

JEODEZİDE KULLANILAN REFERANS SİSTEMLERİ

Uğur DOĞAN*

ÖZET

Jeodezi biliminin yıllardan beri uğraştığı konulardan biri de üç boyutlu bir referans ağı oluşturmaktır. Uzayda bulunan nesnelere, özellikle jeodezik noktaların bağıl konumlarını belirleyen koordinatların yüksek doğrulukla belirlenmesi için tanımlanmış göksel ve yersel koordinat sistemlerine gereksinim duyulmaktadır.

Uzayın tüm noktalarının devingen özelliğine sahip olmasından dolayı temel olarak 4 koordinat (3 uzay, 1 zaman koordinatı) gereklidir. Yeryüzündeki noktaların ya da uzaydaki nesnelere koordinatları jeodezide iki yatay konum koordinatı ve bir yükseklik koordinatı biçiminde iki grupta ele alınmaktadır. Genel olarak dik ve eğri koordinatlar kullanılır. Bu çalışmada jeodezide kullanılan referans sistemleri açıklanmaktadır.

1. GİRİŞ

Koordinatlar açı ve uzunluk ölçülerinden dönüştürülür. Bir koordinat sistemini tanımlamak ve oluşturabilmek için başka bilgilere ihtiyaç vardır. Ölçülerin içermediği bilgi için yeterli sayıda datum koşulu öngörülür. Örneğin yatay doğrultu ve uzunlukların gözlemlendiği iki boyutlu konum ağlarında, koordinat sisteminin konumunu ve yönünü belirleyen 3 koşul gerekmektedir. Yalnızca yatay doğrultuların gözlemlendiği ağlarda 4 koşul saptanmalıdır. Datum koşulları, datum noktası olarak belirlenen noktaların küçültülmüş tüm koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamı minimum olacak biçimde belirlenir.

Bundan dolayı koordinatlar ve koordinat sistemleri, seçilen jeodezik datuma bağlıdır. Bir jeodezik datum ve buna göre bir referans sistemi referans noktalarına dayalı olarak belirlenmişse jeodezik ölçüler yardımıyla bu datum referans noktaları üzerinden başka ağ noktalarına aktarılabilir.

Bir referans sisteminin her yerde ve her zaman jeodezik datumu gerçekleştirmesi gerektiğinden bir koordinat sistemi için salt matematiksel ve geometrik alanda bir tanım yeterli değildir. Daha çok bir referans sistemi, yeryüzünde işaretlenmiş noktalara belli gök cisimlerine fiziksel olarak bağlanmalıdır. Buna bir referans sisteminin oluşturulması ve sonucuna da belirlenmiş referans ağı adı verilir. Bu yüzden referans sistemi ya da referans çerçeve, koordinat sistemi kavramından daha kapsamlı bir kavramdır /3/.

2. REFERANS SİSTEMLERİ

Referans sistemleri ikiye ayrılır : Uzaya bağlı referans sistemleri ve yeryüzüne bağlı referans sistemleri. Uzaya bağlı referans sistemleri yeryüzünün dışında bulunan noktalara bağlanırlar ve Newton mekaniği anlamında uzaya bağlı bir inersiyel sistem oluştururlar.

* Arş. Gör. (Y.T.Ü)

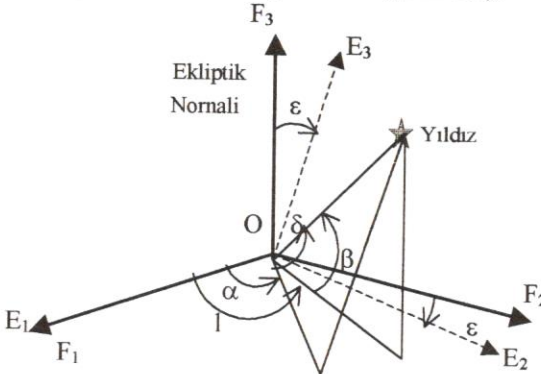
Buna karşın yeryuvarına bağlı sistemler yeryüzü noktalarına dayanırlar ve yeryuvarıyla birlikte devinirler. Bu iki tür referans sistemi belli kurallara göre yeryuvarının dönme eksenine bağlanmıştır ve jeodezinin başlangıcından bu yana kullanılmaktadırlar.

2.1 Uzaya Bağlı Referans Sistemleri

Uzaya bağlı referans sistemleri, yeryuvarı dışında bulunan cisimlerle (kuasarlar, yıldızlar, güneş, ay, uydular, yapay uydular) bağlantıları kurularak oluşturulurlar. Oluşumu, öngörülen açık kurallara dayanan böyle sistemlere “Konvensiyonel İnersiyel Sistemler” (CIS : Conventional Inertial System) denir.

Böyle sistemlerin tanımı başlıca iki temele dayanır. Kinematik CIS, yıldızlara ya da galaksiler ötesi radyo dalgalarına bağlı olarak oluşturulur. Temel görüş çok uzakta bulunan objeler bakımından bir inersiyel sistemin dengede (sabit) olduğu ilkesine dayanmaktadır. Yeryuvarından gözleendiğinde kuasarların konum değişimleri çok küçüktür. Bu objeler uzayda konumları sabit noktalar olarak kabul edilebilir. Bu yüzden uzaya bağlı referans sistemlerini gerçekleştirmek için çok uygundurlar. Kinematik tanımda bu gök cisimlerinin hareketlerinin bilindiği varsayılır. Binlerce yıldızın 2000 yılına ilişkin koordinatları (rektasansiyon ve deklinasyon) temel katalogda (FK5) verilmiştir. Dinamik CIS, Newton mekaniğinin hareket denklemlerine dayanır. Güneş sisteminin uydularına (uydular, ay, yapay uydular) bağlanmıştır.

CIS ile bağlantılı bir dik koordinat sisteminin başlangıcı yeryuvarının ya da güneş sisteminin ağırlık merkezine konur, koordinat eksenlerinin doğrultuları için ya ekliptik sistemler ya da uzaya bağlı ekvator sistemleri kullanılır /7/. Bu ekliptik sistemin 3. eksenini (F_3) yeryuvarının yörünge düzlemine dik olan ekliptik normali doğrultusundadır. 1. eksenini (F_1) ekliptik düzlemiyle ekvator düzleminin arakesitidir ; ilkbahar noktası doğrultusundadır. Buna karşın bir ekvator sisteminin 3. eksenini (baz vektörü E_3) yeryuvarının belli bir zaman için geçerli ortalama dönme eksenidir. 1. eksenini (E_1) ilkbahar noktasına (belli bir zamandaki ortalama ilkbahar noktası) giden doğrultu ile çakıştırır. İkinci eksenler (baz vektörleri F_2, E_2) ekliptik ve ekvator sistemlerini sağ el dik koordinat sistemi oluşacak biçimde tamamlar. Bir gök cisminin doğrultusu iki açı parametresiyle tanımlanır. Ekliptik sistemde bu açılar ekliptik boylam l ve ekliptik enlem β dir. Ekvator sistemde rektasansiyon α ve deklinasyon δ dir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Ekliptik sistem ve uzaya bağlı ekvator sistemi /7/

Dönme momentinin sonucu olarak güneş ve ay yeryuvarını ekvatorunda etkiler. Ayrıca uyduların çekim etkisi nedeniyle yeryuvarının dönme eksenini ve ekliptik normalinin doğrultuları uzayda değişir. Ekvator ve ekliptik düzlemleri ile ilkbahar noktasının böylesi etkilenmeleri ve ekliptiğin zamana bağlı değişimleri presesyon ve nütasyon olarak adlandırılır.

Presesyon, temelde güneşin dönen ve basık yeryuvarını etkilemesinin bir sonucudur. Nütasyon, önemli ölçüde yeryuvarı ile ay arasındaki etkileşimden kaynaklanır. Periyodik özelliktedir. Presesyon ve nütasyon modellendirilerek belirlenebilir. Presesyon nedeniyle ilkbahar noktasının yıllık hareketi (gerilemesi) $50''.4$ dir. Nütasyonda ekliptiğin eğimine ($\Delta\varepsilon$) ve boylamı ($\Delta\psi$) bağlı temel terimleri 18.6 yıllık periyotlarla $9''.2$ ve $17''.3$ şiddetindedir.

Gerçek ekliptik ve ekvator sistemleri yeryuvarının anlık dönme eksenine ve ilkbahar noktasına göre tanımlanır. Ortalama ekliptik ve ekvator sistemleri sadece presesyon hareketinden etkilenir. Böyle ortalama sistemler yaklaşık homojen hareket ettiklerinden konvensiyonel inersiyal sistemlerin belirlenmesine yararlar. Bu yüzden bir CIS, t_0 referans zamanı, örneğin standart zaman J2000.0 için geçerli ortalama ekliptik ekvator sistemine göre tanımlanır.

CIS'in t zamanı için geçerli uzaya bağlı anlık bir ekvator sistemine dönüşümü presesyon ve nütasyon matrisleriyle tanımlanır. Gök cisimlerinin konumları (doğrultuları) referans sisteminin değişimleri ya da hareketleri nedeniyle zamana bağlıdır.

Değişik ölçme yöntemleriyle çeşitli CIS'ler gerçekleştirilebilir. VLBI (Very Long Baseline Interferometry) ölçüleri yardımıyla VLBI - CIS, kinematik CIS olarak tanımlanır. Eksen doğrultuları yüksek doğrulukla ($0''.001$ ve daha yüksek) belirlenebilmektedir. Buna karşın konumlandırılması gerçekleştirilememektedir. İlgili referans çerçeveyi burada bir katalogta işaretli galaksiler ötesi radyo dalgalarının doğrultuları oluşturmaktadır.

Referans çerçeveyi yıldız kataloglarında rektasansiyon ve deklinasyon ile tanımlanan belli yıldızlara yönelik doğrultuların oluşturduğu CIS, bir kinematik - dinamik sistemdir. Yersel astronomik gözlemler refraksiyondan etkilendiğinden $0''.02$ - $0''.06$ doğrulukla gerçekleştirilir. Aya ve yeryuvarının yapay uydularına doğrultu ve uzunluk ölçüleri, bunun gibi uydu gözlemleri aynı adlarla anılan CIS'lerin temelini oluşturur. Referans çerçeve burada hareket denklemlerinin integrasyonundan çıkan bu gök objelerinin yörünge bilgileriyle verilir. Bu yöntemlerle başlangıcı yeryuvarının ağırlık merkeziyle çakışan sistemler gerçekleştirilebilmektedir. Lazer uydularına SLR (Satellite Laser Ranging) ölçmeleri ya da GPS ölçülerinden dönüştürülen uydu CIS'leri sadece kısa bir süre için kararlı (stabil) dir.

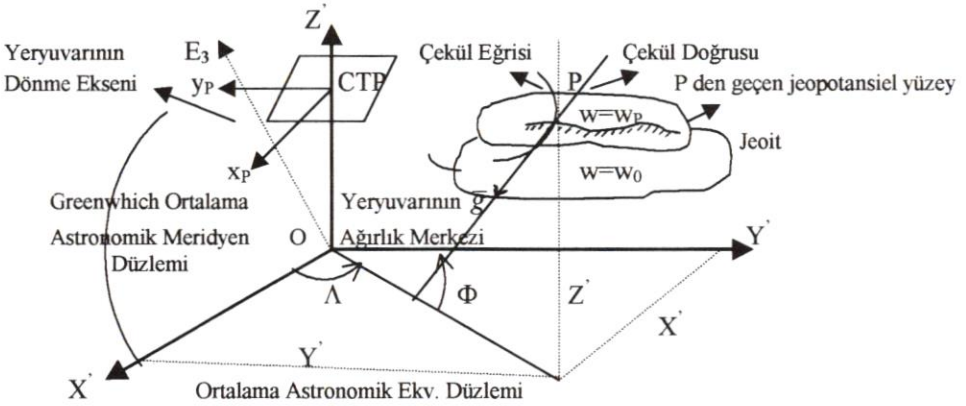
Çeşitli ölçme araçlarıyla donatılmış yeterli sayıda istasyondan elde edilen tüm ölçülerin birlikte değerlendirilmesi ve analizi sonucunda karma CIS tanımlanabilir. Böyle bir CIS, örneğin IERS (International Earth Rotation Service) tarafından global dağılmış istasyonlarda yapılan VLBI, LLR (Lunar Laser Ranging), SLR ve GPS ölçüleri bazında belirlenmektedir /7/.

2.2 Yeryuvarına Bağlı Referans Sistemleri

Yeryuvarına bağlı referans sistemleri, yeryüzünün işaretlenmiş noktalarına dayalı olarak tanımlanır. Bu yüzden yeryuvarı ile birlikte hareket ederler. Jeodinamik olaylar nedeniyle yeryuvarı ve yeryüzü değişime uğrar. Bu yüzden referans noktaları sabit kalan bir referans sistemi yoktur. Buradan referans noktalarının zamana bağlı değişimlerinin olanaklı ise modellendirilmesi gerektiği ortaya çıkar. Temel noktaların üç boyutlu koordinatları açısından uygun tanımlar ve anlaşmalar ile bir koordinat çerçeve hareketli yeryuvarına bağlanır. Buna göre "Konvensiyonel Yersel Referans Sistemi" (CTS : Conventional Terrestrial System) elde edilir. Bir ideal yersel sistemin başlangıcı yeryuvarının ulaşılamayan ağırlık merkezinde bulunur. Üzerinde anlaşılan belli ilkelerle ideal bir sistem tam olarak gerçekleştirilemez. Olabildiğince ideal duruma yaklaşılmaya çalışılır.

Bir CTS'nin her gerçekleşeni referans noktalarında (gözlemevi ya da nirengi noktaları) yapılan jeodezik ölçülere dayanır. Böylece bu nokta kümesinin anlık bağıl konumu ya da iç geometrisi belirlenir. Yersel istasyonlar arasında yapılan yersel ölçülerden ve yeryuvarının dışında bulunan objelere ilişkin eşzamanlı gözlemlerden zamana bağlı olarak değişen bir uzay şekil (çok yüzlü) oluşur. Bu deformasyonlar, noktaların hareketleri modellendirilerek bir başlangıca (referans durum) göre tanımlanabilir. Değişik zamanlarda yapılan ölçüler yardımıyla bu hareketler denetlenebilir. Böylesi çok yüzlüye yeterli sayıda datum koşulu yardımıyla konumu ve yönü bir CIS'e göre tanımlanabilen bir koordinat sistemi yerleştirilebilir.

2.2.1 Global Yermerkezli Koordinat Sistemi ve Doğal Koordinatlar



Şekil 2.2 : Global yermerkezli koordinat sistemi ve astronomik enlem (Φ), astronomik boylam (Λ)

Global yermerkezli koordinat sisteminin (CTS) başlangıcı yeryuvarının ağırlık merkezidir (Şekil 2.2). Z' eksenini yeryuvarının ortalama dönme eksenine çıkarır. Aynı zamanda Z' düşey ekseninin artı yönü kuzey kutbunu gösterir.

X'/Z' - düzlemi, Greenwich ortalama astronomik meridyen düzleminde. X' eksen ortalama astronomik ekvator düzleminde artı yönü 0^0 astronomik boylamı gösterir. Y' eksen dik açılı sağ sistemi tamamlar. Yeryüzünün bir P noktasından geçen çekül eğrisine o noktada teğet olan çekül doğrultusu ve bu noktadan Z' eksenine çizilen paralelin belirlediği düzlem P noktasından geçen astronomik meridyen düzlemdir. P' deki çekül doğrultusu ile Z' eksen aynı düzlem içinde olmadığından astronomik meridyen düzlemi sistemin başlangıç noktasından geçmez. Global dik koordinat sistemi uydu jeodezisi ve jeodezik astronomi ile ilişkisi nedeniyle önemlidir. Uydu jeodezisi yardımı ile olanaklı 3 boyutlu konum belirlemede koordinatlar ya da koordinat farkları iyi bir yaklaşıklıkla X', Y', Z' sistemindedir.

Uydu sistemlerinin $X' Y'$ - düzlemleri yüksek doğrulukla global sistemdeki ortalama astronomik ekvator düzlemine paraleldir. Uydu sistemlerinin X ve Y eksen doğrultularının global sistemin bunlara karşılık gelen eksen doğrultularından sapmaları çok küçüktür.

Yeryuvarının dairesel hareketinden kaynaklanan kutup gezinmesi nedeniyle yeryuvarının anlık dönme ekseninin konumu değişir. Anlık dönme ekseninin yeryüzünü deldiği nokta ≈ 435 günlük bir periyotla (Chandler Periyodu) yaklaşık daire biçiminde bir yol çizerek hareket eder. Bu harekete aynı zamanda yıllık periyotlu düzensiz hareketler ve batı yönünde bir trend eklenir. Anlık dönme ekseninin yeryuvarına bağlı bir CTS' ye göre doğrultusu kutup koordinatları x_p, y_p ile tanımlanır. x_p Greenwich ortalama meridyen düzleminde ve y_p buna dik düzlemde ölçülür (Şekil 2.2).

CTP (Convention Terrestrial Pole), 1899 - 1905 yıllarındaki anlık dönme ekseninin ortalama konumuna karşılıktır (1987 ye kadar CIO : Conventional International Origin olarak adlandırılır). Global referans sistemi olarak günümüzde ITRF (International Terrestrial Reference Frame) kullanılmaktadır /11/. Başlangıcı yeryuvarının ağırlık merkezindedir. Yeryuvarının ortalama dönme eksenini (Z) yeryüzünü IERS - referans kutbunda (IERS - Reference Pole) deler. IERS - referans kutbu CIO ile gerçekleştirme doğruluğu ölçüsünde ($0''.03$) uyuşmaktadır. Y eksenini, referans istasyonlarının boylamlarıyla saptanan 0^0 meridyenini (Greenwich meridyeni) gösterir.

Yeryüzünün noktaları arasındaki potansiyel farkları nivelman ve gravite ölçüleri yardımıyla belirlenebilir. Φ, Λ astronomik koordinatlar ve W gravite potansiyeline yeryuvarı gravite alanının doğal koordinatları adı verilir. Bir P noktasının konumu bu sistemde Φ_p, Λ_p, W_p parametreleri ile belirlenir.

Astronomik enlem Φ_p , P noktasından geçen çekül doğrultusu ile ortalama astronomik ekvator düzlemi arasındaki açıdır. Ekvator düzleminden başlayarak kuzeye doğru artı, güneye doğru eksi olarak tanımlanır ($-\pi/2 \leq \Phi \leq \pi/2$).

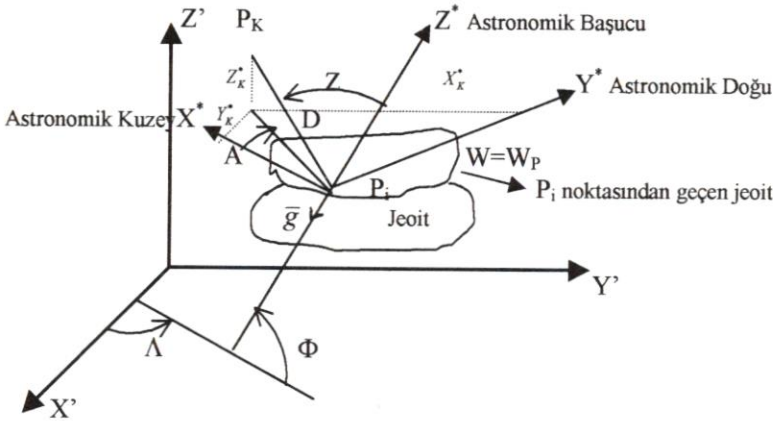
Astronomik boylam Λ_p , P noktasından geçen astronomik meridyen düzlemi ile Greenwich ortalama astronomik meridyen düzlemi arasında kalan açıdır. Ekvator düzleminden doğu yönünde artar ($0 \leq \Lambda \leq 2\pi$). Astronomik koordinatlar sabit yıldızlara yapılan yerel gözlemler ile belirlenir.

2.2.2 Yerel Astronomik Koordinat Sistemi

Başlangıç noktası yeryüzünde gözlem yapılan P_i noktasıdır (Şekil 2.3). Z^* eksenini başlangıç noktasından geçen jeopotansiyel yüzeyin normaliyle ya da \vec{g} gerçek gravite vektörüyle çakışır. Z^* ekseninin artı yönü astronomik başucuna yönelmiştir. X^* eksenini P_i noktasının ortalama astronomik meridyen düzleminin içinde uzanır, Z^* eksenine diktir. Artı yönü astronomik kuzeyi gösterir. Noktadan geçen jeopotansiyel yüzeye teğet düzlem içindedir.

Y^* ekseninin artı yönü astronomik doğuyu gösterir. Eksenler bir sol sistem oluşturur. Yeryüzündeki yersel ölçüler bu sisteme dayanır. P_i noktasına kurulan ölçü aletinin düşey eksenini Z^* eksenini (P noktasındaki düşey doğrultu) ile çakışır.

X^* ekseninin doğrultusu astronomik gözlemlerle belirlenebilir. Herhangi bir P_i noktasından bir P_k noktasına bakıldığında P_i ye göre P_k noktasının bağıl konumu, P_i deki yerel astronomik sistemde ya X_k^*, Y_k^*, Z_k^* dik koordinatlarıyla ya da kutupsal koordinatlar; eğik uzunluk D , astronomik azimut A ve zenit uzaklığı Z yardımıyla tanımlanabilir.



Şekil 2.3 : Yerel astronomik koordinat sistemi ve doğal kutupsal koordinatlar
A, Z, D

Zenit uzaklığı (Z), P_i noktasındaki başucu doğrultusu ile P_i ve P_k noktalarını birleştiren eğik uzunluk arasındaki açıdır ($0 \leq Z \leq \pi$). Astronomik azimut (A), P_i noktasının astronomik meridyen düzlemi ile başucu doğrultusu ve P_i , P_k noktalarından geçen düşey düzlem arasındaki açıdır. A açısı $X^* Y^*$ yatay düzleminde ölçülür ve kuzeyden doğuya doğru artı işaretlidir ($0 \leq A \leq 2\pi$).

A, Z, D kutupsal koordinatları ile X^*, Y^*, Z^* yerel dik koordinatları arasında,

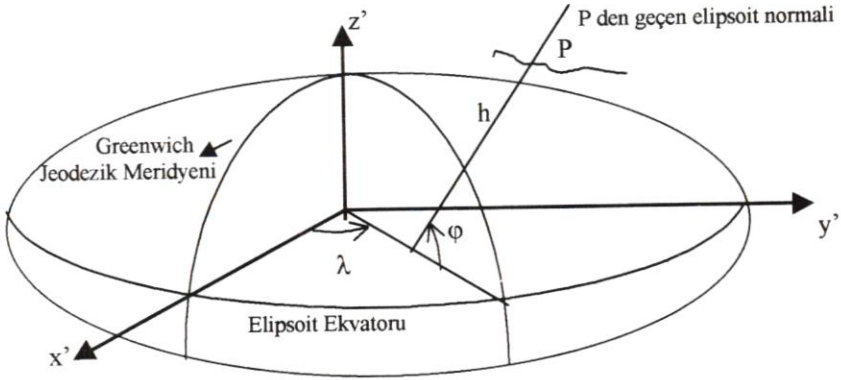
$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} \cos A \sin Z \\ \sin A \sin Z \\ \cos Z \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

bağıntısı geçerlidir /6/.

2.2.3 Global Jeodezik Koordinat Sistemi

Global jeodezik koordinat sisteminin başlangıcı referans elipsoidinin ağırlık merkezidir (Şekil 2.4). Elipsoidin küçük eksenini global jeodezik sistemin z' eksenine çakıştırır. z' eksenini elipsoidi jeodezik kuzey ve güney kutuplarında keser. z' eksenini içeren düzlemlerin elipsoid yüzeyindeki ara kesit eğrilerine jeodezik meridyen denir.

x' eksenini Greenwich jeodezik meridyen düzlemi ile ekvator düzleminin arakesitidir. x' ekseninin artı yönü 0^0 jeodezik boylamı gösterir. y' eksenini bir sağ el sistemi oluşturur.



Şekil 2.4 : Jeodezik ortak dik koordinat sistemi ve jeodezik dik oordinatlar φ, λ, h

φ elipsoidal enlemi (jeodezik enlem), elipsoid normali ile $x'y'$ düzlemi arasındaki açıdır ($-\pi/2 \leq \varphi \leq \pi/2$). λ elipsoidal boylamı (jeodezik boylam) greenwich jeodezik meridyen düzlemi ile P noktasının jeodezik meridyen düzlemi arasındaki açıdır. Doğu yönünde artı işaretlidir ($0 \leq \lambda < 2\pi$).

φ, λ jeodezik koordinatları (coğrafi koordinatlar da denir) uzaydaki bir noktanın elipsoid yüzeyindeki karşılığı olan noktanın konumunu belirler. Bu nedenle φ, λ parametreleri eğri yüzey koordinatları olarak adlandırılır.

Elipsoidal eğri sistemde 3. boyut, yeryüzü noktası ve bu noktadan geçen yüzey normalinin elipsoid yüzeyini kestiği nokta arasındaki uzaklık ile verilir. Bu uzaklığa elipsoidal yükseklik (h) denir. Seçilen elipsoidin meridyene dik doğrultudaki normal kesit eğrilik yarıçapı N , büyük ve küçük yarı eksenleri a, b ise bir noktanın φ, λ, h jeodezik eğri koordinatlarından x', y', z' dik koordinatlarına,

$$x' = (N+h) \cos \varphi \cos \lambda \quad (2.2)$$

$$y' = (N+h) \cos \varphi \sin \lambda \quad (2.3)$$

$$z' = \left(\frac{b^2}{a^2} N+h \right) \sin \varphi = \left[(1-e^2) N+h \right] \sin \varphi \quad (2.4)$$

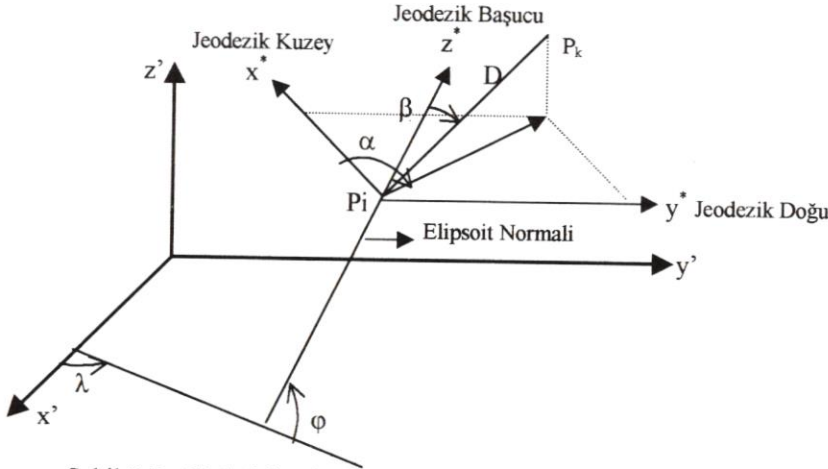
eşitlikleriyle geçilebilir /12, 8/. Burada,

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} \quad (2.5)$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (\text{birinci dış merkezlik}) \quad (2.6)$$

dir.

2.2.4 Yerel Jeodezik Koordinat Sistemi



Şekil 2.5 : Global jeodezik koordinat sistemi ile yerel jeodezik koordinat sistemi ve jeodezik kutupsal koordinatları α , β , D .

Sistemin başlangıcı elipsoit normali üstünde seçilen bir P noktasıdır (Şekil 2.5). z^* eksen elipsoit normali doğrultusunda olup artı yönü jeodezik başucu gösterir. x^* eksen z^* eksenine dik ve P noktasının meridyen düzlemi içindedir. x^* ekseninin artı yönü jeodezik kuzeyi gösterir.

y^* eksen bir sol el sistemi oluşturacak biçimdedir. y^* ekseninin artı yönü jeodezik doğuyu gösterir. Başlangıcı yeryüzünün herhangi bir P_i noktası ile çakışan yerel jeodezik sistemde P_k noktasının konumu x^* , y^* , z^* dik koordinatları ya da uzay kutupsal koordinatları ; eğik uzunluk D , jeodezik azimut α ve jeodezik başucu açısı β ile tanımlanır.

Jeodezik zenit açısı β , P_i noktasından geçen elipsoit normali ile $\overline{P_i P_k}$ arasındaki açıdır ($0 \leq \beta \leq \pi$). Jeodezik azimut α , P_i noktasının jeodezik meridyen düzlemi ile bu noktadaki başucu doğrultusu ve $\overline{P_i P_k}$ doğrusunun belirlediği normal kesit düzlemi arasındaki açıdır. α , x^* y^* düzleminde ölçülür ve jeodezik kuzeyden doğuya doğru artı işaretli sayılır ($0 \leq \alpha < 2\pi$).

α, β, D kutupsal koordinatları ile x^*, y^*, z^* yerel jeodezik dik koordinatları arasında,

$$\begin{bmatrix} x^* \\ y^* \\ z^* \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} \cos \alpha \sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \\ \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

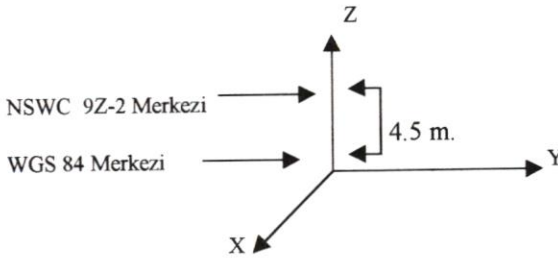
bağıntısı geçerlidir /5/.

2.2.5 WGS-84 için Referans Sistemleri

2.2.5.1 WGS-84 Sistemi

WGS-84 sistemi (World Geodetic System-1984) GPS uydularının yörünge bilgilerinin tanımı için Amerika Savunma Bakanlığı tarafından oluşturulan bir sistemdir. WGS 84, uydunun navigasyon sistemlerinin temelini oluşturan yerel bir referans sistemidir.

WGS 84 koordinat sistemi, önceleri DMA (Defense Mapping Agency) tarafından saptanan NSWC 9Z-2 koordinat sisteminin başlangıcının Z eksenine doğrultusunda 4.5 m. kaydırılması (Şekil 2.6), Z eksenine etrafında $0.814''$ döndürülmesi (Şekil 2.7), ve ölçek değişimi için 0.6 ppm değerinin alınması ile oluşturulmuştur /4/.

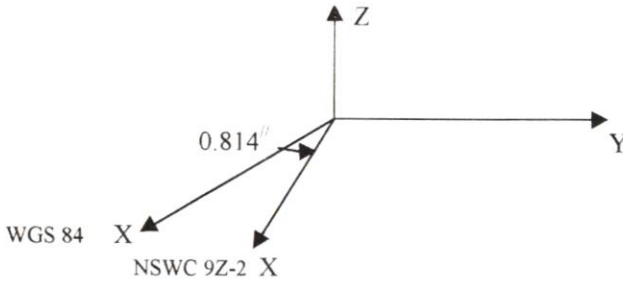


Şekil 2.6 : NSWC 9Z-2 ve WGS 84 referans sistemlerinin başlangıç noktaları arasındaki fark

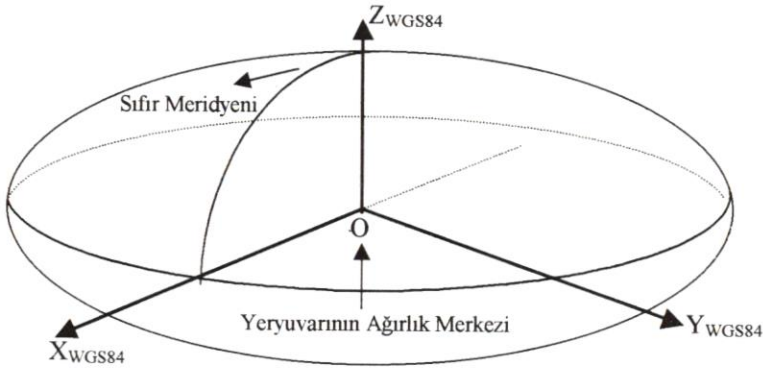
WGS-84 koordinat sistemi 25 adet global dağılmış, sürekli dopler istasyonlarından iletilen veriler (koordinatlar) yardımı ile gerçekleştirildi. Buna göre WGS-84 koordinat sistemi, kontrol biriminin yer istasyonlarının üç boyutlu WGS-84 koordinatları yardımı ile tanımlanmıştır. GPS kullanıcıları, WGS-84 koordinat sisteminden ancak kontrol birimince doğruluğu yükseltilmiş yörünge bilgilerini kullanarak yararlanırlar

WGS 84 koordinat sisteminin başlangıcı yeryuvarının ağırlık merkezidir. z eksenine, kutup gezinmesi için BIH (The Bureau International de l'Heure) tarafından tanımlanan konvansiyonel yerel kutup (Convention Terrestrial Pole = CTP) doğrultusuna paraleldir.

X eksenine, WGS 84 referans meridyen düzlemi ile CTP ekvator düzleminin arakesitidir. Referans meridyeni, BIH istasyonlarının koordinatlarıyla tanımlanan sıfır meridyenine paraleldir. Y eksenine, koordinat sistemini bir sağ el sistemi olarak tamamlar ve CTP ekvator düzleminde X ekseninden doğuya doğru 90° açı oluşturur (Şekil 2.8).



Şekil 2.7 : NSWC 9Z-2 ve WGS 84 referans sistemlerinin 2 eksenindeki dönüklüğü



Şekil 2.8 : WGS 84 Koordinat Sistemi

2.2.5.2 WGS-84 ile İlişkili Referans Sistemleri

Özellikle büyük uzunluklar üzerinden yüksek doğruluk ile GPS konum belirlemeleri için düşük doğruluklu yörünge bilgileri (Broadcast ephemeris) yeterli olmaz. Doğruluğu yüksek yörünge bilgileriyle hesaplama olanağı, global dağılmış istasyonların gözlem verilerinin kullanılması ile sağlanır. Böylesi istasyonlardan oluşan bir ağ DMA (Defense Mapping Agency) tarafından kurulmuştur. Bu askeri amaçlı oluşum yanında değişik sivil (Tracking) ağlar kurulmuştur. Bunlardan ikisi Cooperative International GPS ağı (CIGNET) ve International GPS Geodynamics Service (IGS) dir.

WGS-84 sistemi, bu kuruluşlar tarafından hesaplanan hassas yörünge bilgileriyle, kontrol biriminin önceden hesaplanan yörünge bilgilerine göre olandan önemli ölçüde daha yüksek bir doğrulukla gerçekleştirilir.

Bir başka yersel referans sistemi Uluslararası Yersel Referans Sistemi (International Terrestrial Referans System - ITRS) dir.(Tracking) istasyonlarının bir ağına dayanmaktadır. Bu istasyonların konumları, uydulara ve aya yapılan lazer ölçüleri, VLBI (Very Long Baseline Interferometry) gözlemleri ve GPS ölçüleriyle düzenli olarak belirlenmektedir.

ITRS'nin orjini, okyanusları ve atmosferi de içine alan tüm dünyanın kütle merkezindedir. Eksenlerinin yönlendirilmesi Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği (IUGG) ve Uluslararası Astronomi Birliği (IAU) kararlarına uygun olarak 1984.0 epeğündeki (1984 jülyen yılı başlangıç anı kabul edilir) Uluslararası Saat Bürosu (BIH) yönlendirmesinin zaman evrimi yer kabuğuna göre artık yatay dönme hızına sahip değildir. Uluslararası Dünya Rotasyon Servisi (IERS)'in yersel referans ağı olarak bilinen ITRF, Uluslararası Dünya Rotasyon Servisi Merkezi Bürosu (IERS CB)'nin yersel referans ağı bölümü tarafından kurulmuş ve sürekliliği sağlanmıştır. ITRF IERS'in üç ürününden sadece biridir. Diğerleri ise : Universal Time, kutup hareketi koordinatları ve nutasyon düzeltmeleri olarak tanımlanan yerin yönlendirme parametrelerinin belirlenmesi ile kuasarlar ve diğer gök cisimlerinin referanslandığı uzay sabit bir sistem olan Uluslararası Göksel Referans Sisteminin gerçekleştirilmesidir /2/.

ITRS ve GPS arasındaki ilişki 1992'de jeodinamikler için Uluslararası GPS Servisi (IGS)'in yaratılmasıyla daha bir önem kazanmıştır. IGS ITRF'nin gelişimini ve genel erişilebilirliğinin gerçekleşmesini desteklerken, IERS ITRF'nin istasyon koordinatları, hızları ve yer dönme parametrelerinin değerlerinin üretimi görevini yüklenmiştir. IGS analiz merkezleri yörünge hesaplarında bazı alt küme istasyonları için ITRF koordinatları kullandı ve ayrıca da birleşik IGS yörüngeleri de ITRF ile uyumlu oldu.

Global üç boyutlu yüksek doğrulukta bir referans ağının navigasyon kolaylıkları, global jeodezik ve jeodinamik araştırmalardan ve uydu tekniklerinden yararlanma yanında bilgi sistemlerine altlık oluşturacak yüksek doğruluklu, güvenilir ve birçok noktada bu ağa dayalı bölge ve ülke jeodezik ağlarının oluşmasının sağlanacağı görülmüş ve ITRF'nin gerçekleşmesini izleyen yıllarda bu ağa dayalı bölgesel ve ülke ağlarının oluşturulması çalışmaları başlatılmıştır. Buna bir örnek Avrupa kıtası için Avrupa Referans Ağı (EUREF) dir.

1987 yılında GPS tekniği ile bir Avrupa Referans Ağı kurulmasına karar verilmiş ve ITRF ağına dayandırılması öngörülmüştür. Ancak yapılan araştırmalarda Avrupa Karasının ITRF'ye göre yılda 1 cm kuzeydoğuya kaydığı ortaya çıkarılmıştır. Bundan dolayı öncelikle Avrasya Plakasının değişmez kesimindeki ITRF noktalarının 1988.0 tarihindeki koordinatları sabit alınarak Avrupa Yersel Referans Sistemi 1989 (ETRS) tanımlanmış ve aynı yıl GPS tekniği ile 90 istasyonun konumu bu sisteme göre belirlenerek bu ağa EUREF89 olarak adlandırılmıştır. Daha sonra ETRS 90, ETRS 91 olarak adlandırılan daha doğruluklu güvenilir sistemler gerçekleştirilmiştir /1/.

Diğer bir referans ağı da Avrupa ülkelerinde kullanılan farklı yükseklik sistemlerinin birleştirilerek tek anlamlı hale getirilmesi için oluşturulan Avrupa Düşey Referans Ağı (EUVN) dir. EUVN'in temel amaçları ; tek anlamlı bir Avrupa Yükseklik Datumu tanımlamak, mutlak deniz düzeyi değişimlerinin belirlenmesi çalışmalarına katkı amacıyla Avrupa'daki mareograf noktaları arasında bağlantı gerçekleştirmek, Avrupa jeoidi belirlenmesi için yüksek doğruluklu noktalar tesis etmek ve Avrupa Düşey Kinematik Ağı'nın oluşturulması şeklinde sıralanmaktadır.

EUVN97 kampanyası Avrupa genelinde 195 noktayı kapsamakta olup bunların 79 tanesi Avrupa Referans Ağı (EUREF), 53 tanesi nivelman düğüm noktası ve 63 tanesi de mareograf noktasıdır. Harita Genel Komutanlığı bu kampanyaya yedi noktada ölçü

yaparak katılmış ve sekiz alt gruba bölünmüş olan EUVN97 GPS ağına yedi tanesi Türkiye’de, dört tanesi diğer alt gruplarla ortak ve dört tanesi de Uluslararası Jeodinamik amaçlı GPS hizmeti (IGS) noktası olmak üzere toplam 15 noktada oluşan Türkiye alt ağı ölçülerini değerlendirme amacıyla sekiz Analiz Merkezi (AC)’nden biri olması kabul edilmiştir /9/.

3. SONUÇ

Uydu jeodezisindeki hızlı gelişmeler üç boyutlu referans sistemlerinin tanımlanmasına ve buna bağlı olarak kurulan yüksek doğruluklu referans ağlarının koordinatlandırılmasına ve sıklaştırılmasında kolaylıklar sağlamaktadır.

Uydu teknikleriyle artan ölçme doğruluğu, buna uygun olarak referans sistemlerinin yüksek doğrulukla belirlenmesini gerektirmiştir. Yersel ve uydu ölçmelerinin ayrı referans koordinat sistemlerinde tanımlanması, bu sistemler arasındaki ilişkinin yeterli bir doğrulukla belirlenmesini gerektirmektedir.

Özel koordinat sistemlerine dayanan uydu jeodezindeki farklı gözlem tekniklerinin kaydedilmiş olan sonuçları farklı özelliktedir. Çoğu kez bu sistemler arasındaki ilişki, gözlem tekniklerinin doğruluğundan daha düşük bir doğrulukla belirlenmiştir. Bu sistemler arasındaki dönüşümlerin yüksek doğrulukla belirlenmesi uydu jeodezisinin önemli görevlerinden birisidir /10/.

Teşekkür : Bu çalışmanın oluşmasındaki değerli katkılarından dolayı Sayın Hocam Prof. Dr. Hüseyin Demirel’e teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

/1/ Aksoy, A. ; Ayan, T. ; Deniz, R. : Global, Bölgesel ve Ülke Jeodezik Ağları Hakkında, Harita ve Kad. Müh. Dergisi, Sayı:84, s. 6-16, Ankara 1998.

/2/ Boucher, C. ; Altamimi, Z. : International Terrestrial Reference Frame, GPS World, September, p.71, 1996.

/3/ Doğan, U. : GPS Ölçüleri İle Yersel Ölçülerin Birlikte Dengelenmesi Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bil. Enst., İstanbul 1996.

/4/ DMA Technical Report : Supplement to Department of Defense, World Geodetic System 1984 Technical Report, Part I, 1988.

/5/ Gürkan, O. : Üç Boyutta Benzeşim Dönüşümü ve Değişik Jeodezik Sistemler Arasındaki Bağlılıklar, K.T.Ü., Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü, Bilimsel Rapor, No:1, 1977.

/6/ Gürkan, O. : Astrojeodezik Ağların Deformasyonu ve Türkiye 1. Derece Triangülasyon Ağı. K.T.Ü., Yer Bilimleri Fakültesi, Yayın No:104, Y.B.F. Yayın No:21, Trabzon 1979.

- /7/ Heck, B. : Grundlagen der erd und Himmelsfesten Referenzsysteme, 1995.
- /8/ Heiskanen , Moritz ; Gürkan, O. : Fiziksel jeodezi, K.T.Ü. yayınları, Y.No:8 Trabzon 1984 (çeviri).
- /9/ Kahveci, M.; Türkezer, A.; Ocak, M. : Avrupa Dü°ey GPS Referans Ağı (EUVN) Ölçülerinin Değerlendirme Sonuçları : Türkiye Alt Ağı, Harita Dergisi, Temmuz, sayı :120, s. 20-39, 1998.
- /10/ Seeber, G. : Satellite Geodesy Foundations, Methods and Aplications,Walter de Gruyter Berlin - New York 1993.
- /11/ Schlüter, W. : Globale und Regionale Referenzsysteme, Heck, B. ; Illner, M. : GPS-Leistungsbilanz'94, Verlag Konrad Wittwer, p. 154-168, Stuttgart 1995.
- /12/ Wolf, H. : Die Grundgleichungen der Dreidimensionalen Geodasie in Elementarer Darstellung. ZFV, Heft 6, 1963.