



Teknik Not

GPS SİNYAL YANSIMA (MULTİPATH) HATASI VE GİDERİLME YOLLARI

İbrahim TİRYAKİOĞLU, Fatih TAKTAK, Füsun ÇETİNTAŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü, 03200 Afyonkarahisar

ÖZET

GPS (Global Positioning System) alıcıları ile birlikte kullanılan antenlerin hemen tamamı tüm yönlerden gelen uydu sinyallerini eşzamanlı alabilme (omnidirectional) özelliğine sahiptir. Antenin kurulduğu arazi yapısına ve sinyal yükseklik açısına (cutoff angle; elevation angle) bağlı olarak kaydedilen uydu sinyallerinde arzu edilmeyen sinyal yansımalarının da karışması söz konusudur. İstenmeyen sinyallerin GPS alıcısına ulaşmasına Sinyal Yansımaya Hatası (Multipath) denir. GPS etki eden başka hatalarda vardır. Ancak multipath hatası gerek zor tespit edilişi gerekse düzensiz bir hata oluşu nedeniyle diğer hatalardan ayırmak gerekir. Bu çalışmada multipath hatasının nasıl tesbit edildiği ve bu hatanın nasıl minimize edileceği hakkında literatür taraması yapılmış ve bulunan sonuçlar hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Multipath, GPS, Hata

1. GİRİŞ

GPS sinyallerinin alıcıya iki ya da daha fazla yol izleyerek ulaşmasıyla sonuçlanan bir yayılma fenomeni olan multipath etkisi, GPS ile konum belirlemede en önemli hata kaynaklarından biridir. Multipath sinyal modülasyonu ile taşıyıcı fazı bozar ve böylece ulaşılan doğruluğu azaltır. Multipath hataları, doğrudan alıcıya ulaşan sinyallerle su yüzeyi, metalik yüzeyler, binalar vb. objelerden yansıyan sinyallerin birlikte alıcıya ulaşması sonucu ortaya çıkar ve elde edilen sinyalin, yansyarak alıcıya ulaşan sinyaller nedeniyle bozulmasına yol açar.

Multipath etkisi, özellikle de büyük yansıtıcı yüzeylerin yakınındaki istasyonlarda yapılan ölçmelerde etkisini hissettirir. Multipath etkisini azaltmak için uygulanan yöntemler arasında özel olarak multipath etkisini azaltacak şekilde tasarlanmış antenlerin ve alıcıların kullanımı, verilerin analizi ve dikkatli yer seçimi (örneğin, bir çok ölçme çalışması sırasında çok güç olsa da, yansıtıcı yüzeylerden uzak durmak) gibi yaklaşımlar vardır. Multipath etkisini etkili olarak azaltmak amacıyla yeni anten türleri ve yeni alıcı teknolojisi geliştirme konulu çalışmalar yapılmaktadır.

2. SİNYAL YANSIMA HATASI (MULTİPATH)

Çoklu yol anlamına gelen multipath, uydulardan yayınlanan sinyallerin yeryüzünde herhangi bir noktada kurulu olan antene bir veya daha fazla sayıda yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına denir. Pek çok GPS kullanıcısı, yansıtma özellikleri olan nesnelere sinyal yansımaya hatası yüzünden kötü sonuçlara yol açabileceğinden habersizdir. Sac bir çatısı olan yakınlardaki bir bina, tahıl silosu yada yakınlardaki bir otomobil yada park etmiş bir kamyonun üst yada yan kaportası birer yansıtıcı nesne olabilir. Uçaklardaki GPS cihazları için uçağın gövdesi sinyal yansımaya yol açabileceği gibi

gemilerdeki cihazlar da su yüzeyi yada gemi gövdesindeki yansımadan etkilenebilir. Gözlemlerin şekli ve seyri ne kadarlık bir sinyal yansımasının miktarının kabul edilebilir sonuç olacağını gösterir.

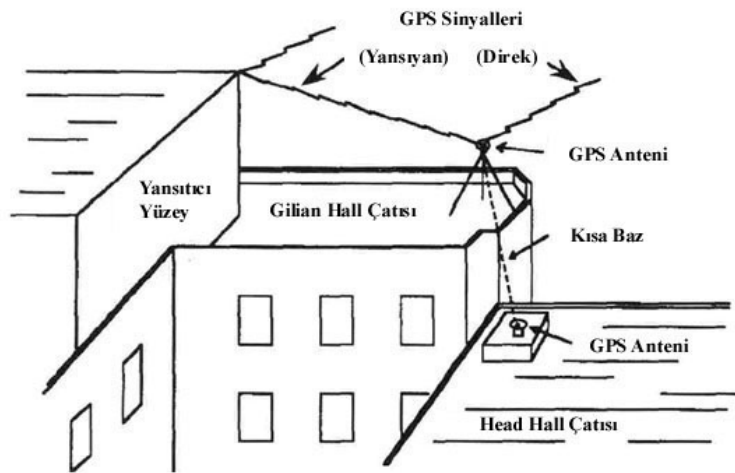
Sinyal yansıması uydu ve antenin her ikisi için de söz konusudur. Başka bir deyişle sinyal yansımalarını, uyduların neden olduğu yansımalar (satellite multipath) ve alıcı antenin çevresindeki yüzeylerin neden olduğu yansımalar (antenna multipath) diye ikiye ayırmak mümkündür. Bunlardan uyduların neden olduğu etkiler, özellikle yerel ağlardaki orta uzunluklu bazlarda (~100-200 km) bazın her iki ucundaki anten için de aynı büyüklüğe sahip olacağından görel konumlama yöntemi kullanıldığında büyük ölçüde elimine olacaktır [1]. Dolayısıyla, burada anten sinyal yansımaları üzerinde durulacaktır. Anten çevresinin neden olduğu yansımaların olası kaynakları ise yapılar, araçlar, su yüzeyleri (deniz, göl) ve diğer yansıtıcı yüzeylerdir. Bu sinyal yansımaları faz ve/veya kod (pseudo-range) gözlemlerini, geçiş anındaki uydu-alıcı geometrisine bağlı olarak sistematik, zamana bağlı sinüzoidal sinyaller şeklinde bozarlar. Sinyal yansıma etkisinin büyüklüğü dalga boyu ile orantılı olup bu etkinin neden olduğu hata P-kod (Precise/Protected-Code) için taşıyıcı dalga fazına göre yaklaşık yüz kat daha fazladır [2].

3. FARKLI YÖNTEMLER KULLANILARAK SİNYAL YANSIMASININ TESPİTİ

GPS gözlemlerindeki anten sinyal yansıma etkisini belirlemek için birçok yöntem mevcuttur. Ancak bunlardan en kolayı aynı çevre koşullarında elde edilen dengeleme sonrası düzeltme (residuals) değerlerini gün gün izlenerek belirlenmesidir. Çünkü her uydu yaklaşık 11 saat 58 dakikada bir tekrar etmektedir [3]. Farklı bir ifadeyle her uydu 11 saat 58 dakika sonra yine aynı noktadan geçmektedir. Ardışık günlere ait gözlemler farklı anten yüksekliklerini kullanmak ayrıca özel dizayn edilmiş çoklu yakın anten (Multiply Close Antenna) tipleri kullanarak yansıyan sinyalin tespiti yapılabilir [4].

3.1 Farklı Anten Yükseklikleri İle Sinyal Yansımasının Tespiti

1993 yılında New Brunswick Üniversitesi U.N.B Kampusunda Brian Boudreau tarafından yapılan çalışmada kampus içindeki Gillin Hall ve Head Hall binalarının çatılarında 9 günden fazla süren bir çalışma sonrası multipath hatasının nasıl tespit edildiğini ve sonuçlarını göstermiştir. Araştırmanın yapılacağı yer olarak Head Hall'in çatısındaki Hamilton istasyonu ile Gillin Hall'in çatısındaki Gillin istasyonu arasındaki kısa baz kenarı seçilmiştir (Şekil 1.). Bu seçimin sebebi, Hamilton istasyonunun koordinatlarının biliniyor olması ve Gillin istasyonunun 15 metre güneyinde yaklaşık 6 metre yüksekliğinde yansıtıcı özellikte bir duvarın olmasıdır.



Şekil 1. New Brunswick Üniversitesi'ndeki deney ortamı

Anten yükseklikleri 1, 2 ve 3 metre olarak belirlenmiş ve ölçümler her bir yükseklik değeri için 3 gün boyunca ayrı ayrı yapılmıştır. Anten faz merkezi kayıklığı hatasının sonuçları etkilememesi için anten

yöneltilmelerinde bir değişiklik yapılmamalıdır. Her ölçüm gününe bir önceki günden 4 dakika gecikmeli olarak başlanılması sonucu her bir gün için aynı uydu geometrisi tespit edilmiştir. Elde edilen ölçülerden multipath etki yaratacak olan uydular tespit edildikten sonra bu uydulara ait çiftli farklar kullanılarak residual değerleri bulunur. Hatayı oluşturan multipath'in sistematik tekrarları, residual çizimlerin karşılaştırılması ve çaprazlama korelasyonu ile görülebilir [5].

4.SİNYAL YANSIMASININ ETKİSİNİ AZALTMA YÖNTEMLERİ

Sinyal yansımalarını engellemek yada etkisini azaltmak amacıyla yapılan çalışmaları ;

- Uygun yer seçimiyle sinyal yansıma etkisi azaltma
- Farklı Anten Donanımları (hardware) ile sinyal yansıma etkisi azaltma
- Farklı Alıcı Yazılımları (software) ile sinyal yansıma etkisi azaltma

olarak üç ana başlık altında toplayabiliriz.

4.1 Uygun Nokta Seçimi

Sinyal yansıma etkisini azaltmak için kullanılan yöntemler arasında en kolayı uygun nokta seçimidir. Özellikle hassas sonuç isteyen GPS ölçülerinde (deformasyon ölçmeleri, tektonik kabuk hareketlerinin incelenmesi vb.) ölçüm yapılacak noktalar civarında sinyal yansıma etkisi yaratacak su birikintisi, parlak maddelerden yapılan bina çatıları, yansıtıcı yüzeye sahip yapay tesisler bulunmamalıdır.

4.2 Farklı anten donanımları (hardware) ile sinyal yansıma etkisi azaltma

GPS alıcı antenlerinin temel görevi uydulardan yayınlanan sinyalleri, çevresindeki objelerden yayılan sinyalleri ayıklayarak almaktır. Bazı özel tasarımı antenler bu özelliklere ilave olarak uydulardan gelen sinyallere diğer kaynaklardan karışan sinyalleri de ayıklama özelliğine sahiptir. Alıcı antenlerin esas olarak uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgalar içersindeki enerjiyi alıcı içersindeki elektronik devrelerde işlenebilecek elektrik akımına dönüşmektedir. Başka bir deyişle GPS alıcısı anteni uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgaları belirler ve elektrik devrelerine gönderir [6]. Doğrudan gelen bir GPS sinyali sağ el sistemine göre polarize iken yansıma sonucunda sol el sistemine döner. Böylelikle yansıyan sinyaller özel seçimli antenler tarafından daha kolay algılanabilmektedir [7]. Antenlerin şekli ve boyutu çok önemli olup, bu özellikler kısmen de olsa istenmeyen zayıf sinyallerin alıcıya ulaşmasında rol oynarlar. Jeodezik amaçlı antenler genellikle L_1 ve L_2 sinyallerinin her ikisini de alacak şekilde dizayn edilir.

Bu tip antenler sinyal yansıması etkisinden kurtulmak için ground plane veya iç içe geçmiş halkalardan oluşan choke ring antenler kullanılır. Ground plane ve choke ring antenler yapıları gereği yansıyan sinyalleri red edici bir özelliğe sahiptir. Ground plane'li antenlerin boyutları yansıyan sinyalin dalga boyuna göre değişir. Küçük ground plane'li antenler küçük dalga boylu yansıyan sinyallere karşı , büyük ground plane'li antenler büyük dalga boylu yansıyan sinyaller için dizayn edilmiştir. Ground plane antenler özellikle F modundaki sinyal yansımalarına karşı siper görevi görürler. Bu antenler toprak ve su gibi yansıtıcı yüzeylerin yarattığı sinyal yansımalarına karşı etkilidirler [8]. Ancak BA modunda (anten seviyesinin altından geriye doğru yansıyarak ulaşan sinyaller) yansımalar için ground plane antenler yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden kullanım amacı olarak aynı, ancak yapı olarak farklı olan choke ring antenler kullanılır. Bu tip yansımaları engellemek için temel olarak iç içe geçmiş çeyrek dalga boyu yüksekliğinde, 3 veya 5 alüminyum halkadan oluşan choke ring antenler kullanılır (Şekil 2). Hepsini aynı seviyede bulunan halkaların oluşturduğu choke ring antenlere 2 boyutlu (2B) antenler denilmektedir. Son yıllarda her halka seviyesinin farklı yükseklikte yapılmasıyla 3 boyutlu (3B) choke ring antenler üretilmeye başlamıştır [9].



Şekil 2. 2B ve 3B choke ring antenler

4.3 Farklı Alıcı Yazılımları (Software) İle Sinyal Yansıma Etkisi Azaltma

Sinyal yansımasının donanım (hardware) çözümü olarak ta bilinen ground plane ve choke ring antenleri bir önceki konuda bahsetmiştik. Sinyal yansıma hatasının donanım ile çözümü bir takım GPS kullanıcıları arasında çeşitli tartışmalara yol açmıştır. Bir çok durumda özellikle kinematik ölçümlerde gerek ground plane gerekse choke ring antenlerin büyüklüğü arazi ölçümlerinde GPS kullanıcılarının zorlanmasına sebep olmuştur. Bundan dolayı iyi GPS çözümleri için alıcı içinde yapılacak dahili bir işleme gerek duyulmuştur. Bir çok GPS firması bu çözümü gerçekleştirmek için çalışmalara başlamıştır. Bu çalışmaların başarılı sonucu olarak GPS alıcılarında yeni teknolojiler kullanılmaya başlanılmıştır. Bu yeni teknolojiler Narrow Correlator, Multipath Elimination Technique (METTM) Multipath Elimination Technology (MET), Multipath Estimation Delay-Lock-Loop (MEDLL), MEDLLTM, Strobe CorrelatorTM olarak isimlendirilir [10,11]

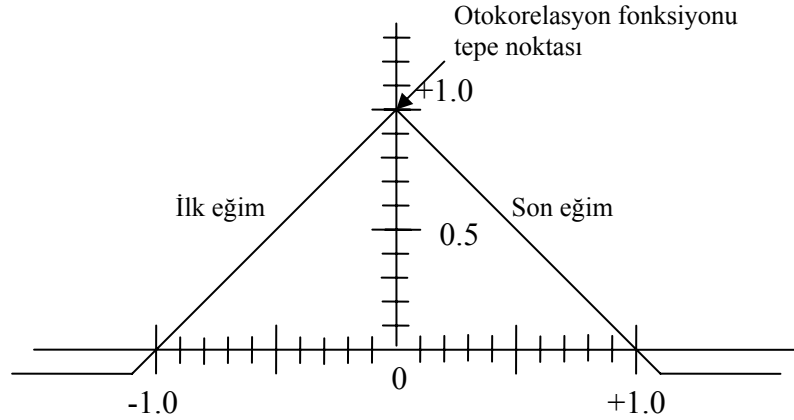
Günümüzde GPS alıcılarını farklı şekilde sınıflandırmak (kanal sayısına göre, izlenen uydu sinyaline göre, kullanım amacına göre) mümkündür. İzlenen uydu sinyaline bağlı olarak iki temel alıcı tipi bulunur. Bunlar P(Y) ve C/A kodların her ikisini de izleme yeteneğine sahip olan alıcılar ve yalnızca C/A kod izleme yeteneğine sahip olan alıcılardır.

Alıcılar hakkında çok genel olarak şunlar söylenebilir

- C/A kod ölçen alıcılara yalnızca L_1 pseudorange ölçüsü yapılır ve bu tip alıcılar ölçüm amacından çok hobi amaçlı (dağcılık yat gezisi) kullanılır.
- C/A kodlu taşıyıcı dalga fazı ölçen alıcılar, yalnızca L_1 frekansında kod ve faz ölçüleri ile L_2 frekansında yalnızca faz ölçüsü yaparlar ve her türlü ölçü (statik, kinematik, hızlı statik) yapılmaktadır.
- P kod alıcıları P kod kullanırlar ve böylece L_1 ve L_2 frekanslarının her ikisinde de çalışmaktadırlar. Taşıyıcı dalgadaki P kod verileri bunların alıcı içersinde üretilen benzeri ile karşılaştırılarak elde edilmektedir. Bu şekilde uydudan alınan sinyal ile bunun alıcıda üretilen benzerinin karşılaştırılması ile çapraz korelasyon (cross correlation) yapılmaktadır. Uydu sinyalindeki kod bileşenleri ayıklanana kadar faz ölçüsü yapmak mümkün değildir. Bu alıcıların en önemli üstünlüğü uzun bazların santimetre mertebesinde doğrulukla belirlenebilmesidir. Ancak AS (anti-spoofing) özelliğinin uygulanmaya başlanmasıyla P kod kriptolanmış ve böylece Y kod kullanılmaya başlanmıştır. P kodlu alıcılarla L_2 frekansında veri toplamak için günümüzde kullanılan yöntemler; sinyalin karesini alma tekniği (squaring), çapraz korelasyon (cross correlation), kare alma tekniği kullanarak kod korelasyonu olarak sayılabilir.

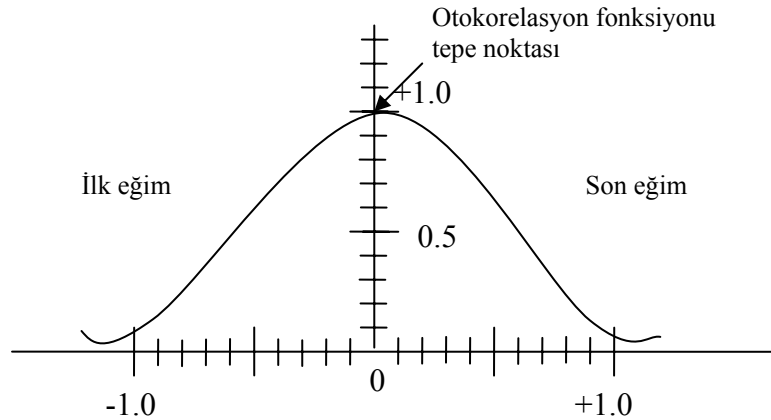
- Y kod alıcıları AS etkisi altındaki P kod'a doğrudan ulaşım sağlamaktadır. Ancak Y kodlu alıcılar askeri amaçlı alıcılar olup bu alıcıların her bir kanalında AOC (Auxiliary Output Chip) modđlđ takılı olmalı ve alıcılarda SM (Security Modđlđ) modđlđn olması gerekmektedir [6].

Günümüzde ideal alıcılarda GPS' den yayılan sinyallerin tamamının yakalamasına izin veren ve son derece yaygın olarak kullanılan 2.046 Mhz band genişliğine "Bandwidth" (BW) sahiptir. GPS alıcılarının kullandığı normal oto korelasyon fonksiyonu Şekil 3 de gđsterilmektedir.



Şekil 3. Normal oto korelasyon fonksiyonu [10]

Oto korelasyon fonksiyonunun tepe noktası sürekli alıcı tarafından üretilen kod ile sürekli dengelenerek korunur. 2.046 Mhz band genişliğindeki (Bandwidth, BW) GPS alıcılarının genel amacı yaklaşık %90 oranında, GPS C/A kodundan yayılan RF sinyallerin yakalamaktır. 2.046 Mhz daha dar band genişliğine sahip alıcılarda ki korelasyon fonksiyonu daha büyük yuvarlak olacaktır. (Şekil 4) sınırlı 2 Mhz BW' de ki yassılma ve yuvarlanmaları gđrölmektedir.



Şekil 4. İki Mhz sınırlı band genişliğine sahip alıcıdaki oto korelasyon fonksiyonu [10]

(Şekil 4)' de gđröldüđü gibi özellikle 2 Mhz sınırlı BW için bir çok problem vardır. Sınırlı BW her zaman tepe noktasında bir düzlük gđrölebilir. Bu düzlük gezici bir sonuç yaratır ve gerçek korelasyon tepe noktasının oluşmasında hata düzeltmeleri için önce ve sonraki eğimlerin belirlenmesinde belirsizlik yaratır. Korelasyondaki belirsizlik direkt olarak uzunluktaki (range) belirsizliğe dönüşür.

Korelasyonun tepe noktasındaki belirsizliği azaltılmasında yardımcı benimsenen çözüm olarak genellikle her uydu kanalında dakik er ve geç olarak isimlendirilen 3 korelasyon modeli kullanılır. Erken (E), geç (L) ilişkileri, genellikle her bir diğerinden 1 chip boşlukla ayrılmış iken dakik (P) ise onların arasında merkezdedir. (P-0.5 chip = early, ve P+0.5 = late)

Bu korelator tekniği standart korelator tekniği olarak isimlendirilir ve günümüzde ki bir çok alıcıda kullanılan en yaygın tekniktir. NC (Narrow Corelator), MET (Multipath Elimination Technology), MEDLL (Multipath Estimation Delay-Lock-Loop) tekniklerinde ise normal oto korelasyon fonksiyonu kullanılmaz [9].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Standart bir 0.5 çip korelator aralıklı bir alıcı için, 1.5 çipten (440 m. veya 1466 nanosaniye) daha yüksek mesafeden meydana gelen sinyal gecikmeleri etkili olarak dekorele olur ve bu yüzden uzunluk ölçüsü hassasiyetine etki etmez [12,13,14]. Bu mesafe 0.1 çip korelator aralıklı bir alıcı için 1.1 çipten daha yüksektir. Buda yaklaşık olarak 1075 nanosaniye yada 320 metre olarak ifade edilmiştir [15]. Farklı bir ifadeyle meydana gelen sinyal yansımalarında GPS sinyalinin kuvvetinin azalacağı bir gerçektir. Standart bir alıcı için 440 metreden daha fazla bir sinyal gecikmesi meydana gelmesi durumunda GPS alıcısının geciken bu sinyali fark edemeyeceği bulunmuştur [16].

Yapılan uygulamalarda GPS sinyal yansımasının nokta konumlarına etkisinin 1 cm'den daha küçük değerlerde olduğu görülmüştür [17]. Sinyal yansıma etkisi gelişen GPS teknolojisine paralel olarak minimize edilmiştir. Ancak düzenli bir hata olmadığı için tamamen giderilememiştir. Özellikle yüksek presizyon istenen GPS uygulamalarında bu etki GPS değerlendirmelerinde hatalı sonuçlar ortaya çıkarabilir. Bu nedenle GPS gözlemlerinden yüksek presizyon elde etmek isteniyorsa;

- Sinyal yansımasına maruz kalmamak için uygulanacak yöntemlerden en kolayı ve en ucuzu anten kurulacak noktanın doğru seçimidir. Noktaların seçiminde mümkün olduğunca yansıtıcı yüzeylerden uzak durulması gerekmektedir. Bunun için modern bir GPS anteni, yansıtıcı yüzeyden 320 metre uzakta bu etkiye maruz kalmamaktadır [16].
- Gözlemlerde sinyal yansımasını azaltıcı antenler (Choke Ring, Ground Plane) kullanılmalıdır.
- Düşük açılı uydularda daha fazla sinyal yansıması olacağı düşünülerek yükseklik açısı 10° - 20° arasında seçilmelidir.

hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Young, L.E.,Neilen,R.E., Bletzacker,F.R., 1989 GPS Satellite Multipath, An Experimental Inverstigal Proc.Symp.Pos. GPS, Rocville, MD, Nisan
- 2.Kahveci, M.1997, Türkiye Koşullarında Yapılan GPS Gözlemlerinde Ortam Etkilerinin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ocak 1997
3. El-Rabbany, A.,2002 "Introduction to GPS: The Global Positioning System" Artech House, Boston, 2002.
4. Ray, J.K., (2000). Mitigation of GPS Code and Carrier Phase Multipath Effects Using a Multi-Antenna System, *Doktora tezi* , University of Calgary, Canada
5. Boudreau B.,1993 "GPS multipath Detection With Varying Antenna Height", Report II submitted in partial fulfillment of requirements for the degree of Bachelor of Science in Engineering in the Department of Surveying Engineering., Department of Surveying Engineering University of New Brunswick Fredericton, N.B. 1993 December

6. Kahveci M., Yıldız F. 2000. "Global Konum Belirleme Sistemleri " Nobel Yayınları 2000
7. Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, and J. Collins 2001. "Global Positioning System, Theory and Practice". Springer Verlag, Wien
8. Geiger,A., 1990, "Influence of Phase Center Variations on the Combination of Different Antenna Types, In Proceedings of Second International Symposium on Precise Positioning with the GPS", Ottawa, 3-7 Eylül Kanada
9. Waldemar, K. 2000. "Discussions on RF Signal Propagation and Multipath", Novatell, 2000
10. Waldemar K.2002. "A three Dimensinoal Choke Ring Ground Plane Antenna" Novatell 200210.(Waldemar 2000,
11. Van Nee, R. D. J. 1995. "Multipath and Multi-Transmitter Interference in Spread-Spectrum Communication and Navigation Systems" ,Delft University Press, Delft, The Netherlands
12. Braasch, M.S., 1992." On the Characteristics of Multipath Errors in Satellite-Based Precision Approach and Landing Systems", Depertmant of the Electrical and Computer Engineering. Ohio University 1992
13. Braasch, M.S.1994 "Isolation of GPS Multipath and Receiver Tracking Errors,".Navigation: Journal of The Institute of Navigation, vol.41
14. Braasch, M.S.1995."GPS and DGPS Multipath Effects and Modelling," ION GPS-95.,Navtech Seminars
15. Van Dierendonck,A.J., Fenton P., and Ford T., 1992, "Theory and Performance of Narrow Coerlator Spacing in a GPS Receivers",The Institute of Navigation National Technical Meeting, San Diego
16. Hannah, B. 2001, "Modelling and Simulation of GPS Multipath Propagation" The Cooperative Resarch Center for Satellite Systems Queensland Univercity of Technology, PhD Thesis, Australia Mart 2001
17. Tiryakioğlu İ., GPS Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması, Y.Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, (2005).