

1. GİRİŞ

Son yıllarda navigasyon hizmetlerinde ve geodezik çalışmalarda oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlayan Uydu Doppler Tekniği, problemlerin çözümüne büyük kolaylıklar getirmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan hemen hemen bütün ülkelerin yararlandığı bu teknikten önümüzdeki yıllarda ülkemizde de geodezik amaçla yararlanma düşünülmektedir. Halen navigasyon hizmetleri için M.T.A. Enstitüsü, Hora Sismik-1 araştırma gemisinde bu teknikten yararlanmaktadır.

Bu yazıda, A.B.D. TRANSIT Uydu Sistemi ve Doppler alıcı cihazlarının çalışma prensipleri hakkında temel bilgiler basit olarak verilmeye çalışılacaktır.

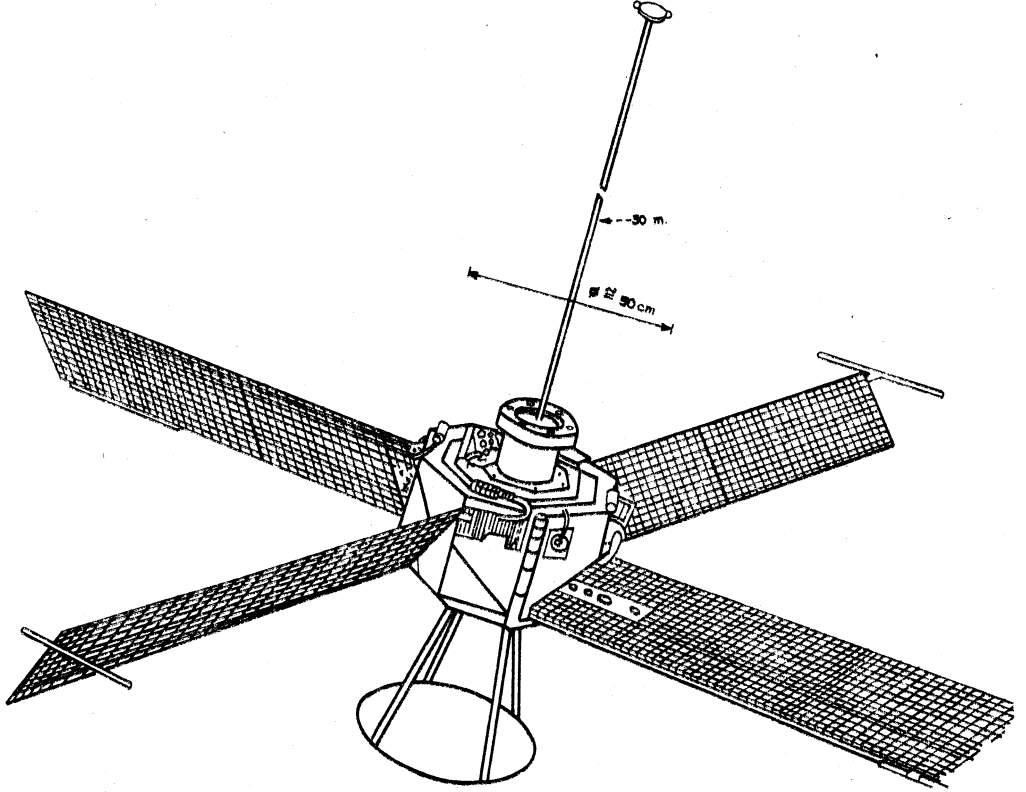
2. TARİHİ GELİŞİM

Uydu geodezisi, ilk Rus uydusu Sputnik-1'in uzaya gönderilmesi ile 1957 yılında başladı. Uydu ile yeryüzünde bulunan sabit bir alıcı arasındaki relatif hareketten dolayı meydana gelen Doppler frekans değişiminin analizi ile bu uydu (Sputnik-1) için kesin bir yörünge belirlenmiştir. Yörüngedeki değişiklikler daha sonra yerin çekim alanını araştırmada kullanılmıştır. Bunu, önceden belirlenen uydu yörüngelerinden yararlanarak herhangi bir gözlemyerinde Doppler frekans değişiminin ölçülmesi ile o yerin pozisyonunun bulunması izlemiştir.

Doppler sistemi A.B.D. Deniz Kuvvetleri için, kesin bir navigasyon sistemi ortaya koymak amacı ile geliştirilmiş ve Ocak 1964 tarihinde

işlemeye başlamıştır. Bu tarihten üç yıl sonra, Haziran 1967'de herkesin yararlanabileceği genel bir sistem durumuna getirilmiştir. Bu sistem ABD Navigasyon Uydu Sistemi veya kısaca TRANSIT sistemi olarak bilinmektedir.

Her türlü hava şartlarında, gece ve gündüz uygulama olanağı olması, alıcı cihazların kullanma kolaylıklarının bulunması ve gözlemlerin tamamen otomatik yapılabilmesi, sistemin uygulama alanını genişletmiştir. Ticari kullanımın serbest bırakıldığı 1967 yılından sonra, dünyanın çeşitli yerlerindeki sivil ve askeri kuruluşlardan bu sistemi kullananların sayısı gittikçe artmıştır.

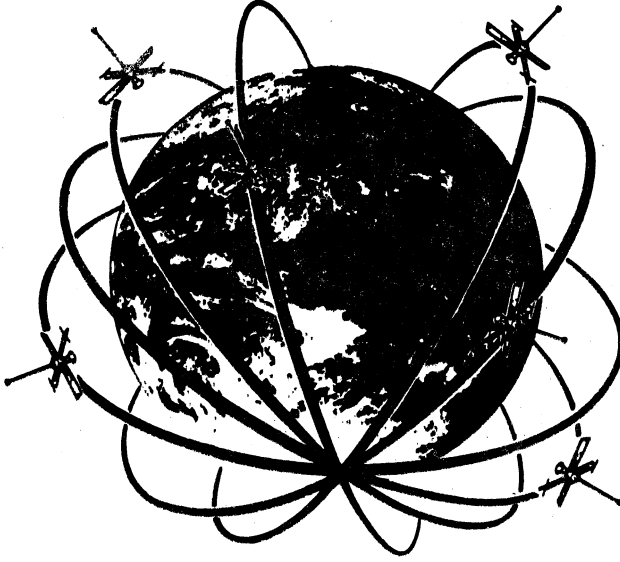


Şekil _1: Bir Transit uydusunun fiziki görünüşü

3. UYDULARIN GENEL YAPISI VE YÖRÜNGELERİ

Şekil: 1 de bir TRANSIT uydusunun fiziki yapısı görülmektedir. Kanat şeklinde görülen dört panel, güneş enerjisi ile uydunun iç bataryasını şarj etmeye yarar. Ortada bulunan çubuk şeklindeki anten ise sinyalleri yeryüzüne göndermeye yarar. Ağırlıkları 50 Kg. ile 75 Kg. arasında değişir.

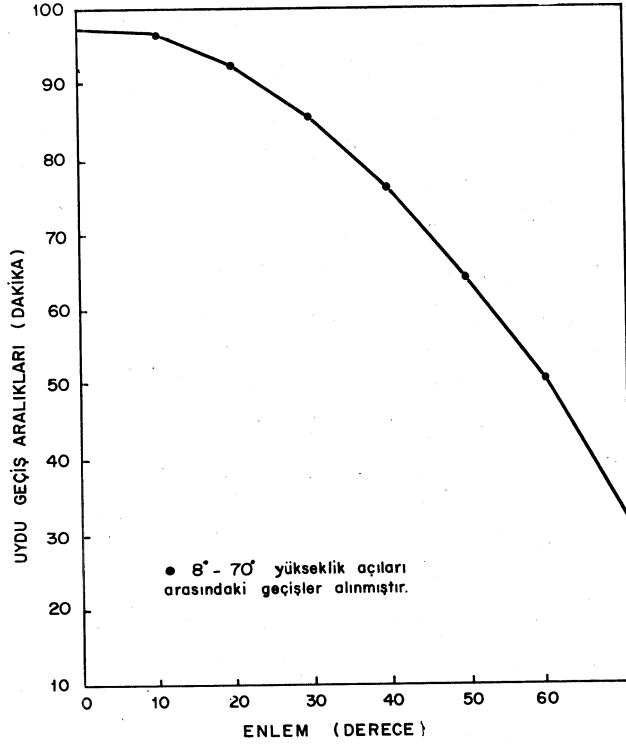
Halen (Mart 1981), yeryüzünden yaklaşık 1075 Km. yükseklikteki kutupsal ve dairesel yörüngelerde, ABD Deniz Kuvvetleri Navigasyon Sistemine (TRANSIT) ait beş adet kullanılabilir uydu vardır. Her yörünge periyodu 106 zaman dakikası civarında olup bu periyod süresince yerin dönme miktarı 26.8 derecedir. Uydu yörüngeleri yıldızlara göre relatif olarak sabittir, fakat yörünge düzlemlerinin küçük presesyonları vardır ki bunun yıllık toplamı birkaç dereceyi geçmez (Şekil :2).



Şekil :2.

Bugün yörüngede bulunan ve aynı amaçla fırlatılan uydular aşağıda sıralanmıştır:

<u>Numarası</u>	<u>Geodezik No.su</u>	<u>Yörünge Peryodu</u>	<u>Durumu</u>	<u>Fırlatılma tarihi</u>
30120	12	106,5 ^m	İşler	14 Nisan 1967
30130	13	107.0	İşler	18 Mayıs 1967
30140	14	106.8	İşler	25 Eylül 1967
30180	18	107.0	İşlemez	2 Mart 1968
30190	19	107.0	İşler	27 Ağust.1970
30200	20	105.6	İşler	1973
30460	46	98.9	İşlemez	



Şekil : 3.

İşler durumda bulunan beş uydunun belirli bir gözlemyeri üzerinden geçiş zaman aralıkları enleme bağılı olarak, 35-100 dakika arasında değişmektedir(Şekil:3).

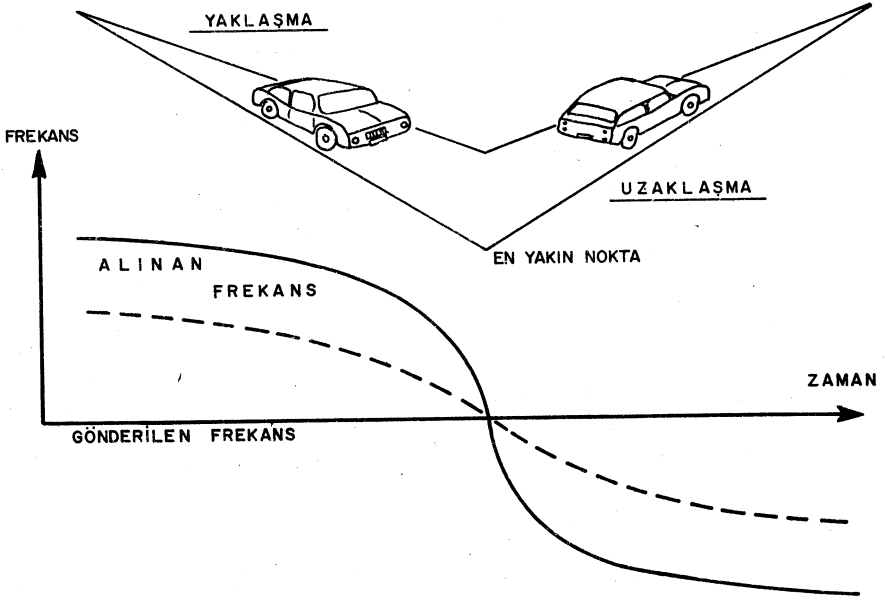
Bu beş uyduya ilave olarak daha sonra 1977 yılında 30200 ve 30120 numaralı uydular arasındaki büyük boşluğu doldurmak üzere ABD Deniz Kuvvetleri tarafından altıncı bir uydu fırlatılmıştır. TRANSAT adı verilen 30110 numaralı bu uydudan da pozisyon belirlemede yararlanılmaktadır.

4. DOPPLER ÖLÇÜMÜ

Bu ölçü prensibi, ilk olarak Avusturya'lı fizikçi Christian Johann DOPPLER tarafından 1842 yılında ortaya atılan akustik olayından kaynaklanmıştır. Bu yüzden "Doppler Ölçümü" adını taşımaktadır.

DOPPLER olayı : Bir gözlemciye göre hareket halinde olan bir ses kaynağından alınan sesin frekansının değişmesi. Örnek verecek olursak; bir trenin düdüğü sesi, tren gözlemciye yaklaşırken inceler, uzaklaşırken kalınlaşır. Doppler olayına optik konusunda bir örnek verecek olursak; hareket halindeki bir ışık kaynağının yaydığı ışık, gözlemciden uzaklaştıkça daha kırmızı görünür. Doppler olayını elektromanyetik dalgalar üzerinde incelersek; elektromanyetik dalga yayan hareketli bir kaynaktan alınan dalganın frekansı, kaynağın yaydığı frekansa göre yaklaşırken daha fazla, uzaklaşırken ise daha azdır. Yani aradaki uzaklığın değişmesi ile, alınan dalganın frekansı da değişir.

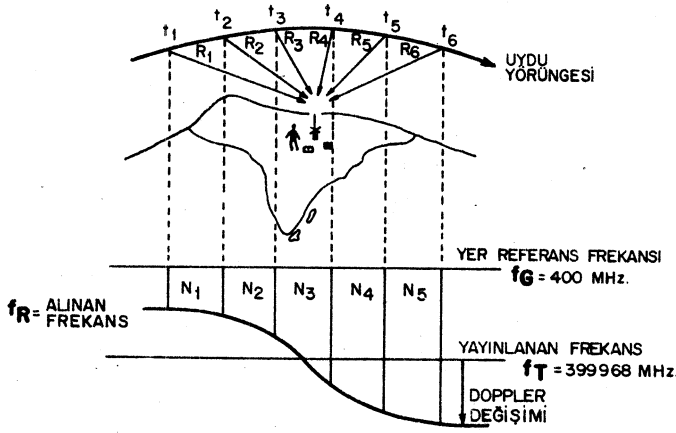
Pozisyon belirlemede, izlenen uydular da bu son örnekte olduğu gibi devamlı olarak sabit frekansta elektromanyetik dalga yaymaktalar fakat herhangi bir sabit gözlemyerinde alınan frekans, uydunun yaklaşması ve uzaklaşması ile değişmektedir.



Şekil :4.

Bu frekans değişimleri belirli zamanlarda uydu izlenirken yer istasyon noktaları üzerinde bulunan portatif alıcı cihazlarla ölçülerek kaydedilir. Böylece frekans değişimleri, uydu ile gözlemyeri arasındaki uzaklık değişimine bağlı olduğundan uydu pozisyonu ile gözlemyeri pozisyonu arasında bir ilişki kurulmuş olur. Bu ilişkiden yararlanarak da gözlem yerinin pozisyonu hesaplanabilmektedir.

Doppler ölçümünü daha ayrıntılı biçimde incelemek istersek :



Şekil : 5.

Uyduya yerleştirilmiş olan ve oldukça stabil kristal osilatör ihtiva eden gönderici, devamlı olarak belirli iki ayrı frekansta modüle edilmiş radyo dalgası (150-400 MHz) gönderir. Radyo dalgasının iki ayrı frekansta gönderilmesinin amacı ; her iki frekansda da ölçü yaparak iyonosferik refraksiyon etkisini gidermektir. Gözlemyeri ve yörüngesi bilinen uydu arasındaki relatif hareketin tek fonksiyonu olan Doppler frekans değişimi alıcı cihazlarla ölçülerek zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir.

Alıcı cihazın görevi, belirli zaman sinyalleri arasında yer referans frekansı ile uydudan alınan frekans arasındaki farkı ($f_G - f_R$) saykıl olarak tesbit etmektir. Bu işleme doppler sayımı da denir.

Her Doppler sayımı iki kısımdan oluşur : Sabit $(f_G - f_T)$ frekans farkı ve negatif değerde, aynı zaman aralığında alınan Doppler saykıl sayısı. Fiziksel bir anlamı olan Doppler saykıl sayımıdır. $(f_G - f_T)$ frekans farkı, pozisyon hesaplarında elemine edilen sabit bir değerdir.

Şekil : 5. den, uydu geçişi sırasında uydu ile gözlemyeri arasındaki uzaklığın devamlı değiştiği görülmektedir. Doppler sayımı, bir sayım intervali içinde uydu-gözlemyeri arasındaki uzaklık değişiminin direkt olarak ölçülmesidir.

$(f_G - f_R)$ Doppler sayım eşitliği, bu frekans farkının uydudan alınan zaman sinyalleri arasında integrasyonu ile kurulabilir:

$$N_1 = \int_{t_1 + R_1/c}^{t_2 + R_2/c} (f_G - f_R) \cdot dt \quad (1)$$

Bu eşitlikte $t_1 + R_1/c$, t_1 zamanında uydudan alınan zaman sinyali - lini göstermektedir. Alınan sinyal R_1 uzaklığından c ışık hızı ile geldiğinden R_1/c kadar gecikmeye uğrar. (1) eşitliği uydu alıcısı ile yapılan gerçek ölçümü göstermektedir. Bu eşitliği iki kısma ayırmak daha açıklayıcı olur :

$$N_1 = \int_{t_1 + R_1/c}^{t_2 + R_2/c} f_G \cdot dt - \int_{t_1 + R_1/c}^{t_2 + R_2/c} f_R \cdot dt \quad (2)$$

Eşitlikteki birinci integral işlemi sabit olan f_G frekansının integrasyonu olduğundan kolaydır. İkinci integrasyon ise değişen f_R frekansına aittir ve alınan iki zaman sinyali arasındaki saykıl sayısını temsil eder. Aynı zaman sinyallerinin uydudan yayınlandığı anlar arasında

gönderilen saykıl sayısı, yere ulaşan zaman sinyalleri arasındaki saykıl sayısının aynısı olacağından yani,

$$\frac{t_2 + R_2/c}{t_1 + R_1/c} \int f_R \cdot dt = \frac{t_2}{t_1} \int f_T \cdot dt$$

olduğundan şu eşitlik yazılabilir :

$$N_1 = \frac{t_2 + R_2/c}{t_1 + R_1/c} \int f_G \cdot dt - \frac{t_2}{t_1} \int f_T \cdot dt \quad (3)$$

Uydu geçişi sırasında f_G ve f_T frekansları sabit kabul edildiğinden, (3) eşitliğinde integrasyon işlemine gerek kalmadan direkt olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir :

$$N_1 = f_G \left((t_2 - t_1) + \frac{1}{c} (R_2 - R_1) \right) - f_T (t_2 - t_1) \quad (4)$$

(4) eşitliğini yeniden düzenlersek ;

$$N_1 = (f_G - f_T) (t_2 - t_1) + \frac{f_G}{c} (R_2 - R_1) \quad (5)$$

elde edilir. (5) eşitliğinden Doppler sayımının iki bölümü görülmektedir. Birinci terim, uydunun kendi saati tarafından belirlenmiş zaman intervali ile sabit frekanslar farkının çarpımıdır. İkinci terim ise, yer referans frekansı f_G nin dalga boyu c/f_G ile direkt olarak ölçülen uzaklık değişimidir.

5. TRANSIT SİSTEMİNİN İŞLETİLMESİ

Transit Sistemi, Kaliforniya Point Mugu'da bulunan Deniz Kuvvetleri Astronautic Grup Karargahı tarafından işletilmektedir. Bu işletme dünyanın çeşitli yerlerinde bulunan ve TRANET sistemini oluşturan uydu izleme istasyonlarından elde edilen bilgi ile sürdürülmektedir.

Sürekli çalışan bu uydu izleme istasyonlarında, uyduların üzerlerinden geçmesi sırasında, uydunun yayınladığı 150 ve 400 MHz. lik sinyaller alınmaktadır. Bu sinyaller alınırken uydu hareketinin doğrudan Doppler frekans değişimi ölçülmekte ve zamanın fonksiyonu olarak kaydedilmektedir. İzleme istasyonlarından elde edilen (TRANET istasyonlarından) bu Doppler datası aynı anda Point Mugu'daki hesaplama merkezine gönderilmektedir. Burada yapılan hesaplarla uyduların yörüngeleleri belirlenerek, daha önceki yörüngelerine göre meydana gelen değişimler saptanmaktadır.

Hesaplama merkezinde elde edilen en son yörünge durumuna göre navigasyon mesajı hazırlanır ve bu yörünge hakkındaki bilgiler enjeksiyon merkezlerinden uydulara enjekte edilirler. Bundan sonra her uydu enjekte edildikleri bu son yörünge bilgilerini sinyaller halinde yeryüzüne gönderirler. Uyduların hafıza kapasiteleri 16 saatlik olduğundan her uydu 12 saatte bir yeniden enjekte edilir. Bu enjeksiyonlar sırasında her uydu için en son yörünge bilgileri kullanılır. Yani uydular, 12 saatte bir kendi yörüngeleri hakkındaki bilgileri alırlar ve yeryüzünde uydu gözlemi yapanlara bu bilgileri aktarırlar.

6. KULLANILAN DEVAMLI YAYINLAR

Hesaplamalarda kullanılan, uyduların yörünge bilgileri ya uyduların kendilerinden sinyaller halinde alıcılar vasıtası ile alınırlar, ya da A.B.D. Savunma Harita Dairesinden belirli anlaşmalara dayanarak alınabilir.

Bunlardan birincisi yani uydunun kendisinden alınan yayın efemerisi (broadcast ephemeris), ikincisi ise kesin efemeris (precise ephemeris) dir. Yayın efemeris içinde bulunan yörünge parametreleri önceden hesaplanarak uyduya yayması için enjekte edildiğinden; yayınlanan parametreler geçerli olduğu peryod içinde uydunun tam olarak gerçek parametrelerini veremez. Kesin efemerisin içerdiği parametreler uyduların direkt olarak gözlenmesi ya da izlenmesi ile elde edilirler. Böylece aynı periyod içinde yapılan gözlemler için kesin efemeris değerleri kullanıldığında gerçeğe daha yakın sonuç alınır.

Kesin efemerisin elde edilemediği durumlar için geliştirilmiş ölçme teknikleri vardır. Örneğin 'short-arc' metodu ile relatif pozisyonlar elde edilebilmektedir.

Kesin efemeris elde edilebiliyorsa tek alıcı ile pozisyon belirleme yapılabilir (tercih edilmez) veya eldeki bütün alıcılar pozisyon üretmede kullanılabilir. Kesin efemerisle elde edilen duyarlılığa, yayın efemerisi kullanarak ulaşmak olanaksızdır. Ancak yayın efemerisi kullanarak yapılan gözlemlerin sayısını arttırarak ve iyi bir ortalama veya dengeleme yolu ile bozucu etkiler minimum seviyeye indirilebilir.

7. UYDU SİSTEMİNİN GELECEĞİ VE GLOBAL POZİSYON SİSTEMİ

Edinilen tecrübeye göre TRANSIT sistemi daha uzun yıllar hizmet edecek sağlıkta görünmektedir. Global Pozisyon Sisteminin geliştirilmesiyle Transit sistemi yerini NAVSTAR sistemine bırakacaktır. Bu yeni sisteme geçildikten sonra belirli bir süre eski sistem (Transit), kullanıcılarına yeni sisteme geçiş olanağı verecek şekilde normal işlevini sürdürecektir. Transit sistemin en azından 1995 yılına kadar sürdürüleceği belirtilmektedir (T.A. Stansell, 1978). NAVSTAR global pozisyon sistemine tam olarak geçişin 1985 yılında olacağı ileri sürülmektedir. Bu sistemde 63 derece eğimli üç ayrı yörünge düzlemi bulunacak ve her bir yörünge düzleminde eşit aralıklarda 8 uydu bulunacaktır. Uyduların yeryüzünden

yüksekliği 20 000 Km. olacak ve yörüngelerini 12 saatte bir tamamlayacaklardır. Bu sistem gerçekleştirildiğinde herhangi bir gözlemyerinde, en az 4 uydu aynı anda görüş alanı içinde (ufuk düzlemi üstünde) olabilecektir.

1979 yılı başlarında NAVSTAR sisteminin bir parçası olarak fırlatılan altı uydu ile A.B.D. nin güney-batı alanında her gün birkaç saat süre ile bu sistem uygulanabilmektedir. Bu sistemde ani mutlak pozisyon duyarlılığının 10 metre olacağı beklenmektedir.

Alıcılar birbirinden 1000 Km. uzakta olsalar bile relatif pozisyon belirlemesi bir-iki dakikalık zaman içinde 1 m. duyarlıkta olacağı ve bir günlük gözlemlerle de 10 cm. den daha duyarlı relatif pozisyon elde edilebileceği ileri sürülmektedir.

8. SONUÇ

Uydu Doppler gözlemleri genellikle yatay kontrol tesis etmek amacıyla yapılmaktadır. İlave olarak geoid ondülasyonları biliniyorsa gözlemlerden elde edilen üç boyutlu kartezyen koordinatlarından hesaplanan elipsoidal yükseklikler, düşey kontrol ağının seyrek olduğu veya hiç olmadığı alanlardaki istasyon noktalarına kullanışlı deniz seviyesi yükseklikleri üretmek için arttırılabilir ($H = h - N$). Ayrıca Uydu Doppler istasyonlarında deniz seviyesi yükseklikleri elde edilebiliyorsa bu istasyonlara ait geoid ondülasyonları yukarıdaki eşitlikten direkt olarak elde edilebilir (G. LACHAPPELLE, 1980).

Uydu Doppler gözlemleri ile nirengi noktası tesis etmek için uygun olan çok çeşitli metod vardır. Belirli bir amaca en uygun metodun seçimi bir çok faktöre bağlı kalmakta ve hiç bir metod tek başına tatmin edici olmamaktadır. Önemli olan, kullanıcıların bugün popüler durumdaki her metodun avantaj ve dezavantajlarını bilmeleri ve çalışmalarını, kendi ihtiyaçlarına en iyi cevap veren metoda uygun olarak planlamalarıdır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. Collected Papers, EMR CANADA-1980
2. A.R.Robins, V. Ashkenazi - Satellite Doppler Tracking and its Applications - 1980
3. Thomas A.Stansell - The Transit Navigation Satellite System - 1978
4. National Academy of Science - Geodesy : Trends and Prospects - Washington , D.C. - 1978
5. Collected Papers , EMR CANADA - 1979