

ÖZET

Ülkemizde sanayileşme ile birlikte gelişen kentlerde, toprak rantını da beraberinde getirmektedir. Toprağın kullanımı ve planlaması ülke menfaatleri için önemli bir unsur olmaktadır. Planlama yapılabilmesi için de nitelikli altlıklara olan ihtiyaç belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Bu altlıkların nitelikli olması yanında sayısal olması ve sürekli güncelleştirilmesi gerekmektedir.

GPS teknolojisi Jeodezi ve Fotogrametri mühendisliğinde yeni yeni imkanlar oluşturmaktadır. GPS bize doğruya en yakın, daha önce yapılan ölçmelerden çok daha hassas sonuçlar vermektedir. Daha önce invar şeritlerle çok hassas ölçmeler yapılırken şimdi ise bu ölçmelerden daha hassas verilere ulaşılmaktadır. GPS profesyonel olan her Jeodezi ve Fotogrametri mühendisi için vazgeçilmez bir etken olmuştur.

Bu çalışmada ise büyük mühendislik uygulamalarının (otoyol, geçitler, barajlar, maden işletmeleri vb.) etüt , aplikasyon, inşaat ve deformasyon ölçmelerinde üçüncü boyut olan ortometrik yükseklik ile GPS ölçmelerinden hesap edilen elipsoidal yükseklik dönüşümü için matematik modellemeler yapılmıştır.

SUMMARY

On the our country, the urbanization with which came becoming industrialized that has been increased the worth of the land using of the land and planning is very important factor for a country and humanity .The need of the skilled bases is considered important to plan and to application.

GPS technology has been opening doors for surveyors, civil engineers and construction companies, helping them gain access into new applications. GPS really gives us control on a construction site that we didn't have before. In old days, surveyors utilized chains to measure, but with the help of positioning satellites, a new level of accuracy is available. It's become a tool of the trade for the professional surveyors, civil engineers and builder.

This application was made for style where is considered big engineering application that the highways, the dams, mining etc, works the height of geoid and the height of ellipse parameters converting.

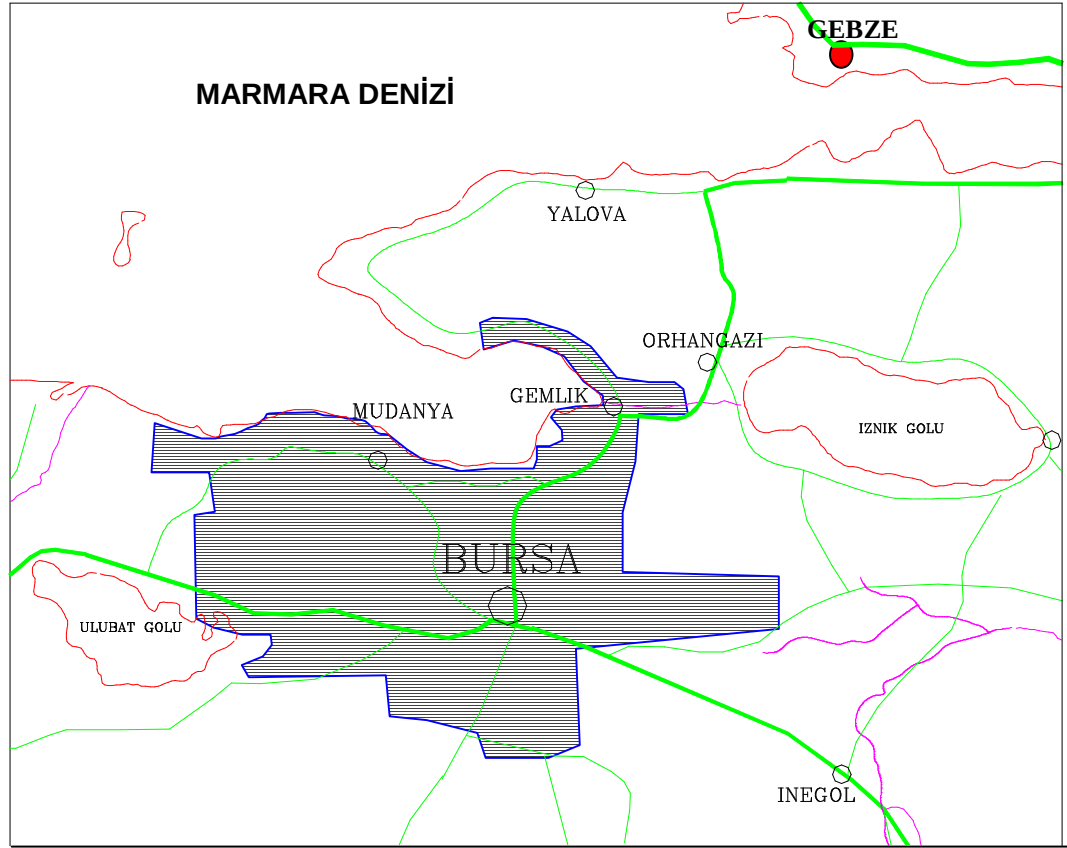
1.GİRİŞ

Son yıllarda ki hızlı teknolojik gelişmeler Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğinde de etkilerini göstermiş ve GPS sistemi yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. Bunun sonucunda, kooridantları hesaplanacak noktaların (nirenge, nivelman, poligon, detay noktası vb.) dayanak noktalarının yatay konum doğruluklarının yüksek olması durumunda koordinatları hesaplanacak olan noktaların da yatay konum doğrulukları santimetrenin altına inebilmektedir. Buna karşılık, üçüncü boyut olan yükseklikte ise böyle bir doğruluğa ulaşılamamaktadır.

GPS ile hesap edilen yükseklikler elipsoidal (WGS-84) yükseklikler olmasına karşılık, pratikte kullandığımız yükseklikler ise yerel yükseklik diye bahsedilen deniz seviyesi (ortometrik) yüksekliğidir. Bundan dolayı iki yükseklik sistemi birbirlerinden farklı referans düzlemine bağlı olduklarından bunların birbirlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Referans düzlemlerinden deniz seviyesi, ortometrik yüksekliğin referans yüzeydir. GPS ile elde edilen yüksekliğin referans yüzeyi ise WGS-84 elipsoid yüzeyidir. Yüzeylerin tariflerinden de anlaşılacağı gibi analitik olarak ifade edilirler ise, farklı parametrelere sahip oldukları görülür. Her iki yüzeyinde farklı parametrelerinden dolayı birbirlerine dönüşüm işleminde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu dönüşüm yöntemlerinin kullanılması için her iki yükseklik sisteminde yüksekliği bilinen noktalara ihtiyaç duyulmaktadır. Dönüşüm sonucunda elde edilecek olan yüksekliklerin doğruluğu, dönüşüm yönteminin algoritmasına ve ortak noktaların yüksekliklerinin doğruluğuna bağlıdır.

Bu çalışmada ise üçüncü boyut olan ortometrik yükseklik ile GPS ölçmelerinden hesap edilen elipsoidal yükseklik dönüşümü için gerekli olan jeoid ondulasyonun polinom ve yüzey fonksiyonlarıyla enterpolasyon işlemi üzerinde incelemeler yapılmıştır. Bunun için yaklaşık $40^{\circ} 00'$ & $40^{\circ} 33'$ enlemleriyle $28^{\circ} 31'$ & $29^{\circ} 27'$ boylamları içerisindeki Bursa Büyükşehir

Belediyesi sınırları, Gemlik, Mudanya ve Ulubat gölü civarını içeren 386 adet koordinatı ve kotu bilinen noktalardan oluşan bir proje alanında uygulama gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Proje alanı

Proje alanı çok büyük olduğundan beş bölgeye bölünmüş ve her bir bölge için ayrı ayrı birden yedinci dereceye kadar hem polinom hem de yüzey fonksiyonları matematiksel modeller oluşturularak jeoid ondulasyonları hesaplanmıştır. Oluşturulan yüzey fonksiyonu yada polinom dereceleri birbirleri ile mukayese edilerek en uygun yüzey fonksiyonu yada polinom tespit edilmiştir. Ayrıca bölgenin tamamı için bir polinom ve yüzey fonksiyonu oluşturularak, oluşturulan matematiksel modellerin performansı izlenmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde jeodezide yükseklik kavramı, yükseklik ve potansiyel farkı, geometrik, ortometrik ve dinamik yükseklik nedir, aralarındaki ilişki ve temel bağıntılar üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde GPS nedir, ölçme sistemi, ana kısımları, GPS ile konum belirleme yöntemleri, GPS gözlemleri ve matematiksel modelleri üzerinde kısaca durulmuştur.

Dördüncü bölümde ise bu çalışmanın amacını oluşturan elipsoid yüksekliğinden ortometrik yüksekliğe dönüşüm, polinom ve yüzey fonksiyonlarının oluşturulması, karşılaştırılması konuları üzerinde durulmuştur.

Beşinci bölümde ise dördüncü bölümde anlatılan ve oluşturulan polinom ve yüzeyler için uygulama projesi yapılmış ve hesaplanan değerler sonuç ve öneriler bölümünde tartışılmıştır.

2. JEODEZİDE YÜKSEKLİK KAVRAMI

Herhangi bir noktanın yüksekliği, fizik ve mekanik esaslara göre tanımlanan bir yüzeye göre tanımlanan noktanın durumunu belirten bir bağıntıdır.

Jeodezide birçok yükseklik sistemi bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri; [Gürkan,1973 ve Güneş, Ulusoy,1984]

- Geopotansiyel ve dinamik yükseklik
- Ortometrik yükseklik
- Normal yükseklik
- Elipsoidal yükseklik' tir.

Yukarıda verilen yükseklikleri elde etmek için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir.

- Geometrik nivelman
- Trigonometrik nivelman
- Fotogrametri
- Uydu ölçmeleri (GPS)
- Gravite ölçüleri ve gravimetrik yöntemler
- Astrojeodezik yöntemler

Yukarıda verilen yöntemler içerisinde Uydu ölçmeleri tez çalışmasına konu olan yükseklik elde etme yöntemidir.

Genel olarak ele alınması gereken yüzey düzlem değildir. Yatay düzlem denildiği zaman jeodezide geoid akla gelir. Yükseklik problemleri için bu yüzey deniz hizasındaki Nivo Yüzeyi dir.

Nivo yüzeyi çekül doğrultularına dik bir yüzeydir. Ağırlık kuvvetinin yönünü gösteren çekül doğrultuları, deniz yüzeyinden belirli yükseklikteki nivo yüzeylerinden çekül sarkıtıldığında çekül sarkıtılan noktaları birleştiren çizgi

bir doğru değil eğridir. Bu nedenle çekül doğrultusuna dik olan nivo yüzeyleri kapalı bir yüzey teşkil ettikleri halde bu yüzey ne bir düzlem ve ne de bir küre yüzeyi değildir.

Gel-git, rüzgar ve akıntı etkileri olmayan denge halindeki okyanus yüzeyi, yalnız ağırlık kuvvetinin etkisinde bulunacağından bir nivo yüzeyi oluşturur. Bu nivo yüzeyi 1871 yılında Listing tarafından jeoid olarak adlandırılmıştır. [Güneş, Ulusoy,1984]

Herhangi bir cisim nivo yüzeyi üzerinde kaydırılırsa, sürtünme olmadığı takdirde, hareket ağırlık kuvvetine dik doğrultuda olması nedeni ile bir iş meydana gelmez. Bu açıklamalarla, nivo yüzeyi, aynı potansiyelli noktaların oluşturduğu bir yüzeydir.

Haritacılıkta teodolit, nivo vs. gibi aletler ile ölçmeye başlamadan önce bunların düşey eksenleri çekül doğrultusuna getirilirler. Buradan ölçmelerin dünyanın ağırlık kuvvetlerinin doğrultularının oluşturduğu bir sisteme dayandırıldığı sonucuna varılabilir. Bu sistem nivo yüzeylerine dik olması nedeni ile nivo yüzeyini belirler.

Jeoidin dışındaki herhangi bir noktanın jeoid yüzeyine olan uzaklığı noktadan jeoide indirilen normal eğrisinin uzunluğu ile veya jeoid den noktaya erişmek için kullanılacak iş veya potansiyel ile tanımlanabilir.

Yer yüzündeki nokta ile jeoid arasındaki normalin uzunluğuna ortometrik yükseklik adı verilir.

Jeoide göre (kilokalxmetre) birimi ile tanımlanan potansiyel farkına karşı gelen yüksekliğe de Geopotansiyel yükseklik (C_p) adı verilir.

Potansiyel farkı milikalxmetre biriminde alınır ve 45° enleminde deniz yüzeyindeki normal ağırlık ivmesi γ_0^{45} ile bölünürse böylece elde edilecek değerlere dinamik yükseklik C_p / γ_0^{45} adı verilir.

Ortometrik, geopotansiyel ve dinamik yüksekliklere bilimsel yükseklikler denir.

Bilimsel yüksekliklerin yaklaşık kullanılması veya değiştirilmesi ile elde edilen yüksekliklerle pratik yükseklik elde edilir. Nivelman, elipsoid yüzeyine göre hesaplanan yükseklik, Helmert, Niethammer ve Ramsayer'e göre hesaplanan yükseklikler pratik yüksekliklerdir.[Güneş, Ulusoy,1984]

Uluslararası jeodezi ve jeofizik birliği 1954 yılında Roma da yaptığı toplantısında Avrupa nivelman ağında geopotansiyel yüksekliklerin kullanılmasını ve bu esnada gerçek ağırlık kuvvetinin göz önünde bulundurulmasını kararlaştırmış fakat pratik yüksekliğin her ülke tarafından istenildiği gibi seçilebileceğini kabul etmiştir. Bu toplantı tarihine kadar ortometrik yüksekliklerin bulunmasına çalışılmış, oldukça hassas ortometrik yükseklik değerleri bulunmasına rağmen pratik ihtiyaçları karşılamaması ve bilimsel amaçlara elverişli olması nedeni ile ortometrik yüksekliklerden vazgeçilmiştir. [Güneş, Ulusoy,1984]

2.1. Yükseklik ve Potansiyel Farkı

Birçok ülkelerin nivelman ağlarının hesabında durgun deniz yüzeyinin başlangıç olarak alınabileceği zannedilmişti. Fakat bu şekilde oluşturulmuş nivelman ağlarının birleştirilmesi ile elde edilen sonuçlar bu teoremin sarsılmasına neden olmuştur.

Örneğin 1862 yılındaki ölçmelere göre Atlantik seviyesi Akdeniz seviyesinden 64 cm daha yüksek bulunmuştur. [Güneş, Ulusoy,1984]

Bu farkın açıklanması için değişik teoriler öne sürülmüştür. Bu teorilerden biri deniz sularının çeşitli yapıda olmasının bu farkı doğuracağı biçimindedir. Ancak; Lailemend, nivelman sonuçlarına normal ağırlık ivmesi ile ortometrik düzeltmeler getirdikten sonra iki seviye arasındaki farkın çok daha az olduğunu görmüştür. Yapılan hesaplardan çeşitli deniz seviyeleri arasın-

daki farkın ölçü hataları içinde kaldığı kanaatine varılmıştır (1890).[Güneş, Ulusoy,1984]

Bunun üzerine Avrupa için seçilecek bir başlangıç noktası alınmasından vazgeçilmiştir. Böylece her memleketin kendi ağını en yakın deniz seviyesine bağlaması gereği doğmuştur.

Deniz yüzeyi ile yüksekliğin iş veya normalin uzunluğu ile belirtilmesi arasındaki ilişki, dünya yüzeyi pürüzsüz denizin derinliği iş ve potansiyel kavramına göre eşit olacaktır. Derinlik metrik olarak tanımlanırsa her yerde aynı derinlik hesaplanamaz.

Örnek olarak: Kutuplarda h_{90} , 45^0 enleminde h_{45} ve ekvatorda h_0 derinlikleri ve buralardaki yer çekimi ivmeleri g_{90} , g_{45} , g_0 ile gösterilir ve bu noktalardaki iş değerleri aynı olduğu düşünülürse;

$$g_0 \cdot h_0 = g_{45} \cdot h_{45} = g_{90} \cdot h_{90} \quad (2.1)$$

olur.

Genel olarak, bir i noktası için;

$$g_i = g_{45} (1 - 0.00264 \cos 2B_i) \quad (2.2)$$

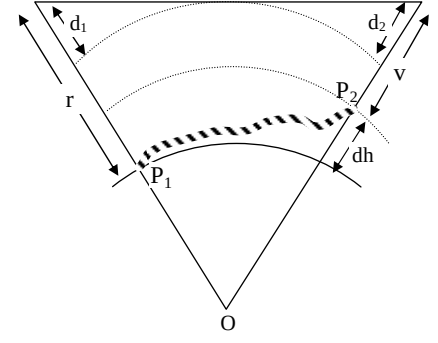
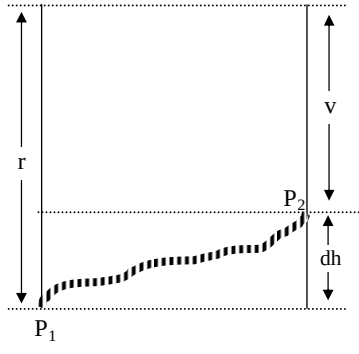
alınabilir. Buradan 0^0 ve 90^0 enleminde yerçekimi ivmesi (g) değeri ;

$$g_0 = g_{45} \cdot (1 - 0.00264) \quad ; \quad g_{90} = g_{45} \cdot (1 + 0.00264) \quad \text{olur.}$$

Sonuç olarak, 45^0 enleminde derinlik 100m alınırsa ekvatorda 100.264m, kutupta 99.736m hesaplanır.

Bir nivelman işleminde iki paralel doğru arasındaki yükseklik farkı ölçü düzlemi için;

$$r - V = dh \quad \text{'dır}$$



Şekil 2.1- Bir nivelman işleminde iki paralel doğru arasındaki yükseklik farkı

Dünyanın şekli bir küre olarak alındığı takdirde miraların çekül doğrultuları kürenin merkezinde kesişirler. Bu durumda nivo aletinin düşey ekseni ile mira eksenleri birbirlerine paralel değildir. Diğer yandan yeryüzüne çizilen paralel ile miralar arasında oluşan d_1 ve d_2 miktarına depresyon miktarı denir. Küre için $d_1 = d_2$ dir. Dünyanın şekli elipsoid olarak alınırsa yüzeydeki eğrilik sabit olmadığından d_1 ve d_2 eşit olamaz. d_1 in d_2 'den farklı olmasının pratikte önemi yoktur.

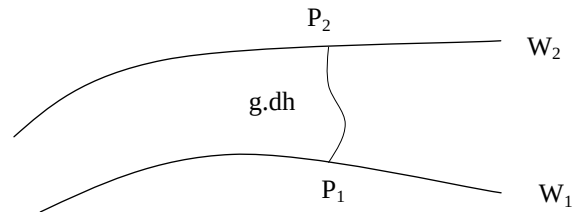
Fransız bilgini Villerceau, nivo yüzeylerinin ne düzlem ne küre nede elipsoid yüzeyi olmadığına ilk defa dikkatleri çekmiştir. Ağırlık kuvvetinin değişmesi nedeni ile nivo yüzeyleri birbirlerine paralel değildir. Bu nedenle P_1 ve P_2 noktaları arasındaki yükseklik farkının bulunmasında nivelman sonucu, izlenen yola bağlıdır. Buna karşılık geopotansiyel yükseklik farkı izlenen yola bağlı değildir. [Güneş, Ulusoy,1984]

W_1 ve W_2 birbirine yakın iki nivo yüzeyi, P_1 ve P_2 aynı çekül eğrisi üzerinde bulunduğuna göre P_1P_2 çekül eğrisinin uzunluğu dh , P_1P_2 arasındaki ağırlık ivmesi g ise ve potansiyel dışarıya doğru azaldığından;

$$W_1 > W_2$$

$$dW = W_1 - W_2 = g \cdot dh \quad (2.3)$$

olur.



Şekil 2.2 – İki nivo yüzeyi ve potansiyel farkı

Bu bağıntı dW sabit iken dh 'nın değişken olduğunu gösterir. Bu ise nivo yüzeylerinin birbirlerine paralel olmadığının ispatıdır. Bu nedenle yükseklikler bulunurken yerçekimi ivmesi (g) 'nin göz önünde bulunması gerekir.

P₁ ve P₂ noktalarındaki ivmeler g₁ ve g₂, nivo aletinin kurulu bulunduğu noktadaki ivme g. Miraların olduğu yerlerdeki g₁ ve g₂ ivme değerlerinin ölçülmesi gereklidir. Bu ölçü değerleri yerine nivo aletinin kurulu bulunduğu yerdeki g ivme değerinin ölçülmesi ve g = g₁ = g₂ olarak alınması sonucu etkilemeyecektir. Yapılan araştırmalarda dağlık bölgelerde 300 m de, az arızalı arazide 1500 m de, düz arazide 4000 m de bir g değeri ölçülmesi yeterlidir.

Günümüz teknolojisi olan GPS sisteminde ölçme yapılan noktalarda yukarıda ki kriterlere göre yerçekimi ivmesi g değerinin de ölçülmesi yükseklik hesapları için gereklidir. [Güneş, Ulusoy,1984]

Çekül eğrisi üzerinde A ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı;

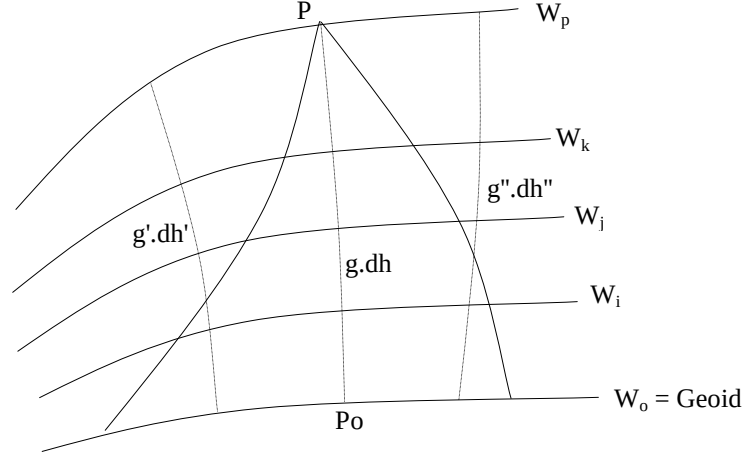
$$\Delta W = W_B - W_A = - \int_A^B g . dh \quad (2.4)$$

olur. Her noktada g değeri ölçülemediğinden yukarıdaki eşitliğin integrali alınır, yaklaşık $\Delta W'$ değeri elde edilir.

$$\Delta W' = - \sum_A^B g . dh \quad (2.5)$$

2.2 Geometrik ve Dinamik Yükseklik

İki nokta arasındaki potansiyel farkı hangi yol izlenirse izlensin aynıdır. Buna karşılık değişik yolların izlenmesi ile elde edilen nivelman sonucu ölçü hataları olmasa bile aynı olmaz. Jeoid üstünde bir yüksek tepe olan P noktası alınıp P noktası ile jeoid yüzeyi arasında belirli aralıklarla nivo yüzeyi geçirilirse jeoid yüzeyinden iki ayrı yol izlenerek P noktasına gelindiğinde iki yüzey arasındaki potansiyel farkı her iki yol için aynıdır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3- P noktası ve Geoide göre durumu

Deniz yüzeyinden P noktasına soldan ve sağdan nivelman yapılarak dh' ve dh'' yükseklik farkları elde edilmiştir. $\Sigma dh'$ ve $\Sigma dh''$ nivelman sonucunu verirler. Buna karşılık sol ve sağ için potansiyel farkı aynı olduğundan;

$$W_0 - W_p = \int_0^p g.dh = \int_0^p g'.dh' = \int_0^p g''.dh'' \quad (2.6)$$

olur. Nümerik integrasyon yapılırsa;

$$W_0 - W_p = \sum_0^p g.dh = C_p \quad (2.7)$$

yazılabilir. Geoide göre potansiyel farkını içeren $C_p = W_p - W_0$ ifadesine Fransız haritacılarından Tradi'nin teklifi üzerine geopotansiyel yükseklik adı verilmiştir. [Güneş, Ulusoy,1984]

P_1 ve P_2 gibi iki nokta arasındaki geopotansiyel yükseklik farkı;

$$\Delta h_{1,2} = \int_0^{P_2} g.dh_2 - \int_0^{P_1} g.dh_1 = \int_{P_1}^{P_2} g.dh_{1,2} = C_{P_2} - C_{P_1} \quad (2.8)$$

dır. Potansiyel farkın yükseklik tarifinde kullanılmasında Helmert'in teklifi ile 45° enlemindeki deniz seviyesindeki normal ağırlık ivmesi γ^{45} olmak üzere C_p geopotansiyel yüksekliğin γ^{45} 'e bölünmesi elde edilen yüksekliğe dinamik yükseklik ;

$$H'_p = \frac{C_p}{\gamma_o^{45}} \quad (2.9)$$

yazılabilir.

Geopotansiyel yüksekliğin yüksekliği kilodalxmetre dir. Dinamik yükseklik uzunluk ile gösterildiğinde birimi cm dir. (2.9) eşitliğinde C_p yerine (2.7) deki eşitlik yazılırsa;

$$H'_p = \frac{C_p}{\gamma_o^{45}} = \frac{\sum_0^p g \cdot dh}{\gamma_o^{45}} \quad (2.10)$$

burada;

$$g = \gamma_o^{45} + g - \gamma_o^{45}$$

konularak;

$$H'_p = \sum_0^p dh + \sum_0^p \frac{g - \gamma_o^{45}}{\gamma_o^{45}} dh \quad (2.11)$$

elde edilir. (2.11) eşitliğinin sağındaki ilk terim nivelman sonucunu, ikincisi ise dinamik yükseklik farkını elde etmek için nivelmana getirilecek dinamik düzeltmeyi göstermektedir. Dinamik düzeltme DK ile gösterilirse;

$$DK = \frac{1}{\gamma_o^{45}} \sum_0^p (g - \gamma_o^{45}) dh \quad (2.12)$$

elde edilir. [Güneş, Ulusoy,1984]

(2.12) eşitliği tek bir P noktası için yazılmıştır. A ve B gibi iki nokta arasındaki yükseklik farkı için bu bağıntı;

$$H'_B - H'_A = \sum_A^B dh + \sum_A^B \frac{g - \gamma_o^{45}}{\gamma_o^{45}} dh \quad (2.13)$$

$$DK = \frac{1}{\gamma_o^{45}} \sum_A^B (g - \gamma_o^{45}) dh \quad (2.14)$$

şeklini alır. [Güneş, Ulusoy,1984]

2.3 Ortometrik Yükseklik

Yeryüzündeki bir noktanın ortometrik yüksekliği, noktanın jeoide kadar olan çekül eğrisinin uzunluğudur. Ortometrik yükseklik $PP_0 = H_p$ ile gösterilir-se;

$$H_p = \int_{P_0}^P dh' \cong \sum_{P_0}^P dh' \quad (2.15)$$

eşitliği yazılabilir. C_p geopotansiyel yükseklikten yararlanılarak;

$$C_p = \sum_0^P g \cdot dh = \sum_0^P g' \cdot dh' \quad (2.16)$$

eşitliği yazılabilir. g' ler yer kabuğu içinde olduklarından bunların yerine ortalama bir G değeri alınırsa;

$$C_p = \sum_0^P g' \cdot dh' = G \cdot \sum_0^P dh' = G \cdot H_p \quad (2.17)$$

$$H_p = \frac{C_p}{G} = \frac{\sum_0^P g \cdot dh}{G} = \frac{\sum_0^P g' \cdot dh'}{G} \quad (2.18)$$

olur. (2.18) eşitliği (2.10) eşitliği ile karşılaştırılırsa H_p 'nin C_p yi, γ_0^{45} e, H_p nünde yine C_p yi G ye bölünerek elde edildikleri görülür.

Buna göre (2.11) nolu eşitliklerde γ_0^{45} yerine G konularak;

$$H_p' = \sum_0^P dh + \sum_0^P \frac{g-G}{G} dh \quad (2.19)$$

bulunur. Bu eşitlik soldan nivelman yapıldığına göre yazılmıştır. PP_0 in bir kuyu olduğu ve bu yoldan nivelman yapıldığı düşünülerek (2.19) eşitliği PP_0 yolu için yazılırsa;

$$H_p' = \sum_{P_0}^P dh' + \sum_{P_0}^P \frac{g-G}{G} dh \quad (2.20)$$

olur. (2.15) eşitliğine göre;

$$H_p = \sum_{P_o}^P dh'$$

olduğundan;

$$H_p = H_p' - \sum_{P_o}^P \frac{g' - G}{G} \quad (2.21)$$

bulunur. Bir noktanın ortometrik ve dinamik yükseklikleri arasındaki fark;

$$\begin{aligned} VDK &= \sum_{P_o}^P \frac{g' - G}{G} \\ H_p &= \sum_0^P dh + \sum_0^P \frac{g-G}{G} dh - \sum_{P_o}^P \frac{g'-G}{G} dh \end{aligned} \quad (2.22)$$

dir. H_p' yerine (2.19) deki eşitlik yazılırsa;

olur. Bu formülde ikinci terim nivelmanda izlenen yola ait dinamik korrekasyon DK, son terim P_oP çekül doğrultusuna ait dinamik korrekasyonu, yani düşey dinamik korrekasyon VDK'yı göstermektedir. Buna göre (2.22) eşitliği;

$$H_p = \text{Nivelman} + DK + VDK \quad (2.23)$$

eşitliği ile gösterilebilir. [Güneş, Ulusoy,1984]

Yeryüzünde A ve B gibi iki nokta arasında nivelman yapılmışsa (2.22) ve (2.23) e göre;

$$\begin{aligned} H_p &= \sum_0^P dh + \sum_0^P \frac{g-G}{G} dh - \sum_{P_o}^P \frac{g'-G}{G} dh \\ H_A &= \sum_0^A dh + DK_{(A)} + VDK_{(A)} \\ H_B &= \sum_0^B dh + DK_{(B)} + VDK_{(B)} \\ H_B - H_A &= \sum_A^B dh + DK_{(AB)} + VDK_{(B)} - VDK_{(A)} \end{aligned} \quad (2.24)$$

$$H_B = H_A + \text{Nivelman} + DK_{(AB)} + VDK_{(B)} - VDK_{(A)} \quad (2.25)$$

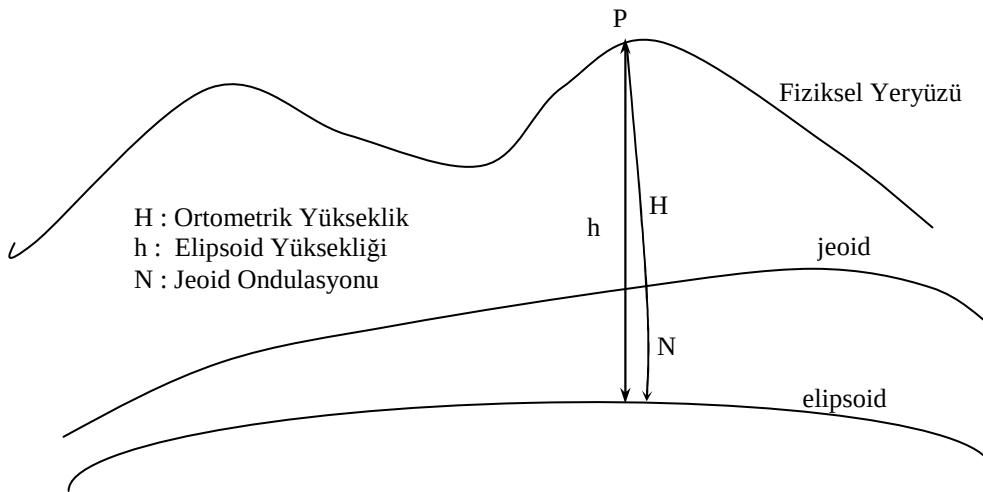
olur. (2.25) eşitliğindeki son üç terim ortometrik korrekasyon $OK_{(AB)}$ ile gösterilirse;

$$OK_{(AB)} = DK_{(AB)} + VDK_B - VDK_A \quad (2.26)$$

VDK_B ve VDK_A A ve B noktalarında çekül doğrultularındaki ağırlık ivmeleri biliniyorsa hesaplanabilir. Ancak, yeryüzündeki bir noktadan geoide kadar bir kuyu açmak imkanı bulunmadığı ve yer kabuğu içindeki g leri elde etme imkanı olmadığından VDK ların gerçek değerlerinin hesaplanma imkanı yoktur. [Güneş, Ulusoy,1984]

2.4 Elipsoidal Yükseklik

Fiziksel yeryüzü üzerindeki bir P noktasının elipsoid yüksekliği, elipsoidal normali (normal gravite alanı çekül eğrisi) boyunca ölçülen ve elipsoid ile P noktası arasındaki en kısa mesafedir. Elipsoid yüksekliği, elipsoidin parametrelerine ve elipsoidin ağırlık merkezine yerleştirilen kartezyen koordinat sisteminde P noktasının koordinatları ile çok yakından ilişkilidir. Elipsoid yüksekliği tamamen geometrik bir değer olup yerin gravite alanı ile ilgili olmadığından fiziksel bir özellik taşımaz.



Şekil 2.4- Bir P noktası için elipsoid yüksekliği ile ortometrik yükseklik arasındaki ilişki

3. G.P.S. HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1. GPS nedir?

G.P.S. ölçme sistemi zamana ve hava koşullarına bağlı kalmaksızın dünyamız etrafında belirli yörüngelerde hareket etmekte olan uydular aracılığı ile konum belirlemeyi amaçlayan bir yöntemdir. Başka bir deyişle; yapılacak ölçmeler ile günün 24 saati yılın 365 günü karanlıktan, yağıştan, soğuktan veya sıcaktan etkilenmeden sonuç alınabilmektedir. Yaklaşık 20 yıl kadar önce askeri amaçlı geliştirilmiş olan sistem, günümüzde uçaklar, gemiler ve karada ilerleyen araçların yön tayininde kullanılır olmuştur.

Ölçme sisteminin geometrisi; 6 ayrı periyot da hareket eden 24 adet L1 (1575.42 MHz) ile L2 (1227.60 MHz) frekanslarından sürekli yayın yapan uydu verilerine göre kestirme hesabı ile konum belirlenmesidir. Ölçme sisteminde alıcılarla yerden 20200 km yükseklikte 24 adet uydudan gelen sinyaller depolanmaktadır. Bilgisayar programları ile sinyaller değerlendirilerek öncelikle W.G.S. - 84 sistemindeki koordinatlar elde edilir. Daha sonra bu koordinatlar U.T.M. veya çalışılmak istenilen herhangi bir koordinat sistemine her iki sistemde de bilinen ortak noktalar vasıtası ile dönüştürülür. Proje çalışmalarında beklenen hassasiyete göre sabit nokta sayısı, ölçme yöntemi, ölçme planlaması ve ölçme süresi önceden belirlenmelidir. Uydu sinyallerinden jeodezik amaçlı koordinatların belirlenmesi için eş zamanlı olarak 4 ayrı uydudan sinyal alınması gerekmektedir. Çünkü bir noktanın üç adet bilinmeyenini (x,y,z) mevcuttur ve dengeleme yapılabilmesi için bir fazla yani 4 adet ölçüye ihtiyaç vardır. Mevcut 24 uydunun yörünge hareketlerinin dağılımı açık bir alanda günün her anında bu şartı sağlayabilecek şekildedir. Yüksek binaların bulunduğu meskun mahallerde ise, günün her anında yeter sayıda uydu ile ölçü yapılması mümkün olamamaktadır.

3.2. G.P.S. Donanım Yapılanması

G.P.S. donanım yapısı uzay, kontrol ve alıcı olmak üzere birbirini tamamlayan 3 ana bölümden oluşmaktadır. (Şekil 3.1)

3.2.1.Uzay Bölümü

Uzay bölümü; yerden yaklaşık 20200 km yükseklikte 6 farklı yörüngede hareket eden 24 adet uydudan ibarettir. Yörüngelerin ekvator düzlemiyle yaptığı eğim açısı 55 derecedir. Bu uydular 24 saat süre ile tüm yeryüzünü kapsayacak şekilde sinyal göndermektedir. Dünyanın her noktasından eş zamanlı olarak en az 4 tanesi görülecek şekilde yörünge hareketleri belirlenen uyduların, yörüngesel periyotları 12 yıldız saatidir. Bu uydulardan 50 bit/saniye bilgi akışı ile iki ayrı banttan, L1 (1575.42 MHz) ve L2 (1227.60 MHz) frekanslarından sürekli sinyal yayını yapılmaktadır. Sistemde yer alan uyduların temel görevlerini veya fonksiyonlarını aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

- Ana kontrol kısmından gelen bilgileri almak ve depolamak,
 - Kendi mikro işlemcisi ile veri işleme yapmak,
 - Üzerindeki osilatörler yardımı ile hassas zaman belirlemesi yapmak ve sinyal üretmek,
 - Kullanıcılara kodlu, farklı sinyaller göndermek,
 - Uydunun manevralarını kontrol etmek
- dir.

Yayılan sinyaller L1 frekanslı taşıyıcı dalga C/A , P kodu ve navigasyon kodu ile , L2 frekanslı taşıyıcı dalga ise P ve navigasyon kodu ile modüle edilmişlerdir.

3.2.2. Kontrol Bölümü

Kontrol bölümü; ana kontrol istasyonu, yer izleme istasyonları ve yer antenlerinden oluşmaktadır. Kontrol bölümün görevi uydularla iletişim

kurmak, onları izlemek ve yörüngelerini hesaplamak, uydu saatlerinin eş zamanlı çalışmasını sağlamak ve istenen bilgilerin uydulara yüklenmesini sağlamaktır. A.B.D.' de Colorada Spring de bulunan ana kontrol istasyonunda sürekli olarak kayıt edilen bilgiler kullanılarak uyduların yörünge ve saat parametreleri hesaplanmakta ve elde edilen bilgiler 3 adet yer kontrol istasyonu tarafından uydulara gönderilmektedir. Hawaii, Colorado Springs, Ascension Island (Güney Atlantik Okyanusu), Diego Garcia (Hint Okyanusu) ve Kwajalein (Kuzey Pasifik Okyanusu) da bulunan 5 adet izleme istasyonu oldukça hassas P-kodlu alıcılarla donatılmıştır. Bu istasyonlarda; uydulardan her 1.5 saniyede bir kayıt alınır ve atmosferik düzeltmeler getirilerek on-line sistemi ile ana kontrol istasyonuna gönderilir. Yer Antenleri ise, ana kontrol istasyonlarında hesaplanan uydu yörünge bilgilerinin uydulara yüklenmesinde kullanılmaktadır. Uydu yörünge bilgileri her gün bu istasyonlar vasıtasıyla uydulara yüklenerek güncelleştirilmektedir.

G.P.S. ölçme sisteminde uzay bölümünde gerçekleştirilen işlemleri aşağıda şekilde özetlemek mümkündür.

Alınan G.P.S. sinyalleri ile uyduların yörünge hareketleri kontrol edilmekte ve yörüngeden sapmalar varsa düzeltmeler getirilmektedir. Yer kontrol istasyonları ile (Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein) yeni efemeris bilgileri, saat düzeltmesi ve diğer yörünge bilgileri uydulara aktarılmaktadır.

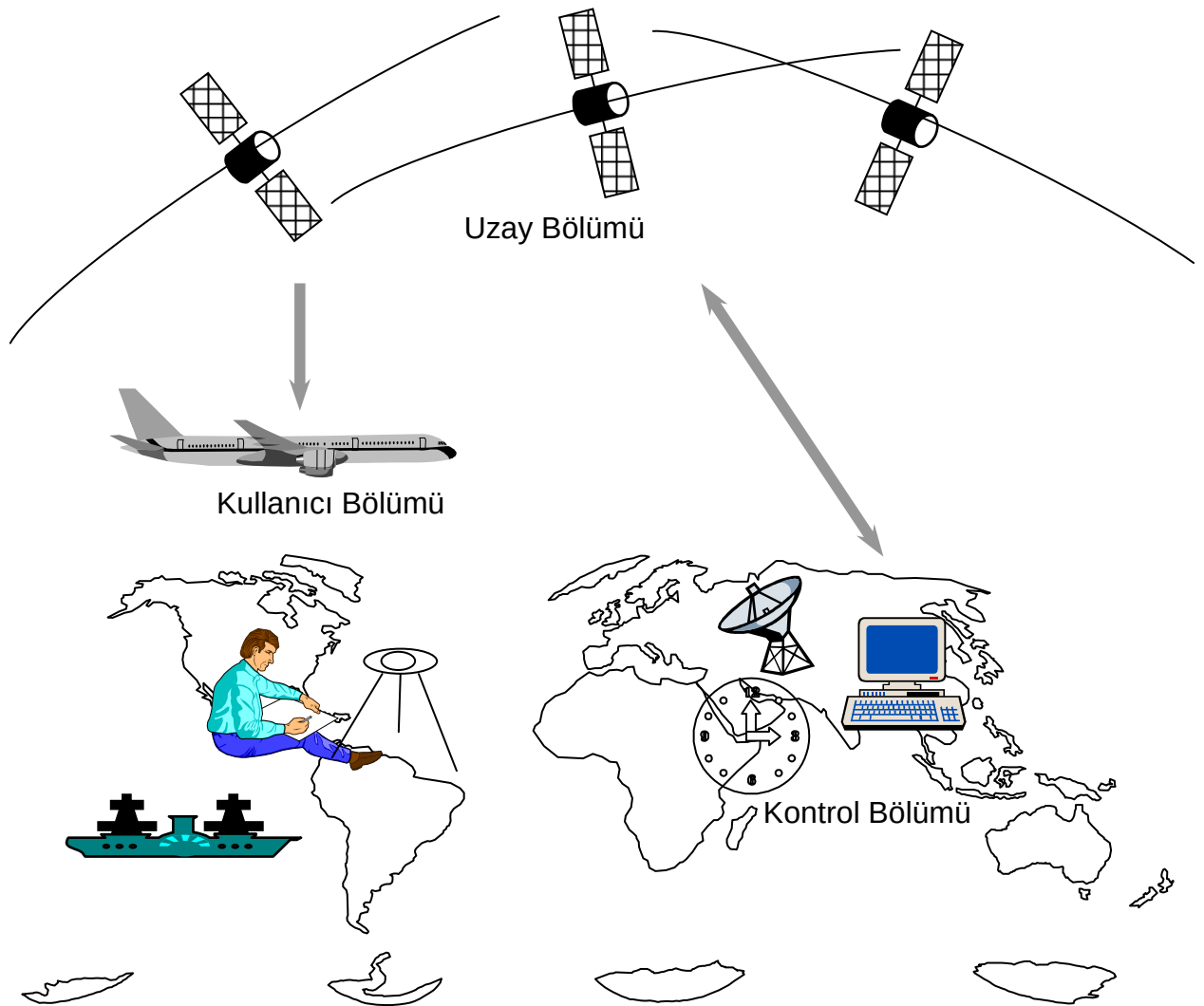
Colorado Springsdeki ana kontrol istasyonuna yorumlanması için izleme istasyonlarında elde edilen yörünge bilgileri gönderilmektedir. Buna göre uydu saat düzeltmeleri yapılmakta ve uyduların yörüngelerinden sapmaları kontrol edilmektedir.

3.2.3. Alıcı Bölümü

G.P.S. ölçmelerinde kullanıcıyı ilgilendiren donanım yapılanmasındaki kısım esas itibarıyla "Alıcı Bölümü"dür. Alıcıları kullanım amaçlarına göre navigasyon amaçlı ve jeodezik amaçlı alıcılar olmak üzere sınıflandırmak

mümkündür. Navigasyon alıcıları; sinyalin kod bileşenini [**P** (**P**recision code) veya **C/A** (**C**oarse/**A**cquisition code) kodu] , jeodezik amaçlı alıcılar ise; sinyalin tüm bileşenlerini ölçerler. Teknolojik olarak gelişmiş alıcılar L1 , L2 frekansı için kod ölçülerini, faz ölçülerini, Doppler frekansını kayıt etmektedir.

Başlangıçta G.P.S. askeri amaçlı olarak geliştirildiği için, istenildiği takdirde sivil amaçlı alıcıları devre dışı bırakacak çeşitli şifreleme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 3.1 G.P.S. Ana Kısımları

3.3. G.P.S. Konum Belirleme Yöntemleri

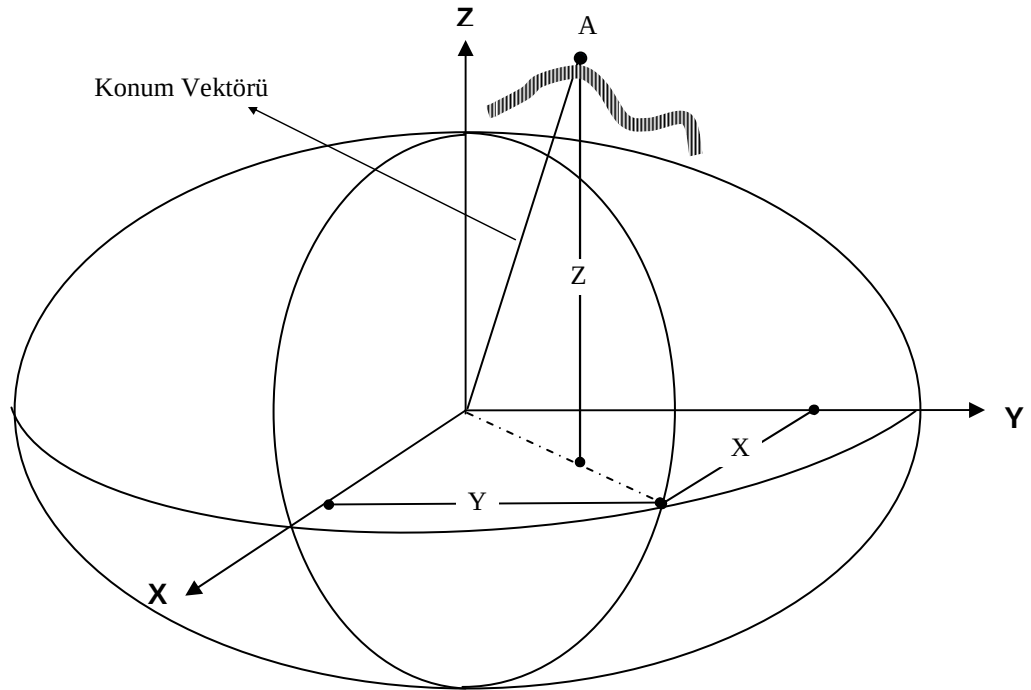
3.3.1. Giriş

Bilindiği üzere jeodezik ölçme ve hesaplamalar ile bir nokta veya cismin konumunun belirlenmesi iki farklı şekilde yapılabilmektedir.

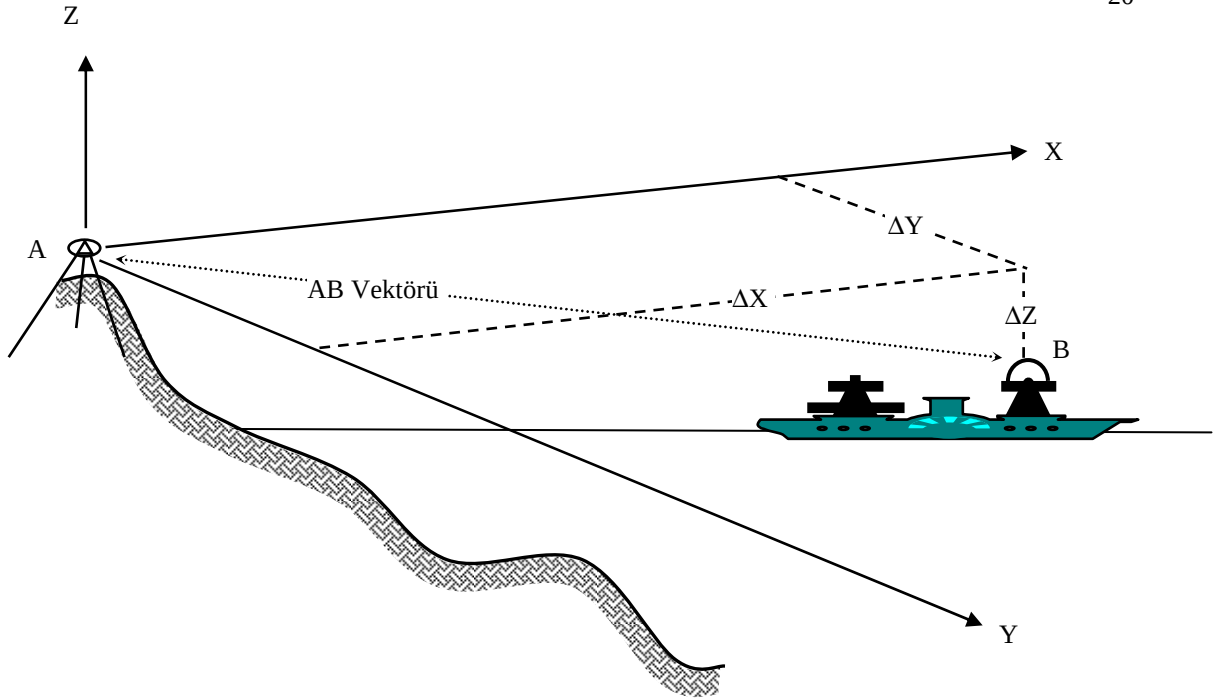
Bunlar;

- Bilinen veya tanımlanmış bir koordinat sisteminde bir cismin noktasal olarak konumunun koordinatlarının (x,y,z) belirlenmesi, (Şekil 3.2)
- Herhangi bir koordinat sisteminde koordinatları (x,y,z) bilinen bir noktaya bağlı olarak bir başka noktanın konumunun belirlenmesi (Şekil 3.3)

G.P.S.' dede benzer şekilde konum belirlenmesine yönelik; hareketsiz noktalar için (nirengi, poligon, detay) 'Statik Konum Belirleme' ve hareketli noktalar (nesneler) için (uçak, gemi,tank) 'Kinematik Konum Belirleme' olarak bilinen başlıca iki ayrı ölçüm ve değerlendirme yöntemi vardır.



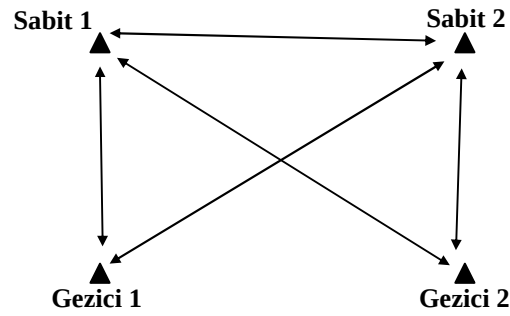
Şekil 3.2 Noktasal Konum Belirleme



Şekil 3.3 Bağıl Konum Belirleme

3.3.2. Statik Konum Belirleme Yöntemi

Faz ölçmeleri ile gerçekleşen yöntemde iki sabit istasyon arasındaki vektörü (baz) hesaplamak ölçümün amacıdır. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Statik Konum Belirleme Yöntemi

Bu yöntemde; alıcı veya alıcılar sabit nokta veya noktalara kurulduktan sonra diğer alıcı veya alıcılar ölçme planına göre konumu (koordinatları) belirlenecek noktalara kurulur. Bu noktalarda ölçmelerden veya projeden beklenen hassasiyete göre on dakikadan birkaç saate kadar değişen sürelerde sabit nokta/noktalar ile gezici noktada eş zamanlı olarak uydu sinyallerinin alıcılarda kaydı yapılır. Statik konum belirlemede; alıcılar görüş ufkundaki çok sayıda uydudan kayıt alır. Çözüm sağlanabilmesi için alıcılar

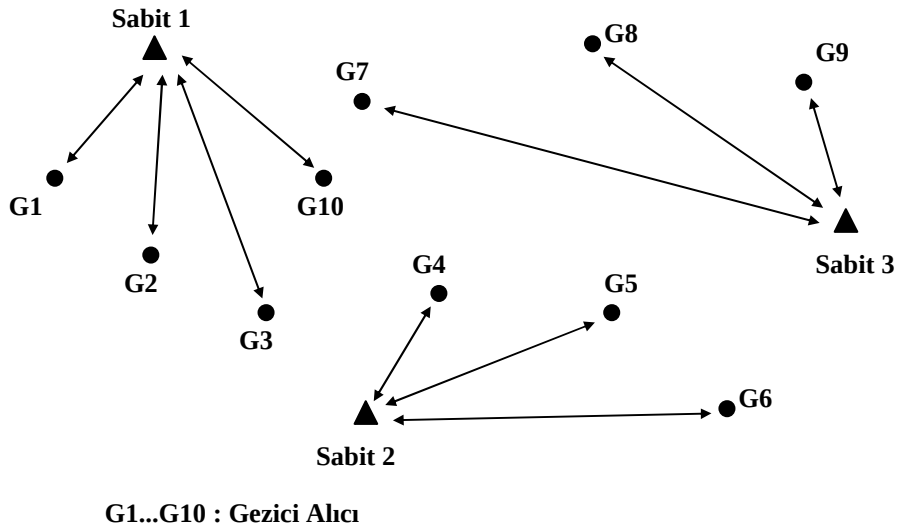
eş zamanlı olarak en az 4 uydudan sinyal almalıdırlar. Alıcılarda kayıt edilen uydu sinyal bilgileri (ölçüler) en küçük kareler yöntemine göre dengelenir ve bilinmeyen noktaların konumları elde edilir. Elde edilecek sonuçların duyarlılığını arttırmak amacı ile ölçme planı kapalı lüplara imkan veren kapalı geometrik ağlar şeklinde oluşturulur ve uygun uydu geometrisi ile yeterli sürede sinyal alınır. Bu yöntem; mühendislik yapılarındaki deformasyonların tespiti, fay hatlarının hareketlerinin incelenmesi, ülke nirengi ağlarının yenilenmesi gibi duyarlı jeodezik ölçme ve sonuçların beklendiği projelerde kullanılır. Statik Konum Belirleme yöntemiyle yapılacak ölçmeler ve bunlardan elde edilecek sonuçlar için beklenen doğruluk hassasiyeti $\pm (0.01 - 1)$ ppm dir. Buda 1 km' lik bazda 0.01 ile 1 mm hassasiyete tekabül etmektedir.

Koordinatları belirlenecek noktalar ile sabit noktalar arası mesafe 1-2 km' den uzak değil ise ve koordinatlanacak noktalarda fazla hassasiyet istenmiyorsa (Poligon koordinatlanması gibi)daha kısa süreli ölçülerle de sonuca ulaşılabilir. Bu yöntem Rapit Statik veya Hızlı Statik yöntem olarak da adlandırılır. Sabit noktalarda uzun süreli ölçüler yapıldıktan sonra yeni noktalarda kısa duruşlarla (5 dakikayı geçmeyen) işlem tamamlanır. Noktalar arasında yol alırken kayıt yapılmasına gerek yoktur. Bu yöntemde uydu sayısının fazla olması ve uydu geometrisinin iyi olması yeter ve gerek şarttır. Bu şartların sağlamaması durumunda aynı uydularla 1 saat ara ile iki kez kayıt yapılır

3.3.3. Kinematik Konum Belirleme Yöntemi

Bu yöntem 1985 yılında Remondi tarafından bulunmuştur. Bu yöntemde amaç tek tek noktaların ölçülmesi olmayıp hareket eden bir antenin gezi yolunun belirlenmesidir. Kinematik konum belirleme alıcılar kapanmadan yani uydularla bağlantının hiç kesilmemesi ile Statik konum belirleme yönteminden ayrılır. Sabit alıcıya göre noktaların izafi konumları belirlenir (Şekil 3.5). Bu yöntemde istenildiği ve gerekli yazılımların sağlandığı takdirde sonuçlar büroya gelip işlem yapmadan arazide elde edilebilir. Real

Time Kinematik olarak adlandırılan bu yöntem jeodezik amaçlı aplikasyon yapabilme açısından önemlidir. Askeri ve sivil amaçlı uçakların ve gemilerin yön ve hedef bulmaları bu yöntemle sağlanmaktadır. Ölçme hareketli alıcı veya alıcıların koordinatı belirlenmek istenen belli noktalarda çok kısa süreli duruşlarıyla (dur ve git veya stop and go yöntemi) yada sürekli olarak hareket halindeki bir uçak, gemi veya karayolu taşıtının sabit olan alıcıya göre konumlarının sürekli olarak izlenmesi şeklinde olabilir.



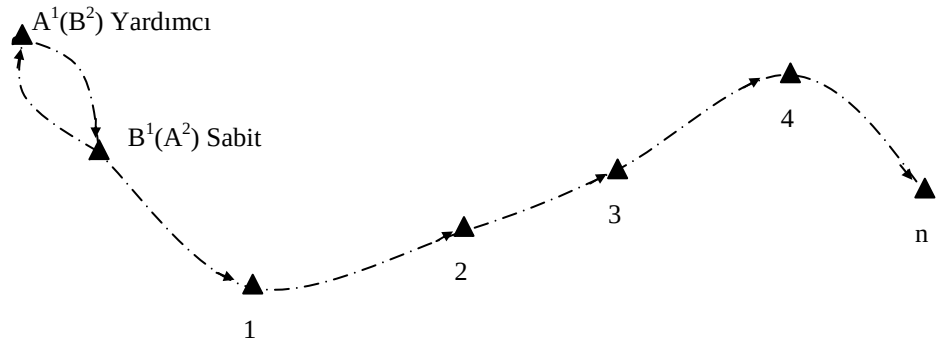
Şekil 3.5 Kinematik Konum Belirleme Yöntemi

Kinematik ölçme yöntemlerinin tümünde başlangıç faz belirsizliği ölçmelerin başında belirlenmelidir. Bunun için çeşitli yollar mevcuttur. En sık kullanılan iki yöntem Anten Yer değişimi ve koordinatı bilinen yakın iki nokta arasından başlanmasıdır;

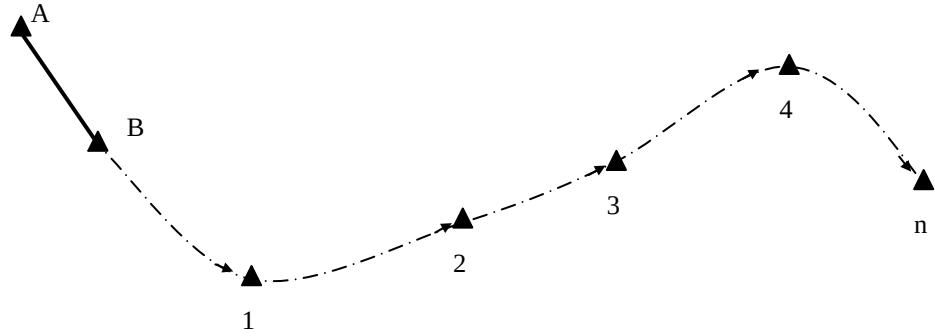
Anten Yer değişimi (Antenna Swapping): Koordinatı bilinen bir nokta ile bir kaç metre yakınında yardımcı bir nokta alınır. Birkaç dakikalık kayıttan sonra alıcılar kapatılmadan, sehpalar yerinden oynatılmadan antenlerin yerleri değiştirilerek kayda devam edilir. Kısa bir süre sonra aletlerden bir tanesi sabit kalır ve diğer alet koordinatlandırılacak noktalarda bir kaç saniyelik data toplar. Ölçme işlemi başlangıç noktasında son bulur. İlk iki noktadaki kayıtlardan faz belirsizliği (integer ambiguity) belirlenir. Koordinatlandırılacak noktaların sabit noktaya göre rölatif koordinatları ve

saat hataları bilinmeyen olarak kalır. Ölçüm esnasında en az 4 uydudan kayıt alınmalı ve uydular gözlem alanından çıkar ve tekrar girerse integer ambiguityler tekrar hesaplanmalıdır. (Şekil 3.6)

Koordinatı Bilinen İki Nokta Arasından Başlamak: Ölçüme koordinatı bilinen bir baz ölçülerek başlanırsa başlangıç faz belirsizliği bilinmeyi elde edilir. Daha sonra ölçüme devam edilir. (Şekil 3.7)



Şekil 3.6 Anten Yer değişimi Yöntemi



Şekil 3.7 Bilinen Noktalar Arasından Başlamak Yöntemi

3.4. G.P.S. Gözlemleri

İki tür G.P.S. gözlemi mevcuttur(Şekil-3.8). Bunlar ;

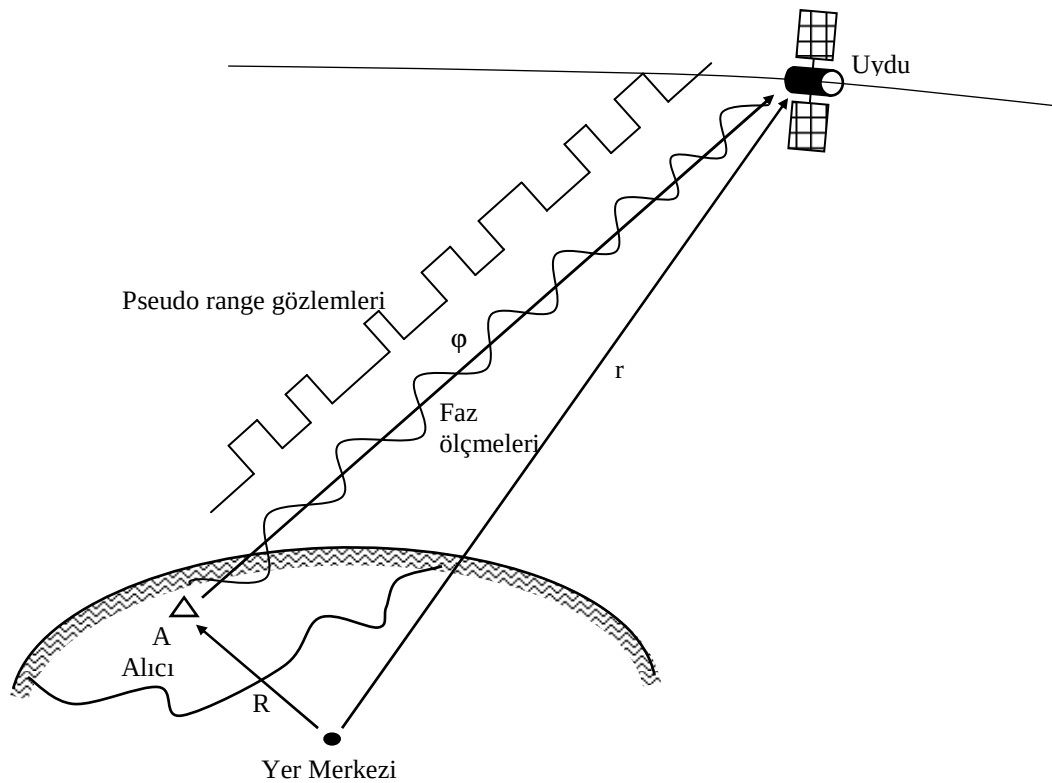
- **Pseudo-range** ve
- **Taşıyıcı fazlar (carrier-phase)** olarak adlandırılmışlardır.

ϕ = Alıcı ile uydu arası uzaklık

r = Yer merkezi ile uydu arası uzaklık

R = Alıcı ile yer merkezi arası uzaklık

G.P.S. ölçümleri taşıyıcı sinyaller (carrier signal) ve kod (code) ölçmeleri olarak yapılır. Kod ölçmeleri P veya C/A kodu ile yapılan zahiri uzunluk (Pseudo-range) ölçmeleridir. Pseudo-range ölçmeleri taşıyıcı faz ölçmeleri kadar hassas değildir. Bu nedenle jeodezik amaçlı kullanımlarda uygun değildirler. Taşıyıcı faz ölçmeleri Pseudo-range'den daha hassas ve sinyal yayını etkileyen faktörlerden daha az etkilenir bir yapıda olup L1 ve L2 olmak üzere iki adet frekansa sahiptir.



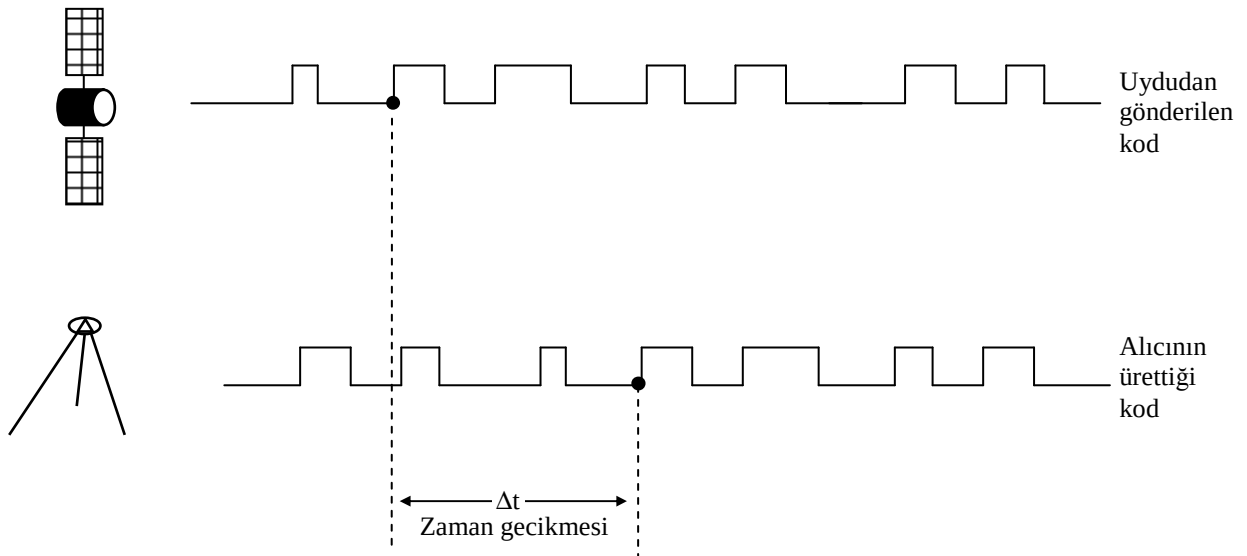
Şekil 3.8 G.P.S. Gözlem Yöntemleri

3.4.1. Pseudo-range Ölçüm Yöntemi

Uydu ile alıcı arasındaki mesafenin uydu yörünge bilgileri ve kod kayıt edilmesine dayanan yöntemdir. Sinyallerin uydudan alıcıya kadar olan ulaşım zamanı uydudan yayınlanan pseudo random noise (PRN) kodları alıcı tarafından meydana getirilen benzer kodlar arasında bağlantı kurulması ile ölçülebilmektedir. Alıcı kodları alıcı saatinden, uydu kodları ise uydu saatinden elde edilmektedir. Uydu ve alıcıdaki saat hataları ölçülen uzunluğa etki etmektedir. Pseudo-range, P kodları ve C/A kodlarına uygulanır.

Pseudo-range ölçüm yönteminin avantajları ;

- Başlangıçtaki konum tahminini sağlamak,
- Alıcı saat kayıklıklarını G.P.S. zamanına bağlı olarak hesaplamak,
- L1 (0.19 m) ve L2 (0.244) tam dalga boyunda taşıyıcı faz bilinmeyenini ve L1 ve L2 tam dalga boyunda oluşan faz kaymalarını bularak, bunlar için taşıyıcı dalga faz verilerini düzenlemek,
- Kinematik G.P.S. verilerinin işlenmesi,
- Kinematik uygulamalarda yüksek kaliteli P kod verilerinin kullanılması ile taşıyıcı faz verilerinden bağımsız olarak metre hassasiyetinde bağıl konum belirleme şeklinde sayılabilir.



Şekil 3.9 Pseudo-range Ölçüm Yöntemi

3.4.2. Taşıyıcı Fazlar (Carrier Beat Phase) Ölçüm Yöntemi

Bu yöntemin esası; Uydudan gelen sinyalin yeryüzündeki alıcılar da kaydedilmesi ve alıcıda üretilen aynı referans sinyali ile karşılaştırarak faz farkının ölçülmesidir. Bu sebeple elektromanyetik dalgalar ve bu dalgaların uydudan alıcıya yayılma ilkeleri ve elektromanyetik dalgaların fiziksel davranışları bilinmelidir.

Bu dalgalar sinüzoidal harekete sahiptirler. Bunların fiziksel özelliklerini belirleyen büyüklüklerin isim ve sembolleri birimleri ile birlikte aşağıda (Tablo 3.1)' de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Fiziksel Büyüklükler ve Birimleri

<i>İsim</i>	<i>Sembol</i>	<i>Birim</i>
Frekans	f	Saykıl(veya devir)/sn
Dalga Boyu	λ	Metre/devir
Faz	ϕ	Saykıl veya devir
Periyot	P	Saniye/devir
Zaman	t	Saniye(Sn)
Işık Hızı	c	Metre/saniye

Bu değerler arasında;

$$f = c / \lambda = 1 / P$$

$$f = d\phi / dt$$

$$\phi(t) - \phi(t_0) = \int_{t_0}^t f dt = f(t - t_0)$$

$$\Delta = t - t_0 = (\phi(t) - \phi(t_0)) / f$$

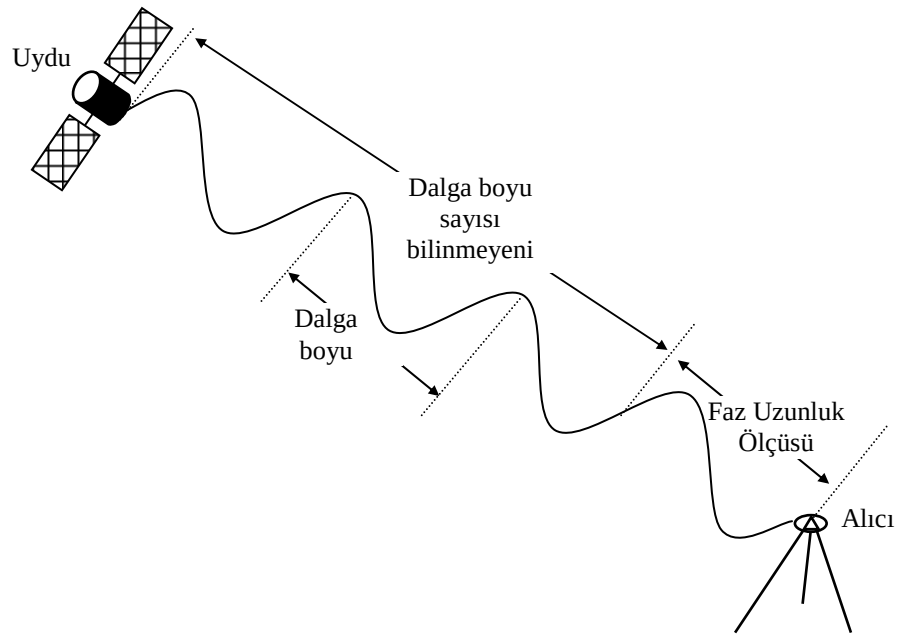
bağıntıları vardır.

Bu ölçüler birçok hata ile yüklüdür. Jeodezik amaçlı kullanılabilecek sonuçların elde edilebilmesi için bu hatalar uygun yollarla elemine edilir. Bu amaçla faz ölçümlerinin lineer kombinasyonları kullanılır.

Bu aşama 3 farklı şekilde yapılabilir.

- tekli fark ölçüleri,
- ikili fark ölçüleri,
- üçlü fark ölçüleri.

G.P.S.' de temel amaç; uydudan yayınlanan sinyalin, alıcıya kadar kat ettiği mesafesinin belirlenmesidir. Bunun için uydudan yayılan sinyallerin faz ölçmeleri alıcılarda sürekli olarak kayıt edilmektedir (Şekil 3.10). Kayıt yapılırken (uydu ile alıcı arasındaki mesafe belirlenirken), uydu ile alıcı arasındaki mesafe; uyduların yörüngelerinde, dünyanın da eksenini etrafındaki hareketinden dolayı değişmektedir. Bu nedenle alıcı kayıt edilen sinyal ile uydudan yayınlanan sinyal farklılık göstermektedir. **Doppler etkisi (doppler effect)** olarak bilinen bu olay alıcı ile uydu arasındaki uzunluk değişiminin belirlenmesini sağlamaktadır.

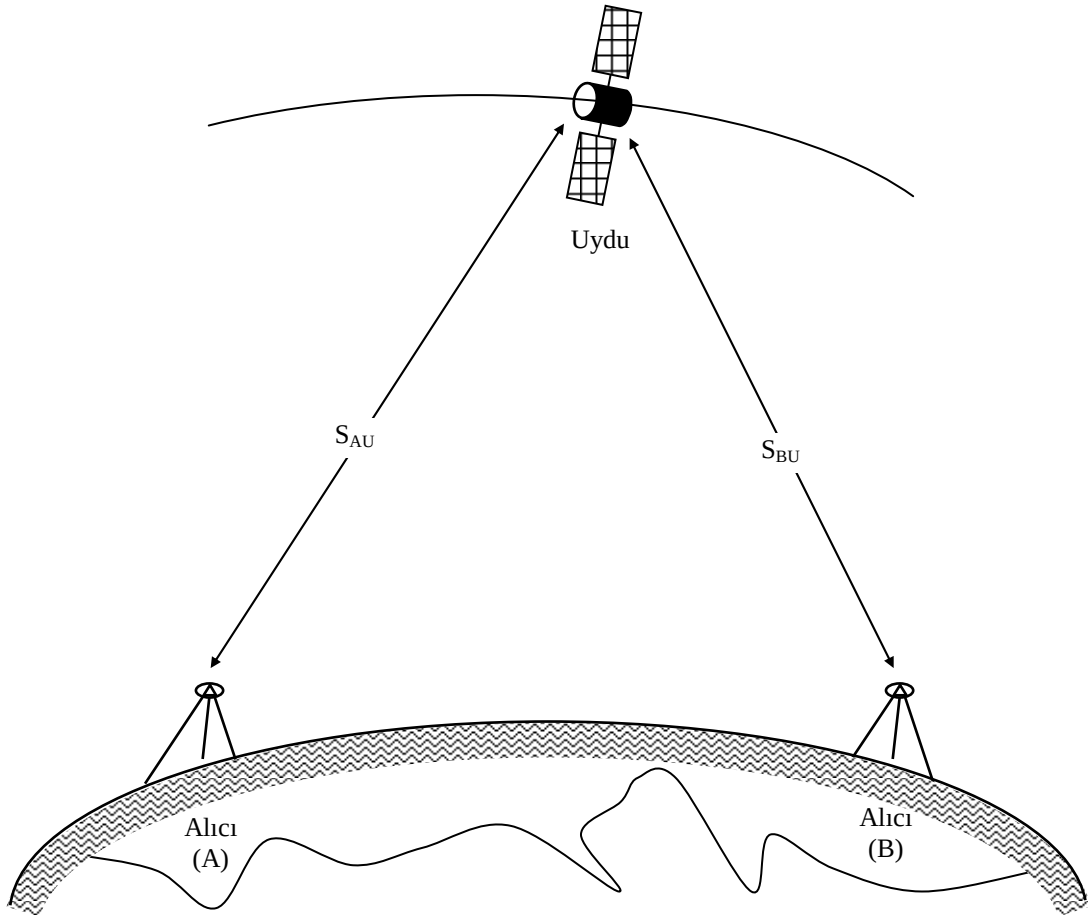


Şekil 3.10 Taşıyıcı Dalga Faz Farkı Ölçüm Yöntemi

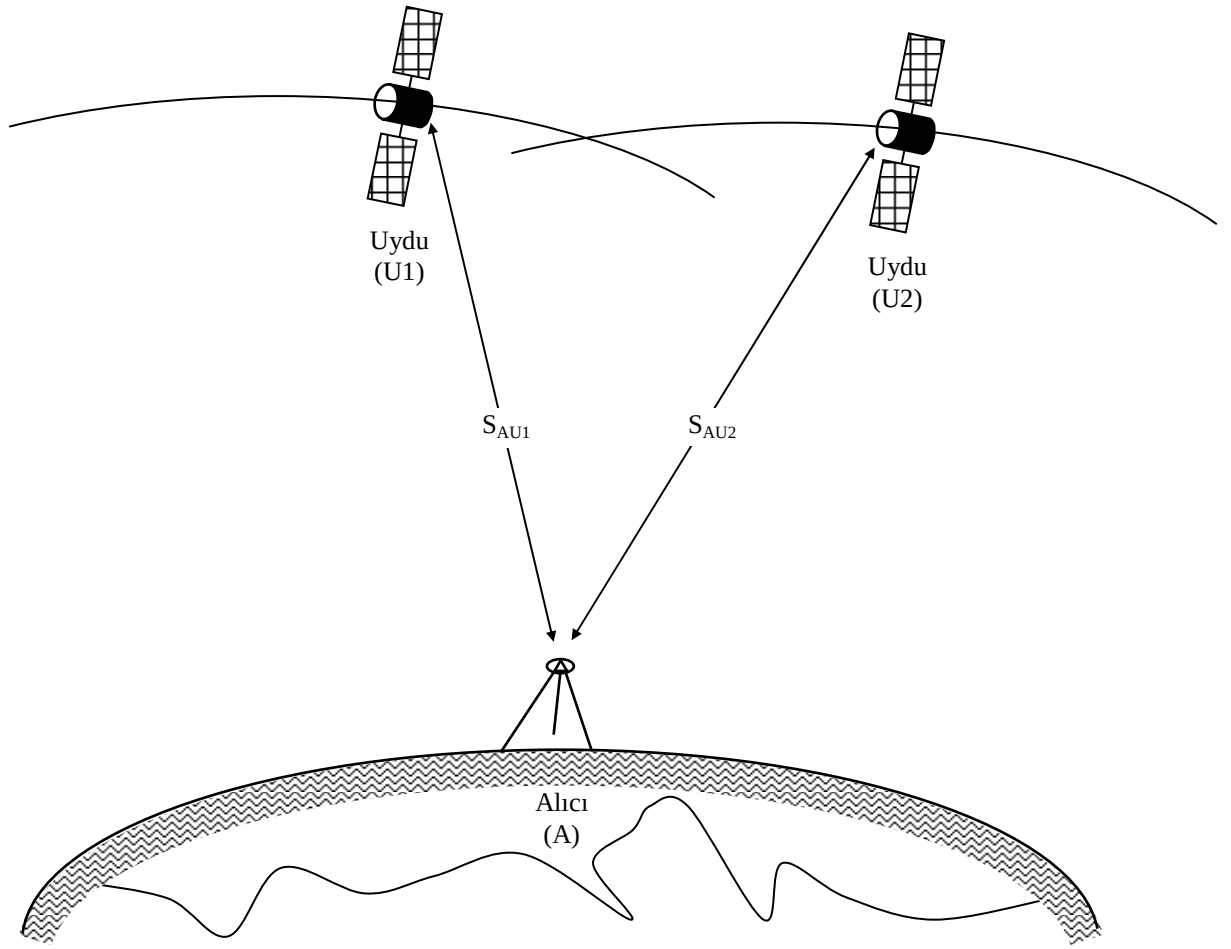
3.4.2.1 Tekli Fark Ölçüleri (Single Difference)

Tekli fark ölçüleri iki farklı noktadaki alıcıdan tek bir uyduya aynı anda yapılan fark gözlemleridir. Bu şekilde uydu saat hataları elemine edilir. (Şekil 3.11)

Tekli fark ölçülerinin diğer bir şekli ise bir noktadaki tek alıcıdan iki farklı uyduya yapılan gözlemdir. Bu yöntemle de alıcı saat hatası elemine edilmiş olur. (Şekil 3.12)



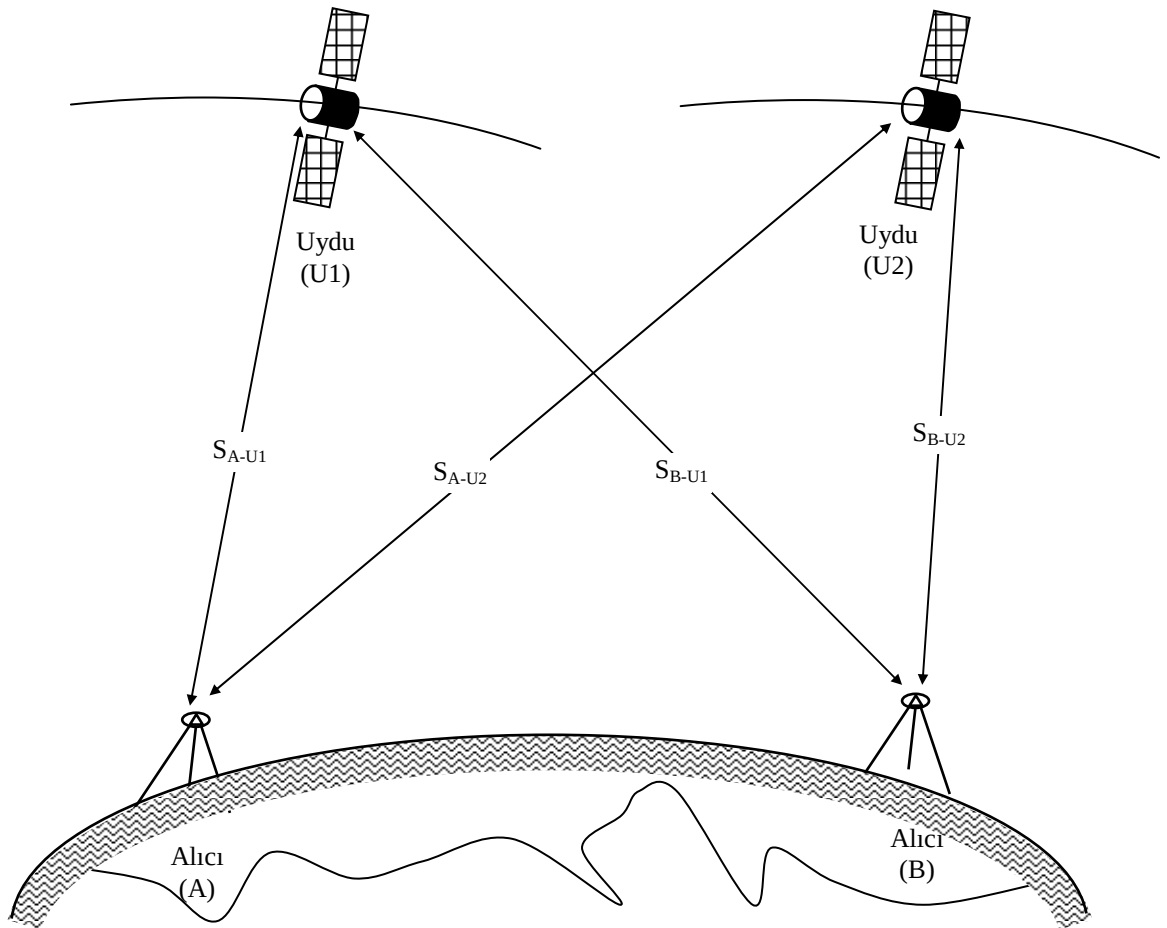
Şekil 3.11 İki Alıcıdan Tek Uyduya Yapılan Tekli Fark Yöntemi



Şekil 3.12 Bir Alıcıdan İki Uyduya Yapılan Tekli Fark Yöntemi

3.4.2.2 İkili Fark Ölçüleri (Double Difference)

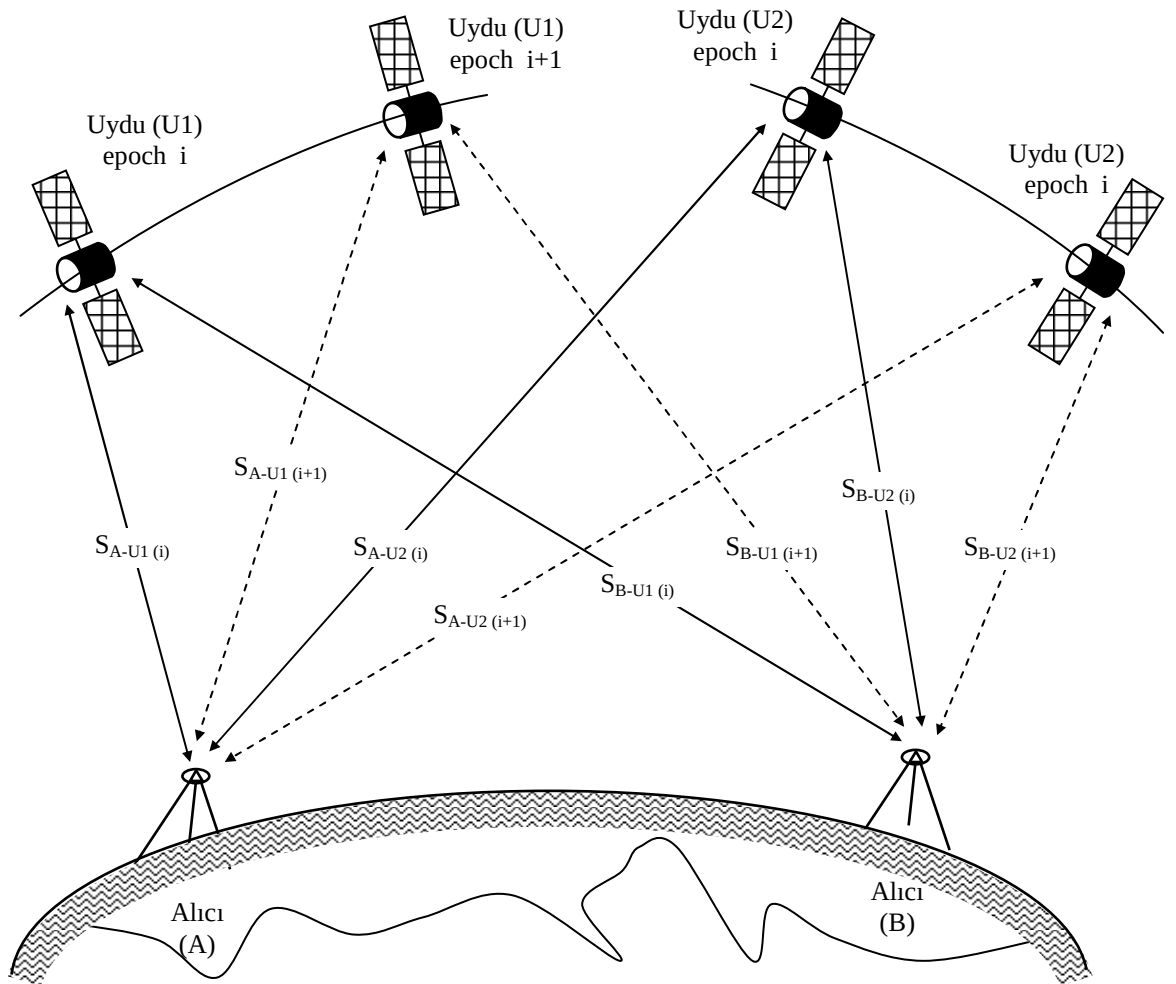
Bu yöntemde; ikili fark ölçüleri, iki alıcı ile iki uyduya yapılan eş zamanlı gözlemlerde oluşturulan tekli fark ölçülerinin farkı alınarak oluşturulur. Bu yöntem ile alıcı ve uydu saat hataları elemine edilebilir. Tam sayı bilinmeyeninin de kalmaması gibi avantajlarından dolayı jeodezik amaçlı olarak en çok kullanılan yöntemdir.



Şekil 3.13 İkili Fark Yöntemi

3.4.2.3 Üçlü Fark Ölçüleri (Triple Difference)

İki alıcı ile iki farklı uydudan yayınlanan sinyallerin i ve $i+1$ epoklarında ölçüldüğü var sayılırsa elde edilen ikili farkların farkı bu ölçme yöntemini oluşturur. Bu yöntem ile alıcı ve uydu saat hataları ile başlangıç faz belirsizliği elimine edilir. Faz sıçramaları ve sinyal yansımaları yok edilerek istenilen doğruluğa ulaşılabilir.



Şekil 3.14 Üçlü Fark Yöntemi

4. ELİPSOİD YÜKSEKLİĞİNDEN ORTOMETRİK YÜKSEKLİĞE DÖNÜŞÜM

4.1 Yüksekliklerin Dönüşümü

GPS ile yapılan ölçmeler sonucunda, bazlara ilişkin üç boyutlu koordinat farkları (dx , dy , dz) ölçülür. Bu değerler, Yermerkezli Kartezyen Koordinat Sisteminin bileşenleridir. GPS ağındaki tüm bazların birlikte dengelenmesiyle noktaların kartezyen koordinatları (X , Y , Z) ya da elipsoidal koordinatlar (B , L , h) elde edilir. Burada elde edilen yükseklikler (h), WGS84 elipsoidine göre hesaplanmış elipsoidal yüksekliklerdir. Bu elipsoidal yüksekliklerden noktaların başka bir sistemdeki yüksekliklerinin hesaplanabilmesi için, çalışma alanında homojen olarak dağılmış her iki sistemde de yükseklikleri bilinen ortak noktalara ihtiyaç vardır.

GPS ölçmelerinden, ortometrik yüksekliklerin ya da bir yerel sistemdeki yüksekliklerinin hesaplanabilmesi için çok çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Her yöntemin kendine göre avantajlı yada dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Genellikle tüm dönüşüm yöntemlerinde rastlanılan problem, her iki sistemde de yüksekliği bilinen noktaların az sayıda olması ve bu noktalardaki ondulasyonların yeterli doğrulukta bilinmemesidir. GPS ile elde edilen yükseklikler cm mertebesinde doğrulukla elde edilebilirler. Başarılı bir dönüşüm için ortak noktalardaki jeoid ondulasyonlarının da cm doğrulukta olması istenir. Bu ise ortak noktaların yerel sistemde de aynı doğrulukla elde edilmiş olması demektir. Yerel sistemde bu doğruluğa ulaşmak pek mümkün olamamaktadır.

GPS ile yüksekliklerin hesaplanmasında iki önemli unsur başarılı sonuçların alınmasında rol oynar Bunlar;

1. Dönüşümde kullanılan yöntem ve sonuçta hesaplanan yüzeyin, o bölgeye uygun olması, istenilen doğruluğu sağlaması,

2. Dönüşümde kullanılacak ortak noktaların GPS ile elde edilen yüksekliklerinin ve yerel sistemdeki yüksekliklerinin(ortometrik yükseklik) doğruluklarının bilinmesidir. [Yanalak, İnce, 97]

Elipsoidal yüksekliklerden herhangi bir yerel sisteme (ortometrik yükseklik) dönüşümün genel bağıntısı (Şekil 4.1);

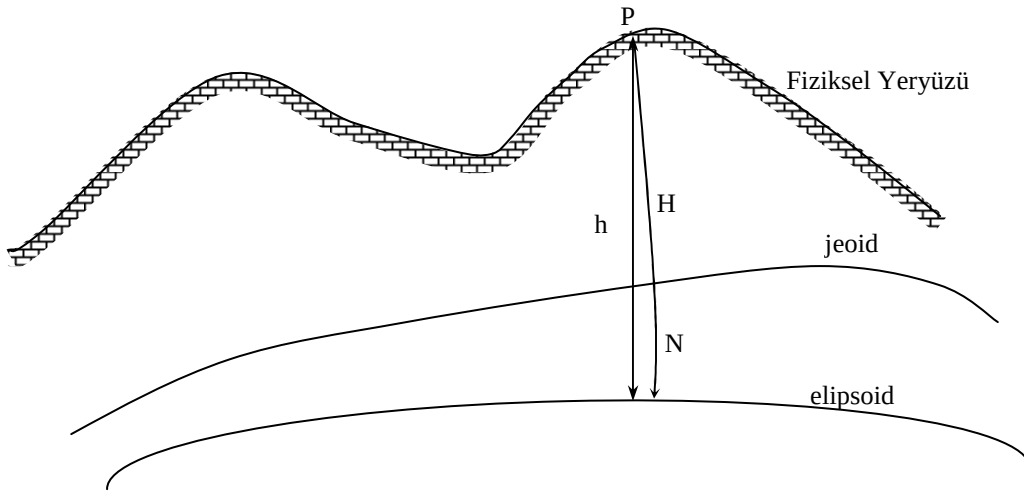
$$h = H + N \quad (4.1)$$

Burada;

h: GPS ile elde edilen yükseklik (Elipsoidal yükseklik),

H: Yerel sistemdeki yükseklik (Ortometrik yükseklik),

N: Jeoid ondulasyonu



Şekil 4-1 Bir P noktası için elipsoid yüksekliği ile ortometrik yükseklik arasındaki ilişki

Yapılan ölçmeler sonucunda her nokta için elipsoidal yükseklik (h) hesaplanmaktadır. Ortometrik yükseklik(H) GPS ölçmeleri öncesi bilinmektedir. Jeoid Ondulasyonu (N) ise bilinmemektedir. Bir nokta için elipsoidal yükseklik ve ortometrik yükseklikler biliniyorsa 4.1 eşitliğinden jeoid ondulasyonu hesaplanabilir. Jeoid yüzeyi, yeryüzünün yoğunluğunun homojen olmamasından dolayı belirli matematiksel formüllerle tanımlanamamaktadır. Bunun yerine jeoidi tanımlayabilecek polinom yada yüzey fonksiyonu modelleri geliştirilmektedir.

4.2 Polinomlarla Jeoid Yüzeyi Modellemesi

Bu modelin amacı jeoid yüzeyini tek bir fonksiyonla ifade etmektir. x, y , ortak noktaların koordinatları olmak üzere oluşturulacak yüzeyin n 'inci dereceden bir polinomla matematiksel ifadesi;

$$N(x, y) = \sum_{k=0}^n \sum_{i=0}^k a_{ij} x^i y^j \quad (4.2)$$

a_{ij} = Polinomun bilinmeyen katsayılarını

n = Polinomun derecesini

i, j = (x, y) koordinatlarının üssü olan pozitif tamsayıları, göstermektedir. [Erkanlı,1986]

Polinom yüzeyinin derecesi arttıkça gereksinim duyulan ortak nokta sayısı da artmaktadır. Bunun sonucu olarak normal denklem katsayılar matrisinin boyutu da artacağından çözüm için daha fazla hesap gerekecek ve bilgisayar hafızasını zorlayacaktır. Polinom derecesinin artmasıyla doğruluğun artması anlamına gelmediği ve yüzeyde gereksiz sapmalar meydana geldiği yapılan hesaplamalar ve çizilen yüzey grafiklerinden anlaşılmıştır.

n 'inci dereceden polinom için $\frac{(n+1).(n+2)}{2}$ kadar ortak noktaya ihtiyaç vardır.

Örnek olarak; 2. derece bir polinom için 6, 3. derece bir polinom için 10 ve 4. derece bir polinom için 15 adet ortak noktaya ihtiyaç vardır.

Ortak nokta sayısı, gerekli olan ortak nokta sayısından fazla ise dengeleme yapılır.

4.3 Yüzey Fonksiyonu ile Jeoid Yüzeyi Modellemesi

Bu modelin amacı da jeoid yüzeyini tek bir fonksiyonla ifade etmektir. Bu modelle polinomlarla jeoid yüzeyi modellemesi ile aynı karakterdedir, tek farkı ise fazladan katsayılar içermesidir. Yüzey fonksiyonun oluşturulmasındaki amaç; x, y üslerinin bütün kombinasyonlarını içerisinde bulundurması ve en uygun yüzeyin, bu katsayılar içerisinde uyumsuz olanların ayıklanarak oluşturulmasıdır. x, y , ortak noktaların koordinatları olmak üzere oluşturulacak yüzeyin n 'inci dereceden bir yüzeyle matematiksel ifadesi;

$$N(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j \quad (4.3)$$

$N(x, y)$ = x, y noktasında ki jeoid ondulasyonunu

a_{ij} = Yüzeyin bilinmeyen katsayılarını

n = Yüzeyin derecesini

i, j = (x, y) koordinatlarının üssü olan pozitif tamsayıları, göstermektedir.

Bir polinomun derecesi belirlenirken birden fazla değişken $(x, y, z, t, \dots)$ varsa terimlerdeki değişkenlerin üsleri toplanır en büyük değer o polinomun derecesi olur. Yüzey fonksiyonun derecesi belirlenirken bu kuralın dışına çıkılarak terimler içerisindeki değişkenlerden en büyük üs, yüzeyin derecesi olarak tanımlanmıştır.

Yüzey fonksiyonunun derecesi arttıkça gereksinim duyulan ortak nokta sayısı da artmaktadır. Bunun sonucu olarak normal denklem katsayılar matrisinin boyutu da artacağından çözüm için daha fazla hesap gerekecek ve bilgisayar hafızasını zorlayacaktır. Yüzey fonksiyonun derecesinin artmasıyla doğruluğun artması anlamına gelmediği ve yüzeyde gereksiz sapmalar meydana geldiği yapılan hesaplamalar ve çizilen yüzey grafiklerinden anlaşılmıştır.

n 'inci dereceden yüzey için $(n+1)^2$ kadar ortak noktaya ihtiyaç vardır.

Örnek olarak; 2. dereceden bir yüzey için 9, 3. dereceden bir yüzey için 16 adet ortak noktaya ihtiyaç vardır.

4.4 Polinom ve Yüzey Fonksiyonunun Açılımlarının Karşılaştırılması

Örnek olarak, 3. dereceden, polinom ile yüzey fonksiyonunu karşılaştırmak istersek;

3 dereceden polinom;

$$N(x,y) = a_1x^0y^0 + a_2x^0y^1 + a_3x^1y^0 + a_4x^0y^2 + a_5x^1y^1 + a_6x^2y^0 + a_7x^0y^3 + a_8x^1y^2 + a_9x^2y^1 + a_{10}.x^3y^0$$

3 dereceden yüzey fonksiyonu;

$$N(x,y) = a_1.x^0y^0 + a_2.x^0y^1 + a_3.x^0y^2 + a_4.x^0y^3 + a_5.x^1y^0 + a_6.x^1y^1 + a_7.x^1y^2 + a_8.x^1y^3 + a_9.x^2y^0 + a_{10}.x^2y^1 + a_{11}.x^2y^2 + a_{12}.x^2y^3 + a_{13}.x^3y^0 + a_{14}.x^3y^1 + a_{15}.x^3y^2 + a_{16}.x^3y^3$$

Polinom ve yüzey fonksiyonunu karşılaştırdığımızda;

1. 3. derece polinom 10 adet terim, 3 derece yüzey ise 16 adet terim içermektedir.
2. Polinomun terimlerinin tamamını yüzey terimlerinin içerisinde.
3. x^2y^2 , x^2y^3 , x^1y^3 , x^3y^1 , x^3y^2 , x^3y^3 terimleri yüzey fonksiyonun, polinomdan farklı olan terimleridir. Bu terimlerin üslerinin toplamı 3 'ten büyük ve en fazla 6 olduğu görülmektedir

4.5 Polinom ve Yüzey Fonksiyonu Katsayılarının Hesaplanması

Katsayıların hesaplanması aşamaları maddeler halinde özetlenirse;

1. Projedeki ortak nokta sayısı bilindiğinden en fazla kaçınıcı dereceye kadar polinom yada yüzey fonksiyonu oluşturulacağı (4.4) ve (4.5) işlemine göre hesaplanır.

Polinom için;

$$n = \frac{-3 + \sqrt{1 + 8u}}{2} \quad (4.4)$$

Yüzey Fonksiyonu için;

$$n = -1 + \sqrt{u} \quad (4.5)$$

n = oluşturulacak en büyük derece,

u = ortak nokta sayısı,

2. Oluşturulan her bir yüzey fonksiyonu ve polinom için dengelemenin [PVV] = min ilkesine göre dengeleme yapılır. Dengeleme işleminde ortak noktalar için $N=h-H$ değeri ölçü değeri olup, fonksiyon terimlerinin katsayıları bilinmeyendir. Dengeleme sonucunda, katsayılar (dx_i), serbestlik derecesi (f), birim ağırlıklı ölçü için karesel ortalama hatası (m_o) ve terimlerin katsayıların hatası (mx_i) hesaplanır.
3. Hesaplanan katsayı ve hataları gözden geçirildiğinde bazı katsayıların hataları kendilerinden büyük çıkmaktadır. Bunlar anlamsız katsayılardır. Bunlardan; $\frac{|dx_i|}{mx_i}$ değeri en küçük olan katsayının terimi fonksiyondan çıkarılarak, hatası kendisinden büyük olan katsayı kalmayıncaya kadar 2 ve 3 adımları tekrarlanır.

4. Uyuşumsuz ölçüler test edilir;

Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliğine göre uyuşumsuz ölçüler testi yapılır ve uyuşumsuz olan ölçüler ayıklanır. [Bakınız B.Ö.H.Y.Y]

5. Bilinmeyenlerin (katsayıların) anlamlı olup olmadıkları test edilir;

$$C = \frac{|dx_i|}{mx_i} \quad (4.6)$$

$$T_{f, 0975} \quad (4.7)$$

C = Test büyüklüğü

T = t testine göre test değeri

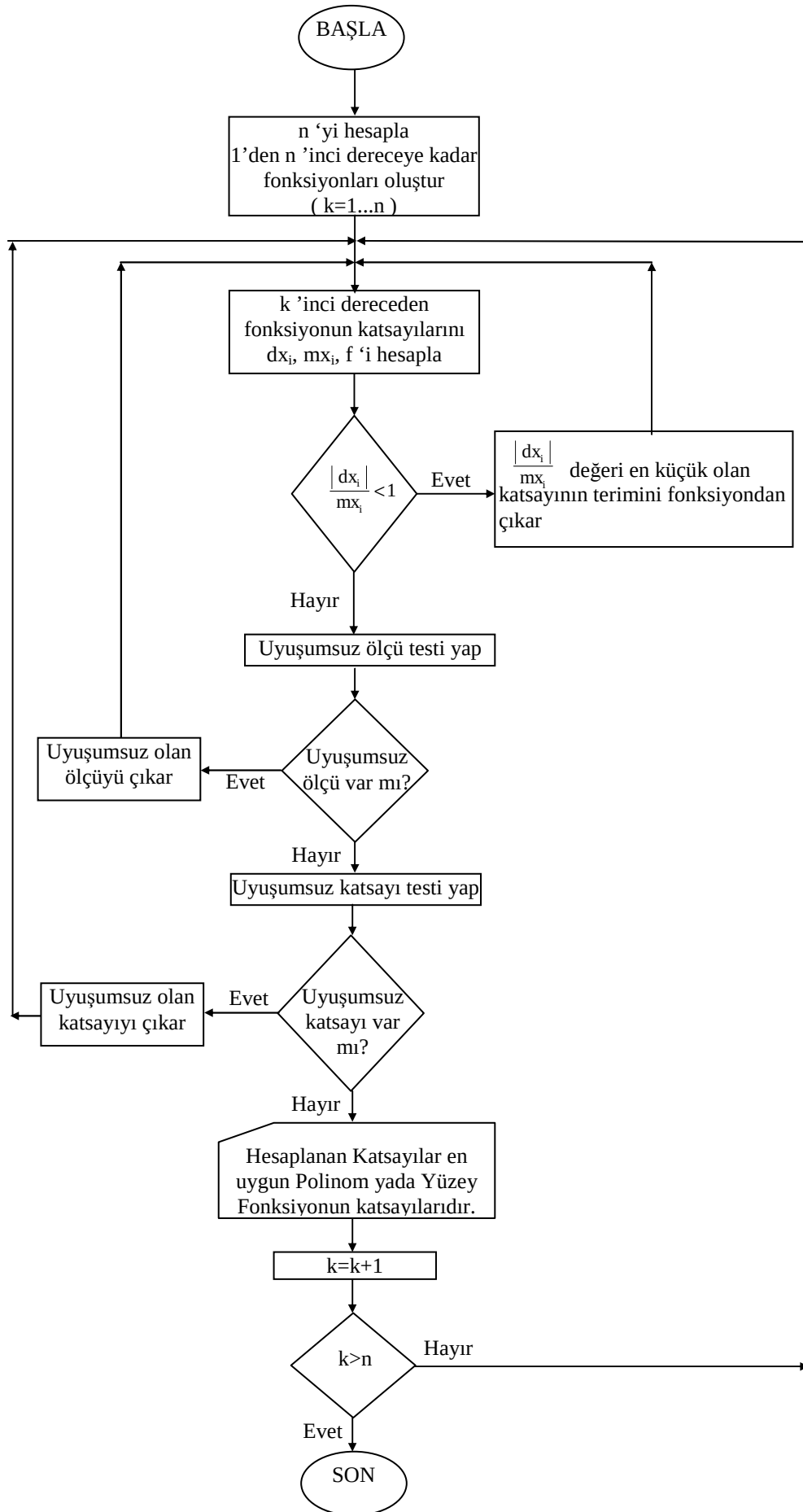
dx_i = i 'inci katsayı değeri

mx_i = i 'inci terimin katsayısının hatası

$C < T$ olan katsayılar tespit edilirler. [Öztürk, Şerbetçi, 1989]

Tespit edilen katsayılar uyuşumsuz katsayılardır. Bu katsayılardan C değeri en küçük olan fonksiyondan çıkarılarak yeniden 2, 3, 4, 5 adımları $C < T$ olmayıncaya kadar devam edilir.

İki, üç, dört ve beş işlemleri sonunda hesaplanan katsayılardan oluşan polinom yada yüzey fonksiyonu hesaplanan derece için en uygun polinom yada yüzey fonksiyonu olarak elde edilmektedir. Bu işlemlerle ilgili hesap akış diyagramı şekil 4.2 'de görülmektedir.



Şekil 4.2 – Polinom ve Yüzey Fonksiyonu Terim Katsayılarının Hesap Akış Diyagramı

KAYNAKLAR

- 1- 6. Harita Kurultayı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 1997
- 2- AKSOY A., GÜNEŞ İ.H., Jeodezi I-II İstanbul,1990
- 3- AZAR A., Sayısal Fotogrametrik Harita Üretimi İçin Nirengi Sıklaştırmada GPS Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, 1996
- 4- DELORES M. Etter, Engineering Probleb Solving with Matlab, Second Edition,1997
- 5- ERKANLI Y., Koordinatlandırılmış Modelde veya Alanda, Enterpolasyon, Ekstrapolasyon Yöntemlerinin Uygulanması ve Neticeleri, Harita ve Kadastro Müh. Dergisi, 56-57, 1986
- 6- GÜNEŞ A., YILDIZ K., Matlab for Windows, Türkmen Kitapevi ,1997
- 7- GÜNEŞ İ.H., ULUSOY E., Ülke Jeodezi Ağları, İstanbul,1984
- 8- GÜRKAN O., MORİTZ H., HEİSKANEN W., Fiziksel Jeodezi, Trabzon-1984
- 9- KAHVECİ M., Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesinde Global Konumlama Sistemi (GPS), Yüksek Lisans Tezi,1994
- 10-KARAALİ C., GÖKALP E., G.P.S. Gözlemleri, Araştırma Raporları K.T.Ü., Trabzon,1994
- 11-KOÇAK E. ,Harita Projeksiyonları , Trabzon-1984
- 12-LEİCK A., G.P.S. (Satellite Surveying), John Wiley and Sons.Inc, 1995
- 13-ÖZTÜRK E, ŞERBETÇİ M., Dengeleme Hesabı Cilt I-II-III 1989, Trabzon
- 14-The Wm GPS Primer, WM Satellite Survey Company, Switzerland,
- 15-YANALAK M., İNCE Cankut D., GPS ile Elde Edilen Elipsoidal Yüksekliklerin Yerel Yükseklik Sistemine Dönüştürülmesi, 6. Harita Kurultayı, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 1997

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Kahramanmaraş'da doğdu ve 1990 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Lisesi'nden mezun oldu. 1995 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden, bölüm birincisi olarak mezun oldu. Halen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsünde yüksek lisans eğitimini sürdürmekte ve Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.