliyet gerektiği açıktır.

Elektrik Mühendisleri Odası meslek ve ülke sorunlarından hareketle yürüttüğü çalışmalarda güncel problemlerin dışında stratejik olarak çalışmalar yapmıştır. Bir örnek olarak bu sayıya aldığımız yazıda henüz 1978 yılında uydu haberleşmesinin önemine ve programlı bir faaliyete dikkatimiz çekilmekte ve ayrıntılı bilgilendirme yapılmaktadır.

1965 yılı, Avrupa ile Amerika arasındaki iletişimin ilk kez bir uydu aracılığı ile sağlandığı yıl olmuştur. Bunu izleyen yıllarda uydu iletişim alanında yapılan yoğun çalışmalar sonucu iletişimin her türünde uydu kullanılmaya başlanmıştır. Bugün uydular yalnızca okyanus aşırı iletişimde değil, ulusal ve bölgesel iletişimde de diğer iletişim biçimlerinin yerini almaktadır. Uydu iletişiminin bu denli önem kazanması kanununun bazı yönlerinin alabildiğine incelenmesi gereksinimi için Odamız daha 1978 yılında iki sayısını "Uydular Arası İletişim" konu ayırmıştı.

Nisan 1978 tarihli ve 256 sayılı Dergimizde Oğuz KIRIMKAN (PTT) "Uydular Aracılığı İle İletişim" başlıklı yazısında konunun teknik yönlerini ayrıntılı bir biçimde tanıtmaktadır.

Mayıs 1978 tarihli ve 257 sayılı Dergimizde ise yine Oğuz KIRIMKAN'a ait "Doğrudan Yayın Uydularında Kullanılabilecek 2.6 GHZ Bı İle 126 Hz Bandının Karşılaştırılması" yazısı ile Haşmet ESEN (TRT) tarafından yazılan "Uydulardan Doğrudan Yayın ve Yayın Uydu Uygulamaları" yazıları yayınlanmıştır.

Bu yazılardan seçtiğimiz Haşmet ESEN'e ait "Uydulardan Doğrudan Yayın" başlıklı yazıyı ilginize sunuyoruz.

EMO Yayın Kurulu

özET

Yapay uyduların en önemli kullanım alanlarından biri de kitle iletişimidir. Günümüzde uyduların yayın amacıyla kullanıldığı bir çok örnek

bulunmaktadır. Ancak bu örneklerde genellikle bir program bir yer istasyonu aracılığıyla uyduya gönderilmekte, uydu bu programı diğer yer istasyonlarına iletmekte, yer istasyonları ise aldıkları bu programı TV verici istasyonlarına yer dizgeleri (radyo link) gibi kullanarak ulaştırmaktadır. Bu yazıda ise program aktarmada yeni bir yöntem olan, son yıllarda üzerinde yoğun çalışmalar yapılan ve uydudan doğrudan TV alıcılarına yayını kapsayan doğrudan yayın uydularının ne olduğu, bu amaçla kullanılacak yörünge ve uydunun yapısı ile doğrudan yayın için kullanılması planlanan 12 Ghz bandının yayılım özellikleri inceleniyor. Daha sonra ise ülkemizin de içinde bulunduğu doğrudan yayın dizgesinin planlanmasına ilişkin çalışmalar hakkında ayrıntılı bilgi veriliyor.

1. GİRİŞ

Yapay uydu teknolojisine girilen ilk günlerden beri olabilir kullanım amaçlarından biri olarak izleyici tarafından doğrudan doğruya alınabilecek TV veya radyo yayınları düşünülmüştür. Başlangıçta uzak bir olasılık gibi görünen bu uygulama günümüzde ulaşılan teknolojik düzey ile gerçekleştirilebilirlik boyutlarına ulaşmıştır. Burada uydu yayın teknolojisi üzerinde genel bilgi, özellikle son beş yılda yapılan çalışmalar, konunun ekonomik sosyal ve kültürel yönleri ile ülkemiz için irdelenmesi verilmeye çalışılmıştır.

Radyo ve TV yayınlarını bireylere ve kitlelere ulaştıran bildiğimiz verici istasyonlarının yerini alacak gökte asılı, yere göre sabit bir yapay uydu kullanımının öneren çevreler ilk gerekçe olarak yayıncılığın teknik yönden içinde bulunduğu sıkışık durumu öne sürmektedirler. Bu nedenle sözü edilen duruma bir göz atmak yararlı olacaktır.

1.1. Yayıncılıkta Bugünkü Durum

Bir antenden boşluğa yayılan elektromagnetik dalgaların dileyen ve uygun alıcıya sahip herhangi bir kimse tarafından alınabilmesi kitle iletişim dizgesinin özel bir bölümü olan “yayıncılığı” tanımlamaktadır. Böylece yayıncılık ve yayın kavramı diğer parametrelerden soyutlanmış yalnızca şu özellikleri olan uziletişim türünü içermektedir.

- Ortak ilgi ve yönleri olan kitlelere tümünden seslenme,
- Bireysel olarak veya küçük gruplar halinde dileğe bağlı alışı,
- Elektromagnetik dalga kullanımı.

Böylece “yayın” sözcüğü ile pratik olarak radyo ve televizyon yayınları kastedilmekte, basılı yayınlar, akustik yayın dizgeleri vb. bu kavramın dışında tutulmaktadır.

Bundan 60 yıl öncesi 1917'lerde deneysel olarak radyo yayınlarının başlaması ile dünyada yayıncılık dönemine girilmiştir. Ülke yöneticileri, kendi halkları ile ilgilendiği sınır ötesi halklara bu kadar kolay ve çabuk ulaşım sağlayan radyo yayıncılığını vazgeçilmez bir güç olarak alabildiğine benimsemiş ve tüm yeryüzünde bir patlama şeklinde yayılmıştır. Ortamın etkinliği özellikle peşpeşe gelen iki dünya savaşında kanıtlanmıştır. Radyonun gerçekleşmesi artık düş kurma yerine teknik olanakların zorlanarak televizyonun ortaya çıkarılabileceğini göstermiştir. Bu zorlamanın Avrupa'da 1936, Amerika'da ise 1940'larda sonuçlarını verdiğini ve TV'nin ortaya çıktığını görmekteyiz.

Yayıncılıkta kullanılan elektromagnetik dalgalar için bir disiplin zorunluluğu belirince tüm kullanılabilir dalga sıklığı kuşağında belirli bantlar bu amaca ayrılmıştır. Gerçek disiplin için bu da yeterli olmamış ülkelerarası konferanslarla zaman zaman bu bantlar içinde yayın kanalı paylaşımı planlaması yapılmıştır. Gelişmenin başdöndürücü hızı ve ülkelerin bu ortamı kullanma hırsları o kadar büyük olmuştur ki örneğin, orta dalga bandında düşünülen onlarca katı istek yapılmıştır. 1974 ve 1975'te iki ayrı oturumda bir araya gelen Amerika kıtası dışında yaşayan tüm ülkeler, iyi niyetli planlama çalışmalarından genel olarak gülünç denebilecek derecede kötü sonuçlarla dönmüşlerdir. Aynı yayın kanalının bir çok ülke tarafından hem de gerekenden fazla güçlü vericilerle tekrar tekrar kullanımı sonucu, örneğin 1200 kW gücünde bir vericinin gene rahat dinletim alanı yarıçapının 27 km'ye kadar düştüğü belirtilirse, durumun bu bantta gerçekten ne ölçüde sıkışık olduğu ortaya çıkar.

TV'de durum bu kadar sıkışık olmamakla birlikte yinede de çok büyük istek olduğu ortadadır. 1961'de yapılan Stokholm Planı çYS (çok Yüksek Sıklık) ve AYS (Aşırı Yüksek Sıklık) bantlarında Avrupa Yayın Bölgesinde toplam yaklaşık 5600 verici için sıklık ayırımı yaptığı halde 1974 sonuna kadar EBU (Avrupa Yayın Birliği) üyesi ülkeler 12500 civarında verici ve aktarıcıyı hizmete sokmuşlardır. Durum böyle iken yine de planda öngörüldüğü şekilde her ülkenin 4 program kapsamı yapabildiği söylenemez. Özellikle Avrupanın gelişmiş ülkelerinin fazla program kanalı veya komşu ülkelerinin yayınlarını izleme isteklerini yeryüzü üzeri yayın dizgeleri ile karşılayabilmek son derece güç, belki de olanaksız hale gelmiştir.

1.2. Uydulardan Yayının Çekiciliği

Yukarıda kısaca değinildiği gibi gelişmiş ülkelerde doğrudan yayın uyduları daha fazla sayıda yayın izleme olanağı yaratacağı gerekçesi ile çekici gösterilmek istenmektedir. Şimdilik uyduları çekici, bazan zorunlu gösterme çabalarının altındaki ekonomik ve politik nedenlerin incelenmesini biraz ileriye bırakarak yukarıdakilerin dışında dayandırılmak istenen diğer nedenleri ele alalım.

Yeryüzünde henüz TV yayıncılığına başlamamış veya başlamış olsa bile geliştirememiş bir çok ülke vardır. Bunlar arasında yüzeysel link dizgeleri kurulamayacak kadar uzak ve çok sayıda adalardan kurulu devletler, nüfusunun bir kısmı ana kütleden kopuk çöl veya orman içinde küçük dağlık gruplar halinde yaşayan ülkeler, yüzölçümü çok büyük olduğu için TV şebekesini yeniden kurmakta aynı derecede büyük ilk yatırım gerektiren ülkeler bulunmaktadır. Bunların tümü gelişmekte olan ülkelerdir. Hemen hepsinde halk en ilkel eğitim ve iletişim

aracından yoksundur. Bu ülkelerde TV'nin uygulamaya konması öncelikle kitle eğitimi açısından önem kazanmaktadır. Yine bu ülkelerin büyük çoğunluğunda çeşitli etnik gruplar yaşamakta ve birden fazla sayıda dil konuşulmaktadır. Yerel dizgeler kurulsa bile ülkeyi bir program kanalıyla kapsama yeterli olamayacaktır.

Bunlar uydu kullanımını zorunlu gösteren örneklerdir. Uydu yayın dizgelerinde düşünülen bazı üstünlükler bu zorunluluğu duymayan en az bir o kadar ülkeyi de bu uygulamaya doğru çekmektedir. Dizgenin bu ülkeler için çekici gelen bazı özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- *ülke büyük ve dağınıksa bir program için %100'e yakın kapsama çok aşırı sayıda verici ve aktarıcıyı gerektirmekte, buna karşılık uydu yöntemi ile bir tek uydu ve çok az sayıda aktarıcı ile ve üstelik en az 4 kez kapsama kolaylıkla sağlanabilmektedir.*
- *Yeryüzündeki vericilere program aktarmak için ayrı bir link dizgesi gereklidir. Uydu yönteminde bu tek bir linkle sağlanmaktadır.*
- *Dilenirse 1 TV kanalı yerine 16 SB (Sıklık Bindirimli) ses yayını veya 8 stereo ses yayını veya 4 TV yayınının her biri için 4 değişik dilde ses kanalı ile birlikte gönderme veya bir başka düzenleme yapma olanağı vardır.*
- *Bazı ülkeler özel uziletişim uydularını yörüngeye oturtmak durumundadırlar. Aynı uyduya gerekli donatımın eklenmesi ile TV yayını sorununun da çözümlenebileceği düşünülmektedir.*
- *Uydunun davranışını izleyip güdümlenecek ve ona program gönderecek dizge yeristasyonu dışında hiçbir işletme ve bakım yükü gerektirmemektedir.*

Bu özellik ve üstünlüklerin yanı sıra bazı ülkelerce değişik ve ilginç yaklaşımlar da gözlenmektedir. özellikle petrol zengini bazı ülkelerin bir zenginlik göstereşi uğruna yakın gelecekte özel TV uydularına sahip olacaklarını gösteren belirtiler vardır.

2. DOĞRUDAN YAYIN UYDULARI NEDİR?

Bu noktada belki biraz geriye gidip doğrudan yayın uyduları nedir ve ne değildir sorularını açmakta yarar vardır. Mikrofon ve kamera uçlarından başlayıp bireyin evindeki hoparlör ve ekranda ses ve görüntü olarak sonuçlanan yayın zincirinden geçirilen ve program adı verilen bilgi bu zincir içerisinde çeşitli şekil ve ortam değişikliklerine uğramaktadır. Ses ve görüntünün magnetik şerit, film, plak vb. ortamlara giriş çıkış ayrıntılarını genel olarak program adı verilen bu zincir içerisinde çeşitli şekil ve ortam değişikliklerine uğramaktadır. Ses ve görüntünün magnetik şerit, film, plak vb. ortamlara giriş çıkış ayrıntılarını genel olarak program üretim aşaması içine alırsak basitleştirilmiş yayın zincirimizi şekil 1'deki gibi düşünebiliriz.

Bir doğrudan yayın uydusu bu zincirde A ve B uçları arasında yer alan vericinin yerini tutmaktadır. Programın stüdyo çıkışına gelinceye kadar geçirdiği aşamada uydular kullanılmış olabilir. Ancak bu uydular bir TV yayını iletmis olsalar bile doğrudan yayın uydusu tanımının dışındadırlar. Kurovision yoluyla örneğin Amerika ve Uzak Doğudan Intelsat uyduları aracılığıyla alınmış görüntüler zincirin C noktasında girdi yapmaktadır. Dizgenin seslendiği birey, TV programını ileten bu Intelsat uydusundan görüntü almak olanağından yoksundur. Tanımdaki ön koşul bireyin veya kitlelerin doğrudan alışı yapabilmesi olduğundan örneğimizdeki uydu bir yayın uydusu değildir.

Bir yayın uydusundan gelen program imleri, bireylerin özel alışı yapmalarını olanaksız kılacak yahut çok pahalı düzenekler gerektirecek düzeyde düşük olabilir. Bu durumda alıcı merkezleri kurup programı bireylere kablo veya küçük vericilerle aktarmak söz konusu olmaktadır. Toplu alışı dediğimiz bu dizgedeki uydu da yine bir doğrudan yayın uydusu olarak nitelendirilmektedir.

2.1. Uydu Yörüngesi

Kepler yasasına bağlı olarak yer küresi çevresinde dönen bir cisim onun uydusu olur. Bu uydunun çizebileceği yörünge sayısı sonsuzdur. Genel olarak bozucu ek etkenlerin bulunmadığı sürece uzaydaki tüm yörüngeler çember, elips, hiperbol, parabol gibi bir konik kesitine uyarlar. Yörünge kapalı ise yörünge çember veya elips olur. Burada uydunun çevresinde dolaştığı ana kütle koniğin odak noktalarından birindedir (Daire her iki odağın üstüste geldiği özel bir elipstir).

Uyduların yer alabileceği sonsuz sayıdaki yörüngeden ancak bir tanesi, yeryüzündeki herhangi bir noktaya göre, üzerindeki uydu konumunu sürekli olarak sabit kaldığı için, çok büyük önem taşımaktadır. Bu yörünge ekvator düzlemi üzerinde, çembersel ve üzerindeki uydu hızının yeryüzünün kendi eksenini çevresindeki dönme hızına eşit olduğu özel ve tek bir yörüngedir. İngilizcede "geostationary" veya "geosynchronous" diye adlandırılan bu yörüngeye biz "yerle eşzamanlı yörünge" diyeceğiz.

Gerçek yerle eşzamanlı yörünge'nin temel Newton mekaniği yasalarına göre hesaplanan özellikleri çizelge 1'de verilmiştir.

Uydu fırlatıldığında amaçlanan yörüngeye oturtmak tam olarak sağlanamayabilir. Yörünge yarıçapı çizelgede verilenden farklı olursa uydu doğu-batı yönünde sürekli olarak kayar. örneğin yarıçapta 8 km'lik bir yanılğı uydunun her on günde 1° kaymasına neden olur. Tam çembersel yörünge sağlanamazsa uydu doğu-batı yönünde salınır, uydu yörüngesi tam olarak ekvator düzlemi üzerinde olmazsa kuzey güney yönünde günde bir kez, doğu-batı yönünde günde iki kez olmak üzere gökte 8 çizermiş gibi salınım yapar.

Fırlatışta yerle eşzamanlı yörüngeye tam olarak oturtmak gerçekleştirilse bile uydu çeşitli bozucu etkenler yüzünden bu yörüngeyi uzun süre koruyamaz. Bu etkenlerin başlıcaları şunlardır;

Güneşin çekim alanı yörünge düzleminin yılda yaklaşık $0,27^\circ$ sapsmasına yol açar. Ayrıca yer, güneş yörüngesi ile ekvator düzlemi arasındaki açı yüzünden 6 ayda bir yinelenen küçük salınımlar görülür. Benzer şekilde ay da uyduyu yörüngesinden saptırıcı etkiler gösterir. Bu kez ay-yer, yer-güneş ve uydu-yer yörüngelerinin üçlü girişimi oldukça karmaşık sonuçlar yaratır. Sonuçta uydu yörüngesinde yılda en çok $0,68^\circ$ en az $0,48$ sapma ile 14 gün ve 18 yıl çevrimli salınımlar görülür. Yerin ekvatordaki kesiti tam bir çember değildir. Bu uydunun doğuya veya batıya doğru kaymasına neden olur. Güneşten ulaşan ışınının özellikle uydunun geniş yüzeyli güneş panolarına uyguladığı basınç bile ihmal edilemeyecek kaymalara yol açabilir.

Tüm bu etkenleri yenebilmek için uydunun gaz ve elektronik tepki motorları ve bunlar için gerekli yakıtla donatılmış olması gerekmektedir.

Gerçekten uyduya yüklenen yakıt kütleyi artırdığı için fırlatmada daha güçlü ve o ölçüde pahalı roketler kullanımını gerektirmekte, yakıtın bir düzeyde sınırlandırılması ise uydu yaşam süresini doğrudan etkilemektedir.

2.2. Uydu Tutulması

Güneş yılda iki kez ekinoks dönemlerinde, ekvator düzleminde geçmektedir. Bu dönemlerde, uydu boylamına göre gerçek gece yarısında güneş, yer ve uydu bir doğru üzerinde sıralanmakta ve uydunun güneşi görmesi yer tarafından engellenmektedir. Ay ve güneş tutulmaları gibi buna da uydu tutulması diyoruz. En uzun tutulmalar 72 dakika sürmekte ve 21 Mart ile 23 Eylül, günlerinde gözlemlenmektedir. Gerçekte bu günlerden önce ve sonraki 22 gün içinde gittikçe azalan sürelerde uydu tutulması olmaktadır.

Uydularda yaşamsal işlevler için gerekli birkaç küçük akü dışında, kütleyi çok fazla arttırdığından akü dizgeleri bulunmamaktadır. Bu nedenle güneş ışınlarının panolara ulaşımının engellendiği tutulma anlarında uydu enerji yetersizliğinden yayın yapamamaktadır. Yılda 88 gün karşılaşılan, süreleri 1-72 dakika arasında değişen geceyarısı dolayındaki bu kesintiler yayıncılık açısından önemli bir sakıncadır.

2.3. Uydunun Yörüngedeki Konumu

Yerle eşzamanlı yörünge üzerinden belirli bir bölgeye yayın yapacak bir uydu için başlangıçta düşünülebilecek en iyi konum yörüngenin o bölge ortasından geçen boylam düzlemini deldiği üst noktadır. Bu konumda uydu yerden en büyük açıyla görünmektedir. örneğin ekvatordaki bir ülkenin yayın uydusu 90° de yani zenit noktasında olabilir.

Uyduyu istenen hizmet bölgesi orta boylamı yerine daha batıda bir konuma almak yoluyla tutulmanın daha geç saatlerde başlaması sağlanabilir. Batıya doğru kaydırılacak her 1° için 4 dakikalık bir geciktirme söz konusudur. Ekvatora yakın enlemlerde yeralan ülkeler için uydunun batıya kaydırılması önemli bir sorun yaratmaz. Ancak uydu görüş açısının olağan olarak düşük olduğu kutuplara yakın ülkelerde bu kaydırma açısı daha fazla küçülecektir. Uydu görüş açısının düşük olması özellikle engebeli ülkelerde uyduyu göremeyen bölgeler yaratacağı, atmosfer içinde alınan yayın yolu uzayacağından fazla yağışlı ülkelerde yağmur zayıflamasını artıracacağı için sakıncalıdır.

Görüldüğü gibi uydu konumu seçiminde, doğu sınırı, tutulmadan dolayı yayın kesilmesinin istenen en erken zamana, batı sınırı ise ülke için onaylanabilecek en düşük görüş açısına bağlı olarak belirlenir. örneğin ülkemiz için yayın kesilmesinin en erken 00.30'da başlaması ve ülke ortasında en düşük görüş açısının 30° olması sınır koşullar olarak ileri sürülürse $11,8^\circ$ doğu ve $5,8^\circ$ batı boylamları arasındaki yörünge yayı üzerinde herhangi bir nokta seçilebilir. Böylece kullanılabilir yörünge yayı tanımlanmış olmaktadır. Gerçekten ileride de anlatılacağı üzere 1977 Cenevre Planlama Konferansı'nda ülkemiz yayın uydusu için konum olarak 5° doğu boylamı seçilmiştir.

Uydunun yer üzerindeki bir noktaya göre çeşitli konum değerleri temel uzay geometri ve trigonometri kuralları ile hesaplanabilir.

Aşağıda hesap ayrıntılarına girilmeden bazı sonuç eşitlikler verilmektedir.

A, yer üzerinde enlemi δ , boylamı uydu izdüşüm noktasına göre ϵ olan bir nokta olsun. Bu nokta ile izdüşüm noktası arasındaki en kısa yolu veren uzun çember yayı \hat{a} eşitlik (1) den bulunabilir.

$$\cos \delta = \cos \epsilon \cos \hat{a} \quad (1)$$

A dan uyduya bakan çizginin A noktasındaki boylam düzlemi ile yaptığı açığı uydunun azimutu diyoruz. Azimut açısı eşitlik (2) de verilmektedir.

$$\tan \epsilon$$

$$\tan \epsilon = \frac{\sin \delta}{\cos \delta} \quad (2)$$

Uydu bakış çizgisinin A noktasındaki ufuk düzlemiyle yaptığı açığı uydu görüş açısı olarak adlandırmıştık. Uydu yükseklik açısı da

diyebileceğimiz bu ϵ açısı yine uzay geometriye göre:

r

$\cos \hat{\alpha} = \text{-----}$

$r+h$

$\tan \epsilon = \text{-----} (3) \sin \hat{\alpha}$

r ve h değerleri çizelge 1'den yerine konursa;

$\cos \hat{\alpha} = 0.151269$

$\tan \epsilon = \text{-----} (4) \sin \hat{\alpha}$

elde edilmektedir.

A noktası ile uydu arasındaki d uzaklığı

$d = 35786 ? (5)$

eşitliği ile bulunabilir.

2.4. Kapsama Alanı

Yeryüzündeki küçük bir alana çok dar açılı bir ışınla yayın yapan bir uydu Şekil 2'de görülmektedir. Uydunun tam tepede olmadığı, yani 6 uydu görüş açısının 90° den küçük olduğu (hemen her zaman böyledir) durumlarda ışın koniğinin yeryüzündeki teğet düzlemlerle yaptığı kesit bir elipstir. B alanı d uzaklığına göre yeter ölçüde küçükse bu alan içindeki küre yüzeyini teğet düzlemlerle çakışık kabul edebiliriz.

Kaynaklarda ayrıntılı olarak gösterildiği üzere çembersel dik kesitli, $\hat{\alpha}$ gönderme açılı bir çok dar ışının yeryüzündeki "ayak izi" olan elipsin yarı küçük eksenini b , yarı büyük eksenini a ise,

$b = d \cdot \tan \hat{\alpha}$

b

$a = \text{-----} (6)$

$\sin(\epsilon - \hat{\alpha})$

bağıntıları bulunmaktadır.

Bu duruma göre yeryüzünde çembersel bir ayak izi için ışın dik kesitinin elips olması gerekmektedir.

Gerçek kapsama alanının büyük olduğu hallerde alanı düzlem kabul etmek olanaksızlaşır ve ayak izi artık elips değildir. Bunun tam olarak hesaplanması oldukça karmaşıktır. özellikle belirli bir, hizmet alanına yöneltilecek ışının boyutlandırılması çok daha karmaşık bir şekil alır ve çözüm için bilgisayar kullanmak gerekir.

2.4.1. Işın Saptama Yöntemleri

Yerle eşzamanlı yörüngenin 0° boylam konumundan Avrupanın görünüşü bilgisayarın çizdiği şekliyle Şekil 3'de örnek olarak verilmiştir. İstenen ülkeyi

kapsamak için gereken en dar açılı ışının saptanmasına önce ülkeyi tanımlayacak bir dışbükey çokgen çizilerek başlanır. Bu çokgenin köşeleri ülke sınırlarında seçilmiş uç noktalarıdır. örnek olarak Türkiye'yi tanımlıyacak böyle bir çokgenin köşe koordinatları çizelge 2'de verilmiştir.

İkinci aşama, bilgisayar veya diğer hesaplama araçları kullanılarak çizilen bu çokgeni içine alacak en küçük boyutlu elipsi bulmaktır. İlk yaklaşım olarak elipsin merkezi çokgenin ağırlık merkezine alınır. Daha sonra peşpeşe yaklaşımlarla elipsin eksenleri ve azimutu saptanır.

Şekil 3'de örneği verilen harita gerçekte yerin, tam uydudaki noktadan geçen teğet düzlemi üzerindeki izdüşümünü göstermektedir. Bu düzlem üzerinde elips kesiti veren ışının uydudan gönderme açılarını hesaplanması bir sonraki adımdır. Artık bu adımda uydu konumunun bilinmesi ön koşul olmaktadır. Konum bilinmiyorsa çeşitli olasılıklar için ayrı ayrı hesap yapmak gerekir.

Işın açıları hesaplandıktan sonra uyduyu yerinde tutma, ışın yönlendirme kusurları gibi toleransları içine alacak şekilde büyütme gerekir. Bugün ulaşılan düzeyde her yöne $0,1^\circ$ eklenmesiyle bu tolerans sağlanabilmektedir.

Aşağıda örnek olarak Türkiye için en küçük boyutlu kapsama elipsini sağlayan ışının 4 ayrı yörünge konumuna göre hesaplanmış sonuçları verilmektedir.

2.5. Uydu Yapısı

Yukarıda yörünge ve konum ayrıntılarını verdiğimiz yayın uydusunun başlıca bölüm ve parçaları üzerinde kısa bilgiler vermeye çalışalım. Uyduyu işlevsel yapı bakımından üç bölüme ayırabiliriz. Birinci bölüm hizmet bölümü diyebileceğimiz uyduyu yörüngede kararlı tutan, devinimlerini düzenleyen, dengeleyen kimyasal veya elektrik tepki motorlarını, devinim dizgelerini, yakıcı ve aküleri barındıran bölümdür, ikinci bölümde uydunun ana görevini yerine getiren transponderler, vericiler, alıcılar, bilgisayarlar vb. tüm elektronik donatım yer alır.

İşlevi gereği hizmet donatımının bir parçası olduğu halde yapısal özelliği nedeniyle güneş enerji panolarına tüm antenler ve duyargalarla birlikte çatı dediğimiz üçüncü bölümde yer vermekteyiz.

Şekil 4'de yörüngeye oturtulması 1978 Şubat ayı için planlanmış bulunan Japon BSE uydusu görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi güneş enerji panoları ve antenlerin bulunduğu çatı bölümü uydunun yüzey ve hacim olarak en büyük kısmını oluşturmaktadır.

a) Güç Kaynağı:

Doğrudan alışı olanak verecek düzeyde 4-5 kanaldan TV yayını yapacak bir uydunun kapsama alanına göre 3 kW veya daha fazla enerji gereksinimi vardır. Kaynak olarak düşünülebilecek güneş hücreleri, nükleer reaktörler, hücresel yakıtlar, termoelektrik eklemler ve termioyonik hücrelere fiyat, kütle ve güvenilirlik açılarından baktığımızda günümüzde en uygun kaynağın güneş hücreleri olduğunu görürüz. P üzerinde N tipi elemanlı hücreler uzay uygulamalarında en çok kullanılan tiplerdir. Bu hücrelerin fotovoltaiik çevinik verimi kuramsal olarak %25 olduğu halde ortalama %10-12 dolaylarındadır. Hücrelerin dizili bulunduğu panolar fırlatma sırasında katlanmış veya bir tambur üzerine sarılmış durumdadır. Uydu yörüngeye oturtulduktan sonra panolar açılarak normal şeklini alır. 3 eksen dengeleme yöntemi kullanılan uydularda en yüksek verim için panolar bir güdüm dizgesi aracılığıyla sürekli olarak güneşe dönük tutulur. Şekil 4'de görülen BSE uydusunda herbiri katlanabilir ikişer panodan oluşan 2 güneş hücreleri kanadı vardır. Açılmış durumda yüzeyi 0,6 metrekare tutan bu kanatlar uydu ömrü başına 940 W enerji üretebilmektedir. Tüm enerji sistemi için ilginç bir ölçü de sistemin ağırlığıdır. BSE için bu değer 24 W/kg'dır. 1980'lerde bu değer 40-55 W/kg'a ulaşabileceği umulmaktadır.

Güneş panolarının verimi çevre şartları yüzünden devamlı olarak düşer. Bu şartlar arasında parçacık radyasyonu, güneş patlaması, proton radyasyonu, morötesi radyasyon, mikrometeorlar ve tutulma dönemlerindeki ısı salınımları en önemlilerdir. Deneyler üretimin ilk günlere kıyasla 3'üncü yılda yaklaşık % 85'e ve 10 yılda da % 75'e düştüğünü göstermiştir.

Tutulma süresinde uydu yerin gölgesinden geçerken güneş panoları enerji üretemeyeceklerinden, uydunun yaşamsal bazı işlevleri için akü bulundurmaya zorlanabilir. örneğin BSE uydusunda 4'er hücreli 3 grup nikel-kadmiyum akü bulunacaktır.

b) Yayın Elektronikleri:

Yeryüzünden gönderilen yayınları alıp gerekli sıklık çevirmeleri ve güç kazancı uygulayarak yeniden yeryüzüne yayınlayan ana donatım elemanlarına transponder adı verilmektedir. Yayın kanalı başına en az bir adet olarak uyduda bulunacak bu aygıtların yanısıra güç bölme ve dağıtma, bağlantı, anahtarlama devreleri gibi düzenekler de bulunur. Ayrıca özellikle klistron veya yürüyen dalga lambası kullanan verici kısımlarında güvenilirliği artırmak için yerden verilecek komutla veya otomatik olarak devreye girebilecek yedek birimler bulundurmaya zorunludur. Şekil 5'de bir yayın donatımı örneği görülmektedir.

c) Antenler:

Kapsama bölgesine ve uydu amacına bağlı olarak bir veya daha fazla yüksek kazançlı parabolik yansıtıcı boynuz anten kullanılır. Genellikle 1,2-2 m. arasında değişen anten çapının ilerideki uygulamalarda 5 metre dolaylarında olacağı düşünülebilir (ATS-6 uydusunda parabol çapı 9-14 metre idi). Böyle bir antenden 12 OHZ bandında umulan kazanç 37-44 dB arasında değişmektedir. İleride antenler daha ayrıntılı olarak incelenecektir.

Ağırlık ve boyutlar uydu için çok önemli olduğundan tek parabolik yansıtıcıya birkaç besleme uygulayarak anteni çok amaçlı olarak kullanmak yaygın bir yöntemdir.

d) Uzakölçüm, izleme ve Komuta Alt Dizgesi:

Su dizge kendi bandında antenleri, alıcı ve vericileri, çözücüleri, bant değiştirmeyi sağlayan çeviricileri, bilgi işlemcileri vb. donatımı içerir.

e) Uydu Tavır Denetim ve Güdüm Alt Dizgesi:

Yukarıda yörünge bölümünde uyduyu etkileyen istenmeyen güçlerden söz edilmişti. Burada incelediğimiz alt dizgenin görevi uydu yörüngesini, yörüngedeki konumunu ve anten ışınlama yönünü, korumak ve gerekli düzeltmeleri yapmaktır. Enerji panolarını sürekli güneşe çevrili tutmak için gereken güneş duyargası, yeryüzü ufuk çizgisindeki kızılaltı radyasyonu duyarak antenleri istenen bölgeye yönlendirilmiş durumda tutan yer duyargası, yahut bu sonuncunun yerine yeryüzünde kapsama bölgesinin ortasından gönderilen "monopulse" dalgasının geliş açısını ölçebilen duyarga, 3 eksen jiroskop tekerlekleri bu dizgenin parçalarıdır.

f) Isı Denetim Alt Dizgesi:

Uydunun fırlatma, geçiş yörüngesi ve yerle eşzamanlı yörüngedeki tüm aşamalarında tüm donatımları tasarım sınırları içinde tutmak için gereken bu dizge, yalıtım örtüleri, kaplamalar, ısı iletim boruları, ısıtıcılar, termostatlar vb. parçaları içerir.

g) Son Yörünge Motoru:

Yerle eşzamanlı yörünge uyduları yörüngedeki yerlerine iki aşamada oturtulmaktadır. Taşıyıcı roket uyduyu önce en yüksek noktası (apogee) yerle eşzamanlı yörüngeye teğet olan eliptik bir geçiş yörüngesinde bırakır. Uydunun bu yörüngede en yüksek noktadan ikinci veya üçüncü geçişinde son yörünge motoru (Apogee Kick Motor) bir kez için ve belirli bir süre ateşlenerek uyumlu yörüngeye oturma sağlanır. Taşıyıcı roket görevini çoktan tamamlayıp ayrıldığı için bu motor uydunun bir parçası olarak tasarlanmak durumundadır. Motor katı yakıtla çalışmaktadır.

h) İkinci Tepkime Alt Dizgesi:

Yukarıda uydu tavır denetim ve güdüm dizgesinden aldığı komutlara göre geçiş yörüngesi aşamasında veya son yörünge motoru görevini tamamladıktan sonra gereken ilk yönlendirme, konum koruma, sapmaları düzeltme ve uydu yaşam süresince jiroskop tekerleklerindeki fazla momenti emme veya ters moment uygulama görevlerini yapan bu alt dizgenin ana parçaları, defalarca ateşlenebilen bir tepki motoru, yakıt tankı, yakıt açıp kapama düzenekleridir. Bu motor genellikle hidrazin adı verilen sıvı yakıtı kullanır.

Yukarıdaki tüm donatımın bir uydu için ağırlık, enerji gereksinmesi ve güvenilirlik açılarından önemi hakkında fikir verebilmek için BSE uydusu için bilinen bu değerler örnek olarak aşağıda çizelge 4'de gösterilmiştir.

2.6. Roketler, Fırlatma Araçları

Günümüzde uziletişim ve yayın uydularını fırlatmada kullanılan roketlerin seçimi aşağıda sıralanan etkenlere göre yapılmaktadır:

- Araç tarafından taşınabilecek en büyük uydu boyutları ve kütlesi,
- Yörüngeye oturtmada zamanlama,
- Fırlatma ücreti.

Aşağıda çizelge 5'de bilinen bazı fırlatma araçları sıralanmıştır.

Yakınlarda fırlatılmış olan ülkelerarası uziletişim uyduları Atlas-Centaur aracını kullanmışlardır. Küçük uydular için SSCB dışında bilinen

en ucuz araç Delta 2914'tür. Japon BSE uydusunun aynı tip bir araçla yörüngeye oturtulması planlanmıştır. Titan III C'nin daha ne kadar süre ile kullanılacağı bilinmemektedir. Aslında Ariane dışındaki diğer roketlerin 1980-1990 döneminde çokça kullanılacakları şüphelidir. NASA (ABD) tarafından geliştirilmekte olan Uzay Mekiği adlı aracın yerle eşzamanlı yörüngeye uydusu taşıma özelliği sağlanınca birçok aracın yerini alabileceği sanılmaktadır.

Ariane aracı Avrupa Uzay Ajansı (ESA) yönetiminde 10 üye ülkeden 50'den fazla şirketin katılımı ile geliştirilmektedir. Günümüze kadar geliştirme için harcanmış bulunan yaklaşık 400 milyon doların %60'dan fazlası Fransa, % 20'yi aşan bir kısmı Federal Almanya tarafından karşılanmıştır. Bu nedenle Ariane bir Franko-Alman roketi olarak bilinmektedir. Geliştirme tamamlanınca her bir aracın yaklaşık 25 milyon dolara malolacağı umulmaktadır. Roketin Atlas-Cantaur'a göre üstünlüğü tek atımda 2 ayı uydusu yerle eşzamanlı yörüngeye oturtabilmesidir. Ariane'nin deneme uçuşlarının ilki (L02) Aralık 1979'da Geos uydusu ve Amsat Amatör Radyoculuk uydusu ile, ikincisi (L03) Mayıs 1980'de Meteosat ve Hint araştırma uydusu APPLE ile gerçekleştirilecektir. Aracın dördüncü ve son deneyi olarak 1980 Ekim ayı için planlanan Ağır Avrupa uydusu denilen ve tüm Avrupa için aynı zamanda doğrudan yayın deneylerinde kullanılacak olan Heavysat uydusu yörüngeye konacaktır.

SSCB'de bu amaçlar için kullanılacak araçlarla ilgili olarak elde bilgi bulunmamaktadır. Ancak Eylül 1976'da Kyoto-Japonya'daki bir seminerde aynı sığadaki araçlar için Sovyet araç ve fırlatma giderlerinin yaklaşık %25 daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Bu arada Japonya ve İngiltere'nin uydusu fırlatımında kullanılacak araç geliştirme üzerinde büyük bir hızla çalışmakta olduklarını belirtmemiz gerekmektedir.

3.12 GHz'de YAYILMA (PROPOGATION)

Uydunun fiziksel yapısı hakkındaki önemli ayrıntılara kısaca göz attıktan sonra 12 GHz bandındaki dalga yayılımı özelliklerini, bu bandın uydulardan yapılacak yayında kullanılması açısından ele alacağız.

Başlangıç olarak iyi bilinen radyo uziletim bağıntısından yola çıkmaktayız. Yeryüzünde bir alıcının girişindeki güç dB olarak

$$P_a = P_v + K_{vm} + K_{am} + V + A + Y + L \quad (7)$$

eşitliğiyle verilir. Burada

P_v : Verici aygıt çıkış gücü

K_{vm} : Verici anten maksimum izotropik kazancı

K_{am} : Alıcı anten maksimum izotropik kazancı

V: Verici anten eğrilerinden, yayın yönünde göreceli kazanç

A: Alıcı anten eğrilerinden, yayın yönünde göreceli kazanç

Y: Serbest uzay yayılma kaybı

L: Diğer tüm kayıplar.

Eşitlikte V, A, Y ve L değerleri eksi işaretlidir.

Uyduyan yayımlanan gücün en çok olduğu yönde kuramsal iki kutuplu yarım dalga antenine göre aldığı değere etkin izotropik yayılım gücü (eirp) diyoruz. Yukarıdaki eşitlikte

$$P(eirp) = P_v + K_{vm} \quad (8)$$

olarak gösterilebilir.

Serbest uzay yayılım kaybı diye adlandırdığımız Y değeri elektromagnetik dalganın yaklaşık 36.000 km uzay boşluğunda uğradığı kaybı gösterir.

Bu kayıp

$$\frac{2}{\lambda^2}$$

$$Y=10 \log \text{-----} (9)$$

$$160^2 d^2$$

bağlantısı ile hesaplanır. Burada λ dalga boyu, d ise uydu-alıcı arası uzaklıktır. 5° doğu boylamındaki bir yayın uydusu ile ülkemiz ortasında bir nokta arasında bu kayıp 12 Ghz'de 205.8 dB olmaktadır.

Eşitliğimizde L ile gösterilen diğer tüm kayıplar aşağıda sıralanmıştır.

a) Gazlardaki yutmadan dolayı atmosferik kayıplar

Atmosferden geçen radyo dalgaları özellikle oksijen ve su buharı gibi gazların yutma etkisi altındadırlar. Zayıflamanın değeri bağıl nem, sıklık, uydu yükseklik açısı ve denizden yüksekliğe bağlıdır. Su buharı yutması 22,180 ve 320 GHz'de rezonans tepelere ulaşır. Oksijenin 60 ve 120 Ghz'de iki geniş tepe yapan yutma özelliği vardır. Bunların tümü 12 GHz'den çok ötededir. Ancak yükseklik açısının 10°den küçük olduğu durumlarda dikkate alınabilir. CCIR raporlarında yer alan eğrilere göre Türkiye için bu kayıp 0,12 dB olmaktadır.

b) Yağmur etkisi

Yağmurdan dolayı kayıplar damlaların içinde enerji yutulması ve dağılma yüzünden olur. Bu kayıplar yağış miktarı, yağış hızı, damla büyüklüğü, uydu yükseklik açısı yağış sütununun genişliği, dalga sıklığı vb. etkenlere bağlıdır.

c) Bulutlar ve sis yüzünden zayıflama

Bu da yağmur zayıflaması gibi bulut içindeki su ve buz parçacıklarındaki yutulmalar yüzünden olur.

d) Troposferde kırınım, solma ve skintilasyon

ATS-6 uydusuyla yapılan denemeler 20 Ghz için bir takım bulgular vermiştir. Ancak Ghz bandında yeterli bilgi yoktur. Yine de en kötü ayın %99,9'unda iyi alışı için 1 db'den az bir kayıp olacağı kanısına varılabilmektedir.

e) İyonosferde Faraday dönmesi

İyonosferden geçen elektromagnetik dalganın kutuplanma yönü değişir. 1 Ghz'de 150° kadar olabilen bu dönme 6 Ghz'de 1°'ye düşer. Bu nedenle Faraday dönmesinin 12 GHz'de önemli bir etkisi yoktur.

Bilinen bazı eşitlikler ve daha çok yapılmış olan radyometrik gözlemlere göre bulunmuş toplam atmosfer kaybı değerleri Avrupa için aşağıda çizelge 6'da verilmiştir.

Yukarıdaki kayıpların yanısıra özellikle su damlaları içinden geçen dalgalar kutuplama bozulmasına uğrarlar, yani normal kutuplamaya dik yönde zayıf bir bileşen ortaya çıkar.

Son olarak kozmik gürültü, insan yapısı gürültü ve atmosferik gürültüler alıcı girişinde çok düşük düzeyde de olsa eklenen güçler olarak dizgeyi etkilerler.

Sürecek...