

DİFERANSİYEL GPS (DGPS) VE UYGULAMA ALANLARI*

İbrahim KINIK
Muzaffer KAHVECİ
Mustafa OCAK

ÖZET

Bilindiği gibi Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı GPS ile anlık konum belirleme doğruluğunu seçimli doğruluk erişimi (Selective Availability-SA) yöntemiyle düşürebilmektedir. SA, C/A kod doğruluğunu azaltır ve alıcı konumlarının 100 m ye varan hatalar ile belirlenmesine neden olur. Ancak DGPS ile SA etkisinin tamamına yakın bir bölümü giderilebilmektedir. DGPS sabit istasyon adı verilen bir alıcıyı bilinen bir noktaya yerleştirme ve bu alıcının topladığı uydu bilgileri ve bilinen koordinatlarının karşılaştırılması ile bilinmeyen noktalarda gezen (remote, rover) alıcıların hesapladıkları konumlara düzeltme getirme işlemidir. Bilinmeyen gezen alıcı konum doğruluğu sabit alıcının hesapladığı düzeltmelerle 1-5 m düzeyine çıkarılabilir. Özel uygulamalarda (faz ölçüleriyle) ise anlık konum doğrulukları dm düzeyinde elde edilebilir. Bu yazıda, DGPS uygulamalarının genel prensipleri kısaca açıklanmış ve Ankara GPS Test Ağı'nda yapılan uygulamanın sonuçları verilmiştir.

ABSTRACT

As it is well known, the DoD has the ability to degrade GPS accuracy at any time with Selective Availability (SA). SA degrades the C/A-code so that earth-based receivers may miscalculate their positions up to 100 meters. SA error is almost completely removed through differential correction.

Differential Correction is the process of placing a receiver on a known location, called a base station, and using the collected satellite data to adjust GPS positions computed by other receivers (rovers or remotes) at unknown locations. The unknown rover positions are compared to the known base station positions, and the offset differences are used to increase the accuracy of the rover positions to 1-5 meters CEP (Circular Error Probable).

In some special applications (using carrier phase observations), the instant position accuracies can be obtained at dm level.

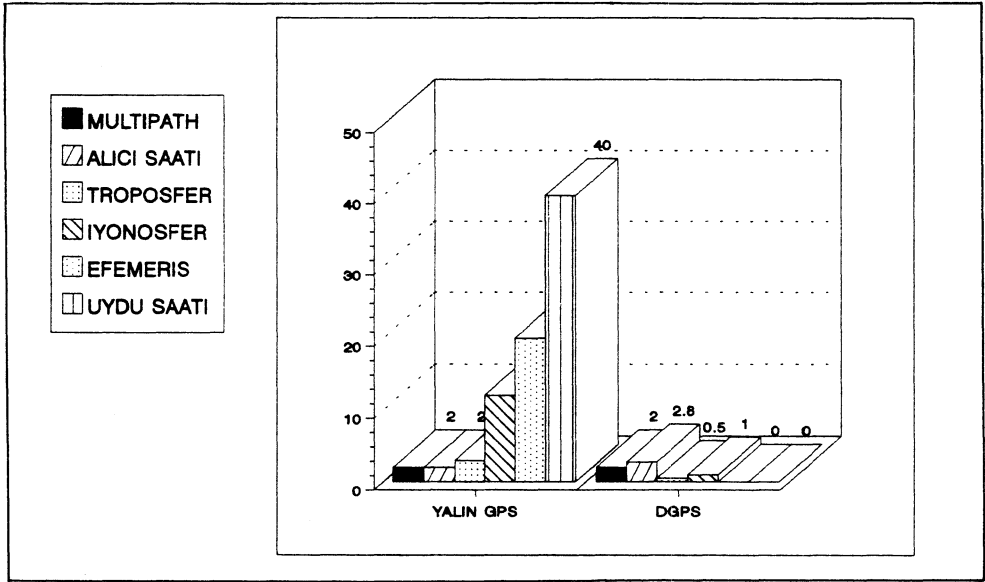
In this study, the basic principles of DGPS applications are shortly explained and some results of a numerical experiment achieved in Ankara GPS Test Network are presented.

* 3 Mayıs 1995 tarihinde TUJTB Jeodezi Kongresinde sunulan bildirinin yeniden düzenlenmiş şeklidir.

1. GİRİŞ

GPS ile konumlamada doğruluğu etkileyen ana hatalar, sistemden (uydu yörünge ve saat hataları) ve ortamdan kaynaklanır. Uyduların yer merkezinden yaklaşık 26.500 km uzaklıkta olduğu düşünülürse, yeryüzünde birbirine yakın noktalardaki hata değerlerinin yaklaşık aynı olacağı söylenebilir.

DGPS yönteminde temel prensip, NAVSTAR/GPS uydu sinyallerinden yararlanarak konumu iyi bilinen bir referans noktasındaki alıcıda hesaplanan anlık düzeltme değerleri kullanılarak 0-500 km uzaklıktaki alıcıların hatalı konumlarının iyileştirilmesidir. Böylece, yalın GPS kullanımında 100-150 m ye varan anlık konum hatalarının referans istasyonuna uzaklığa bağlı olarak 5 m yi geçmemesi sağlanır (Şekil-1).



Şekil-1: GPS ve DGPS'le hata kaynakları

Pratikte yaygın olarak uygulanan kod ölçüleri ile DGPS yöntemi için ifade edilmiş olan konum hata değerleri (1-5 m), faz farkı ölçülerinin kullanıldığı özel yöntemlerde cm düzeyine indirilebilir. Pratik jeodezik uygulamalarda kullanılan bu yöntemde referans alıcı ile gezici alıcılar arasındaki uzaklıklar önemli ölçüde (10 km ye kadar) azalmaktadır /1/,/2/.

Referans alıcıda düzeltmeler, noktanın kesin koordinatları ve GPS sinyallerinden hesaplanan anlık koordinatların farkı olarak (konum düzeltme

yöntemi) hesaplanabilir. Ancak pratikte kesin koordinatlarla hesaplanan uydu-alıcı uzaklığının uydu sinyalleriyle ölçülen uzaklıktan farkı (gözlem düzeltme yöntemi) daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

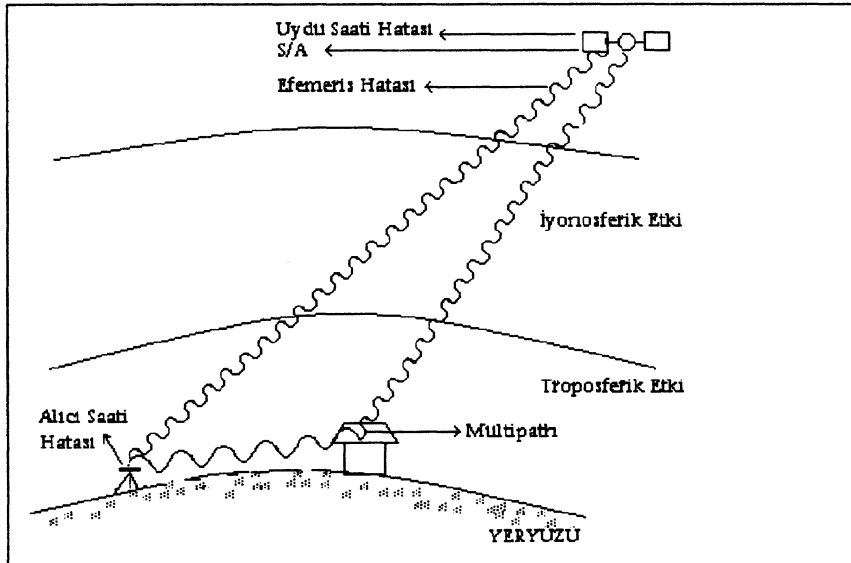
Referans istasyonunda hesaplanan düzeltmeler anında (real time) diğer alıcılara gönderilebileceği gibi, ölçü sonrası değerlendirme de (post processing) yapılabilir.

İkinci bölümde GPS hata kaynakları incelendikten sonra, DGPS yöntemleri, uygulama alanları ve ilgili donanım ve yazılımlar sırasıyla üç, dört ve beşinci bölümlerde verilmektedir. Altıncı bölümde, Ankara GPS Test Ağı (AGTA) bölgesinde yapılan sayısal uygulama ve elde edilen sonuçlar açıklandıktan sonra yedinci bölümde sonuç ve öneriler verilmektedir.

2. GPS HATA KAYNAKLARI

Bir GPS alıcısı ile bir yeryüzü noktasında mutlak konum belirlemenin doğruluğu, atmosferik etkiler ve sistemden kaynaklanan hatalar nedeniyle oldukça düşük olmaktadır. Bu hata kaynakları genel olarak uydu ve alıcı saati hataları, atmosferik etkiler, sinyal yansıması (multipath) hatası, uydu efemeris hataları ve seçimli doğruluk erişimi (SA) olarak sıralanabilir (Şekil-2). Söz konusu hatalar ve bunların büyüklükleri ile ilgili ayrıntılı bilgi /8/ ve /9/'da verilmektedir.

Yukarıda belirtilen hata kaynaklarının büyük bölümü DGPS ile giderilmektedir. Dolayısıyla, DGPS'deki temel düşünce geleneksel GPS sisteminde mevcut olan hataların büyüklüğünü belirlemek ve bunları düzeltmek şeklinde ifade edilebilir.



Şekil-2: GPS'de hata kaynakları

Kod gözlemi yapılarak DGPS ile elde edilebilecek doğruluklar dinamik platformlardaki uygulamalar için sabit alıcı ile gezen alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olarak 1-20 metre, statik uygulamalar için ise 1-5 m arasında değişmektedir /12/,/14/. Gezen alıcının referans alıcıya uzaklığı azaldıkça, GPS hata kaynaklarının her iki alıcıyı da etkileme miktarı giderek aynı olacaktır. Özellikle atmosferik hataların 250 km'den sonra hızla farklılaşan miktarlarda olması nedeniyle gezen alıcı ile referans alıcı arasındaki uzaklık 250 km'ye kadar "yakın", 500 km'ye kadar "uzak" olarak tanımlanır ve genel olarak 500 km'yi aşmaması istenir. Söz konusu uzaklıklar içinde referans alıcıda hesaplanan düzeltmelerin gezen alıcıya uygulanması ile sistemin yapısından kaynaklanan hataların önemli bir bölümü (uydu yörünge hataları, uydu saat hataları, iyonosfer ve troposfer hataları) tümüyle giderilmiş veya çok azaltılmış olur. Uydu konum bilgilerinin ve/veya uydu saatlerinin kasıtlı olarak bozulmaları biçiminde (epsilon ve dither teknikleri) uygulanan seçimli doğruluk erişimi nedeniyle oluşan anlık konum hataları da DGPS yöntemiyle giderilir. Bu özellik, DGPS'in en önemli etkinlik ve üstünlüklerinden birini oluşturur. Bu yöntemde giderilemeyen hata kaynakları ise sinyal yansıma etkileri ve alıcı saati hatalarıdır. Çünkü bu hatalar nokta konumu ve alıcı donanımına bağlı olduğundan diğer alıcılarda bir ilişki söz konusu değildir.

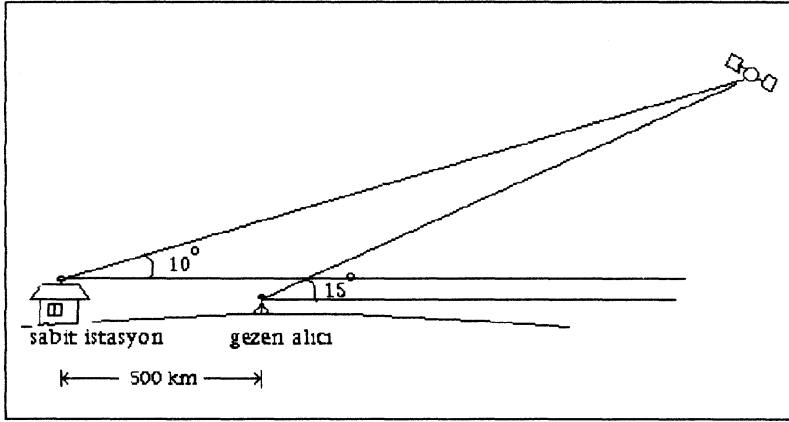
Söz konusu hataların geleneksel (standart) GPS (C/A-kod'lu alıcı) ve DGPS'deki her bir ham uydu-alıcı uzaklığı için ortalama değerleri ve bunların toplam değeri (URE: User Equivalent Range Error) ile ilgili genel bilgiler Tablo-1'de verilmektedir /1/,/2/,/6/,/10/,/14/.

Tablo-1: GPS ve DGPS hata büyüklükleri (C/A-kod için)

Hata Kaynağı	Standart GPS (m)		DGPS (m)
	SA Açık	SA Kapalı	
Uydu Saati	40.0	1.7	0.0
Efemeris Hatası	20.0	3.5	0.0
İyonosfer	12.0	12.0	1.0
Troposfer	3.0	3.0	0.5
Alıcı Saati	2.0	2.0	2.8
Multipath	2.0	2.0	2.0
Sistem Toplam URE (%95) Değeri	46.5	13.3	3.6

3. DGPS İÇİN YÖNTEMLER

DGPS yönteminde biri sabit (referans) diğeri gezen (rover) olmak üzere en az iki alıcıya gereksinim vardır. Sabit alıcı anteni, konumu daha önceden yermerkezcil bir sistemde (WGS-84, ITRF..) yüksek doğrulukla belirlenmiş ve mümkünse bölgenin ortasında bir noktaya kurulur. Sabit noktaya kurulan alıcının, bulunulan enlemde tüm uyduları gözleyebilmesi için çok kanallı olması tercih edilmektedir. Yayınlanan düzeltmelerin tipine göre gözlem düzeltme metodu (measurement space method), konum düzeltme metodu (solution space method), haberleşme frekansı metodu (translated frequency method) ve dinamik faz gözlemi metodu (dynamic phase tracking) olmak üzere genel olarak 4 yöntem mevcut olup gözlem düzeltme yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil-3). Bu yazıda son iki yöntem konu dışı bırakılmıştır.



Şekil-3: Sabit istasyon ve gezen alıcı veri toplama yükseklik açısı sınırı

Gözlem düzeltme yönteminde, sabit noktadaki alıcı, kurulduğu noktada gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydu-alıcı uzaklıklarını (pseudoranges) uydu sinyallerinden yararlar hesaplayarak, bu değerleri kendi bilinen konumundan yararlar hesapladığı (gerçekte olması gereken) uydu-alıcı uzaklıklarıyla karşılaştırır. Aradaki farklar (diferansiyel düzeltmeler) uydu-alıcı uzaklıklarının hataları olarak yorumlanır.

Gezen alıcılar ise uygun durumdaki en az dört uyduyu izleyerek uydu-alıcı uzaklıklarını hesaplarlar. Daha sonra sabit istasyondan gönderilen eşlenik (sabit ve gezen alıcılarda konumlama için kullanılan aynı) uyduların alıcıya uzaklıklarına ait düzeltme değerleri ile gezen alıcı koordinatları yeniden hesaplanır.

Konum düzeltme yönteminde ise, sabit noktadaki alıcı gözlem yaptığı uydu sinyallerinden yararlar kendi konumunu (enlem, boylam, elipsoit yüksekliği) hesaplar ve duyarlı olarak bilinen konumu (kesin koordinatlar) ile karşılaştırır. Aradaki fark gezen alıcı/alıcılar tarafından hesaplanan kendi (hatalı) konumlarına düzeltme olarak getirilir /12/.

Konum düzeltme yöntemi, gözlem düzeltme yöntemine göre daha basit olmakla birlikte özellikle hareketli platformlardaki anlık uygulamalarda bazı sorunlar yaratmaktadır. Ayrıca, konum düzeltme yönteminin uygulanabilmesi için, sabit noktadaki alıcının gezen alıcıda hangi uydulara gözlem yapıldığını bilmesi gerekmektedir. Ancak, genellikle, bu durum olanaklı olmadığından, sabit alıcı gözlem yaptığı tüm uydulara ait bütün olası dörtlü uydu kombinasyonlarını düşünerek düzeltmeleri hesaplayıp yayınlaması gerekmektedir /4/. Bu ise yüzlerce olası kombinasyona ait düzeltmelerin hesabı ve yayınlanması demektir. Oysa, sabit alıcı ile gezen alıcıların özellikle uzun mesafelerde farklı uydulara gözlem yapma olasılığı olduğundan bu yöntem uygulamada tercih edilmemektedir. Örneğin, sabit noktadaki alıcı 8 uyduya gözlem yapmışsa, 70 değişik 4'lü uydu konfigürasyona ilişkin düzeltmeleri hesaplayıp çok kısa sürede yayınlamak zorundadır. Bu ise zaman alıcıdır.

Yukarıda anlatılan diferansiyel düzeltmeler, uygulanış zamanı bakımından, konumu belirlenecek noktadaki alıcılara genel olarak iki şekilde aktarılmaktadır. Bunlar;

- Anlık (real-time) diferansiyel düzeltme,
- Gözlem sonrası yapılacak değerlendirme (post-process) ile diferansiyel düzeltmedir.

Anlık DGPS yönteminde sabit noktadaki alıcı gerekli düzeltmeleri her uydu için hesapladığı an bunu yayınlar. Bu yayınlar gezen alıcılar tarafından alınarak kendi konumlarına düzeltme olarak getirilir ve böylece çok kısa zaman aralıklarında gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenmiş olur. Bu yöntem özellikle uçak, gemi gibi hareketli (dinamik) platformlardaki kullanımlarda çok önemlidir.

Sabit istasyonda hesaplanan düzeltmeler, diğer alıcılara yakın mesafeler için özel amaçlı telsizlerle, uzak mesafeler ve dağlık bölgelerde modem veya röleler ile, daha geniş çaptaki global uygulamalarda ise haberleşme uydularından yararlar anlık olarak gönderilmektedir. Düzeltmeleri göndermek için seçilecek olan bu veri aktarma sistemlerinden hangisinin kullanılacağı, noktalar arası görüş ve uzaklığa, güvenlik ve elektronik karıştırma gibi konulara bağlıdır. Bu yayınlar gezen alıcılarda mevcut aynı özellikteki telsizler ile alınmaktadır. Sabit istasyondan gönderilen düzeltmeler kullanıcının belirlediği bir formatta olabilmektedir. Ancak, tüm dünyada ortak kullanım olanağının sağlanması amacıyla bu düzeltmeler uluslararası bir standart olan RTCM SC-104 (Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee-104) formatında yayınlanmaktadır/13/. RTCM SC-104 Version 2.0 ile belirtilen standart mesajlar Tablo-2'de verilmektedir /7/.

Tablo-2: RTCM SC-104 (Version 2.0) mesaj standartları

Mesaj No.	Mesaj Adı	Mesaj No.	Mesaj Adı
1	Diferansiyel Düzeltme	11	C/A Kod L1 ve L2 Düzeltme Farkları
2	Dif.Düzeltme Farkları	12	Pseydolit İstasyon Parametreleri
3	Sabit İstasyonun Konumu	13	Yer Yayınlayıcı Parametreleri
4	Survey Ölçüleri	14	Yardımcı Ölçme Parametreleri
5	Uyduların Sağlık Bilgileri	15	Atmosferik Parametreleri
6	Boş	16	Özel ASCII Mesajları
7	Yer İstasyonu Almanacağı	17	Efemeris Almanak
8	Pseydolit Almanacağı	18	Tanımsız
9	Yüksek hızda L1 ve L2 Diferansiyel Düzeltmeleri	19	Tanımsız
10	P-Kod Dif.Düzeltmesi	20	Dif.LORAN-C Mesajları

Tablo-2'de 1 numaralı mesaj, temel mesaj olarak yayınlanmaktadır. Bu mesaj formatında uydu-alıcı mesafelerine olan düzeltme bilgilerinin yanında navigasyon amaçlı uygulamalar için bu düzeltmelerin değişim oranı da (RRC:Range Rate Correction) yayınlanmaktadır. Böylece gezen alıcı tarafından hesaplanan t anındaki uydu-alıcı uzaklıkları (S(t)), 1 numaralı mesaj bilgilerinden yararlar,

$$S(t) = S_m(t) + S_o + (dS_3/dt) (t - t_o)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada,

$S_m(t)$: t anındaki metre biriminde alıcı tarafından hesaplanan uydu-alıcı uzaklığı (pseudorange)

S_o : t anındaki pseudorange düzeltmesi

dS/dt : Pseudorange düzeltmesi değişim oranı

t_o : Mesaj içerisindeki veriler için referans zamanı (modified Z-count)

RRC yayını ile, gezen alıcılar, sabit alıcıdan bir sonraki düzeltme miktarını alıncaya kadar arada geçen süre içerisindeki konumları da bu orandan yararlar hesaplayabilmektedir.

RTCM standartlarına göre, sabit alıcı tarafından gönderilen iki düzeltme bilgisi arasında geçen zamanın, en az 10 sn olması gerektiği belirtilmektedir. Bu ise sabit alıcı ile gezen alıcı arasındaki veri aktarım

hızının 50 baud (bps; bits per second) olması anlamına gelmektedir /13/,/7/. Ancak referans noktasındaki alıcı tarafından izlenen uydu sayısının ortalama 8 olduğu düşünülürse, bu durumda tüm düzeltmelerin hesabı ve bunların diğer alıcılara gönderilmesi zaman alacaktır. Bu geçen süreye alıcı sinyal gecikmesi (Latency) adı verilmektedir. Özellikle seçimli doğruluk erişimi SA'nin açık olduğu durumlarda (24 uydudan oluşan tam konfigürasyonun tamamlandığı EYLÜL 1993'ten sonra SA ve A-S'nin sürekli uygulamada olacağı hatırlanırsa) 10 sn bir çok hareketli platform için büyük zaman aralığıdır. Ayrıca Tablo-2'de verilen mesajlardan bazılarının aynı anda yayınlandığı düşünülürse 50 baud'luk hız oldukça düşük kalmaktadır (Tablo-2'de verilen mesajlardan 3 ve 7 numaralı mesajlar örneğin 15 dakikada bir yayınlanmaktadır). Bu nedenle yapılan denemelerden de sabit istasyondan verilerin gönderilme hızı için en uygun değer 100 baud olduğu görülmüştür /7/. Bu da yaklaşık 5 sn'lik bir süreye (update rate) karşılık gelmektedir. Bu süre aralığı özellikle SA açık olduğu durumlarda daha da önem kazanmaktadır. Dolayısıyla, yüksek dinamik platformlarda (örneğin uçaklarda) düzeltme verileri aktarım hızının 100 baud ve daha yukarı seçilmesi uygun olacaktır. Örneğin, yapılan denemelerde, SA kapalı olduğu durumlarda bile pseudorange değişim oranının 0.5 m/sn olduğu belirlenmiştir /5/.

Gözlem sonrası değerlendirme yönteminde (Post-Processed DGPS) ise yukarıda anlatılan anlık bağlantıyı sağlayacak ek donanımlara gereksinim bulunmamaktadır. Çünkü bu yöntemin kullanılacağı alanlar genelde anlık konuma gereksinim duymayan statik ve dinamik platformlardır. Burada, gezen alıcı tüm uydulara ilişkin kod gözlemlerini ve gözlem zamanlarını hafızasına kaydeder. Aynı şekilde, sabit noktadaki alıcı da her uydu için hesapladığı düzeltmeleri ve zaman bilgisini kaydeder. Arazi dönüşünde, büroda her iki alıcı tarafından kaydedilmiş veriler bilgisayarda yüklü olan DGPS amaçlı bir yazılım kullanılarak değerlendirilir ve gezen alıcının kaydettiği verilere gerekli düzeltmeler getirilir.

DGPS yönteminin daha düzenli ve güvenilir sonuçlar vermesi için sabit alıcının, gezen alıcının gözlem yaptığı aynı uyduları kapsayan bir uydu kümesine gözlem yapması gereklidir. Bunun için sabit alıcının veri toplama yükseklik açısı gezen alıcı/alıcılarınkinden daha düşük olmalıdır. Böylece belirli uzaklıklar için (yaklaşık 500 km) gezen alıcılar tarafından gözlenen tüm uyduların sabit alıcı tarafından da gözlenmesi sağlanacaktır. Genel bir kural olarak gezen alıcının veri toplama açısı sınırı sabit istasyondan olan her 100 km uzaklık için bir derece artırılmalıdır /12/. Örneğin sabit istasyonda veri toplama açısı 10 derece ise, buradan 500 km uzaklıktaki bir gezen alıcı için bu değer en az 15 derece olmalıdır (Şekil-2).

4. DGPS'İN UYGULAMA ALANLARI

DGPS halen çok çeşitli alanlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Askeri Amaçlı Kullanımlar
- Sahil Güvenlik
- Kara, Deniz ve Hava Araçlarının Navigasyonunda
- Tarım
- Kamu Güvenliği (Asayiş)
- Orman ve Doğal Kaynakların Etkili Kullanımı ve Korunması
- Arkeoloji
- Petrol Arama
- Pratik Mühendislik Amaçlı Konum Belirleme
- Hidrografik Amaçlı Ölçmeler
- Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Amaçlı Veri Toplama

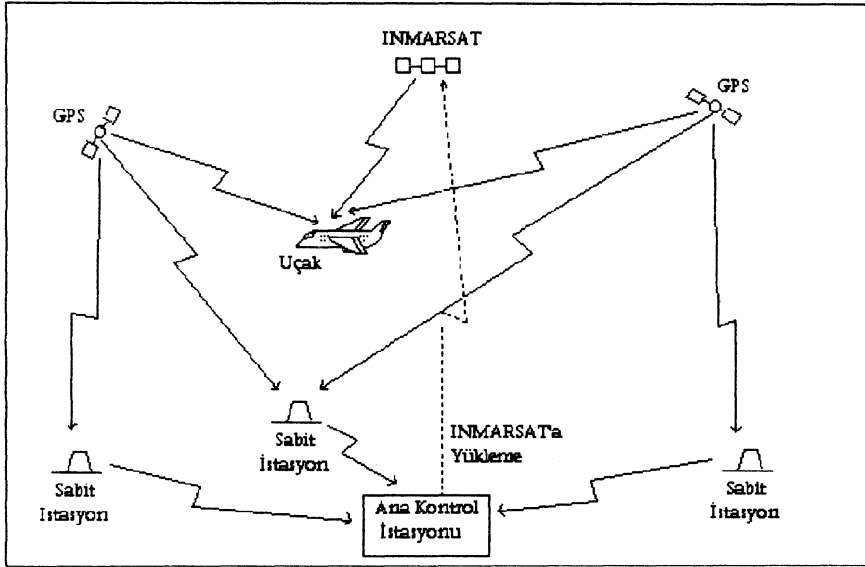
DGPS'in özellikle Deniz ve Havacılıkta kullanımı başka sorunları da beraberinde getirmiştir. Çünkü, uçak ve gemilerin sabit istasyondan çok uzun mesafelere gitmesi söz konusudur. Bu durumda ise DGPS'in temel esprisi olan ve Tablo-1'de verilen hata kaynaklarının tüm noktalarda korelasyonlu (ortak) olma özelliği ortadan kalkmaktadır. Dolayısıyla sabit istasyondan uzaklaştıkça doğruluk da o oranda düşecektir.

DGPS'in bu sakıncalarını gidermek için Avrupa ve Amerika'da yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin, söz konusu kullanıcılara bu konuda standart bir hizmet verebilmek amacıyla Mayıs 1993'de Avrupa Uzay Ajansı'nın da desteği ile WADGPS (Wide Area DGPS) çalışmaları tüm Avrupa'yı kapsayacak şekilde başlatılmış ve ölçü kampanyaları gerçekleştirilmiştir /3/. Bu çalışmaların amacı, çok geniş bir alanda birden fazla sabit istasyon ve bir tane de ana kontrol istasyonu (MCS: Master Control Station) oluşturmak ve bu istasyonlardan sürekli olarak izlenen uydulara ait verilerden yararla hesaplanan düzeltmeleri her bir uydu için kullanıcılara yayınlamaktır.

DGPS'in uçaklar için kullanımında zaman çok önemli bir sorun olduğundan düzeltme verilerinin yayınlanmasında RTCM SC-104 formatı yerine RTCA SC-159 WAAS (Radio Technical Commission for Aeronautics Special Committee 159 Wide Area Augmentation System) formatının kullanımı tercih edilmektedir. Bu mesajlar uçaklara UHF bandından, 462.4 MHz'de ve 9600 baud hızında gönderilmektedir /11/. Söz konusu uygulama büyük bir alanı kapsadığından, düzeltme değerlerinin yayınlanmasında yer istasyonlarından daha çok haberleşme uydularından yararlanılmaktadır. Örneğin WAAS mesajlarının yayınlanmasında INMARSAT-3 haberleşme uydularından yararlanılmaktadır (Şekil-4).

DGPS'in yukarıda belirtilen amaçlar dışında en önemli uygulama alanlarından birisi de araç filolarının idaresi ve kontrolüdür. Bu yöntemin henüz Türkiye'de tam olarak uygulaması bulunmamakla birlikte, gelecekte, en çok kamu güvenliği amacıyla araçların (kara, deniz, hava araçları) sevk ve idaresinde etkili bir şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir. Örneğin, bir araç filosu varsa ve her bir araca DGPS alıcısı konmuşsa, bunlar kendi

konumlarını periyodik olarak ana kontrol merkezine gönderirler (V-tracking; vehicle tracking). Ana kontrol merkezinde hesaplanan düzeltmeler araçlara tekrar gönderilmezler. Çünkü, burada amaç kontrol merkezinin her bir aracın o anda nerede olduğuna ilişkin doğru bilgi elde etmesidir. Araç sürücüleri ise yalnızca kendi düzeltilmemiş anlık konumlarını (mutlak konum; $\pm 25-150$ m) bileceklerdir.



Şekil-4: WAAS (Wide Area Augmentation System)

5. DGPS DONANIM VE YAZILIMI

Harita Genel Komutanlığı, DGPS alıcı ve yazılımlarının denenmesi, öğrenilmesi ve kullanım olanaklarının araştırılması amacıyla 1993 yılında jeodezik amaçlı alıcılarla birlikte bir adet DGPS amaçlı Pathfinder alıcı ve yazılım sistemini satın almıştır.

GPS Pathfinder Sistemi esas olarak arazide DGPS'den yararlı coğrafi veri toplama, konum ve hız belirleme amaçlı bir sistemdir. Bu sistem aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır;

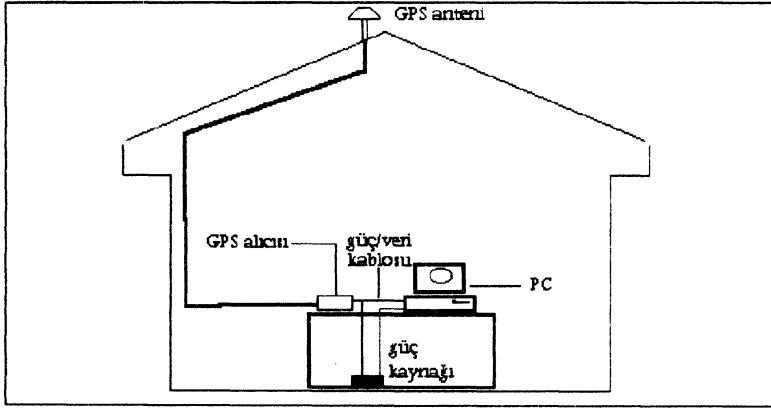
- 1 adet "Pathfinder Community Base Station (PFCBS)" alıcısı
- 2 adet "Pathfinder Basic Plus" alıcısı
- 1 adet "Pathfinder" yazılımı
- 1 adet "PFCBS" yazılımı

Bunlardan PFCBS sabit istasyondaki alıcı, iki adet Pathfinder Basic Plus ise gezen alıcı olarak görev yapmaktadır.

a. Referans İstasyonu (Pathfinder Community Base Station (PFCBS))

Bu sistem 12 kanallı bir alıcı, alıcı anteni, 33 m anten kablosu, alıcının doğrudan bağlı olduğu bir dizüstü bilgisayar, PFCBS yazılımı, PFINDER değerlendirme yazılımı, güç ve veri kablosu, güç adaptöründen oluşmaktadır.

Bu sistemin sabit bir istasyon olarak örnek bir kuruluşu Şekil-5'de gösterilmektedir.



Şekil-5: Referans istasyonu (Pathfinder Community Base Station)

PFCBS, DGPS uygulamalarında sadece sabit istasyon olarak kullanılmak üzere üretilmiştir. 12 kanallı alıcının üzerinde herhangi bir kontrol düğmesi olmayıp, tüm gözlem kontrolleri dizüstü bilgisayara yüklenmiş olan PFCBS yazılımı tarafından yapılmaktadır. PFCBS faz ve C/A-kod gözlemleri yapabilmekte, bu gözlemleri otomatik olarak açtığı kütüklere kullanıcı tarafından belirtilen zaman aralıklarında kaydetmektedir. Diğer bir ifadeyle kullanıcının daha önceden plânladığı gün ve saatlerde herhangi bir operatör müdahalesi olmaksızın otomatik olarak açılmakta, belirtilen süre kadar veri toplayıp yine otomatik olarak kapanmakta ve bir sonraki gözlem zamanında bu işlemler tekrar edilmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi bu istasyonun otomatik olarak çalışmasını sağlamak için tüm parametreler kullanıcı tarafından önceden belirlenmelidir. Kaydedilen ölçüler daha sonra, gezen alıcıların verileriyle birlikte değerlendirme işlemine tabi tutularak, gezen alıcının topladığı koordinatlara düzeltme getirmede kullanılır.

PFCBS aynı zamanda anlık DGPS uygulaması için diferansiyel düzeltmeleri hesaplayarak bu düzeltmeleri RTCM SC-104 veya TAIP (Trimble ASCII Interface Protocol) formatlarının herhangi birinde, özel amaçlı bir telsiz vasıtasıyla, gezen alıcılara anında yayınlatabilme olanağına da sahiptir.

PFCBS ile yukarıda belirtildiği gibi faz gözlemlerini de kaydetmek olanaklı olup bu durumda çok kısa bir sürede desimetre mertebesinde doğruluk elde edilebilmektedir. Ancak bunun uygulanabilmesi için gezen alıcıların da faz gözlemi yeteneğinde ve bu iş için uygun değerlendirme yazılımının mevcut olması gerekmektedir. HGK'nda bu şartı yalnızca PFCBS sağlamakta olup 2 adet Pathfinder alıcısı yalnızca C/A kod gözlemi yapabilmektedir. Yukarıda anlatılan alıcılara ek olarak HGK elinde bulunan Trimble 4000 SSE alıcıları da DGPS maksatlı olarak sabit istasyon ya da gezici olarak kullanılabilir.

b. Pathfinder Basic Plus GPS Alıcısı

Yalnızca L1 taşıyıcı dalga üzerinden C/A kod gözlemi yapabilen 6 kanallı ve tek frekanslı bir GPS alıcısıdır. 256 KByte hafızası olup, hesapladığı 10.000 konumu hafızasında tutabilir. Alıcı üzerinde anten olmakla birlikte kapalı yerlerde (örneğin araç içinde) kullanılmak üzere harici anteni de mevcuttur. Alıcı navigasyon amaçlı olarak kullanılabilir. Telsiz bağlantısı sağlandığı takdirde sabit istasyonun yayınladığı düzeltmeleri alarak düzeltilmiş konum bilgilerini hem ekranda listeler hem de hafızasına kaydeder.

Sabit istasyon ya da gezici alıcı olarak kullanılabilir. Alıcı, kullanıcı tarafından belirtilen aralıklarla konumunu ve hızını hafızasına kaydedebileceği gibi, istenirse hesapladığı konumu detay nokta (point feature) olarak hafızasına alabilir.

Arazi gözlemi sonrası büroda değerlendirme (post-process) amaçlı olarak ise PFINDER yazılımı mevcut olup, bu yazılım gözlem ve konum düzeltme yöntemlerinden ikisini de kullanabilmektedir. Yazılım, düzeltme getirilmiş ya da getirilmemiş gezen alıcı koordinatlarını istenen datumda grafik veya liste olarak gösterebileceği gibi, bu grafik görüntüler çiziciden istenen ölçekte alınabilir. Ayrıca yazılım, 20 farklı CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) formatında çıktı kütük verebilmektedir. Bu da Pathfinder sisteminin CBS amaçlı olarak doğrudan ve süratli olarak kullanılabilme olanağını sağlamaktadır. Söz konusu 20 CBS formatı aşağıda verilmektedir /15/;

- Arc-Info Dbase	- Generic 3
- Arc-Info Info	- Grass Sites
- Arc CAD	- Grass Vectors
- Autocad DXF	- GRIDPOINT EPPL7
- Cable CAD	- IBM GFLS
- DBase Generic	- GDS
- ERDAS	- PC-Moss
- Generation Five	- SEG P1
- Generic 1	- SUS 25
- Generic 2	- USGS DLG

Eğer kullanıcının CBS formatı yukarıdakilerin dışında bir formatta girdi kabul ediyorsa, bu durumda standart ASCII formatta çıktı almak da olanaklıdır.

6. SAYISAL UYGULAMA

DGPS yöntemini denemek ve olanaklarını belirlemek amacıyla 15-16 Şubat 1995 tarihinde Ankara GPS Test Ağı (AGTA)'nda (Şekil-6) DGPS gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu gözlemler ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

Gözlemlerde sabit alıcı olarak PFCBS kullanılmış olup alıcı anteni Ankara Sabit GPS İstasyonu pilyesi üzerine kurulmuş, bilgisayar ve alıcı ise istasyon binasına yerleştirilmiştir. PFCBS alıcısında veri toplama aralığı 5 saniye seçilmiştir.

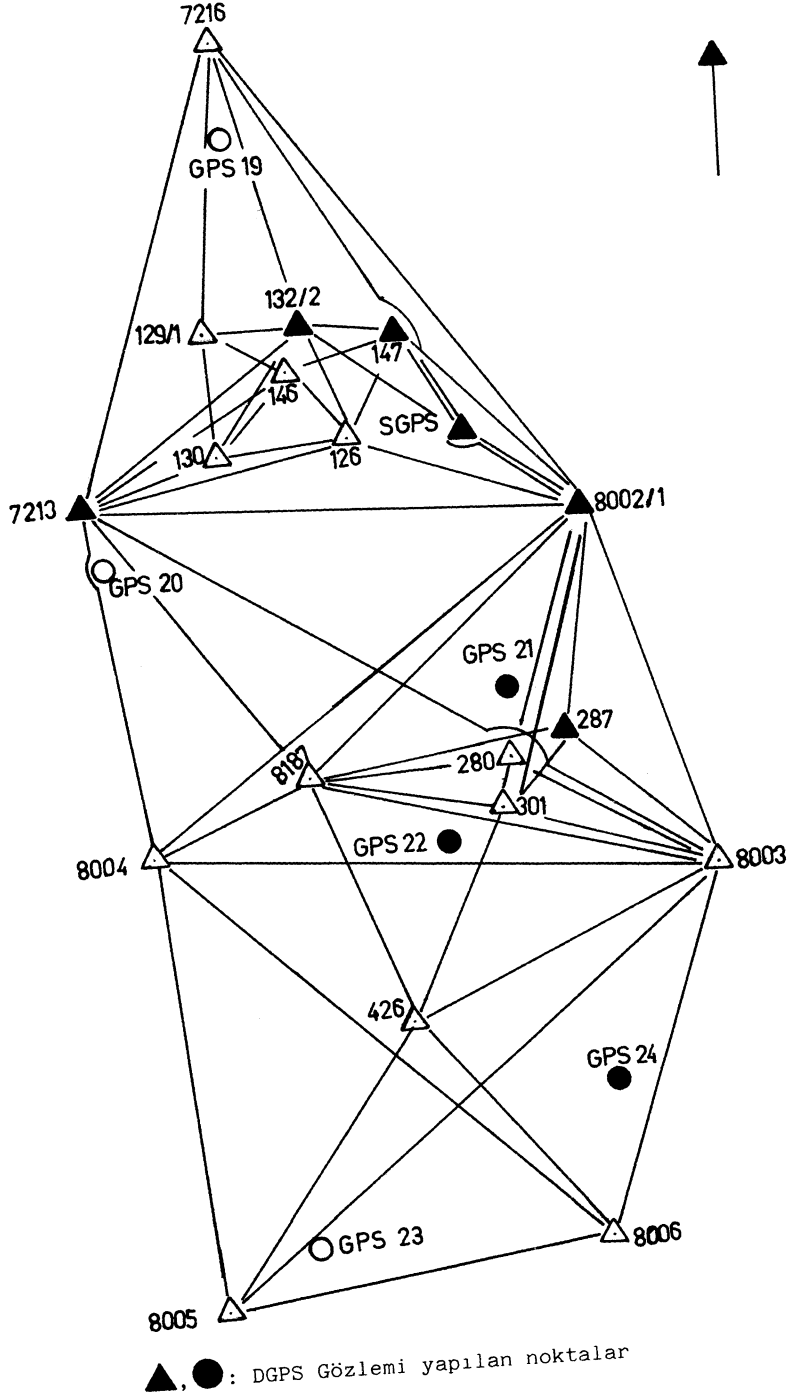
Pathfinder Basic Plus alıcılarından yalnızca bir tanesi gezen alıcı olarak kullanılmıştır. Uygulanan gözlem plânı Tablo-3 ve Tablo-4'de verilmektedir.

Tablo-3: PFCBS için uygulanan gözlem plânı

Gözlem Zamanı		İzlenen Uydular (PRN)
Başlama	Bitiş	
Yıl Ay Gün Saat	Yıl Ay Gün Saat	
95 02 15 09.00	95 02 15 17.00	02,04,05,07,09,12,15,16,18,19,22,23,24,26,27,28,29,31
95 02 16 09.00	95 02 16 17.00	02,04,05,07,09,12,14,15,16,18,19,22,23,24,26,27,28,29,31

Gezen alıcı için veri toplama aralığı 5 saniye seçilmiştir. Herhangi bir noktanın koordinatını tek bir epok ölçü ile belirlemek mümkün olmakla birlikte, 1-5 sn aralıklarla belirli bir süre içinde aynı aralıklarla hesaplanan konumların ortalamasını almanın daha anlamlı olacağı düşüncesi ile 2,5,15 dakikalık birbirinden bağımsız sürelerle ölçüler yapılmıştır (Tablo-4).

Pathfinder Basic Plus alıcıları ile istenen zaman aralıklarında veya uzaklıklardaki hareketli platformların konumlarının (10.000 noktaya kadar) belirlenerek bellekte korunması (Continuous Kinematic) mümkündür. Bu amaçla 132/2 no.lu nokta ile 7213 no.lu nokta arasındaki güzergâhın bir kısmında alıcı 5 sn aralıklarla konum kaydedecek biçimde açık tutulmuş; ortalama 70 km/h hızla giden aracın güzergâhı kinematik DGPS yöntemiyle belirlenmiş ve PFINDER yazılımı ile çizilerek Şekil-7'de gösterilmiştir.

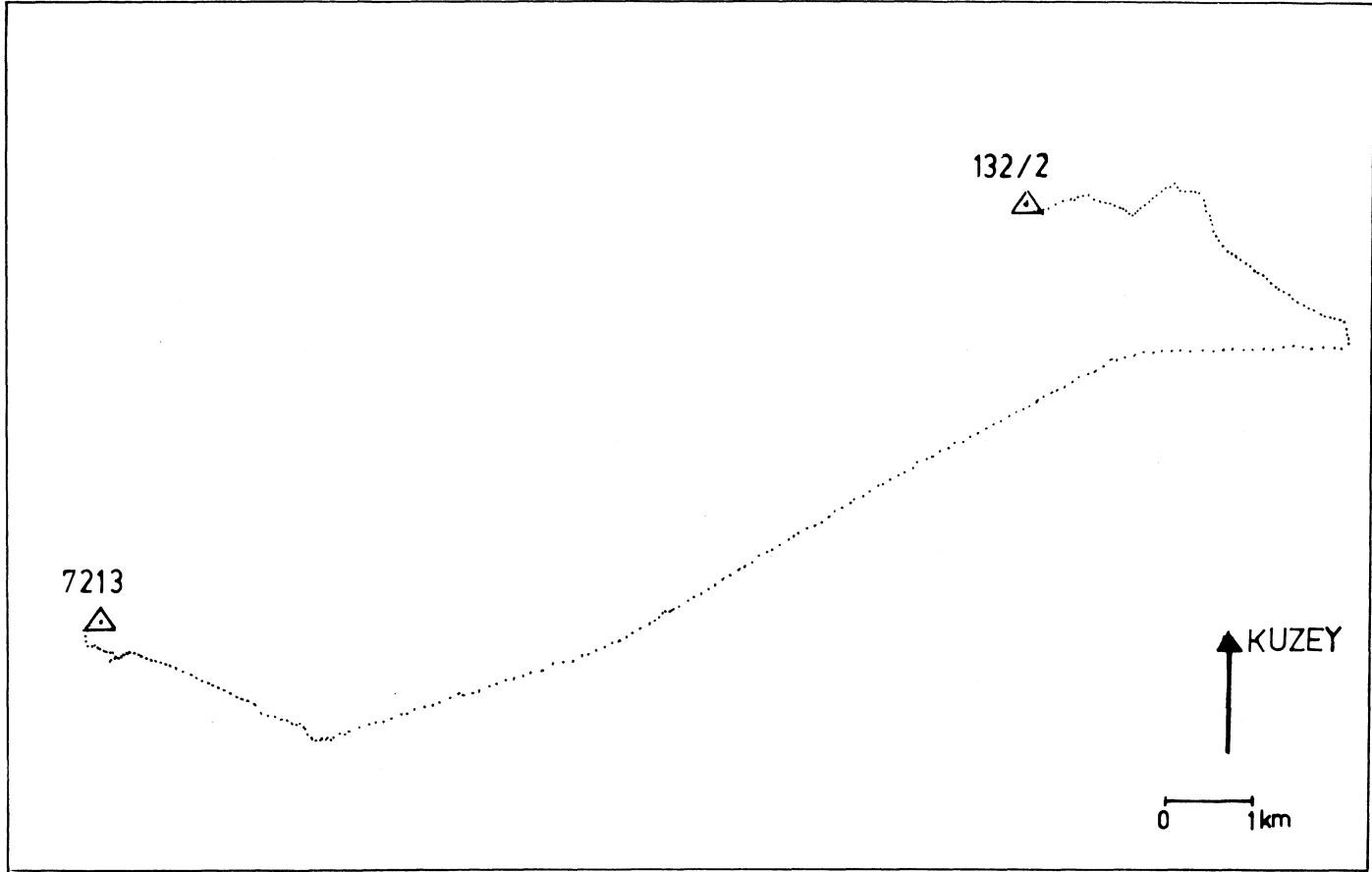


Şekil-6: Ankara GPS Test Ağı

Tablo-4: Gezen alıcı gözlem plânı

Nokta No.	Gözlem Zamanı		Süre (Dakika)	Yaklaşık Baz Uzunluğu (m)	İzlenen Uydular (PRN)
	Başlama	Bitiş			
	Yıl Ay Gün Saat	Yıl Ay Gün Saat			
147	95 02 15 10.59	95 02 15 11.01	2	4100	02,16,19,27,31
	11.01	11.06	5		
	11.08	11.23	15		
132/2	95 02 15 12.25	95 02 15 12.27	2	7600	02,16,19,26,27,07
	12.28	12.33	5		
	12.33	12.48	15		
7213	95 02 19 14.05	95 02 15 14.07	2	15700	02,07,09,26,27
	14.07	14.12	5		
	14.12	14.27	15		
GPS21	95 02 16 10.49	95 02 16 10.51	2	12200	02,16,18,27
	10.51	10.56	5		
GPS22	95 02 16 11.23	95 02 16 11.25	2	17800	02,16,18,27
	11.25	11.30	5		
GPS24	95 02 16 12.09	95 02 16 12.11	2	25700	16,19,26,27
	12.11	12.16	5		
287	95 02 16 13.01	95 02 16 13.03	2	12600	02,07,12,27
	13.03	13.08	5		
8002/1	95 02 16 14.31	95 02 16 14.33	2	6300	02,09,26,27
	14.33	14.38	5		

Gözlemler, Pfinder yazılı ile HGK'nda değerlendirilmiş olup değerlendirmede yalnızca gözlem düzeltme yöntemi kullanılmıştır. Değerlendirme sonuçları Tablo-5'de verilmektedir. Tabloda $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, Δh olarak verilen değerler DGPS ile bulunan koordinatların, aynı noktaların HGK tarafından daha önceki yıllarda GPS ile yüksek doğrulukta belirlenen koordinatlarla olan farklarını ifade etmektedir. 3D olarak verilen değer ise üç bileşendeki farkların kareleri toplamının karekökü şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil-7: DGPS yöntemiyle hareket halinde 5 sn aralıklarla belirlenen noktalar

Tablo-5: Değerlendirme sonuçları

Nokta No.	$\Delta\phi$ (")	$\Delta\lambda$ (")	Δh (m)	3D (m)	Gözlem Süresi (dk)
147	-0.004	0.020	0.410	0.635	2
	-0.039	-0.012	2.196	2.437	5
	-0.029	0.042	2.674	2.990	15
132/2	0.065	-0.005	1.737	2.654	2
	0.083	-0.003	2.618	3.661	5
	0.000	-0.048	0.115	1.145	15
7213	-0.026	0.009	-0.224	0.860	2
	0.013	0.017	-0.646	0.860	5
	0.016	0.002	-1.479	1.560	15
GPS21	-0.002	0.006	0.145	0.213	2
	0.002	0.028	0.450	0.807	5
GPS22	0.008	0.032	1.987	2.142	2
	0.020	0.063	1.842	2.454	5
GPS24	0.049	0.016	0.843	1.771	2
	0.053	0.020	-0.371	1.742	5
287	0.033	-0.013	-0.276	1.105	2
	0.007	-0.016	-0.840	0.957	5
8002/1	0.089	-0.005	1.747	3.268	2
	0.049	0.003	-0.975	1.812	5

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yazıda genel olarak DGPS kavramı incelenmiş ve Harita Genel Komutanlığı'nda mevcut Pathfinder sisteminin yalnızca pratik mühendislik amaçlı olarak kullanım olanakları araştırılmıştır. Çalışma ile ilgili sonuçlar aşağıda sunulmaktadır;

- DGPS Uygun donanım ve yazılımlar kullanıldığında her türlü navigasyon hizmetinde, pratik mühendislik ve CBS (GIS: Geographic Information System) amaçlı uygulamalarda kullanılabilecek anlık, güvenilir ve doğru sonuçlar verebilen bir sistemdir.

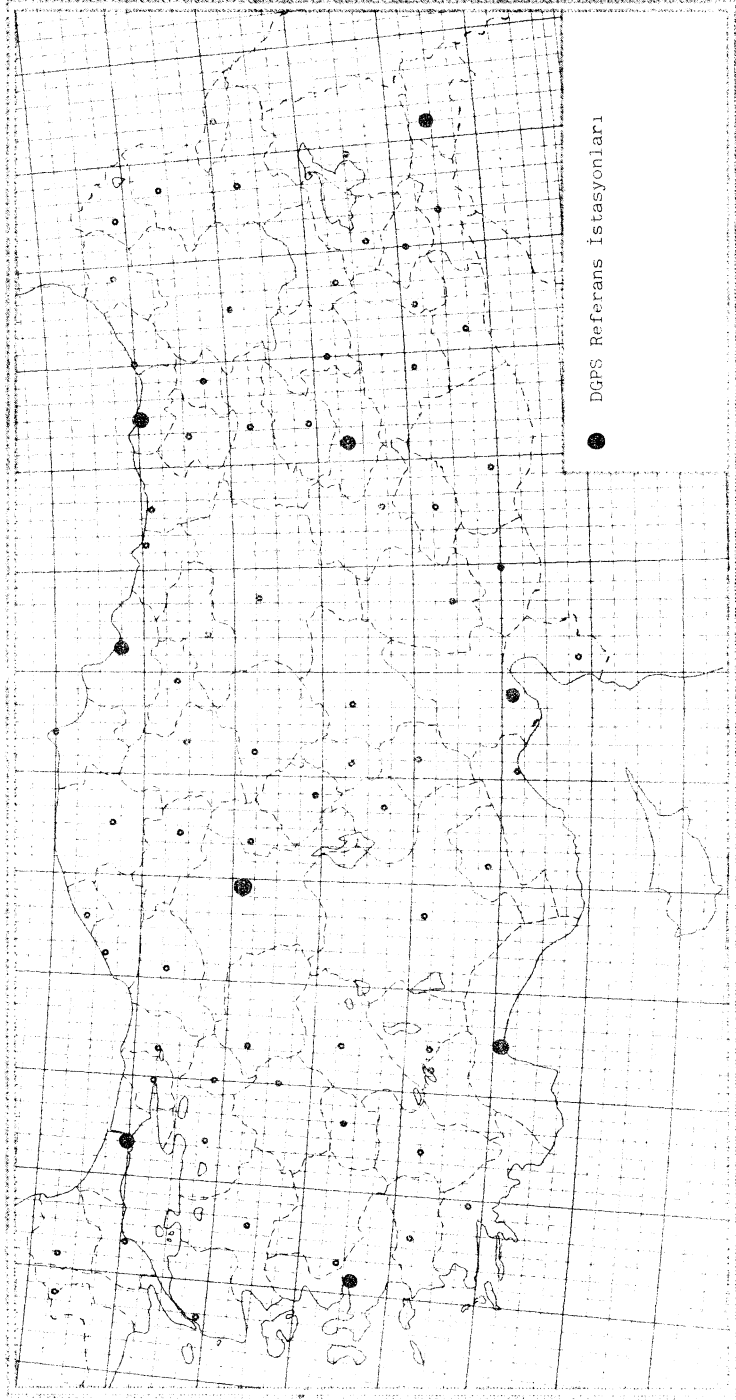
- Özellikle sivil navigasyon hizmetlerinde önemli bir sakınca oluşturan seçimli doğruluk erişimi (SA), DGPS tekniği ile büyük ölçüde giderilebilmektedir.

- Anlık DGPS uygulaması için, sabit istasyonda hesaplanan düzeltmelerin diğer alıcılara gönderilmesinde özel maksatlı telsizlere gereksinim bulunmaktadır. Bu telsizlerle yayınlanacak düzeltmelerin, aynı anda farklı kullanıcılar tarafından yararlanılabilmesi için belirli bir standartta olması gerekmektedir. Bugün en yaygın kullanılan uluslararası standart RTCM SC-104 formatıdır. Ancak özellikle uçak gibi yüksek dinamik araçlar için RTCA SC-159 formatı tercih edilmektedir. Eğer bir kurum bazında özel kullanma söz konusu ise bu kurum kendi belirleyeceği özel bir formatta yayın yapabilmektedir. DGPS'in örneğin ülke çapında büyük bir bölgede anlık hizmet için kullanılması söz konusu ise bu durumda bu düzeltmelerin kullanıcılara ulaşması normal telsizlerle olanaklı değildir. Bunun yerine yüksek yerlerdeki aktarıcılardan veya modem gibi diğer olanaklardan yararlanılmalıdır. Çok pahalı bir sistem olmakla birlikte haberleşme uydularından da aynı amaçlı olarak yararlanılması olanaklıdır.

DGPS hizmeti için referans istasyonlarının seçimi kullanım amaçlarına (navigasyon, coğrafi bilgi sistemi, jeodezik-jeofizik amaçlı veri toplama), kullanılacak iletişim araçlarına (haberleşme uyduları, telemetre, radyo-modem, radyo-link), arazinin yapısına, sosyal ve ekonomik koşullara bağlı olarak dikkatle yapılmalıdır. Türkiye için çok genel amaçlı bir DGPS referans istasyonları dağılımı Şekil-8'deki gibi olabilir.

- DGPS sistemi ile birlikte kurulacak olan bir sabit istasyondan, değişik mesajlar gönderilerek farklı amaçlara hizmet olanağı da mevcuttur. Örneğin 15 numaralı mesajda, hesaplanan troposferik ve iyonosferik gecikme katsayıları da yayınlanmaktadır. Dolayısıyla DGPS ile çalışmayan ancak tek frekanslı alıcıları bulunan diğer kullanıcıların da bu hizmetten anlık veya gözlem sonrası yararlanması olanaklıdır. Böylece, pahalı bir sistem olan çift-frekanslı alıcılar olmaksızın küçük bölgelerde (yaklaşık 5-20 km) tek frekanslı alıcılar kullanılarak yaklaşık aynı doğrulukların elde edilmesi olanaklı olacaktır.

- Kod gözlemleri kullanılarak elde edilen konumlama doğruluğu (sabit istasyondan olan uzaklığa bağlı olarak) 1-5 m; faz gözlemleri kullanılması durumunda ise (yoğun gözlem değerlendirme işlemleri gerektirmeden ve otomatik olarak) çok kısa sürelerde desimetre mertebesinde olabileceği düşünülürse, DGPS, buraya kadar belirtilen amaçlar için çok uygun ve ekonomik bir sistemdir. Özellikle anlık konum belirleme gereksinimi bulunmayan mühendislik uygulamalarında, CBS amaçlı veri toplamada saniyede bir düzeltilmiş konum belirlemek yerine arazide koordinatları belirlenecek olan detaylarda örneğin 3-5 dakika statik olarak durulursa büroda yazılımdan yararlı düzeltmeler yapıldıktan sonra bunların ortalaması hesaplatılırsa



Şekil-8: Türkiye DGPS Referans İstasyonları (Tesisler)

doğruluğun 1-2 m düzeyinde elde edilebileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, bu amaçla yapılacak gözlemler büroda değerlendirileceğinden sabit istasyonla telsiz bağlantı gereksinimi de ortadan kalkacaktır.

- DGPS'in en önemli sakıncası, sabit istasyonda hesaplanan düzeltmelerin hatalarının sabit istasyondan uzaklaştıkça artmasıdır. Bu nedenle gezen alıcı ile sabit istasyon arasındaki uzaklığın en fazla 500 km olması önerilmektedir. Dolayısıyla, örneğin ülke boyutunda sürekli bir uygulama düşünüldüğünde en az iki veya daha fazla sayıda sabit istasyon kurulmasında yarar bulunmaktadır.

- Dünyanın diğer ülkelerinde de özellikle deniz ve hava ulaşımında DGPS kullanımı ile ilgili çalışmaların yoğun şekilde devam ettiği bilinmektedir. Örneğin, İsveç ve Finlandiya'nın ortak bir projesi olarak Helsinki (50 km doğusu) ve Stockholm'de (80 km doğusu) iki sabit istasyon kurulmuş, gemilere duyarlı konum ve zaman bilgisi telsizler (radio beacons) vasıtasıyla gönderilerek bir çeşit deniz feneri görevi yapılmıştır. Bu çalışmalarda sabit istasyonlarda 12 kanallı Magnavox MX 4818 (L1, C/A-kod) alıcıları kullanılmıştır /7/. Buna benzer ve özellikle sivil havacılıkta DGPS kullanımı ile ilgili birçok araştırma ve uygulama mevcuttur. Örneğin, yakın bir gelecekte tüm sivil yolcu uçaklarında DGPS kullanılması ile ilgili standartların belirlenmesi çalışmalarının uluslararası sivil havacılık örgütü (ICAO) tarafından yürütüldüğü bilinmektedir.

- DGPS'in kısa bir süre içerisinde Türkiye'de yoğun bir şekilde kullanılma olasılığının bulunması nedeniyle sistem ile ilgili olarak proje bazında daha ayrıntılı araştırma ve çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

K A Y N A K L A R

- /1/ Ackroyd,N.,R.Lorimer: Global Navigation, A GPS User's Guide, 1994.
- /2/ Ananda,M. : The Global Positioning System (GPS) Accuracy, System Error Budget, Space and Control Segment Overview. AGARD-LS-161, 1988.
- /3/ Basker,S.,I.Casewell: Time and Clock Issues in WADGPS, ION GPS-93,6 th International Technical Meeting. PP.1509-1518, Utah, September 22-24, 1993.
- /4/ Denaro,R.P., : Differential Operation of Navstar GPS for
R.M.Kalafus Enhanced Accuracy. AGARD-LS-161, The Navstar GPS System, 1988.
- /5/ Gu,X.,G.Schanzer : A Real-Time Differential GPS System for Aircraft Landing. DGON DGPS'91, Braunschweig, PP.218-257, Germany, 1991.
- /6/ Hurn,J. : Differential GPS Explained. Trimble Navigation, 1993.
- /7/ Hallman,U. : Magnavox Differential GPS Beacon System, DGON DGPS'91. PP.586-596, Braunschweig, Germany, 1991.
- /8/ Kahveci,M. : Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesinde Global Konumlama Sistemi (GPS). Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Temmuz 1993.
- /9/ Kahveci,M. : GPS Ölçülerinin Değerlendirilmesinde İyonosferik Etki. Harita Dergisi No.:113, Sf.10-31, Temmuz 1994.
- /10/ Parkinson,B.W., :Optimal Locations of Pseudolites for Differential
K.T.Fitzgibbon al GPS. Global Positioning System, Volume 33, No.4, The Institute of Navigation, Winter 1986-87, pp.65-89, 1993.