

ÖLÇME BİLGİSİ 2

(HRT 2331)

DOÇ.DR.ERCENK ATA

Ders Adı	Kodu	Yerel Kredi	AKTS	Ders (saat/hafta)	Uygulama (saat/hafta)	Laboratuar (saat/hafta)
Ölçme Bilgisi 2	HRT2331	3	4	3	0	0

Ders Öğrenim Çıktıları

- 1.Yükseklik sistemlerini öğrenir.
- 2.Yükseklik ölçme yöntemlerini öğrenir.
- 3.Nivelman kavramı ile nivelman geçkilerinin oluşturulması, ölçülmesi ve hesaplanmasını öğrenir.
- 4.Özel nivelman türleri ve diğer yükseklik belirleme yöntemlerini öğrenir.
- 5.Nivelman ağları ve özelliklerini öğrenir.
- 6.Sayısal yükseklik modeli ve kot-kesit uygulamalarını öğrenir.

Hafta	Konular
-------	---------

1	Yükseklik Sistemleri
2	Yükseklik Ölçme Yöntemleri
3	Yükseklik Ölçme Yöntemleri
4	Yükseklik Ölçme Yöntemleri
5	Düşey Kontrol Ağları ve Sıklaştırmaları
6	Nivelman Ağ ve Geçkilerinin Tasarımı ve Ölçülmesi
7	Nivelman Ağ ve Geçkilerinin Hesaplanması
8	Özel Nivelman Türleri ve Diğer Yükseklik Belirleme Yöntemleri
9	Ara Sınav 1
10	Özel Nivelman Türleri ve Diğer Yükseklik Belirleme Yöntemleri
11	Özel Nivelman Türleri ve Diğer Yükseklik Belirleme Yöntemleri
12	Sayısal Yükseklik Modelleri
13	Kot-Kesit Uygulamaları
14	Hacim Hesapları
15	Yıl Sonu Sınavı

YÜKSELİK SİSTEMLERİ

1. BÖLÜM

Yerin Şekli ve Büyüklüğü

KÜRE



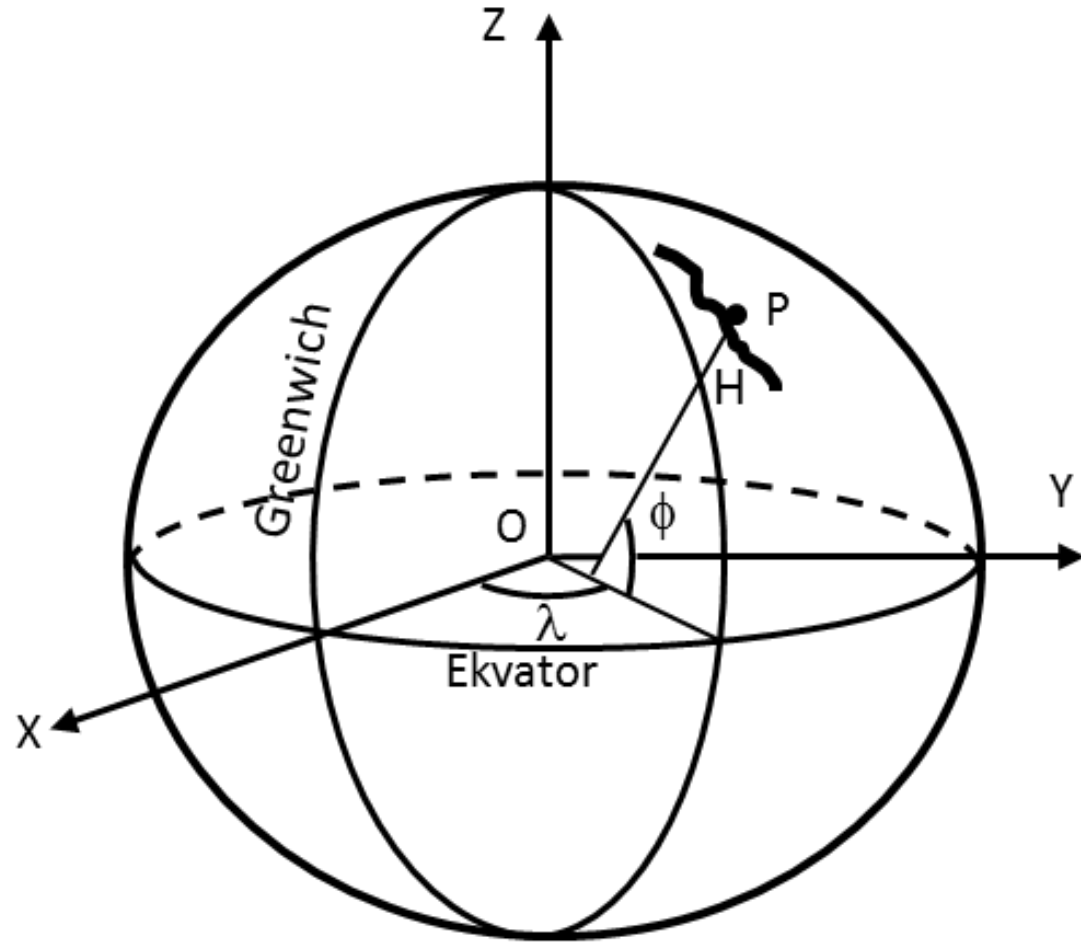
ELİPSOİD



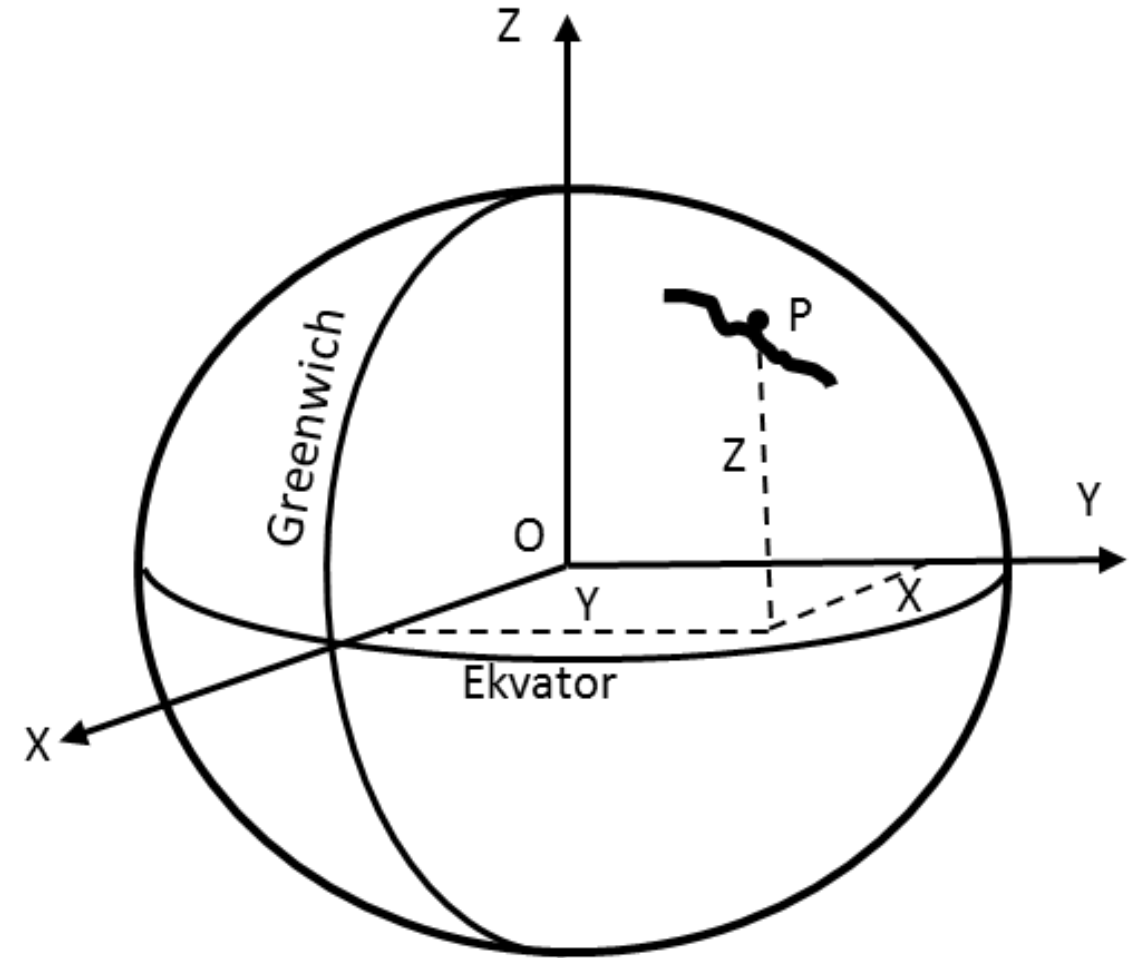
Alanın Büyüklüğü	Yatay Konum	Düsey Konum
Büyük alanlar $>5.000 \text{ km}^2$	Elipsoit	Jeoit
Orta büyüklükte $< 5.000 \text{ km}^2$	Küre	Jeoit
Bölgesel $< 50 \text{ km}^2$ veya 10 km×10 km	Düzlem	Jeoit

Elipsoit	Büyük Eksen (m)	Basıklık
Clarke 1866	6378206.4	294.9786982
Hayford	6378388.0	297.0
GRS 80	6378137.0	289.257222101
WGS84	6378137.0	298.257223563

Coğrafi Koordinat Sistemi



Kartezyen Dik Koordinat Sistemi



Yükseklik Kavramı

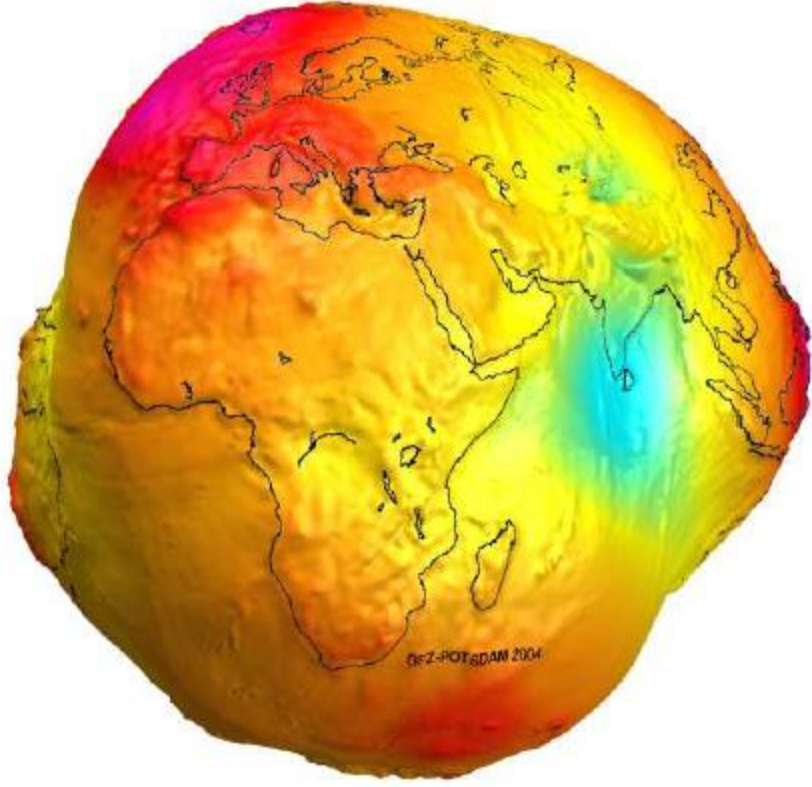
Düşey konum belirlemede de **yeryüzündeki bir noktanın yüksekliğinden**, o nokta ile başlangıç (referans) yüzeyi arasındaki fiziksel ya da geometrik ilişki anlaşılır.



Referans Yüzeyi/Düşey Datum

Düşey datum, karalarda yapılan yükseklik, denizlerde yapılan derinlik ölçülerinin dayandırıldığı **başlangıç** veya **referans** yüzeyidir.

Denizlerde akıntı, dalga, tuzluluk, sıcaklık, yoğunluk farkı, gelgit ve meteorolojik etkilerden arındırılmış durgun deniz yüzeyinin karalar içinde de devam etmesiyle oluşan **eşpotansiyelli yüzey**, **jeoit** olarak adlandırılmaktadır.



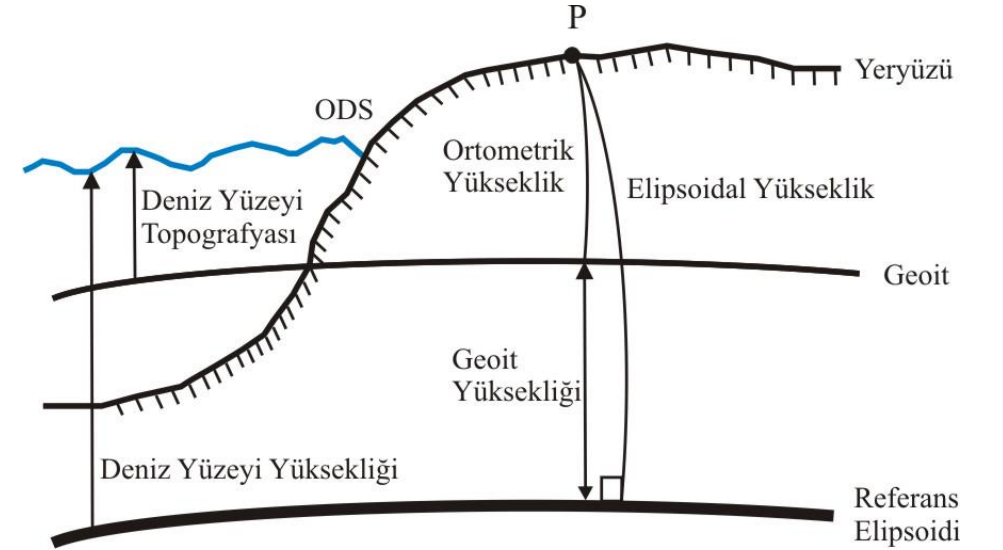
amı

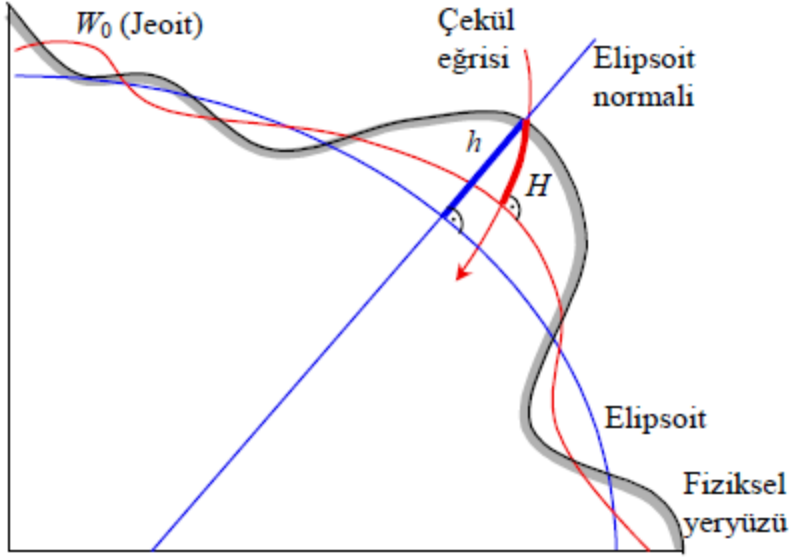
görülen **jeoit/geoit**,
ide karşılık gelen
anlamda en çok
de kullanılan başlıca

t ya da kuasijeoit ile
deniz yüzeyi de
bir başlangıç yüzeyi

olarak kullanılır.

Jeoit ile ortalama deniz seviyesinin (ODS) tam
çakışmadığını, bu değişimin 1-2 metreye kadar ulaşabildiği
görülmektedir. Jeoit ile ODS arasında oluşan bu fark **deniz
yüzeyi topografyası** (DYT) olarak adlandırılmaktadır





mı

yüksekliklerini
başlangıç yüzeyi ve bu
yüksekliği ölçmesi gerekir.
Bu ölçülen doğrultular

Şekil 1.1 Elipsoidal (h) ve ortometrik (H) yükseklik

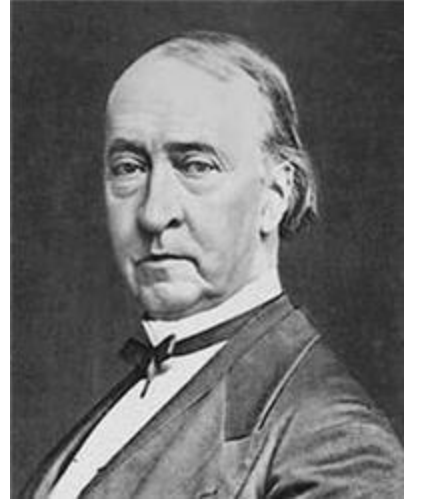
- Çekül doğrultuları her noktada denge halindeki deniz yüzeyine diktir.
- Karaların altında da devam ettiği düşünülen denge halindeki deniz yüzeyi, başlangıç yüzeyi olarak alınabilir ve bu yüzey **Jeoit** olarak adlandırılmıştır.

- Gauss-Listing jeoidi:

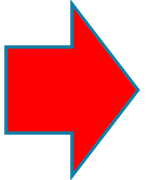
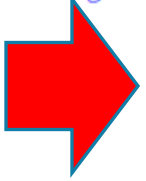
- *Gauss, "Yer yüzünün şekli dediğimiz şey, kısmen okyanus yüzü noktasında çekül doğrultularını dik açılarla keşiften başka bir şey değildir (Gauss, 1828).*

- *Doğrusu matematiksel yüzeyinin bir parçası olarak tanımladığımız okyanus yüzeyine bundan başka yer yüzünün jeoid yüzeyi ya da kısaca jeoit diyeceğiz (Listing, 1873).*

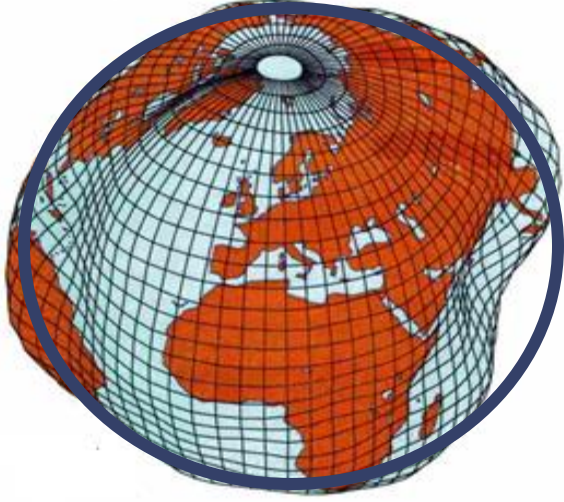
Carl Friedrich Gauss (1777-1855)



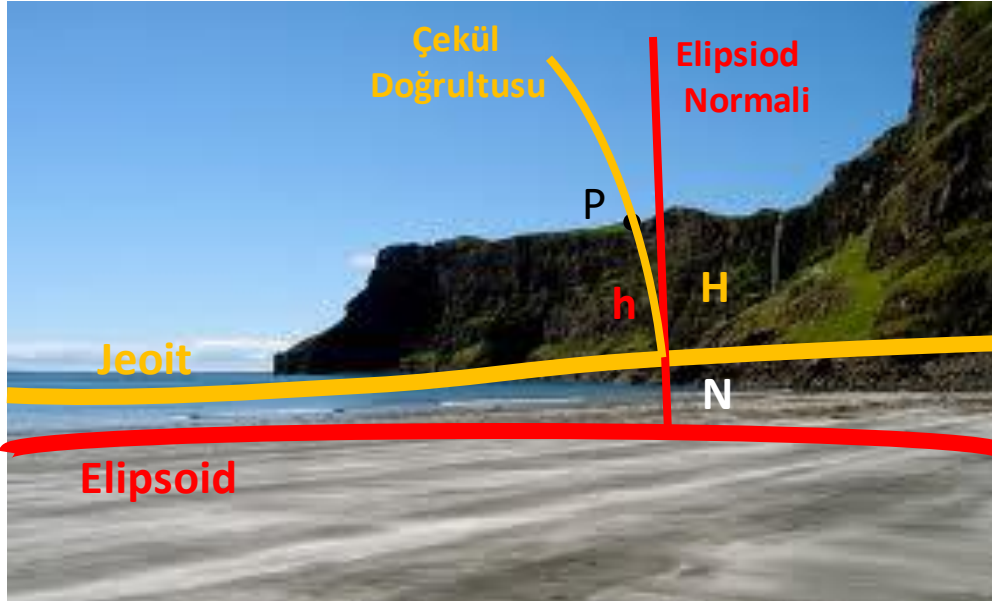
Johann Benedict Listing (1808-1882)



Yeryuvarının fiziksel şekli



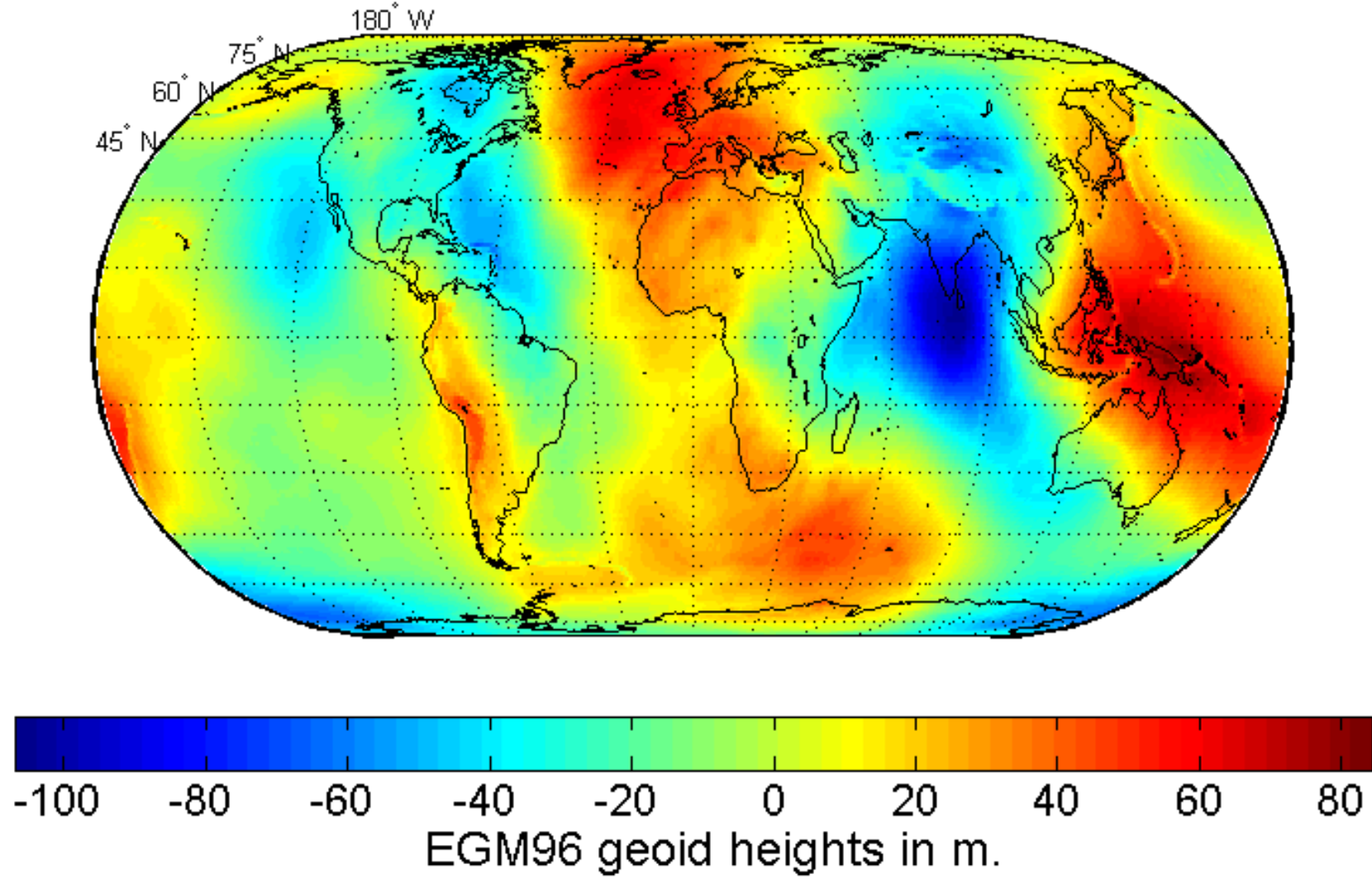
Yeryuvarının matematiksel şekli



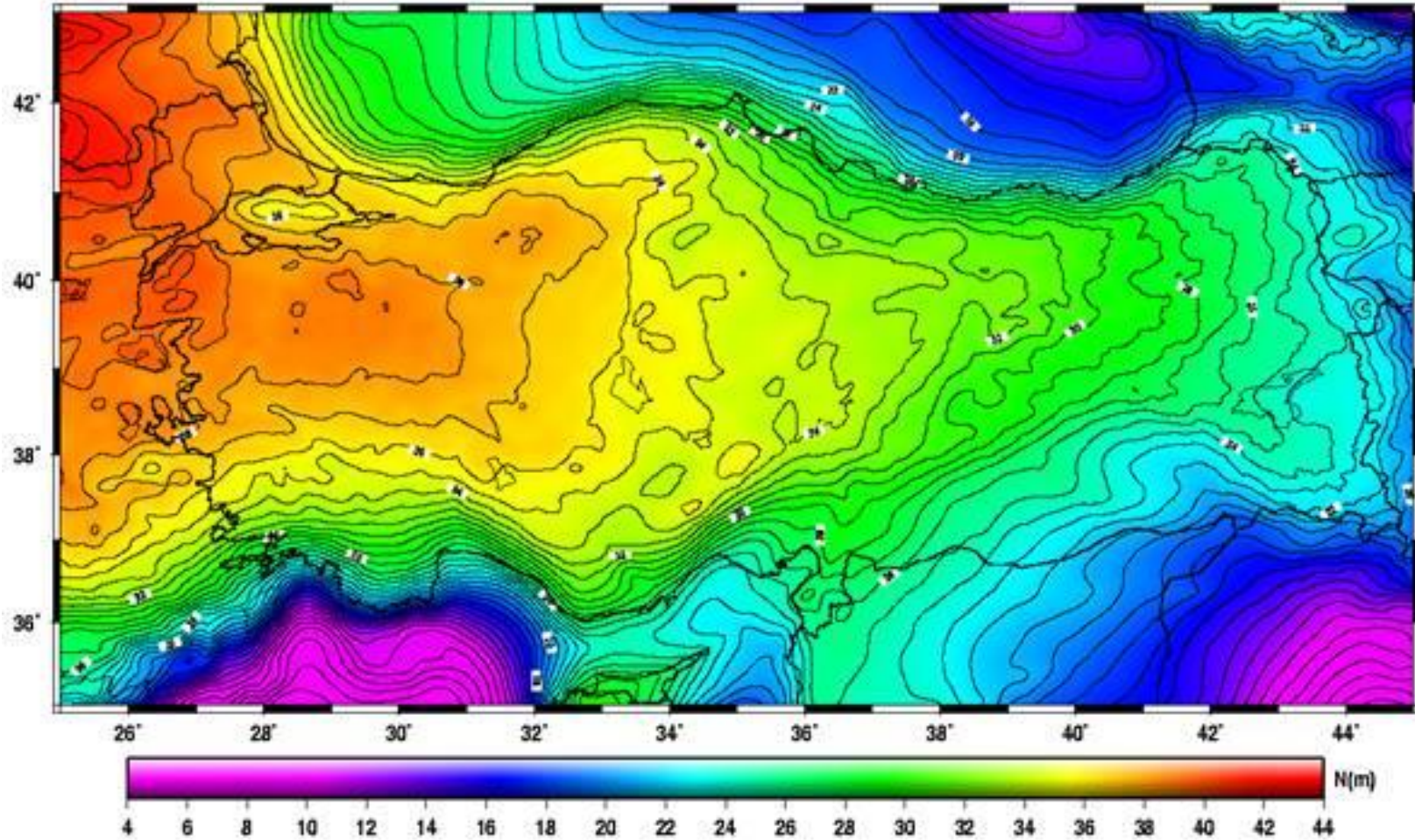
H: Ortometrik Yükseklik
h: Elipsoidal yükseklik
N: Jeoit yüksekliği

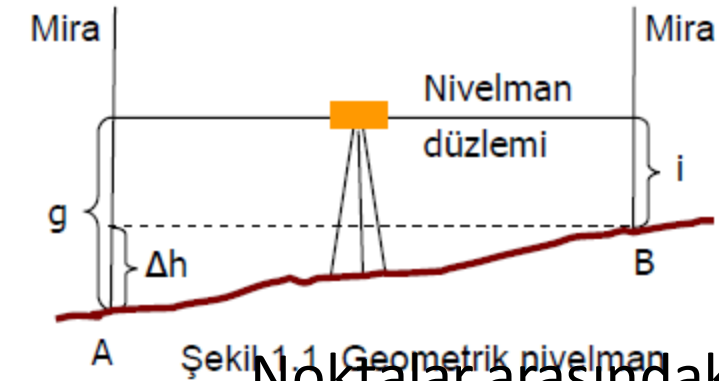
$$h = H + N$$

DÜNYA JEOİT MODELİ-1996 (EGM-96)



TÜRKİYE HİBRİD JEOİT MODELİ-2009 (THG-09)



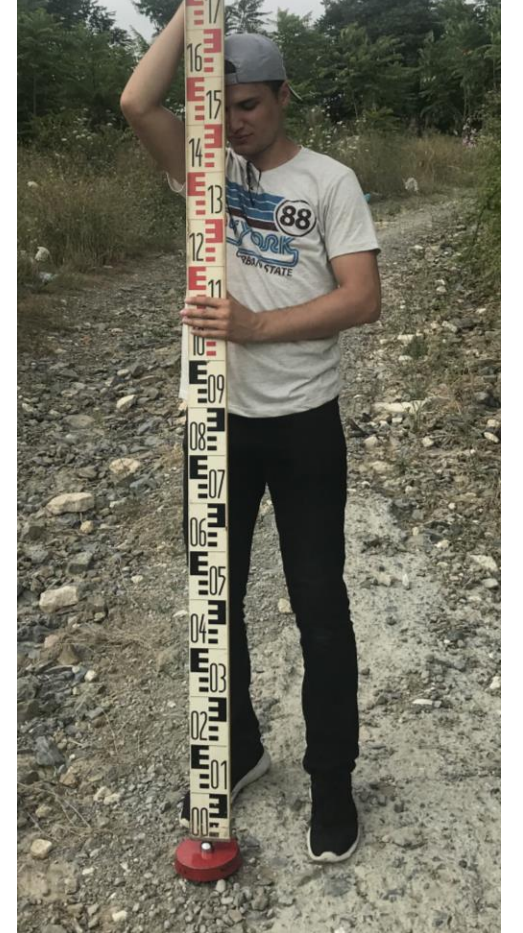


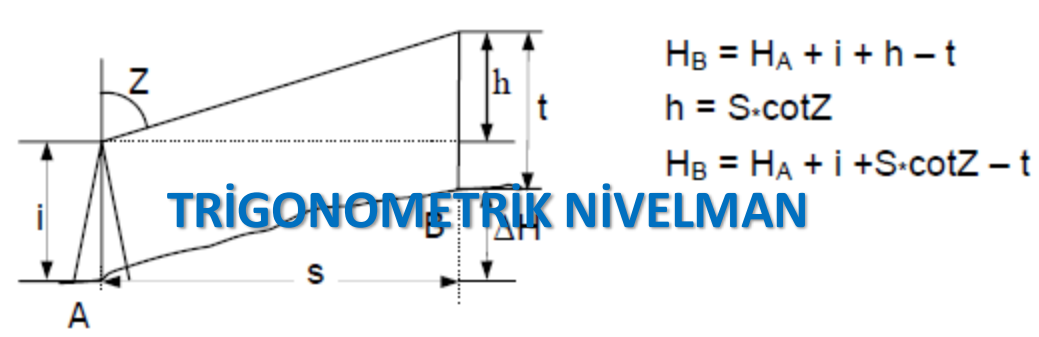
$$\Delta h = H_B - H_A = \text{geri-ileri} = g - i$$
$$\Delta h = g - i$$

Şekil 1.1 Geometrik nivelman

Noktalar arasındaki yükseklik farklarının ölçülmesi işi **Nivelman** olarak adlandırılır.

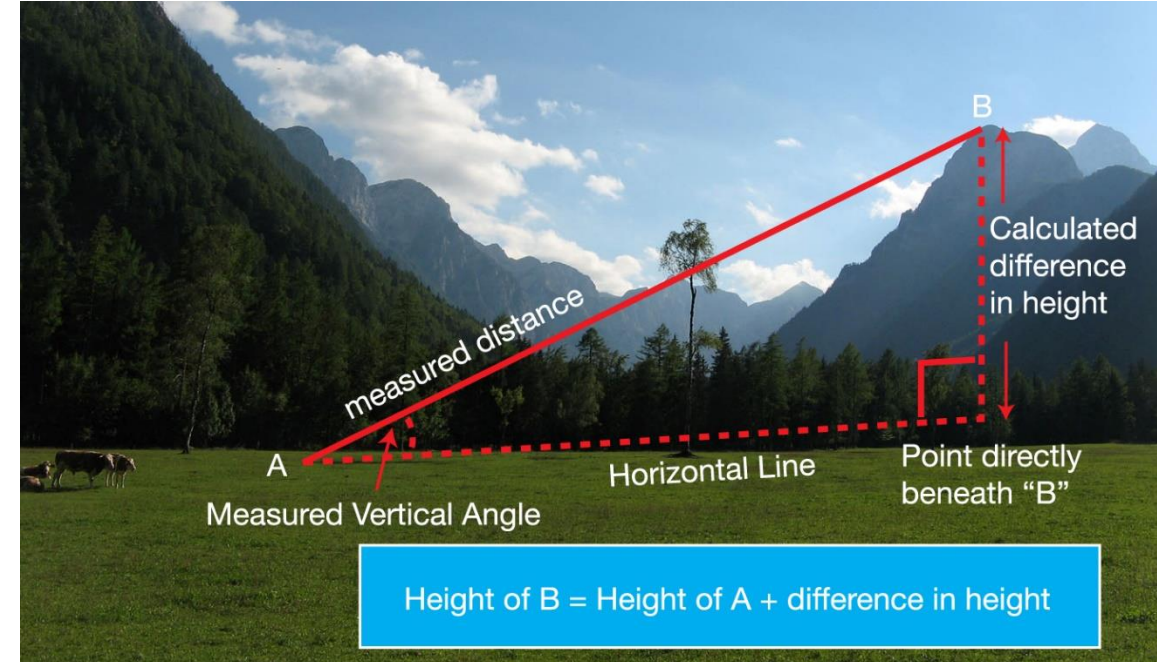
GEOMETRİK NİVELMAN





Şekil 1.2 Trigonometrik nivelman

- İki nokta arasındaki uzunluk ve düşey açı ölçümleri
- 1 km de 1cm – 10cm
- Geometrik nivelmanın uygulanamadığı dağlık bölgelerde
- Doğruluğun yeterli olduğu mühendislik projelerinde



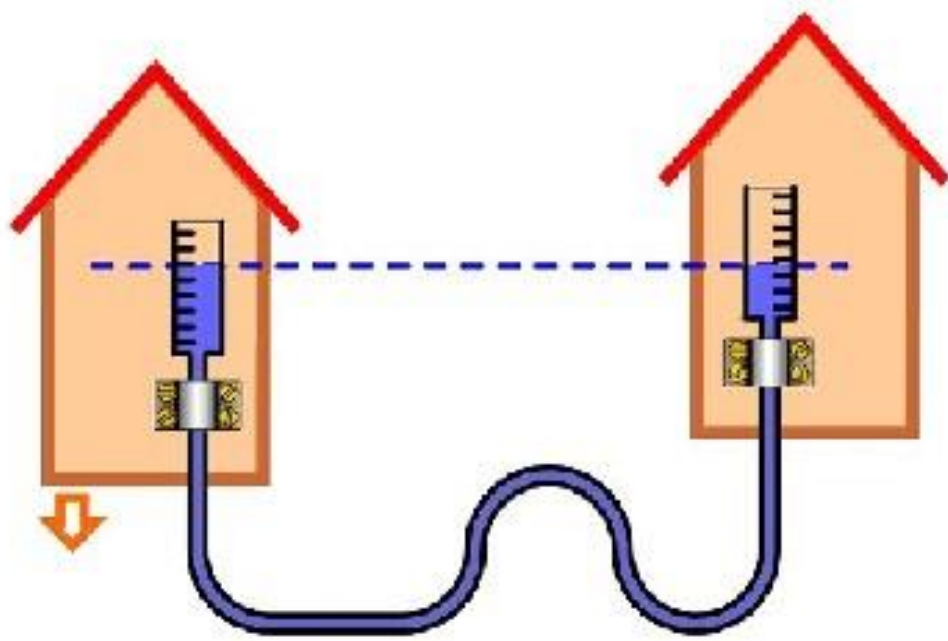
BAROMETRİK NİVELMAN



- Doğruluk 1m – 2m
- İstikşaf amaçlı kullanılabilir.

Hava basıncı deniz seviyesinden yukarılara doğru çıkıldıkça düşmektedir.
Hava basıncı ölçülerek barometrik yükseklik elde edilebilir.

HİDROSTATİK NİVELMAN



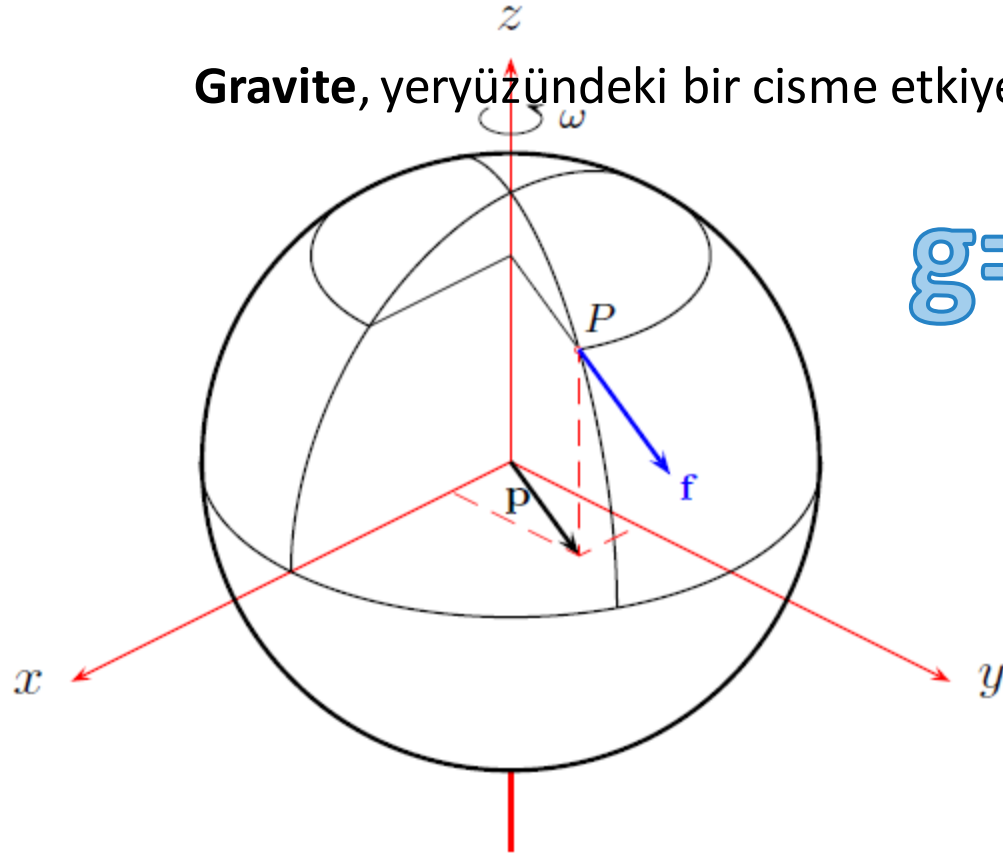
- Noktalar arasındaki yükseklik farkı 0.01mm doğruluk ile belirlenebilir.
- Yüksek doğruluk gerektiren makine uygulamalarında
- Kapalı bölgelerde düşey deformasyonların belirlenmesinde

Fizikteki **birleşik kaplar** ilkesinden yararlanılarak geliştirilen hortumlu su düzenci denilen aletlerle, noktalar arasındaki yükseklik farkları belirlenebilir.

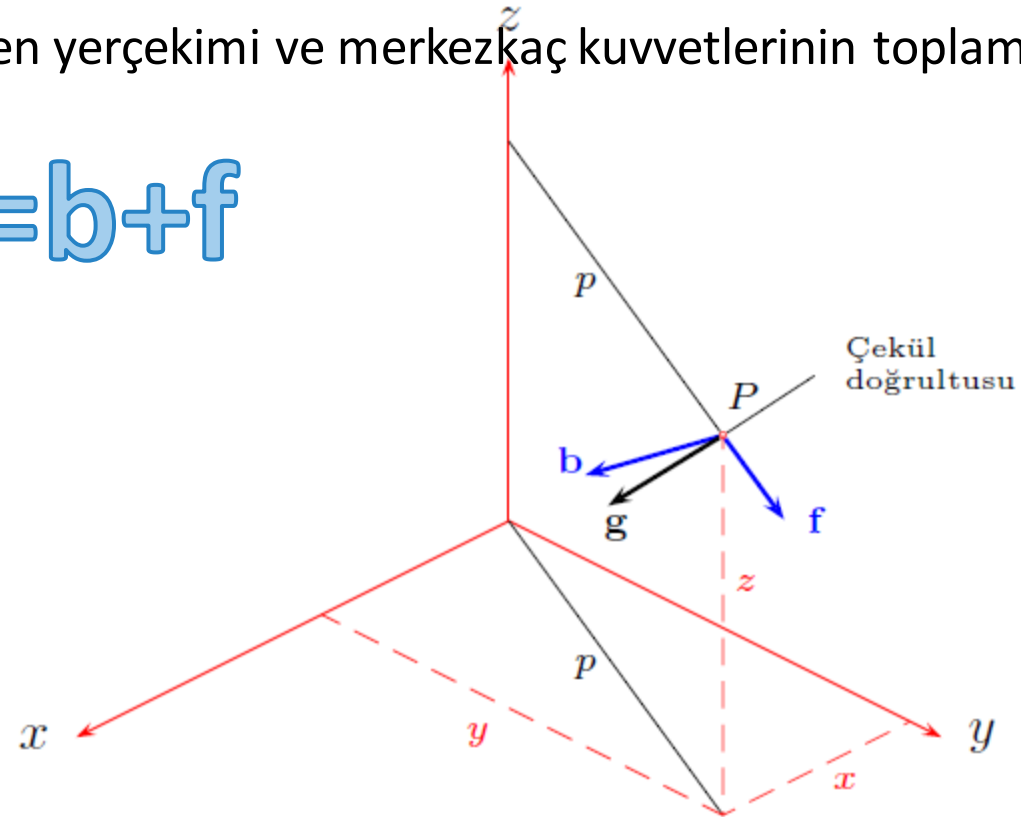
Gravite: Yeryüzündeki bir cisme etkiyen yerçekimi ve merkezkaç kuvvetlerinin toplamı

$$\mathbf{g} = \mathbf{b} + \mathbf{f} \quad (55)$$

Gravite, yeryüzündeki bir cisme etkiyen yerçekimi ve merkezkaç kuvvetlerinin toplamı olarak tanımlanır.



$$\mathbf{g} = \mathbf{b} + \mathbf{f}$$



Yükseklik Sistemleri

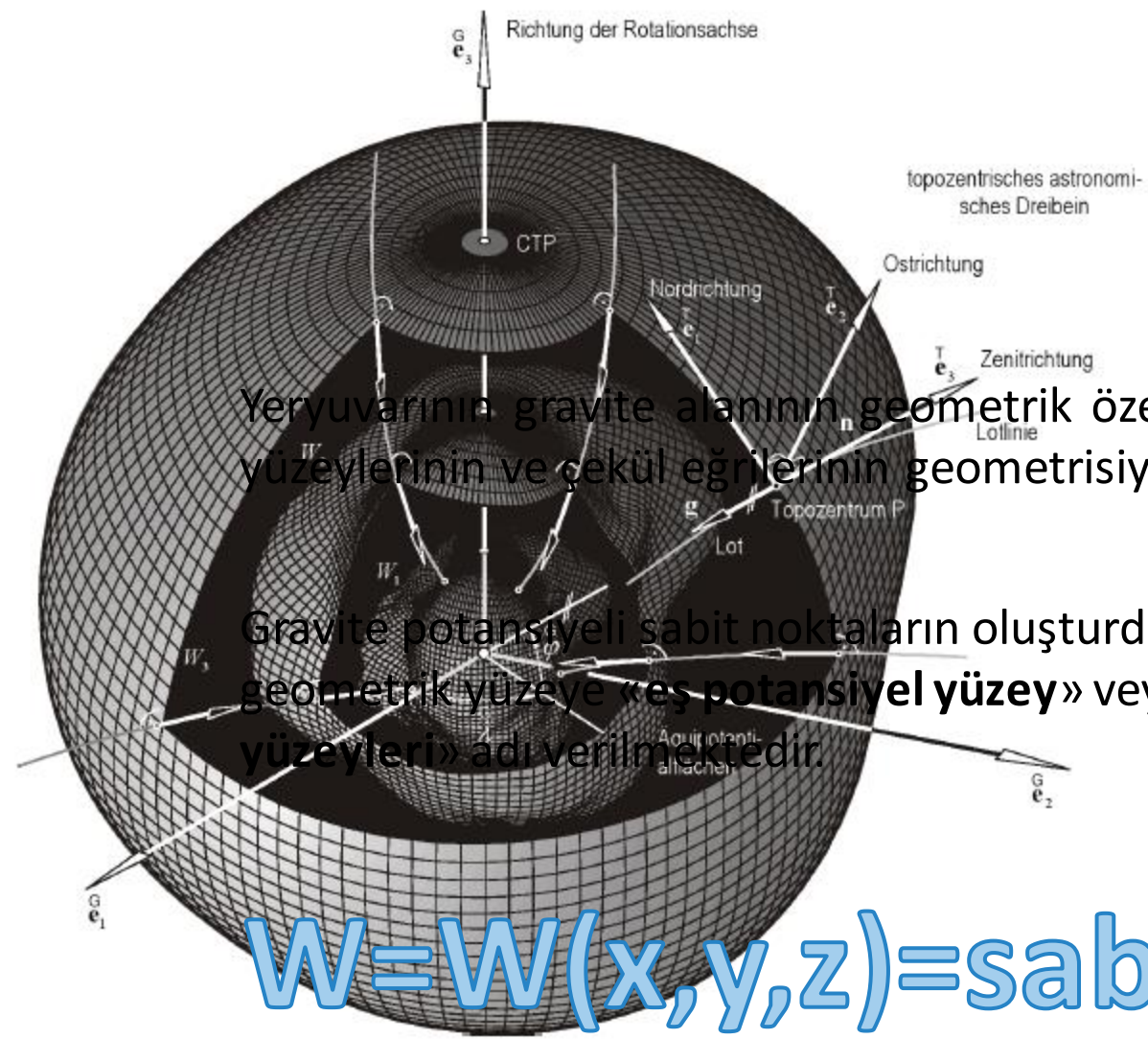
Gravite vektörünün büyüklüğüne «**gravite**», doğrultusuna ise «**çekül doğrultusu**» denir.

Gravitenin birimi «**ivme**» birimidir ve adını Galileo Galilei'den aldığı için «**gal**» ile ifade edilir.

Gravitenin konuma bağlı değişmesinin en önemli nedeni yeryuvarının basıklığıdır.
Ekvator'da: 978 gal, kutuplarda 983 gal'dır.

Yeryüzünde gravite değerleri «**gravimetre**» adı verilen aletler ile gözlenir.



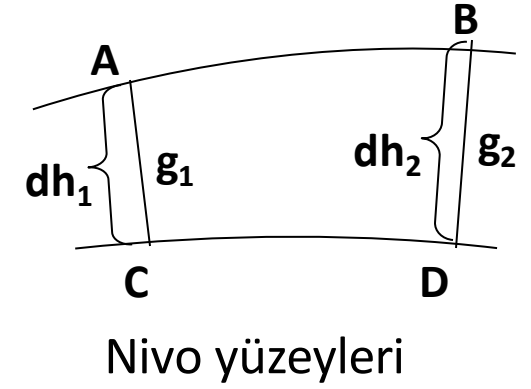


Yeryuvarının gravite alanının geometrik özellikleri, nivo yüzeylerinin ve çekül eğrilerinin geometrisiyle açıklanır.

Gravite potansiyeli sabit noktaların oluşturduğu geometrik yüzeye «**eş potansiyel yüzey**» veya «**nivo yüzeyleri**» adı verilmektedir.

$$W=W(x,y,z)=\text{sabit}$$

Üstün, 2006



Başka bir deyişle, bir **m** kütleinin üzerinde taşınmasıyla hiçbir iş yapılmayan yüzey sıfır yükselteli bir yüzeydir.

Bu şekilde sonsuz sayıda yüzey bulunabilir ve bunlara **nivo yüzeyi** denir.

m kütlei, bir nivo yüzeyinden başka bir nivo yüzeyine taşınırsa, hangi yoldan gidilirse gidilsin aynı iş yapılır.

Yeryüzünde yerçekimi ivmesi sabit olmayıp, coğrafi enlem ve yüksekliğe bağlıdır. Bir nivo yüzeyinin değişik noktalarında yerçekimi ivmeleri farklı yani $g_1 \neq g_2$ olduğundan $dh_1 \neq dh_2$ olur. Bu da bize, **iki nivo yüzeyinin birbirine paralel olmadıklarını gösterir.**

Yükseklik Sistemleri

Yükseklik denildiğinde, yeryüzü üzerindeki bir noktanın bir başlangıç yüzeyi ile olan ilişkisi anlaşılır. Bu ilişki geometrik veya fiziksel esaslara göre kurulabilir.

- Jeopotansiyel Yükseklik
- Dinamik Yükseklik
- Ortometrik Yükseklik
- Normal Yükseklik
- Normal-Ortometrik Yükseklik

Yükseklik Sistemleri

Uygulamada gravite alanı ile ilişkili yükseklik türlerinin geometrik (elipsoidal) yüksekliklere tercih edilmesinin nedeni, fiziksel yasalardır.

Başka bir deyişle, su her zaman aşağıya doğru akar; durgun su yüzeyi eşpotansiyel yüzeyin bir parçasıdır.



$$C_P = W_0 - W_P = \int_0^P dW = \int_0^P g dH \approx \sum_0^P g \Delta H$$



$$C = (W - W_0) ; H^{\text{din}} = C / \gamma_0$$

insiyeli ile jeoidin
otansiyel farka, o

$$W = W_0$$

Jeoid

$$C = C_0 = 0 ; H^{\text{din}} = 0$$

Jeopotansiyel yükseklikler, 1kGal e bölünürse
metre biriminde yükseklik değeri elde edilir.
Geopotansiyel yükseklikleri metre biriminde
düşünmek onların fiziksel niteliğini değiştirmez.

Jeopotansiyel Yükseklik

P noktasının jeopotansiyel yüksekliği; P_0 dan P 'ye olan geçki üzerinde belirli aralıklı noktalar arasındaki jeopotansiyel yükseklik farkları (ΔC_i) nın toplamıyla elde edilir.

$$C_P = \sum_{i=1}^K \Delta C_i \quad , \quad \Delta C_i = \bar{g}_i \cdot dh_i$$

dh_i iki nokta arasındaki geometrik nivelman ile bulunan yükseklik farkı, söz konusu iki yeryüzü noktası arasındaki ortalama gerçek gravitedir. Noktaların jeopotansiyel yükseklikleri belirlendikten sonra istenen yükseklik sisteminde nokta yükseklikleri belirlenebilir. Ayrıca geometrik nivelman ölçülerine uygun düzeltmeler (ortometrik düzeltme, normal düzeltme, dinamik düzeltme) getirilerek; düzeltmeye karşılık gelen yükseklik sisteminde noktalar arasındaki yükseklik farkları doğrudan da elde edilebilir.

Dinamik Yükseklik

Jeopotansiyel yükseklik C , sabit bir gravite değerine bölünmesiyle **Dinamik Yükseklik** elde edilir. Sabit gravite değeri için genellikle 45° enlemindeki normal gravite değeri kullanılır. (GRS80 için $\gamma_0=980.6199203$ gal)

$$H^D = \frac{C}{\gamma_0}$$

A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkı,

$$\Delta H = \frac{1}{\gamma_0} (C_B - C_A) = \frac{1}{\gamma_0} \int_A^B g \cdot dh = \frac{1}{\gamma_0} \int_A^B (g - \gamma_0 + \gamma_0) dh = \int_A^B dh + \int_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh$$

Nivelman yüksekliklerinden dinamik yüksekliklere geçiş için dinamik düzeltme gereklidir.

$$v_D = \int_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh \approx \sum_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh$$

Dinamik Yükseklik

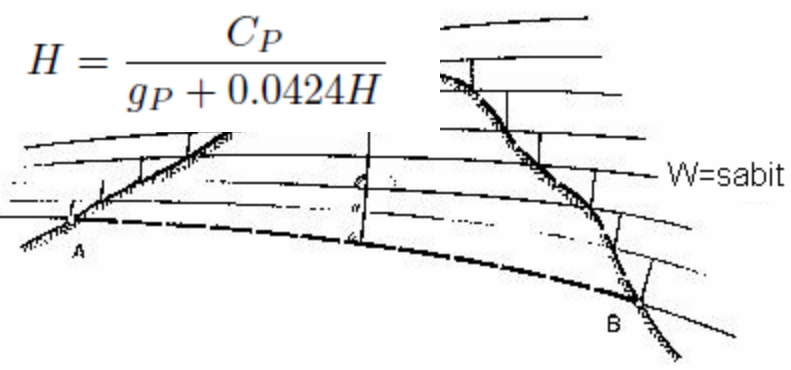
Aynı nivo yüzeyi üzerindeki noktaların dinamik yükseklikleri eşittir. Fiziksel boyutu olan geopotansiyel yükseklikler sabit bir sayı ile bölünerek metrik boyutu olan dinamik yükseklikler elde edilir. Dinamik yüksekliklerin herhangi bir geometrik anlamı yoktur.

Geometrik nivelman ölçülerine dinamik düzeltme getirilerek dinamik yükseklik farkları elde edilebilir. Ağırlık ivmesi, ekvatordan kutuplara doğru 5 gal büyüklüğünde bir değişmeye uğradığından, yükseklik düzeltmeleri de büyük olabilir. Örneğin, ekvatorda 2000 metrelik yükseklik için,

$$\frac{\gamma_E - \gamma_0^{45}}{\gamma_0^{45}} \cdot 2000 \text{ m} = \frac{978.049 - 980.6294}{980.6294} \cdot 2000 \text{ m} = \frac{-2.5804}{980.6294} \cdot 2000 \text{ m} = -5.26 \text{ m}$$

olur. Dinamik yükseklik düzeltmesi özellikle **dağlık bölgelerde** büyük değerlere ulaştığından, bu yükseklik sistemi uygulama açısından uygun değildir.

$$\gamma_0^0 = 978.049 \text{ gal} \quad \gamma_0^{90} = 983.2213 \text{ gal}$$



Yükseklik

Ortometrik yükseklik, yeryüzündeki bir noktanın çekül eğrisi boyunca jeoide olan uzaklığıdır.

Ortama gravite değeri

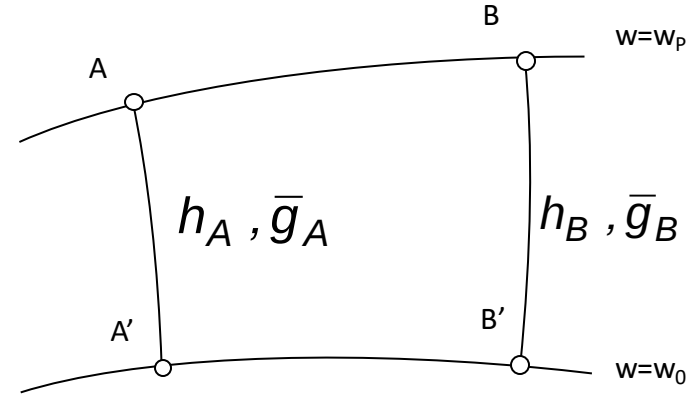
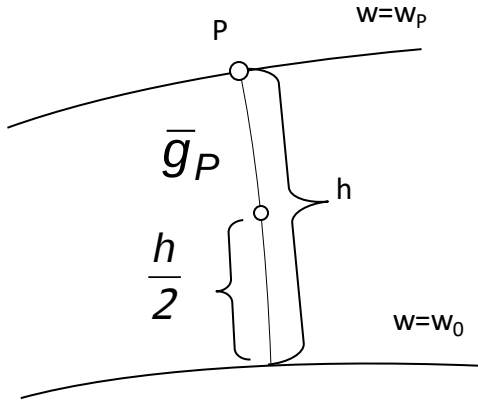
Helmert ortometrik yüksekliği

- P noktasından geçen çekül eğrisi boyunca ölçülür. Eğrinin jeoidi (W_0) kestiği noktanın yüksekliği sıfırdır.
- İdeal koşullarda yükseklik farklarının ve gravite ölçülerinin bu eğri boyunca yapılması gerekir.
- P noktasının çekül eğrisi boyunca ortalama g değeri bilinmelidir.



Ortometrik Düzeltme

Ortometrik yükseklikler, geometrik nivelmanla bulunan yükseklik farklarına, bir düzeltme getirilerek bulunur. Deniz seviyesinden oldukça yüksek olan bölgelerde, kuzey-güney doğrultusunda bu düzeltmeler hissedilir derecede büyük değerlere ulaşabilir. Uygulamada ortometrik düzeltmelerin toplam nivelman boyu yerine, iki röper noktası arasındaki her parça için uygulanması uygundur.



Ortometrik düzeltme

Ortometrik Düzeltme

Şekildeki A ve B noktaları arasında yapılan geometrik nivelman sonucunda elde edilen $\sum \Delta h$ toplamına getirilecek düzeltmeyi hesaplamak için $\oint dh = 0$ eşitliğinden yararlanılır. Böylece,

$$\int_A^{A'} g \cdot dh + \int_{A'}^{B'} g \cdot dh + \int_{B'}^B g \cdot dh + \int_B^A g \cdot dh = 0$$

denklemini elde edilir.

Aynı yükselti yüzeyi üzerinde, $\int_{A'}^{B'} g \cdot dh = 0$ olduğundan,

$$-\int_{A'}^A \frac{g - \gamma_0 + \gamma_0}{\gamma_0} dh + \int_{B'}^B \frac{g - \gamma_0 + \gamma_0}{\gamma_0} dh - \int_A^B \frac{g - \gamma_0 + \gamma_0}{\gamma_0} dh = 0$$

$$-\int_{A'}^A \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh - H_A + \int_{B'}^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh + H_B - \int_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh - \sum_A \Delta h = 0 \quad H_B = H_A + \sum_A \Delta h + \sum_A \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh + \frac{\bar{g}_A - \gamma_0}{\gamma_0} H_A - \frac{\bar{g}_B - \gamma_0}{\gamma_0} H_B$$

Ortometrik Düzeltme

$$v_D = \sum_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dh + \frac{\bar{g}_A - \gamma_0}{\gamma_0} H_A - \frac{\bar{g}_B - \gamma_0}{\gamma_0} H_B$$

düzeltilmesi elde edilir. Düzeltme miktarını hesaplayabilmek için önce, çekül eğrisi boyunca A noktasındaki $\bar{g}_A$ ve B noktasındaki $\bar{g}_B$ ortalama ağırlık ivmesi, örneğin Helmert'e göre hesaplanır.

Normal Yükseklik

Yeryüzünün gerçek gravite alanının normal gravite alanı olduğu, yani $W=U$, $g=\gamma$, $T=0$ olduğu kabul edilsin. İşte bu varsayıma karşılık gelen ortometrik yüksekliklere *normal yükseklik* adı verilir ve $H^N = \frac{C}{\bar{\gamma}}$ eşitliği ile ifade edilir. çekül eğrisi boyunca olan ortalama gravitedir ve iteratif olarak aşağıdaki eşitlikten çözülür.

$$\bar{\gamma} = \gamma \cdot \left[1 - (1 + f + m - 2 \cdot f \cdot \sin^2 \varphi) \cdot \frac{H^N}{a} + \left(\frac{H^N}{a} \right)^2 \right]$$

$$m = \frac{\omega^2 \cdot a \cdot b}{kM}$$

Burada γ , aynı φ enleminde elipsoit üzerindeki normal gravite, φ jeodezik enlem, f basıklık, ω Yerin açısal dönme hızı, a ve b elipsoidin büyük ve küçük yarı eksenleri, kM Newton çekim sabiti ile yerin kütlesinin çarpımıdır.

Normal Yükseklik

Elipsoit üzerinde ζ yükseklik anomalileri de çizilebilir. Bu yolla okyanuslar üzerinde geoitle özdeş olan bir yüzey elde edilir. Çünkü orada $\zeta = N$ olup diğer taraflarda da geoide çok yakındır. Bu yüzeye Molodenski tarafından **kuazigeoit** denilmiştir. **Normal yüksekliklerin** başlangıç yüzeyi, okyanuslarda geoit ile çakışan, karalarda farklılık gösteren **kuazigeoit**dir. Kuazigeoitte geoidin dış yüzeyindeki kütle ve bunun yerçekimi ivmesi üzerindeki etkisi dikkate alınmaz. Bununla beraber **kuazigeoit bir nivo yüzeyi değildir ve hiçbir fiziksel anlamı da yoktur.** Bu, geoide benzer bir yüzeye çağrışım yaptırır.

Başlangıç elipsoidi ile kuazigeoit arasındaki uzaklık, **yükseklik anomalisi (kuazigeoit yüksekliği)** $\zeta = h - H_N$ olarak tanımlanır. Yüksek dağlık yerlerde kuazigeoit ile geoit arasındaki fark (uzaklık) yaklaşık 2 m yi bulabilir.

Normal Yükseklik

Elipsoitten H^N yüksekliğinde olan noktalar, **tellüroit** adı verilen yeryüzünün bir modelini oluştururlar. P noktasının gerçek çekül eğrisi boyunca geoide olan uzaklığı **ortometrik yükseklik**, normal çekül eğrisi boyunca kuazigeoide olan uzaklığı ise **normal yüksekliktir**. Ortometrik yükseklikler yer yoğunluğu ile ilgili bazı varsayımlara dayanmasına karşın, normal yükseklikler için herhangi bir varsayım söz konusu değildir.

Dinamik ve ortometrik düzeltmeler gibi, ölçülen yükseklik farkları için de bir normal düzeltme v_N vardır. yerine g ve H yerine H^N konarak **normal yükseklik düzeltmesi** elde edilir.

$$v_N = \sum_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} + \frac{\bar{\gamma}_A - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot H_A^N - \frac{\bar{\gamma}_B - \gamma_0}{\gamma_0} \cdot H_B^N$$

$$\Delta H_{AB}^N = H_B^N - H_A^N = \Delta h_{AB} + v_N$$

Normal Ortometrik Yükseklik

Gerçek gravite değerinin bilinmediği durumlarda yerine ortalama normal gravite alınarak $\Delta C_i'$ normal geopotansiyel yükseklik farkı elde edilmekte ve böylece normal geopotansiyel yükseklik (C_p') hesaplanmaktadır.

$$C_p' = \sum_{i=1}^K \Delta C_i' \quad , \quad \Delta C_i' = \bar{\gamma}_i \cdot dh_i$$

Normal geopotansiyel yükseklikten **normal ortometrik yükseklikler**,

$$H^{NO} = \frac{C_p'}{G} \quad , \quad G = \gamma - 0.3086 \cdot \left(\frac{H^{NO}}{2} \right)$$

eşitlikleriyle elde edilmektedir. Normal geopotansiyel yükseklikler, gerçek gravite alanına dayanmadığı için tam diferansiyel ve tek anlamlı değildir. Bunun anlamı, bir halkayı (lupu) oluşturan normal geopotansiyel yükseklik farklarının toplamı teorik olarak sıfır olmaz. Bu da bir yükseklik sisteminden beklenen temel özellikleri yansıtmamaktadır.

Normal Ortometrik Yükseklik

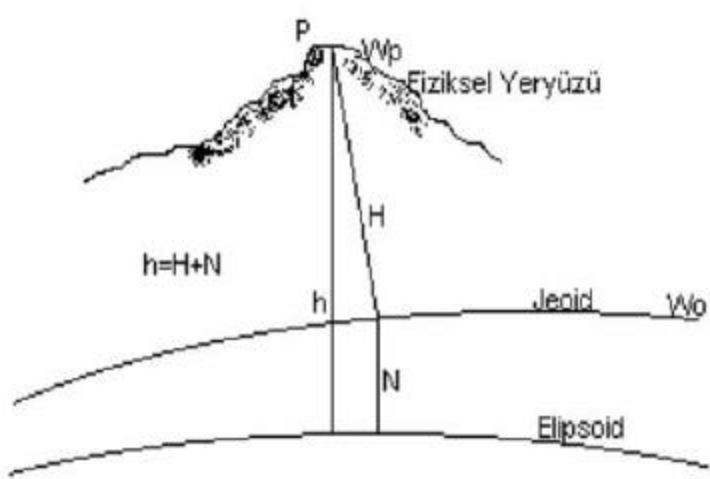
Ölçülen geometrik yükseklik farklarına normal graviteden yararlanla normal ortometrik düzeltme getirilerek normal ortometrik yükseklik farkları elde edilebilmektedir. Normal ortometrik düzeltme (v_{NO});

$$v_{NO} = 2\bar{H}^{NO} \cdot \alpha \cdot \sin 2\bar{\varphi} \left[1 + \left(\alpha \cdot \frac{2\beta}{\alpha} \right) \cdot \cos 2\bar{\varphi} \right] \Delta\varphi$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada $\bar{H}^{NO}$ ortalama yükseklik α ve β bilinen katsayılar, iki düşey kontrol noktasının ortalama enlemi, $\Delta\varphi$ ise aralarındaki enlem farkıdır.

Türkiye'de mevcut yükseklikler Normal Ortometrik Yükseklik Sistemi'nde olup ölçülen yükseklik farkları; yukarıdaki eşitlikte $\alpha=0.002644$ ve $\beta=0.000007$ (Hayford Elipsoidi) alınarak hesaplanan normal ortometrik düzeltme ile normal ortometrik yükseklik farklarına dönüştürülmüştür.



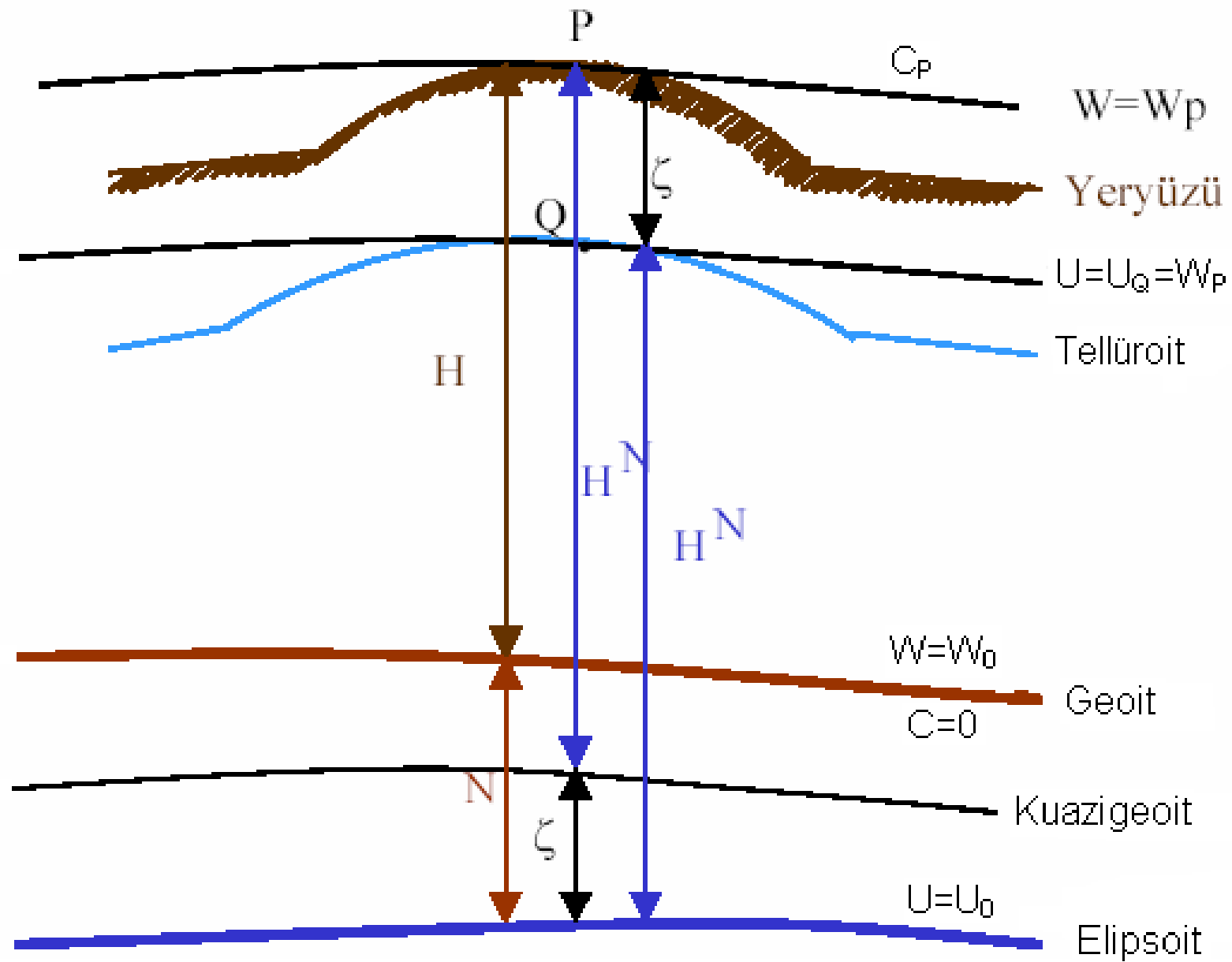


Yükseklik

- Uygulamada geometrik nivelman ve gravite ölçülerine dayalı olarak hesaplanan ortometrik yükseklikler kullanılır.
- GPS ölçüleri ile, başlangıç olarak seçilen elipsoide göre h elipsoidal yükseklikleri belirlenir.
- Ortometrik yükseklik ile elipsoidal yükseklik arasında;

$$h=H+N$$

- Elipsoidal yükseklikler yerim çekim alanında bağımsızdır.
- GPS ile elde edilen yüksekliklerin uygulamada kullanılabilmesi için N jeoit yüksekliklerine gereksinim vardır.
- GPS gözlemlerinde türetilen ortometrik yükseklik doğruluğu N jeoit yüksekliği doğruluğuna bağlıdır.



NİVELMAN AĞLARI

2. BÖLÜM