

# Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Jeodezik Kavramlar

TASLAK DERS NOTU

Doç.Dr. Niyazi Arslan

Çukurova Üniversitesi, Harita Mühendisliği  
Bölümü, Ceyhan, Adana, 2014



# İçindekiler

- Giriş
- Referans yüzeyler
  - Jeoit
  - Elipsoit
- Datum Kavramı
- Koordinat sistemleri
- Harita Projeksiyonu
- Harita Projeksiyonunun Değişimi
- Jeodezide Kullanılan Dönüşümler

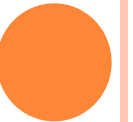


# Giriş

- Haritacılık ve konumla ilgili tüm çalışmalarda:
- Referans Yüzeyler
- Datum Kavramı
- Koordinat Sistemleri
- Harita Projeksiyonu

ve bunlarla ilişkili konular yaygın olarak kullanılmakta ve temel teşkil etmektedir.

- Bu nedenle dersimizin kapsamında olan bu konunun irdelenmesi ve bilinmesi doğru yorumlama yapmak açısından oldukça önemlidir.
- Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama konularındaki çalışmalarda bu kavramlar yoğun bir biçimde kullanılmaktadır.



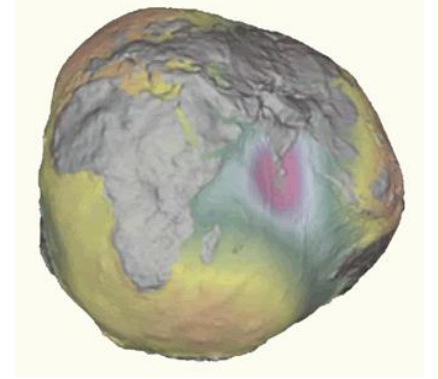
## Referans yüzeyler

- Yeryüzeyi; okyanus ve kara parçalarından oluşmaktadır.
- Okyanuslar düzgün dağılımlı (durağan) kabul edilebilir.
- Dünyanın topografyası dağlar ve vadiler nedeniyle engebeli bir yapıya sahiptir.
- Bu değişimler nedeniyle dünyanın gerçek şekline basit bir modelle yaklaşmak mümkün değildir.
- Kavramsal olarak Dünya iki farklı yüzey kullanılarak belirli bir ölçekte modellenabilir:
  - **Jeoit**
  - **Elipsoit**



## Referans yüzeyler:Jeoit

- Jeoiti tanımlamak için bütün Dünya yüzeyinin okyanus yüzeyi boyunca su ile kaplı olduğunu düşünelim.
- Bu yüzeydeki gel git ve su akımı etkileri ihmal edilirse, küresel okyanustan oluşan su yüzeyi sadece gravite değerlerinden etkilenir.
- Kütle dağılımından kaynaklanan kütle anomalilerine bağlı değişen gravite değerleri küresel okyanusta sapmalar meydana getirir.

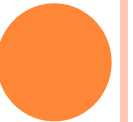


Jeoit



## Referans yüzeyler:Jeoit

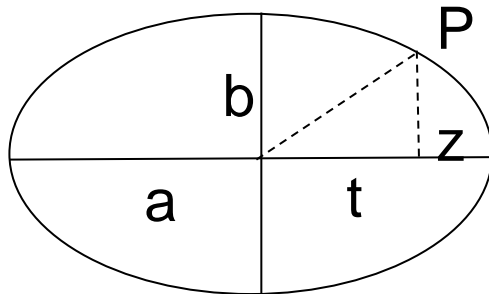
- Gravite değerlerinin etkilediği küresel okyanustan oluşan bu yüzeye jeoit denilmektedir.
- Gravite değerlerine göre şekillenen jeoidin fiziksel olarak dünyayı temsil ettiği kabul edilmektedir.
- Jeoit eş potansiyelli yüzeylerden biridir.
- Bu eş potansiyelli yüzeylerden okyanus (deniz) seviyesindeki eş potansiyel yüzey, jeoit olarak seçilip, teorik olarak, haritada kullanılan yükseklik için başlangıçtır.



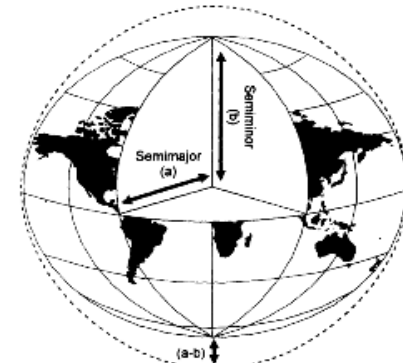
# Referans yüzeyler: Elipsoit

Elipsoit bazı kaynaklarda sfereoid olarak geçen yüzey olup dünyanın basit matematiksel biçimidir.

- Elipsoit:
  - Ekvatordaki yarıçap ( $a$ )
  - Kutup yarıçapı ( $b$ )
  - Basıklık ( $f$ ) ile ifade edilmektedir.
- Dünya için seçilen elipsoitler kutuplardan basık (oblate ellipsoid) elipsoittir.



Elipsoit



## Referans yüzeyler: Elipsoit

- Kutuplardan basık elipsoit, elipsin küçük eksenini ( $b$ ) etrafında döndürülmesiyle elde edilmektedir.
- Elipsoidin biçimi bir kaç şekilde belirlenebilir.
  - Jeodezik uygulamalarda yarı ana eksen ( $a$ ) ve basıklık ( $f$ ) ile ifade edilmektedir. Basıklık,

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

- Elipsoit yarı ana eksen ( $a$ ) ve eksantrisite ( $e$ ) ile de ifade edilebilir.

$$e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2} = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 2f - f^2$$





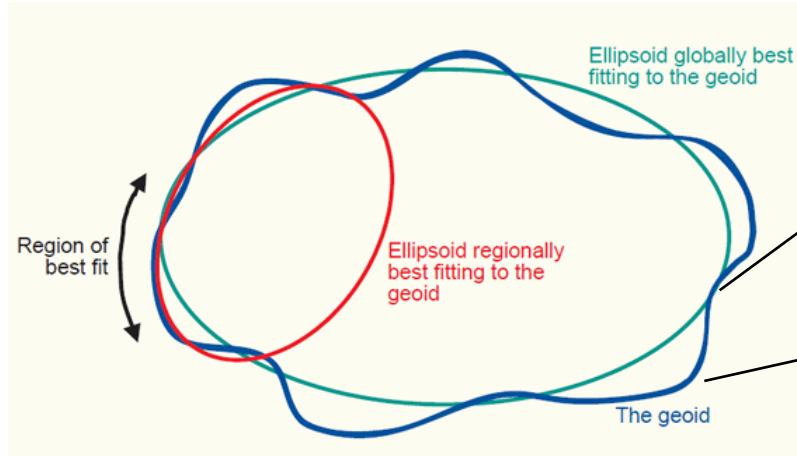
## Referans yüzeyler: Elipsoit

- Herhangi bir eksenden biri (Örneğin  $a$ ) ve diğer 3 parametreden herhangi biri biliniyorsa diğer parametreler elde edilebilir.
- Dünya için tanımlı farklı pek çok elipsoit bulunmaktadır.
- İhtiyaca ve bölgeye bağlı olarak dünyanın fiziksel yüzeyi jeoite en iyi uyan elipsoidin seçilmesi oldukça önemlidir.
- Jeoite, boyut ve konum olarak en iyi uyan elipsoidin belirlenmesi jeodezinin konularından birisidir.
- Bu sayede, Dünya matematiksel olarak modellenmektedir.



## Referans yüzeyler: Elipsoit

- Jeoidde uyan elipsoitler iki ana gruba ayrılırlar.
- Birincisi jeoidin belirli bir bölgesine en iyi uyan **yerel elipsoitler** ((local ellipsoid), örneğin bir kıtayı kapsayan)
- İkincisi ise jeoidin tamamını kapsayacak şekilde yerleştirilen **global referans elipsoittir** [2].



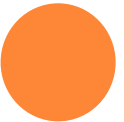
Jeoidde uygunluk derecesi yüksek

Jeoidde uygunluk derecesi düşük



## Referans yüzeyler:Jeoit ondülasyonu

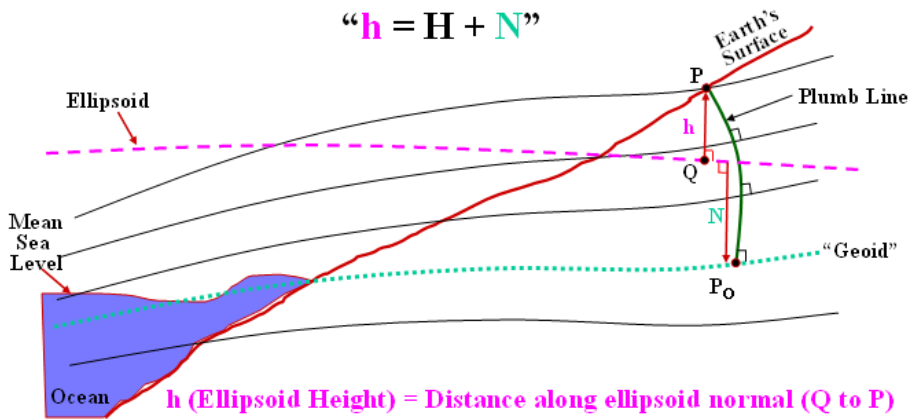
- Jeoide uydurulan elipsoit kimi noktada jeoitle çakışık kimi noktada ise jeoitle çakışmaz.
- Tasarlanan elipsoitin jeoit ile çakışmadığı (oturmadığı) yerlerde, elipsoit yüzeyine dik olan doğrultu (elipsoit normali) ve jeoite dik olan çekül doğrultusu (jeoit normali) çakışmazlar.
- Bu durumda elipsoit ve jeoit yüzeyleri arasında bir fark oluşmaktadır.
- İki yüzey arasındaki farka jeoit ondülasyonu (N), jeoit yüksekliği ya da jeoit ayrıklığı (separation) denir.



# Referans yüzeyler: Jeoit ondülasyonu

## Ellipsoid, Geoid, and Orthometric Heights

$$h = H + N$$



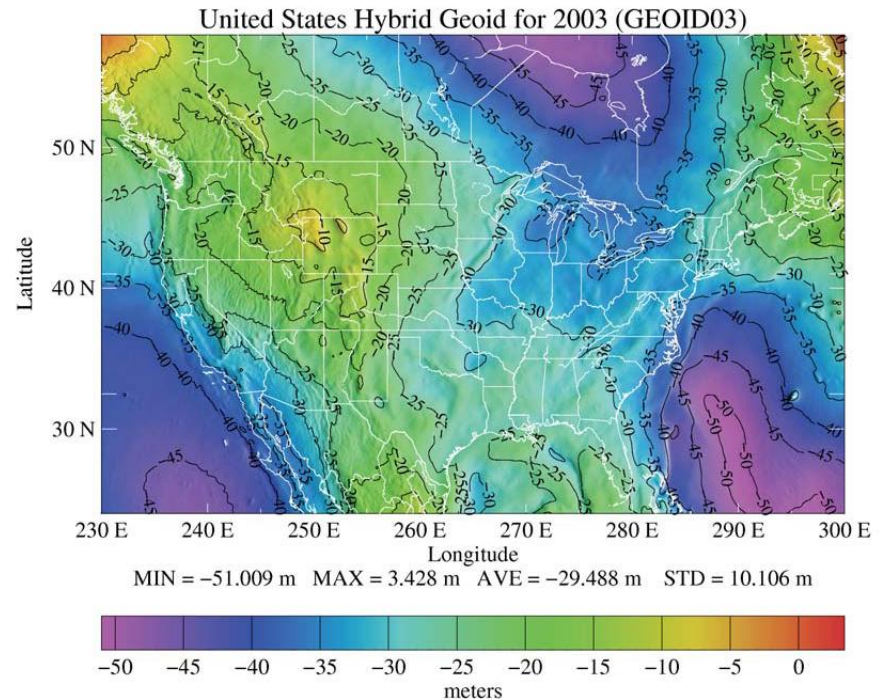
**h (Ellipsoid Height) = Distance along ellipsoid normal (Q to P)**

**N (Geoid Height) = Distance along ellipsoid normal (Q to P<sub>0</sub>)**

**H (Orthometric Height) = Distance along plumb line (P<sub>0</sub> to P)**

**GEOID03 Jeoit modeli**

**Elipsoit, jeoit ve ortometrik yükseklik**



## Referans yüzeyler:Jeoit ondülasyonu

- Jeoit ondülasyonu, Elipsoit normali boyunca olan elipsoit yüksekliği (h) ve çekül doğrultusu boyunca olan ortometrik yükseklik (H) arasındaki farktır.
- Yerin kütle farklılıkları; jeoidin ortalama elipsoit üstünde veya altında kalmasına neden olmaktadır.
- Böylece jeoit  $\pm 100$  metre aralığında elipsoit yüzeyinden sapar.
- Minimum en büyük sapma Hint okyanusunda  $N=-100$  m
- Maksimum en büyük sapma Atlantik okyanusunda  $N=+70$  m



## Datum Kavramı:Yerel Datum

- Önce yerel elipsoit Dünyanın yüzeyindeki belirli bir bölgeye yakın olacak biçimde uydurulur.
- Başlangıç noktası Dünyanın yüzeyinde alınmıştır.
- Böylece yerel datum elde edilir.
- Başlangıç noktasının koordinatları sabit alınıp diğer noktaların koordinatları buradan hesaplanmıştır.
- Yerel datumun koordinat sisteminin başlangıcı dünya merkezinde değildir.
- Yerel datumlar: Everest Datumu 1830, NAD27 (Amerika), Avrupa datumu 1950 (ED50)'dir. ED50 datumu elipsoit olarak Hayford elipsoitini kullanır.



## Datum Kavramı: Global Datum

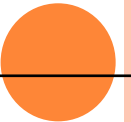
- Uydu verileri jeoite en iyi uyan elipsoiti, dünyanın kütle merkezi ile ilişkilendirerek belirlememizi sağlar.
- Bu sayede konumlandırılan global elipsoit global datumu oluşturur.
- Yer merkezli ya da diğer bir ifadeyle jeosentrik datum, yerel datumda olduğu gibi yüzey üzerinde bir başlangıç noktasına sahip değildir.
- Global datumda başlangıç noktası dünyanın kütle merkezidir.
- Örneğin WGS84 ve NAD 1983 datumu global datumdur.



# Datum Kavramı

## Dünya üzerinde kullanılan farklı elipsoitler ve bunlara ilişkin parametreler

Datum	Yer / Bölge	Merkez	Elipsoit	Elipsoit parametreleri
WGS 1984	Global	Dünyanın kütle merkezi	WGS 84	$a=6378137$ $1/f=1:298.257$
NAD 1983	Kuzey Amerika (Global)	Dünyanın kütle merkezi	GRS 80	$a=6378137$ $1/f=1:298.257$
NAD 1927	Kuzey Amerika (Yerel)	Meades Ranch (Nokta)	Clarke 1866	$a=6378137$ $1/f=1:298.257$
Avrupa 1950 (ED-50)	Avrupa, Ortadoğu, Kuzey Afrika (Yerel)	Postdam (Nokta)	Uluslararası (1924)	$a=6378388$ $1/f=1:297$





## Uygulamada kullanılan datumlar: WGS84

- WGS84 koordinat sistemi ABD tarafından geliştirilmiş bir koordinat sistemidir.
- Aynı isimle anılan elipsoit ve datuma sahiptir.
- WGS 84 koordinat sistemi kararlaştırılmış (conventional) yersel referans (Conventional terrestrial reference system-CTRS) sistemidir.
- Yer merkezli olan bu sistemin başlangıç noktası dünyanın ağırlık merkezidir.
- WGS 84 koordinat sistemi sağ el sistemli, yer-sabit (earth-fixed) dünya ile hareket eden dik koordinat (ECEF-Earth Centered Earth Fixed) sistemidir.

## Uygulamada kullanılan datumlar: ED50

- European Datum 1950 (ED50) datumunun
  - Başlangıç noktası Helmert kulesi Turm noktası
  - Elipsoit olarak Hayford elipsoidi seçilerek uzayda oturtulmuştur (Gürkan, 1985).
  - Yerel Datumdur.

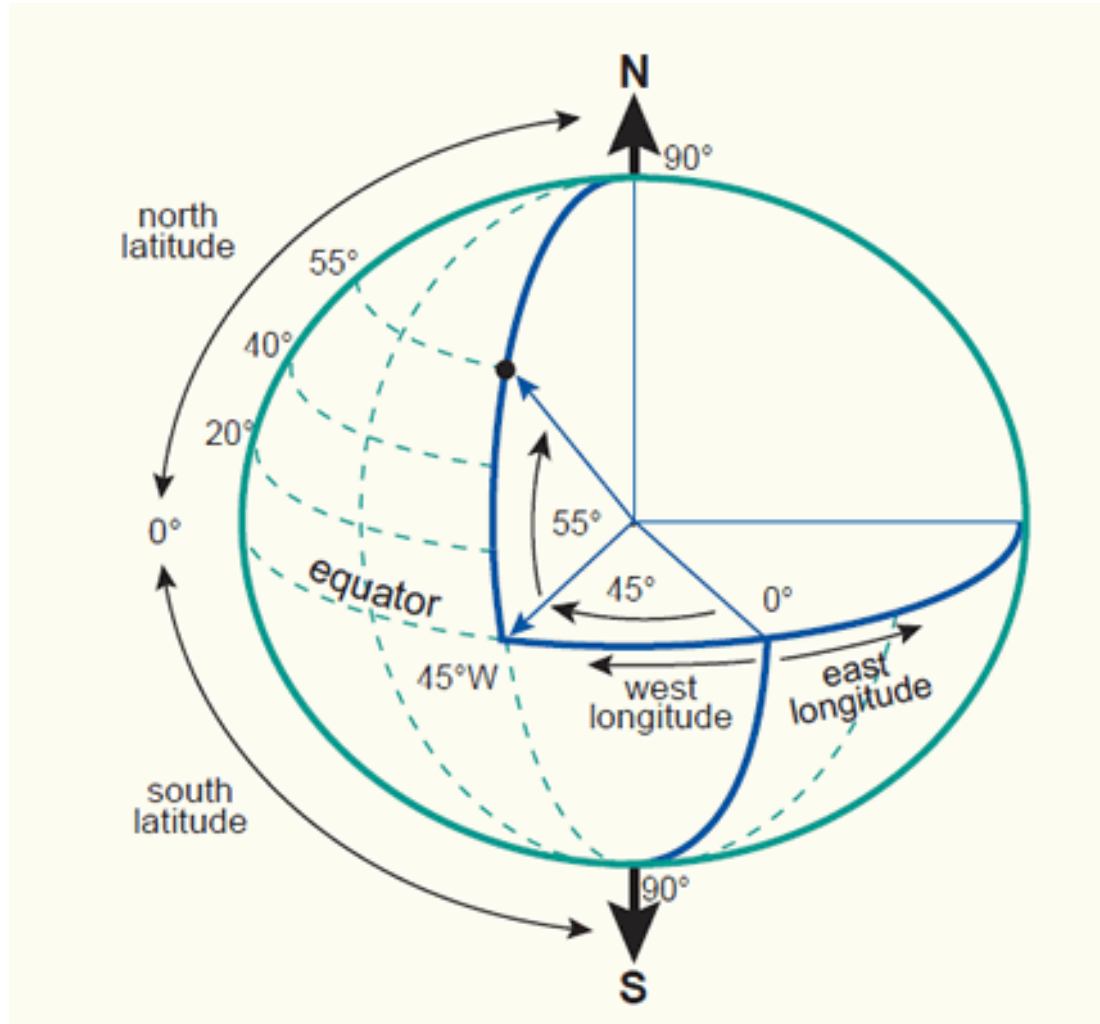


# Koordinat Sistemleri:2 Boyutlu Coğrafi (Jeodezik) Koordinatlar

- Enlem ( $\varphi$ ) noktanın elipsoit normali ile ekvatorun arakesiti
- Boylam ( $\lambda$ ) Greenwich'ten geçen meridyen elipsi düzlemi ve boylamı belirlenecek noktanın meridyen elipsi düzlemi arasındaki açı
- Ekvatorda enlem değeri ( $\varphi = 0^\circ$ )
- Kuzey kutbunda  $\varphi = +90$  ( $90^\circ\text{N}$ )
- Güney kutbunda  $\varphi = - 90^\circ$  ( $90^\circ\text{S}$ )
- Başlangıç Greenwich Meridyeni ( $\lambda = 0^\circ$ )
- Doğuya doğru maksimum  $\lambda = + 180^\circ$  ( $180^\circ\text{E}$ )
- Batıya doğru maksimum  $\lambda = -180^\circ$  ( $180^\circ\text{W}$ ) değerini almaktadır.



# Koordinat Sistemleri: 2 Boyutlu Coğrafi (Jeodezik) Koordinatlar

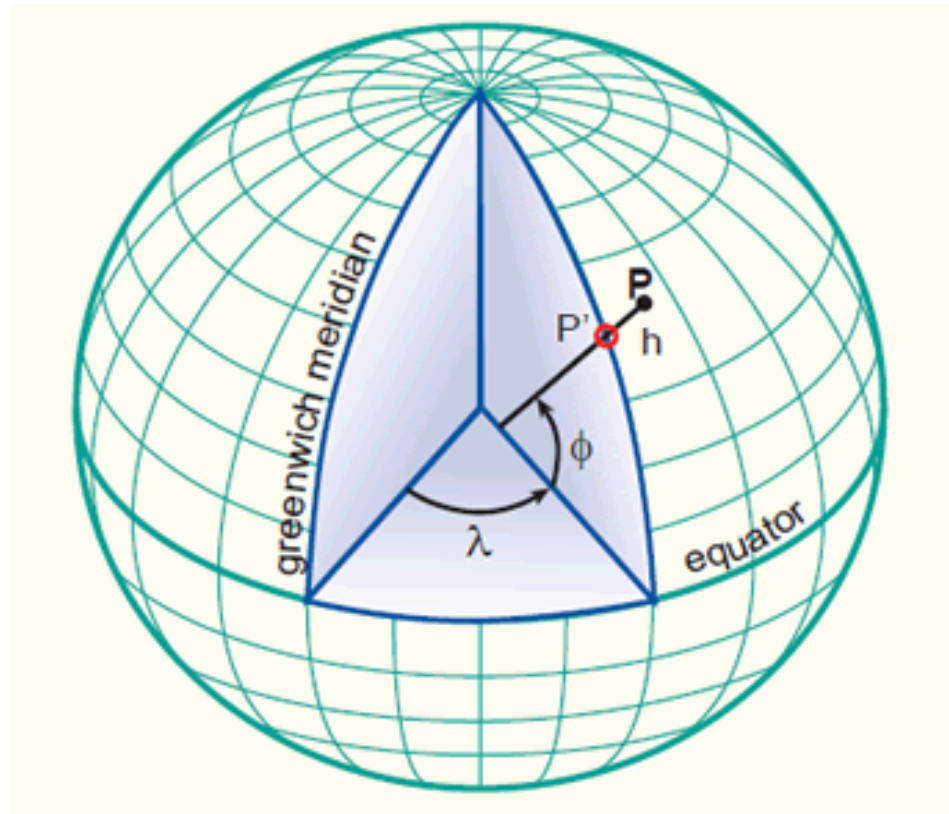


# Koordinat Sistemleri:3 Boyutlu Coğrafi (Jeodezik) Koordinatlar

- 3 boyutlu coğrafi koordinat sistemi, 2 Boyutlu Coğrafi Koordinatlara (h) elipsoit yüksekliği eklenerek bulunur.
- Dünya yüzeyindeki bir nokta 3 Boyutlu Coğrafi Koordinatlarla tanımlanır.
- ECEF koordinat sistemindedir.



# Koordinat Sistemleri:3 Boyutlu Coğrafi (Jeodezik) Koordinatlar

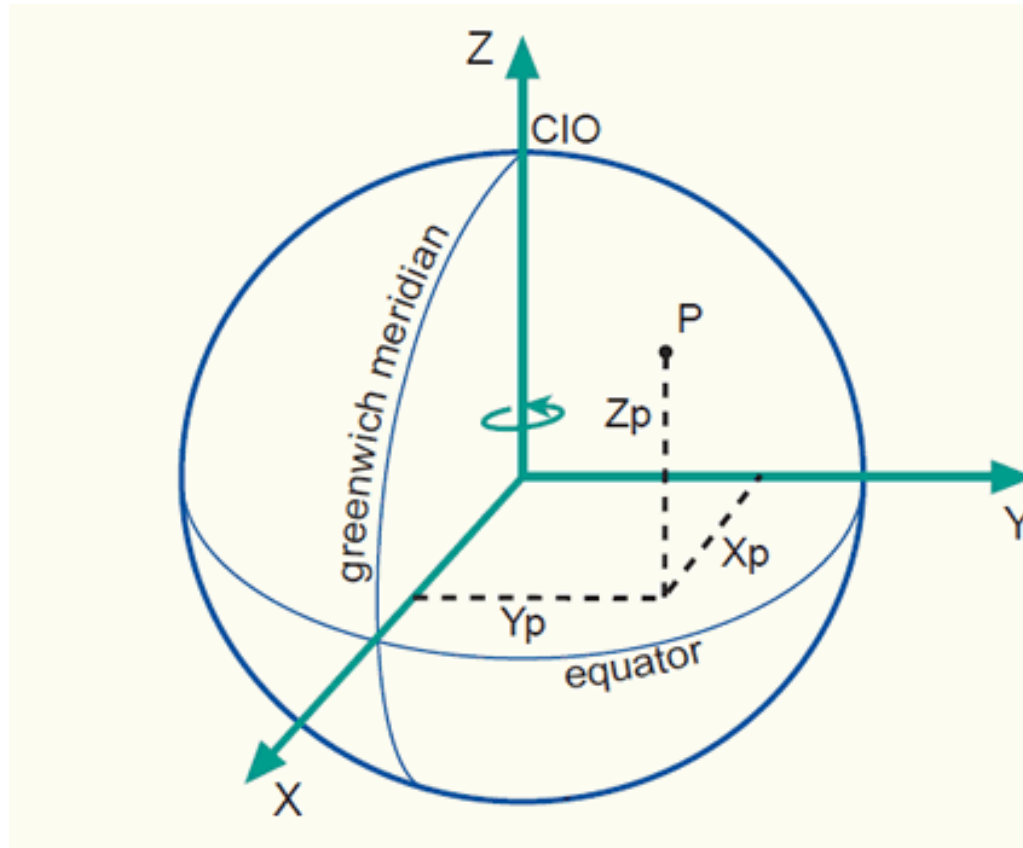


## Koordinat Sistemleri:Jeosentrik (Kartezyen, dik) koordinatlar

- 3 boyutlu konumu belirlemek için alternatif olarak jeosentrik koordinatlarda (x,y,z) kullanılabilir.
- Bu koordinatlar aynı zamanda 3 boyutlu Kartezyen (dik) koordinatlar olarakta adlandırılır.
- Sistemin merkezi dünyanın kütle merkezi X ve Y eksenini ekvator düzleminde
- X eksenini Greenwich ve ekvator düzleminin arakesitinde, Z eksenini dünyanın dönme eksenini ile çakışık, Y eksenini sağ el sistemine göre yerleşir.
- Dünyanın dönme eksenini olarak CIO (Conventional International Origin) alınmıştır.

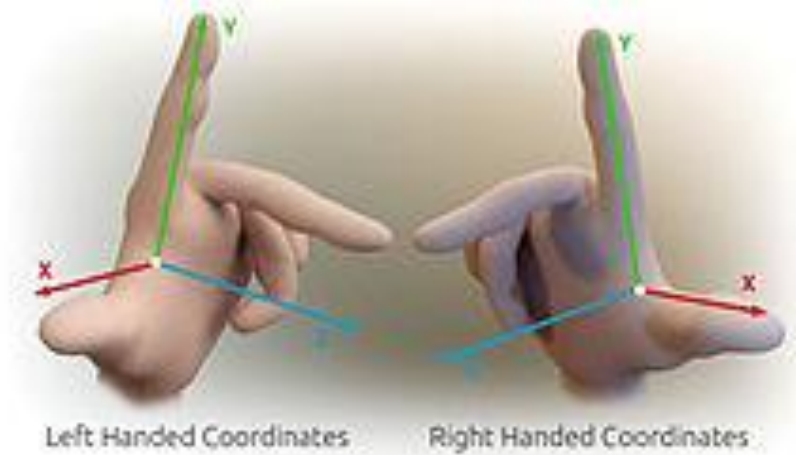
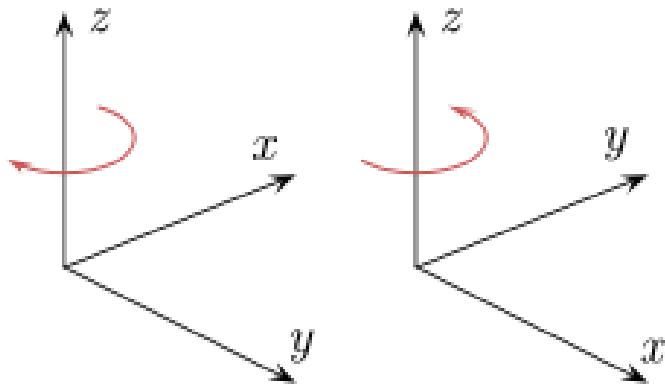


# Koordinat Sistemleri: Jeosentrik (Kartezyen, dik) koordinatlar





# Koordinat Sistemleri:Jeosentrik (Kartezyen, dik) koordinatlar



Sol ve Sağ el koordinat sistemi [1]



## Coğrafi ve dik koordinat arasındaki geçişler

- Coğrafi koordinatlardan dik koordinatlara geçiş
- Dik koordinatlardan coğrafi koordinatlara geçiş



## Coğrafi koordinatlardan dik koordinatlara geçiş

Fiziksel yeryüzündeki bir noktanın dik koordinatları; jeodezik enlem ( $\varphi$ ), boylam ( $\lambda$ ) ve elipsoit yüksekliği ( $h$ ) cinsinden ifade edilirse;

$$x = \left( \frac{a}{W} + h \right) \cos \varphi \cos \lambda$$

$$y = \left( \frac{a}{W} + h \right) \cos \varphi \sin \lambda$$

$$z = \left( (1 - e^2) \frac{a}{W} + h \right) \sin \varphi$$



## Dik koordinatlardan coğrafi koordinatlara geçiş

Fiziksel yeryüzündeki bir noktanın jeodezik enlem, boylam ve elipsoit yüksekliği; dik koordinatları cinsinden ifade edilirse;

$$\lambda = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (1)$$

$$h = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\cos \varphi} - N \quad (2)$$

$$\varphi = \arctan \frac{z (N + h)}{\sqrt{x^2 + y^2} [(1 - e^2)N + h]} \quad (3)$$



## Coğrafi ve dik koordinat arasındaki geçişler

Eşitliklerde önce (3) eşitliğine  $h=0$  konularak yaklaşık bir coğrafi enlem hesaplanır. Daha sonra (2) ve (3) eşitliklerinin iteratif olarak çözümüyle noktanın coğrafi enlem ve elipsoidal yükseklik değerleri bulunur. Burada geçen

$$N = \frac{a}{W} = \frac{c}{V}$$

$$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$$

$$V = \sqrt{1 + e'^2 \cos^2 \varphi}$$



## Coğrafi ve dik koordinat arasındaki geçişler

$\varphi$ : jeodezik (coğrafi) enlem,

$a = 6378388$ ,

$b = 6356911.94613$ ,

$e^2 = 0.00672267$ ,

$e'^2 = 0.00676817$ ,

$c = 6399936.608$

Bu parametreler Hayford elipsoit parametreleridir. Farklı bir elipsoit kullanılırsa bu değerler değişecektir. Buna dikkat edilmesi gerekmektedir.



# Dünya için seçilecek yüzeyler

Jeodezide kullanılan yüzeyler kullanım biçimine göre değişiklik göstermektedir.

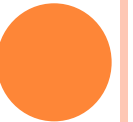
- Büyük ölçekli haritalar, cadde planları ve mühendislik ölçmeleri için dünyanın **düz bir yüzey** olduğu kabul edilmektedir.
- Dünya eğriliğinin çok az olduğu ve bu eğriliğin ihmal edilebilir olduğu 10 km'den az uzaklıklar için dünyanın **düz yüzey** düşünülmesi uygundur.
- Küçük ölçekli haritalar, orta doğruluklu ölçme hesapları için dünya yüzeyi hesap kolaylığı açısından **elipsoit yerine küre** alınabilir.
- Kısa mesafe navigasyon ve küresel uzaklık yaklaşımlarında dünya **küre** kabul edilebilir.
- Uzun mesafelerde hassas uzaklık ve azimut hesapları için dünya **elipsoit** olarak alınabilir.



# Dünya Yüzeyinde Hesaplamalar

Küçük ölçekli haritalar, orta doğruluklu ölçme hesapları için dünya yüzeyi hesap kolaylığı açısından **elipsoit yerine küre** alınabilir.

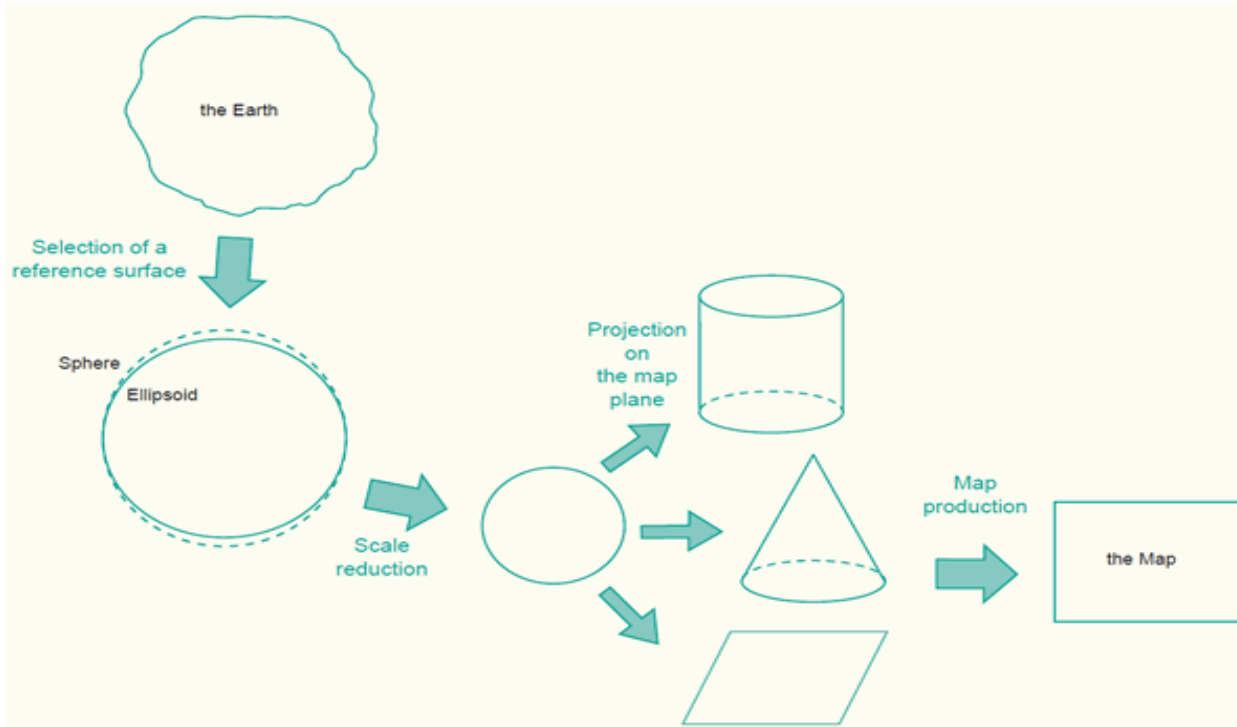
- Kısa mesafe navigasyon ve küresel uzaklık yaklaşımlarında dünya **küre** kabul edilebilir.
- Uzun mesafelerde hassas uzaklık ve azimut hesapları için dünya **elipsoit** olarak alınabilir.





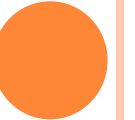
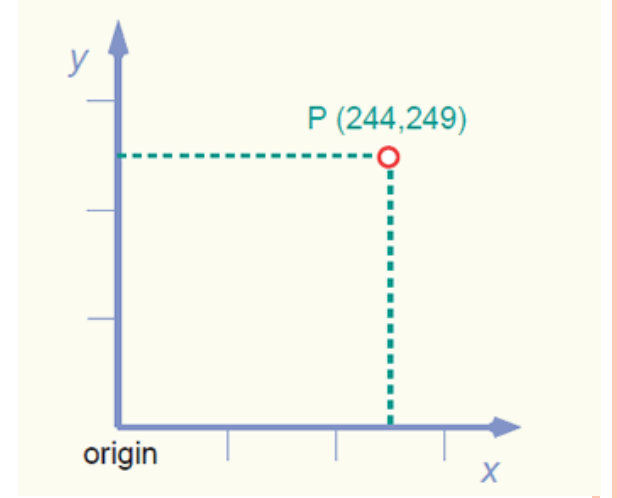
# Harita Projeksiyonu

- Harita üretiminde Dünya yüzeyini temsil eden yüzey olarak elipsoit ya da küre yüzeyler kullanılır.
- Bu eğri referans yüzeyler silindir, koni, ya da düzlem kullanılarak haritaya projeksiyonu yapılır. Aşağıdaki şekil işlem adımlarını göstermektedir.



# Harita Projeksiyonu

- Düz harita sadece iki boyuta sahiptir
- Üç boyutlu dünyayı iki boyutlu haritaya dönüştürmek harita projeksiyonu ve koordinat dönüşümünün konusudur.
- İki boyutlu kartezyen koordinatlar  $(x,y)$  herhangi bir noktanın harita düzlemindeki koordinatlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.
- x Yatay eksen (Easting)
- y Düşey eksen (Northing)



# Harita Projeksiyonu

- Dünyanın eğri yüzeyinin düz haritada nasıl gösterileceğini matematiksel olarak tanımlayan tekniktir.
- Dünya yüzeyinin bölümlerini düz kağıt harita ya da bilgisayar monitöründe gösterebilmek için eğri yatay referans yüzey 2 boyutlu harita düzlemine aktarılmalıdır (mapped).
- Büyük ölçekli harita yapım çalışmaları için referans yüzey olarak kutuplardan basık elipsoit,
- Küçük ölçekli harita yapım çalışmaları için referans yüzey küre seçilir [2].



# Harita Projeksiyonu

Projeksiyon çoğunlukla projeksiyon denklemleri ile gerçekleştirilir.

- İleri projeksiyon (forward mapping) denklemleri

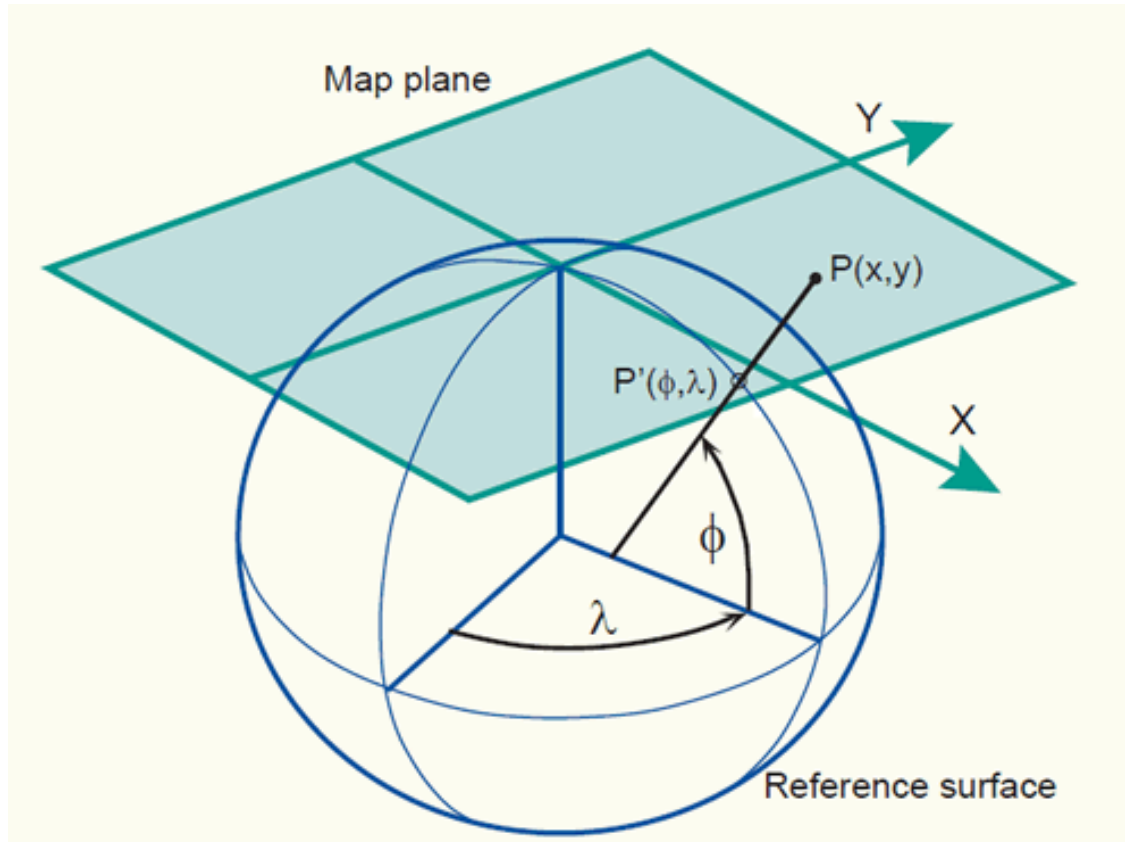
$$(x, y) = f(\varphi, \lambda)$$

- Ters projeksiyon (inverse mapping) denklemleri

$$(\varphi, \lambda) = f(x, y)$$



# Harita Projeksiyonu



# Harita Projeksiyonu

Merkator projeksiyonu denklemleri küre için verilmiştir (Elipsoit için olan denklemler daha karışıktır).

- İleri projeksiyon fonksiyonu:

$$x = R(\lambda - \lambda_0) \quad y = R(\ln(\tan(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})))$$

- Ters projeksiyon fonksiyonu:

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - 2 \arctan(e^{\frac{-y}{R}}) \quad \lambda = \frac{x}{R} + \lambda_0$$

R: küresel referans yüzeyin yarıçapı

$\varphi$  ve  $\lambda$ : Enlem ve boylam (radyan)

$\lambda_0$  Projeksiyonun merkez meridyeni

e doğal logaritma tabanı olup 2.718281'dir. (eksantrisite değildir)



# Harita projeksiyon türünü deęiřtirme



## Harita projeksiyonunun türünü deęiřtirme (Projeksiyon türü biliniyor)

- Bir noktanın bir harita projeksiyonundaki koordinatlarından, diğer bir harita projeksiyonundaki koordinatlarını bulabilmek için yapılacak koordinat dönüşümünde öncelikle:

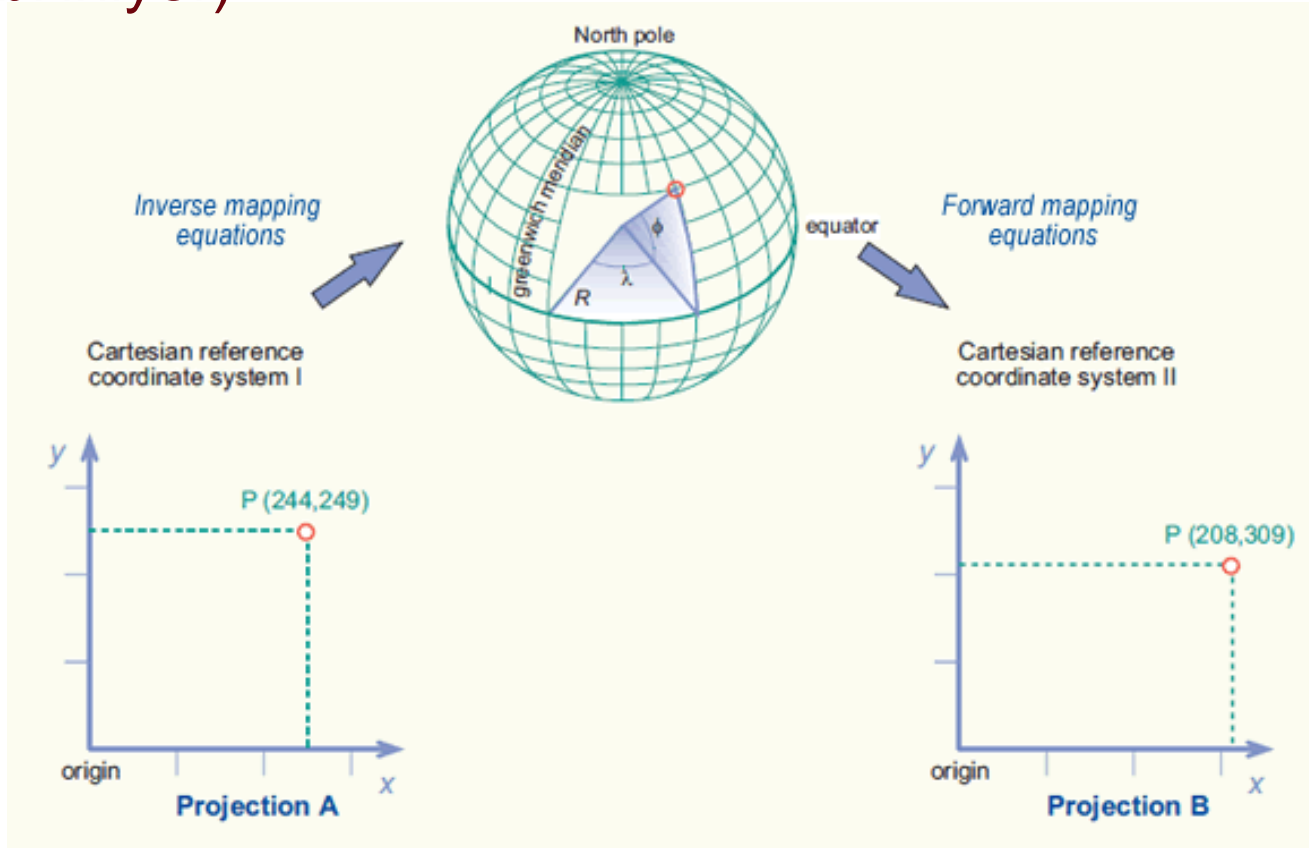
1. Ters projeksiyon fonksiyonu ile kaynak projeksiyon koordinatlarından  $(x,y)$  coğrafik koordinatlara dönüşüm yapılır.
2. Sonra ilgili projeksiyondaki ileri projeksiyon denklemleri kullanılarak coğrafik koordinatlardan hedef projeksiyon koordinatları  $(x',y')$  kullanılır.

- Böylece A projeksiyonundan B projeksiyonuna geçilir.





# Harita projeksiyonunun türünü deęiřtirme (Projeksiyon türü biliniyor)



Projeksiyon denklemleri kullanarak bir projeksiyondan dięerine geçiş

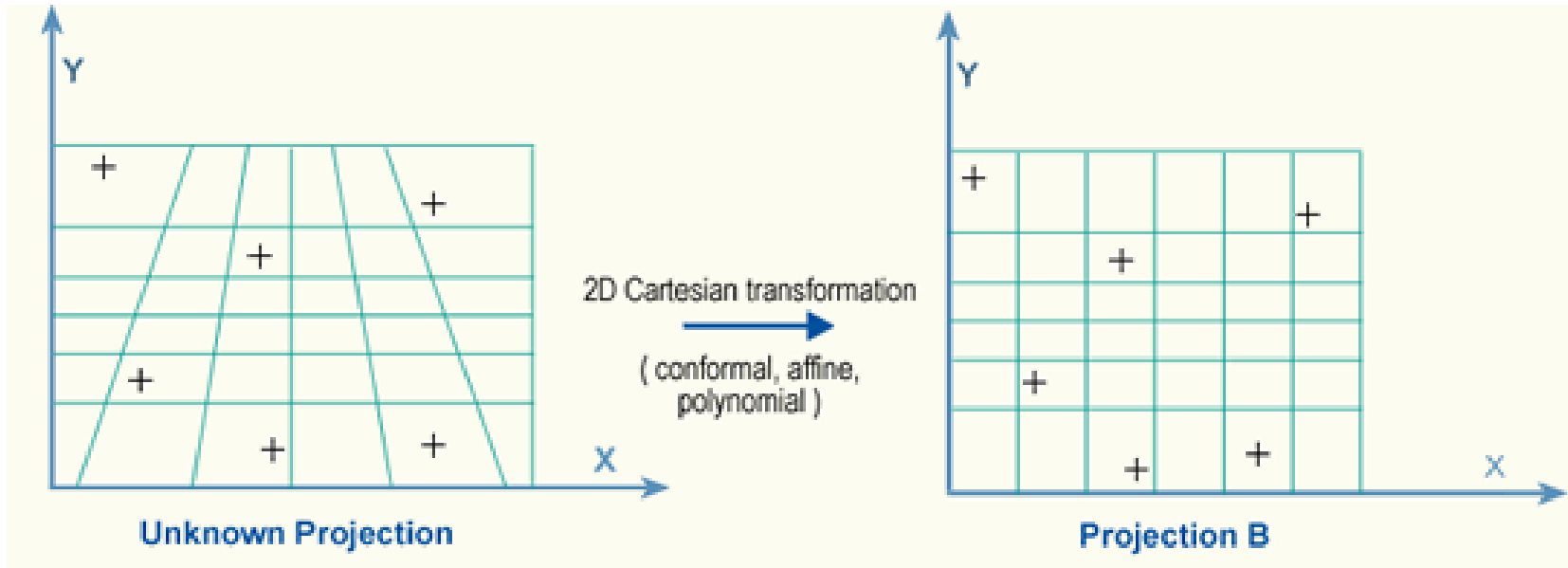


## Harita projeksiyonunun türünü deęiřtirme (Projeksiyon türü bilinmiyor)

- Projeksiyon deęiřimini yaparken, projeksiyon denklemini kullanmak için girdi verinin koordinat sistemini (harita projeksiyonu) bilmek gerekir.
- Eęer girdi verinin koordinat sistemini bilmiyorsak, 2 boyutlu Kartezyen dönüşümü kullanılabilir.
- 2 boyutlu yer kontrol noktaları ya da ortak noktalar gereklidir.
- Konform, Afin, Polinomsal ya da daha farklı dönüşüm yöntemi kullanılabilir.



# Harita projeksiyonunun türünü deęiřtirme (Projeksiyon türü bilinmiyor)



Projeksiyonu bilinmeyen koordinat sisteminden projeksiyonu bilinen bir koordinat sistemine dönüşüm



# Datum Dönüşümleri (Transformation)



# Datum Dönüşümleri

- Datum dönüşümü 3 boyutlu bir koordinat sisteminden diğer bir 3 boyutlu koordinat sistemine dönüşümdür.



# Datum Dönüşümleri

- Datum dönüşümleri 3 grup altında incelenebilir.

## 1. 2 Boyutlu Kartezyen Koordinatlarla Datum Dönüşüm

- Konform (Conformal) Dönüşüm

- Affin Dönüşümü

- Polinomsal Dönüşüm

## 2. Jeosentrik Koordinatlarla Datum Dönüşümü

- Jeosentrik öteleme (Geocentric translation)

- Helmert 7-parametrelili dönüşüm

- Molodensky-Badekas 10-parametrelili dönüşüm



# Datum Dönüşümleri

## 3. Coğrafi Koordinatlarla Datum Dönüşümü

- Coğrafik Kayma (Geographic offsets)
- Molodensky ve Abridged Molodensky Dönüşümü
- Çoklu Regresyon Dönüşümü



## Datum Dönüşümleri

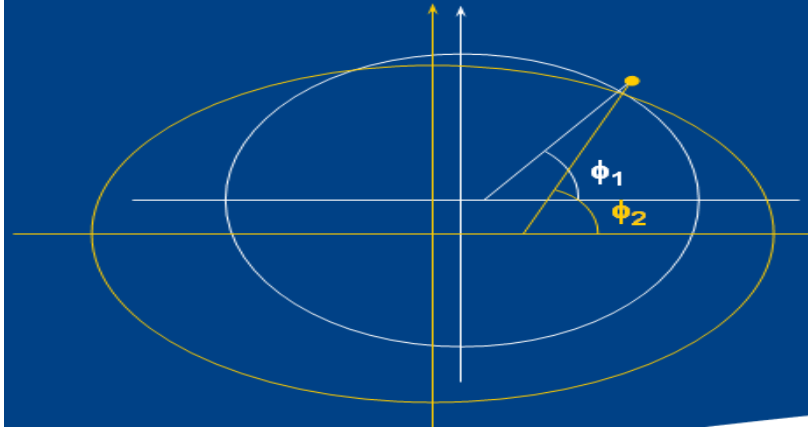
Harita projeksiyonunun değişimi, kimi durumlarda yatay datumun deęiřimini (jeodezik datum) içermektedir.

- Bu durum kaynak projeksiyonunun hedef projeksiyondan farklı yatay datuma dayandığı durumlarda gerçekleşir.
- Farklı datumlara sahip paftalar çakışmazlar.
- Farklı datumlarda aynı bir noktaya ilişkin koordinatlar arasında 100'lerce metreye kadar farklar oluşur.
- Bu nedenle datum birlięi gerekir.

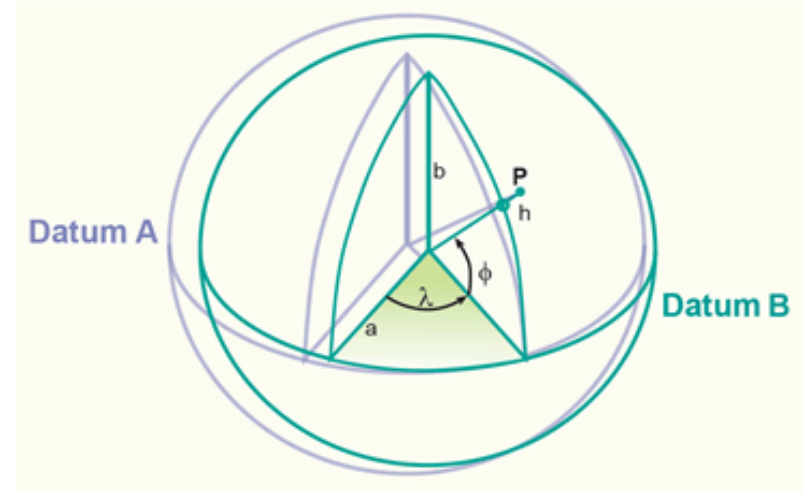




# Datum Dönüşümleri



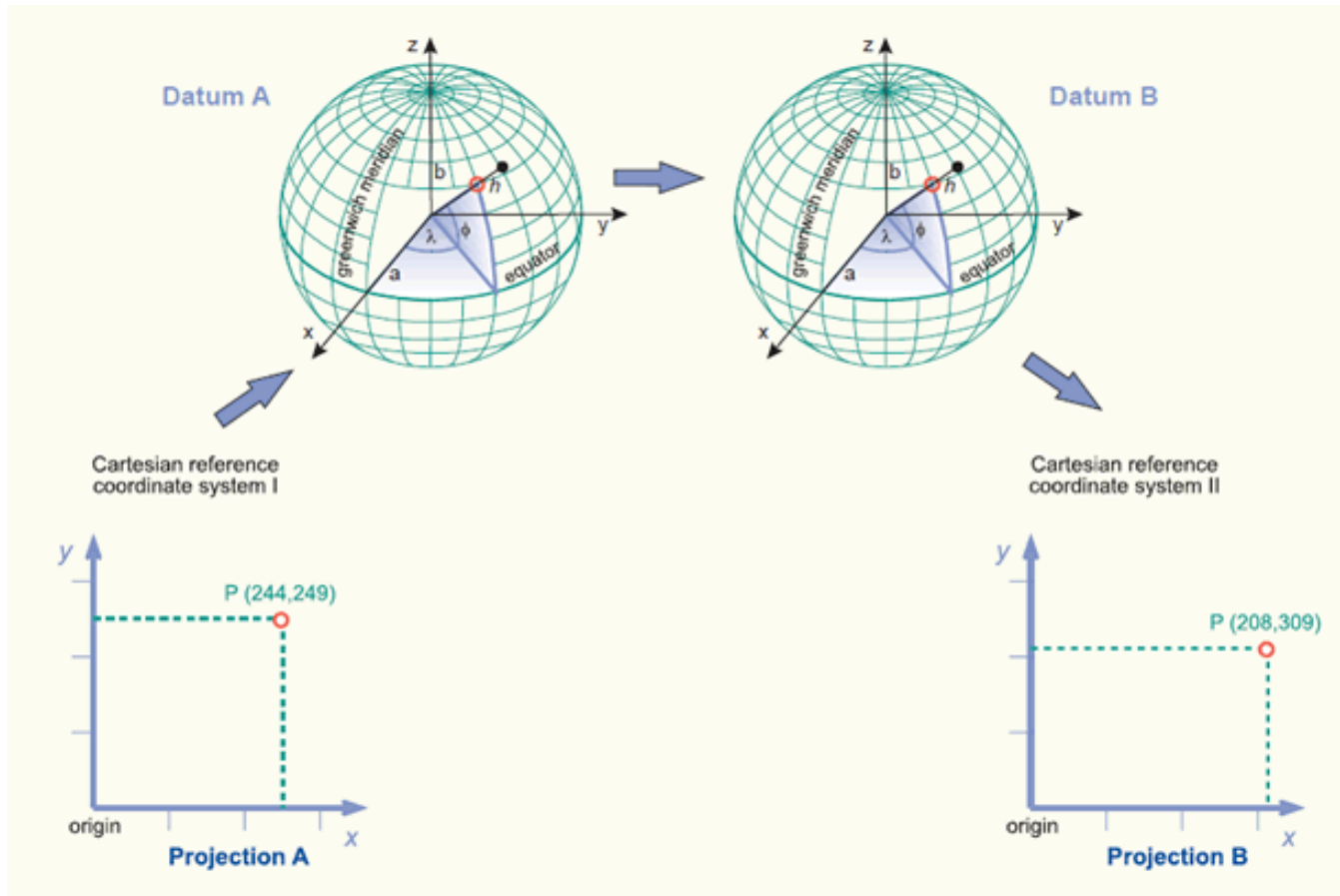
$$\varphi_1 \neq \varphi_2$$



İki jeodezik datum arasında datum kaymasının **a.** 2 boyutlu ve **b.** 3 boyutlu gösterimi



# Datum Dönüşümleri



Datum A'dan Datum B'ye datum dönüşüm ile ilişkilendirilen A projeksiyonundan B projeksiyonuna dönüşüm



## Datum Dönüşümleri

- Örneğin UTM projeksiyonundan Hollanda RD sistemine dönüşüm yapmak istediğimizi düşünelim.
- UTM projeksiyonu ED50 datumunda; Hollanda sistemi Amersfoort datumundadır.
- A projeksiyonunun ters projeksiyon denklemi, bizi A projeksiyonundaki harita koordinatlarından  $(x,y)$ , A datumundaki coğrafi koordinatlara götürür.
- Sonra, datum dönüşümü bizi A datumundaki coğrafi koordinatlardan , B datumundaki coğrafi koordinatlara götürür.
- Sonuç olarak, B projeksiyonu ileri denklemleri bizi B datumundaki coğrafi koordinatlardan, B projeksiyonu harita koordinatlarına  $(x',y')$  götürür.



## Datum Dönüşümleri

- Yükseklik koordinatı (h ya da H) coğrafi koordinatlara eklenebilir.
- Dönüşüm parametreleri her iki datum sistemindeki koordinatı bilinen ortak noktalar kullanılarak belirlenir.
- Bu noktaların koordinatları doğru bir biçimde belirlenmemişse dönüşüm doğru olmaz (inaccurate).
- Genelde bu durum yerel yatay datumlardan global jeosentrik datuma dönüşümde geçerlidir.
- Yerel yatay datumun tanımında kullanılan nirengi ağlarındaki ölçülerin doğru olmaması, seçilen ortak noktalara, dönüşüm parametrelerinin değerlerine bağlıdır.



# Datum Dönüşümleri

- Matematiksel olarak datum dönüşümü
  - Ya Coğrafi koordinatları doğrudan iki datum arasında
  - Ya da dolaylı olarak iki datumdaki jeosentrik koordinatlarla  $(x,y,z)$  arasında yapılır.

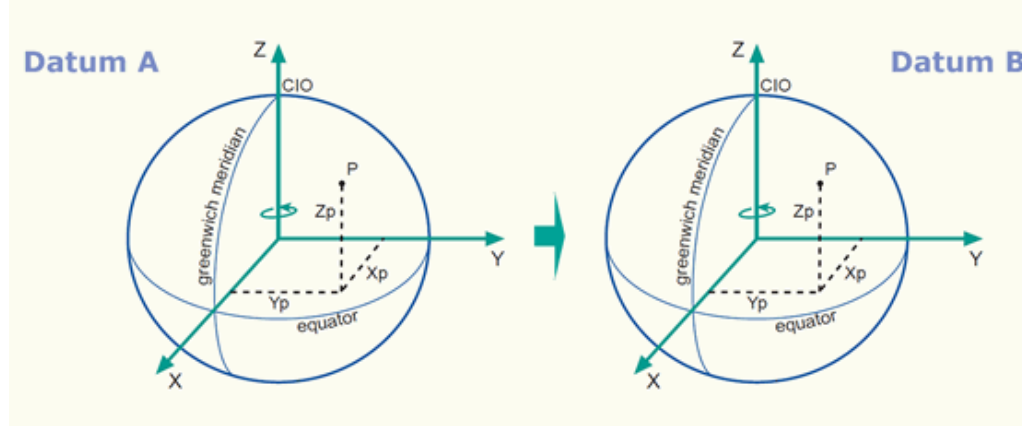


# Datum Dönüşümleri:Jeosentrik koordinatlar kullanılarak

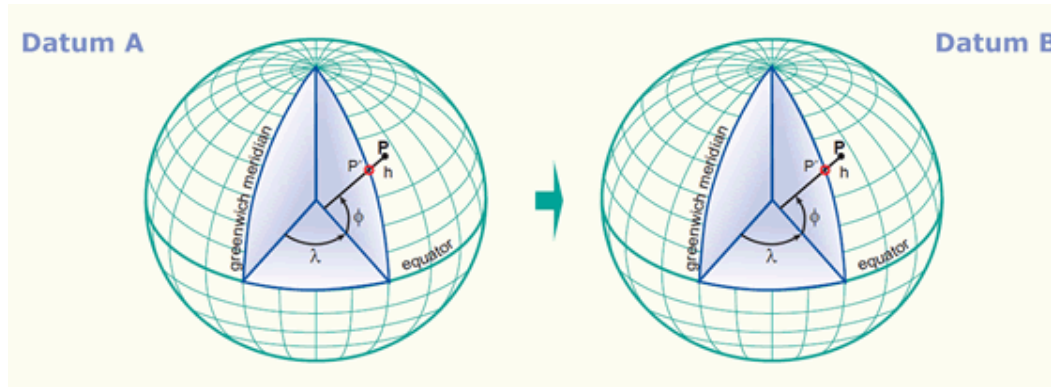
- Jeosentrik koordinatlarla  $(x,y,z)$  datum dönüşümleri 3 boyutlu benzerlik dönüşümüdür.
- 3 boyutlu jeosentrik koordinatlarla datum dönüşümünde en çok uygulanan 3 yöntem şunlardır.
  - Jeosentrik öteleme (Geocentric translation)
  - Helmert 7-parametrelili dönüşüm
  - Molodensky-Badekas 10-parametrelili dönüşüm



# Datum Dönüşümleri



Şekil Jeosentrik koordinatlar kullanılarak datum dönüşümleri



Şekil Coğrafi koordinatlar kullanılarak datum dönüşümleri



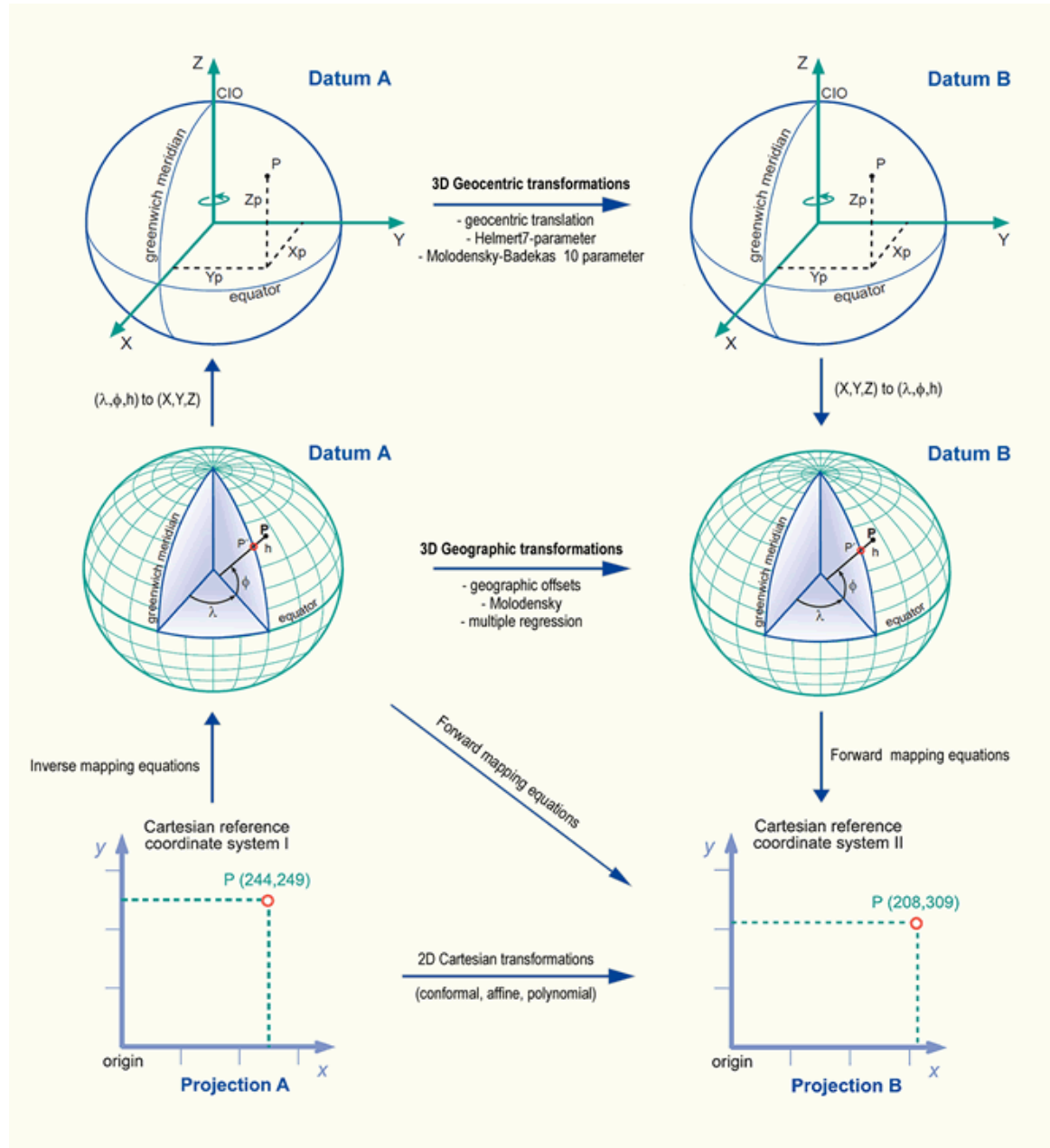
## Datum Dönüşümleri:Coğrafi koordinatlar kullanılarak

- Coğrafik koordinatlar kullanılarak yapılan datum dönüşümünde her iki datumun enlem, boylam ve çoğunlukla elipsoit yüksekliği için içine girmektedir.
- 3 boyutlu coğrafik koordinatlar kullanılarak yapılan datum dönüşümlerinde uygulanan yöntemler:
  - Coğrafik Kayma (Geographic offsets)
  - Molodensky ve Abridged Molodensky Dönüşümü
  - Çoklu Regresyon Dönüşümü

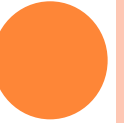




# Datum dönüşümü:Tüm algoritma



# Ülke Temel Ağları ve Türkiyedeki Haritacılık Çalışmaları



## Ülke Temel Ağları: Yatay kontrol ağları

- Büyük ölçekli jeodezik çalışmaların temelini oluşturan nirengi ağlarında (TUTNA) birim sistem olarak ülke temel ağlarının I. (25-35 km) ve II. (10-30 km) derece noktalarından oluşan sistem ele alınmaktadır.
- Bu noktalar arasındaki boşluklar III. (4-15 km) derece yüzey ağları oluşturulmuştur.
- Ayrıntı alımlarını gerçekleştirmek amacıyla III. Derece noktalar arasında kalan boşluklar ara ve tamamlayıcı nirengilerle (IV.derece) sıklaştırılır.
- Poligon noktaları V. Derece ağ noktaları olarak tanımlanmaktadır
- Ülke nirengi ağlarının I. ve II. Derece noktalarının
  - Hem coğrafi koordinatları



## Ülke Temel Ağları:Yatay kontrol ağları

- Hemde Gauss Kruger projeksiyonundaki (Sağa ve yukarı) düzlem dik koordinatları bulunmaktadır.
- III. ve IV. Derece noktaların sadece Gauss-Kruger (düzlem) dik koordinatları bulunmaktadır.
- Ölçüler ve noktaların koordinat bilinmeyenleri arasındaki tüm ilişkiler Gauss-Krüger projeksiyon düzleminde kurulmaktadır.
- Bu nedenle fiziksel yeryüzündeki noktalar arasında yapılan tüm gözlemlerin (uzunluk, doğrultu ölçüleri) dengelemeye girmeden önce Gauss-Krüger projeksiyon düzlemine indirgenmesi gerekmektedir.



## Ülke Temel Ağları:Yatay kontrol ağları

- Türkiye'ye ait ülke nirengi ağı Hayford elipsoitine dayandırılmıştır.
- Bu elipsoit önce Ankara civarındaki I. derece noktalardan Meşedağda çekül sapması sıfır alınarak ve Duatepe noktasına olan Astrononik azimut Laplace azimutu kabul edilerek uzayda konumlandırılmıştır.
- Bu sayede Türkiye Ulusal Datumu 1954 (TUD-54) oluşturulmuştur. Dikkat edilecek olursa datumun bileşenleri elipsoit parametreleri (Hayford elipsoiti) ve başlangıç noktasından (Meşedağ) oluşmaktadır (Gürkan, 1985).
- Bu datumdaki elipsoit koordinatları “Meşedağ” ulusal datum noktasına göre değerler olarak adlandırılmıştır.



## Ülke Temel Ağları:Yatay kontrol ağları

- İlerleyen zamanlarda Avrupa ile uyumun sağlanması için TUTNA nokta koordinatları Avrupa datumu 50 (ED50) de belirlenmiştir.
- Dönüşüm için Bulgaristan ve Yunanistandaki 8 noktanın ED50 koordinatı kullanılmıştır. Bu sayede TUTNA noktaları her iki sistemde koordinata sahip olmuştur.
- Bu iki sistemde koordinatlar birbirinden farklıdır.
- ED50 datumunun başlangıç noktası Helmert kulesi Turm noktasında çekül sapması doğu-batı bileşeni ve kuzey-güney bileşeni olarak alınmış ve Hayford elipsoidi seçilerek uzayda oturtulmuştur (Gürkan, 1985).



## Ülke Temel Ağları: Düşey kontrol ağı (TUDKA, Nivelman)

- Bu noktalar düşey kontrol noktalarını oluşturmaktadır. Ülkemizde kullanılan düşey datum, Antalya'da 1936 yılında kurulmuş deniz seviyesi ölçme (mareograf) istasyonunda 1936-1970 yılları arasında yapılan gözlemlerin ortalaması alınarak bulunmuştur.
- Bu datum başlangıç alınarak I. Derece 19197 nokta ve II. Derece 6254 nokta tesis edilmiş ve yükseklikleri (kotları) bulunmuştur.
- Bu noktalar tüm ülkeyi kapsayacak şekilde 1-2 km aralıklarla atılmıştır.
- TUDKA kapsamı dışında tanımlı III. IV. ve V.derece nivelman noktalarında bulunmaktadır [7].



## Ülke Temel Ağları: Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES):

- Düşey kontrol ağının başlangıcını (Düşey datum) belirlemek için 1 veri merkezi ve 11 mareograf istasyonundan oluşan izleme ağıdır.





## Ülke Temel Ağları: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA):

- WGS84 koordinat sisteminde 1998.0 zaman noktasında (epoğunda) her noktasında enlem, boylam, elipsoid yüksekliği, ortometrik yükseklik ve jeoit yüksekliği bilinen, 15-70 km aralıklı 594 noktadan oluşan ağıdır.
- TUTGA'dan bahsetmişken ülkemizde GPS çalışmalarında kullanılan diğer ağlardan bahsetmekte fayda vardır.
- BÖHYY'inde uydu teknolojisi kullanılarak oluşturulan ve içerisinde TUTGA'yı da barındıran ağlar farklı adlarla sınıflandırılmıştır.



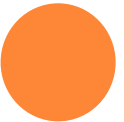
## Ülke Temel Ağları: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA):

- Global (ITRF, WGS84) ve bölgesel (ETRF) ağlar ve noktaları A derece;
- Uluslararası veya bölgesel ağlara dayalı Ulusal GPS ağı ve noktaları (TUTGA) B derece
- B derece ağın sıklaştırılması ile oluşan ağlar C derece ve türleri
- C1, C2, C3 ve C4 biçiminde sınıflandırılan alt ağlardan oluşmaktadır [5].
- ITRF ve ETRF koordinatları, WGS84 koordinat sistemi içerisinde oluşturulmuştur



## Ülke Temel Ağları: Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA-Aktif/CORS-TR)

- Sürekli Gözlem Yapan GPS İstasyonları Ağı ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi (TUSAGA-Aktif / CORS-TR) İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) yürütücülüğünde ve Harita Genel Komutanlığı (HGK) ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) müşterek müşteri olmak üzere 08 Mayıs 2006 tarihinde başlamış olup, Mayıs 2009' da tamamlanmıştır.
- Projenin öncelikli hedefleri, tüm Türkiye'de 147 (KKTC'de 4 adet dahil) sabit GPS istasyonu kurularak "Gerçek Zamanlı Kinematik" (RTK) düzeltme verileri üretmek, bu verilerle tek bir gezici alıcıyla gerçek zamanlı ve santimetre düzeyinde konum bilgisi üretmektir [6].



## Ülke Temel Ağları: Türkiye Temel Gravite Ağı (TTGA):

- Jeodezik, jeofizik ve jeodinamik çalışmalarda kullanılan yüksek doğruluklu gravite değerleri belirlenmiş 66258 noktadan oluşmaktadır. Bu noktalardan;
- 55 adeti I. Derece
- 3940 adeti II. Derece
- 62250 adeti sıklaştırma noktası
- 13 adeti mutlak gravite noktalarından oluşmaktadır [7].



## Ülke Temel Ağları: Türkiye Ulusal Manyetik Ağı

- Ülke boyutunda 50-100 km aralıklı işaretlenen ve manyetik alan parametrelerinin zaman içerisindeki değişimlerinin bilindiği bir ağıdır.
- 85 adet sürekli (seküler) nokta ve 2000 adet sıklaştırma noktasından oluşmaktadır.



## Ülke Temel Ağları: Türkiye Hibrit Jeoit Modeli-2009 (THG-09):

- Yeryüzü topografyasının harita üzerinde gerçek durumunun gösterilebilmesi, mühendislik projelerinin (karayolu, şehir planı, baraj, liman vb.) araziye applike edilebilmesi için yerin çekim alanıyla ilişkili bir yükseklik sistemine ihtiyaç duyulur.
- Böyle bir yükseklik sisteminin vazgeçilmez unsuru ise yüksek doğruluklu yer gravite alanı ve jeoit modelidir.
- Ülke için elde edilen farklı jeoit modelleri vardır.
- Son geliştirilen Türkiye Hibrid Jeoit Modeli-2009 (THG-09)
- THG-09'un iç duyarlılığı  $\pm 1.00$  cm,
- THG-09'un dış doğruluğu ise  $\pm 9.00$  cm düzeyindedir [7].



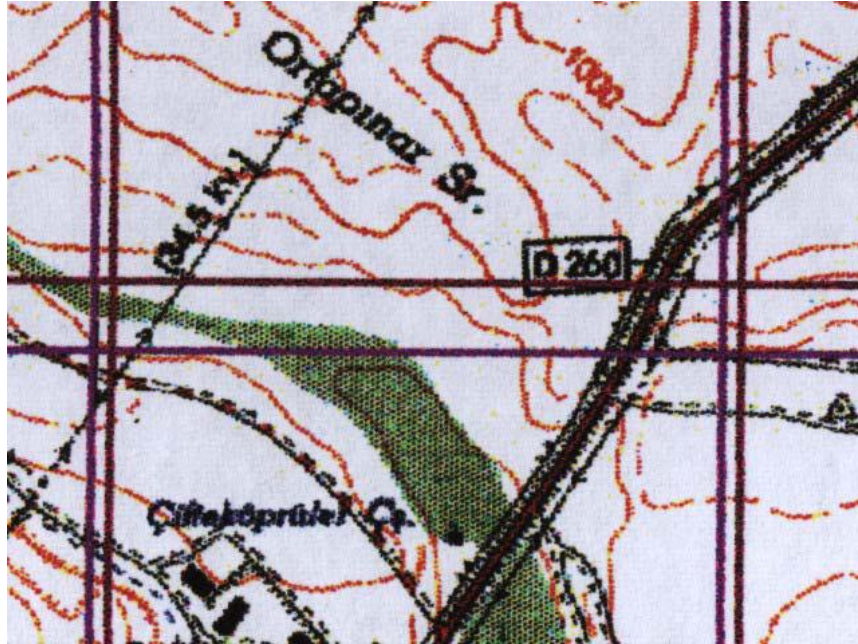
## Türkiyedeki haritacılık çalışmaları

- Türkiyede 1/25000, 1/50000 ve 1/100000 gibi küçük ölçekli topografik haritaların üretimi ve dağıtımı çalışmaları Türk Silahlı Kuvvetleri bünyesindeki Harita Genel Komutanlığının kontrolünde yürütülmektedir.
- Bu haritalar Avrupa datumu 1950'de (ED50) olup GPS teknolojisinin gelişimine bağlı olarak WGS84 datumunda da üretilmesi çalışmaları 2002 yılında başlatılmıştır.
- İki datumdaki farklılıklar nedeniyle bir noktanın farklı datumlarda farklı koordinat değerleri olacaktır.



## Türkiyedeki haritacılık çalışmaları

- Datum farklılığının pafta gridlerine yansması ise gridlerde bir miktar kayma olarak gözükmektedir (Şekil).



Farklı datumlarda pafta çizgilerinin görünümü [4]





## Türkiyedeki haritacılık çalışmaları

- Bu nedenle iki sistem arasında sağlıklı bir dönüşümün yapılması amacıyla her bir ayrı pafta için düzeltme değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1).
- Bu düzeltmeler uygulanarak bir noktanın ED50 datumundaki koordinatlarından, WGS84 datumundaki koordinatlarına geçiş mümkündür (UTM ya da elipsoidal koordinatlar) [4].
- 1/5000 ve daha büyük ölçekli haritaların üretilmesi ile ilgili kurallar BÖHYY içerisinde tanımlanmıştır [5].



# Türkiyedeki haritacılık çalışmaları

Tablo-1 : 1/250000 ölçekli Ayvalık paftası için sayısal ve basılı olarak yayımlanmış olan "Koordinat Dönüşüm Tablosu".

Pafta Adı	Pafta Orta Noktası Koordinatı (ED50)		WGS84'den ED50 Datumu'na Dönüşüm için Düzeltme Değerleri				
	ENLEM	BOYLAM	Enlem	Boylam	Yukarı Değ.	Sağa Değ.	Yükseklik
			Düz. (")	Düz. (")	Düz. (m)	Düz. (m)	Düz. (m)
AYVALIK	39 30 00	26 15 00	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17	39 45 00	26 45 00	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-a	39 52 30	26 37 30	3.6	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-a1	39 56 15	26 33 45	3.6	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-a2	39 56 15	26 41 15	3.6	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-a3	39 48 45	26 41 15	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-a4	39 48 45	26 33 45	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-b	39 52 30	26 52 30	3.6	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-b1	39 56 15	26 48 45	3.6	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-b2	39 56 15	26 56 15	3.6	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-b3	39 48 45	26 56 15	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-b4	39 48 45	26 48 45	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-c	39 37 30	26 52 30	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-c1	39 41 15	26 48 45	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-c2	39 41 15	26 56 15	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-c3	39 33 45	26 56 15	3.7	1.8	188	42	39
AYVALIK İ17-c4	39 33 45	26 48 45	3.7	1.8	188	42	39
AYVALIK İ17-d	39 37 30	26 37 30	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-d1	39 41 15	26 33 45	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-d2	39 41 15	26 41 15	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-d3	39 33 45	26 41 15	3.7	1.8	188	42	40
AYVALIK İ17-d4	39 33 45	26 33 45	3.7	1.8	188	42	40

NOT :

1. SAĞA DEĞER(WGS84) = SAĞA DEĞER(ED50) - SAĞA DEĞER DÜZELTMESİ
2. SAĞA DEĞER(ED50) = SAĞA DEĞER(WGS84) + SAĞA DEĞER DÜZELTMESİ
3. YUKARI DEĞER(WGS84) = YUKARI DEĞER(ED50) - YUKARI DEĞER DÜZELTMESİ
4. YUKARI DEĞER(ED50) = YUKARI DEĞER(WGS) + YUKARI DEĞER DÜZELTMESİ
5. YÜKSEKLİK (HARİTA) = ELİPSOİD YÜKSEKLİĞİ - YÜKSEKLİK DÜZELTMESİ



# Kaynaklar

[1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Cartesian\\_coordinate\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Cartesian_coordinate_system)

[2] <http://kartoweb.itc.nl/geometrics/References/references.html>

[3] Otto Huismann and Rolf A.De By, 2009, Principles of Geographic Information Systems, ITC Educational Textbook Series, Fourth Edition, Netherlands

[5] <http://www.hgk.msb.gov.tr/mevzuat/yonetmelikler/bohbuy.pdf>

[4] [www.hgk.msb.gov.tr/urunler/jeodezikurunler.asp](http://www.hgk.msb.gov.tr/urunler/jeodezikurunler.asp)

[6] [http://cors-tr.iku.edu.tr/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=1](http://cors-tr.iku.edu.tr/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1)

[7] [www.hgk.msb.gov.tr/urunler/jeodezikurunler.asp](http://www.hgk.msb.gov.tr/urunler/jeodezikurunler.asp)

W Heiskanen, H. Moritz. 1984; Fiziksel jeodezi, Türkçesi Onur Gürkan, Karadeniz Teknik Üniversitesi. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi. Genel yayın ; No. 19 Fakültesi yayın ; No. 8

