

OPTİK GÖZLEMLERLE TÜRKSAT UYDULARININ YÖRÜNGELERİNİN BELİRLENMESİ

Ali N. Nurbaki¹, Bayram Yıldız², Derya Baş³,
Şenol Gülgönül⁴, H.Hüseyin Ertok⁵
TÜRKSAT A.Ş., Ankara

Mustafa Helvacı⁶
İTÜ, İstanbul

ÖZET

Artan uydu sayısı ve yoğunlaşan uzay trafiği ile birlikte çarpışma risklerinin artışı, yörünge belirlemede daha hassas ve güvenilir yöntemlerin ele alınmasına yol açmıştır. Bu çalışmada TÜRKSAT uydularının, optik gözlemlerle sadece açı ölçülerek elde edilen veriler ile gerçekleştirilen yörünge belirlemesi üzerinde durulmuş, yörünge belirlemede kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin birbiri ile ilişkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

GİRİŞ

Ekvatorun 35786 km uzağında bulunan Yerdurağan (Geostationary) yörüngede 500'e yakın uydu aktif olarak hizmet vermektedir. Ülkemizin tek haberleşme uydu operatörü olan Türksat A.Ş.'nin bu yörüngede dört adet aktif uydusu bulunmaktadır. Yeni uydu projeleri ile bu sayı artacaktır. Türksat'ın sahip olduğu uydu sayısının ve özellikle 42 derece Doğu boylamındaki uydu yoğunluğunun artması, yakın boylamlarda hakları bulunan ülke ve şirketlerin yeni uydular fırlatması sonucu Türksat uydularına komşu uydu sayısının artması nedeniyle uydular arası mesafelerin daha hassas, sık ve kesin olarak ölçülmesi, muhtemel çarpışma analizlerinin yapılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu amaçla 2013 yılında Türksat A.Ş. bünyesinde bir gözlemevi kurulmuştur. Türksat gözlemevi, 50 cm çapında teleskop barındıran tam otomatik kubbeye sahip bir şekilde inşa edilmiştir.

Şekil-1'de Türksat uyduları civarında tespit edilen yabancı uyduların resimleri görülmektedir. Bu gibi cisimler her gün Türksat uydularının komşuluğundan kontrol altında olmaksızın geçmektedirler. Çarpışma riskleri göze alındığında güvenlik amaçlı projeler ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda, Türksat ve komşu uyduları ile yerdurağan yörüngedeki diğer gök cisimlerinin elde edilen görüntülerinin işlenerek yörüngelerinin belirleneceği, uydularımız ile diğer uydu ve gök cisimlerinin aralarındaki mesafelerin hesaplanarak çarpışma analizlerinin gerçekleştirileceği bir sistem üzerinde

r (km)	42150
a (km)	42180
v (km/s)	3,07
e	0,00010- 0,00055
i	0-0,09

Çizelge-1:Yerdurağan
uydu karakteristiği

¹ Uzman Y., E-posta: anurbaki@turksat.com.tr

² D. Personel, E-posta: byildiz@turksat.com.tr

³ Uzman Y., E-posta: dbas@turksat.com.tr

⁴ Dr., Danışman, E-posta: sgulgonul@turksat.com.tr

⁵ Direktör, E-posta: hertok@turksat.com.tr

⁶ Yrd. Doç. Dr., E-posta: helvacim@itu.edu.tr

durulmaktadır. Kurulacak altyapı ve geliştirilecek sistem ile ülkemiz açısından hayati öneme sahip Türksat uydularının güvenliğine katkı sağlanmış olacaktır.

YÖRÜNGE BELİRLEME

Yörünge belirlemenin tarihi Gauss'a kadar uzanmaktadır. Gauss ve sonrasında Laplace, Legendre gibi bilim adamları sadece açı ölçümüne dayalı yöntemler üzerine çalışmışlardır. Yörünge belirleme hem hesaplama imkanlarının hem de ölçüm tekniği imkanlarının zaman içinde gelişmesi ile çok daha güvenilir sonuçların elde edildiği bir alana evrilmiştir [Vetter R. Jerome, 2007]. Gelişen teknolojik imkanlar ile RF Ranging (radyo frekans menzilleme), GPS pseudo-ranging, radar ölçümü gibi yeni ölçüm yöntemleri ile daha verimli yörünge belirleme yapılmakta ise de [Guo, R., et al 2010, Helleputte, T.V., Visser, P. 2008, Hugentobler, U., Beutler, G. 2003, Lee, B.S., et al 2005, Mander, A., Bisnath, S. 2013, Yang, Y., et al 2013, Zhao, G., et al 2012] en eski ve en geniş amaca hizmet eden ölçüm yöntemi olan sadece açı ölçümü vasıtası ile de yörünge belirleme halen sıkça başvurulan bir ölçüm yöntemidir [Bennett, J. C. et al, 2015, Choi, J. et al 2015, Montojo, F.J., et al 2010]. Bu, temelde üç farklı gözlem zamanı için uydunun bu gözlemlerden elde edilen presesyon ve nütasyon düzeltmesi yapılmış göksel ekvatoryal koordinatlarını kullanarak konum ve hız vektörlerinin elde edilerek yörünge elemanlarının hesaplanmasını sağlayan Gauss, Gooding gibi analitik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen yörünge belirleme ile mümkün olabilmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen yörünge belirlemeye 'Başlangıç Yörünge Belirlemesi (BYB)' adı verilir. Başlangıç yörünge belirlemesi ile ilgili yörünge mekaniği bağlamında da geniş bir literatür bulunmaktadır [Baş Derya, 2015, Montenbruck, O. Gill, E. 2005, Tapley, B. D., Schutz, B. E., and Born, G. H., 2005, Vallado, D., 2013]. Farklı zaman aralıkları için bir veri yığını elde edilebiliyorsa BYB ile elde edilen parametreler istatistik yöntemlerle rafine edilecek yörünge parametreleri için bir girdi oluşturur. Böylelikle uydunun 'Hassas Yörünge Belirlemesi (HYB)' yapılmış olur. Yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen yörünge parametreleri ile uydular için efemeris oluşturularak çarpışma risk analizleri yapılabilir ve gerekli uyarılar üretilebilir.

Bu çalışmada Türksat gözlemevinde yapılan gözlemlerden elde edilen verilerle 500 ve 420'deki Türksat uyduları için gerçekleştirilen BYB ve HYB incelenecektir.

UYGULAMALAR

Türksat gözlemevinde Türksat uydularının optik gözlemleri yapılmış, elde edilen görüntüler indirgenerek uyduların göksel ekvatoryal koordinatları (sağ açıklık ve dik açıklık) elde edilmiştir. Farklı gözlem zamanları için üçlü gruplar halinde Gauss ve Gooding yöntemleri ile BYB'ne tabi tutulmuştur. Sadece açı ölçümüne dayalı analitik BYB yöntemleri genellikle seçilen herhangi bir üçlü veri grubu için başarılı yörünge tahmini vermezler. Sadece açı ölçümlerinde, minimum ölçümle yörünge belirleme yöntemlerinin istatistik yöntemler kadar hassas sonuçlar vermesi beklenmemektedir. BYB yapılırken temel ölçü, bulunan yörünge yerdurağan uydu karakteristiklerini sağlayıp sağlamadığıdır (Çizelge-1).

Optik ölçüm verilerinden Gauss yöntemi ile elde edilen Kepleryen yörünge parametreleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Çizelge-2).

Açısal Momentum (km ² /s)	128986,3
Dışmerkezlilik	0,008218
Ω (Çıkış Düzümünün Sağ açıklığı) (derece)	99,69244
Eğim(derece)	0,20936
ω (Enbezinin Boylamı)(derece)	141,3863
M_0 (Ortalama Anomali)(derece)	173,2047
Yarıbüyük eksen (km)	41742,55
P (Periapsis) (km)	41399,53

Çizelge-2:20.10.2015'te yapılan gözlemlerden elde edilen BYB yörünge parametreleri (Gauss)

Tablolardaki sonuçlar dikkate alındığında yerdurağan yörünge profiline uygun sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Buna binaen, her ne kadar gerçek yörüngeyi ifade etmese de bu sonuçlar, başarılı bir BYB gerçekleştirilebildiği anlamı taşımaktadır. Çünkü bu şekilde elde edilen yörünge parametreleri HYB’nde kullanılan En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) gibi yöntemlere başlangıç durumu için girdi teşkil eder. Buna örnek olarak 17.05.2016’da yapılan gözlemlerden Gooding yöntemi ile elde edilen BYB sonuçları ve bu BYB’nin başlangıç girdisi olarak kullanıldığı EKKY ile gerçekleştirilen HYB sonuçları Çizelge-3’te gösterilmiştir. Bu örnekte, kısa ölçüm zamanı için (90 dakika) toplanan verilerin EKKY kullanılarak Gooding yöntemi ile elde edilen parametreler üzerindeki düzeltme etkisi rahatlıkla görülebilir. EKKY gibi istatistik yöntemler tüm veri yığını kullanarak BYB’nin verdiği yörüngeyi diğer verilerle farkının minimize edilmesi esasına dayanır. Elde edilen EKKY sonuçları ranging ile elde edilen yörünge parametrelerine oldukça yakındır.

Bunu ifade etmemizin sebebi ranging ile elde edilen sonuçların radyal ölçümler içermesi, dolayısı ile özellikle BYB aşamasında çok daha gerçeğe yakın sonuçlar vermesidir. Dolayısı ile sadece açı ölçümü çok sayıda veri elde edilmesi kesinliği artırdığı gibi bazı ek yöntemler de devreye konulmalıdır.

EKKY gibi yöntemler, toplanmış verilerin hep beraber işlenmesi şeklinde çalışır ve yörünge belirlemede etkilidirler [Giannitrapani, A. et al 2011, Jia, P.Z., Xiong, Y.Q. 2006]. Kalman filtresi tipi ardışık filtreleme yöntemleri ise bir veri durumundan hareketle bir sonraki veriyi tahmin etme esasına dayalı olup efemeris oluşturmada da etkili gerçek zamanlı yöntemlerdir. Yörünge belirlemede Kalman filtresi kullanımında genellikle EKKY verisi girdi olarak kullanılır ve EKKY ile elde edilen parametreler üzerinde ikincil bir düzeltme sağlar. Bunun dışında HYB bağlamında düzeltici (smoother) algoritmaları da kullanılmaktadır. Düzeltici algoritmaları ise Kalman filtresi gibi gerçek zamanlı çalışır ancak bu sefer ters yönde son veriden ilk veriye doğru işler.

Yapılan çalışmanın astrometrisinde *Maxim DL Pinpoint Astrometry* ve *Astrometrica*, yörünge belirlemede MATLAB ve ODTK kullanılmıştır.

SemiMajorAxis	42647.3 km
Eccentricity	0.00855822
TrueArgofLatitude	143.868 deg
Inclination	0.0723947 deg
RAAN	64.0851 deg
ArgofPerigee	132.117 deg

Çizelge-3a: Gooding yöntemi ile elde edilmiş Kepler parametreleri (BYB)

SemiMajorAxis	41997.7 km
Eccentricity	0.00642984
TrueArgofLatitude	101.728 deg
Inclination	0.063163 deg
RAAN	106.222 deg
ArgofPerigee	226.434 deg

Çizelge-3b: EKKY ile elde edilmiş Kepler parametreleri (HYB)

SONUÇ

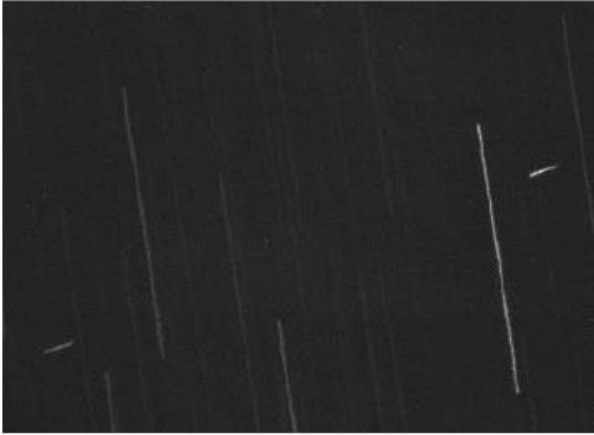
Optik gözlemlerle yerdurağan kuşakta yer alan Türksat uydularının astrometrik gözlemleri yapılmış, elde edilen açısal koordinat takımları bir veri yığını olarak kullanılmıştır. Burada BYB için gerekli minimum gözlem sayısı 3 olduğundan veri yığını 3’erli gruplarda Gauss ve Gooding yöntemlerine tabi tutulmuştur. Yerdurağan profiline uygun sonuçlar özellikle Gauss yönteminde yakın zaman aralıklı verilerle elde edilmiştir. Ranging yönteminden edinilen uzaklık bilgileri kullanılarak çalışan Gibbs yöntemi ile kıyaslandığında sadece açı yöntemlerinin BYB açısından dezavantajlı olduğu

görüldü ise de bu sonuçlar HYB için başlangıç durum vektörü olarak kullanılmış ve EKKY yöntemi ile BYB sonuçlarından çok daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

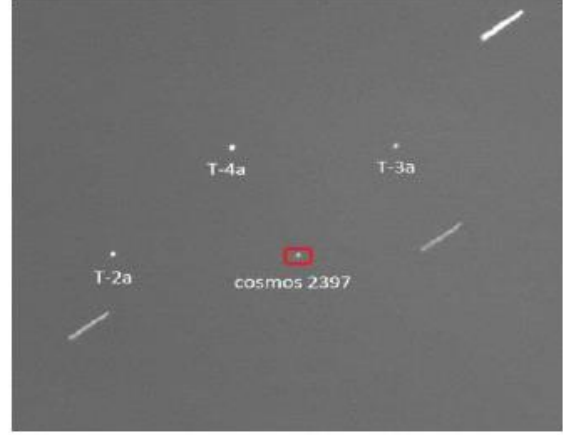
Bu şu sebepten dolayı önemlidir:

Yörüngedeki her hangi bir uydumuz için tehlike oluşturacak cisimleri saptamanın optik ölçümden daha iyi bir alternatifi yoktur.

İleriye dönük projelerde HYB'nin başarılı gerçekleşmesinin yanında efemeris oluşturma ön plana çıkmaktadırlar. Efemeris oluşturmada istatistik yöntemlerin etkili kullanımının yanında iyi bir kuvvet modeli kullanılması şarttır. Kuvvet modelinin gerçekçiliği ileriye dönük öngörü hassasiyetini ve dolayısı ile daha uzun süreli öngörü yapabilme kabiliyetini beraberinde getirecektir. Aynı zamanda LEO kuşak uydularının efemerislerinin oluşturulmasında da gerçekçi bir kuvvet modeli büyük önem taşımaktadır.



Şekil-1a: Dikey uzun çizgiler yıldız izleri olup yatay kısa çizgiler görev süresi dolmuş Raduga-6 ve Gorizont uydularıdır. Bu uydular hızla drift (sürüklenme) halinde olduklarından yerdurağan kuşak için tehlike teşkil etmektedirler



Şekil-1b: Operasyon süresi dolmuş bir Rus uydusu 42° de

Kaynaklar

Baş Derya, 2015, *Satellite Orbit Determination via Optical and Radar Systems*, MSc Thesis, İTÜ

Bennett, J. C. et al, 2015, *Orbital Element Generation for an Optical and Laser Tracking Object Catalogue* AMOS 2015 Technical Conference, Maui, Hawaii

Choi, J. et al 2015, *Analysis of the angle-only orbit determination for optical tracking strategy of Korea GEO satellite*, COMS. Advance in Space Research, 56, 1056-1066.

Dainty, C. et al 2007, *Improving Geostationary Satellite GPS Positioning Error Using Dynamic Two-Way Time Transfer Measurements*. 39th Annual Precise Time and Time Interval (PTTI) Meeting, Long Beach, CA : November 26-29.

Giannitrapani, A. et al 2011, *Comparison of EKF and UKF for spacecraft localization via angle measurements*. IEEE Transactions On Aerospace and Electronic Systems, 47:1.

Guo, R., et al 2010, *Orbit determination for geostationary satellites with the combination of transfer ranging and pseudorange data*. Science China, 53:9, 1746–1754.

Helleputte, T.V., Visser, P. 2008, *GPS based orbit determination using accelerometer data*. Aerospace Science and Technology, 12, 478–484.

Hugentobler, U., Beutler, G. 2003, *Strategies for precise orbit determination of low earth orbiters using the GPS*. Space Science Reviews, 108, 17–26.

Hwang, Y., et al 2008, *Orbit determination accuracy improvement for geostationary satellite with single station antenna tracking data*. ETRI Journal, 30:6.

Jia, P.Z., Xiong, Y.Q. 2006, *An orbit determination algorithm by means of the satellite-borne GPS data and Kalman filter*. Elsevier B. V. doi: 10.1016/j.chinastron.2006.04.008.

Lee, B.S., et al 2005, *Orbit determination system for the KOMPSAT-2 using GPS measurement data*. Acta Astronautica, 57, 747 – 753.

Lei, H., et al 2011, *Geostationary orbit determination using SATRE*. Advances in Space Research, 48, 923–932.

Mander, A., Bisnath, S. 2013, *GPS-based precise orbit determination of Low Earth Orbiters with limited resources*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 17, 587–594.

Mikhailov, N.V., et al 2011. *Autonomous satellite orbit determination using spaceborne GNSS receivers*. Gyroscopy and Navigation, 2: 1, 1–9.

Montenbruck, O. Gill, E. 2005. *Satellite Orbits-Models, Methods and Applications*, 3rd Edition, Springer

Montojo, F.J., et al 2010, *Astrometric positioning and orbit determination of geostationary satellites*. Advances in Space Research, 47, 1043–1053.

Tapley, B. D., Schutz, B. E., and Born, G. H., 2005, *Statistical Orbit Determination*, Academic Press.

Vetter R. Jerome, 2007, *50 Years of Orbit Determination*. John Hopkins APL Technical Digest, Volume 27, Number 3

Vallado, D., 2013. *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*, 4th Edition, Microcosm Press

Wang, X. 2013, *A robust method of preliminary orbit determination*. Chinese Astronomy and Astrophysics, 37, 455–463.

Wu, S., et al 2012, *Precise orbit determination of GEO satellite based on helmert variance component estimation method*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Yang, Y., et al 2013, *Satellite orbit determination combining C-band ranging and differenced ranges by transfer*. Chinese Science Bulletin, 58:19, 2323-2328.

Yoshikawa, M., et al 2005, *Summary of the orbit determination of NOZOMI spacecraft for all the mission period*. Acta Astronautica, 57, 510 – 519.

Zhao, G., et al 2012, *Precise orbit determination of Haiyang-2 using satellite laser ranging*. Chinese Science Bulletin, 58:6, 589-597.