

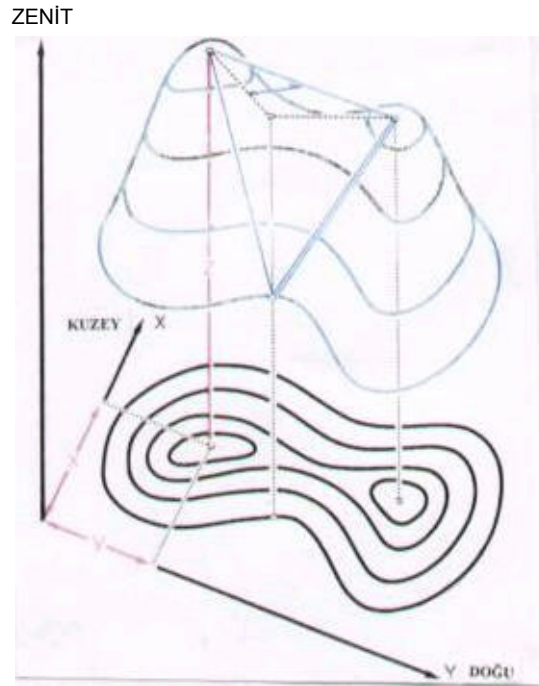
DÜNYA KESİNLİKLE YUVARLAK DEĞİLDİR (JEODEZİNİN BİR ÖDEVİ DE DÜNYANIN ÇEKİNİ BELİRLEMEDİR)

Rudolf SIGL*

Veli AKARSU

İnsanlığın tüm yaşamını sürdürdüğü dünyayı tanıma arzusu varoluşundan beri vardır. Jeodezi, insanların varolduğu bütün alanlar ile yakın ilişkide olmasına karşın, Jeodezicilerin çalışmaları ve dünyanın şekli az tanınmaktadır. Jeodezinin bilinen bu açıklığını gidermek amacıyla Mart 1993'de Alman Müzesi. Jeodezi, Ölçme ve Harita sergisinin açılışında, Prof. Rudolf Sigl'in verdiği konferans bu makalenin içeriğini oluşturmaktadır.

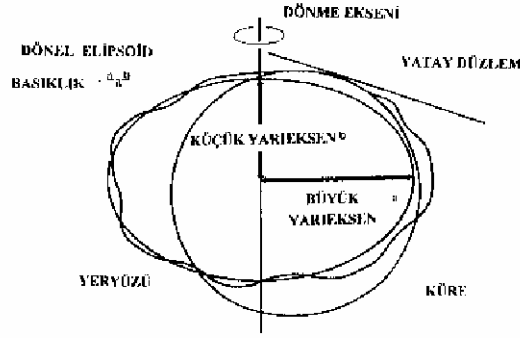
Bütün jeodezik çalışmaların somut sonucu farklı ölçekteki topografik haritalardır. Haritalar modern bir toplumda yaşanan mekanın kullanımı ve planlanması için gerekmektedir. Harita, kısaca yeryüzünün gerçek bir parçasının düzgün geometrik bir yüzey üzerinde gösterilmesidir. Bu tanımla jeodezinin amacı anlatılmaktadır. Sözcüğün etimolojik anlamı arazi Ölçme ve sınır belirleme demektir. Jeodezinin diğer ödevi, tümde ve detayda yerin şeklini belirlemektir. Üzerinde yaşadığımız yeryüzünün jeodezide özel anlamı vardır (Şekil 1).



Şekil 1: Küçük bir bölgenin kartografik çizimi için referans yüzeyi yatay bir düzlemdir. Yer eğriliğinin burada önemi yoktur. Eş potansiyel farkları yükseklik eğrileriyle gösterilir.

* Bavyera Bilimler Akademisi Matematik ve Doğa Bilimi Bölümü daimi üyesi em.o.Prof.Dr.E.h.Rudolf SIGL'in Kültür & Teknik Dergisinin 1/1994 sayısında yayımlanan Almanca makalesinden, çeviri iznini alan Yük.Müh.Veli AKARSU tarafından Türkçeye çevrilmiştir

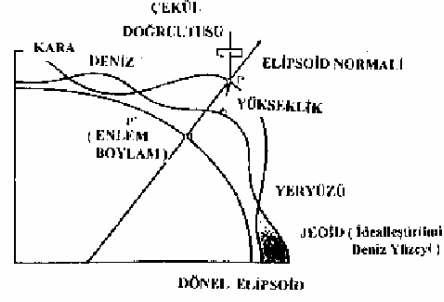
1880 Yılında **Friedrich Robert Helmert** (1843-1917)'in bugün de geçerli olan tanımına göre, jeodezi yeryüzünün ölçümü ve şeklinin belirlenmesi ile uğraşan bir bilim dalıdır. Bu nasıl başarılır? Örneğin; Münih şehir alanının küçük bir bölgesi referans yüzeyi olarak yatay bir düzlem üzerine izdüşürülebilir. Eğer caddeler, binalar ya da işaretli arazi noktaları gibi önemli objeler ölçülür ve bu objelerin X,Y,Z uzay dik koordinatları hesaplanıp, referans yüzeyi üzerine dik açılı projeksiyonu yapılırsa, gerçeğinin düzlem şekli olan harita elde edilir. X,Y koordinatları objenin konumunu, Z koordinatı da objenin yüksekliğini tanımlar. Projeksiyonda arazi yükseklikleri alışılmış tarzda eş yükseklik eğrileri ile gösterilir. Örneğin; Federal Alman Cumhuriyeti gibi daha büyük bir sahanın haritası yapılmak istenirse, yer eğriliği etkisi nedeniyle, yatay düzlem yerine eğrisel bir referans yüzeyi gereklidir. Küre yüzeyi bunun için uygun değildir. Çünkü, yerin deniz yüzeyi ile aynı düzeye getirildiği düşünülürken, kutuplarda bir basıklık, ekvator da ise bir şişkinlik görülecektir. Bu da yerin şeklinin bir küre olmadığını, aksine a ve b gibi iki yarı eksenle belirlenebilen bir döne elipsoid olduğunu göstermektedir (Şekil2).



Şekil 2 : Daha büyük alanların izdüşümünde ise yeryüzü için öngörülen eğrisel referans yüzeyleri olan küre veya yer elipsoidi gereklidir.

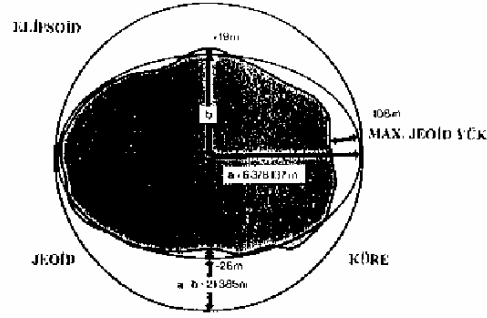
Jeodezinin çalışma tarzım kesinlikle etkileyen bir problemde yerin şekliyle olan ilişkisidir. Konum için referans yüzeyi olarak elipsoid uygun olmasına karşın, yükseklikler nasıl gösterilmelidir ? Yükseklikler yatay ve düşey kavramlarına bağlıdır; bu nedenle yerin gravite alanı ile bağlantılı bir referans yüzeyi gereklidir. Bununla ilgili olarak şöyle düşünebiliriz:

Deniz yüzeyinin, bir dağ gölünün rüzgarsız bir gündeki gibi hiçbir şeyden etkilenmediği, düzgün hali düşünülürse, yüzeyin her noktası çekül doğrultusuna, başka bir deyişle kütle çekim kuvveti ve yer dönmesinin oluşturduğu merkezkaç kuvvetinin bileşkesi olarak tanımlanan yerçekimi (gravite) kuvvetine diktir. Jeoid olarak adlandırılan, kıtaların altından geçtiği düşünülen ideal bu deniz yüzeyi yüksekliklerin hesabı için özel bir referans yüzeyi olarak alınır. Yeryüzündeki bir noktanın yüksekliği jeoid ve yeryüzü noktası arasındaki çekül doğrultusu boyunca olan uzunluktur (buna aynı zamanda **ortometrik yükseklik** de denir.) (Şekil 3).



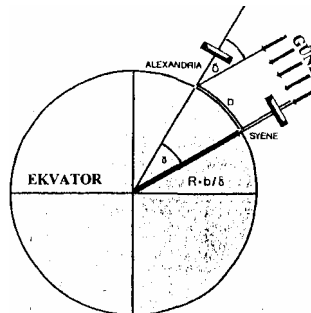
Şekil 3 : Konum ve yükseklik için referans yüzeyi olan ak elipsoid ve jeoid alınır. Kıtaların altında geçtiği düşünülen tamamen durgun deniz yüzeyinin oluşturduğu şekle jeoid denir.

Her iki referans yüzeyi elipsoid ve jeoid'den elipsoid; yerin şeklini iyi bir yaklaşımla göstermesine rağmen, jeoid için gravitenin dikkate alınması gerekmektedir. Şekil 4'deki sayılardan : **a** yer elipsoidinin büyük yarı eksenin boyu olup yaklaşık değeri 6378 km'dir. Küçük yarı eksen **b** ile arasındaki fark yaklaşık olarak 21 km'dir. Böylece graviteyle tanımlanan jeoid ile iyi bir uyum sağlanır. Jeoid yüksekliği ya da ondulasyonu olarak tanımlanan iki yüzey arasındaki fark, genellikle **100 m**'den daha küçüktür.



Şekil 4: Elipsoid ve jeoid, geometrik ve fiziksel olarak tanımlanan yer şekilleridir. Yer çekim kuvveti jeoidin elipsoidten olan farkı bulunurken dikkate alınır.

Yeryüzünün ölçümü ve şeklinin belirlenmesinin çözüm yolu şöyledir: ilk önce yer ölçmesiyle yer elipsoidi ve jeoidi belirlenir, sonrada uygulamalı jeodeziyle yeryüzündeki detay ölçme ve hesaplarının kartografik değerlendirilmesi sonucunda harita elde edilir. Geometrik ve fiziksel olarak tanımlanan yerin şekli XIX. ve XX. yüzyıldaki bilim ve teknolojinin durumuna uymaktadır. İnsanların ilk olarak yerin şeklini ne zaman sorguladıkları, kesin olarak bilinmemektedir. **Mısır ve Babil** uygarlıklarında bilginler yerin küresel şeklini bilmeksizin Astronomi çalışmaları yaptılar. **Homer**, yeri bir tarafı okyanuslarda askıda ve etrafı sıvı ile kaplanmış bir **disk** sayıyordu. Fakat, **Eratosthenes** MÖ 3.yüzyılda ilgili merkez açı ile büyük daire yayından yer küresinin yarı çapını belirlemiştir (Şekil 5).



Şekil 5 : MÖ III.yüzyılda Eratosthenes yeryüzündeki iki nokta arasındaki b mesafesi ve güneşe gözlem ile ölçülen merkez açı T yardımıyla doğru yaklaşım göstererek yer yarı çapını 7300 km olarak hesapladı.

Eratosthenes'i yer ölçmesinin kurucusu sayabiliriz. Eratosthenes yaklaşık olarak aynı meridyende bulunan Syene (bugünkü Assuan) ve Alesîandria arasındaki mesafeyi deve yolculuklarıyla elde edilen verilere göre kestirmiş, merkez açığı da güneşe gözlemler yardımıyla bularak, yer yarıçapım 7300 km olarak hesaplamıştır. Eratosthenes'in düşünüş ve hesaplamalarının doğruluğu ve günümüz sonuçlarına yaklaşması hayranlık uyandırmaktadır. Eratosthenes ilkesi günümüzde de geçerlidir. Küre yarı çapı'nın belirlenmesi için bir yay ve bu yayın karşısındaki merkez açı ölçülür. Bu çalışma eskisi gibi yerin şeklinin astro-jeodezik yöntemle belirlenmesidir. Yerin şeklinin küre olduğu fikri antik öncesi çağda batı kültür çevresinde benimsenmiş ve yakın ortaçağda önemini yitirmiştir, ileri ortaçağda yerin şeklinin küre olduğu yeniden tanınmıştır. **Magellan** (1480-1521) 1519 yılında ilk olarak Dünya'nın çevresini yelkenli gemi ile dolaşmaya başlamış ve **Juan Sebastian d'Elcano** Magellan'nin ölümünden sonra 1522'de bu turu bitirerek, yerin küresel şeklini herkesin anlayacağı biçimde kanıtlamıştır. Büyük yükseklikteki uzay uçuşlarında küresel şeklin anlamlı olarak algılanmasını sağlayan bugünkü nesil olmuştur. Hemen hemen 1500 yıl boyunca yerin küresel şekli ve bu küresel şeklin yaklaşık büyüklüğüne ilişkin geçici bilgi, insanların dünya yaşamı ile ilgili ihtiyaçtan kaynaklanmamıştır. Bu 16. ve 17. yüzyıl'dan beri değişmiş, fiziksel anlayış nedeniyle gittikçe doğru gözlemlerin yapılması olanağı, elipsoidin yer şekli olarak gösteriminin nedenini açıklamaktadır. Değişikliğin oluşmasını sağlayan neydi? Nikolaus Kopernikus (1473-1543)'ün yapıtı, Ptolemyüs'ün dünya görüşünü düzeltmesi ve güneş merkezli bir dünya görüşüne göre dünyanın yerinin belirlenmesi, 1600'den sonra doğa bilimleri için yeni bir devir açtı. Bu da yer ölçmesine yansımıştır. Yer küreselliğinin şüphe götürmeyen gerçekliği, özellikle yer yarı çapım belirlemek bilimsel ilgi alanına geçti. İlk doğru ölçüler Jean Picard (1620-1682) tarafından xvii. yüzyılın ikinci yarısında yapıldı. Picard, Paris ve Amiens arasındaki meridyen yaylarını ve bunun yanında Willebrordus Snellius'un (1580-1626) denenmiş Triangülasyon (üç-açı-y ön temi) yöntemini kullanmıştır. Merkez açığı sabit yıldızlara gözlemlerden coğrafi enlemler farkı olarak türetmiştir, Isaac Newton (1643-1727) Picard'ın sonuçlarını çekim yasasına dayandırmıştır.

Newton hidrostatik düşüncesiyle şu sonuçları çıkartmıştır :

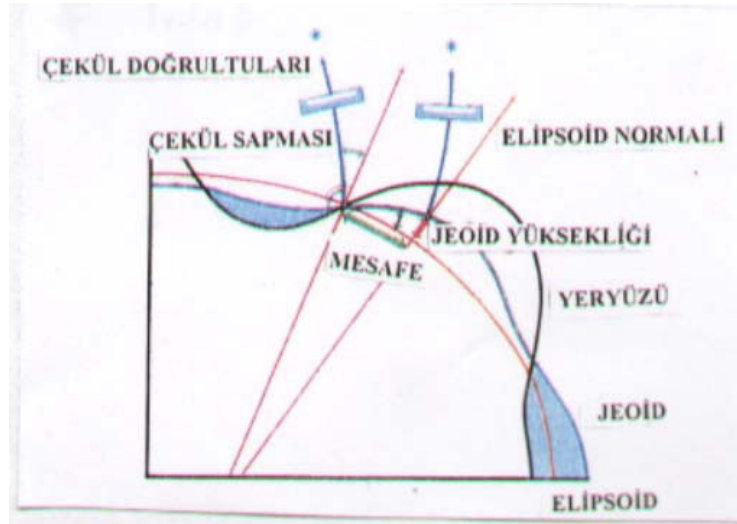
Dönen bir yeryuvarı küresel biçimli olmamalı, aksine ekvatorunda şişkin ve kutuplarda basık bir elipsoit olmalıdır. Newton kutuplardaki basıklığı kestirdiği gibi, aynı zamanda ekvatorundan kutuplara yerçekiminin artışıyla öne sürmüştür.

Bununla yer elipsoidinin belirlenmesi çağı başlatılmış oldu. Elipsoit iki parametreyle belirlenir: Bu parametrelerin hesabı için gereken iki yay uzunluğu ve bu yayları gören merkez açıları ise astro-jeodezik yöntemle ölçülerek belirlenir. Günümüze kadar belirlenmiş elipsoidlerin en önemlileri Şekil 6'da gösterilmiştir. Jeodeziciler, elipsoidin iki parametresi olarak büyük yarı eksen a yanında, küçük yarı eksen b yerine genetik basıklığı, yani $\alpha = (a-b):a$ 'yı kullanırlar.

ADI	YIL	BÜYÜK YARIEKSEN (m)	BASIKLIK
BOUGUER MAUPERTUIS	1738	6 397 300	1.216,8
EVEREST	1830	6 377 276	1.300,8
AIRY	1830	6 547	1.299,3
BESSEL	1841	7 397	1.299,1
CLARKE	1857	8 345	1.294,3
PRATT	1863	8 245	1.295,3
CLARKE	1880	8 249	1.293,5
HAYFORD	1910	8 388	1.297,0
KRASSOWSKIJ	1938	8 245	1.298,3

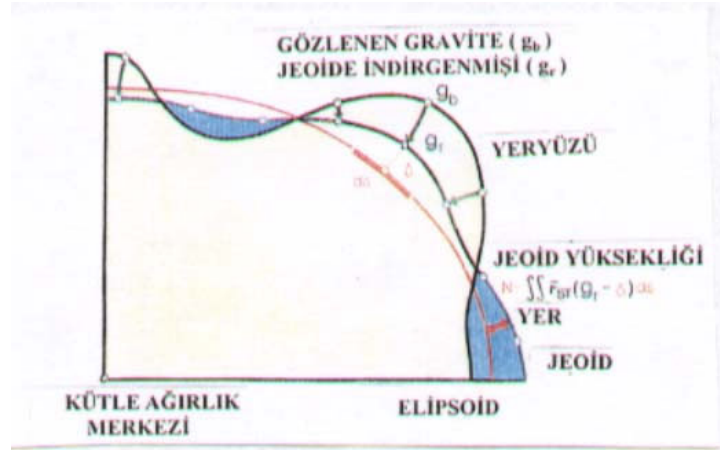
Şekil 6 : Astro-jeodezik olarak belirlenen elipsoidlerin tarihsel sıralaması.

Yerin kutuplarda basık olduğunu öne süren Newton taraftarları ile, tam doğru olmayan daha doğrusu hatalı ölçülerin değerlendirilmesiyle Yer'in kutuplarda sivri, yumurta biçimli olduğu sonucuna varan Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) ve Jacques Cassini (1677-1756) taraftarları arasında yıllarca süren tartışmayı, Pierre Bouguer (1698-1758) ve Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759)'in yayı ölçmeleri sona erdirdi. George Everest, George Bidell Airy ve John Henry Pratt yer kabuğundaki denge durumu olan isostasi'ye ilişkin ilerlemeleri elipsoitle sağladılar. Friederich Wilhelm Bessel (1784-1846), John Filmore Hayford (1868-1925) ve Feodosij Nikolajewitsch Krasskowskij (1878-1948)'nin elipsoidleri halen ülke ölçmelerinde hesap yüzeyi olarak kullanılmaktadır. Jeoid belirlemenin teorik temelleri XVIII. ve XIX. yüzyılda atılmasına rağmen, ilk olarak XX. yüzyılda pratik uygulanmasına başlanabilmiştir. Jeoid belirlemek için gerekli olan gözlemler astronomik olarak belirlenen enlem ve boylam, ayrıca gravite değerleridir. Jeoid devrinin başlama nedeni sadece bilimsel ilgi değil, aksine jeoid bilgisi varsayımı ile ulusal yatay kontrol ağımlı belirleme talebidir. Jeoid yüzey denklemi kolay ifade edilemeyen karmaşık bir şekildedir. Jeoid yüzeyine göre daha basit bir yüzey olan elipsoide göre tek bir noktanın jeoid yüksekliği ancak ölçmelerle elde edilir. (Şekil 7). Yapay yer uydularının jeodeziye yararı; jeoid belirlemenin mevcut 2 yöntemi olan astro-jeodezik ve gravimetrik yöntemlerin uygulanmasında olmuştur (Şekil 7).



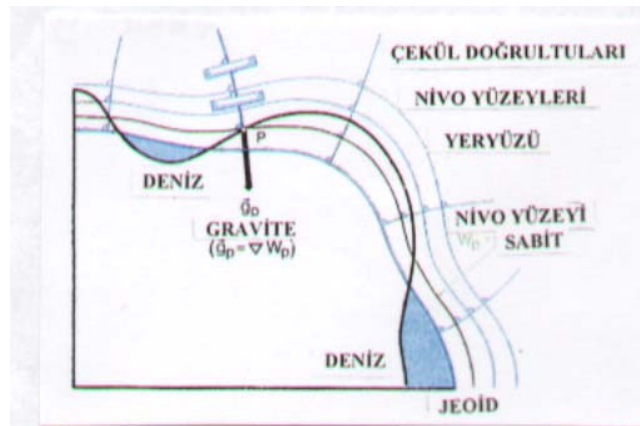
Şekil 7 : Astro-jeodezik jeoid belirleme.

Çekül doğrultusu ile elipsoit normali arasındaki doğrultu farkına çekül sapması denir. Çekül doğrultusu sabit yıldızlara astronomik ölçmeler ile belirlenir. Elipsoit normali, elipsoit yüzeyinde konum koordinatları ile bilinir. Astro-jeodezik yöntemle jeoid daha doğru belirlenmektedir, fakat çok sayıda astronomik ölçme gerekmektedir. Bu yöntem çok zaman almasından dolayı masraflıdır. Bu yöntemle kıtalarda jeoid belirlemenin avantajı, sadece karada doğru astronomik ölçmelerin yapılabilmesindedir. Buna karşın gravimetrik yöntem daha geçerli ve dünya okyanusları için de uygulanabilir. Eğer jeoid yüzeyindeki gravite değerleri bilinirse (Şekil 8), tek bir nokta için jeoid yüksekliği de belirlenebilir.



Şekil 8 : Gravimetrik jeoid belirleme. Yeryüzünün tüm noktalarında gravite değerleri ölçülebilirse tek tek noktalar için jeoid yükseklikleri belirlenebilir.

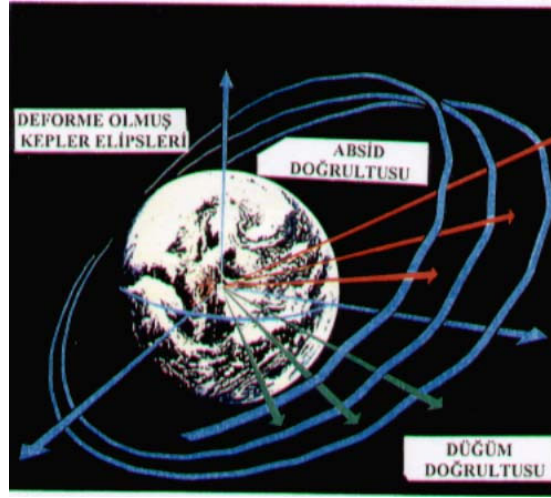
Bu amaçla tüm yeryüzündeki gravitenin ölçülmesi ve jeoid yüzeyine indirgenerek, jeoid dışındaki kütlelerin etkisinin hesap yoluyla çıkartılması gerekmektedir. Gravitenin jeoid yüzeyine indirgenmesine ilişkin temel hesap yöntemleri İngiliz fizikçisi ve matematikçisi George Gabriel Stokes (1819-1903) tarafından geliştirilmiştir. Gravimetrik yöntemler henüz problemsiz değildir. Şöyleki : Gravite ölçümü için günümüzde gravite ölçer olmasına karşın, gravite ölçümünde kısmen, ekonomik kısmen de politik nedenlerden dolayı büyük boşluklar vardır. İkinci olarak yöntemin varsayımlara bağlı olması, yani ölçülen gravite değerlerinin jeoid yüzeyine sayısal olarak indirgenmesi zorunluluğu nedeniyle yer kabuğunun da modellenmesinin gerekliliğidir. Niçin jeodeziciler yükseklik için fiziksel olarak tanımlanan, kıtasal alanlarda görülmeyen, yaklaşılmayan ve de hesaplanamayan bir karmaşık yüzey olan jeoid referans yüzeyi olarak kullanırlar ? Eğer, yerin dışındaki eş potansiyel yüzeylere jeoid olarak bakılırsa (Şekil 9), bu sorunun yanıtı çok basittir. Yeryuvarı dışındaki eş potansiyel yüzeyleri bilirse, her uzay noktasından geçen eş potansiyel yüzeylerine dik olan gravite vektörünün büyüklüğü ve doğrultusu belirlenebilir.



Şekil 9 : Eş potansiyel yüzeyleri ve gravite alanı. Eğer yerin dışındaki eş potansiyel yüzeyleri bilirse, her uzay noktasından eş potansiyel, yüzeylerine dik olan gravite vektörünün büyüklüğü ve doğrultusu belirlenebilir.

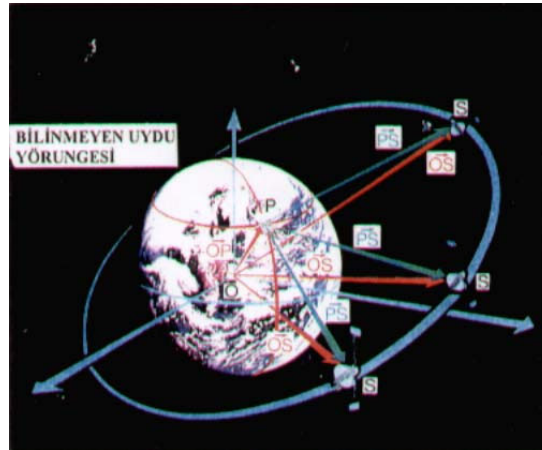
Birçok jeodezik ölçmeler çekül doğrultusu bilgisini içermektedir. Geometrik olarak tanımlanan bir referans sistemindeki bütün ölçmelerin değerlendirilmesi için çekül doğrultusu bilgisine gereksinim duyulur. Esasında bu zarif yapay yüzeyler normal hayatda da önemli rol oynarlar; Örneğin çekül ve su terazisi yardımıyla

binaların duvarlarının dikliği ve döşemelerin yataylığının elde edilmesi, eş potansiyel yüzeyleri ile gravite kuvvetine bağlıdır. Klasik yöntemler hem yer elipsoidi hem de jeoid için dikkate değer sonuçlar vermektedir. Bununla beraber geçen 25 yılda yer şeklinin belirlenmesi çalışmaları başarılı görünmektedir. Günümüzde yer elipsoidinin eksenlerini ve aynı zamanda evrensel jeoidi ± 1 m doğrulukla belirleyebiliyoruz. Bu kesin bilgiye uydular yardımıyla ulaşılmaktadır. Yerçekimine bağlı olarak, yer gravite alanında algılayıcı gibi hareket eden bir uydunun, yer gravite alanındaki yörüngesinin bilinmesi zorunludur. Çünkü yer küreselliğindeki sapmalar ve yer içindeki düzensiz kütle dağılımı nedeniyle, uydu yörüngeleri sabit bölgele Kepler-Elipsi olmayıp, aksine zamanla bütün yörünge elemanları kısmen düzgün kısmen de periyodik olarak değişmesinden dolayı gerçek yörünge, kendi eğrilik çemberinde teğet olan elipslerin bir zarf eğrisidir.



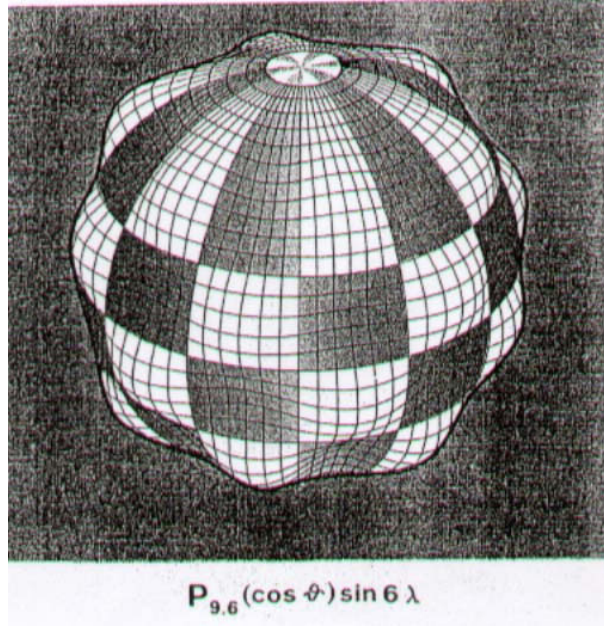
Şekil 10 ; Uydunun hareket yörüngeleri deforme olmuş Kepler-Elipsleridir. Gerçek uydu yörüngesi, kendi eğrilik çemberinde teğet olan elipslerin bir zarf eğrisidir.

Düğüm ve apsid doğrultularından önemli bir dönüklüğe sebep olan şey, özellikle yerin ekvatordaki şişkinliğin! oluşturan küttedir. Yörünge değişimleri gözlenerek, yerin gravite alanı belirlenir. Yapay yer uydularının jeodeziye yararı gözlemlerden uydu yörüngelerinin tespitiyle oluşur. Bir P noktasından bir S uydusuna bakılarak doğrultular, uzunluklar, uzunluk değişimleri gözlenirse (Şekil 11), her bir gözlemden P noktasının konumuna, S uydusunun yörüngesine ve yerin gravite alanına ilişkin bilgileri elde edebiliriz.



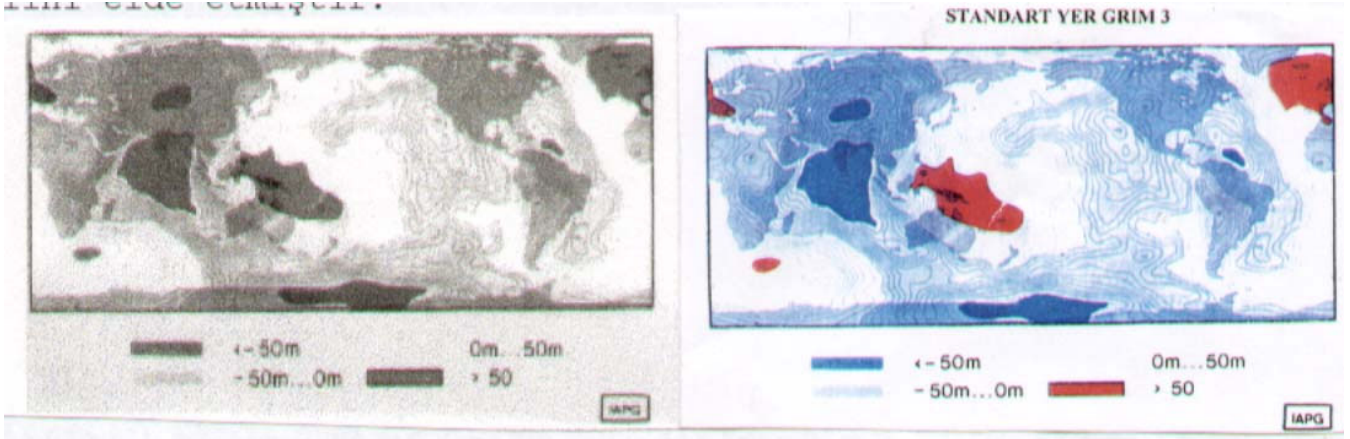
Şekil 11 : Dinamik uydu jeodezisinin temel düşüncesi.

Yeryüzünde simetrik dağılımlı istasyonlarda, çok sayıda uydu gözlenerek hem gözlem istasyonlarının yer merkezli koordinatları hem de uydu yörüngelerinin ve gravite alanının parametreleri belirlenebilmektedir. Birçok bilinmeyi araştırırken kullanılan çok sayıdaki verileri değerlendirebilmek için dinamik yöntemin kullanılması zorunludur. Dinamik uydu yönteminin bir uygulaması da jeoid belirlemektir. Karmaşık yüzeyler iki değişkenli trigonometrik fonksiyonlar olarak tanımlanan küresel fonksiyonlarla gösterilir. Şekil 13'de gösterilen küresel yüzey, düşük derece ve sıradan olan özel bir yüzey, küre harmonikleriyle modellendirilmiştir.



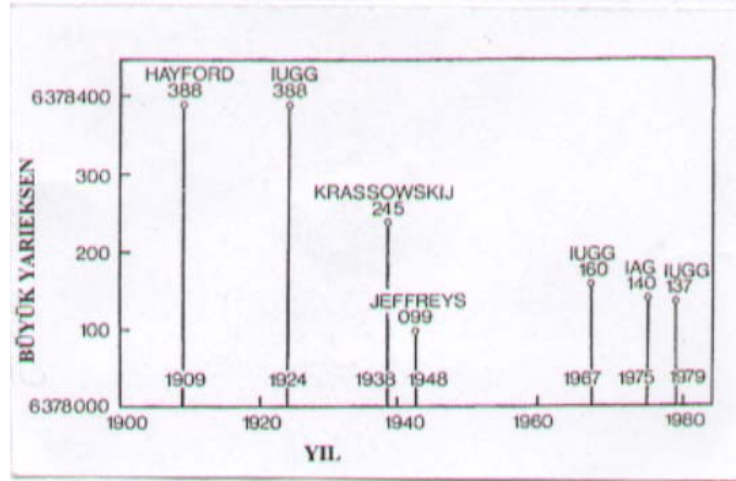
Şekil 13 ; Karmaşık yüzeyler yüzey küre harmonisiyle tanımlanır. Buradaki yüzey küre harmonisi şekli basit derece ve sıradan olan özel bir fonksiyonla modellendirilmiştir.

Hassas yapılar için daima derece ve sırası büyüyen yeteri kadar birçok küresel yüzey fonksiyonları üst üste çakıştırılarak ve her yüzeyi temsil eden fonksiyonun sayısal değeri ağırlığı ile çarpılarak, karmaşık yüzeyler pratik olarak gösterilebilirler. Gözlenen uydu yörüngeleri yardımıyla belirlenen bu sayısal değerler veya ağırlıkları, potansiyel sabitleridir. Jeoid yapısı için daha yüksek bir çözüm istenirse bunun için birçok yüzey fonksiyonu kullanılarak potansiyel sabitlerinin sayısının artırılması yoluna başvurulur. Son yıllarda, jeoid ile bağlantısı olan yer potansiyel modelleri uydu jeodezisinin dinamik yöntemine göre türetilmektedir. Yeni yer potansiyel modeli düşünülmemesine karşın, 1981'de Münih Teknik Üniversitesi Uydular Jeodezisi Anabilim Dalı, GRIM 3'ü hesaplayarak, Şekil 12'deki yer modelini elde etmiştir.



Şekil 12: GRIM 3 jeoidinin basit gösterimi. Ortalama yer elipsoidine göre jeoid yüksekliği 10 m aralıklı yükseklik eğrileri ile gösterilmiştir. Bir gariplik: Hint okyanusunda deniz yüzeyi, ortalama deniz yüzeyi yüksekliğinden yaklaşık 100 m daha düşüktür.

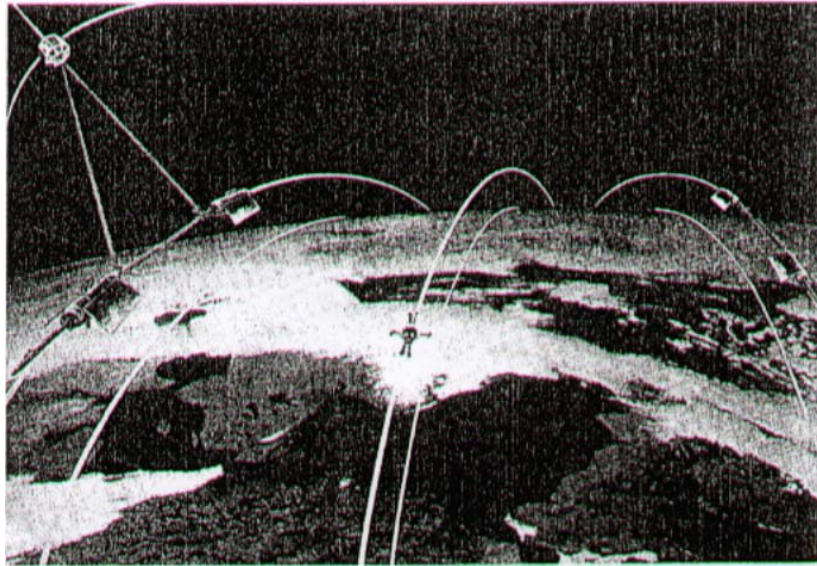
95 uydu gözlem istasyonundan 22 uduya 300.000 den fazla ölçmeden elde edilen yer potansiyel modeli yardımıyla, gözlem istasyonlarının yer merkezli koordinatları ve 1369 adet potansiyel sabiti belirlenmiştir. Görüldüğü gibi jeoid karmaşık bir yüzeydir. Özellikle Hint okyanusundaki çöküntü dikkat çekicidir. Burada deniz yüzeyi 100 m aşağıdadır. Bu çöküntüdeki bir gemi yer merkezine 100 m daha yakındır. Çöküntü terk edildiğinde yaklaşık olarak bir dağa tırmanmak için gereken iş kadar, hiçbir ek işe gereksinim duyulmaz. Çünkü deniz yüzeyi en az yaklaşılabilir bir eş potansiyelli yüzeydir. Yani potansiyel enerji her yerinde eşit büyüklüktedir. Dinamik yöntem yer elipsoidi için çok doğru değerler sağlamaktadır. Büyük yarı eksen $a=6378.137$ km uzunluğu için, $\alpha=(a-b):a$ basıklık formülüne göre, basıklık $\alpha=1:298.245$ değerini almaktadır. 1980 Jeodezik Referans Sisteminin bu parametreleri çok iyi bilinmektedir ve halen geliştirilmektedir. 1980'de belirlenen büyük yarı eksen değeri, 1909'da Hayford'un hesapladığı değerden yaklaşık 250 m daha kısadır (Şekil 14).



Şekil 14 : XX.Yüzyılda ortalama yer elipsoidinin büyük yarı ekseninin metre olarak belirlenmesi Bugün a için 6378.137 km değeri geçerlidir.

Bu kısalma yerin küçülmesinden kaynaklanmamaktadır, aksine yöntem ve modellerdeki gelişmeler, özellikle yüksek doğruluklu gözlemlerin sayısındaki artış nedeniyle, büyük yarı eksenin ± 0.5 m'den daha düşük doğrulukla

belirlenmesindedir. Hayford'un belirlediği büyük yarı eksen a'nın doğruluğu ± 300 metreydi. Yer elipsoidinin parametrelerinin belirlenmesi günümüzde geniş ölçüde bitmiş sayılabilir. Buna karşın, yüksek düzeyde çözülmüş bir gravite alanı belirlemek ve böylece jeoidin tam belirlenmesine ulaşmak için, daha büyük çabalar gerekmektedir. Çünkü, jeofiziksel sorunlar için istenen değerlerde olan ve tüm uygulamalar için geçerli olan jeoid şekli, yani yeterli gravite alanı modelin! bugünkü alışılmış yöntemlerle elde etmek mümkün değildir. Eğer jeoid yükseklikleri daha düşük cm'lere kadar tam olarak belirlenirse, jeoid, yükseklikler için, tüm dünyaca referans yüzeyi olarak kullanılabilir. Yüksek doğruluklu gravite alanı olan jeoidi belirlemek için değişik olanaklar vardır. Eğer bir uydunun uçuş yüksekliği düşük tutulursa, yörüngesinin yer gravite alanına karşı hassasiyetinin artmasından dolayı, gravite alanı içindeki potansiyel sabitleri daha yüksek derece ve sıradan bulunur. Uydular alçak yükseklikteki uçuşlarda atmosfer basıncından etkilenmemeleri için, kumanda edilebilir bir kılıf ile korunmalıdır. Diğer bir olanak da uydudan uyduya ölçme olarak adlandırılan (SST) yöntemidir. SST yönteminde çok sayıda uydu arasında ölçmeler yapılır (Şekil 15).



Şekil 15 :Uydudan uyduya ölçme yöntemi (SST). Bu yöntem de çok sayıda uydu arasında ölçmeler yapılır.

Yüksek finansal harcamayla oluşturulan uydudan uyduya ölçme teknolojisi (yani-SST-yöntemi) ile yapılan denemeler başarılı olmuştur. Bu yöntem, bir çok disiplin için yeterli olmasına rağmen, böyle bir proje bugüne kadar ulusal ve uluslararası hiçbir dünya uzay programında öngörülmemiştir.