



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞERİTVARİ PROJELERDE ORTOMETRİK
YÜKSEKLİK HESABI İÇİN BİR YAKLAŞIM

Hüseyin Bora GÜRSES

YÜKSEK LİSANS

Harita Mühendisliği Anabilim Dalını

Mart-2011
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hüseyin Bora GÜRSES tarafından hazırlanan “Şeritvari Projelerde Ortometrik Yükseklik Hesabı İçin Bir Yaklaşım” adlı tez çalışması 04/04/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Cevat İNAL

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Ayhan CEYLAN

Üye

Doç. Dr. Galip OTURANÇ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr.
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hüseyin Bora GÜRSES

Tarih: 07.04.2011

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ŞERİTVARİ PROJELERDE ORTOMETRİK YÜKSEKLİK HESABI İÇİN BİR YAKLAŞIM

Hüseyin Bora GÜRSES

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ayhan CEYLAN

2011, 68 Sayfa

Jüri

Yrd. Doç. Dr. Ayhan CEYLAN

Prof. Dr. Cevat İNAL

Doç. Dr. Galip OTURANÇ

Günümüzde mühendislik hizmetlerine yönelik projelerde nokta yüksekliklerinin veya yükseklik farklarının belirlenmesinde uygulanan en geçerli yöntem GPS/Nivelman tekniğidir. Söz konusu teknik, uygulamada doğrudan doğruya kullanılmayan GPS elipsoid yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi esasına dayanır. B.Ö.H.H.B.Ü. Yönetmeliğinde bu iki yükseklik sistemi arasındaki dönüşüm için işaret edilen yöntemlerde, elde edilecek sonuçların doğruluğu seçilen dayanak noktalarının ağ içerisindeki konumuna bağlıdır. Karayolu, demiryolu, kanal vb. mühendislik projelerindeki yer kontrol noktaları, genellikle sınırlı (1-2 km) genişlikte şeritvari bir alan içerisinde dağılması nedeniyle çalışma alanı içerisinde sağlıklı bir yüzey modelinin oluşturulmasını güçleştirmektedir. Bu tür şeritvari mühendislik projelerinde, geçki boyunca polinom yüzeyi modeline alternatif olarak ardışık dayanak noktalarından En Küçük Kareler yöntemine göre kollokasyon (EKKK) ile geçirilecek polinom eğrisi modeli bir yaklaşım olarak düşünülebilir.

Bu çalışmada, yaklaşık 210 km uzunluğundaki Konya-Polatlı (Ankara) Hızlı Tren Projesine ait GPS/Nivelman verileri En Küçük Kareler ile kollokasyon (EKKK) yöntemini esas alan polinom eğrisi yaklaşımını inceleme amacıyla kullanılmıştır. Projeye ait yer kontrol noktaları, bu çalışmanın amacına uygun olarak dayanak ve kontrol olmak üzere sınıflandırılarak, kontrol noktalarının ortometrik yükseklikleri, farklı dereceden eğri ve yüzey polinomu geçirmek suretiyle elde edilen yerel jeoit modeli yardımıyla hesaplanmıştır. Ayrıca, aynı noktalardaki ortometrik yükseklikler, bu çalışmada önerilen EKKK göre polinom eğrisi yaklaşımı ile hesaplanmıştır. EKKK yöntemi, modelden arta kalan düzeltmelerin sinyallerinin kestirilmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu sayede ortometrik yükseklikler, modelden elde edilen değer ve kestirilen sinyalin toplamı biçiminde ifade edilmektedir. Kollokasyon probleminde Hirvonen fonksiyonu kovaryans fonksiyonu olarak öngörülmüştür. Bu fonksiyonda geçen kritik uzaklık değeri deneysel yolla saptanmış ve en iyi sonuçlara 8.1 km'lik kritik uzaklık değeri ile ulaşıldığı görülmüştür. Uygulama alanında dayanak noktalarının yüzeye dağılımı uygun olmadığından yüzey modelinde üst derecelere çıkılamamıştır. 1. ve 2. derece yüzey modelleri ile elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farklara ilişkin standart sapma ± 10.02 cm, eğri yaklaşımında ise daha üst dereceden (6.dereceye kadar) polinomum eğrisi geçirilebilmesine rağmen farklara ilişkin standart sapma ± 7.20 cm hesaplanmıştır. Diğer yandan, 2. dereceden eğri polinomu ile EKKK yaklaşımında ise farklara ait standart sapma ± 1.9 cm olarak elde edilmiştir. Kollokasyon yönteminin bir diğer avantajı da polinom derecesinin çok yüksek seçilmesi zorunluluğunu ortadan kaldırmasıdır. Sonuçlar göstermektedir ki karayolu, demiryolu vb. geçki boyunca gerçekleştirilecek projelerde GPS/Nivelman tekniğine dayalı ortometrik yükseklikler, polinom yüzeyi yerine En Küçük Kareler ile Kollokasyon yöntemini esas alan eğri yaklaşımı ile daha yüksek doğrulukta elde edilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: GPS/GNSS, kollokasyon, mühendislik ölçmeleri, nivelman, ortometrik yükseklik.

ABSTRACT

MS THESIS

AN APPROACH FOR ORTHOMETRIC HEIGHT DETERMINATION IN STRIP MAP PROJECTS

Hüseyin Bora GÜRSES

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOMATICS ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

2011, 68 Pages

Jury

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

Prof. Dr. Cevat İNAL

Assoc. Prof. Dr. Galip OTURANÇ

Today, in engineering projects the current method for determining orthometric heights or height differences at vertical control stations is well-know GPS/leveling technique. This technique is based on the conversion of ellipsoidal heights which they can not been used in the engineering surveys into the orthometric heights. In the Technical Instructions of Large-Scaled Map Production for Turkey, the accuracy of results to be derived from the methods pointed out in the instruction for height transformation between both systems depend on the distributions of reference stations. It is hard or very limited to find this kind of stations within the zone along projects of road, railway, pipeline and etc. In such projects, alternatively a polynomial curve in order to approximate a polynomial surface model can be thought when the distribution of reference stations is poor along the project line. EKKK method provides a significant advantage in the estimation of the signals of the corrections remaining behind the model. In this way, orthometric heights are described as the total of the value obtained from the model and the estimated signal. In the collocation problem, Hirvonen function was proposed to be covariance function. The critical distance value in this function was determined experimentally and it was found that the best results were obtained through the critical distance value of 8.1 km.

In this study, GPS/leveling data set of the Konya-Polatlı (Ankara) Fast Train Project of 210 km length was utilized in order to investigate the polynomial approximation based on the least squares collocation technique (EKKK). The project data set was classified separately as reference and control points. The orthometric heights of the control points were computed from the curve and surface models estimated by the least squares and collocation approximations. The collocation procedure was performed for curve fitting only. Due to uneven distribution of reference points within the project area, the high degree polynomials show ill-posed results at the control points. In the surface models with the first- and second-degree, the standard deviation of the agreement is ± 10.02 cm, whereas the polynomial curve model which can be computed up to 6th degree has given the best result with the standard deviation of ± 7.20 cm. On the other hand, with the collocation method based on the second-degree polynomial curve, the standard deviation at the control points was found to be ± 1.9 cm. Another advantage of the collocation method is that it removes the obligation to select a very high polynomial degree. The results indicate that in projects that will be implemented along highways, railways etc., orthometric heights based on GPS/Nivelman technique can be obtained with higher precision through the curve approach based on the Least Squares and Collocation methods instead of polynomial surface.

Keywords: Collocation, GPS/GNSS, leveling, orthometric height, survey engineering.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada tez yürütücülüğünü üstlenen ve çalışmanın her aşamasında bana yol gösteren, bilgi ve deneyimini paylaşan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ayhan CEYLAN' a teşekkürlerimi sunarım. Görüş ve yorumlarıyla bu tezin şekillenmesinde büyük katkı sağlayan, kendisi ile çalışmaktan mutluluk duyduğum Yrd. Doç. Dr Aydın ÜSTÜN ve tez aşamasında büyük yardımları olan Arş. Gör. Serkan DOĞANALP ' e teşekkür ederim.

Son olarakta, maddi-manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, zor anlarımda bana destek olan, mutluluğumu paylaşan sevgili aileme minnettarım.

Hüseyin Bora GÜRSES
KONYA-2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	İV
ABSTRACT.....	V
ÖNSÖZ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	İX
1.GİRİŞ.....	1
2. YÜKSEKLİK	3
2.1. Yükseklik, Jeoit, Elipsoit, Fiziksel Yeryüzü.....	3
2.2. Yeryuvarının Gravite Alanı	5
2.2.1. Çekim kuvveti	5
2.2.2.Çekim potansiyeli	7
2.2.3. Gravite alanı	7
2.2.4. Gravite potansiyeli.....	9
2.3. Yükseklik Sistemleri	11
2.3.1. Jeopotansiyel yükseklik.....	11
2.3.2. Dinamik yükseklikler	14
2.3.3. Ortometrik yükseklik.....	15
2.3.4. Normal yükseklik	17
2.3.5. Elipsoidal yükseklik	19
3. ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERİN HESABI.....	23
3.1. Geometrik Nivelman.....	23
3.1.1. Ana model	24
3.1.2. Fonksiyonel model	25
3.2.Trigonometrik Nivelman.....	26
3.2.1. Tek taraflı trigonometrik nivelmanda ölçme ve hesap modeli.....	26
3.2.2. Karşılıklı trigonometrik nivelmanda ölçme ve hesap modeli.....	27
3.3. GPS/Nivelman	29
3.4. GPS Nivelmanı ile Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesi	32
3.4.1. TG-03 Jeoidinin doğrudan kullanılması	32
3.4.2. TG-03 Jeoidinin yerel GPS/Nivelman ölçüleriyle güncelleştirilerek kullanılması.....	32
3.4.3. Baz vektörlerinde elipsoit ve TG-03 jeoit yükseklik farklarından elde edilen ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi	34
3.4.4. Yerel GPS/Nivelman jeoit modelinin oluşturulması	34
3.5. En Uygun Eğri ve Yüzey Polinom Belirlenmesi	35
3.5.1.En uygun polinom yüzeyinin belirlenmesi.....	35
3.5.2.En uygun polinom eğrisinin belirlenmesi (eğri uydurma)	38
3.5.3. En uygun polinomun belirlenmesi.....	40
3.5.3.1. Model testi	41
3.5.3.2. Parametreler için anlamlılık testi.....	42
3.5.3.3. Düzeltmelerin test edilmesi	42
4. EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİNE GÖRE KOLLOKASYON.....	44
4.1.Kollokasyon	44
4.2. En Küçük Kareler Yöntemine Göre Enterpolasyon ve Kollokasyon.....	45
4.3. Trendin Belirlenmesi.....	45

4.4. Deneysel Kovaryansların Hesaplanması.....	46
4.5. Kestirim Yapılacak Noktalardaki Sinyallerin Belirlenmesi.....	48
5. UYGULAMA	51
5.1.Uygulama Alanı	51
5.3.Hesaplamalar.....	53
5.3.1. Yüzey polinomları yaklaşımı ile jeoit modelinin oluşturulması	53
5.3.2. Eğri polinomları yaklaşımı ile jeoit modelinin oluşturulması	55
5.3.3. EKKK ile jeoit modelinin oluşturulması	58
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
EKLER	65
ÖZGEÇMİŞ	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	:Yer yuvarının ekvatorial yarıçapı(ya da referans elipsoidinin büyük yarı eksenini)
b	:Referans elipsoidinin küçük yarı eksenini
f	:Elipsoidal basıklık
m	:Bir cismin kütlesi
F	:Çekim kuvveti
G	:Evrensel çekim sabiti
b	:Yerçekim ivme vektörü
V	:Çekim potansiyeli
f	:Merkezkaç ivme vektörü
g	:Gerçek gravite vektörü ($g=b+f$)
w	:Yeryuvarının açılmal hızı
Φ	:Merkezkaç kuvveti
W	:Gravite potansiyeli
W0	:Jeoit potansiyeli
θ	:Çekül sapması açısı
C	:Jeopotansiyel sayı
H	:Helmert ortometrik yüksekliği
γ	:Normal gravite
\bar{g}	:Çekül eğrisi boyunca gerçek gravite
γ_0	:Elipsoit yüzeyine indirgenmiş gravite,
g	:Gerçek gravite
$\bar{\gamma}$:Normal çekül eğrisi boyunca ortalama gravite
ζ	:Yükseklik anomalisi
ϕ, λ, h	:Elipsoidal koordinatlar
x, y, z	:Dik koordinatlar (ITRF)
N	:Jeoit yüksekliği
h	:Elipsoidal yükseklik
ΔH	:Nivelman yükseklik farkı
$d\bar{N}$:Jeoit değişim miktarı
s	:Sinyal (rastgele dağılımlı korelasyonlu hatalar vektörünü simgeler)
n	:Noise ($n= -v$, rastgele dağılımlı korelasyonsuz ölçü hatalarını simgeler)
z	:Stokastik bölüm
rms	:Karesel ortalama hata

Kısaltmalar

B.Ö.H.H.B.Ü.Y.	:Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliği.
GPS	:Global konum belirleme sistemi (Global positioning system)
GRS80	:Jeodezik referans sistemi 1980 (Geodetic reference system 1980)
WGS84	:World Geodetic system 1984
TG99A	:Güncellenmiş Türkiye jeoidi 1999
TG-03	:Yeni Türkiye jeoidi 2003
EKK	:En küçük kareler
EKKK	:En küçük karelerle kollokasyon

1.GİRİŞ

Yeryüzünde bir noktanın yüksekliği, noktanın çekül doğrultusu boyunca jeoide inilen dikin uzunluğu olarak tanımlanabilir. Günümüzde gerek bilimsel çalışmalarda gerekse mühendislik hizmetlerine yönelik çalışmalarda, nokta yüksekliklerinin ve ya noktalar arasındaki yükseklik farklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, yükseklik belirlemeleri Harita Mühendisliğinin önemli bir iş yükünü oluşturmaktadır.

Günümüzde gerek bilimsel amaçlarla gerekse mühendislik hizmetlerine yönelik olarak nokta yüksekliklerinin veya noktalar arasındaki yükseklik farklarının belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin;

- Yükseklik ağların ölçülmesi,
- Köprü, baraj vb. büyük yapıların düşey aplikasyonu, bakım ve kontrol ölçmeleri,
- Yerkabuğu düşey hareketlerinin belirlenmesi,
- Otoyol, demiryolu, kanalizasyon ve boru hattı ölçmeleri
- Enkesit ve boykesitlerin çıkartılması

Mühendislik hizmetlerine yönelik projelerde bir harita mühendisliği uygulaması olarak yükseklik belirlemeleri için uygulanan yöntemler B.Ö.H.H.B.Ü.(2005) yönetmeliğinde, geometrik nivelman, trigonometrik nivelman ve GPS/Nivelman olarak sıralanmıştır.

Günümüzde uygulanan en geçerli yöntem GPS/Nivelman tekniğidir. GPS verileri ile elde edilen yükseklik verileri elipsoidal yükseklikler olup geometrik esaslara dayanmaktadır. Elipsoidal yüksekliklerin mühendislik projelerinde kullanılabilir hale gelmesi için ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşümü gerçekleştirmek için noktaları kapsayan alanda jeoit modeli yeterli doğrulukta bilinmesi gerekir. B.Ö.H.H.B.Ü. Yönetmeliğinde bu iki yükseklik sistemi arasındaki dönüşüm için aşağıdaki yöntemlerden biriyle oluşturulacak jeoit modeli işaret edilmektedir. Bunlar;

- TG-03 Jeoidinin doğrudan kullanılması,
- TG-03 Jeoidinin yerel GPS/Nivelman ölçüleriyle güncelleştirilerek kullanılması,

- Baz vektörler boyunca elipsoit ve TG-03 Jeoit yükseklik farklarından hesaplanacak ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi
- Yerel GPS/Nivelman jeoit modelinin oluşturulmasıdır.

İlki dışında diğer üç yöntemde, sonuçların doğruluğu seçilen dayanak noktaların çalışma sahası içerisindeki konumuna bağlıdır. Öte yandan yukarıda işaret edilen yöntemler belirli bir bölgeye ilişkin topografik haritaların üretimini esas almaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilmiş uygulamalara bakıldığında, yönetmelik hükümlerine uygun davranıldığında istenilen doğruluk ölçütlerinin karşılandığı görülmektedir (Kartal, 2001; Şanlıoğlu ve ark., 2002; Kılıçoğlu ve Fırat, 2003). Ancak, karayolu, demiryolu, kanal vb. şeritvari mühendislik projelerinde yönetmelikte ifade edilen durumların dışına çıkma zorluğu ile karşılaşılır. Şeritvari uygulamalarda, yükseklik bilgisinin üretilmesi, genellikle sınırlı sayıda tespit edilebilen veya gerektiğinde bir geçki boyunca nivelman yapılarak sıklaştırılmış dayanak noktalarıyla mümkün olabilmektedir. Bu durum, dar bir alan içerisinde sağlıklı yüzey modelinin oluşturulmasını başka bir deyişle yerel jeoit modelini doğru olarak temsil edecek uygun dayanak noktalarının bulunmasını güçleştirmektedir. Bu tür şeritvari mühendislik projelerinde ortometrik yükseklikler, geçki boyunca polinom yüzeyi yerine ardışık dayanak noktalarından EKKK yöntemine göre yüzey eğrisi yaklaşımı ile hesaplanabilir.

Bu araştırmada, şeritvari projelerde elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüşümünde uygulanan polinom yüzeyi yaklaşımında karşılaşılan problemlere çözüm getirilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için Konya-Polatlı (Ankara) Hızlı Tren Projelerine ait veriler yukarıda söz edilen durumun ortaya konulması amacıyla kullanılmıştır. Test ağı 210 km uzunluğunda olup yaklaşık 2 km ara ile 110 nirengi noktası seçilmiştir. Bu noktalar aralarında, 70 adedi dayanak ve 40 adedi kontrol noktası olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. Arazi az engebeli olarak kabul edilebilir. EKKK yöntemine göre eğri yaklaşımının bir çözüm olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceği sayısal uygulamalar ile irdelenmeye çalışılmıştır.

2. YÜKSEKLİK

2.1. Yükseklik, Jeoit, Elipsoit, Fiziksel Yeryüzü

Jeodezinin temel problemlerinin çözümünde, fiziksel yeryüzünün şeklinin belirlenmesi gerekmektedir. Fiziksel yeryüzü, girinti ve çıkıntılar ile kaplı düzensiz bir yüzeye sahiptir. Yüzeyin bu denli değişken olması da fiziksel yeryüzünün basit bir matematik modelle ifade edilememesi sıkıntısını doğurmaktadır.

Yükseklik denildiğinde, yeryüzündeki bir noktanın seçilen başlangıç yüzey ile arasındaki en kısa mesafedir. Dolayısıyla öncelikle başlangıç yüzeyi ve en kısa mesafeyi veren dik doğrultuyu belirlemek gerekir. Dik doğrultuyu belirlemede, denge halindeki deniz yüzeyine her noktada dik olan çekül doğrultuları kullanılır. Karaların altından da devam ettiği düşünülen denge halindeki deniz yüzeyi, başlangıç yüzeyi yani sıfır yükselteli yüzey olarak kabul edilir ve bu yüzeye jeoit denir. Sonuç olarak yükseklik, yeryüzündeki bir noktanın çekil eğrisi boyunca başlangıç yüzeyi olarak kabul edilen jeoide olan düşey mesafesidir. Yükseklik, referans koordinat sisteminde üçüncü boyutu oluşturur ve konum bilgilerinden ayrı değerlendirilir.

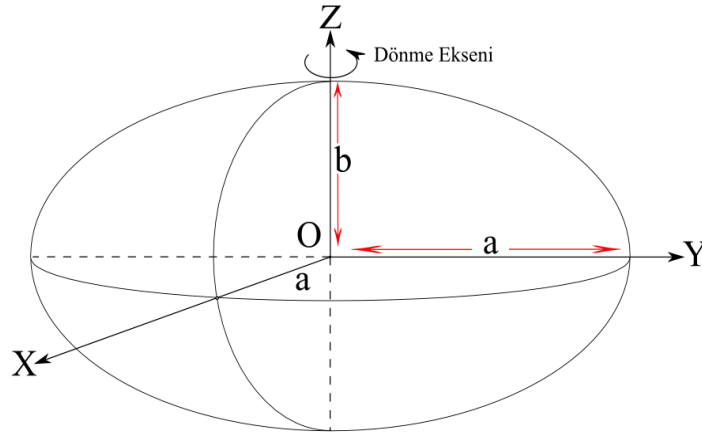
Jeoit, durgun deniz yüzeylerinin karaların altından da devam ettiği düşünülen kapalı yüzeydir. Jeoit, eşpotansiyel yüzey olup, her noktada çekül doğrusuna diktir. Jeoitin merkezi dünyanın merkezi ile çakışır ve dünyanın matematik şekli olarak kabul görür. Sonuçta jeoit, fiziksel olarak tanımlanan ve yeryüzünün gerçek şeklini temsil etmede kullanılan bir yüzeydir. Jeoidin eğriliği kitle yoğunluğunun ani değişimiyle değişir. Bu yüzden büyük alanlarda çalışırken jeoide dair hesaplama yapmak çok zor bir hal alır. Sonuç olarak jeoit yüzeyi, yüzey olarak hesaplarda kullanılmaya uygun değildir. Jeoit yerine daha basit matematiksel işlemli yüzeyler kullanılır. Son yıllarda GPS' in yaygın kullanımı ile birlikte elde edilen elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüşümünde kilit rol oynayan jeoidin önemi gittikçe artmıştır.

Nokta yükseklikleri tanımlanırken geometrik ve fiziksel esaslara göre tanımlarız. Yüksekliği, geometrik esaslara göre tanımlamak, noktanın bir düzlem, bir küre veya bir elipsoitten olan yüksekliğini belirlemektir. Yani kendimize geometrik esaslara dayalı

olarak düzlemden, küreden veya elipsoitten oluşan bir referans yüzeyi veya başka bir değişle matematik modelimizi seçiyoruz.

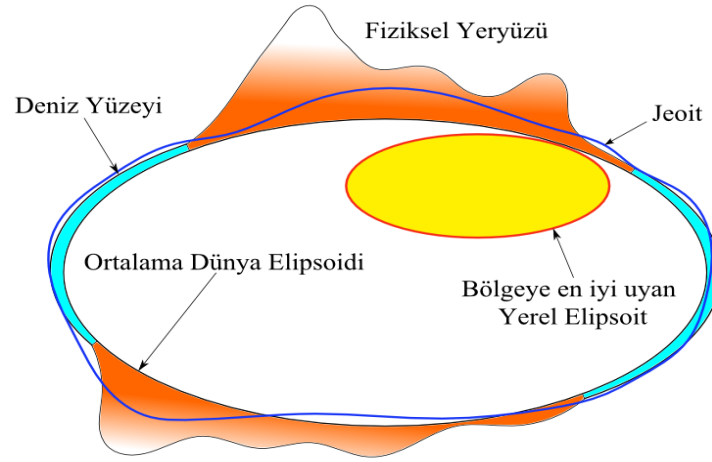
GPS ile elde edilen yükseklik değeri geometrik esaslara göre elde edilmiş olup, fiziksel bir değeri yoktur. Seçilen referans elipsoidine göre (WGS84) enlem, boylam ve elipsoidal yükseklikler elde edilir. Ama uygulamada geometrik yükseklikler tercih edilmeyip, fiziksel yasalara dayanan fiziksel yükseklikler kullanılmaktadır.

GPS' den elde edilen veriler seçilen bir referans elipsoidi üzerinde basit matematiksel hesaplamalar yapılarak oluşturulur. Kullanılan referans elipsoidin oluşumu elipsin kutup eksenini etrafında döndürülmesiyle oluşur. Elipsoidin oluşumunda eksen büyüklükleri bilinmelidir.



Şekil 2.1. Dönel elipsoid

Yarı eksen uzunlukları a ve b çeşitli yöntemlerle oluşturulur. Bu dönel elipsoid, a ve b ile yeryuvarının yaklaşık olarak tespit edilmesinde kullanılır. Yapılacak çalışmanın amacına ve büyüklüğüne göre referans elipsoidi farklı şekillerde seçilebilir. Çalışmalarda hedef fiziksel yeryüzüne en yakın referans elipsoidini belirlemektir. Referans elipsoidinin saptanması jeodezinin ve dünya ölçmelerinin temel problemidir. Bu problemi aşmak amacıyla dünyayı en iyi temsil eden ortalama dünya elipsoidi ve bölgesel çalışmalarda çalışılan bölgeyi temsil eden bir bölgeye en iyi uyan elipsoid kavramları oluşturulmuştur.



Şekil 2.2. Yerel elipsiot ve ortalama dünya elipsoidi

Tablo 2.1. Bazı referans elipsoidlerinin basıklık değerleri ile yarı eksen uzunlukları verilmiştir.

Referans Elipsoidi	a	Basıklık $f = \frac{a-b}{a}$
Clarke 1866	6378206.4	1/294.9786982
International	6378388.0	1/297.0
GRS 80	6378137.0	1/298.257222101
WGS 84	6378137.0	1/298.257223563

Referans elipsoidleri daha çok konum belirlemede kullanılır. Yükseklik belirlemelerinde jeoit kullanıldığı için konum ölçmeleri ile yükseklik ölçmelerinde farklı referans yüzeylerinde çalışıldığı görülür (Akiz, 2007).

2.2. Yeryuvarının Gravite Alanı

2.2.1. Çekim kuvveti

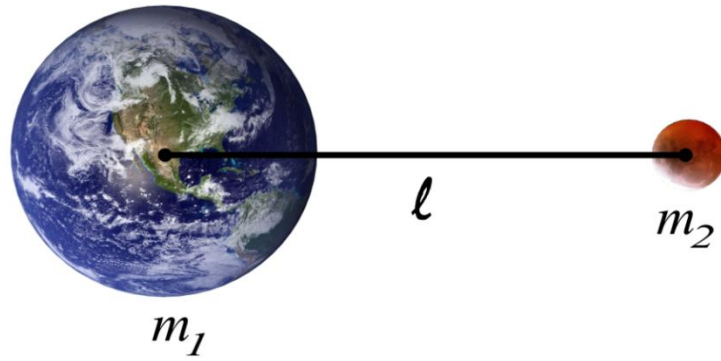
Newton' un çekim yasasına göre, büyüklüğü ve aralarındaki mesafesi ne olursa olsun uzaydaki tüm cisimler birbirine çekim kuvveti uygular. Herhangi iki cisim arasındaki bu kuvvet, bu iki kitlenin çarpımıyla doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın

karesi ile ters orantılıdır. Buna göre aralarında ℓ uzaklığı bulunan m_1 ve m_2 kütleli iki cismin birbirine uyguladıkları çekim kuvveti;

$$F = G \frac{m_1 m_2}{\ell^2} \quad (2.1)$$

şeklindedir.

Burada F, iki kitle arasındaki çekim kuvvetinin büyüklüğüdür. Cisimlerden biri çeken diğeri çekilen olarak dikkate alınır. Sonuç olarak F kuvveti iki yönlüdür. Cisimler birbirlerini ters yönde ve aynı kuvvette çekerler.



Şekil 2.3. Gravite kuvveti

Burada G, yerçekimi sabiti olup değeri;

$$G = 6,6742 (\pm 0,0010) \cdot 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2} \text{ şeklindedir.}$$

m_1 =Birinci kütleinin büyüklüğü

m_2 =İkinci kütleinin büyüklüğü

ℓ =İki kütle arasındaki mesafedir.

Kütle çekim yasası yerçekimine indirgenirse, m_1 ve m_2 kütlelerinden biri birim kütle olarak düşünülebilir. Böylece yerçekimi kuvveti, yerçekimi ivmesine dönüşmüş olur.

$$b = G \frac{m}{\ell^2} \quad (2.2)$$

şeklinde gösterilir.

2.2.2.Çekim potansiyeli

V skaler büyüklüğüne çekim potansiyeli denir ve birim kitleyi sonsuzdan P noktasına getirmek için çekim kuvvetinin yapması gereken iş olarak tanımlanır.

Çekim potansiyeli, nokta kitle için;

$$V = \frac{G m}{\ell} \quad (2.3)$$

yeryuvarı için;

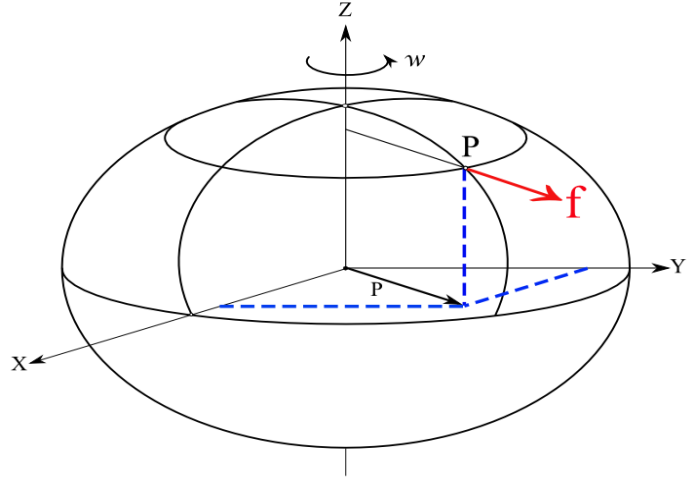
$$V = G \iiint_{\text{yeryuvarı}} \frac{dm}{\ell} \quad (2.4)$$

şeklindedir.

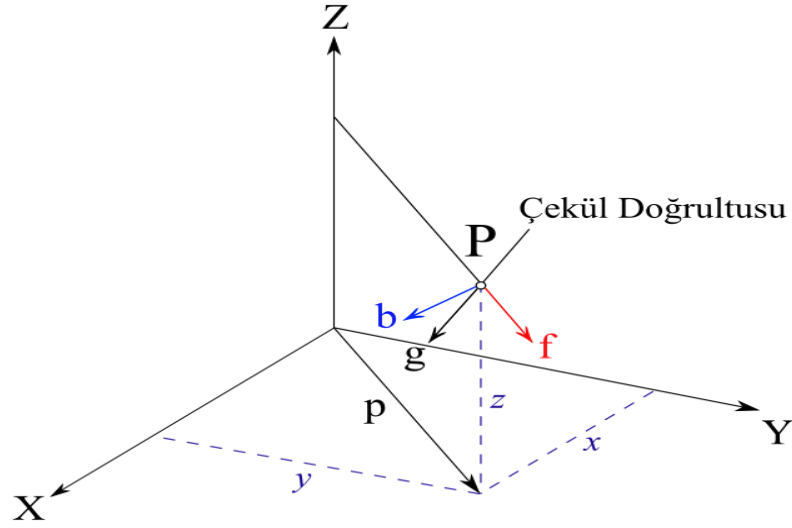
2.2.3. Gravite alanı

Gravitenin tanımı, yeryüzündeki bir cisme etki eden yerçekimi (b) ve merkezkaç kuvvetlerinin (f) toplamıdır.

$$g = b + f \quad (2.5)$$



Şekil 2.4. Gravite kuvveti ve merkezkaç



Şekil 2.5. Gravite kuvveti ve bileşenleri

Burada ω , yeryuvarının sabit açısal hızını göstermekte ve değeri; $\omega = 7,292115 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$.Merkezkaç kuvvetinin büyüklüğü;

$$f = \omega^2 \cdot p \quad (2.6)$$

ile gösterilir.

p ise noktanın, yeryuvarının dönme eksenine olan uzaklığını tanımlar ve $p(x,y,0)$ olup,

$$p = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2.7)$$

şeklinde hesaplanır.

Sonuç olarak merkezkaç kuvveti;

$$\Phi = \frac{1}{2}\omega^2(x^2 + y^2) \quad (2.8)$$

şeklinde elde edilir (Üstün, 2006).

2.2.4. Gravite potansiyeli

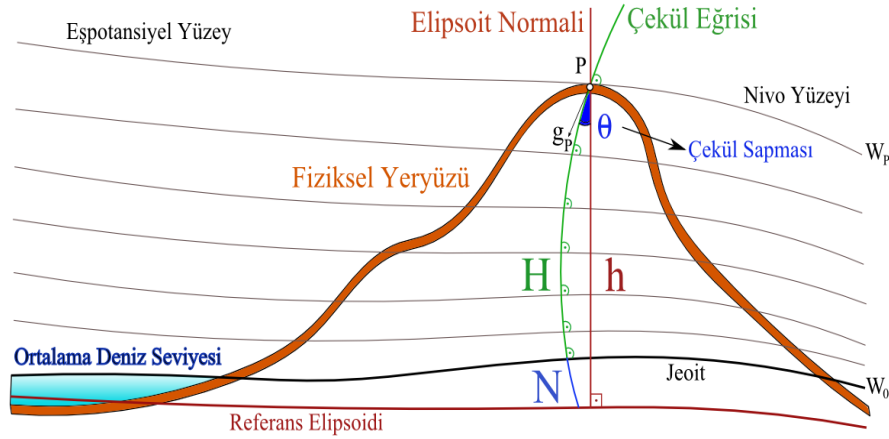
Yeryuvarının gravite alanı olarak tanımladığımız şey çekim ve merkezkaç kuvvetlerinin bileşkesiyle oluşan yerçekimi vektör alanından başka bir şey değildir. Buna göre yerçekimi ya da başka bir deyişle gravite potansiyeli çekim ve merkezkaç potansiyellerinin toplamına eşittir (Üstün, 2006).

$$W = V + \Phi = G \iiint_{\text{yeryuvarı}} \frac{dm}{\ell} + \frac{1}{2}\omega^2(x^2 + y^2) \quad (2.9)$$

Eşpotansiyel yüzeyin tanımıysa, her noktada aynı gravite potansiyeline sahip olan yüzeydir. Uzayda her noktadan bir eşpotansiyel yüzey geçer ve dolayısıyla uzayda sonsuz sayıda eşpotansiyel yüzey vardır. Eşpotansiyel yüzeyler birbirini kesmeyen ve birbirine paralel olmayan kapalı yüzeylerdir. Eşpotansiyel yüzeylerden biri bizim için çok önemli ve özeldir. Bu yüzey yeryuvarının gerçek şekli olarak adlandırılan ve W_0 =sabit noktalarının oluşturmuş olduğu yüzey olan jeoitir.

Eşpotansiyel yüzeyin herhangi bir noktasındaki gravite doğrusu, eşpotansiyel yüzeye diktir. Sonuç olarak eşpotansiyel yüzeyler, birbirini kesmeyen ve birbirine

paralel olmayan yüzeyler olduğundan çekül doğruları gerçekte doğru değil, uzay eğrileridir. Dolayısıyla her noktada eşpotansiyel yüzeyi dik kesen bu eğriye çekül eğrisi denir. Çekül eğrisinin ölçüdeki rolü oldukça önemlidir.



Şekil 2.6. Çekül sapması

Çekül doğrultuları gravite alanının en büyük eğim doğrultusudur. Gravite alanının kuvvet çizgilerine çekül doğrultusu denir. Her noktasında çekül doğrultusuna dik olan yüzeylere nivo yüzeyi denir. Fiziksel yeryüzünde yapılan ölçmeleri, tartışılmaz bir şekilde ancak çekül doğrultuları ve nivo yüzeylerinden meydana gelen bir sistem içinde değerlendirmek mümkündür (Ceylan, 1993).

Yüzeylerin incelenmesinde ve matematiksel bağıntılarının tespitinde yüzeylerin normallerinden yararlanabiliriz. Düzlemde normaller paralel olurken, kürede ise çakışır. Elipsoit normali ile çekül doğrultusu çakışabileceği gibi bazı durumlarda da çakışmayıp çekül sapması açısı θ oluşturur. Çakışmaları için ise astronomik olarak saptanan enlem, boylam ve semt değerlerini jeodezik değerlere eşitleriz.

Uygulamaya yönelik belli bir yükseklik sisteminde iki temel özellik aranır. Bunlar; nivelman sonuçlarının, nivo yüzeylerinin paralel olmasından kaynaklanan yola bağımlılık etkisinin yok edilebilme özelliği ve ölçülen yükseklik farklarına getirilen düzeltmelerin küçük derecede olma özelliğidir (Heiskanen ve Moritz, 1984).

Buradan yola çıkılarak, jeodezide kullanılan bazı yükseklik sistemleri tanımlanmaktadır.

Yükseklik denildiğinde, yeryüzündeki bir noktanın başka bir yüzey ile olan ilişkisi anlaşılır. Bu ilişki fiziksel ya da geometrik esaslara göre kurulabilir.

Uygulamada genellikle yerin gravite alanına göre tanımlanmış yükseklik sistemleri kullanılır. Gravite alanı ile ilişkili yükseklik türleri;

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

Gravite alanı ile ilişkili olmayan, tümüyle geometrik esaslara göre belirlenen yükseklik türü denildiğinde ise genellikle GPS ile elde edilen elipsoidal yükseklikler anlaşılır (Üstün, 2006). Temel olarak yükseklik;

$$\text{Yükseklik} = \frac{\text{Jeopotansiyel Sayı } (C)}{\text{Gravite } (G)} \quad (2.10)$$

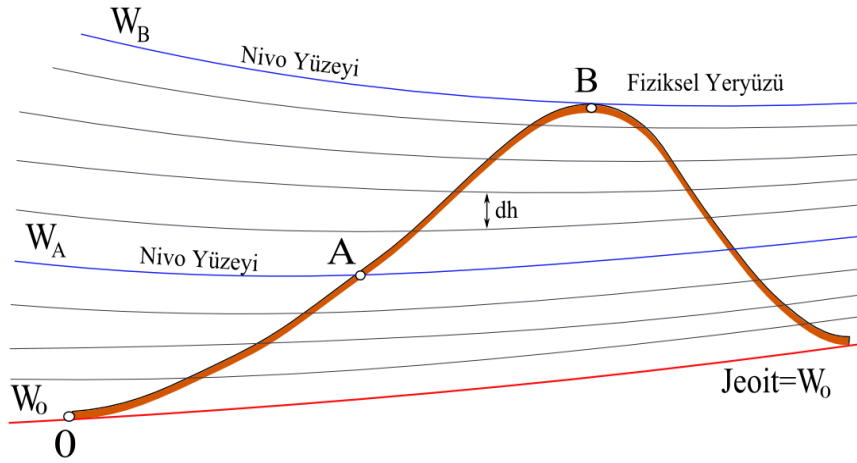
$$H = \frac{C}{G} \quad (2.11)$$

Yükseklik sistemlerindeki farklılık gravite değerlerinin farklı alınmasından kaynaklanmaktadır.

2.3. Yükseklik Sistemleri

2.3.1. Jeopotansiyel yükseklik

Bir B noktasından geçen nivo yüzeyinin W_B potansiyeli ile jeoidin W_0 potansiyeli arasında $kgal \cdot metre$ biriminde verilen potansiyel farka o noktanın jeopotansiyel yüksekliği denir.



Şekil 2.7. Jeopotansiyel yükseklik

Tanım göre bir A noktasının jeopotansiyel yüksekliğinin gösterimi;

$$C_A = W_0 - W_A = - \int_0^A dw = \int_0^A g dh \quad (2.12)$$

şeklindedir. Bu eşitlikte geçen;

W_0 = Jeoidin potansiyeli

W_A = A noktasından geçen nivo yüzeyinin potansiyeli

dw = Birbirine diferansiyel anlamda yakın iki nivo yüzeyi arasındaki potansiyel farkı

dh = Diferansiyel anlamda yükseklik farkı

g = Diferansiyel anlamda yükseklik farkına karşılık yeryüzünde ölçülebilen gravite değeri

C_A = A noktasının jeopotansiyel yüksekliği

(2.12) eşitliğinde nivelman güzergâhı boyunca gravite sabit kabul edilirse;

$$C = \int_0^A g dh = g \int_0^A dh \cong gH \quad (2.13)$$

olur.

Bu eşitlikte;

g = A noktasının gravite değeri

H = A noktasının geometrik nivelman ile bulunan yüksekliğidir.

Yükseklik farkı ΔH ve bunu sınırlayan iki noktada ölçülen gravite değeri ortalaması G_0 ise jeopotansiyel sayı (2.12) den;

$$C_A = \sum_0^A G_0 dh \quad (2.14)$$

bulunur.

A ve B noktalarının jeopotansiyel sayıları arasındaki fark (2.12) den

$$C_B - C_A = \Delta C_{AB} = W_A - W_B = \int_A^B g dh \approx \sum_A^B G_0 \Delta h \quad (2.15)$$

elde edilir.

Jeopotansiyel kotu bilinen bir noktadan başlanarak diğer tüm noktaların jeopotansiyel kotları;

$$C_B = C_A + \Delta C_{AB} = C_A + \sum_A^B G_0 \Delta h \quad (2.16)$$

yardımıyla hesaplanır.

C , fiziksel anlamda bir büyüklük olup dünyanın gravite alanı ile ilişkilidir. C 'nin birimi kgal*metre olup fiziksel bir büyüklük olduğundan, yükseklik sistemleri için kullanılan metrik sistemle çelişir. Bu nedenle metrik sisteme geçmesi için 1 kgal' e bölünür. Bu geçiş jeopotansiyel yüksekliğin fiziksel niteliklerini ortadan kaldırmaz.

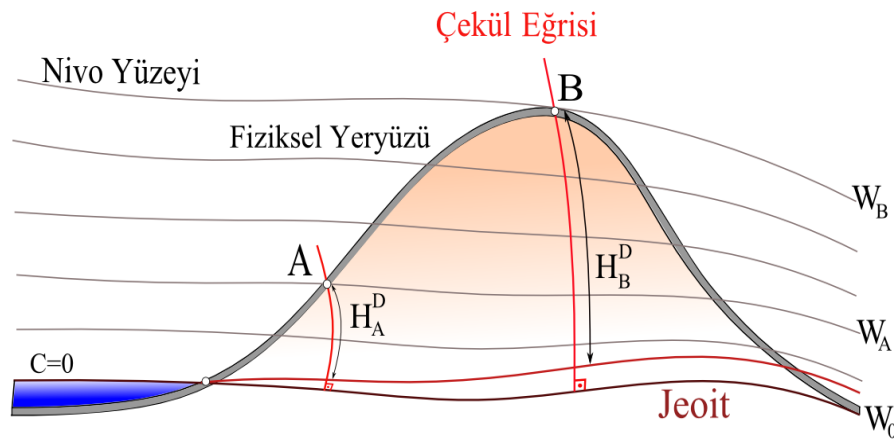
Jeopotansiyel kot nivelman yoluna bağılı değildir. Bunun nedeni ise hangi yol izlenirse izlensin iki nokta arasındaki potansiyel farkın hep aynı olmasıdır. Jeoidin, jeopotansiyel yüksekliği sıfıra eşittir. Ayrıca nivo yüzeylerinden her birine jeopotansiyel kotların yalnız bir tek değeri karşılık gelir. Ölçüm yöntemleri içinde jeopotansiyel kot ölçümleri en hassas tekniği oluşturur. Ülke nivelman ağında jeopotansiyel sayı farklarını ölçerek, nivelman ağının dengelenmesi jeopotansiyel sayı farkları yardımıyla yapılır. Jeopotansiyel yükseklikler öteki yükseklik sistemleri için temel büyüklük olup, tüm yükseklikler buradan üretilir (Üstün, 2007).

2.3.2. Dinamik yükseklikler

Fiziksel bir büyüklük olup, birimi kgal*metre olan jeopotansiyel yükseklikler, keyfi olarak seçilen ve kgal biriminde olan gravite sabitine bölünerek metrik hale dönüşürler. Bu dönüşümden elde edilen yüksekliklere dinamik yükseklikler denir.

Seçilecek gravite sabiti için daha çok Helmert' in önerisine uygun olarak 45^0 enlemindeki normal gravite değeri alınır. Helmert' in önerisine göre gravite sabiti GRS80 için $\gamma_0 = 980,6199203 \text{ gal}$ olup, hangi nokta olursa olsun bu sabite bölüyoruz.

$$H = \frac{C}{\gamma_0} \quad (2.17)$$



Şekil 2.8. Dinamik yükseklikler

A ve B noktalarının dinamik yükseklikleri;

$$H_A^{din} = \frac{C_A}{\gamma_0} , H_B^{din} = \frac{C_B}{\gamma_0} \quad (2.18)$$

olur. (2.17) eşitliği yardımıyla A ve B noktaları arasındaki yükseklik farkı ΔH ;

$$\Delta H = H_B^{din} - H_A^{din} = \frac{1}{\gamma_0} (C_B - C_A) = \frac{1}{\gamma_0} \int_A^B g \, dh \quad (2.19)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Dinamik yükseklikleri yukarıdaki bağıntılarla hesaplayabilmek için jeopotansiyel kot farklarının önceden tespit edilmesi gerekir. Dinamik yüksekliklerin herhangi bir geometrik anlamı yoktur. Dinamik yükseklikler ile jeopotansiyel yükseklikler belli bir oranda birbirlerinden ayrıldıkları için fiziksel karakterleri aynıdır. Ülke ölçmelerinde geometrik nivelman sonuçları çoğunlukla dinamik düzeltme getirilerek dinamik yükseklik farkları elde edilir. Aynı nivo yüzeyleri üzerinde bulunan noktaların dinamik yükseklikleri de birbirine eşittir.

Jeopotansiyel kotta olduğu gibi dinamik yüksekliklerde de jeoidin dinamik yüksekliği sifıra eşittir. Her nivo yüzeyine karşılık tek bir yükseklik değeri karşılık gelir. Her iki nivo yüzeyi üzerinde bulunan noktalar arasındaki dinamik yükseklik farkları eşittir. Dinamik yükseklikler biliniyorsa diğer yükseklikler kolayca hesaplanabilir. Fakat dinamik yüksekliklerdeki dinamik yol dengelemesinin büyük olması onların pratikte önemini azaltmaktadır (Turgut, 1996; Tuşat, 2000; Yiğit, 2003).

2.3.3. Ortometrik yükseklik

Ortometrik yükseklik, P noktasından geçen çekül eğrisi boyunca ölçülen yüksekliklerdir ve çekül eğrisinin jeoidi (W_0) kestiği noktanın yüksekliği sifırdır.

Tanımdan da anlaşılacağı üzere ideal koşullarda yükseklik farklarının ve gravite ölçülerinin bu eğri boyunca yapılması gerekir. P noktasının jeopotansiyel kotu başka yollardan belirlense bile çekül eğrisi boyunca ortalama g değeri bilinmelidir. Topografik kitlelerin yoğunluğu yaklaşık olarak bilindiğinden bu değerlere belirli varsayımlarla yaklaşmak mümkündür.

$$C_P = W_0 - W_P \approx \sum_{P_0}^P g \Delta H \quad (2.20)$$

P noktasının nivelman yolundan bağımsız jeopotansiyel kotu olmak üzere ortometrik yükseklik;

$$H = \frac{C_P}{\bar{g}} \quad (2.21)$$

ile tanımlanır. Burada

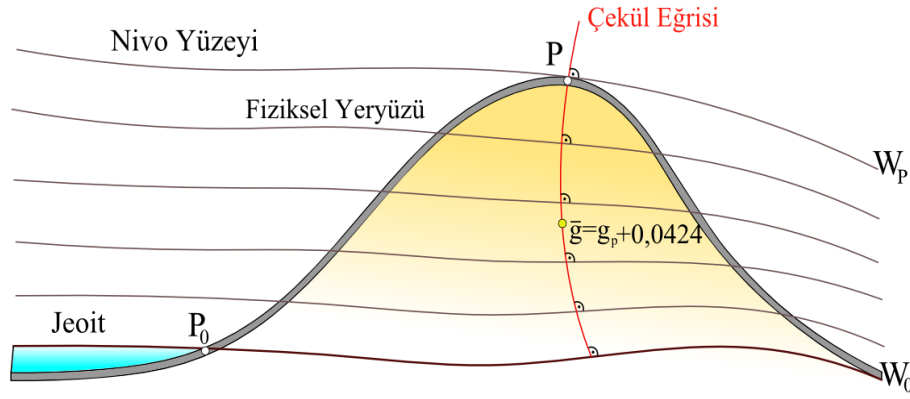
$$\bar{g} = \frac{1}{H} \int_0^H g dH \quad (2.22)$$

topografik kitleler içerisinde çekül eğrisi boyunca ölçülmesi gereken gerçek gravite değerlerinin ortalamasıdır.

Helmert' in bu değer için öngördüğü varsayım, kendi adıyla anılan ortometrik yükseklik bağıntısı;

$$H = \frac{C_P}{g_P + 0,0424 H} \quad (2.23)$$

ortaya çıkmıştır. Burada; g_P gal, H km birimindedir (Üstün, 2006).



Şekil 2.9. Ortometrik yükseklik

Özetlemek gerekirse, kitlelerin yoğunluğu bilinmediğinden ve ölçüm yaptığımız her noktada g değeri ölçülemeyeceğinden g 'lerin ortalamasını almak işimizi daha kolaylaştıracaktır. Bu yüzden çekül eğrisi boyunca ortalama bir g değeri alınır.

$$\bar{g} = g_p + 0,0424 H \quad (2.24)$$

Ortometrik yükseklikler topografik harita üretimi için kullanılır. Çekül eğrisi boyunca ölçülür ve başlangıcı jeoitdir. Kitle yoğunlukları tam olarak bilinmediğinden varsayım ölçmeleridir. Ortometrik yükseklikler geometrik bir anlam taşımayıp fiziksel büyüklüklerdir. Aynı nivo yüzeyi üzerinde farklı iki noktanın ortometrik yükseklikleri farklıdır. Ortometrik yükseklikler nivelman yüksekliklerine dinamik yüksekliklerden daha yakın olup bunun nedeni ise ortometrik düzeltmelerin genellikle daha küçük olmasıdır.

2.3.4. Normal yükseklik

$H = \frac{C_P}{\bar{g}}$ de \bar{g} yerine, normal gravite alanındaki karşılığı $\bar{\gamma}$ yazılırsa;

$$H^N = \frac{C_P}{\bar{\gamma}} \quad (2.25)$$

P yüzey noktası ile kuasijeoit arasında kalan normal çekül eğrisinin boyu elde edilir. Burada;

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{H^N} \int_0^{H^N} \gamma dH^N \quad (2.26)$$

normal gravite alanının çekül eğrisi üzerinde H^N boyunca γ değerlerinin ortalamasıdır. Uygulamada $\bar{\gamma}$ değerine;

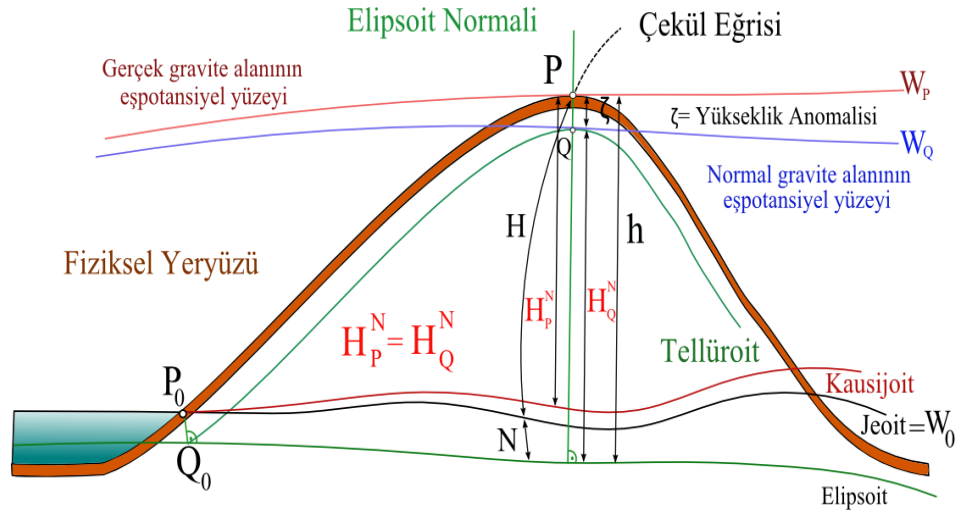
$$\bar{\gamma} \approx \gamma \left[1 - (1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) \frac{H^N}{a} + \frac{H^{N^2}}{a^2} \right] \quad (2.27)$$

ile herhangi bir varsayıma gerek duyulmaksızın yaklaşılabilir.

Bu nedenle ortometrik yüksekliğin aksine, H^N varsayımdan bağımsızdır ve uygulamada yaygın olarak kullanılan bir yükseklik türüdür.

Normal yükseklik elipsoit yüzeyinden itibaren de gösterilebilir. Bu durumda, nivo elipsoidi başlangıç yüzeyi olmak üzere H^N yüksekliklerinin tanımlandığı yüzeylere tellüroit adı verilir.

Fiziksel jeodezide büyük bir öneme sahip Molodenski yaklaşımı tellüroide göre fiziksel yeryüzünün veya başka bir değişle nivo elipsoidine göre kuasijeoidin belirlenmesini ele alır. Kuasijeoit bir eşpotansiyel yüzey değildir, sadece deniz seviyesinde jeoitte çakışır. İkisi arasındaki fark varsayılan kitle yoğunluğundaki sapmalara bağlıdır. Genellikle topografya yükseldikçe artar, örneğin Türkiye’ de 0–30 cm arasında değişir (Üstün, 2006).



Şekil 2.10. Normal yükseklik

Başlangıç elipsoidi ile kausijeoit arasındaki uzaklık, yükseklik anomalisi (kausijeoit yüksekliği);

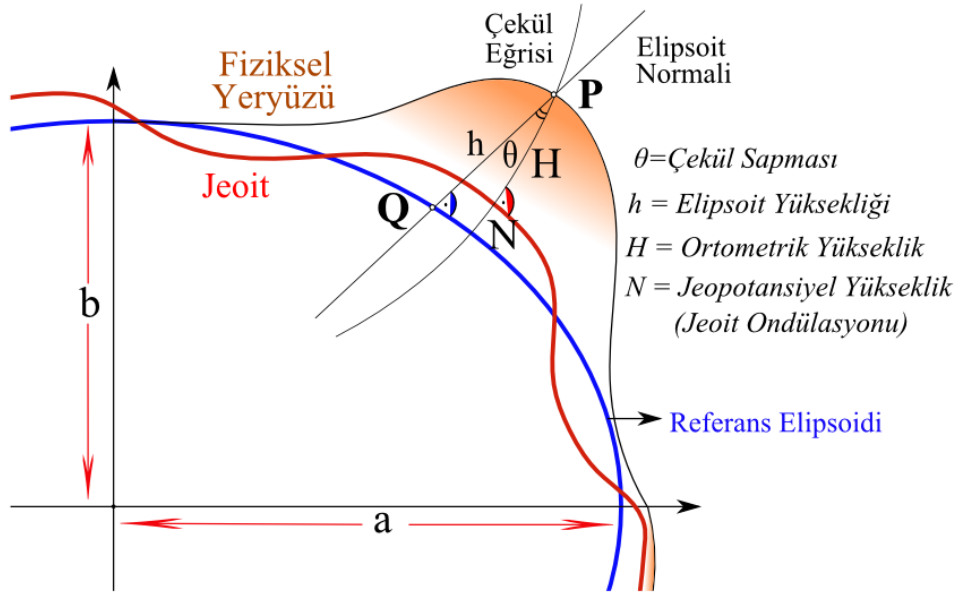
$$\zeta = h - H^N \quad (2.28)$$

olarak tanımlanır.

Yüksek dağlık yerlerde kausijeoit ile jeoit arasındaki fark (uzaklık) yaklaşık 2 m bulur (Erkaya, 2006).

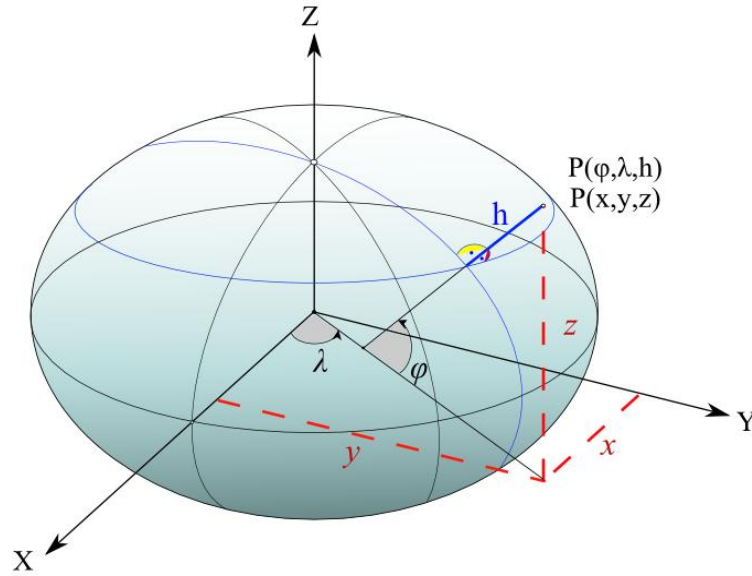
2.3.5. Elipsoidal yükseklik

Elipsoidal yükseklik, fiziksel yeryüzündeki herhangi bir P noktasının, elipsoit normalini boyunca, seçilen referans elipsoidine izdüşümü ile arasındaki mesafedir.



Şekil 2.11. Elipsoidal yükseklik (h)

P noktasının seçilen elipsoit üzerindeki izdüşümü Q dur. Elipsoit yüksekliği h ile gösterilmiştir.



Şekil 2.12. GPS ile elde edilen kartezyen koordinatların elipsoidal koordinatlara dönüşümü

Geometrik esaslara göre elde edilen yüksekliklerde, referans yüzeyi küre, düzlem veya elipsoittir. GPS ile elde edilen elipsoidal yükseklikler (h) tamamen geometrik esaslara göre elde edilmiş olup, dünyanın gravite alanı ile hiçbir ilişkisi yoktur. Elipsoidal yükseklik sadece referans elipsoidi dikkate alınarak oluşturulur. GPS ile üç boyutlu jeosentrik bir koordinat sisteminde seçilen referans elipsoidine göre üç

boyutlu koordinat bilgisi üretilir. Dolayısıyla GPS, üç boyutlu jeodezinin tüm gereklerini yerine getirmektedir. GPS ile elde edilen kartezyen koordinatlar (X,Y,Z), jeodezik enlem, boylam ve elipsoidal yüksekliklere dönüştürülebilir.

Elipsoidal yükseklik, yeryuvarının gravite alanından bağımsız olduğu için bu yükseklik türüyle suyun akış yönü belirlenemez, mühendislik hizmetlerinde doğrudan kullanılamaz. Uygulamada gravite alanı ile ilişkili ortometrik yükseklikler kullanılır. Sonuç olarak elipsoidal yüksekliklerin mühendislik hizmetlerinde kullanılabilmesi için ortometrik yüksekliklere dönüştürülmeleri gerekmektedir.

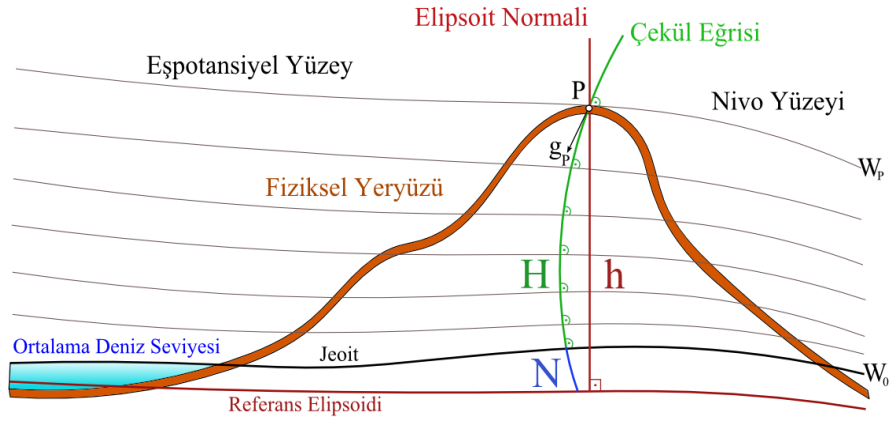
Elipsoit yüzeyi üzerinde matematiksel hesapları doğrudan yapmaya imkân verdiğinden, fiziksel yeryüzünde yapılan ölçüler bir izdüşüm yöntemine göre elipsoit yüzeyine indirgenir. Bunun için iki izdüşüm yöntemi vardır. Bunlar Pizetti ve Helmert izdüşüm yöntemleridir. Pizetti izdüşüm yönteminde, fiziksel yeryüzü noktasında yapılan ölçülerin önce çekül doğrultusu boyunca jeoid üzerine izdüşümü yapılır. Daha sonra jeoid üzerine iz düşürülen değerler elipsoit yüzeyine indirgenir. Helmert izdüşüm yönteminde ise fiziksel yeryüzündeki nokta, hesap yüzeyi olan dönел elipsoide bu elipsoidin normali boyunca iz düşürülür. Pek çok amaç için Helmert ve Pizetti izdüşümü arasındaki fark dikkate alınmayabilir. Helmert izdüşümünde özellikle elipsoidal koordinatların (φ , λ , h) dik koordinatlara (X, Y, Z) doğrudan dönüşüm imkânı gibi pratik üstünlükleri olduğundan bu izdüşüm yöntemi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Pizetti yönteminde indirgeme iki aşamalı olduğundan izdüşüm daha fazla uğraş gerektirir (Yurt, 2006). Elipsoit yüksekliği elde edildiği mevcut büyüklüklere göre iki yöntemle elde edilir.

1) Doğal büyüklükler yöntemi

Bu yöntemde elipsoit yüksekliği, jeoit yüksekliği N ve ortometrik yüksekliği H olmak üzere;

$$h \cong H + N \quad (2.29)$$

eşitliğinden elde edilebilir.



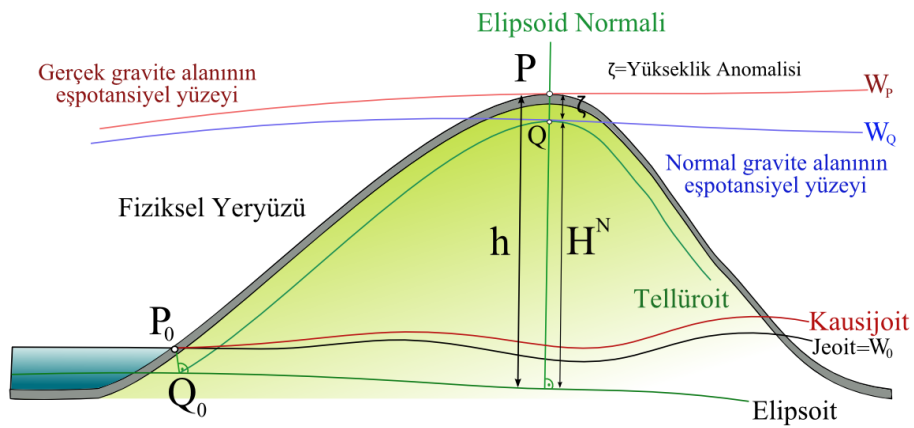
Şekil 2.13. Doğal büyüklükler yöntemi, elipsoidal ve ortometrik yükseklik arasındaki ilişki

2) Standart büyüklükler yöntemi

Bu yöntemde elipsoid yüksekliği, ζ yükseklik anomalisi ve H^N normal yüksekliği göstermek üzere;

$$h \cong H^N + \zeta \quad (2.30)$$

eşitliğinden elde edilebilir. (Yiğit, 2003)



Şekil 2.14. Standart büyüklükler yöntemi

3. ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERİN HESABI

GPS ile jeosentrik kartezyen koordinat sisteminde 3 boyutlu koordinatlar veya koordinat farkları elde edilebilmektedir. Kartezyen koordinatlar seçilen referans elipsoidine (WGS 84) göre dönüşüm yapılarak jeodezik enlem, boylam ve elipsoidal yüksekliklere dönüştürülebilir. GPS ile elde edilen elipsoidal yükseklikler pratik haritacılıkta doğrudan kullanılamazlar, elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekir (Ceylan ve İnal, 2003).

Ortometrik yüksekliklerin belirlenmesi için (B.Ö.H.H.B.Ü.Y., 2005) yönetmelikte uygulanacak yöntemler 28. maddede belirtilmiştir. Buna göre noktaların Helmert Ortometrik Yükseklikleri geometrik nivelman, trigonometrik nivelman veya GPS nivelmanı yöntemlerinden biriyle belirlenir.

1-Geometrik Nivelman

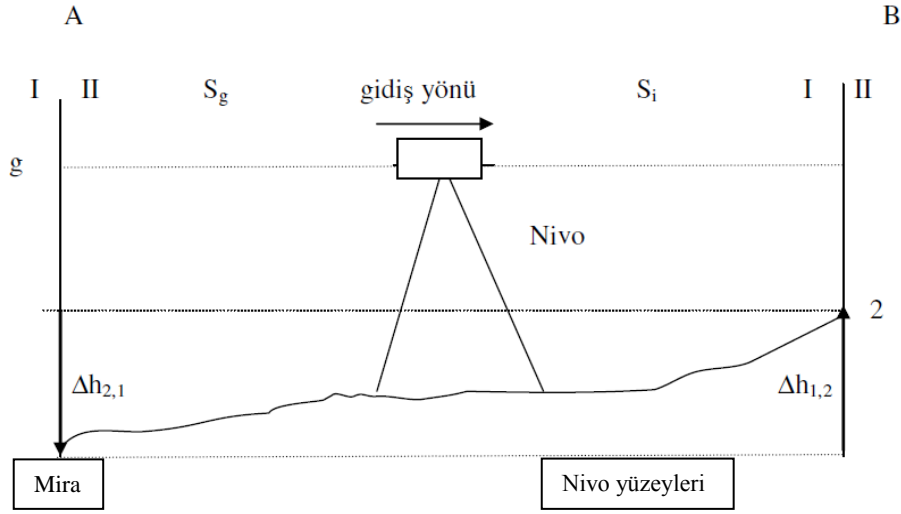
2-Trigonometrik Nivelman

3-GPS Nivelmanı

3.1. Geometrik Nivelman

Geometrik nivelman, nivo ve düşey olarak tutulan miraları yardımıyla yükseklik farklarının belirlenmesidir. Geometrik nivelman ilk bakışta uygulaması çok basit ve en iyi sonuç veren bir yöntem gibi görünebilir. Ancak, pratik uygulamalar sonucu, bu yöntemin, özellikle engebeli arazilerde uygulaması oldukça zor ve birçok düzenli ya da düzensiz model hatalarına karşı duyarlı olduğunu ortaya koymuştur (Ceylan, 1993; Baykal, 1989).

3.1.1. Ana model



Şekil 3.1. Geometrik nivelman ana modeli

Geometrik nivelman ana modeli yukarıda gösterilmiştir. Geometrik nivelman modeli oluşturulurken bazı kabuller yapılmıştır. Bu kabuller;

- Yükseklik farkı belirlenecek noktalardan geçen nivo yüzeyleri ile nivonun gözleme düzlemi birbirine paralel düzlemlerdir.
- Bu noktalardan geçen düşey doğrultular ile yatay düzlemler birbirine diktir.
- Nivelman ölçüleri sırasında miralar daima düşey konumdadır.
- Mira bölüm çizgilerinde, kesin olarak tanımlanmış uzunluk birimlerinden hiçbir sapma yoktur ve herhangi bir etki nedeniyle böyle bir sapma ortaya çıkmamaktadır.

• Herhangi 2 nokta arasındaki yükseklik farkı bir vektördür. Bu vektörün doğrultusu düşey doğrultu ile çakışır. Yönü ise gidiş yönüne göre seçilir.

$$\vec{\Delta h}_{12} \geq 0 \text{ ise } \vec{\Delta h}_{21} \leq 0 \quad \text{veya} \quad \vec{\Delta h}_{12} \leq 0 \text{ ise } \vec{\Delta h}_{21} \geq 0$$

• İki nokta arasındaki yükseklik farkı, söz konusu iki noktadan geçen nivo yüzeyleri arasındaki düşey uzaklığa eşittir.

• A ve B gibi birbirinden uzak iki sabit nokta arasındaki yükseklik farkını belirlemek için $\Delta h_{AB} = \Delta h_{A1} + \Delta h_{12} + \Delta h_{23} + \dots + \Delta h_{nB} = \sum \Delta h$

yazılır (Baykal, 1989).

3.1.2. Fonksiyonel model

Fonksiyonel model, bir istasyon noktasında yapılan geri okuma (g), ileri okuma (i); nivelman kenarlarında gidiş ölçmesi (G), dönüş ölçmesi (D) indisleri ile gösterilirse şekilden,

$$\Delta h_{12} = (g - i)_G \quad (3.1)$$

yazılır. Gidiş ölçmeleri için;

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_G = \sum \Delta h_G = \sum g_G - \sum i_G \quad (3.2)$$

Dönüş ölçmeleri için;

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_D = \sum \Delta h_D = \sum g_D - \sum i_D \quad (3.3)$$

yazılır. Gidiş ve dönüş ölçmeleri arasında;

$$\Delta H_G = -\Delta H_D \quad (3.4)$$

bağıntısı geçerlidir.

Nivelman yapılan noktaların yüksekliklerinin bulunabilmesi için en az bir noktanın yüksekliğinin bilinmesi gerekir. Diğer noktaları yükseklikleri ise;

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} = H_A + \Delta H_G \quad (3.5)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir (Baykal, 1989; Ceylan, 1993)

3.2.Trigonometrik Nivelman

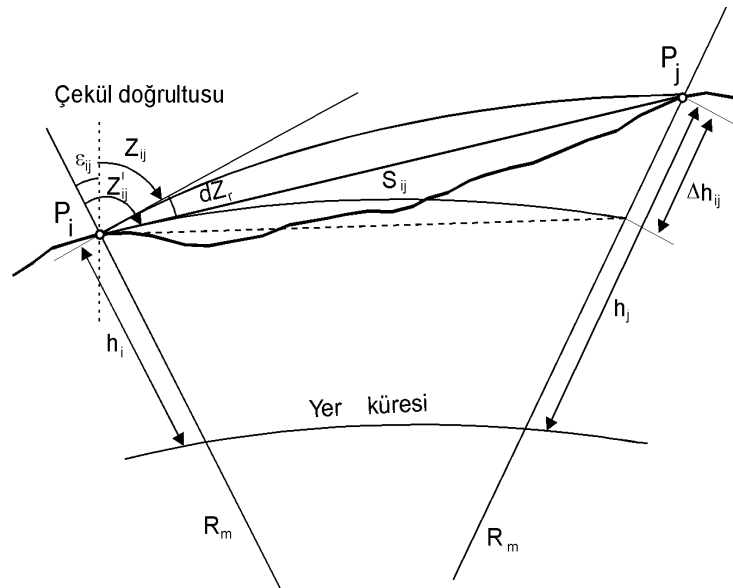
Trigonometrik nivelman, düşey açı ve uzunluk yardımıyla yükseklik farklarının belirlenmesidir. Trigonometrik nivelman yöntemleri, yer zaman ve düşey açı gözlemlerinin yapılış biçimine göre

- Tek taraflı trigonometrik nivelman
- Ortadan (atlamalı) trigonometrik nivelman
- Karşılıklı trigonometrik nivelman

olarak sınıflandırılabilir (Ceylan ve İnal, 2003).

3.2.1.Tek taraflı trigonometrik nivelmanda ölçme ve hesap modeli

Tek taraflı trigonometrik nivelmanda gözlemler, bir istasyon noktasına kurulan total station ile diğer noktaya düşey olarak yerleştirilen hedef levhasında tek taraflı olarak yapılmaktadır. Tek taraflı trigonometrik nivelmanın ölçme modeli şekil 3.2' de gösterilmiştir. Ölçme modelinde nivo yüzeylerinin aynı merkezli küre yüzeyleri olduğu varsayılmıştır.



Şekil 3.2. Tek taraflı trigonometrik nivelmanın ölçme modeli

Şekil 3.2’de,

Z'_{ij} :ölçülmesi gereken (küresel) düşey açı,

Z_{ij} :gözlenen düşey açı

dZ_r :refraksiyonun neden olduğu model hatası

ε_{ij} :çekül sapmasının neden olduğu model hatası

S_{ij} :eğik uzunluk

R_m :yer eğrilik yarıçapıdır.

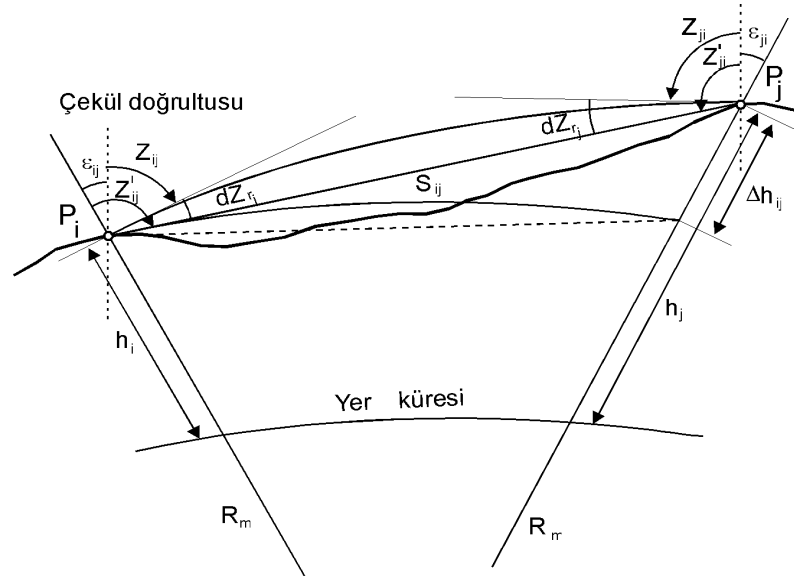
P_i ve P_j noktaları arasındaki yükseklik farkı (Δh_{ij}),

$$\Delta h_{ij} = (S_{ij} \cos Z_{ij}) + \left(\frac{S_{ij}^2}{2R_m} \sin^2 Z_{ij} \right) - S_{ij}(\varepsilon_{ij} + dZ_r)(\sin Z_{ij}) \quad (3.6)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada 1. terim nominal yükseklik farkı olup, 2. terim yer eğriliğinin, 3. terim ise düşey refraksiyon ve çekül sapmalarının sonuca etkilerini göstermektedir. Uygulamada ε_{ij} ve dZ_r bilinmediğinden 3. terim ihmal edilerek yükseklik farkları (3.6) bağıntısının ilk iki terimiyle hesaplanır (Coşkun, 2002).

3.2.2. Karşılıklı trigonometrik nivelmanda ölçme ve hesap modeli

Karşılıklı trigonometrik nivelmanda gözlemler, iki istasyon noktasına kurulan total station ile karşılıklı olarak yapılır. Karşılıklı trigonometrik nivelmanın ölçme modeli şekil 3.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Karşılıklı trigonometrik nivelmanın ölçme modeli

(3.6) bağıntısı her iki noktadan yapılan gözlemlere uygulanır ve yükseklik farklarının aritmetik ortalaması alınır aşağıdaki hesap modeli elde edilir.

$$\Delta h_{ij} = \frac{1}{2} \left(S_{ij} (\cos Z_{ij} - \cos Z_{ji}) + \frac{S_{ij}^2}{2R_m} (\sin^2 Z_{ij} - \sin^2 Z_{ji}) \right) - S_{ij} (\varepsilon_{ij} + dZ_{r_i}) \sin Z_{ij} + S_{ij} (\varepsilon_{ji} + dZ_{r_j}) \sin Z_{ji} \quad (3.7)$$

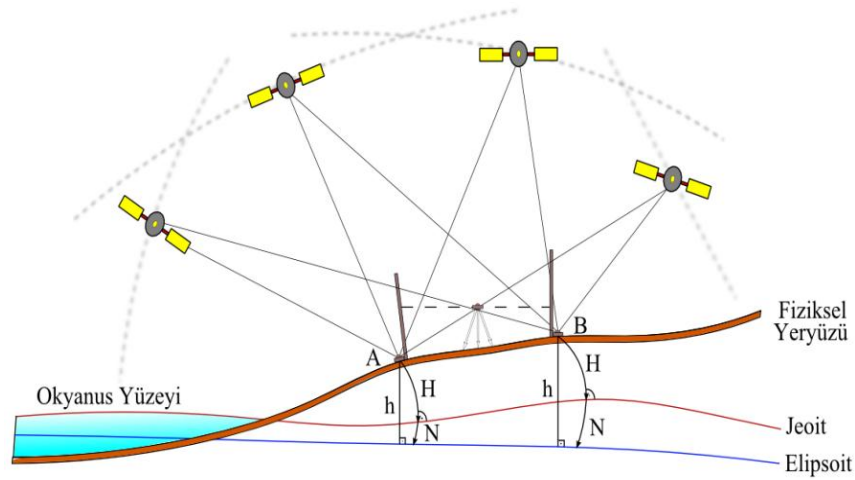
(3.7) bağıntısındaki 1. terim nominal yükseklik farkı olup, 2. terim yer eğriliğinin, 3. ve 4. terim ise düşey refraksiyon ve çekül sapmalarının sonuca etkilerini göstermektedir. Uygulamada, ε_{ij} , ε_{ji} ve dZ_{r_i} , dZ_{r_j} , bilinmediğinden 3. ve 4. terimler ihmal edilerek yükseklik farkı;

$$\Delta h_{ij} = \frac{1}{2} \left(S_{ij} (\cos Z_{ij} - \cos Z_{ji}) + \frac{S_{ij}^2}{2R_m} (\sin^2 Z_{ij} - \sin^2 Z_{ji}) \right) \quad (3.8)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Coşkun, 2002).

3.3. GPS/Nivelman

Günümüzde büyük ölçekli harita üretiminde (halihazır, kadastro, şeritvari haritalar..vb) ve pek çok mühendislik hizmetinde beraberinde getirdiği bir çok kolaylıkla GPS/Nivelmanı, klasik nivelman tekniğinin alternatifi olmuştur. GPS, yüksek doğruluklu veriler sunması, ekonomik olması, zaman kazandırması ve pratik olması nedeniyle başta düşey kontrol ağlarının güncelleştirilmesi, ulusal yükseklik sistemlerinin oluşturulması gibi birçok mühendislik hizmetinde önemli görevler üstlenmiştir.



Şekil 3.4. GPS/Nivelman

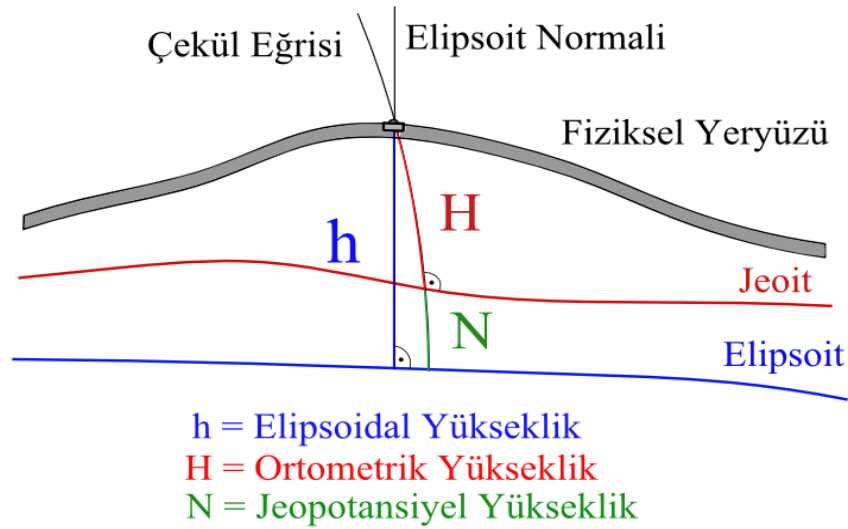
GPS ile jeosentrik kartezyen koordinat sisteminde 3 boyutlu koordinatlar elde edilebilmektedir. Kartezyen koordinatlar istenen referans elipsoidine göre (WGS84) dönüşüm yapılarak, jeodezik enlem, boylam ve elipsoidal yüksekliklere dönüştürülebilir. GPS ile elde edilen elipsoidal yükseklikler pratik haritacılıkta doğrudan kullanılmazlar. Elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekir (Üstün, 2006).

Ortometrik Yükseklik ile Elipsoidal Yükseklik Arasındaki İlişki;

Uygulamada, geometrik nivelman ve gravite ölçülerine dayalı olarak hesaplanan ortometrik yükseklikler kullanılır. GPS ölçüleri ile üç boyutlu jeosentrik bir koordinat sisteminde seçilen başlangıç elipsoidine göre elipsoidal yükseklik h , belirlenmekte olup elipsoidal yükseklik ile ortometrik yükseklik arasında,

$$h = H + N \quad (3.9)$$

ilişkisi bulunur. Burada, H ortometrik yükseklik, h elipsoidal yükseklik ve N jeoit yüksekliği (jeoit ondülasyonu) olup jeoit ile elipsoit arasındaki uzaklıktır. Ortometrik yükseklik ve elipsoidal yükseklik arasındaki ilişkiler şekil 3.5 de görülmektedir.



Şekil 3.5. Elipsoidal yükseklikle ile ortometrik yükseklik arasındaki ilişki

Elipsoidal yükseklikler, yerin çekim alanından tamamen bağımsızdır. Hâlihazırda komşu GPS noktaları arasındaki 4 ile 10 mm lik yükseklik inceliği, hassas nivelman noktalarının inceliğine yetişemez. Verilen elipsoide ilişkin GPS yükseklikleri ile ağırlık alanında nivelmanla belirlenmiş yüksekliklerin birlikte değerlendirilmesi için jeoidin hassas bilgileri gereklidir. GPS gözlemlerinden türetilen ortometrik yükseklikler, elipsoidal ve jeoit yükseklikleri arasındaki ilişkilerin hassasiyetine bağlıdır. Yükseklik belirlemesinin doğruluk istemlerine uygun yerel bir jeoit kullanılırsa, mühendislik ölçmeleri için GPS yükseklikleri kullanılabilir (Erkaya, 2006).

GPS nivelman, yükseklik belirlemelerinde uygulanan en güncel yöntemdir. Burada, çalışmanın amacına uygun olarak sadece GPS Nivelman ele alınacaktır. Yönetmelikte belirtilen yöntemler ve referans noktaları için yönetmelik ölçütleri ve jeoit modelleri;

Tablo 3.1. Referans Noktaları İçin Yönetmelik Ölçütleri

JEOİT MODELİ	REFERANS NOKTALARI İÇİN YÖNETMELİK ÖLÇÜTLERİ		
	Nokta/Km ²	Uyuşum Testi	Ağ Derecesi
Mevcut TG99A'nın Kullanılması	1 Nokta / 200 km ²	$\Delta H_{[mm]} \leq 12 \text{ mm} S_{[km]}$	C1 derece doğrulukta ölçülür ve ulusal düzey kontrol ağına geometrik nivelman ile bağlantısı yapılarak ortometrik yükseklikler belirlenir.
Lokal GPS/Nivelman Jeoit Hesabı	1 Nokta / 15 km ²	NGPS/Nivelman uyuşumu yüksekliklerin doğrulukları dikkate alınarak test edilir. 1- $\alpha=0.95$ alınır ve uyuşum doğruluğu($\bar{\sigma}$) $\pm 5\text{cm}$ 'den daha iyi olmalıdır.	C1, C2 ve C3**** Dereceli GPS ağı ile ana ve ara nivelman ağının ortak noktaları alınmalıdır.

- TG 99A modelinin çalışma alanında test edilmesi için 200 km² ye kadar en az 4 nokta ve sonrasında her 200 km² ye 1 nokta şeklinde açıklanmaktadır.

- $\Delta H_{[mm]} = H_{\text{Nivelman}} - H_{\text{TG99A+GPS Ölçmesi}}$

- Lokal GPS/Nivelman jeoit modelinin hesaplanması için nokta yoğunluğu 20 km² ye kadar 6 nokta ve sonrasında her 15 km² ye 1 noktadır.

- C1 Derece Ağlar ve Noktalar: Üst derecedeki ağlara dayalı, baz uzunluğu 15–20 km olan ağ ve noktalarıdır.

- C2 Derece Ağlar ve Noktalar: Üst derecedeki ağlara dayalı, ortalama kenar uzunluğu 5 km olan ağ ve noktalarıdır.

- C3 Derece Ağlar ve Noktalar: Üst derecedeki ağlara dayalı, en küçük baz uzunluğu 3 km olan ağ ve noktalarıdır.

GPS yüksekliklerinden nokta ortometrik yüksekliklerinin üretilmesinde mevcut TG99A jeoit modelinin kullanılması durumunda, yeni noktaların Helmert ortometrik yüksekliklerinin;

- ❖ Noktalar arası, elipsoit yükseklik farkları ΔH ve jeoit yükseklik farkları ΔN olmak üzere; $\Delta H = \Delta h - \Delta N$ ortometrik yükseklik farkları bir nivelman ağı dengelemesinde ölçü alınarak ve ortometrik yükseklikleri nivelman ile elde edilmiş olan noktalara dayalı dengeleme hesabı ile

❖ GPS/Nivelman dayanak noktalarında $h - H = N$ temel ifadesine göre hesaplanan jeoit yükseklikleri ($N_{GPS/Nivelman}$) ile TG99A jeoit yükseklikleri (N_{TG99A}) arasındaki farkların ($\delta N = N_{GPS/Nivelman} - N_{TG99A}$) analitik bir eşitlik ile düzeltme yüzeyi olarak modellenmesi ve yeni noktalardaki hesaplanan $\delta N'$ düzeltme değerinin TG99A jeoit yüksekliği değerine eklenmesi sonucu $H = h - (N_{TG99A} + \delta N')$ ifadesi ile hesaplanması söz konusu olmaktadır (B.Ö.H.H.B.Ü.Y., 2005).

3.4. GPS Nivelmanı ile Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesi

GPS ölçüleri ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerinin ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi için, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde (Madde 40–41–42) 4 yöntem belirlemiştir. Bunlar;

- TG–03 Jeoidinin doğrudan kullanılması,
- TG–03 Jeoidinin yerel GPS/Nivelman ölçüleriyle güncelleştirilerek kullanılması,
- Baz vektörlerinde elipsoit ve TG–03 jeoit yükseklik farklarından elde edilen ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi,
- Yerel GPS/Nivelman jeoit modelinin oluşturulmasıdır.

Çalışmada belirtilen jeodezik doğruluk dikkate alınarak, proje için uygun yöntem seçilir.

3.4.1. TG–03 Jeoidinin doğrudan kullanılması

Üzerinde GPS ölçüsü yapılan bir noktanın ortometrik yüksekliği (H); noktanın GPS ölçüsü ile hesaplanan elipsoit yüksekliği (h) ve bu noktanın TG–03 jeoidinden doğrudan enterpolasyon yapılarak hesaplanan jeoit yüksekliği N_{TG-03} olmak üzere, $H = h - N_{TG-03}$ eşitliği ile bulunur.

3.4.2. TG–03 Jeoidinin yerel GPS/Nivelman ölçüleriyle güncelleştirilerek kullanılması

Jeoidin hızlı değiştiği bölgeler, kıyıları ve modellemede az noktanın kullanıldığı bölgelerde TG-03'ün kullanımının meydana getirdiği sakıncaların önüne geçecek, yüksek doğruluklu jeoit hesaplamak amacıyla, çalışma bölgesinde yapılan GPS/Nivelman ölçüleri ile TG-03'ün geliştirilerek kullanıldığı yöntemidir.

Ortometrik yüksekliği (H) bilinen nivelman noktasında GPS ölçüsü yapmak ve dengelemek suretiyle noktaların GPS/Nivelman Jeoit yükseklikleri;

$$N_{GPS/Niv} = h - H \quad (3.10)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada;

h =GPS/Nivelman ölçüleri yapılmış ve dengelenmiş elipsoit yüksekliğidir.

H =Ortometrik yükseklik(Bilinen Nivelman Noktası)

N =GPS/Nivelman jeoit yüksekliğidir.

Nivelman noktalarının arazide GPS ölçüsü ile hesaplanan yerel jeoit yüksekliğinden ($N_{GPS/Niv}$), yine aynı noktanın N_{TG-03} jeoit yüksekliklerinin çıkarılarak jeoidin değişim miktarı;

$$d\hat{N} = N_{GPS/Niv} - N_{TG-03} \quad (3.11)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Nivelman noktalarından hesaplanan jeoit değişim miktarı ($d\hat{N}$)' den yararlanarak uygun bir algoritma ile bir yüzey tanımlanır.

$$\hat{N} = N_{TG-03} - d\hat{N} \quad (3.12)$$

eşitliği ile geliştirilmiş yerel jeoit yükseklikleri belirlenir.

Hesaplanan yerel geliştirilmiş jeoit yüksekliği kullanılarak, noktaların geliştirilmiş ortometrik yükseklikleri;

$$\hat{H} = h - \hat{N} \quad (3.13)$$

eşitliği ile hesaplanır (Gürdal ve Ceylan, 2005).

3.4.3. Baz vektörlerinde elipsoit ve TG–03 jeoit yükseklik farklarından elde edilen ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi

Bu yöntem, jeodezik ağda seçilen baz vektörlerine ait ortometrik yükseklik farklarının ölçü olarak alınarak, nivelman nokta yüksekliğine dayalı olarak dengelenmesi şeklinde tanımlanabilir. Bu amaçla her iki ucunda da GPS ölçüsü yapılmış herhangi bir baz vektörünün uç noktaları arasındaki ortometrik yükseklik farkı;

$$\Delta H_{ij} = (h_j - h_i) - (N_j - N_i) \text{ veya } \Delta H = \Delta h_{ij} - \Delta N_{ij} \quad (3.14)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada;

ΔH_{ij} : Baz vektörünün i ve j noktaları arasındaki ortometrik yükseklik farkı

h_j, h_i : i ve j noktalarında elipsoit yüksekliği

N_j, N_i : i ve j noktalarında enterpolasyon ile hesaplanan N_{TG-03} jeoit yüksekliğidir (Gürdal ve Ceylan, 2005).

Nivelman ağ dengelemesinde; hesaplanan ortometrik yükseklik farkı ölçü ve geometrik nivelman ölçüleriyle hesaplanan GPS/Nivelman noktalarının ortometrik yükseklikleri bilinen olarak alınır (Kılıçoğlu ve Fırat, 2003).

3.4.4. Yerel GPS/Nivelman jeoit modelinin oluşturulması

Bu yöntemde, çalışma bölgesinde yeterli sayı ve dağılımda olacak şekilde seçilmiş ve geometrik nivelman ölçüleri ile ortometrik yükseklikleri hesaplanan GPS noktalarında, GPS/Nivelman jeoit yükseklikleri ($N = h - H$) hesaplanır. Daha sonra, bu noktalardaki GPS/Nivelman jeoit yüksekliklerine uygun bir matematik yüzey geçirilerek bölge için jeoit yükseklikleri modellendirilir (Ceylan, 2007).

3.5. En Uygun Eğri ve Yüzey Polinom Belirlenmesi

3.5.1. En uygun polinom yüzeyinin belirlenmesi

Büyük ölçekli harita üretim (hâlihazır, kadastro vb.) uygulamaları sınırlı bir alanı kapsar. Çoğu kez böyle bir uygulama alanı içinde, hem Helmert ortometrik hem de GRS 80 elipsoidine göre hesaplanmış elipsoidal yüksekliği bilinen noktalar bulunabilir. Doğruluk derecesi yüksek (birkaç cm) böylesi noktalara dayanılarak, analitik bir yüzey fonksiyonuyla gösterilen yerel jeoit modeli oluşturulabilir. Dayanak noktalarının sayısı ve alanın büyüklüğü göz önüne alınarak yüzey modeli,

$$N(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + \dots \quad (3.15)$$

polinom eşitliği ile gösterilebilir. Genellikle 3. dereceyi geçmeyen yüzey polinomu bu iş için yeterli görülür. Jeoit modelini oluşturmak için yapılması gereken, n nokta sayısı için (3.15)'e göre denklem sistemini oluşturmak ve en küçük karelerle (EKK) kollokasyon yaklaşımını uygulayarak a_{ij} katsayılarını belirlemektir. Yerel jeoit fazla değişiklik göstermiyorsa veya alan yeterince küçükse sadece EKK çözümü de yeterli olacaktır (Üstün, 2001).

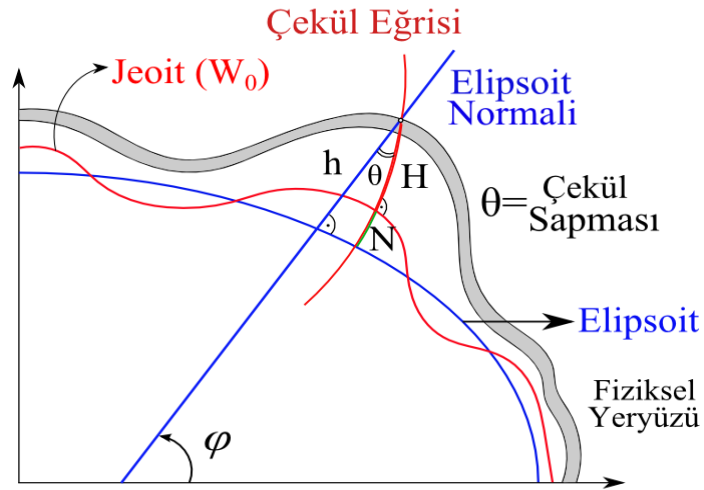
Yerel jeoit yüzeyi için öngörülen 2. dereceden analitik fonksiyon aşağıdaki gibi olup,

$$N(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 \quad (3.16)$$

6 adet bilinmeyen katsayı içermektedir. Fazla ölçü sayısı: $n-u$ (n =Dayanak Sayısı, u =Bilinmeyen Sayısı)

Bu denklemde ölçüler, noktaların ortometrik(H) ve elipsoidal(h) yüksekliklerinden elde edilen, jeoit yükseklikleridir;

$$N = h - H \quad (3.17)$$



Şekil 3.6. Ortometrik, elipsoidal ve jeoit yükseklikleri

Bilinmeyenlerin bir fonksiyonu olarak ölçüler,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 & \dots & x_1^k & x_1 y_1 & y_1^k \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 & \dots & x_2^k & x_2 y_2 & y_2^k \\ 1 & x_3 & y_3 & x_3^2 & x_3 y_3 & y_3^2 & \dots & x_3^k & x_3 y_3 & y_3^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_p & y_p & x_p^2 & x_p y_p & y_p^2 & \dots & x_p^k & x_p y_p & y_p^k \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad l = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ \vdots \\ N_n \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

biçiminde düzenlenir. Ölçüler bilinmeyenlerin bir fonksiyonu $Ax = l$ biçiminde düzenlenir.

$$\begin{pmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 \\ 1 & x_3 & y_3 & x_3^2 & x_3 y_3 & y_3^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & x_n y_n & y_n^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ \vdots \\ N_n \end{pmatrix} \quad (3.19)$$

ve gereğinden fazla ölçü (dayanak noktası) sayesinde bilinmeyen katsayılar EKK yaklaşımı ile,

$$x = (A^T A)^{-1} (A^T l) \quad (3.20)$$

uygulanırsa bilinmeyenler için x 'ler elde edilir. Normal dağılımlı olduğu, yani başka bir değişle GPS/Nivelman verilerinin ağırlıklarının eşit olduğu varsayılan ölçülere gelecek düzeltmeler;

$$v = Ax - l \quad (3.21)$$

ve bunlardan hesaplanan standart sapma (Birim ağırlıklı ölçünün standart sapması);

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{n-u}} \quad (3.22)$$

formülü ile hesaplanır ve öngörülen modelin (derecesi) uygunluğu hakkında önemli bir bilgi verir. Yüzey modelinin oluşturulmasından sonra güzergah içerisinde jeoit yüksekliği bilinmeyen n sayıda nokta için kestirim işlemi uygulanabilir. Bunun için öncelikle kestirim yapılacak noktaların katsayılar matrisi,

$$A_p = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 & \dots & x_1^k & x_1 y_1 & y_1^k \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 & \dots & x_2^k & x_2 y_2 & y_2^k \\ 1 & x_3 & y_3 & x_3^2 & x_3 y_3 & y_3^2 & \dots & x_3^k & x_3 y_3 & y_3^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & x_n y_n & y_n^2 & \dots & x_n^k & x_n y_n & y_n^k \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

oluşturulursa kestirim sonuçları,

$$l_p = A_p x \quad (3.24)$$

matrisi çarpımıyla elde edilir.

Jeoit yükseklikleri bu şekilde hesaplanan noktaların Helmert ortometrik yükseklikleri GPS ile belirlenen elipsoidal yükseklikler kullanılarak $N = h - H$ bağıntısına göre türetilir (Üstün, 2006).

3.5.2.En uygun polinom eğrisinin belirlenmesi (eğri uydurma)

GPS ölçmeleri ile elde edilen elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesinde uygulanan ve yukarıda açıklanan en uygun yüzeyin belirlenmesi (yerel jeoit belirlemeleri) yöntemi, karayolu, demiryolu, kanal vb. şeritvari projeler için uygun sonuçlar vermemektedir. Çünkü yüzey belirlenmesi için gerekli olan uygun konumda referans noktaları bulunamamaktadır. Bu tür projelerde, çalışma alanını yüzey yerine güzergâh şeklinde ele alınması daha doğru olacaktır. Bu durumda, şeritvari çalışma alanı içindeki noktaların hem Helmert ortometrik hem de GRS 80 elipsoidine göre hesaplanmış elipsoidal yüksekliği bilinen noktalardan oluşturulan bir güzergâh seçilebilir. Doğruluk derecesi yüksek (birkaç cm) böylesi noktalara dayanılarak, bir polinom eğrisi ile yerel jeoit modeli oluşturulabilir.

Yerel jeoit yüzeyi için öngörülen k. dereceden bir polinom;

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_kx^k \quad (3.25)$$

$u=k+1$ adet bilinmeyen katsayısı içermektedir. n adet dayanak noktası için serbestlik derecesi $f=n-u$ dur.

Bu denklemde ölçüler, noktaların ortometrik(H) ve elipsoidal(h) yüksekliklerinden elde edilen, jeoit yükseklikleridir ve $N = h - H$ formülünden hesaplanır. Bilinmeyenlerin bir fonksiyonu olarak ölçüler,

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^k \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^k \\ 1 & x_3 & x_3^2 & \dots & x_3^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^k \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad l = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ \vdots \\ N_n \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

biçiminde düzenlenir. Ölçüler bilinmeyenlerin bir fonksiyonu $Ax = l$ biçiminde düzenlenir ise;

$$\begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^k \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^k \\ 1 & x_3 & x_3^2 & \dots & x_3^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ N_n \end{pmatrix} \quad (3.27)$$

ve fazla ölçü (dayanak noktası) sayesinde bilinmeyen katsayılar en küçük kareler yöntemiyle

$$x = (A^T A)^{-1} (A^T l) \quad (3.28)$$

uygulanırsa bilinmeyenler için x 'ler elde edilir. Normal dağılımlı olduğu yani yüzey modelinde olduğu gibi GPS/Nivelman verilerinin ağırlıklarının eşit olduğu varsayılan ölçülere gelecek düzeltmeler;

$$v = Ax - l \quad (3.29)$$

ve bunlardan hesaplanan standart sapma (Birim ağırlıklı ölçünün standart sapması)

$$m_0 = \sqrt{\frac{v^T v}{n-u}} \quad (3.30)$$

öngörülen polinomun (derecesi) uygunluğu hakkında önemli bir bilgi verir. Eğri modelinin oluşturulmasından sonra güzergah içerisinde jeoit yüksekliği bilinmeyen n sayıda nokta için kestirim işlemi uygulanabilir. Bunun için öncelikle kestirim yapılacak noktaların katsayılar matrisi,

$$A_p = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^k \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^k \\ 1 & x_3 & x_3^2 & \dots & x_3^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^k \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

oluşturulursa kestirim sonuçları,

$$l_p = A_p x \quad (3.32)$$

matrisi çarpımıyla elde edilir.

Jeoit yükseklikleri bu şekilde hesaplanan noktaların Helmert ortometrik yükseklikleri GPS ile belirlenen elipsoidal yükseklikler kullanılarak $N = h - H$ bağıntısına göre türetilir (Ceylan ve ark., 2010).

3.5.3. En uygun polinomun belirlenmesi

Çalışma bölgesinde kaçınıcı dereceden bir yüzey veya eğri polinomunun kullanılacağı ilk bakışta kestirilemez. Bunun belirlenmesi için birinci dereceden başlatılmak üzere dengeleme sonuçlarının istatistiksel analizleri ile belirlenebilir. Polinomun derecesi arttırıldıkça soncul varyans değeri küçülür. Soncul varyansın büyümeye başladığı polinom derecesinin bir eksiği en uygun derece kabul edilir. Polinom derecesinin çok yüksek olması, bilinmeyen sayısının artması yanında yüzeyinde duyarsızlaşmasına neden olabilir.

Bilindiği üzere en küçük karelerle dengelemede fonksiyonel modeli oluşturan bilinmeyenlerin en uygun değerleri, normal dağılımda olduğu varsayılan ölçülerin hata kareler toplamının minimum olması koşuluna göre belirlenir. Normal dağılımlı olduğu varsayılan ölçülerle kestirilen parametreler test edilmelidir. Uygulanabilir temel istatistiksel testler; model, kestirilen parametreler için anlamlılık ve uyumsuz ölçü testleridir (Yiğit, 2003).

3.5.3.1. Model testi

\hat{m}_0^2 , n sayıdaki ölçünün dengelenmesi sonucunda elde edilen birim ağırlıklı ölçünün varyansı(soncul varyans) olsun.

Model testi , \hat{m}_0^2 sonsal varyansının dengeleme öncesinde kestirilen öncül varyans m_0^2 ile karşılaştırılmasına dayanır ve sıfır hipotezi

$$H_o : \hat{m}_0^2 > m_0^2 \text{ yada } \hat{m}_0^2 < m_0^2 \text{ (tek yönlü)}$$

biçiminde öngörülür. χ^2 dağılımlı

$$T = \frac{(n-u)\hat{m}_0^2}{m_0^2} \sim \chi^2 \quad (3.33)$$

test büyüklüğü oluşturulur. Burada u, bilinmeyen parametre sayısıdır. T test büyüklüğü ile anlamlılık düzeyi α ve serbestlik derecesi (fazla ölçü sayısı) $f = n - u$ 'ya bağlı $\chi_{f,1-\alpha}^2$ sınır değeri arasında $T < \chi_{f,1-\alpha}^2$ eşitsizliği geçerli ise hipotez kabul edilir ve modelin uygun olduğuna; model hatası olmadığına karar verilir. Aksi durumda öngörülen hipotez red edilir. Kurulan modelin hatalı olduğu anlamına gelir. Hata, ölçüler ile bilinmeyenler arasındaki ilişkiyi tanımlayan fonksiyonel model veya ölçülerin varyans kovaryanslarını tanımlayan stokastik model eksikliğinden kaynaklanabilir. Model hataları, parametreler için anlamlılık testi ve uyumsuz ölçü testi yapılarak araştırılır (Yiğit, 2003).

3.5.3.2. Parametreler için anlamlılık testi

Kestirilen bir parametre \hat{x}_i ve standart sapması $m_{\hat{x}_i}$ olsun. Parametrenin beklenen değerinin sıfır kabul edilip edilmeyeceğine karar vermek için

$$H_0 = E(\hat{x}_i) = 0$$

sıfır hipotezi oluşturulur. Bu hipotez,

$$H_0 = E(\hat{x}_i) \neq 0$$

seçenek hipotezi karşısında test edilir.

$\frac{|\hat{x}_i|}{m_{\hat{x}_i}}$ test büyüklüğü t dağılımlıdır. Test büyüklüğü, t dağılımının serbestlik derecesi ve α anlamlılık düzeyine bağlı $t_{f,1-\alpha/2}$ güven sınır değerinden küçük çıkarsa;

$$\frac{|\hat{x}_i|}{m_{\hat{x}_i}} < t_{f,1-\alpha/2} \quad (3.34)$$

sıfır hipotezi kabul edilir; ilgili terim polinomdan silinir. Seçenek hipotezinin geçerli olması durumunda ise kestirim değerinin anlamlı olduğu kararla varılır (Yiğit, 2003).

3.5.3.3. Düzeltmelerin test edilmesi

α test düzeyi için bir λ_i ölçüsünün v_i düzeltmesi

$$\frac{v_i}{m_{v_i}} > t_{f,1-\alpha/2} \quad (3.35)$$

eşitsizliğini sağlıyorsa, bu ölçü seçilen yüzey polinomu ile uyumsuz kabul edilir ve ölçü kümesinden çıkarılır. Burada,

v_i i. Ölçünün düzeltilmesi

$m_{v_i} = m_0 \sqrt{Q_{v_i v_i}}$ düzeltmenin standart sapmasıdır (Üstün, 2001).

4. EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİNE GÖRE KOLLOKASYON

4.1.Kollokasyon

Enterpolasyon için kullanılan fonksiyonel model, ölçüleri çoğu kez yeterli incelikte temsil etmez. Böyle durumlarda, basit bir fonksiyonel model ile birlikte ölçülerin bu modelden sapmalarını ifade eden stokastik model (=kollokasyon) öngörülmalıdır. En genel anlamıyla kollokasyon, dengeleme sayesinde bilinmeyen parametrelerin ve enterpolasyon problemlerinin bir arada çözüldüğü matematiksel bir modeldir.

Dolaylı ölçüler yönteminin fonksiyonel modeli,

$$\underline{l} + \underline{v} = \underline{A} \underline{x} \quad (4.1)$$

eşitlikleriyle bu modele stokastik bir büyüklük, sinyalin eklenmesi ile,

$$\underline{l} + \underline{v} = \underline{A} \underline{x} + \underline{s} \quad (4.2)$$

biçiminde genişletilebilir. Bu eşitliğe basit kollokasyonun fonksiyonel modeli denir. Burada;

\underline{l} : ölçü vektörünü

\underline{v} : ölçülere ilişkin rastgele dağılımlı korelasyonsuz hatalar vektörünü,

$n = -v$: rastgele dağılımlı korelasyonsuz ölçü hatalarını (noise),

\underline{s} : rastgele dağılımlı korelasyonlu hatalar vektörünü (sinyal),

$\underline{A}x$: trend, deterministik bölümü temsil etmektedir.

Kollokasyon problemi;

- Bir dengeleme sonucu bir ölçüye ilişkin düzeltmeyi sinyal ve gürültü olmak üzere iki bileşene ($v = s + n$) ayırarak, ölçülerden sadece korelasyonsuz hataları ($n=noise$) süzmek
- Fonksiyonel modeldeki bilinmeyen parametreleri (a_0, a_1, a_2, \dots) belirlemek
- Ölçü yapılmamış (kestirim yapılacak) noktalardaki enterpolasyon işlemini gerçekleştirmek
- Ölçülerin ve aranan büyüklüklerin ortalama hatalarını hesaplamak şeklinde özetlenebilir (Demirel, 1977).

4.2. En Küçük Kareler Yöntemine Göre Enterpolasyon ve Kollokasyon

En Küçük Kareler (EKK) yöntemine göre kollokasyon uygulamalarında tüm işlemler,

1. Trendin belirlenmesi
2. Deneysel kovaryansların hesaplanması
3. Kestirim yapılacak noktaların sinyallerinin kestirilmesi olmak üzere üç aşamalı gerçekleştirilir.

4.3. Trendin Belirlenmesi

En Küçük Kareler yöntemine göre kollokasyon işlemine başlamadan önce, ölçüleri modelleyen bir analitik fonksiyon belirlenerek ölçüler bu model üzerinden incelenir. Bir ön dengeleme ile ölçülerden deterministik kısmın çıkartılmasıyla elde edilen stokastik büyüklükler bize, seçilen fonksiyonun ölçülere ne kadar uygun

olacağını gösterecektir. Genel olarak ortalama hatası en küçük olan fonksiyonlar seçilir. Seçilebilecek fonksiyon türü, doğru, polinom, spline, veya trigonometrik veya daha yüksek dereceden bir fonksiyon da olabilir. Ancak, fonksiyonun derecesinin artması fonksiyonel modeldeki bilinmeyen sayısının artmasına neden olacaktır.

4.4. Deneysel Kovaryansların Hesaplanması

Kollokasyonu, EKK yöntemine göre dengelemeden ayıran özellik, fonksiyonel modele sinyallerin eklenmesidir. Aralarında korelasyon bulunan sinyallerin ve deneysel kovaryanslardan hesaplanan kovaryans matrislerinin dengelemeye dahil edilmesi gerekir. Bu nedenle dengelemeye başlanmadan önce deneysel kovaryanslardan, ölçü ve kestirim yapılacak noktaların birbirlerine olan uzaklıklarından hesaplanan kovaryans matrisleri ortaya konulmalıdır.

Kovaryans matrislerinin hesaplanmasında, ölçülere veya modele uyan deneysel kovaryans fonksiyonlarından yararlanılır. Değişik uzaklık q parametrelerine bağlı kovaryans değerlerinin elde edildiği fonksiyona kovaryans fonksiyonu denir. Kullanılan q parametresine bağlı birkaç kovaryans fonksiyonu:

$$C = \frac{C_0}{1+(q/q_0)^2} \quad \text{Hirvonen Fonksiyonu}$$

$$C = C_0 e^{-a^2 q^2} \quad \text{Gauss Fonksiyonu} \quad (4.3)$$

$$C = \frac{C_0}{q^{q_0}} \quad \text{Lauer Fonksiyonu}$$

Hirvonen fonksiyonu jeodezik çalışmalarda yaygın olarak kullanılır. Bu fonksiyonun kullanılabilmesi için C_0, q_0 büyüklüklerinin kestirilmesi gerekmektedir. Bunun için, ilk olarak, yapılan n sayıdaki ölçü ve saptanan model fonksiyonu ile EKK yöntemine göre dengeleme yapılır ve bilinmeyenler (3.28) yardımıyla hesaplanır. Stokastik değerler, başka bir deyişle ölçüler ve trend arasındaki farklar,

$$\underline{z} = \underline{l} - \underline{A} \underline{x} \quad (4.4)$$

öngörülen Δq aralıklarına göre,

$$q - \Delta q < q_r < q + \Delta q \quad (4.5)$$

değerleri gruplandırılır. Ön dengeleme işleminden elde edilen düzeltmeler yardımıyla (4.5) aralıklarındaki her bir deneysel kovaryans,

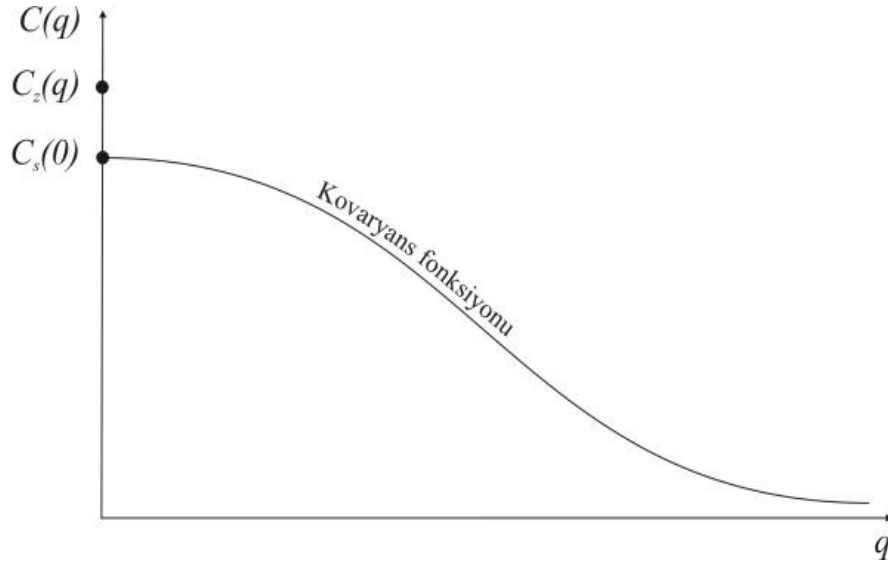
$$C_{z_i z_j}(q_r) = \frac{[z_i z_j]}{n_r - u} \quad (4.6)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada, q_r : öngörülen aralığı temsil eden uzaklık, n_r : bu aralıktaki kenar sayısıdır.

Δq aralığının belirlenmesinde noktalar arasındaki toplam uzunlukların, toplam kenar sayısına bölünmesi yoluna gidilebilir. İlk kovaryans değeri için q_r değeri sıfır alınmakta ve;

$$C_{z_i z_i}(q_r = 0) = \frac{[z_i z_i]}{n - u} \quad (4.7)$$

eşitliği ile deneysel kovaryans hesaplanır. Sırasıyla hesaplanan bu deneysel kovaryans değerleri gittikçe azalma eğilimi gösterirler ve maksimum kenar uzunluğu göz önüne alındığında kovaryans değeri sıfıra yaklaşır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kovaryans fonksiyonu

4.5. Kestirim Yapılacak Noktalardaki Sinyallerin Belirlenmesi

Kestirim, değerleri bilinen ya da ölçülmüş noktalardan yararlanılarak bilinmeyen noktaların değerlerinin hesaplanmasıdır. Kollokasyon modelinde kestirilen büyüklükler sinyallerdir ve bilinen noktaların sinyallerinden ve aralarındaki korelasyondan yararlanır.

Ön dengeleme ile ölçülerden deterministik kısmın çıkarılmasıyla kalan stokastik büyüklük (z), gürültü (n) ve sinyalden (s) oluşmaktadır. Amaç bu stokastik büyüklüklerden sinyallerin ayrıştırılmasıdır. Bunun için deneysel kovaryanslar yardımıyla oluşturulan kovaryans fonksiyonu ile sinyaller arasındaki korelasyonu gösteren kovaryans matrisleri hesaplanır. Ölçü (dayanak) noktalarındaki sinyallere (s) iç sinyaller, kestirim noktasındakilere (s_p) dış sinyaller denir. Sinyal ölçü hatası gibi rastlantısal hata niteliğindedir ve ortalama değeri (ümit değeri) sıfıra eşittir.

\underline{s} ve \underline{s}_p lerin hesabı için sinyallere ilişkin korelasyonlar ya da ağırlık katsayıları verilmiş olmalıdır. l_i ölçüsünün ortalama hatası μ_i ise, uygun olarak seçilecek μ_s^2 sabitesiyle ve seçilen kovaryans fonksiyonu ile ölçü noktalarının kendi aralarındaki, ölçü noktaları ile kestirilecek noktalar arasındaki ve kestirilecek noktaların kendi aralarındaki korelasyon matrisleri hesaplanır. Kestirilecek nokta sayısı m , ölçü sayısı n ise, iç ve dış sinyallerin öz kovaryans matrisleri;

$$\underline{C}_{ss} = \begin{bmatrix} C_s(0) & C_{s_1s_2} & \dots & C_{s_1s_n} \\ C_{s_2s_1} & C_s(0) & \dots & C_{s_2s_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{s_ns_1} & C_{s_ns_1} & \dots & C_s(0) \end{bmatrix}, \underline{C}_{spsp} = \begin{bmatrix} C_s(0) & C_{s_1s_2} & \dots & C_{s_1s_m} \\ C_{s_2s_1} & C_s(0) & \dots & C_{s_2s_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{s_ms_1} & C_{s_ms_1} & \dots & C_s(0) \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

iç ve dış sinyaller arasındaki çapraz kovaryans matrisi ise;

$$\underline{C}_{spS} = \begin{bmatrix} C_s(0) & C_{s_1s_2} & \dots & C_{s_1s_n} \\ C_{s_2s_1} & C_s(0) & \dots & C_{s_2s_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{s_ms_1} & C_{s_ms_1} & \dots & C_s(0) \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

dir. Eşit doğrulukta ve ortalama hataları μ olan ölçülerin kovaryans matrisi,

$$\underline{C}_{ll} = \mu_n^2 \underline{E} \quad (\underline{E} : \text{Birim matris}) \quad (4.10)$$

köşegen matristir. Kovaryans matrisleri μ_s^2 değerine bölüldüğünde;

$$\underline{Q}_{ss} = \underline{C}_{ss} / \mu_s^2, \underline{Q}_{spsp} = \underline{C}_{spsp} / \mu_s^2, \underline{Q}_{spS} = \underline{C}_{spS} / \mu_s^2, \underline{Q}_{ll} = \underline{C}_{ll} / \mu_s^2 \quad (4.11)$$

ters ağırlık katsayıları matrisleri elde edilir. Ölçüler ve sinyallerin kovaryans matrisleri arasında korelasyon bulunmadığından hata yayılma kuralı ile,

$$\underline{Q} = \underline{Q}_{ss} + \underline{Q}_{ll} \quad (4.12)$$

elde edilir. EKK yöntemine göre dengelemeye geçildiğinde bilinmeyenler;

$$\underline{x} = \left(\underline{A}^T \underline{Q}^{-1} \underline{A} \right) \underline{A}^T \underline{Q}^{-1} \underline{l} \quad (4.13)$$

bulunur ve sinyaller;

$$\underline{k} = \underline{Q}^{-1} (\underline{l} - \underline{A} \underline{x}) \quad (4.14)$$

$$\underline{n} = \underline{Q}_{uu} \underline{k} \quad (4.15)$$

$$\underline{s} = \underline{Q}_{ss} \underline{k} \quad (4.16)$$

eşitliklerinden s_i ve n_i elde edilmiş olur. Kestirim yapılacak noktaların sinyal değerleri;

$$\underline{s}_p = \underline{Q}_{sps} \underline{k} \quad (4.17)$$

eşitliğiyle, kestirim yapılacak noktaların aranan değerleri ise;

$$\underline{L}_p = \underline{A}_p \underline{x} + \underline{s}_p \quad (4.18)$$

ile elde edilir. Birim ağırlıklı ölçünün ortalama hatası ise

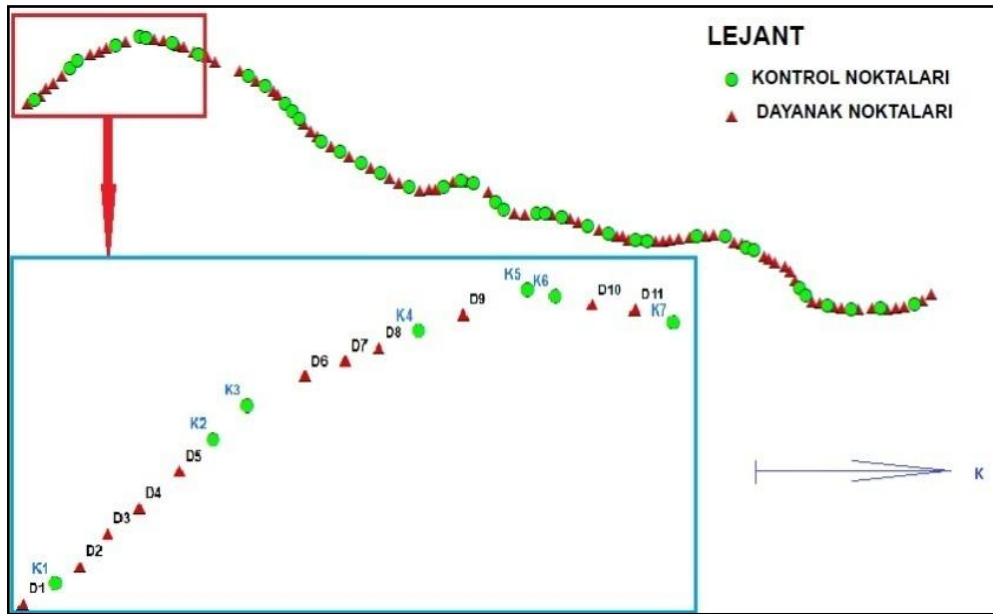
$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{\underline{l}^T \underline{k}}{n-u}} \quad (4.19)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Wolf, 1977, Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

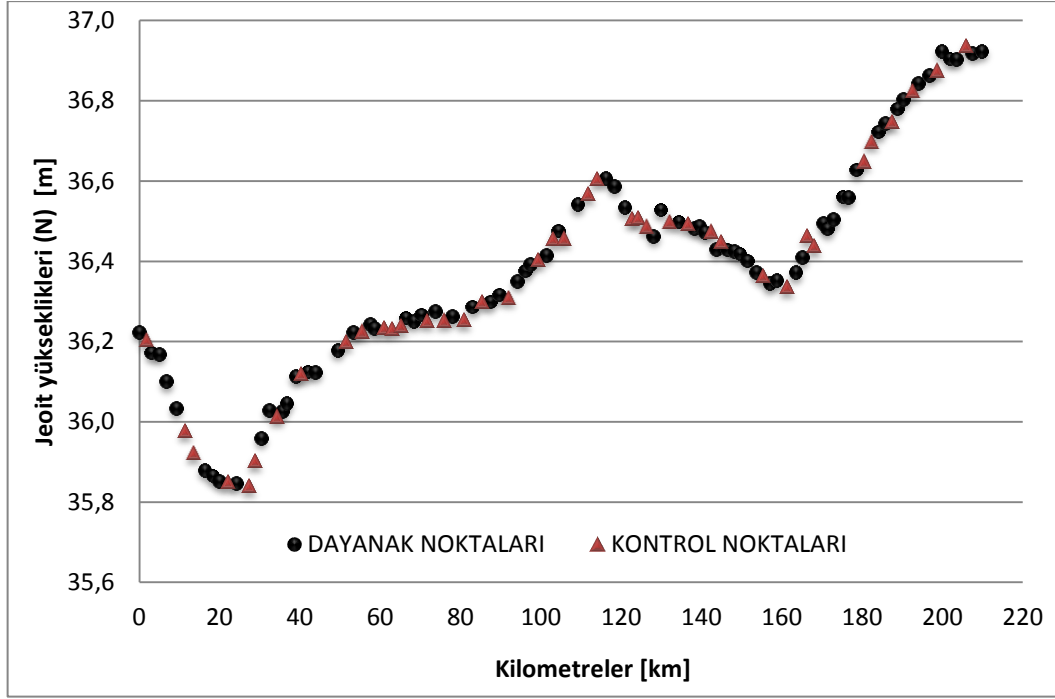
5. UYGULAMA

5.1.Uygulama Alanı

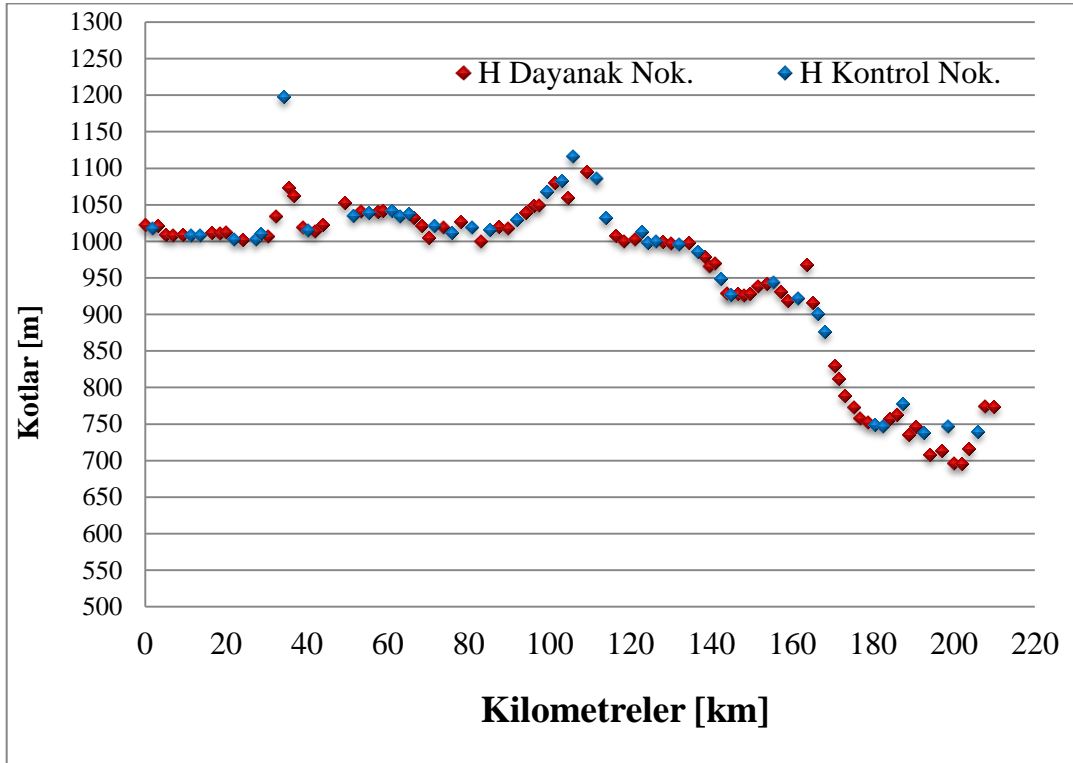
Uygulama alanı, Konya-Polatlı (Ankara) Hızlı Tren Projesidir. Proje uzunluğu yaklaşık 210 km dir. Proje alanındaki noktaların 70'i dayanak 40'ı ise kontrol noktası olarak seçilmiştir. Noktalar arası yaklaşık 2km olup, arazi az engebeli olarak kabul edilebilir. Test ağına ait profil şekil 5.1'de gösterilmiştir. Uygulamada kullanılan GPS/Nivelman verileri B.Ö.H.H.B.Ü. yönetmeliği standartlarına göre elde edilmiş olup, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş. ve FMC Uzay ve Bilim Teknolojileri şirketinden temin edilmiştir. Çalışmada verileri işlemede Microsoft Office Excel 2007 ve Matlab programları kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan elipsoidal yükseklikler GPS/Nivelman verilerinden, ortometrik yükseklikler ise geometrik nivelman verilerinden alınmıştır. Seçilen güzergaha ait jeoit yüksekliklerinin değişimi şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Uygulama alanı



Şekil 5.2. Test alanına ait jeoit yüksekliklerinin değişimi



Şekil 5.3. Test alanı profili

5.3.Hesaplamalar

5.3.1. Yüzey polinomları yaklaşımı ile jeoit modelinin oluşturulması

Uygulama alanı için seçilen 70 adet dayanak noktasına ait koordinatlar ve jeoit yükseklikleri kullanılarak farklı derecelerden polinom yüzeyi geçirilmiş ve her modele ait standart sapmalar (m_0) hesaplanmıştır. 2. dereceden polinom yüzeyine ait a katsayıları tablo 5.1' de ve 2. dereceden polinom yüzeyine ait parametre testi sonuçları tablo 5.2' de verilmiştir. Bu aşamada sonuçların anlamlılığı parametre testi ile sınanmıştır. Oluşturulan her yüzey modeli için 40 kontrol noktasının jeoit yükseklikleri hesaplanmış ve gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır (Tablo 5.3). Yüzey polinomu bu uygulama alanında sadece 1. ve 2. dereceden geçirilebilmiş daha üst dereceli çözümler için bilinmeyen parametrelerin anlamsız sonuçlar verdiği görülmüştür. Dayanak noktalarının güzergah üzerinde bulunması yani nokta dağılımının düzensiz oluşu yüzey yaklaşımını olumsuz etkilemiştir. Gerek model istatistikleri gerekse kontrol noktalarında hesaplanan ve bilinen jeoit yükseklikleri arasındaki karşılaştırmalardan yükseklik hatalarının oldukça büyük değerler verdiği anlaşılmaktadır (Ceylan ve ark., 2010).

Tablo 5.1. İkinci dereceden polinom yüzeyine ait a katsayıları

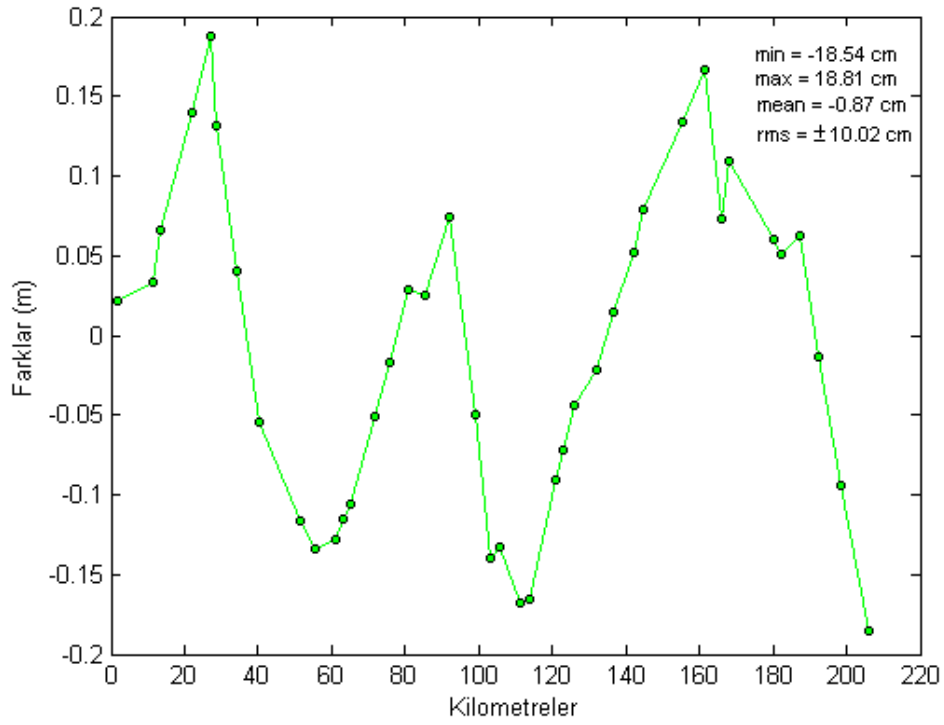
$a_0= 3655.1236572265625$
$a_1= -1.212466791272163$
$a_2= -4.618806481361389$
$a_3= 0.000102277195765$
$a_4= 0.001516155796708$
$a_5= 0.000762387739087$

Tablo 5.2. İkinci dereceden polinom yüzeyine ait parametre testi sonuçları

Parametre (a)	Test Büyüklüğü (T)	Tablo Değeri	Karar
a_0	2.1369	1.6690	Anlamlıdır
a_1	2.0686	1.6690	Anlamlıdır
a_2	2.2107	1.6690	Anlamlıdır
a_3	2.0383	1.6690	Anlamlıdır
a_4	2.3970	1.6690	Anlamlıdır
a_5	2.1236	1.6690	Anlamlıdır

Tablo 5.3. Polinom yüzeyi modeline göre model istatistikleri ve kontrol noktaları için karşılaştırma istatistikleri

Polinom derecesi	Model istatistikleri			Jeoit yükseklik farkları			
	Min (cm)	Max (cm)	m_o (cm)	Min (cm)	Max (cm)	ort.(cm)	Rms (cm)
1	- 21.90	19.25	± 10.60	- 20.94	20.01	- 0.22	± 9.68
2	- 20.15	15.65	± 9.89	- 18.54	18.81	- 0.87	± 10.02



Şekil 5.4. Polinom yüzeyi modeline göre jeoit yükseklikleri farkları

5.3.2. Eğri polinomları yaklaşımı ile jeoit modelinin oluşturulması

Uygulama alanı için geçki boyunca seçilen 70 adet dayanak noktasına ait kilometreler apsis, jeoit yükseklikleri ordinat değerleri olarak alınmak suretiyle polinom eğrisi geçirilmiştir. 6. dereceden polinom eğrisi modeline ait a katsayıları tablo 5.4' de ve 6. dereceden polinom eğrisi modeline ait parametre testi sonuçları tablo 5.5' de verilmiştir. Yüzey modeline göre bilinmeyen parametre sayısının az olması sayesinde model 6. dereceye kadar yükseltilebilmiştir. Daha üst dereceli yaklaşımlarda parametrelerin anlamlılıkları azalmaktadır. Model hataları polinomun derecesi arttıkça beklendiği gibi giderek küçülmüştür. 40 noktada yapılan karşılaştırmalar eğri yaklaşımı ile elde edilen ortalama hata büyüklüğünün (rms) yaklaşık ± 7 cm civarında çıkmasını sağlamıştır. Eğri yaklaşımına ilişkin model istatistikleri ve jeoit yüksekliği karşılaştırma sonuçları Tablo 5.6' de verilmiştir. Dayanak noktalarında yüzey ve eğri polinomlarının gerçek jeoit kesitine göre uyumu şekil 5.6' da gösterilmektedir (Ceylan ve ark., 2010).

Tablo 5.4. Altıncı dereceden polinom eğrisi modeline ait a katsayıları

$a_0 = 36.199609044728277$
$a_1 = -21.899174571037292$
$a_2 = 577.742229819297790$
$a_3 = -3094.9356250762939$
$a_4 = -17079.374176025391$
$a_5 = 187035.217956542970$
$a_6 = -403451.830566406250$

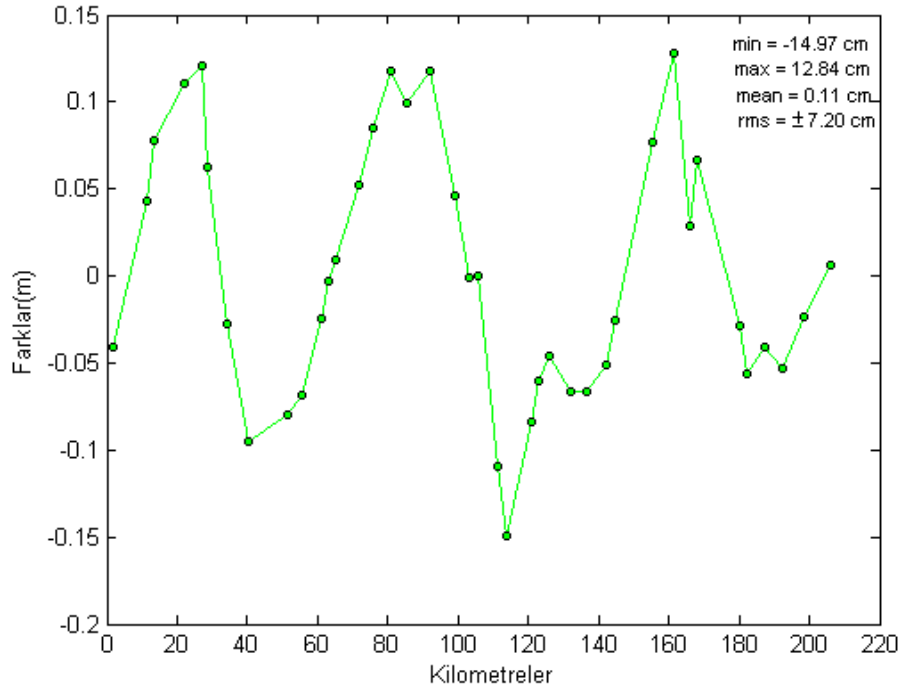
Tablo 5.5. Altıncı dereceden polinom eğrisi modeline ait parametre testi sonuçları

Parametre (a)	Test Büyüklüğü (T)	Tablo Değeri	Karar
a_0	757.9271	1.6694	Anlamlıdır
a_1	3.1277	1.6694	Anlamlıdır
a_2	1.8926	1.6694	Anlamlıdır
a_3	0.5582	1.6694	Anlamlı değil
a_4	0.3553	1.6694	Anlamlı değil
a_5	0.9459	1.6694	Anlamlı değil
a_6	1.2999	1.6694	Anlamlı değil

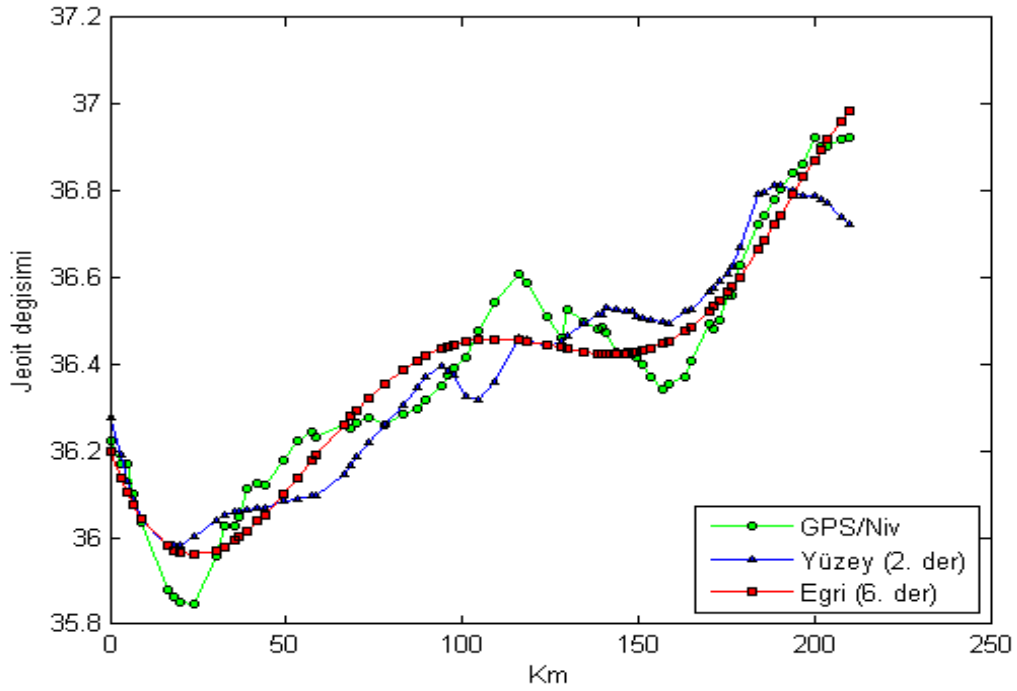
Tablo 5.6. Polinom eğrisi modeline göre model istatistikleri ve kontrol noktaları için karşılaştırma istatistikleri

Polinom derecesi	Model istatistikleri			Jeoit yükseklik farkları			
	min (cm)	max (cm)	m_o (cm)	min (cm)	max (cm)	ort. (cm)	rms (cm)
1	-25.91	22.79	± 12.09	-23.45	25.12	-0.18	± 11.59
2	-22.65	23.22	± 11.81	-23.64	24.51	-0.75	± 12.04
3	-27.40	23.83	± 11.42	-24.47	25.79	-0.51	± 11.78
4	-14.35	18.40	± 7.96	-14.71	15.99	-0.17	± 7.73

5	-16.40	11.57	± 7.08	-16.29	13.90	-0.05	± 7.26
6	-15.18	11.49	± 7.04	-14.97	12.84	0.11	± 7.20



Şekil 5.5. Polinom eğrisi modeline göre jeoit yükseklikleri farkları



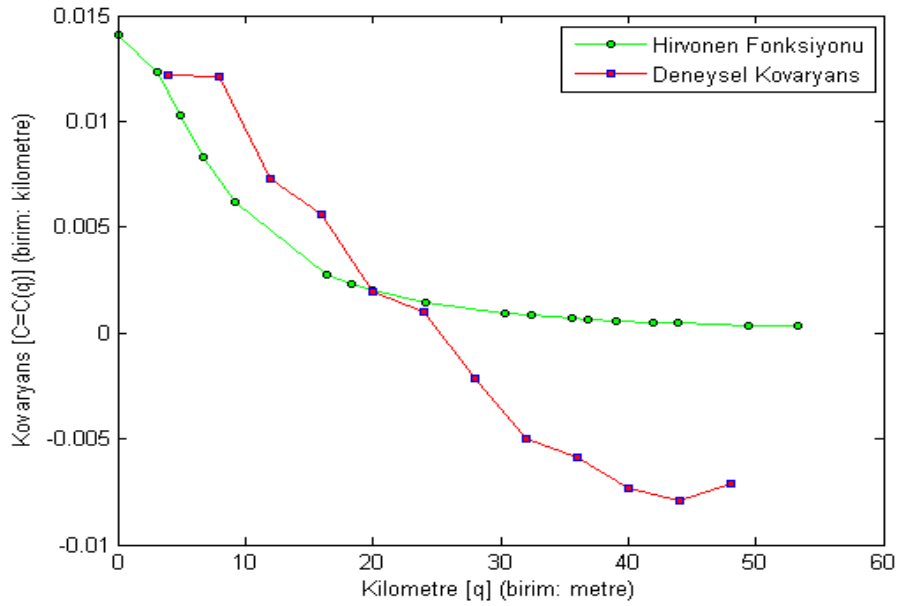
Şekil 5.6. Jeoit yüksekliklerinin değışimi

5.3.3. EKKK ile jeoit modelinin oluşturulması

Ölçü noktalarındaki (s) ve kestirim yapılacak noktalardaki (s_p) sinyallerini hesaplamak için bunlar arasındaki korelasyonu tanımlayan bir kovaryans fonksiyonu belirlenmiştir. Kovaryans fonksiyonunun belirlenmesinde deneysel yöntemlerle elde edilmiş varyans ve kovaryans değerleri kullanılmıştır. Bunun için, GPS ve nivelman ölçülerinin önceki doğruluk ölçütlerinden gürültü bileşenine ilişkin varyans değeri $\mu_n = C_n(0) = 3,6 \text{ cm}$, sinyal ve gürültü bileşenlerini içeren stokastik büyüklüklerin varyansı $\mu_z = C_z(0) = 11,81 \text{ cm}$ alınmıştır. İkinci büyüklük 2.dereceden bir polinom eğrisi ile gerçekleştirilen ön dengeleme işleminin sonsal varyans değerine karşılık gelmektedir (Tablo 5.6). Bu iki büyüklük arasında korelasyon olmadığından ölçü noktalarında sinyallerin varyans değeri kovaryansların yayılımı kuralı gereğince,

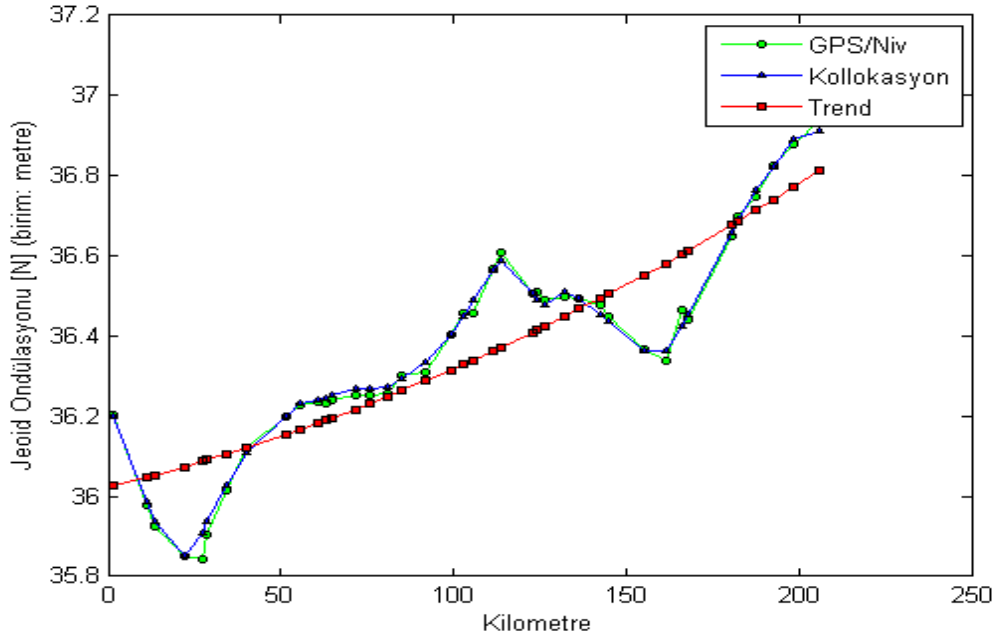
$$C_s(0) = \mu_s^2 = \mu_z^2 - \mu_n^2 \quad (5.1)$$

eşitliğinden hesaplanabilir. Buna göre sinyallerin varyansı $C_s(0) = 11.2^2 \text{ cm}^2$ dir. Dayanak noktalarında sinyaller arası kovaryans değerleri 2, 4, 8, 10, 20 ve 30 km aralıklarında hesaplanmıştır. Noktalar arası uzaklığın fonksiyonu olarak kovaryans değerleri ve bu değerlere uygun Hirvonen fonksiyonu Şekil 5.7' de görülmektedir. Deneysel kovaryanslar yardımıyla Hirvonen fonksiyonu için elde edilen kritik uzaklık değeri $q_0=8.1$ km dir.



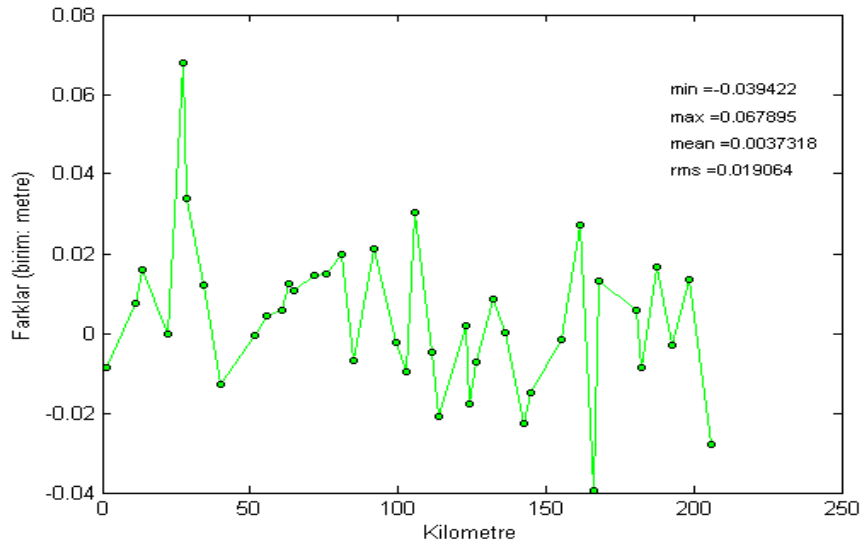
Şekil 5.7. Kovaryans fonksiyonu

Seçilen kovaryans fonksiyonuna göre ölçü noktaları ile kestirilecek noktalar arasındaki öz ve çapraz kovaryans matrisleri (4.8) - (4.10) eşitlikleri ile hesaplanmıştır. Kovaryans matrisleri (4.11) gereğince, (5.1)'den hesaplanmış μ_s^2 değerine bölünerek korelasyon matrisleri hesaplanmıştır. EKK yöntemine göre dengeleme yapılarak bilinmeyenler, sinyaller, gürültüler, kestirim yapılacak noktalara ilişkin sinyaller ve enterpolasyon değerleri (4.13) - (4.18) eşitlikleri ile bulunmuş, dengeleme işleminin birim ağırlıklı ölçünün ortalama hatası $\pm 7.19 \text{ cm}$ olarak belirlenmiştir. Dayanak noktalarında kollokasyon ile elde edilen değerlerin gerçek jeoit kesitine göre uyumu Şekil 5.8'de gösterilmektedir. Jeoit kesitinin yön değiştirdiği yerler dışında, kollokasyon modeli gerçek jeoit değerleriyle oldukça iyi uyum sağlamıştır.



Şekil 5.8. Jeoit yüksekliklerinin değişimi, trend ve kollokasyon modeli

Enterpolasyon noktalarına ait gerçek değerler ile EKKK ile elde edilen değerler karşılaştırıldığında, minimum fark -3.9 cm, maksimum fark 6.7 cm, farkların ortalaması 0.4 cm ve farklara ait standart sapma ± 1.9 cm olarak elde edilmiştir. Farkların değişimi Şekil 5.9’ da gösterilmiştir. Farkların büyük oranda -2 cm ve +2 cm aralığında toplandıkları şekilden anlaşılmaktadır.



Şekil 5.9. Gerçek değer ile EKKK arasındaki farklar

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karayolu, demiryolu vb. şeritvari projelerde harita çalışmalarını yürütmek için seçilen dayanak noktaları genellikle proje güzergahı boyunca ilerleyen bir dağılım sergiler. Böylesi bir nokta dağılımı GPS/Nivelman yöntemine dayalı yükseklik belirlemeleri için yüzey modeli oluşturulmasını zora sokmaktadır. B.Ö.H.H.B.Ü.Y.'de yerel jeoit modelinin belirlenmesine ilişkin esaslar daha çok belirli bir bölgeye düzgün dağılmış noktalar içindir. Şeritvari projelerde olduğu gibi bir geçki boyunca dağılmış noktalar için yüzey modeli yerine EKKK yöntemine göre yüzey eğrisi yaklaşımı izlenebilir. Bu çalışmada gerçek proje verilerine dayalı olarak jeoit modeline polinom eğrisi ile yaklaşılması amaçlanmıştır.

Söz konusu yaklaşım, 210 km uzunluğunda bir geçki olup 70 dayanak, 40 kontrol noktasından oluşmaktadır. Uygulama alanının topografik durumu az engebeli niteliktedir.

Uygulama alanında dayanak noktalarının yüzeye düzgün dağılmak yerine bir geçki boyunca seçilmiş olması nedeniyle yüzey modelinde üst derecelere çıkılamamıştır. 1. ve 2. derece modellerden elde edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farklara ait minimum değer -18.54 cm, maksimum değer 18.81 cm, ortalama -0.87 cm ve karesel ortalama hata (rms) ± 10.02 cm değerleri elde edilmiştir. Eğri yaklaşımında ise daha üst dereceden (6. dereceye kadar) polinom eğrisi geçirilebilmesine rağmen farklara ait minimum değer -14.97 cm, maksimum değer 12.84 cm, ortalama 0.11 cm ve karesel ortalama hata (rms) ± 7.20 cm olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan, 2. dereceden eğri polinomu ile EKKK yöntemine göre yüzey eğrisi yaklaşımında ise farklara ait standart sapma ± 1.9 cm olarak elde edilmiştir.

Sonuçlar göstermektedir ki; karayolu, demiryolu vb. geçki boyunca gerçekleştirilecek projelerde GPS/Nivelman tekniğine dayalı ortometrik yükseklikler, polinom yüzeyi yerine EKKK yöntemine göre yüzey eğrisi yaklaşımından daha yüksek doğrulukta elde edilebilmektedir. Burada, EKKK yöntemine göre yüzey eğrisi yaklaşımında modelden arta kalan düzeltmeler sinyallerinin kestirilmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu sayede ortometrik yükseklikler, modelden elde edilen değer ve kestirilen sinyalin toplamı biçiminde ifade edilmektedir. Hirvonen fonksiyonunda geçen kritik uzaklık değeri deneysel yolla saptanmış ve en iyi sonuçlara 8.1 km'lik kritik uzaklık değeri ile ulaşıldığı görülmüştür. Kollokasyon yönteminin bir diğer

avantajı da polinom derecesinin çok yüksek seçilmesi zorunluluğunu ortadan kaldırmasıdır. Bu iş için 2. dereceden bir polinoma dayalı EKK ile kollokasyon uygulaması yeterli doğruluğu sağlamıştır.

KAYNAKLAR

- Akiz, E., 2007, Jeoit kullanılarak elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yükseklik belirleme yöntemlerinin doğruluk araştırması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- B.Ö.H.H.B.Ü.Y., 2005, Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliği, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, Ankara.
- Baykal, O., 1989, Presizyonlu nivelman tekniği, MMLS Ders Notları, *İstanbul Teknik Üniversitesi* İstanbul.
- Ceylan, A., 1993, Presizyonlu Nivelman yerine trigonometrik Nivelman yönteminin kullanılabilirliği üzerine bir çalışma, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Ceylan, A., İnal, C., 2003, Modern yükseklik belirleme teknikleri ve doğruluklarının karşılaştırılması, *1.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*,30-31 Ekim, İstanbul.
- Ceylan, S., 2007, Büyük ölçekli harita üretimi çalışmalarında güncellenmiş Türkiye jeoidi (TG-99A) ve yeni Türkiye jeoidi (TG-03)' ün doğrudan kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Ceylan, A., Gürses, H.B., Üstün, A., Doğanalp, S., 2010, Şeritvari projelerde ortometrik yükseklik hesabı için polinom eğrisi yaklaşımı, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Odası 5. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 20-22 Ekim 2010, Zonguldak, 467-480.
- Coşkun, M.Z., 2002, Functional models and new stochastic model in combined leveling nets. *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 128, No. 4, Virginia, U.S.A.
- Demirel, H., 1977, En küçük kareler yöntemine göre prediksyon ve kollokasyon, *İstanbul Devlet Mimarlık Mühendislik Akademisi*, İstanbul.
- Erkaya, H., 2006, Yükseklik ölçmeleri ders kitabı, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 1-19.
- Gürdal, M.A. ve Ceylan, S., 2005, Büyük ölçekli çalışmalarda güncellenmiş Türkiye jeoidinin (TG-99A) doğrudan kullanılabilirliğinin araştırılması, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 2005, Ankara.
- Heiskanen, W., ve Moritz, H., 1984, Fiziksel Jeodezi, Çeviren: Onur Gürkan, *Karadeniz Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi*, Trabzon.
- Kartal, A., 2001, GPS ile yükseklik belirlemede Enterpolasyon yöntemlerine ait bir uygulama, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, (1):27-41.
- Kılıçoğlu, A. ve Fırat, O., 2003, Büyük ölçekli harita üretiminde GPS ile ortometrik yükseklik belirlemeye yönelik jeoit modelleme ve uygulamalar, *TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, 2003, Konya.
- Öztürk, E. ve Şerbetçi, M., 1992, Dengeleme Hesabı Cilt III, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Yayın No:40, 524-533, Trabzon.

- Şanlıoğlu, İ., Ceylan, A., İnal, C., Çorumluoğlu, Ö., 2002, Konya bölgesi için GPS ile elde edilen elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, Konya.
- Turgut, B., 1996, Fiziksel Jeodezi Ders Notları, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği*, Konya.
- Tuşat, E., 2000, GPS gözlemleri ve yersel gözlemler yardımıyla jeoit profilinin çıkarılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Üstün, A., 2001, GPS Nivelmanı yardımıyla ortometrik yüksekliklerin elde edilmesine yönelik jeoit belirleme yöntemleri, *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, İstanbul, (1):62-82.
- Üstün, A., 2002, Bölgesel ve global yükseklik sistemlerinin oluşturulmasında GPS' nin katkısı üzerine bir inceleme: Antalya-Samsun mareograf istasyonları arasında GPS Nivelmanı örneği, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Üstün, A., 2006, Fiziksel Jeodezi, Lisans Ders Notları, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği*, Konya.
- Üstün, A., 2007, Fiziksel Jeodezi, Lisans Ders Notları, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği*, Konya.
- Wolf, H., 1977. Kollokasyon und ausgleichsrechnung, *Yıldız Üniversitesi Dergisi*, İstanbul.
- Yiğit, C.Ö., 2003, Elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere dönüşümünde kullanılan Enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Yurt, K., 2006, Geometrik ve gravimetrik metotlarla lokal jeoit belirleme ve modelleme: Trabzon ili örneği, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.

EKLER

EK-1 Uygulama alanına ait sayısal veriler.

Nokta Adı	X	Y	H (m)	h (m)
D1	4193376,938	453931,862	1022,383	1058,606
D2	4196012,062	455479,444	1021,736	1057,908
D3	4197300,631	456864,163	1009,497	1045,666
D4	4198767,527	457949,036	1007,902	1044,002
D5	4200630,733	459481,137	1008,911	1044,945
D6	4206480,571	463497,642	1011,773	1047,652
D7	4208332,02	464135,946	1010,994	1046,859
D8	4209906,551	464683,054	1012,419	1048,270
D9	4213812,776	466093,801	1002,442	1038,289
D10	4219803,564	466474,985	1007,016	1042,975
D11	4221801,185	466311,701	1034,484	1070,513
D12	4224850,465	465415,541	1073,211	1109,237
D13	4226000,134	464959,423	1061,680	1097,726
D14	4228049,227	464104,886	1019,367	1055,480
D15	4230823,605	462986,889	1013,555	1049,679
D16	4232509,604	462156,402	1022,341	1058,464
D17	4237742,849	460385,062	1052,547	1088,725
D18	4241147,717	458439,56	1041,241	1077,463
D19	4244695,862	456393,426	1040,564	1076,807
D20	4245610,903	455642,948	1041,541	1077,773
D21	4251057,307	450126,289	1031,931	1068,190
D22	4252453,36	448683,323	1021,025	1057,276
D23	4253873,86	447526,612	1004,772	1041,038
D24	4256672,274	445623,462	1018,934	1055,209
D25	4260484,404	443615,428	1026,374	1062,636
D26	4265016,877	441349,416	1000,134	1036,420
D27	4268945,488	439503,587	1019,914	1056,213
D28	4270966,926	438476,696	1017,799	1054,115
D29	4275271,116	437121,893	1038,887	1075,237
D30	4277270,134	437189,04	1048,281	1084,657
D31	4278468,347	437349,056	1049,275	1085,667
D32	4282155,998	438736,272	1080,190	1116,605
D33	4285240,676	438864,233	1059,829	1096,305
D34	4289554,358	436775,013	1094,530	1131,071
D35	4294982,29	432565,427	1007,764	1044,371
D36	4297140,181	432440,449	1000,143	1036,730
D37	4299658,907	432620,961	1002,871	1039,404
D38	4306587,928	431545,193	999,551	1036,013
D39	4308326,583	430929,4	996,933	1033,461
D40	4312601,937	429429,259	997,859	1034,357
D41	4316324,589	428341,162	979,225	1015,707
D42	4317526,459	428269,348	965,970	1002,456
D43	4318741,599	427624,694	970,095	1006,568
D44	4321583,363	427467,923	928,599	965,029
D45	4324424,213	427311,298	927,801	964,229

Nokta Adı	X	Y	H (m)	h (m)
D46	4325975,142	427236,065	926,291	962,716
D47	4327372,892	427630,551	928,044	964,462
D48	4329231,792	427779,276	938,490	974,891
D49	4331476,221	427833,666	942,006	978,378
D50	4334865,364	428144,041	931,550	967,894
D51	4336565,957	428486,708	918,599	954,952
D52	4340815,924	426936,234	967,732	1004,103
D53	4342426,401	426702,663	915,914	952,323
D54	4347117,129	424360,786	829,834	866,329
D55	4348072,307	423915,361	812,275	848,756
D56	4349257,734	423187,838	788,720	825,224
D57	4351461,848	422292,147	772,844	809,404
D58	4352520,644	421391,25	757,936	794,495
D59	4353545,663	419615,887	752,424	789,051
D60	4357093,047	415502,449	757,199	793,921
D61	4358692,38	415132,326	762,646	799,390
D62	4361638,134	414345,603	735,200	771,980
D63	4363207,823	414224,606	746,108	782,912
D64	4366745,777	414079,712	707,996	744,839
D65	4369618,506	414273,91	713,218	750,081
D66	4372629,381	413920,591	696,344	733,267
D67	4374585,21	414177,183	695,668	732,572
D68	4376276,014	414326,64	716,516	753,419
D69	4380039,627	415654,086	774,275	811,193
D70	4381964,174	416901,603	773,769	810,692
K1	4194864,291	454764,537	1017,444	1053,649
K2	4202199,965	460822,148	1008,581	1044,560
K3	4203778,605	462239,115	1008,675	1044,599
K4	4211763,914	465384,294	1002,754	1038,605
K5	4216809,892	467116,76	1002,662	1038,504
K6	4218102,811	466839,091	1010,363	1046,266
K7	4223574,565	465738,314	1197,812	1233,827
K8	4229093,401	463698,513	1015,114	1051,234
K9	4239496,635	459387,797	1034,960	1071,161
K10	4242976,319	457618,401	1038,707	1074,933
K11	4247130,359	453972,848	1041,657	1077,892
K12	4248608,673	452606,452	1034,221	1070,454
K13	4250131,32	451064,428	1037,751	1073,991
K14	4254753,969	446614,942	1021,395	1057,648
K15	4258622,164	444698,837	1012,148	1048,402
K16	4262993,592	442366,475	1019,435	1055,690
K17	4267019,537	440437,055	1015,583	1051,883
K18	4273032,467	437754,858	1029,637	1065,948
K19	4280225,435	437879,032	1068,058	1104,462
K20	4283836,719	439018,05	1082,691	1119,148

Nokta Adı	X	Y	H (m)	h (m)
K21	4286421,154	438500,537	1116,285	1152,743
K22	4290995,353	435022,094	1085,768	1122,336
K23	4292705,89	433452,042	1032,147	1068,754
K24	4301415,29	432692,189	1013,157	1049,664
K25	4302829,959	432346,236	998,317	1034,826
K26	4304832,392	432025,266	1000,136	1036,624
K27	4310293,151	430246,701	995,568	1032,068
K28	4314620,566	428772,384	985,814	1022,308
K29	4320288,979	427516,719	948,614	985,090
K30	4322730,383	427294,156	926,352	962,802
K31	4333043,4	428135,724	944,242	980,607
K32	4339032,959	428185,927	922,383	958,720
K33	4343274,322	426037,788	900,636	937,101
K34	4344891,986	425449,528	876,327	912,766
K35	4354448,652	418136,989	748,899	785,549
K36	4355761,303	416807,377	746,906	783,605
K37	4360277,593	414600,313	778,094	814,842
K38	4365287,432	413957,097	738,274	775,100
K39	4371301,319	414279,472	746,799	783,676
K40	4378432,486	415047,657	738,949	775,887

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hüseyin Bora GÜRSES
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Sarıgöl / MANİSA, 11.02.1984
Telefon : 0 505 400 62 38
Faks :
e-mail : hburses@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Dündar Çiloğlu Anadolu Lisesi MANİSA	2002
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği KONYA	2008
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği, Ölçme Tekniği Ana Bilim Dalı KONYA	2011
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Ceylan, A., Gürses, H. B., Üstün, A., Doğanalp, S., 2010, Şeritvari projelerde ortometrik yükseklik hesabı için polinom eğrisi yaklaşımı, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisliği Odası 5. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 20-22 Ekim 2010, Zonguldak, 467-480. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır.)