

YÜKSEK KONUMLANDIRILMIŞ SLR UYDULARI VE MİSYONLARI

Dr. Gaye KIZILSU

Doç. Dr. Muhammed ŞAHİN

ÖZET

Uyduların izlenmesi tekniği açısından yüksek duyarlılığa sahip olan SLR ölçme sistemi uzun yıllardır farklı amaçlar için pek çok uydudan kullanılmaktadır. 37 yıldan bu yana geodinamik amaçlı bu uyduların, küresel şekilleri, üzerlerinde kullanılan küp köşeli yansıtıcılar gibi benzer özellikleri olmasına rağmen farklılık gösterdikleri yanları da bulunmaktadır. Bu farklılıklar uydunun çapı, kütlesi, yoğunluğu, yansıtıcı sayıları ve oturuldukları yörüngelerin yüksekliklerinden kaynaklanmaktadır. SLR uyduları bulundukları konumları ve görevleri itibarıyla yüksek ve alçak uydular olmak üzere iki kategoride incelenebilir. Bu bildiride yüksek yüksek konumlandırılmış SLR uydularının özellikleri, misyonları ve ölçmelerde arzettikleri önem vurgulanarak anlatılmaktadır.

GİRİŞ

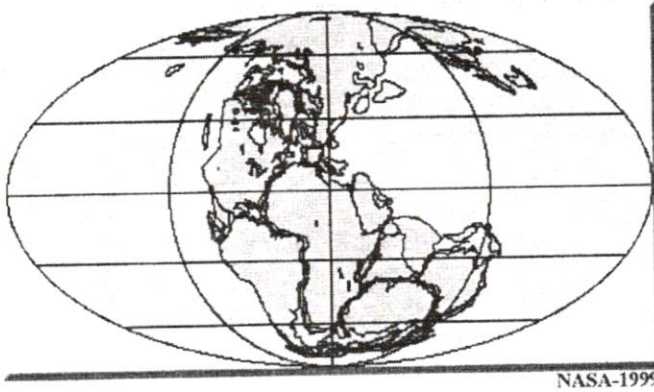
Uydu jeodezisinin sağladığı büyük kolaylık 1964 yılından bu yana uydularla laserle uzaklık ölçüm sistemi SLR tekniğinin ve jeodezi, jeodinamik, jeofizik, jeoloji gibi disiplinlere faydalı olmak amacıyla bir çok uydunun geliştirilmesini sağlamıştır. SLR ölçmelerinde konum belirleme için verilen prezisyon 1 m.lerden 1 cm.nin altına düşmüştür. Bu güzel gelişme hem yer istasyonundaki ölçmelerde kullanılan sistemlerin hem de fırlatılan uyduların üzerindeki hassas çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Dünyadaki yer istasyonundan gelen lazer pulsunu yansıtıcılarıyla geri gönderen ve binlerce kilometre için 1-2 cm veya altında hassasiyete sahip bu pasif uydular dış görünüşleriyle bir golf topunu andırmaktadırlar. Bunlar farklı misyonlara sahip uydulardır ve bu misyonlara göre yükseklikleri ve bazı özellikleri değişiklik göstermektedir. Bunlar yüksek ve alçak uydular olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Yeryüzünden yüksek bir yörüngede konumlandırılan uyduların başında LAGEOS I gelir. Bu uyduyu sırasıyla ETALON I, ETALON II ve LAGEOS II izlemektedir. Orta yükseklikteki AJISAI uydusu da bu kategoride ele alınabilir.

LAGEOS I & II

LAGEOS - I (LAsEr GEODynamics Satellite) sadece lazerle ölçme tekniklerinin kullanıldığı geodinamik ölçmeler için geliştirilmiş ilk yapay uydulardan biridir. Pasif bir

uydudur. NASA tarafından 4 Mayıs 1976 günü Vandenburg Hava Kuvvetleri üssünden fırlatılmıştır. LAGEOS I'in (maddesel olarak) ömrünün birkaç milyon yıl olacağı tahmin edildiği için, geleceğe bir mesaj olması bakımından uyduya, bu cismin dünyaya ait olduğunu gösteren çelik bir plaka (10x18 cm.) eklenmiştir. Bunun benzer iki kopyası da uydunun içinde bulunmaktadır. Bu plakaların içinde, dünyanın yaklaşık 270 milyon yıl önceki halini, gezegenlerin şimdiki durumlarını ve dünya yüzeyinin 8 milyon yıl sonraki tahmini halini gösteren üç harita bulunmaktadır, (BANNISTER 1977, SEEGER 1993).

Lageos misyonunun amacı tektonik hareketleri ve dünyanın oryantasyonunu tam ve doğru bir şekilde ölçmektir. Dünyanın dış kabuğu yarı - sıvı bir örtünün üstünde yüzen çok büyük tabakalardan oluşmaktadır. Bu tabakalar birbirlerine göre her yıl yaklaşık 2.5-3 cm. hareket ederler. Bu hareketliliğe kıtasal sürüklenme ya da tabaka tektoniği denilmektedir. Tabaka tektoniği sadece kıta hareketlerini değil aynı zamanda yeryuvarı içindeki kuvvetlerin neden olduğu dünyanın kabuğundaki değişiklikleri de açıklamak için kullanılan bir teodir. Bu teoriye göre yaklaşık 200 milyon yıl önce de kıtalar mevcuttu ve gelecekte de mevcut olacaktır. Buna göre bilimadamları bugünkü Atlantik Okyanusunun ortasında çok büyük bir kıtanın (Pangaea kıtası) var olduğunu ve zamanla bu kıtanın kırılarak ayrılmaya başladığını önesürmektedirler, (Şekil 1). Böylelikle şimdiki ve gelecekteki hareketlenmeler de önem kazanmaktadır.

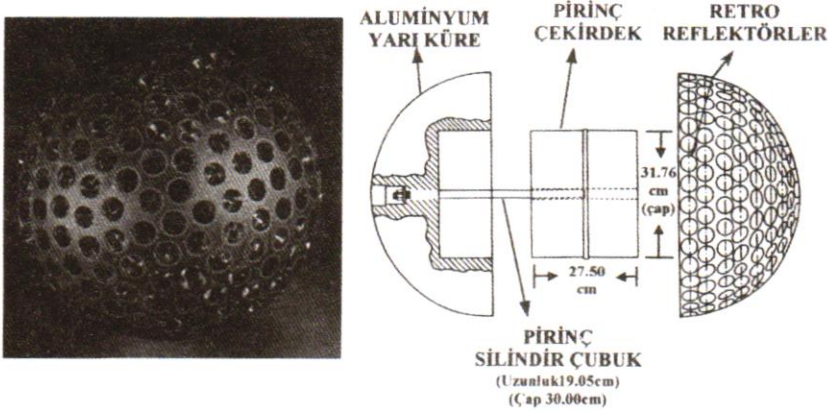


ŞEKİL 1. Dünyamızın 200 milyon yıl önceki görünüşü

Yeryuvarının kabuk hareketlerinin incelenmesinde LAGEOS'un bir standard olarak kullanılabilmesi için uydu, atmosferik sürüklenme etkisini ve yörüngedeki belirsizlikleri azaltmak amacıyla dünyadan yaklaşık 5800 km uzaklıkta, yüksek doğruluklu dairesel bir yörüngeye yerleştirilmiştir. Dünyanın her yerindeki lazer istasyonlarından görülebilmesi için yörünge, yeryuvarın her iki kutbundan geçmesi uygun görülmüştür, (BANNISTER 1977). Sahip olduğu yüksek yoğunluk (alan/kütle:0.00069m²/kg) uydunun yörüngesini mümkün olduğunca sabit kılmaktadır, (TATEVIAN 1989a). Uydunun

şekli ve yoğunluğu, yörüngenin güneşten gelen radyasyon basıncına karşı olan hassasiyetini de azaltmaktadır. Buna rağmen radyasyon basıncı LAGEOS I'in yörüngesini etkilemekte ve bundan dolayı yörünge belirlemede kullanılan programlar, yörünge entergrasyonu sırasında bu etkiyi gözönünde bulundurmaktadırlar. LAGEOS I oldukça düzgün yörüngesi ve yüksek ölçme doğruluğundan dolayı yer merkezli gravite sabitinin belirlenmesi için de uygundur, (KIZILSU 1998).

Yaklaşık 1 saniyede 5 km. yol kateden uydu yaklaşık 407 kg.lık bir kütleyle sahip 60 cm. çapında oldukça yoğun bir küredir. Uydunun alüminyumdan yapılan dış kısmı 117 kg. gelmektedir. İçine gömülerek yerleştirilmiş 32 mm çapında 426 adet küp köşesi yansıtıcı (4 tanesi germanyumdan olmak üzere) eritilmiş silisten (silikon) imal edilmiştir. Uydunun çekirdeği olan pirinçten yapılmış 27.5 cm. uzunluğunda 31.76 cm. çapındaki silindirin kütlesi 175 kg.dır. (COVEN v.d. 1985, CHRISTODOULIDIS v.d. 1985, RUBINCAM v.d. 1997, SEEBER 1993).



Şekil 2. LAGEOS uydusunun dış ve iç görünüşü.

Halâ görevini başarıyla sürdüren LAGEOS I'e benzer olarak son derece sabit bir yörüngeye sahip, konumu yüksek doğrulukla belirlenebilen ve böylelikle SLR ölçmeleri için mükemmel bir hedef olan LAGEOS II uydusu dizayn edilmiştir. NASA (Amerikan Uzay Ajansı) ve ASI (İtalyan Uzay Ajansı) tarafından ortak bir çalışmayla 22 Ekim 1992'de fırlatılan bu uydu da dünyanın geodinamik yapısı üzerindeki çalışmalarda bilim adamlarına yardım etmektedir. LAGEOS I ile hemen hemen aynı fiziksel özelliklere sahip olan uydu az bir farkla 406 kg. lık (60 cm. çapında) bir küredir. Taşıdığı küp köşesi yansıtıcılar (retroreflektörler) ön yüzü düz ve dairesel olan, arkası küp köşesinden kesilmiş bir prizmadır. Her iki uydu da kabuk hareketleri, bölgesel gerilmeler, fay hareketleri, kutup hareketi ve dünyanın dönüşündeki değişimler, gel-git etkileri, diğer kinematik ve dinamik parametrelerin depremlerin değerlendirilmesi ile saptanması çalışmalarında yüksek doğruluklu bir referans noktası olarak kullanılmakta, farklı alanlardaki bilimsel veri ve bilgilerin gelecekte geliştirilebilmesi için mükemmel bir fırsat sun-

maktadırlar. Bu uydular sayesinde yeryüzü üzerindeki SLR istasyonlarının konumları 1 cm.den daha az bir doğrulukla saptanabilmektedir. Yapılan ölçmeler sonucunda çalışmalarda veri fazlalığına engel olabilmek amacıyla her uydu için özel olarak belirlenmiş olan veri sıkıştırma süresi LAGEOS uyduları için 120 saniye (2 dakika) dir.

Tablo 1. LAGEOS I & II uydularının özellikleri.

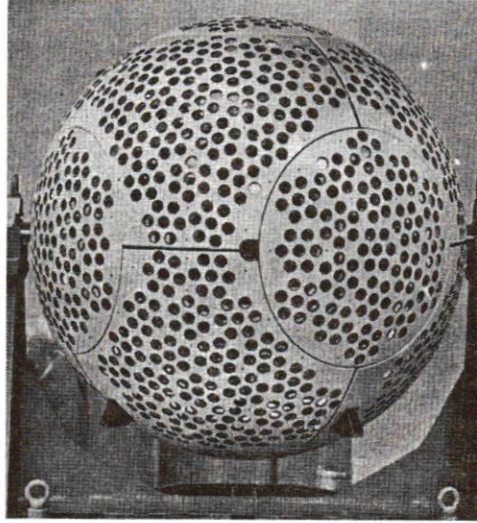
	LAGEOS I	LAGEOS II
ÜRETİCİ	NASA	NASA & ASI
KİMLİK NO	7603901	9207002
TARİH	4 MAYIS 1976	22 EKİM 1992
YÜKSEKLİK	5800 km.	5900 km.
KÜTLE	407 kg.	406 kg.
ÇAP	60 cm.	60 cm.
EĞİM	109.8°	52.6°
YANSITICI	426 ccr	426 ccr
YÖRÜNGE	Dairesel	Dairesel
PERİYOT	225 dakika	223 dakika

Tablo 1' den de görüleceği üzere uyduların eğimleri oldukça farklıdır. Lageos I ekvatoru $\sim 110^\circ$ lik bir açıyla keserken Lageos II $\sim 52^\circ$ ile kesmektedir. Böylelikle Akdeniz bölgesi ve California gibi sismik aktivitesi fazla olan alanlardan görülebilen iki uydunun, daha çok ölçme ile kabuk hareketi çalışmalarındaki doğruluğu geliştirmesi mümkün olmaktadır. Özellikle A.B.D.'nin batı kıyısında bulunan ve California için deprem tehlikesi yaratan tabakalar üzerindeki SLR çalışmaları, bilim adamlarına iki büyük, hareketli tabaka arasında gerilimin nasıl dağıldığı ve belirli bir kuşak içinde nasıl depolandığı konusunda bilgi vermektedir. Dünya üzerine yayılmış bulunan SLR istasyon ağı (~ 30 ist.nok.) temel çerçeveyi oluşturmakta ve yeryuvarı üzerindeki bir çok tabakanın birbirlerine göre hareketliliği çok yavaş olmasına rağmen çalışmalardan anlamlı sonuçlar elde edilmektedir, (KOLENKIEWICZ 1989).

Dünyanın gravitesi, bir uydunun yörüngesinin kontrolünde önemli bir rol oynar. Yeryuvarı ne mükemmel bir yuvarlak nede içinde yoğunlukların eşit olarak dağıldığı bir küredir. Bu nedenle gravite, dünyanın çevresinde yerden yere değişiklik gösterir. Buna ek olarak Güneş'in ve Ay'ın Dünya üzerindeki çekim kuvvetlerinin oluşturduğu gel-git etkileri yeryuvarının kütlelerinde değişikliğe neden olmaktadır. SLR ölçmelerinde LAGEOS uydularının kullanılmasıyla büyük ölçekli gravite değişiklikleri ölçülebilmektedir. Bu değişiklikler üzerinde yapılan çalışmalar ise yeryuvarının derinliklerinde bulunan maddelerin niteliklerinin, davranış ve mukavemetlerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

ETALON I & II

ETALON I, 10 Ocak 1989 tarihinde eski Sovyetler Birliği tarafından Baikonur'dan fırlatılan, 1.294 m.lik yarıçapı ve 1415 kg.lık kütlesiyle en yoğun, 20000 km. yüksekliği ile de en yüksek SLR uydusudur. Pasif bir uydu olup üzerinde iki farklı tipte küp köşesi yansıtıcı bulunmaktadır. Küre şeklindeki uydu, kızılötesi interferometrik ölçmeler için az sayıda germenyumdan yapılmış yansıtıcılarla birlikte toplam 2134 adet yansıtıcıya sahiptir (Şekil 3). Kürenin dış kabuğu alüminyum-titanyum karışımından yapılmıştır.



Şekil 3. ETALON uydusunun görünüşü.

Uydunun en önemli misyonu, yer referans sisteminin ve dünyanın dönme parametrelerinin yüksek doğrulukla belirlenmesini, yeryuvarının gravite sabiti ve gravite alanının geliştirilmesini sağlamaktır. Yüksek konumlandırıldığı için yerin gravite alanından kaynaklanan hatalardan çok daha az etkilenmektedir. $\sim 65^\circ$ lik yörünge eğimiyle yüksek konumlandırılan uydu farklı problemlerin çözümü için optimal durumu sağlamaktadır. WEGENER (Working group of European Geoscientists for the Establishment of Networks for Earthquake Research), CDP (Crustal Deformation Project - Kabuk Dinamiği Projesi) projeleri gibi LAGEOS uydularının gözlemlerini kullanan uluslararası projeler kapsamında oluşturulan çalışma ağı içinde uzun baz hatlarının belirlenmesi ETALON'a yapılan ölçmelerle sağlanmaktadır. Ayrıca aymerkzeli (celenocentric) gravite sabitinin geliştirilmesine katkısı çok büyüktür. Çünkü Ayın, 20000 km. yükseklikte bulunan uyduların hareketi üzerindeki yörünge bozucu etkisi, 2000-6000 km.de bulunan uydulara yaptığı etkiden 15-20 kat daha fazla ve daha belirgindir, (TATEVIAN v.d. 1989b).

Aynı amaçlar hedeflenerek ETALON I'in ikizi olan ETALON II dört ay sonra 31

Mayıs 1989'da fırlatılmış ve bu tarihten sonraki çalışmalarda her iki uydu da görev almış ve birbirlerinin sonuçlarını pekiştirmişlerdir. Uyduların alan/kütle oranı : 0.00094m²/kg., veri sıkıştırma süresi ise 300 saniye (5 dakika) dir, (TATEVIAN 1989a).

Tablo 2. ETALON I & II uydularının özellikleri.

	ETALON I	ETALON II
ÜRETİCİ	RUSSIA	RUSSIA
KİMLİK NO	8900103	8903903
TARİH	10 OCAK 1989	31 MAYIS 1989
YÜKSEKLİK	20000 km.	20000 km.
KÜTLE	1415 kg.	1415 kg.
ÇAP	1.294 m.	1.294 m.
EĞİM	64.8°	65.5°
YANSITICI	2134 ccr	2134 ccr
YÖRÜNGE	Dairesel	Dairesel
PERİYOT	11 s.15 dk.	11 s.15 dk.

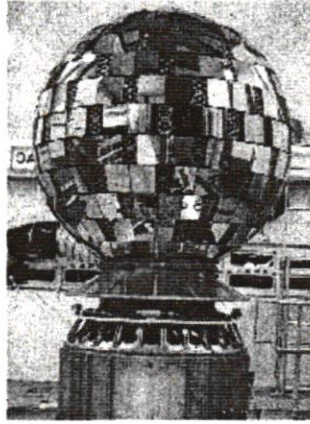
AJISAI

Japonya'nın hidrografik çalışmalar için tasarladığı ve 12 Ağustos 1986' da Tanegashima Uzay Merkezinden fırlatılan, orta yükseklikte konumlandırılmış bir SLR uydusudur. İlk ismi EGS (Experimental Geodetic Satellite) olan ve sonra AJISAI olarak tanınan uydunun başlıca iki amacı bulunmaktadır. Kısa bir dönemi kapsayan ilk amaç NASDA'nın H-I fırlatma aracının test edilmesi, uzun dönemi kapsayan ikinci amaç ise Japon adalarının kesin konumlarının belirlenmesidir. Ajisai' ye yapılan SLR ölçmeleri prezisyonlu yörünge belirlemede ve gravite alanının geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Küre biçimindeki uydunun yüzeyine monteli 318 adet ayna ve 1436 adet küp köşesi yansıtıcı bulunmaktadır. Aynaların kullanımı ile fotometrik ölçmeler de mümkün olabilmektedir. Ağırlığı ve yarıçapı gözönüne alındığında kütlelerinin yoğun olmadığı anlaşılmaktadır (Tablo3). Jeodezik uyduların ölçüleri lazer ölçme prezisyonunu sınırlayan faktörlerden biridir ve uydu etkisi ("satellite signature" effect) olarak isimlendirilir,(SEEBER 1993).

Tablo 3. AJISAI uydusunun özellikleri.

	AJISAI
ÜRETİCİ	NASDA (JAPAN)
KİMLİK NO	8606101
TARİH	12 AĞUSTOS 1986
YÜKSEKLİK	1500 km.
KÜTLE	685 kg.
ÇAP	2.15 m.
EĞİM	50.0°
YANSITICI	1436 ccr (+318 mirrors)
YÖRÜNGE	Dairesel
PERİYOT	116 dakika

Bu uyduya ait veri sıkıştırma süresi 30 saniyedir. Yani 30 saniye içinde yapılan ölçmelerden tek bir veri elde edilebilmektedir.



Şekil 4. AJISAI uydusunun görünüşü.

SONUÇ

Uydu jeodezisi çalışmalarında bilime katkısı son derece fazla olan SLR (uyduya lazer) ölçmeleri için tasarlanan ve dünyadan yüksek bir yörüngeye oturtulan uyduların özellikleri ve misyonları incelenmiştir. Yüksek konumlandırılmaları, yörüngelerinin çok büyük bir doğrulukla modellenmesine imkan vermektedir. Küresel şekilleri, yoğunlukları ve yansıtıcılarla kaplı olmaları onları jeodezik ve jeodinamik uygulamalar için ideal hale getiren özelliklerdir. Uydular hizmet edecekleri amaca ve içinde bulunacakları koşullara uygun olarak en ince şekilde düşünüldüğü tasarlanmaktadır. Bir uydu,

gravite kuvveti dışındaki kuvvetlerin etkilerini en aza indirebilmek için mümkün olduğunca ağır, yüksek yörüngede konumlandırılabilmesi için yeterince hafif, çok reflektör taşıyabilmesi için yeterince büyük fakat güneşin basınç kuvvetini azaltabilecek kadar küçük olmalıdır, (ANDERSEN 1995). Yüksek konumlandırılmış olan uyduların ortak görevleri yer referans sisteminin ve dünyanın dönme parametrelerinin yüksek doğrulukla belirlenmesini, yeryuvarının gravite sabiti ve gravite alanının geliştirilmesini, istasyon noktalarının konumlarının prezisyonlu olarak belirlenmesini ve bunlara bağlı olarak tektonik hareketlerin, kabuk dinamiğinin araştırılmasını sağlamaktır. Elde edilen veriler bir çok disipline altlık oluşturmaktadır. Bütün bu çalışmalar ve ulaşılan yüksek doğruluklu sonuçlar SLR ölçmelerinin ve uydularının önemini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

ANDERSEN, P.H., Measuring Rapid Variations in Earth Orientation, Geocenter and Crust with Satellite Laser Ranging, Bulletin Géodésique, 69, pp. 233-243, 1995.

BANNISTER, J.R., The LAGEOS, NASA Aerospace Education Services Project, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, Feb. 1977.

CHRISTODOULIDIS, D.C., SMITH, D.E., KOLENKIEWICZ, R., KLOSKO, S.M., TORRENCE, M.H., DUNN, P.J., Observing Tectonic Plate Motions and Deformations From Satellite Laser Ranging, Journal of Geophysical Research, September 30, Vol. 90, N. B11, pp. 9249-9263, 1985.

COHEN, S.C., SMITH, D.E., LAGEOS Scientific Results: Introduction, Journal of Geophysical Research, September 30, Vol. 90, No.B11, pp. 9217-9220, 1985.

KIZILSU, G., LAGEOS I ve LAGEOS II için Doğruluk Analizi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Haziran 1998.

KOLENKIEWICZ, R., ZERBINI, S., LAGEOS II: A Collaborative NASA-ASI Mission, CSTG Bulletin, No:11, pp.13-24, 1989.

RUBINCAM, D.P., CURRIE, D.G., ROBBINS, J.W., LAGEOS I Once-Per-Revolution Force Due to Solar Heating, Journal of Geophysical Research, Vol. 102, No. B1, pp.585-590,1997.

TATEVIAN, S.K., Satellite Report: ETALON, CSTG Bulletin, No:11, p.195, 1989a.

TATEVIAN, S.K., ZAKHAROV, A.N., The Geodynamical Satellite "ETALON", CSTG Bulletin, No:11, pp.3-8, 1989b.

SEEBER, G., Satellite Geodesy, Walter de Gruyter & Co. Berlin,1993.