

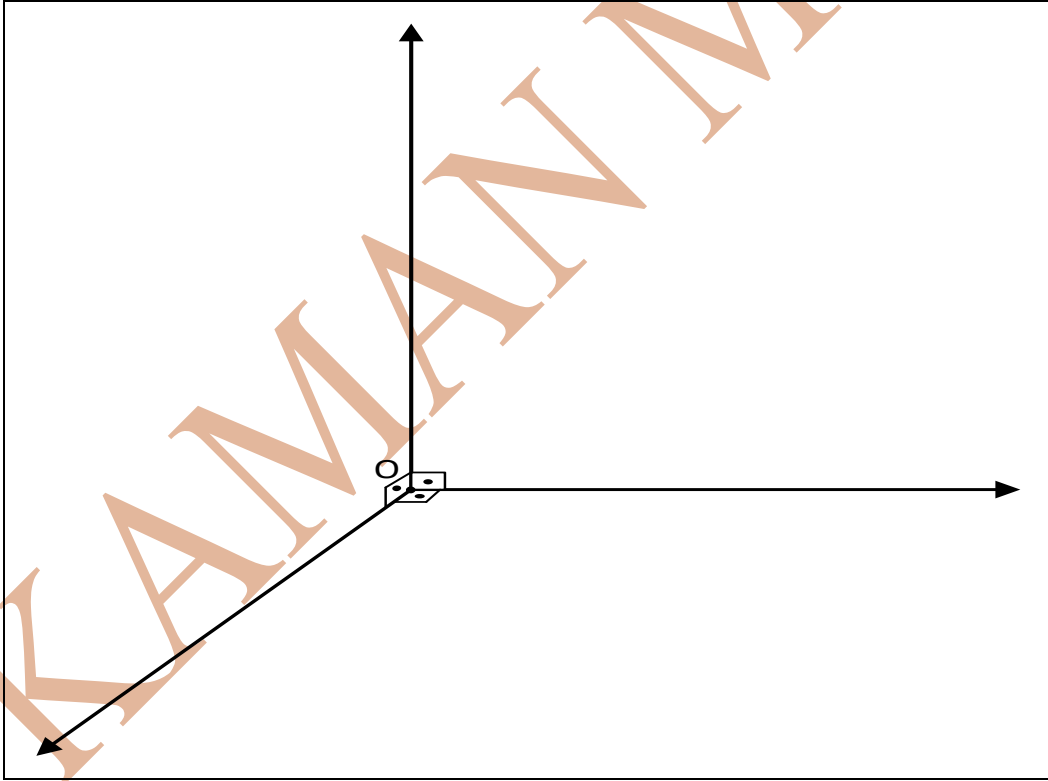
Koordinat Sistemi

Reference Frame (Referans Çerçevesi) ve 3 Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemi

Referans çerçevesi ifadesindeki çerçeve kelimesi *Şekil 1*'de görülmektedir. Çerçeve, koordinat sisteminin eksenlerinin belirtilmemiş, eksen yönleri veya dönme yönleri belirtilmemiş halidir. 3 boyutlu koordinat sistemi referans çerçevesinin

- Orijin noktasının yerinin belirli olduğu,
- Eksenlerin hangi yönde arttığı,
- Eksenlerin dönme yönlerinin belirli olduğu,
- Eksen üzerinde orijin noktasına uzaklığın veya düzlemlerdeki açı birimlerinin ifadelerinin belirli olduğu durumdur.

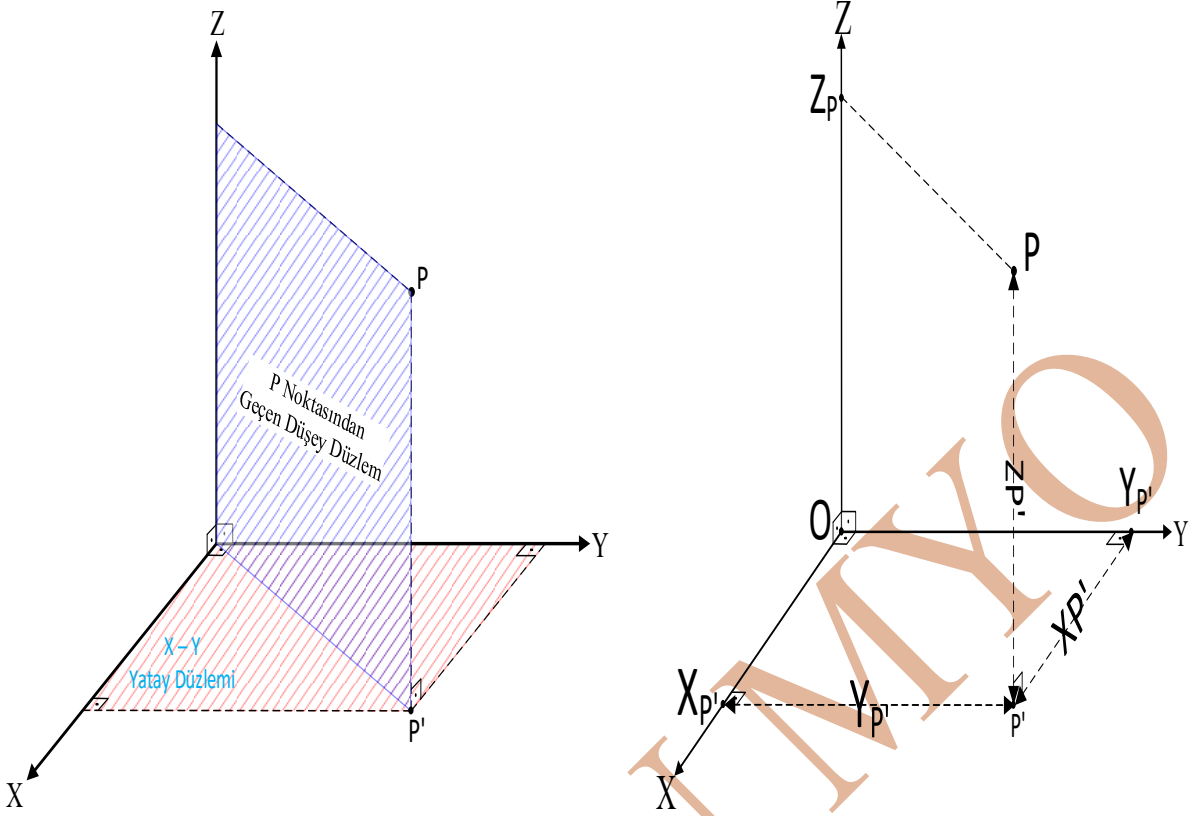
Kısa bir tanımla referans çerçevesi, 3 boyutlu kartezyen (eksenlerin birbirine dik olması) koordinat sisteminin tanımında ve yerleşiminde kullanılır.



Şekil 1

Coğrafi objeleri sadece 2 boyutlu bir koordinat sistemi (X – Y yatay düzlemi) kullanarak gerçekteki konum değerlerini belirleyemeyiz. Nokta konum değerlerini ifade etmek için 3 boyutlu Kartezyen koordinat sisteminin kullanılması gerekir. **Referans çerçevesi 3 boyutlu Kartezyen koordinat sisteminin oluşması için gerekli tanımları yapar.**

Şekil 2 3 boyutlu referans çerçevesinin (3 boyutlu kartezyen koordinat sistemi) kullanımını temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 2

Şekil 2 sol resim, incelendiğinde koordinat sisteminde P noktasının eksenler üzerindeki koordinatlarını bulabilmek için iki farklı düzlem kullanılmıştır. Z eksenindeki koordinatı bulabilmek için P noktasından geçen düşey düzlem kullanılmıştır. P noktasından geçen düşey düzlemde P noktasından Z eksenine dik inilmiştir.

X ve Y eksenleri üzerindeki koordinatları bulabilmek için P noktasından, X – Y eksenlerinin oluşturduğu yatay düzleme dik inilmiş ve yatay düzlemi kestiği nokta olan P' elde edilmiştir. P' noktasından X ve Y eksenlerine dik inilerek P noktasının yatay düzlemdeki koordinatları elde edilmiştir.

Yukarıda bir referans çerçevesi (3 boyutlu kartezyen koordinat sistemi) üzerinde bir noktanın X – Y – Z eksenleri üzerindeki koordinat temsilleri anlatılmıştır. Gerçekte bir referans çerçevesi oluşturabilmek için (daha önce de yazıldı): (Krakiwsky & Wells, 1971)

- Çerçevenin başlangıç noktasının konumu,
- Referans çatısının üç eksenin dönüklükleri ve artış yönleri,
- Bir noktanın konumunu tanımlayan parametreler ve birim bilgisi gereklidir.

Yukarıdaki üç kriteri dikkate alarak referans çerçevesine dair tanımlar yapılır ve 3 boyutlu koordinat sistemi oluşturulur. Uygulamada bu tanımlar dikkate alınarak hem harita yapımı için ölçümler hem de yapılan ölçümlere istinaden harita çizimleri yapılır.

Harita çizimi ve harita yapımı için referans çerçevesinin birden fazla kullanımı bulunmaktadır.

- 1) Toposentrik (Topocentric) sistem: Referans çerçevesinin orijin noktası yeryüzünde bir noktadır,
- 2) Jeosantrik (Geocentric) sistem: Referans çerçevesinin orijin noktası yeryuvarı (dünyanın) ağırlık merkezidir.

Toposentrik Sistem:

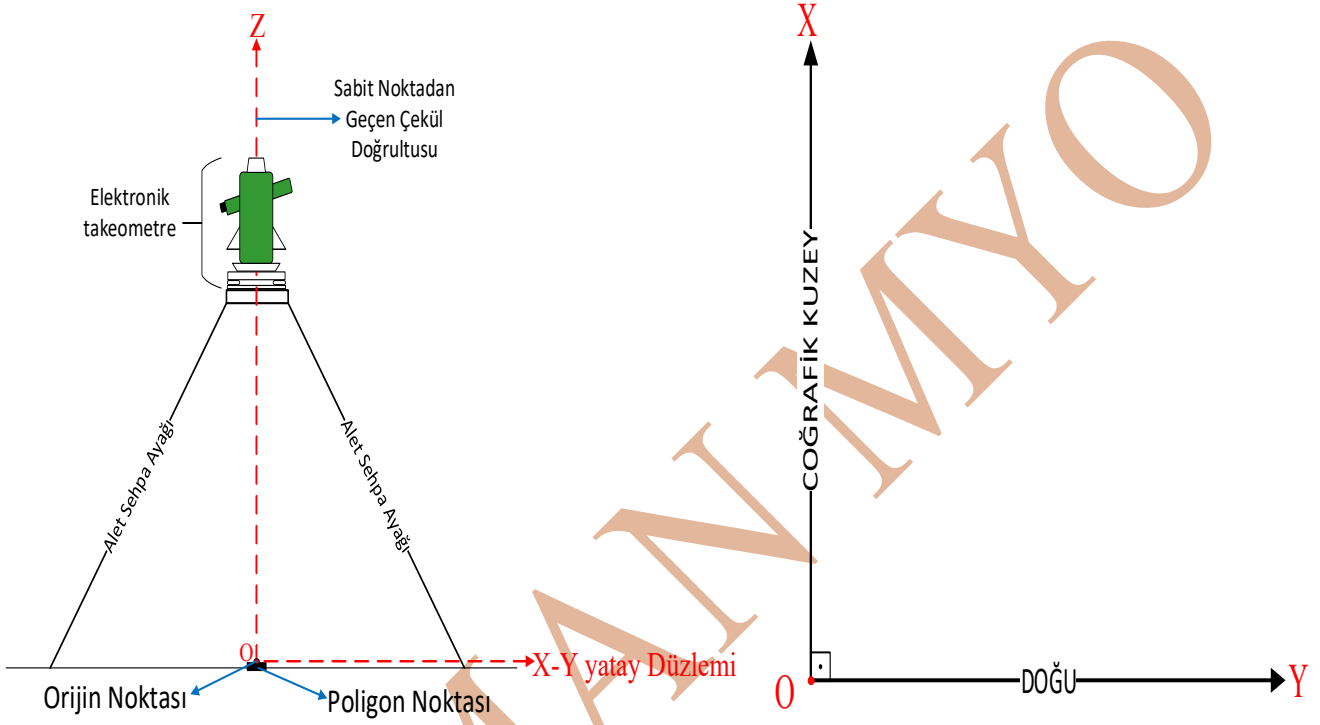
Toposentrik sistem, orijin noktasının yeryuvarı üzerinde olduğu referans sistemidir. Toposentrik sistem, harita yapımı için gerekli yersel ölçümlerde kullanılmaktadır. Elektronik takeometre kullanılarak, coğrafi objelerin detay noktalarının koordinatlarının hesaplanması için, ölçüm yapılması gerektiğinde iki adet sabit noktaya (koordinatı bilinen nokta - poligon noktası,...) ihtiyaç vardır. Noktalardan bir tanesi elektronik takeometrenin kurulu olduğu noktadır, diğer nokta ise başlangıç doğrultusunun oluşturulması için gerekli noktadır. Elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktada toposentrik referans çerçevesi oluşur. Bu referans çerçevesinin oluşması için gereken kriterler:

- a) Orijin noktası elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktadır,
- b) Z eksenini elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktadan geçen düşey doğrultusudur (çekül doğrultusu) ve Z ekseninin pozitif artışı sabit noktadan çekül doğrultusu boyunca yukarı doğrudur. Elektronik takeometre Z eksenini etrafında döner,
- c) X eksenini, elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktada oluşan coğrafi kuzey doğrultusuyla çakışiktır ve X koordinatının pozitif artışı kuzey yönündedir,
- d) Y eksenini, elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktada oluşan X eksenine dik açıyla oluşacak şekilde, doğu yönüyle çakışiktır ve Y koordinatının pozitif artışı doğu yönündedir,
- e) X – Y – Z eksenleri metre uzunluk birimiyle ifade edilirler.

Yukarıdaki toposentrik sistemde referans çerçevesi üzerinde eksenler için tanımlamalar yapılmıştır. Bu sayede Elektronik takeometrenin üzerine kurulu olduğu her sabit noktada yeniden toposentrik koordinat sistemi oluşur.

Şekil 3 sol ve sağ resimlerde 3 boyutlu toposentrik koordinat sistemi (toposentrik referans çerçevesi) temsili vardır. Sol resimde, elektronik takeometrenin üzerine kurulu olduğu poligon noktasında toposentrik referans çerçevesinin orijin noktası oluşmuştur. Poligon noktasından geçen çekül doğrultusu toposentrik referans çerçevesinin Z eksenini geçmektedir. X-

Y yatay düzlemi poligon noktasından geçmektedir (Şekil 3 sol resim). Şekil 3 sağ resim orijin noktasına (takeometrenin üstünden) kuş bakışı görünüşüdür. Şekil 3 sağ resim, poligon noktasında oluşan toposentrik referans çerçevesinin yatay düzlemi gözükmemektedir. X eksenin coğrafi kuzey ile çakışık olduğu ve artış yönü gözükmemektedir. Şekil 3 sağ resimde Y ekseninin X eksenine dik bir şekilde doğu yönünde olduğu ve artış yönünün doğu yönü olduğu gözükmemektedir. Bu tanımlamalar yapılarak toposentrik referans çerçevesini oluşturur.



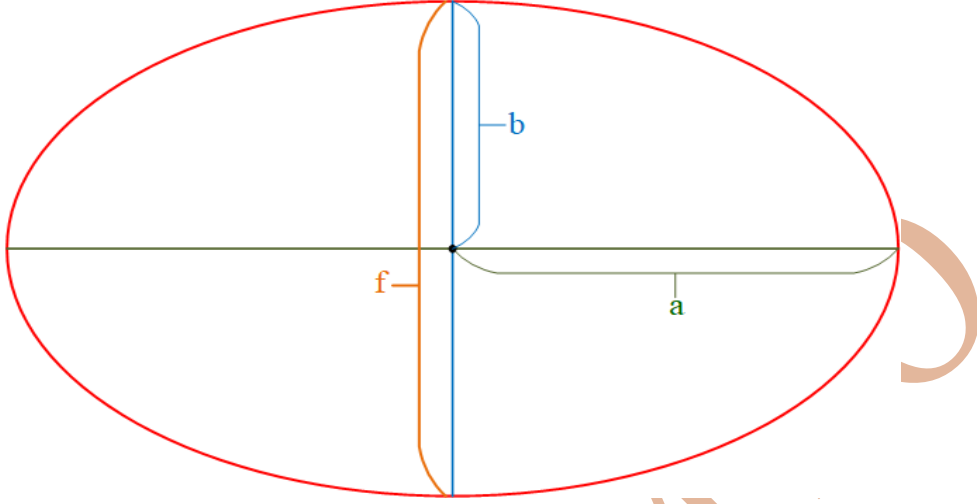
Şekil 3

Jeosantrik Sistem:

Jeosantrik Sistemde, referans sisteminin orijin noktası dünyanın ağırlık merkezidir. Bu sayede referans çerçevesi dünyanın içinde oluşmaktadır. Jeosentrik sistem, harita yapımı için gerekli ölçümlerden uydu bazlı konum belirleme yöntemlerinde kullanılmaktadır. Jeosentrik sistem dünya merkezli olduğu için, oluşan çerçeve tüm dünyada geçerli referans çerçevesine dönüşür.

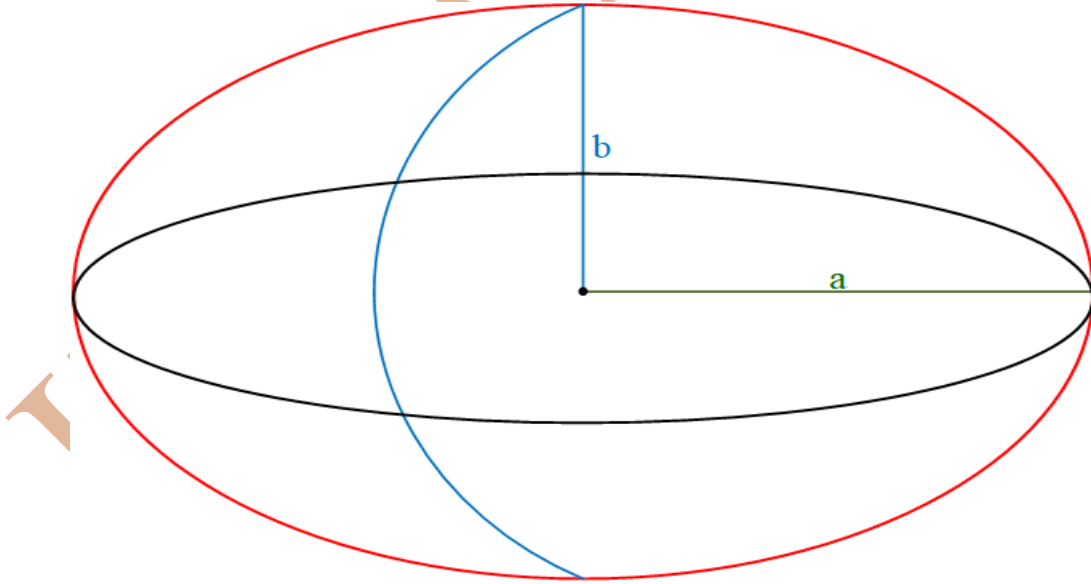
Yeryuvarı merkezli bir referans çerçevesini dünya yüzeyi ile ilişkili hale getirmek için dünya yerine referans yüzey kullanılmalıdır. Dünya yerine seçilecek referans yüzey üç boyutlu düzgün bir geometrik şekil olmalıdır. Dünya yerine seçilecek ve dünyayı en iyi temsil edecek olan düzgün geometrik şekil dönelel elipsoittir. Dönelel elipsoit elips düzgün geometrik şeklidir. Şekil 4 elips düzgün geometrik şeklinin temsilidir. Elips, daireden farklı olarak, iki ayrı eksenden oluşur (Eksenler Şekil 4’de mavi ve yeşil çizgilerle temsil edilmekte). Bu eksenlerin yarıçapları Şekil 4’de a ve b olarak gösterilmiştir. a yarıçap değeri b yarıçap

değerinden büyük olacak ($a > b$) şekilde elips oluşur. Şekil 4 üzerindeki f değeri, elipsin basıklık değeridir. Elipsin f basıklık değeri sayesinde dünyanın kutuplardan basıklığı ifade edilebilecektir.



Şekil 4

Dönel elipsoit elipsin küçük yarı eksenini olan b eksenini etrafında dönmesi sonucu oluşan üç boyutlu yüzeydir. Şekil 5 dönel elipsoidin tasviridir. Şekil 5'deki elipsoit, Şekil 4'deki elipsin küçük eksenini (b yarıçaplı eksen) etrafında dönmesiyle oluşur. Elipsoit oluştuğunda a yarıçaplı eksen bir dairenin yarıçapı olacak şekilde daire oluşur.



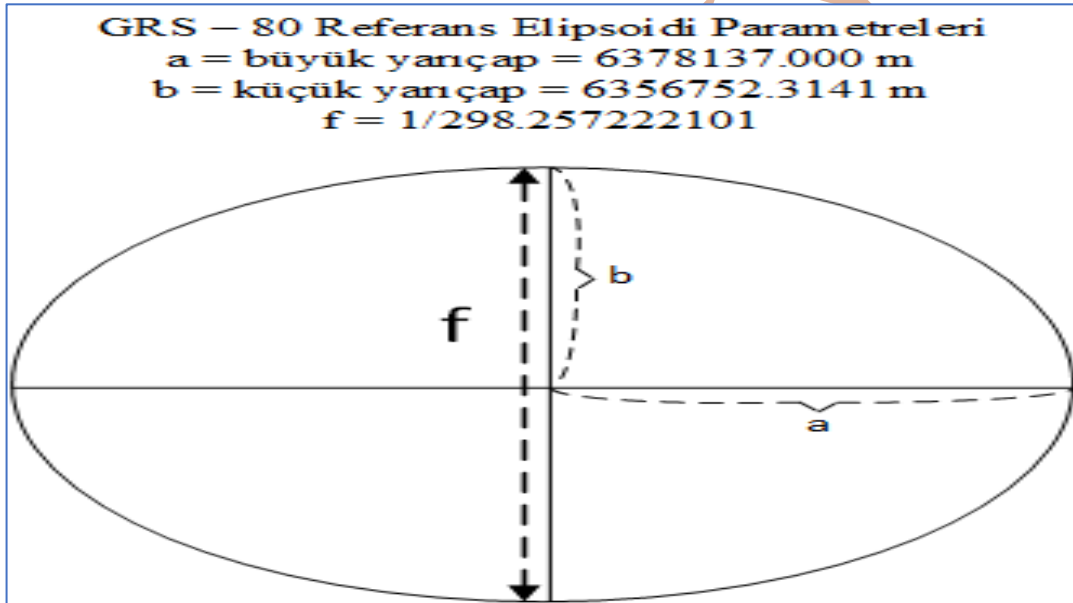
Şekil 5

Oluşan elipsoit dünya yerine kullanılacak referans yüzeyi olarak kullanılacaktır. Dünya yerine referans yüzeyi kullanabilmek için f basıklık değeri ve a büyük eksen yarıçap değerine ihtiyaç vardır. Bu değerler gerçekteki dünya üzerinde ölçülerek, dünya yerine bir model oluşturulacaktır. Kutuplar arası f basıklık değeri ve a büyük eksen yarıçap değeri, uydu bazı

yapılan ölçümlerle bulunur. Bulunan f basıklık değeri ve a büyük eksen yarıçap değeri yardımıyla elipsoidin diğer parametreleri de hesaplanarak referans yüzey modellenir. Ülkemizde büyük ölçekli haritaların yapımında kullanılan referans yüzey, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'ne göre Geodetic Reference System 1980 (GRS-80) isimli elipsoiddir (Şekil 6). GRS-80 elipsoid parametreleri:

| GRS – 80 Referans Elipsoidi Parametreleri | |
|---|-----------------|
| a = büyük yarıçap | 6378137.000 m |
| b = küçük yarıçap | 6356752.3141 m |
| f = kutuplar arası basıklık değeri | 1/298.257222101 |

$$f = \frac{a - b}{a}$$

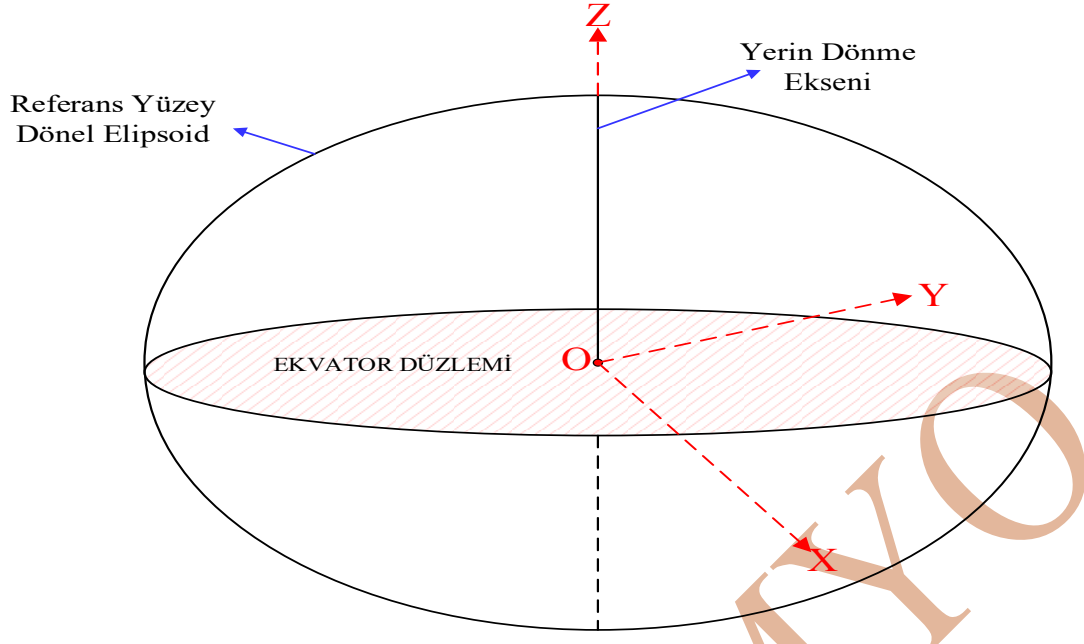


Şekil 6

Jeosantrik referans çerçevesinde koordinat sisteminin değerleri (X – Y – Z koordinatları) kullanılacak *referans yüzeyi ile ilişkili olduğu sürece* dünyanın içinde kalacak olan kartezyen koordinatlar *dünya yüzeyi koordinatlarına* dönüştürülebilir.

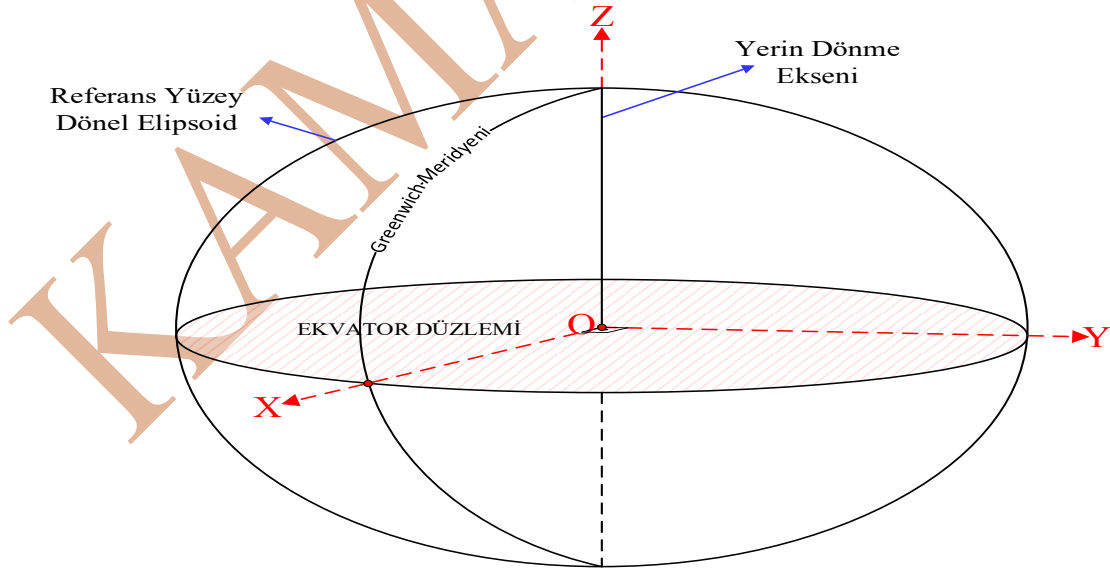
Jeosentrik referans çerçevesini oluşturmak için:

- referans elipsoidinin merkezi ile referans çerçevesinin orijin noktası çakıştırıldığında,
- Z eksenini elipsoidin dönme eksenine ile çakıştırıldığında ortaya çıkan sonuç Şekil 7'de tasvir edilmiştir.



Şekil 7

Eğer jeosantrik referans çerçevesi bu şekilde bırakılırsa, dünya döndükçe X ve Y eksenleri sabit olmayacak, dünya üzerindeki noktaların koordinatları her daim sabit kalmayacaktır. X -Y yatay düzleminin sabit kalması için eksenlerden biri dünya üzerinde sabit bir noktadan geçmelidir. Şekil 8 X ekseninin sabitlenmesinin tasviri vardır. X eksenini Greenwich meridyeninin ekvator düzlemini kestiği noktadan geçer. Bu sayede X - Y yatay düzlemi de sabitlenmiş olur.



Şekil 8

Dünya dönmesi sonucunda, X – Y yatay düzlemi sabit kalacak, dünya üzerindeki noktaların jeosantrik referans çerçevesindeki X – Y koordinatları değişmeyecektir. Jeosentrik referans çerçevesinin oluşması için:

- Referans çerçevesinin orijin noktası (Şekil 8 O noktası) yeryuvarının (dünyanın) ağırlık merkezinde olmalıdır,
- Referans çerçevesinin Z eksenini (Şekil 8), yerin dönme eksenini ile çakıştıktır. Z eksenini dünyayla beraber dönmelidir,
- Referans çerçevesinin X – Y yatay düzlemi, dünyanın ekvator düzleminde oluşmalıdır,
- Referans çerçevesinin X eksenini, Greenwich başlangıç meridyeninin ekvator düzlemini kestiği noktadan geçecektir (Şekil 8). Bu sayede X ve X – Y düzlemi dünya üzerinde sabitlenmiş olacaktır. Dünya döndüğünde X – Y düzlemi de dönecektir (Şekil 9), dünya üzerindeki noktaları Jeosentrik referans çerçevesindeki koordinatları değişmeyecektir,
- Referans çerçevesinin Y eksenini, X eksenine dik olacak ve 90° boylam değerine sahip meridyenin ekvator düzlemini kestiği noktadan geçmelidir.



Yukarıda yapılan tanımlara karşılık gelen, haritacılıkta kullanılan Jeosentrik referans çerçevesi ismi vardır. Bu tanım Yer Merkez Yer Sabit Koordinat Sistemi (Earth Centered Earth Fixed Coordinate System - ECEF) olarak isimlendirilir. Yer

merkez ifadesi, referans çerçevesinin dünyanın ağırlık merkezi ile çakışmasından dolayı kullanılmaktadır. Yer Sabit ifadesi, X ekseninin Greenwich Meridyeninin ekvator düzlemini kestiği yerden geçmesiyle X – Y – Z kartezyen koordinat sisteminin dünya ile aynı anda dönmesinden ötürü kullanılmaktadır.

Şekil 9 (Department of Aerospace Engineering at The University of Bristol, 2023)

Datum Kavramı:

Datum, yatay datum ve düşey datum olarak ikiye ayrılır. Yatay datum, üretilecek harita yapımı için yapılacak ölçümlerde temel alınacak referans çerçevesi ve referans çerçevesi koordinatlarını ifade edilmesi ve referans çerçevesine göre elde edilen koordinatların harita düzlemine aktarılmasında kullanılacak referans yüzey bilgilerini içeren standart tanımlardır. Yatay datum oluşturulurken, uydu bazlı ölçümlerle dünya yüzeyinde birçok noktanın koordinatları hesaplanarak gerçek bir modelin parametreleri hesaplanır ve hesaplamalara göre dünya yerine hesaplamalarda kullanılacak model oluşturulur.

Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) Madde 7 L bendinde Türkiye’de kullanılan referans çerçevesinin tanımı yapılmıştır. Bu tanıma göre adı **Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF)** olarak belirlenmiştir. (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, 2018). Tanımda Türkiye Ulusal Referans Çerçevesinin uluslar arası bir datum olan International Terrestrial Reference Frame 1996 (ITRF96 - Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi 1996) ile çakışık olduğu belirtilmiştir. . ITRF 96 datumu jeosantrik referans çerçevesidir ve referans yüzeyi olarak GRS – 80 elipsoidini kullanır.



Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) koordinatları TUREF koordinat sisteminde sunulmaktadır (BAYKAL, 2009)



*TUREF referans çerçevesine göre elde edilen koordinatlar farklı isimler ile ifade edilebilir. Bu isimler **Jeosantrik koordinatlar**, **Kartezyen koordinatlar** olarak ifade edilebilir.*

TUREF referans çerçevesinde bulunan koordinatlar dünyanın ağırlık merkezinin orijin olduğu bir koordinat sistemine göre elde edilmiştir. Bu koordinatlar dünya yüzeyindeki bir noktaya aittir ama koordinatlar dünyanın yüzeyinde değildir. Bu sebeple jeosantrik koordinatlarla noktalar harita düzlemi üzerine aktarılamaz, noktalar kullanılarak coğrafik objeler harita düzlemi üzerinde temsil edilemezler.

Jeosantrik koordinatlara sahip noktaların harita düzleminde ifade edilebilmesi için nokta koordinatlarının dünya yüzeyi üzerindeki koordinatlarının bulunması gerekmektedir. Dünya yüzeyindeki koordinatları elde edebilmek için yapılacak hesaplamalarda dünya yerine kullanılacak bir hesap yüzeyine (referans yüzeyine) ihtiyaç vardır. Türkiye’de TUREF