

83012

**BİR GPS AĞI ÖRNEĞİNDE 3 BOYUTLU DÖNÜŞÜM
MODELLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Sis ALKAN
501960602011

83012

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Ocak 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 4 Şubat 1999

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Orhan BAYKAL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Turgut UZEL (Y.T.Ü.)

Doç. Dr. Muhammed ŞAHİN (İ.T.Ü.)

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ŞUBAT 1999

ÖNSÖZ

Dönüşümler konusunda birçok çalışma ve tez yapılmış olmasına rağmen, bu olaya değişik bir bakış açısı ile yeni bir çalışma hazırlamama yardımcı olan sayın hocam Prof. Dr. Orhan BAYKAL'a sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmamda değerli yardımlarını aldığım başta Doç. Dr. Muhammed ŞAHİN, Dr. Mustafa YANALAK, Yük. Müh. Cankut D. İNCE olmak üzere, tüm hocalarıma da teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam süresince bana gösterdikleri yardım ve anlayışlarından dolayı değerli mesai arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Bu zamana kadar maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen sevgili aileme, üstün sabrını ve yardımlarını benden esirgemeyen sevgili eşim Dr. Reha Metin ALKAN'a da en derin ve içten teşekkürü borç bilirim.

Şubat, 1999

Sis ALKAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖZET	ix
SUMMARY.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. JEODEZİDE REFERANS VE KOORDİNAT SİSTEMLERİ	3
2.1. Jeodezik Referans Sistemleri.....	3
2.2. Jeodezide Kullanılan Koordinat Sistemleri.....	5
2.2.1. Yersel koordinat sistemleri.....	6
2.2.1.1. Jeosentrik Sistemler.....	7
2.2.1.2. Toposentrik sistemler	9
2.3. Uydu Jeodezisinde Kullanılan Koordinat Sistemleri.....	11
3. WGS84 (World Geodetic System-1984) ve YEREL SİSTEM (ED50)	13
3.1. WGS84 (World Geodetic System-1984)	13
3.1.1. WGS84 elipsoidi.....	14
3.1.2. WGS84 koordinat sistemi.....	15
3.2. Yerel Sistem (ED50).....	16
4. JEODEZİDE 3 BOYUTLU KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİ	19
4.1. Düzlem Koordinatlardan 3 Boyutlu Dik Koordinatlara Geçiş.....	20
4.2. 3 Boyutlu Koordinatlardan Düzlem Koordinatlara Geçiş.....	24
4.3. 3 Boyutlu Benzerlik Dönüşümü	27
4.3.1. Bursa-Wolf modeli.....	29
4.3.2. Molodensky-Badekas modeli	33

4.3.3. 9 parametrelı Helmert benzerlik dönüşümü	36
4.4. 3 Boyutlu Afin Dönüşüm	38
4.4.1. 10 parametrelı afin dönüşüm modeli.....	38
5. JEOİDİN 3 BOYUTLU DÖNÜŞÜMDEKİ ROLÜ.....	46
5.1. Elipsoid Yüksekliği Türetilerek Yapılan Hesap.....	48
5.2. $h=0$ Kabulü ile Hesap	49
5.3. Jeoid Ondülasyonlarının (N) Bilinmemesi Durumunda, ($h=H$) Kabulü ile Hesap	50
5.4. Jeoid Ondülasyonlarının (N) Hesaba Katılması	51
5.4.1. Sayısal Arazi Modeli.....	52
5.4.1.1. Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon	52
5.4.1.2. Üçgenleme	53
6. UYGULAMA	54
6.1 Uygulama Yapılan Jeodezik Ağın Tanıtımı.....	54
6.2 Jeodezik Noktaların Konum ve Yükseklik Bilgilerinin Elde Edilmesi	54
6.3 Jeodezik Ağdaki Kenar Ölçmeleri.....	56
6.4 Eşlenik Noktaların Jeoid Yüksekliklerinin Hesabı.....	57
6.5 Eşlenik Noktaların ED50 Datumundaki 3 Boyutlu Kartezyen Koordinatlarının Hesabı.....	58
6.6 3 Boyutlu Koordinat Dönüşümleri	61
6.6.1 $h=H$ ve $h=H+N$ yaklaşımları ile dönüşüm	61
6.7 Dönüşüm Sonuçlarının Karşılaştırması	63
6.8 Kenar Değerlerinin Karşılaştırması	66
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR.....	70
EKLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	114

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No.</u>
Şekil 2.1 Ortalama Koordinat Sistemi, Doğal Ortalama Koordinatlar	8
Şekil 2.2 Elipsoidal Dik ve Eğri Koordinatlar	9
Şekil 2.3 Lokal Astronomik ve Ortalama Yersel Koordinat Sistemleri	10
Şekil 2.4 Jeodezik ve Lokal Jeodezik Koordinat Sistemleri.....	11
Şekil 2.5 Konvansiyonel Yersel Sistem.....	12
Şekil 4.1 Kartezyen Koordinatlar ile Elipsoidal Koordinatlar Arasındaki İlişki ..	24
Şekil 4.2 3 Boyutlu Dönüşümde Uygulanan İşlem Sırası.....	28
Şekil 4.3 3 Boyutlu Benzerlik Dönüşümü	29
Şekil 4.4 Molodensky-Badekas Dönüşüm Modeli.....	33
Şekil 4.5 10 Parametrelili Afin Dönüşümü	39
Şekil 5.1 Jeoid ile Elipsoit Arasındaki İlişki	47
Şekil 5.2 Yerel Elipsoit ile WGS84 Elipsoidi Arasındaki İlişki	48
Şekil 6.1 Gebze-Halkalı Jeodezik Ağı Ölçme Kanavasını	55
Şekil 6.2 Çalışma Bölgesinin Çevresindeki Jeoid Yüzeyi.....	58
Şekil 6.3 $(X_b, Y_b, Z_b)^I_{YEREL}$ ile $(X_b, Y_b, Z_b)^H_{YEREL}$ Karşılaştırması.....	60
Şekil 6.4 7 Parametrelili Benzerlik Dönüşümlerinde (Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas) $h=H+N$ ve $h=H$ Varsayımıyla Hesaplanan X, Y, Z Koordinatları Arasındaki Farklar	64
Şekil 6.5 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümünde $h=H+N$ ve $h=H$ Varsayımıyla Hesaplanan X, Y, Z Koordinatları Arasındaki Farklar	64
Şekil 6.6 10 Parametrelili Afin Dönüşümünde $h=H+N$ ve $h=H$ Varsayımıyla Hesaplanan X, Y, Z Koordinatları Arasındaki Farklar	65

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No.</u>
Tablo 3.1 WGS84 Elipsoidinin Parametreleri	15
Tablo 6.1 Ölçülen Ağa Ait Bilgiler	54
Tablo 6.2 Eşlenik Noktaların $(X, Y, Z)_{WGS84}$ Koordinatları	56
Tablo 6.3 Eşlenik Noktaların Yerel Sistemdeki Yükseklikleri	56
Tablo 6.4 Eşlenik Noktaların Ondülasyon Değerleri	57
Tablo 6.5 Eşlenik Noktaların ED50 Düzlem Koordinatları ve (φ, λ) Eğrisel Koordinat Değerleri	59
Tablo 6.6 $h=H$ Yaklaşımı ile Hesaplanmış Eşlenik Noktaların Yerel Sistemdeki X, Y, Z Değerleri	59
Tablo 6.7 $(h=H+N)$ ile Hesaplanmış Eşlenik Noktaların Yerel Sistemdeki 3 Boyutlu Kartezyen Koordinatları	60
Tablo 6.8 Bursa-Wolf Modelinde Hesaplanan Dönüşüm Parametrelerinin Karşılaştırması	62
Tablo 6.9 Molodensky-Badekas Modeli'nde Hesaplanan Dönüşüm Parametrelerinin Karşılaştırması	62
Tablo 6.10 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü Modeli'nde Hesaplanan Dönüşüm Parametrelerinin Karşılaştırması	62
Tablo 6.11 10 Parametrelili Afin Dönüşümü Modeli'nde Hesaplanan Dönüşüm Parametrelerinin Karşılaştırması	63
Tablo 6.12 7 Parametrelili Benzerlik Dönüşümü Modelleri Sonucu Elde Edilen X, Y ve Z Değerlerindeki Max. ve Min. Farklar	65
Tablo 6.13 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşüm Modeli Sonucu Elde Edilen X, Y ve Z Değerlerindeki Max. ve Min. Farklar	65
Tablo 6.14 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modeli Sonucu Elde Edilen X, Y ve Z Değerlerindeki Max. ve Min. Farklar	65
Tablo 6.15 Kenarlar İçin Hesaplanan Karesel Ortalama Hatalar	66
Tablo 7.1 $h=H$ ve $h=H+N$ Varsayımları ile Tüm Dönüşüm Modelleriyle Yapılan Dönüşüm Sonuçları Arasındaki Farklar	67
Tablo 7.2 $h=H$ ve $h=H+N$ Varsayımları ile Hesaplanan Çakışma Artıklarının Karşılaştırması	69

SEMBOL LİSTESİ

a, b	: Elipsoidin büyük ve küçük yarı eksen uzunlukları
f	: Elipsoidin basıklığı
e^2 ve e'^2	: Birinci ve ikinci eksentrisite
c	: Kutup eğrilik yarıçapı
GM	: Yer gravite sabiti
w	: Açısal hız
X, Y, Z	: Elipsoidal dik koordinatlar
φ, λ, h	: Elipsoidal eğri koordinatlar (enlem, boylam, elipsoidal yükseklik)
YU, SA	: Gauss-Krüger projeksiyon koordinatları
k_0	: Ölçek faktörü
N_r	: Eğrilik yarıçapı
X_0, Y_0, Z_0	: 3 öteleme (kayıklık)
α, β, γ	: 3 dönüklük
k	: Ölçek faktörü
$\underline{R}$	: Dönüklük matrisi
$\underline{X}_1$	: Noktaların birinci sistemdeki koordinatları
$\underline{X}_2$	: Noktaların ikinci sistemdeki koordinatları
P_0	: Eşlenik noktaların ağırlık merkezi
$\underline{X}^0$	: Molodensky-Badekas Modelinde konum vektörü
$\underline{X}_0$	: Molodensky-Badekas Modelinde öteleme vektörü
$\underline{U}_R$	: $\underline{R}$ dönüklük matrisinin bileşeni
k_x, k_y, k_z	: Üç eksen doğrultusundaki üç ölçek
θ	: Maksimum ölçek faktörünün doğrultusu
$\underline{U}$	: 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modelinde, jeosentrik dik koordinatlar
$\underline{X}$	: 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modelinde, yerel datumda dik koordinatlar
$\underline{X}_L$	: 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modelinde, yerel ufuk dik koordinat sisteminde koordinatlar
X_{L_0}	: Ağırlık merkezinin koordinatları
$\underline{M}$	: 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modelinde dönme matrisi
$\underline{S}$	: 4 Parametrelili Affinite Matrisi
H	: Ortometrik yükseklik
h	: Elipsoidal yükseklik
N	: Jeoid ondülasyonu
h_Y	: Yerel datumdaki elipsoidal yükseklik
Dh	: Molodensky formüllerinden yaklaşık olarak elde edilebilen bir bilinmeyen
h_s	: WGS84 elipsoidine ait elipsoidal yükseklik

ΔX	: İki sistemin orijinleri arasındaki X eksen yönündeki öteleme vektörü
ΔY	: İki sistemin orijinleri arasındaki Y eksen yönündeki öteleme vektörü
ΔZ	: İki sistemin orijinleri arasındaki Z eksen yönündeki öteleme vektörü
Δa	: İki elipsoidin büyük yarı eksenleri arasındaki fark
Δf	: İki elipsoidin basıklık farkı
N_0	: Enterpolasyon noktasının ondülasyon değeri
P_i	: i . dayanak noktasına verilecek ağırlık
x_i, y_i	: Bir dayanak noktasının koordinatları
x_0, y_0	: Bir enterpolasyon noktasının koordinatları,



BİR GPS AĞI ÖRNEĞİNDE 3 BOYUTLU DÖNÜŞÜM MODELLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Yerel sistemlerde yapılan harita çalışmalarının temelini, yatay ve düşey olmak üzere iki kısımdan oluşan jeodezik kontrol ağları teşkil etmektedir. Genellikle yatay kontrol ağları için parametreleri belirlenmiş bir dönel elipsoit, düşey kontrol ağları içinse jeoid ya da ortalama deniz seviyesi vb. gibi bir referans yüzeyi alınır. Ülkemizde de bu çalışmalar yapılırken, yatay kontrol ağları için Uluslararası Elipsoit ($a=6378388$ m, $f=1/297$) alınmıştır. Daha sonra yapılan birtakım hesaplar ile ülkemizin koordinatları Avrupa Datumu 1950'ye (European Datum, 1950=ED50) bağlanmıştır. Son yıllarda haritacılıkta yepyeni bir boyut oluşturan GPS (Global Positioning System) sistemi ile tüm jeodezik amaçları gerçekleştirebilecek çalışmalar yapmak mümkündür. Ancak GPS ölçülerinin çözümü sonucu ulaşılan koordinat bilgileri, pratik olarak doğrudan doğruya kullanılamaz. Bunun nedeni GPS sistemi ile elde edilen koordinatların (X, Y, Z ya da φ, λ, h) WGS84 olarak adlandırılan ve parametreleri yeniden belirlenmiş bir elipsoit üzerinde olmasıdır. Dolayısıyla pratikte kullanılabilecek koordinatların elde edilmesi için elipsoitler arasında, koordinat dönüşümü yapılmalıdır. Bu işlem 1, 2 ya da 3 boyutlu olmak üzere üç şekilde yapılır.

Bu çalışmada 1996 yılında ölçümü yapılmış, yaklaşık 80 km uzunluğunda ve 125 noktadan oluşan bir GPS ağı kullanılarak, söz konusu dönüşüm işlemi için değişik yöntemler ve yaklaşımlar ele alınıp incelenmiştir. Hesaplar 3 boyutlu dönüşüm yöntemleri ile yapılmıştır.

GPS ölçüleri sonucu elde edilen WGS84 elipsoidal dik koordinatları, HAYFORD elipsoidal dik koordinatlarına dönüştürülür. Bu 3 boyutlu dönüşümün yapılabilmesi için ED50 datumundaki mevcut *SAGA* ve *YUKARI* koordinat değerlerinden Hayford elipsoidal dik koordinatlarına geçişte en genel ifadeyle aşağıdaki bağıntılar kullanılır;

$$X = (N_r + h) \cos \varphi \cos \lambda \quad (1)$$

$$Y = (N_r + h) \cos \varphi \sin \lambda \quad (2)$$

$$Z = \left[\frac{b^2}{a^2} N_r + h \right] \sin \varphi \quad (3)$$

(1), (2) ve (3)'de N_r eğrilik yarıçapı

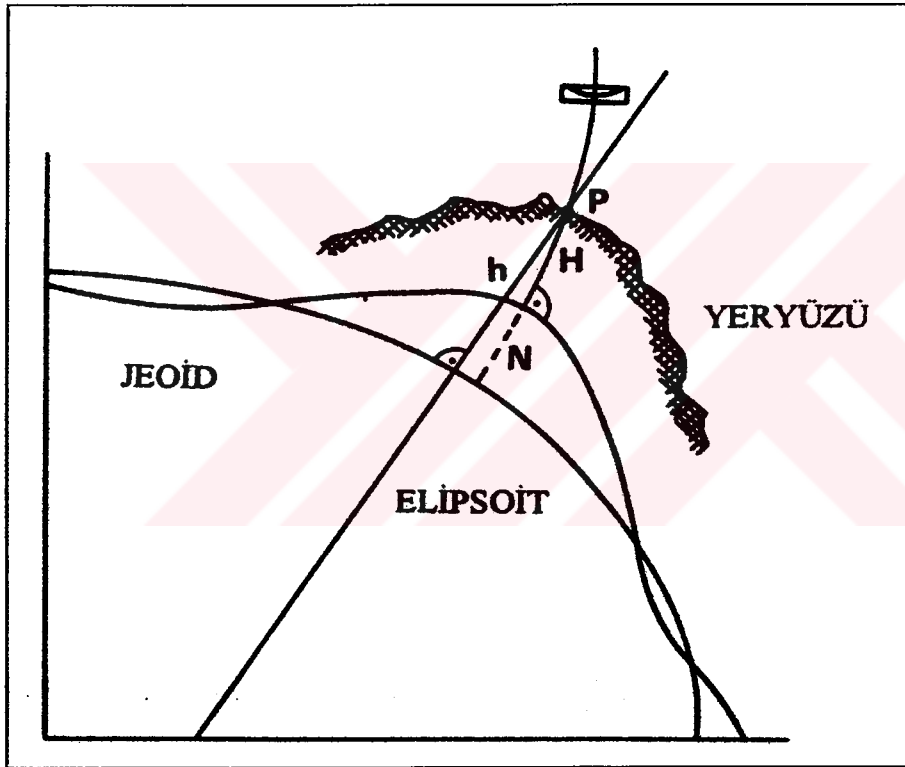
$$N_r = \frac{a^2}{\sqrt{(a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi)}} \quad (4)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Yukarıdaki bağıntılarda görülebileceği gibi, bu işlemin en önemli kısmı, h ile gösterilen elipsoidal yükseklik değerlerinin elde edilmesidir. Elipsoidal yükseklik (h) ile ortometrik yükseklik (H) arasındaki ilişki;

$$H = h - N \quad (5)$$

formülü ile ifade edilir (Şekil 1). Burada N jeoid ile elipsoit arasındaki uzaklık, bir başka deyişle jeoid ondülasyonudur.



Şekil.1 Jeoid ile Elipsoit Arasındaki İlişki

Yerel sistemdeki 3 boyutlu kartezyen koordinatların hesaplanması probleminin çözümünde bazı yaklaşımlar kullanılmıştır. Genel olarak ele alındığında bu işlem için aşağıdaki yöntemler uygulanır;

- Elipsoit yüksekliği türetilerek hesap,
- $h=0$ kabulü ile hesap,
- Jeoid ondülasyonlarının (N) bilinmemesi durumunda, ($h=H$) kabulü ile hesap,
- Jeoid ondülasyonlarının (N) hesaba katılması.

Bu çalışmada $h=H$ ve $h=H+N$ yaklaşımları ele alınmıştır. Her iki yaklaşıma göre,

- Bursa-Wolf Modeli,
- Molodensky-Badekas Modeli,
- 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşüm Modeli,
- 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modeli

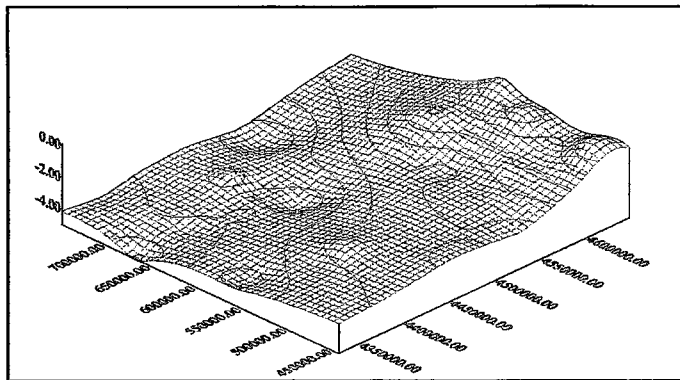
kullanılmıştır.

$h=H$ yaklaşımı için 3 boyutlu dönüşüm yöntemleri ayrı ayrı söz konusu ağı uygulanmış ve dönüşüm gerçekleştirilmiştir. $h=H+N$ yaklaşımında gerekli olan eşlenik noktaların N jeoid ondülasyonlarının hesabı için Türkiye Astrojeodezik Ağından ve Bölüm 5’de algoritması verilen Sayısal Arazi Modeli uygulamasından yararlanılmıştır. Dayanak noktası olarak alınan 21 adet Türkiye Astrojeodezik Jeoidine ait ondülasyon değerlerinden enterpolasyon ile hesaplanan eşlenik noktaların ondülasyon değerlerinin çalışmanın sonucuna etkisinin ne olacağı incelenmiştir. Eşlenik noktalara ait ondülasyon değerleri 2 yöntem ile elde edilmiştir. Sonuç olarak bu iki değerlerin ortalaması hesaplarda kullanılan değer olarak alınmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Eşlenik Noktaların Ondülasyon Değerleri

N.N.	Ağır. Arıt. Ort. ile Ent. Yöntemi (m)	Üçgenleme Yöntemi (m)	N_{ORT} (m)
34014	-2.9724	-2.9420	-2.9572
34015	-2.8988	-2.8432	-2.8710
34027	-2.9623	-2.9120	-2.9372
34030	-3.1397	-3.1381	-3.1389
34031	-3.1490	-3.1358	-3.1424
34070	-3.3240	-3.2953	-3.3097
34091	-3.4692	-3.4327	-3.4510
34092	-3.5267	-3.5277	-3.5272
34093	-3.6089	-3.6450	-3.6270
34112	-3.9596	-3.9598	-3.9597
34120	-4.0753	-4.0961	-4.0857
34142	-3.7008	-3.7000	-3.7004
34146	-3.1774	-3.0957	-3.1366

Çalışma bölgesinin çevresindeki jeoid yüzeyi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışma Bölgesinin Çevresindeki Jeoid Yüzeyi

Söz konusu işlemler yapıldıktan sonra elde edilen eşlenik noktaların üç boyutlu koordinatları Tablo 2 ve 3’de verilmiştir.

Tablo 2. $h=H$ Yaklaşımı ile Hesaplanmış Eşlenik Noktaların Yerel Sistemdeki X , Y , Z Değerleri

$N.N.$	$X_i^I (m)$	$Y_i^I (m)$	$Z_i^I (m)$
34014	4228575.805	2317678.614	4161185.592
34015	4224227.552	2318297.186	4165163.889
34027	4223506.887	2321229.550	4164401.488
34030	4225584.193	2326571.940	4159180.860
34031	4223112.198	2328687.990	4160515.962
34070	4216584.536	2339545.924	4161028.090
34091	4213854.171	2346417.037	4160041.367
34092	4215344.633	2348082.152	4157492.221
34193	4216229.973	2351130.014	4154999.250
34112	4212756.027	2364262.385	4151129.280
34120	4213060.593	2368319.789	4148477.249
34142	4213707.539	2355106.892	4155307.546
34146	4214645.245	2334954.947	4165721.864

Tablo 3. ($h=H+N$) ile Hesaplanmış Eşlenik Noktaların Yerel Sistemdeki 3 Boyutlu Kartezyen Koordinatları

$N.N.$	$X_i^{II} (m)$	$Y_i^{II} (m)$	$Z_i^{II} (m)$
34014	4228573.847	2317677.541	4161183.653
34015	4224225.653	2318296.144	4165162.004
34027	4223504.945	2321228.483	4164399.561
34030	4225582.116	2326570.797	4159178.803
34031	4223110.121	2328686.845	4160513.902
34070	4216582.351	2339544.712	4161025.920
34091	4213851.894	2346415.769	4160039.104
34092	4215342.306	2348080.855	4157489.910
34193	4216227.579	2351128.679	4154996.875
34112	4212753.415	2364260.919	4151126.689
34120	4213057.898	2368318.274	4148474.578
34142	4213705.098	2355105.528	4155305.123
34146	4214643.175	2334953.800	4165719.805

3 boyutlu dönüşümde 7 parametrelili Benzerlik Dönüşümlerinden Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas ve 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü Modelleri, 3 boyutlu Afin Dönüşümlerinden 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modeli kullanılmış ve bu modellerin dönüşüm sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Dönüşüm sonucu elde edilen Yerel Sistemdeki koordinatlar düzlem koordinatlara dönüştürülmüş ve bu düzlem koordinatlardan 53 kenar bilgisi türetilmiştir. Bu kenarlar daha önce Total Station’la ölçülmüş ve deniz yüzeyine indirgenmiş olan kenar bilgileriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonucunda ondülasyon değerlerinin hesaba katılmasıyla elde edilen koordinatlarla hesaba katılmadan elde edilen koordinatlar arasında tüm modellerle yapılan dönüşüm sonucunda, ağ X ve Z yönünde yaklaşık aynı miktarda,

Y yönünde ise tüm noktalarda X ve Z'den farklı olarak yaklaşık aynı miktarda ötelenmiştir.

Ondülasyonların hesaba katılmasının dönüşüm parametrelerine olan etkisi göz önüne alındığında; Bursa-Wolf ve 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü Modellerinde tüm parametrelerde rastlantısal nitelikli değişimlere neden olurken, Molodensky-Badekas ve 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modellerinde dönüklük ve ölçek parametrelerinde benzer değişimlere neden olmuş, ancak kayıklık parametrelerini diğerlerinden çok daha az etkilemiştir.

Ondülasyon değerlerinin hesaba katılması kenar uzunluk değerlerini anlamlı olarak etkilememiştir.

Gerek $h=H+N$, gerekse $h=H$ varsayımıyla yapılan hesaplamalarda en iyi sonucu 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modeli vermiştir.

GPS ile elde edilen koordinatların yerel sisteme dönüştürülmesinde, ağın şekli ne olursa olsun, 3 boyutlu dönüşüm modelleri, 2 boyutlu dönüşüm modellerinden daha iyi sonuç vermektedir. Ancak yerel sistemdeki 3 boyutlu kartezyen koordinatların hesabında ağın konumu ve büyüklüğü göz önünde bulundurularak ondülasyon değerlerinin ihmal edilip edilmeyeceğine karar verilmelidir.

THE STUDY OF THE 3-D TRANSFORMATION MODELS IN A GPS NETWORK

SUMMARY

The geodetic control networks that consist of horizontal and vertical parts constitute a base to geodetic applications in local systems. In general, for the horizontal networks an ellipsoid of defined parameters and for the vertical networks geoid or mean sea level is considered as reference surface. In Turkey the International Ellipsoid ($a = 6378388$ m, $f = 1/297$) is used as a reference surface for horizontal networks. Later with some more calculations, Turkey's coordinates tied to European Datum 1950 (ED50). In recent years with the development of GPS, which performed a new dimension to geodetic applications, it became possible to realize the applications of all geodetic aims. On the other hand, the coordinates determined by the process of GPS measurements can not be used directly in practical. The reason of this is, the coordinates determined by the GPS (X, Y, Z or φ, λ, h) are on a different ellipsoid which's parameters are redefined and named as WGS84. Consequently, for determining the coordinates which useable in practical, a transformation should be done between the two ellipsoids. This procedure can be realized 1, 2 or 3 dimensionally.

In this study a GPS network nearly 80 km length that consist of 125 points and measured in 1996 is used and various methods and approaches handled for the discussed transformation procedures. The calculations are done with the 3D transformation models.

The WGS84 ellipsoidal cartesian coordinates that derived by the GPS measurements are transformed to HAYFORD ellipsoidal cartesian coordinates. For realizing this 3D transformation, primarily, the existing EASTING and NORTHING coordinates on ED50 datum must be transformed to Hayford ellipsoidal cartesian coordinates by the following equations;

$$X = (N_r + h) \cos \varphi \cos \lambda \quad (1)$$

$$Y = (N_r + h) \cos \varphi \sin \lambda \quad (2)$$

$$Z = \left[\frac{b^2}{a^2} N_r + h \right] \sin \varphi \quad (3)$$

In (1), (2) and (3) N_r , the radius of curvature is determined with the following equation,

$$N_r = \frac{a^2}{\sqrt{(a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi)}} \quad (4)$$

As it can be seen from the above equations that the most important part of this procedure is to derive the ellipsoidal height value which is shown as h . The relation between the ellipsoidal height (h) and orthometrik height (H) is expressed by the;

$$H = h - N \quad (5)$$

equation (Figure 1). Here N is the distance between the geoid and the ellipsoid or with a different expression, *geoid undulation*.

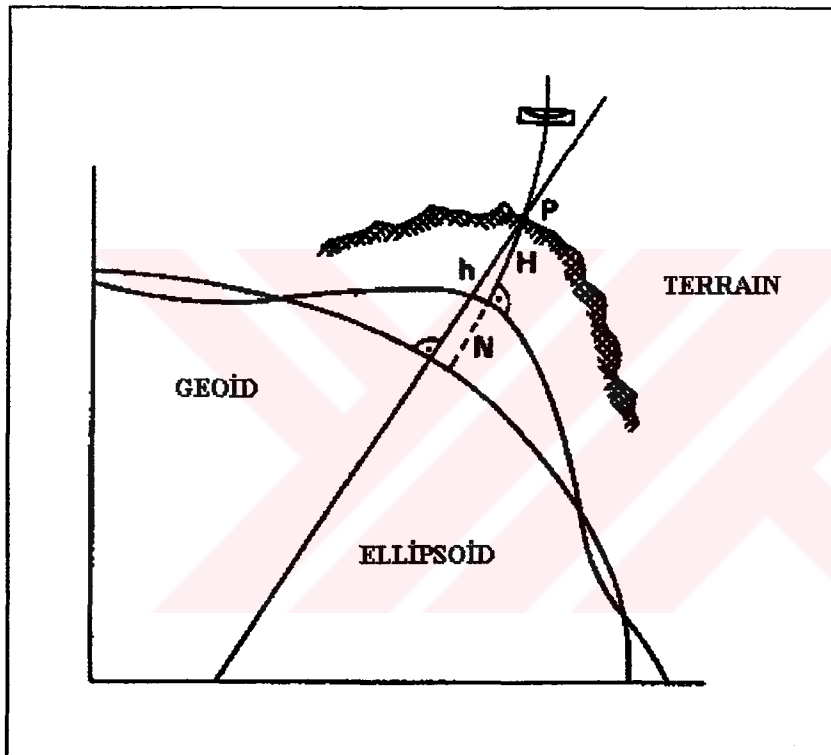


Figure 1- The Relation Between Geoid and Ellipsoid

To solve the problems faced in determining the 3D Cartesian coordinates in local systems, some approaches are used. In general, the following methods are used for this procedure;

- Computation by producing ellipsoidal heights,
- Computation by $h=0$ approach,
- Computation by $h=H$ approach (if the geoid undulations not known),
- Including the geoid undulations to computation.

In this study the $h=H+N$ and $h=H$ approaches are used. According to both approaches;

- Bursa-Wolf Model,
- Molodensky-Badekas Model,
- 9 Parameter Helmert Similarity Transformation Model,
- 10 Parameter Afin Transformation Model,

are used.

Each of the 3D transformation models is applied to the discussed network separately for the $h=H$ approach and the transformation is realized. For the calculation of (N) geoid undulations of common points necessary in $h=H+N$ approach, the Turkish Astrogeodetic Network and a Digital Terrain Model given in Part 5 is used. The geoid undulations of common points determined by interpolating from 21 number of reference points belonging to Turkish Astrogeodetic Geoid and the effect of neglecting these geoid undulations is searched. The geoid undulations of common points are derived with 2 methods. As a result the arithmetical mean of these two methods is used in the calculations.

Table 1. The Geoid Undulations of Common Points

N.N.	Interpolation with Weighted Average (m)	Triangulation Method (m)	N_{ORT} (m)
34014	-2.9724	-2.9420	-2.9572
34015	-2.8988	-2.8432	-2.8710
34027	-2.9623	-2.9120	-2.9372
34030	-3.1397	-3.1381	-3.1389
34031	-3.1490	-3.1358	-3.1424
34070	-3.3240	-3.2953	-3.3097
34091	-3.4692	-3.4327	-3.4510
34092	-3.5267	-3.5277	-3.5272
34093	-3.6089	-3.6450	-3.6270
34112	-3.9596	-3.9598	-3.9597
34120	-4.0753	-4.0961	-4.0857
34142	-3.7008	-3.7000	-3.7004
34146	-3.1774	-3.0957	-3.1366

The geoid surface in the study area is shown in Figure 2.

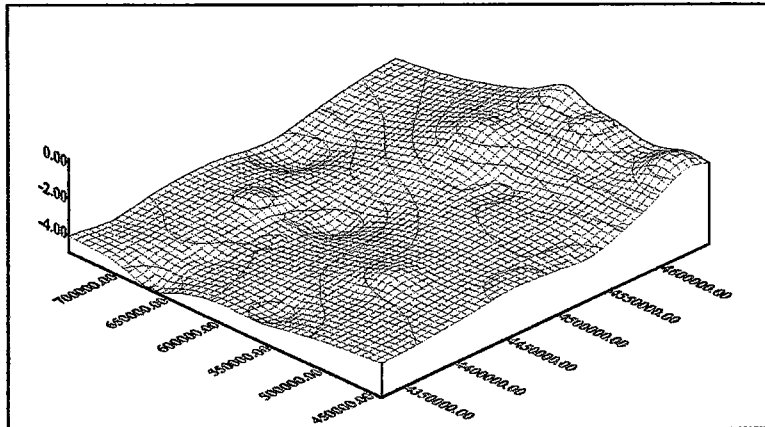


Figure 2. The Geoid Surface in the Study Area

After the discussed calculations are done, the derived 3D Cartesian coordinates of common points are given in Table 2 and 3.

Table 2- The X, Y, Z values of the Common Points in Local System Determined by the $h=H$ Approach

<i>N.N.</i>	$X_i^I (m)$	$Y_i^I (m)$	$Z_i^I (m)$
34014	4228575.805	2317678.614	4161185.592
34015	4224227.552	2318297.186	4165163.889
34027	4223506.887	2321229.550	4164401.488
34030	4225584.193	2326571.940	4159180.860
34031	4223112.198	2328687.990	4160515.962
34070	4216584.536	2339545.924	4161028.090
34091	4213854.171	2346417.037	4160041.367
34092	4215344.633	2348082.152	4157492.221
34193	4216229.973	2351130.014	4154999.250
34112	4212756.027	2364262.385	4151129.280
34120	4213060.593	2368319.789	4148477.249
34142	4213707.539	2355106.892	4155307.546
34146	4214645.245	2334954.947	4165721.864

Table 3- The X, Y, Z values of the Common Points in Local System Determined by the $h=H$ Approach

<i>N.N.</i>	$X_i^{II} (m)$	$Y_i^{II} (m)$	$Z_i^{II} (m)$
34014	4228573.847	2317677.541	4161183.653
34015	4224225.653	2318296.144	4165162.004
34027	4223504.945	2321228.483	4164399.561
34030	4225582.116	2326570.797	4159178.803
34031	4223110.121	2328686.845	4160513.902
34070	4216582.351	2339544.712	4161025.920
34091	4213851.894	2346415.769	4160039.104
34092	4215342.306	2348080.855	4157489.910
34193	4216227.579	2351128.679	4154996.875
34112	4212753.415	2364260.919	4151126.689
34120	4213057.898	2368318.274	4148474.578
34142	4213705.098	2355105.528	4155305.123
34146	4214643.175	2334953.800	4165719.805

In 3D transformation, Bursa-Wolf and Molodensky-Badekas Models are used as 7 Parameter Similarity Transformation Models, 9 Parameter Helmert Similarity Transformation Model and 10 Parameter Afin Transformation Model is used as 3D Afin Transformation Models and the results of these models are compared.

The local coordinates derived by the 3D transformation models are transformed to plane coordinates and 53 length information is produced. These lengths are compared with the length information previously measured with Total Station and have reduced to sea level.

As a result of the transformations done with all of the models, if the coordinates derived with including the geoid undulations and the coordinates derived with neglecting the geoid undulations are compared in all points, the X and Z shifts are approximately same and the Y shift is different from X and Z but same in all points.

If the effect of including the geoid undulations to transformation parameters is discussed, in Bursa-Wolf and 9 Parameter Helmert Similarity Transformation Models in all parameters random changes occurred; in Molodensky-Badekas and 10 Parameter Afin Transformation Model rotation and scale parameters had some changes but shift parameters did not have much effect.

The length values have not been effected meaningfully by including the geoid undulations.

The 10 Parameter Afin Transformation Model has given the best result in both $h=H+N$ and $h=H$ approaches.

In transforming the GPS derived coordinates to local systems, 3D transformation models give better results than 2D transformation models whatever the shape of the network is. But in the calculation of 3D cartesian coordinates of local systems the position and size of the network should be considered for the decision of neglecting or including the geoid undulation.



1. GİRİŞ

Jeodezinin temel amacı, yeryüzünün tamamının veya belirli bir bölgesinin, belirli bir projeksiyon yöntemi ile belirli bir ölçek dahilinde, herhangi bir altlığa geçirmek ve böylece söz konusu yerlerin haritasını çıkarmaktır. Bu haritalar hem konum hem de yükseklik bilgisine sahip haritalar olmakla birlikte, bir coğrafi bilgi sistemine altlık oluşturacak bilgiler içeren haritalar da olabilir. Ancak bu haritaları elde edebilmek için öncelikle çalışma bölgesinde amacı gerçekleştirecek şekilde jeodezik noktalar tesis edilir. Ağdaki noktaların koordinatları daha önce tesis edilmiş olan yatay kontrol ağlarının bir veya birkaç noktasına bağlanarak elde edilir. Noktaların yüksekliklerinin ya da kotlarının elde edilmesinde de benzer bir yol izlenir. Bunun için de jeodezik ağ, daha önceden tesis edilen düşey kontrol ağına ait nokta ya da noktalara bağlanır.

Uygulamada yatay kontrol ağları için referans yüzeyi olarak parametreleri belli olan herhangi bir elipsoit alınırken, düşey kontrol ağları için referans yüzeyi olarak ortalama deniz seviyesi ya da jeoid alınır. Ülkemizde yatay konum için referans yüzeyi olarak birçok ülkede kullanılmakta olan Hayford elipsoidi, düşey konum için ise Antalya mareografında yapılan uzun süreli ölçmeler sonucu belirlenen ortalama deniz seviyesi kullanılmaktadır.

Teknolojinin hızlı gelişimi, mesleğimizde de kendisini göstermiştir. İlk önceleri askeri amaçlı olarak geliştirilen, daha sonraları günümüzde birçok alanda kullanıma giren Küresel Konumlama Sistemi (GPS, Global Positioning System) mesleğimizde bir çığır açmıştır. Noktalar arası görüş gerektirmemesi, hava şartlarından etkilenmemesi ve en önemlisi yatay ve düşey konum bilgilerini birlikte vermesi gibi üstünlükleri ile GPS, gemi, uçak vb. araçların navigasyonundan, önemli yapıların deformasyonlarının belirlenmesine kadar hemen tüm jeodezik amaçları karşılayacak düzeyde doğruluk veren bir yöntemdir. GPS gibi uydu konumlama teknikleri ile, aynı anda bir noktanın hem yatay hem de düşey konumu, diğer bir deyişle üç boyutlu konum bilgilerinin elde edilmesi olasıdır. GPS yönteminde bu bilgiler WGS84

(World Geodetic System-1984) elipsoidindedir. Ülkemizde yatay kontrol ağlarının dayandığı referans yüzeyi ise Hayford Elipsoidi ve ED50 (European Datum-1950) datumudur. Dolayısıyla GPS yöntemi ile elde edilecek noktaların koordinatlarının pratik olarak kullanılabilmesi için, bu datumda yapılan ölçmelerin ED50 datumuna dönüştürülmesi zorunludur. Bu işlem, klasik bir jeodezik dönüşüm işleminden ibarettir.

Dönüşüm işlemi, 1, 2 ve 3 boyutlu olmak üzere üç kısımda incelenebilir. Bu çalışmada sadece 3 Boyutlu dönüşüm işlemi ele alınmıştır. 3 Boyutta dönüşüm işleminde, genelde yerel sistemde bağlantı yapılan noktaların sağa yukarı değerleri ve ortometrik yükseklikleri mevcut olduğundan, $X; Y; Z (\varphi, \lambda, h)$ değerlerine geçişte, jeoid ondülasyonu ihmal edilip $H=h$ kabulü yapılmaktadır. Bu çalışmada hem bu kabule dayalı hem de jeoid ondülasyonları hesaba katılarak 3 Boyutta dönüşüm yapılmış ve ihmal edilen ondülasyon değerlerinin yerel sistemdeki dönüşümde kullanılan ortak noktaların üç boyutlu koordinatlarına ve dönüşüm parametrelerine olan etkisi incelenmiştir. Tüm işlemler 1996 yılında ölçülen ve yaklaşık 80 km'lik bir uzunluğa sahip olan Gebze-Halkalı arasında kurulmuş olan jeodezik ağda yapılmıştır. Uygulamada kullanılan yerel sisteme ait ondülasyon değerlerinin hesabı için bölge civarındaki Türkiye astrojeodezik jeoidine ait 21 adet dayanak noktası kullanılarak yüzey geçirilmiş ve yerel sistemdeki 13 ortak noktanın jeoid ondülasyonları çeşitli enterpolasyon yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Söz konusu ağdaki GPS yöntemi ile koordinatı belirlenen 125 noktanın, ED50 datumundaki koordinatlarını elde etmek için 3 Boyutlu koordinat dönüşümü yapılmıştır. Dönüşümde 7 parametrelilik benzerlik dönüşümlerinden Bursa-Wolf ve Molodensky-Badekas Dönüşüm Modelleri, 9 Parametrelilik Helmert Benzerlik Dönüşümü Modeli ve 10 Parametrelilik Afin Dönüşüm Modeli kullanılmıştır. Dönüşüm sonucu elde edilen Hayford elipsoidindeki 3 boyutlu koordinat değerlerinden, Gauss-Krüger Projeksiyon Düzlem koordinatları hesaplanıp, bu değerlerden 53 kenar bilgisi türetilmiştir. Elde edilen tüm kenar uzunlukları, Total Station'la ölçülen ve deniz yüzeyine indirgenen kenarlarla karşılaştırılmıştır. Gerek dönüşümler sonucu bulunan dönüşüm parametreleri ve gerekse kenarlar arasındaki farklar, ilgili bölümlerde detaylı olarak verilmiştir.

2. JEODEZİDE REFERANS ve KOORDİNAT SİSTEMLERİ

Jeodezik çalışmaların amacı, “Fiziksel yeryüzündeki herhangi bir noktanın uzay koordinatlarının, bu yüzey üzerinde birtakım jeodezik işlemler yapılarak belirlenmesidir” olarak tanımlanabilir (Soler ve Hathem, 1988). Bir noktanın konumu ise ancak bir jeodezik referans yüzeyine göre belirlenebilir. Genel anlamda ele alındığında jeodezik konum belirleme, başlangıcı ve eksenlerinin yönleri tanımlanmış bir koordinat sisteminde (yersel, göksel ve yörüngesel) bir noktanın yerinin sistemin parametreleri cinsinden ifade edilmesidir (Deniz, 1988). Buradaki jeodezik referans yüzeyi, yeryuvarının matematiksel olarak tanımlanması mümkün olmayan gerçek yüzeyi yerine kullanılan bir yüzeydir.

Jeodezik sonuçları karşılıklı olarak kıyaslayabilmek ve astronomi, fen gibi diğer bilimlere yardımcı olabilecek tutarlı sonuçlar vermek amacıyla Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği (International Union For Geodesy And Geophysics, IUGG) tarafından jeodezik sistemler kurulmuştur (Torge, 1991).

2.1. Jeodezik Referans Sistemleri

Üzerinde ölçmeler yapılan fiziksel yeryüzü, son derece düzensiz ve matematiksel formüllerle ifade edilemeyecek kadar karmaşık bir yapıya sahiptir. Bir noktanın konumu ise genellikle enlem, boylam ve referans yüzeyinden olan yükseklik gibi eğrisel koordinatlarla ifade edilir. Burada belirtilen referans yüzeyleri, üzerinde kolayca hesap yapılması mümkün olan ve matematiksel olarak rahatlıkla ifade edilebilen yüzeylerdir. Bir referans yüzeyinin sahip olması gereken önemli özellikler;

- Bir nivo yüzeyi (durgun su yüzeyi) olmalı,
- Yeryüzü için tek anlamlı ve kesin olarak tanımlanabilmeli,
- Üstünde hesap yapılabilmesi, yani kapalı bir fonksiyonla geometrik olarak ifade edilebilmelidir (Baykal, 1996).

Jeodezide en yaygın olarak kullanılan referans yüzeyleri küre, elipsoit ve jeopotansiyel (jeoid) yüzeylerdir.

Jeoid için çok çeşitli tanımlamalar yapılmıştır; “Jeoid, dünyanın gravite alanının eşpotansiyel ya da yükseklik yüzeylerinin tümünün oluşturduğu ailenin bir üyesidir” (King ve diğ., 1985). “Karaların altında da devam ettiği varsayılan, rüzgar, ısı ve diğer dış etkilere korunmuş durgun su yüzeyinin oluşturduğu kapalı şekildir” (Nader, 1987).

Jeoidin eğriselliği yeryuvarının içindeki yoğunluk farklılıkları nedeniyle süreksizlikler gösterebilir. Sonuç olarak jeoid bir analitik yüzey özelliği göstermez ve bu nedenle yatay konumun belirlenmesinde bir referans yüzeyi olarak kullanılamaz. Bununla birlikte, gravite alanında tanımlanan yükseklikler ve gravite ölçmeleriyle geometrik nivelman ölçmelerinin birlikte kullanıldığı yöntemler için son derece uygun yüzey özellikleri içerir (Torge, 1991).

Yatay konumun belirlenmesi geometrik ve matematiksel hesapları gerektiren bir işlemdir. Bu hesapların yapılabilmesi için jeoidde çok benzeyen ancak matematiksel olarak ifade edilmesi kolay olan bir referans yüzeyi gerekmektedir. Bu durumu en iyi şekilde sağlayan yüzey elipsoittir. Elipsoit, dünyanın şekline en uygun basit bir matematiksel yüzeydir. Elipsoit gerçekte var olmayan ancak matematiksel formüllerle çok basit bir şekilde tanımlanabilen ve en önemlisi gravite alanı matematiksel olarak ifade edilebilen bir yüzeydir.

Jeoid ile elipsoit arasındaki yükseklik farkı jeoid ondülasyonu olarak tanımlanır ve (N) ile gösterilir. Jeoid ondülasyonları astrojeodezik, gravimetrik ya da Doppler uyduları verileriyle saptanabilir (Agajelu, 1990). Yerel sistemlerde elipsoidal yüksekliklerin belirlenmesi jeoid ondülasyonlarının bilinmesine bağlı olan bir olaydır. Ancak jeoid ondülasyonları kolaylıkla belirlenebilen bir bilinmeyen değildir. Dolayısıyla yerel sistemlerde elipsoidal yüksekliklerin belirlenmesi oldukça zahmetli bir işlemdir.

2.2. Jeodezide Kullanılan Koordinat Sistemleri

Jeodezik faaliyetlerin çeşitliliğine bağlı olarak, koordinat sistemlerinin farklı amaçlara hizmet veren sınıflandırmaları yapılabilir. Bunlar;

- i-) Gözleyicinin konumuna göre sınıflandırma,
- ii-) Koordinat sisteminin şekline göre sınıflandırma,
- iii-) Koordinat sisteminin orijinine göre sınıflandırma,
- iv-) Yeryuvarının ve etrafındaki uyduların hareketine göre sınıflandırma, (Kutoğlu, 1996).

3 Boyutlu Euclid uzayında kartezyen dik koordinatların (X, Y, Z) ya da eğrisel koordinatların (φ, λ, h) tanımlanması mümkündür. Sonuç olarak jeodezide kullanılan sistemler temelde iki kategoriye ayrılabilir. Bunlar başlangıcı yerin merkezinde olan global sistemler ve başlangıcı yeryuvarı üzerinde herhangi bir yer olan yerel sistemlerdir (Verkuil, 1985).

Uzay tüm cisimleri içinde barındıran sonsuz bir büyüklüktür. İçindeki cisimler hem kendilerince hem de birbirlerine göre çok çeşitli hareketler yaparlar. Dünyanın da uzayda iki farklı hareketi vardır. Bu iki periyodik hareketten birincisi kendi etrafında dönmesi, ikincisi ise güneş etrafında dolaşmasıdır. Üçüncü bir periyodik hareket de ay gibi doğal ve çok sayıda yapay uydunun dünya etrafındaki yörüngesel hareketleridir. Koordinat ve zaman sistemlerinin tanımlanmasında bu periyodik hareketler temel teşkil eder.

Periyodik hareketler göz önünde bulundurularak yapılacak olan bir sınıflandırmada koordinat sistemleri üç kategoride incelenebilir;

- i-) Yersel Koordinat Sistemleri,
- ii-) Göksel Koordinat Sistemleri,
- iii-) Yörüngesel Koordinat Sistemleri.

Göksel Koordinat Sistemleri; güneş ve yıldızlar gibi gök cisimlerinin koordinatlarını belirlemek için kullanılırlar. Ufuk, saat açısı, rektesansiyon ve ekliptik olarak adlandırılan dört ayrı göksel koordinat sistemi vardır.

Yörüngesel Koordinat Sistemleri; dünya etrafında belirli bir yörüngede hareket etmekte olan uyduların koordinatlarını belirlemek için kullanılırlar.

Bir de bu sistemlere ek olarak zaman sistemleri vardır. Zaman sistemleri göksel koordinat sistemi ile yersel koordinat sistemlerini birbirine dönüştürmek için gereklidir. Ölçme ve navigasyonda belirlenecek zaman ölçeğinin, yerin dönmesi ile ilişkili olması gereklidir. Ayrıca bir uyduya olan toposentrik uzunluk doğrudan yerin dönel konumuyla ilişkilidir, yani zamanın fonksiyonudur.

Bu çalışmada kullanılan koordinat sistemleri Yersel Sistemler olduğundan yersel sistemlerin daha kapsamlı olarak incelenmesi gereklidir.

Bir koordinat sisteminin tanımlanması için;

- i.) Başlangıç noktasının konumu,
- ii.) Koordinat eksenlerinin yönleri,
- iii.) Koordinat sistemine ait bir noktanın konumunu belirleyen parametreler,

kesinlikle bilinmelidir.

2.2.1. Yersel koordinat sistemleri

3 boyutlu jeodezide, yersel koordinat sistemleri kullanılır. Yer sabit bir referans sisteminin tanımının karışıklığı, litosfer tabakasının (yeryuvarının yaklaşık 100 km'lik dış tabakası) bağımsız olarak hareket eden yaklaşık 20 rijit plakadan oluşmasından ileri gelmektedir. Yersel koordinat sistemleri dünyaya göre sabittirler ve dünya ile birlikte dönerler. Yeryuvarı üzerindeki noktaların koordinatlarının belirlenmesinde kullanılırlar. Jeosentrik ve Toposentrik Sistemler olarak ayrılabilceği gibi gözleme ve ölçmelerin dayandığı doğal sistemler ve hesapların dayandığı referans sistemleri gibi de ayrılabilirler (Deniz, 1988).

2.2.1.1. Jeosentrik Sistemler

Ortalama ve Anlık Yersel Sistemler ve Jeodezik (Elipsoidal) Sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar;

A-) Ortalama ve Anlık Yersel Sistemler : Ortalama Yersel Sistem, ideal dünya jeodezik sistemidir. Özellikleri;

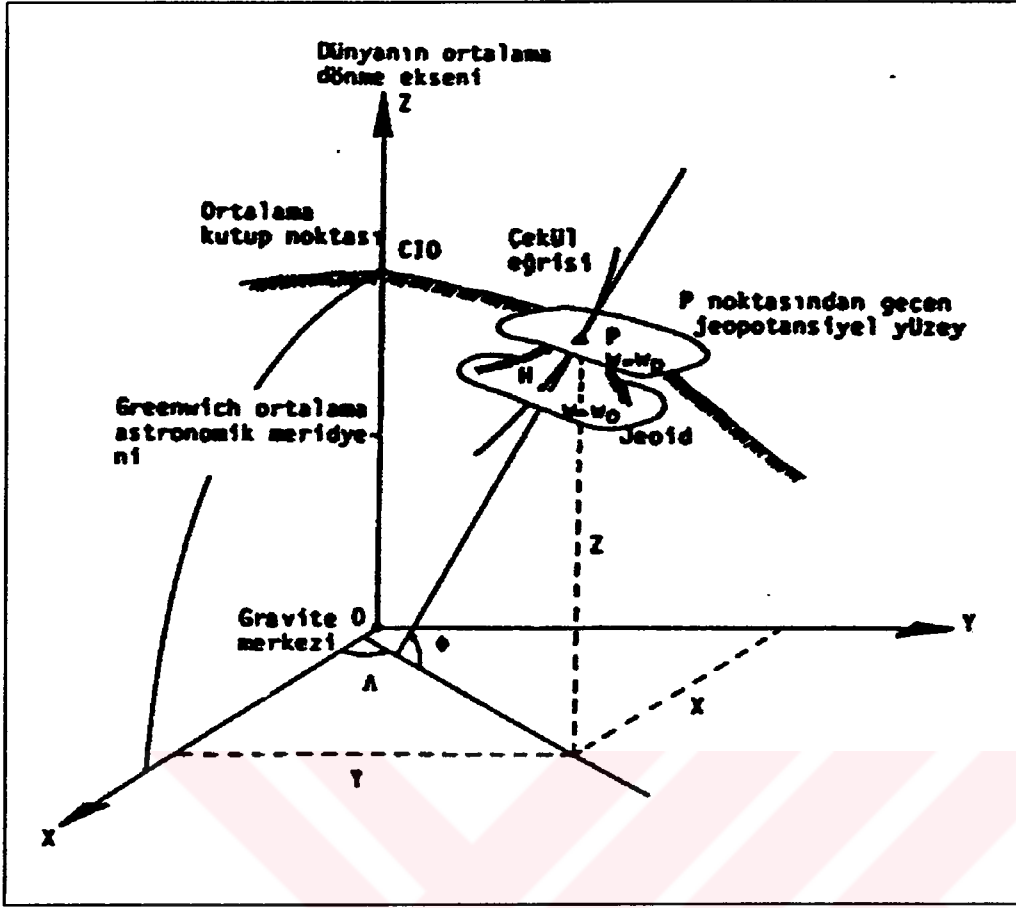
- a-) Başlangıcı dünyanın ağırlık merkezindedir,
- b-) Z-ekseni yeryuvarının ortalama dönme eksenine ile çakışıktır ve CIO (Conventional International Origin)'ya doğru yönelmiştir,
- c-) Birinci eksen (X-ekseni) Greenwich ortalama astronomik meridyen düzlemi ile ortalama ekvator düzleminin arakesitine uzanır ve artı yönü 0^0 astronomik boylamını işaret eder,
- d-) Sistem, sağ el sistemidir.

Bu sistem, noktaların uzaydaki konumlarının belirlenmesine ve bir noktanın ortalama astronomik enlemi (ϕ) ve boylamının (λ) tanımlanmasına yarar. Bir yer noktasının konumu X, Y, Z dik koordinatları ile ya da ϕ, λ, W ya da ϕ, λ, H eğri koordinatları ile tanımlanabilir.

Anlık Yersel Sistemin;

- a-) Başlangıcı dünyanın ağırlık merkezidir,
- b-) Z-ekseni dünyanın gerçek dönme eksenine ile çakışıktır,
- c-) X-ekseni gerçek ekvator düzlemi ile, gerçek dönme eksenine ve Greenwich gözlemevi astronomi noktasını içine alan düzlemin arakesitidir.

Her iki sistemin de ana özelliği, başlangıçları dünyanın ağırlık merkezinde olan ve Z eksenleri dünyanın ortalama ve gerçek dönme eksenleri ile çakışık olan jeosentrik sistemler olmasıdır. Ortalama koordinat sistemi ile doğal koordinatlar arasındaki ilişki Şekil 2.1'de verilmiştir.

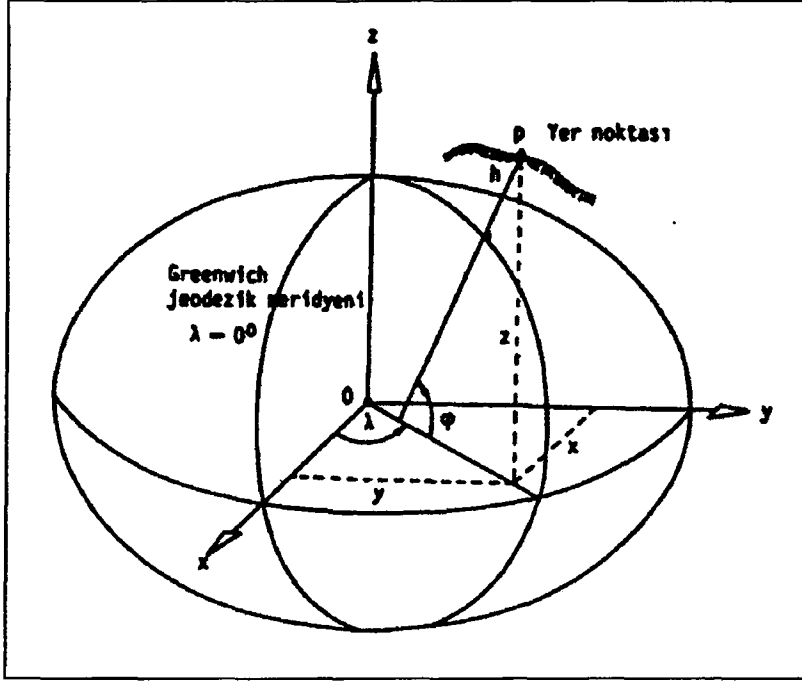


Şekil 2.1 Ortalama Koordinat Sistemi, Doğal Ortalama Koordinatlar

B-) Jeodezik (Elipsoidal) Sistemler : Bu sistemin ana özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

- a-) Başlangıcı referans elipsoidinin merkezindedir,
- b-) Z-ekseni elipsoidin küçük eksenine ile çakışmıştır,
- c-) X-ekseni Greenwich jeodezik meridyen düzlemi ile ekvator düzleminin arakesitindedir ve artı yönü 0° jeodezik boylama yönelmiştir,
- d-) Sistem, bir sağ el sistemidir.

Sistemde bir noktanın konumu X , Y , Z dik koordinatları ile ya da φ , λ , h elipsoidal eğri koordinatları ile belirlenir. Elipsoidal dik ve eğri koordinatlar arasındaki ilişki Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Elipsoidal Dik ve Eğri Koordinatlar

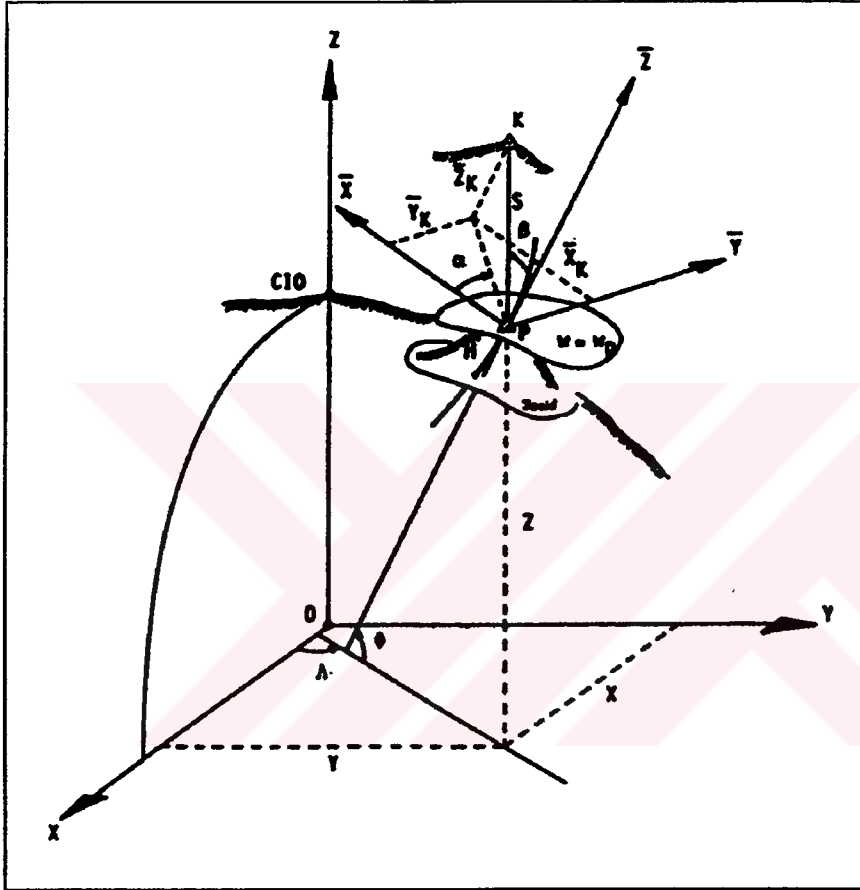
2.2.1.2. Toposentrik sistemler

Yeryüzündeki her nokta için ayrı bir toposentrik sistem tanımlanır. Bunların en belirgin özelliği başlangıç noktasının durulan nokta olmasıdır. İki çeşit yersel toposentrik koordinat sistemi tanımlanabilir;

A-) Lokal Astronomik Sistem : Sistemin özellikleri;

- a-) Başlangıcı fiziksel yeryüzü üzerinde durulan noktadır,
- b-) Z-ekseni durulan noktadan (gözleme istasyonundan) geçen eşpotansiyel yüzeyin normali (çekül eğrisinin teğeti) ile çakışmıştır ve pozitif yönü astronomik başucuna yöneltmiştir,
- c-) X-ekseni durulan noktadaki jeopotansiyel yüzeye teğet düzlem içersindedir ve ortalama kutup noktası CIO'ya yönelmiştir. X-ekseninin yönü astronomik kuzey olarak adlandırılır,
- d-) Y-ekseni bir sol el sistemi oluşturacak şekilde teğet düzlem içersinde kalarak doğuya yöneltmiştir.(Şekil 2.3)

Yeryüzünde yapılan bütün ölçmeler bu sisteme göre yapılır. Örneğin bir P noktasına kurulan bir teodolit, bu noktadan geçen jeopotansiyel yüzeye göre tesviye edilir ve aletin asal eksenini çekül doğrultusu ile yani Z-ekseni ile çakıştırılır. X-ekseninin doğrultusu astronomik gözlemler ile belirlenir. P noktasından K hedef noktasına ait astronomik azimut (α), başucu açısı (β), ve S uzay eğik kenarı ölçülebilir. Bunlar K noktasının kutupsal koordinatlarıdır.



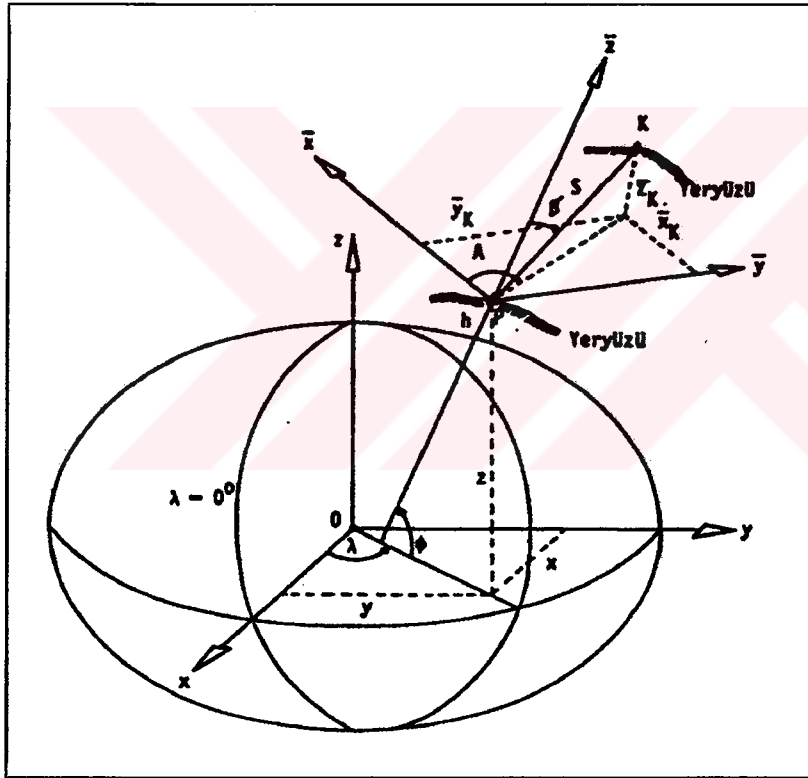
Şekil 2.3 Lokal Astronomik ve Ortalama Yersel Koordinat Sistemleri

B-) Lokal Jeodezik Sistem : Sistemin temel özellikleri;

a-) Başlangıcı, gözleme istasyonundan geçen elipsoit normali üstündedir. Prensip olarak başlangıç noktasının elipsoit normali boyunca herhangi bir yerde olabileceğine dikkat edilmelidir. Uygulamada başlangıç noktası gözleme istasyonunda, elipsoit yüzünde veya elipsoit normali ile jeoidin kesiştiği yerde seçilir,

- b-) Z-ekseni, elipsoit normali ile χ akışır ve pozitif yönü jeodezik başucuna yöneltilmiştir,
- c-) X-ekseni, başlangıç noktasında elipsoit normaline dik olan düzlem içersindedir ve elipsoidin dönme eksenine yani jeodezik kuzeye yöneltilmiştir,
- d-) Y-ekseni bir sol el sistemi oluşturacak şekilde doğuya yöneltilmiştir. (Şekil 2.4)

Lokal Jeodezik ve Lokal Astronomik Sistemler arasındaki ana fark, Z-eksenlerinin, birinde gözleme istasyonundan geçen elipsoit normali ile diğerinde ise jeopotansiyel yüzeyin normali ile χ akışmasıdır.



Şekil 2.4 Jeodezik ve Lokal Jeodezik Koordinat Sistemleri

2.3. Uydu Jeodezisinde Kullanılan Koordinat Sistemleri

Gelişen teknoloji sonucu ortaya çıkan uydu ölçme teknikleri, dayandırılacağı yüksek presizyonlu sistemlerin gerekliliğini de beraberinde getirmiştir. Bunun sonucu olarak da, uydu jeodezisinde kullanılacak koordinat sistemleri doğmuştur. Uydu ölçme

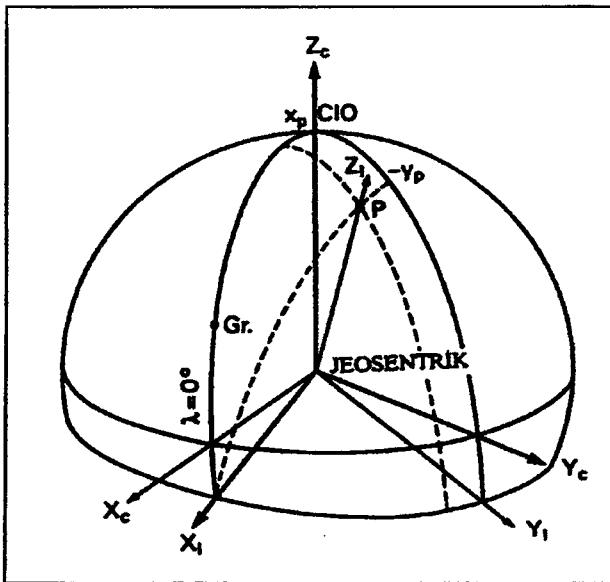
tekniklerinin doğruluğunun artması referans sistemlerinin doğruluğunun artmasıyla paralellik göstermektedir.

Uydu hareketleri yerin ağırlık merkezine göre belirlendiğinden dolayı, yermerkezlidir ve globaldir. Ancak yersel sistemler, adından da anlaşıldığı üzere yereldir ve belli bir bölgesel datuma bağlıdır. Burada ortaya çıkan sorun bu uydu sistemleri ile yerel sistemler arasındaki ilişkinin yüksek bir doğrulukla belirlenebilmesidir.

Uydu jeodezisinde kullanılan sistemler şöyle sınıflandırılabilir;

- Uydu hareketinin tanımlanması için uzaya bağlı inersiyal koordinat sistemi (Conventional Inertial System-CIS),
- Nokta koordinatlarının belirlenmesi ve uydu jeodezisi sonuçlarının tanımlanması için yermerkezli yersel referans sistemi (Conventional Terrestrial System-CTS) (Kılıçoğlu, 1995)

Uydu hareket teorileri inersiyal, yani hareket etmeyen bir koordinat sistemine göre geliştirilmiştir. Bu sistemin merkezi yeryuvarının merkezi ile çakışıktır. Z-ekseni dünyanın dönme ekseninden, X-ekseni ilkbahar noktası (vernal ekinoks)'dan geçer. Y-ekseni de sağ el sistemi oluşturacak şekilde bu iki eksene dik olarak yerleştirilir (Türkezer, 1998). (Şekil 2.5)



Şekil 2.5 Konvansiyonel Yersel Sistem

3. WGS84 (World Geodetic System-1984) ve YEREL SİSTEM (ED50)

Üzerinde yaşadığımız oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan dünyamızda tüm haritacılık işlemleri ve ürünleri sınırlandırılmış bir alan dahilinde klasik olarak belirlenmiş değişik yerel ve bölgesel datumlarla tanımlanmıştır. Eksik tanımlamalarla birlikte, teknik yetersizliklere ve uzun yıllar boyunca yapılmış birleştirilmiş dengelemelere bağlı olarak, yer kabuğu deformasyonları ve diğer doğal olaylar lineer olmayan distorsiyonların oluşmasına neden olmuştur. Sonuç olarak yerel jeodezik datumlar artık yaşlanmıştır.

3.1. WGS84 (World Geodetic System-1984)

Uydu bazlı konum belirleme sistemlerinin geliştirilmesi, ulusların değişik amaçlı ve farklı bölgesel datumlarının birbirine bağlanması isteği, bir global jeodezik referans sistemine olan ihtiyacı iyice ortaya çıkarmıştır. Tüm bu eksiklikler göz önüne alınarak ABD Savunma Haritacılığı Dairesi (DMA, Defence Mapping Agency), uydu ölçmeleri ve Hiran (High Precision Short Range Navigation) gibi konvansiyonel jeodezik ölçmelerden oluşturulmuş ilk Dünya Jeodezik Sistemini (WGS, World Geodetic System) 1960'ta geliştirmiştir (Langley, 1990).

Uydu tekniklerinin gelişmesi ve uydu ölçmelerinin sayılarının artması ilk üretilen sistem olan WGS60'ın eksiklerini ortaya çıkarmış ve bu sistemi WGS66, WGS72 gibi sistemler takip etmiştir. WGS72, GPS uydularının yörüngelerini ve navigasyon mesajlarını tanımlamak için geliştirilmiş bir konvansiyonel yerel sistem olarak kabul edilmiştir. Ancak tıpkı WGS60 ve WGS66 gibi WGS72'nin doğruluğunun da bir süre sonra yetersiz olduğu anlaşılmış ve yerini WGS84'e terk etmiştir (Langley, 1990).

Daha öncekilerle karşılaştırıldığında WGS84, doğruluğu en yüksek referans sistemidir. Tüm bunlara ek olarak, sistemin global etkisini arttırmak için hesaplanan dönüşüm parametreleriyle yerel ya da bölgesel datumlara bağlantılar yaratılmıştır.

WGS84, güvenilir bir referans sistemini, dünya gravitasyonel modelini, normal gravite formülünü, geoidi ve tüm kıtalarla büyük okyanus bölgelerindeki birçok adayı kapsayan 105 yerel ve bölgesel datumlarla birlikte dönüşüm sabitlerini içerir (Kumar, 1993). Bazı dezavantajları bulunmakla birlikte, haritacılık ve jeodezik çalışmalara önemli kolaylıklar getirmiştir.

3.1.1. WGS84 elipsoidi

Jeodezik uygulamalarda üç değişik dünya şekli ya da yüzeyi göz önüne alınır ve kullanılır. Bu yüzeyler, dünyanın gerçek fiziksel yüzeyi; bir geometrik (ya da matematiksel) referans yüzeyi yani elipsoit ve bir eşpotansiyel yüzey yani jeoiddir. Dünyanın geometrik yüzeyini ve teorik gravitesini tanımlayan WGS84 elipsoidi jeosentrik ve eşpotansiyel bir elipsoittir. WGS84 referans elipsoidi Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği'nin (IUGG, International Union of Geodesy and Geophysics) 1980'de geliştirdiği Jeodezik Referans Sisteminin (GRS80, Geodetic Reference System) üzerinde bir takım küçük değişiklikler yapılmış şeklindedir. Bu elipsoit Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliğinin 1979'da Canberra'da yaptığı 17. Kongresinde dünyanın şekline en çok benzeyen elipsoit olarak kabul edilmiştir (Langley, 1990).

WGS84 elipsoidinin başlangıcı ve eksenlerinin yönlendirilmesi WGS84 koordinat sistemiyle aynıdır. Elipsoidin parametreleri büyük yarı eksen a , yer gravite sabiti GM , ikinci dereceden normalize edilmiş zonal gravite katsayısı $C_{2,0}$ ve açısal hızı w 'dir. Bu parametrelerin GRS80'in parametrelerinden tek farkı GRS80'deki ikinci dereceden normalize edilmiş zonal gravite katsayısının J_2 olmasıdır.

Büyük yarı eksen a , GRS80'in a parametresi ile aynı olup değeri ve standart sapması; $a=(6378137\pm2)$ m'dir. Büyük yarı eksen a , 1976-1979 periyodunda yapılan Laser, Doppler, Radar Altimetresi, Laser+Radar Altimetresi ve Doppler+Radar Altimetresi gibi veri teknikleri kullanılarak belirlenmiştir.

Yer gravite sabiti GM , atmosferin kütesini içermekte ve değişik türden uzay gözlemlerine dayanmaktadır. GM değeri ve standart sapması;

$$GM=(3986005\pm0.6)\times10^8 \text{ m}^3\text{s}^{-2}$$

Normalize edilmiş ikinci dereceden zonal gravitasyonel katsayısı $C_{2,0}$, GRS80 elipsoidi için kabul edilen J_2 değerinden, matematiksel ilişkiler kurularak elde edilmiştir. $C_{2,0}$ 'nin değeri ve standart sapması;

$$C_{2,0}=(-484.16685\pm0.00130)\times10^{-6}\text{’dir.}$$

Açısal hız w 'nin değeri ve standart sapması;

$w=(729115\pm0.1500)\times10^{-11}$ *radyan/saniye*'dir. Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği tarafından hesaplanmış ve sabit açısal hızla yerin dönme standardı olarak kabul edilmiştir (Şimşek, 1994).

WGS84 elipsoidinin türetilmiş diğer bazı parametreleri Tablo 3.1.'de verilmiştir (Şimşek, 1994).

Tablo 3.1 WGS84 Elipsoidinin Parametreleri

WGS84 Elipsoidinin Türetilmiş Parametreleri	
<i>Küçük yarı eksen</i>	$b = 6356752.3142 \text{ m}$
<i>Basıklık</i>	$f = 1/298.257223563$
<i>Birinci Eksentrisite</i>	$e^2 = 0.00669437999013$
<i>İkinci Eksentrisite</i>	$e'^2 = 0.0067394674227$
<i>Kutup Eğrilik Yarıçapı</i>	$c = 6399593.6258 \text{ m}$

3.1.2. WGS84 koordinat sistemi

WGS84 koordinat sistemi, belirlenmiş bir zaman için geçerli olan ortalama astronomik kutup etrafında sabit bir hızla dönen ortalama ya da standart dünya şeklini içerir. Bir konvansiyonel yersel sistemin gerçekleştirilmesidir. Uluslararası Saat Bürosu tarafından (BIH, Bureau International de l'Heure) BIH istasyonları için elde edilen koordinatlara dayandırılarak oluşturulmuştur. WGS84 koordinat sisteminin genel olarak özellikleri şöyle sıralanabilir;

WGS84 koordinat sisteminin;

Merkezi : Yeryuvarı kütesinin ağırlık merkezine çakışıktır (yaklaşık 10 cm doğrulukla). Aynı zamanda WGS84 elipsoidinin merkezidir.

Z-ekseni : Kutupsal hareket için BIH istasyonlarından toplanan koordinatlara dayanarak BIH tarafından tanımlanan Konvansiyonel Yersel Kutba doğru yerin dönme eksenine paraleldir. Aynı zamanda WGS84 elipsoidinin dönme eksenidir.

X-ekseni : WGS84 referans meridyen düzlemi ile konvansiyonel yersel kutbun ekvator düzleminin arakesitidir. Referans meridyeni sıfır meridyenidir ve BIH istasyonlarından toplanan koordinatlara dayanılarak BIH tarafından tanımlanmıştır. WGS84 elipsoidinin X-eksenidir.

Y-ekseni : Yer merkezli, yer sabit bir sağ el sistemi oluşturacak ortogonal koordinat sistemi şeklindedir. CTP (Conventional Terrestrial Pole) ekvator düzleminde, X-ekseninden itibaren 90^0 açı oluşturur. WGS84 elipsoidinin Y-eksenidir (Şimşek, 1994).

WGS84 sistemi Anlık Yersel Sistem ve Konvansiyonel Inersiyal Sistem ile ilişkilidir. Ayrıca Navy Navigation Satellite System'ın koordinat sistemine de uygundur.

GPS alıcısı tarafından doğrudan alınan veriler, hesap aşamasında veri alınan uydu koordinatlarıyla aynı sistemi kullanır. Başka bir deyişle, uyduların koordinatları WGS84 sistemindedir, dolayısıyla GPS alıcısı da aynı sistemde hesap yapar. Bu koordinatlar Elipsoidal Dik Koordinatlar (X, Y, Z) ya da Elipsoidal Eğri Koordinatlar (ϕ, λ, h) olarak tanımlanabilir.

3.2. Yerel Sistem (ED50)

Uydu yöntemleri ile üretilen yatay ve düşey konum bilgileri global bir datumda belirlenirken, ülkelerin sahip olduğu yatay ve düşey konum bilgileri ayrı ayrı bölgesel datumlarda belirlenir. Uydu teknikleri geliştirilinceye kadar ülkeler, kontrol noktalarının yatay ve düşey konumlarını klasik yöntemlerle belirlemek zorunda kaldıklarından, bölgesel datumlarda çalışılması bir zorunluluk olmuştur. Ülkemizde de yatay konum bilgileri için referans yüzeyi olarak Hayford Elipsoidini

(Uluslararası Elipsoit-International Elipsoid) kullanan ED50 (Avrupa Datumu 1950-European Datum 1950) datumu kullanılmaktadır.

1924'te Madrid'te toplanan Uluslararası Jeodezi ve Jeofizikçiler Birliği, (International Union for Geodesy and Geophysics, IUGG) J. F. Hayford tarafından 1909 yılında belirlenen ve Hayford Elipsoidi olarak da adlandırılan elipsoidi "Uluslararası Elipsoit" kabul etmiştir. Bu elipsoidin parametreleri, Hayford tarafından Amerika'da yapılan astrojeodezik gözlemler sonucu belirlenmiş olup büyük yarı eksen uzunluğu, $a=6378388$ m ve basıklığı, $f=1/297$ 'dir (Torge, 1991).

Bir bölgesel datumu yerleştirirken, datuma başlangıç noktası görevini yapmak üzere, ağın ortalarında bulunan bir birinci derece nirengi ağı noktası seçilmelidir. Referans yüzeyi olarak Hayford Elipsoidini kullanan ED50 datumunun başlangıç noktası, enlemi, $\varphi_0=52^{\circ}22'51''.45$ ve boylamı, $\lambda_0=13^{\circ}03'58''.74$ olan Potsdam'daki (Almanya) Helmert Kulesi olarak seçilmiştir (Smith, 1988). Daha sonra birçok ülke referans elipsoidi olarak Uluslararası Elipsoidi kabul ederek bu büyük datuma katılmışlardır. Avrupa ve Afrika nirengi ağları AMS (Army Map Service) tarafından birbirine bağlanmıştır.

ED50 datumu için jeosentrik bir sistem tanımlı yapılamayacağı gibi toposentrik bir sistem tanımlı da yapılamaz. ED50 sistemi için yapılabilecek en yakın tanım ancak bölgesel lokal bir sistem olduğudur. Referans elipsoidi olan Uluslararası Elipsoit Avrupa'da başka bir noktada, Türkiye'de başka bir noktada jeoid ile karşılaştırılmıştır. Söz konusu karşılaştırma noktası datumun başlangıç noktasıdır. Dolayısıyla bu sistem jeosentrik ve global bir sistem oluşturmaz.

Ülke ölçeğindeki bir yatay kontrol ağının hesaplarına esas olan dönel elipsoidin büyüklük ve biçiminin *elipsoit problemi*, yeryuvarına göre uzaydaki konumunun *datum problemi* oluşturduğu bilinmektedir. Türkiye temel nirengi ağı için *elipsoit problemi* Uluslararası Elipsoidin boyutları seçilerek çözümlenmiştir. Ülkenin ortalarında yer alan Ankara yakınlarındaki Meşedağ noktasında astronomik koordinatlar ile jeodezik koordinatlar birbirine eşit kabul edilerek çekül sapması sıfır olmuş diğer bir deyişle elipsoit ile jeoid karşılaştırılmıştır. Türkiye nirengi ağının, bu nokta başlangıç seçilerek 1953 yılında ölçmeleri tamamlanmıştır. Ölçmeler bitirildikten sonra ağın dengelemesi 1954 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde

Lambert Konik Projeksiyon düzleminde yapılmıştır. Dengeleme sonucu Meşedağ başlangıç noktasına göre kesin Lambert koordinatları bulunmuş ve bu koordinatlardan kesin elipsoidal koordinatlar (φ, λ) hesaplanmıştır.

Avrupa ile koordinat birliği sağlamak amacıyla eldeki koordinatların Avrupa Datumuna dönüşümleri yapılmıştır. Dönüşümün yapılabilmesi için Türkiye'nin batı komşusu Yunanistan ve Bulgaristan'ın ulusal ağlarındaki noktalardan yararlanılmıştır. 1938-1939 yıllarında Trakya bölgesinde Yunan ve Bulgar sınırlarında nirengi ölçüleri yapılmış, 1949 yılında aynı amaçla Sakız Adası'ndaki bir dörtgenle bağlantı yapılmış, astronomik azimut ölçüleri ile ilişki sağlamlaştırılmıştır. Bu ülkelerin nirengi noktalarının Uluslararası Elipsoide ve ED50'ye göre hesaplanmış coğrafi koordinatları ve bunlardan elde edilen Lambert koordinatları kullanılarak toplam 8 noktanın her iki datumda koordinatı elde edilmiştir. Bu veriler kullanılarak dönüşüm yapılmış ve Türkiye'deki nirengi noktalarının koordinatları ED50 datumunda belirlenmiştir (Akyüz, 1984, Arslan, 1995).

4. JEODEZİDE 3 BOYUTLU KOORDİNAT DÖNÜŞÜMLERİ

Bir koordinat sisteminde verilmiş ya da hesaplanmış nokta koordinatlarının, başka bir sistemdeki karşılıklarının hesaplanmasına “koordinatların dönüştürülmesi” adı verilir (Algül, 1996).

Genel olarak ele alındığında, koordinatların dönüşümü işlemi, aşağıda sıralanan jeodezik problemlerin çözümünde ortaya çıkar:

- 1-) Farklı bir koordinat sisteminde yapılmış haritaların yeni seçilen bir sisteme göre yeniden çizilmesi,
- 2-) Seçilmiş bir eksen sisteminin yanlış belirlenmesi ve buna bağlı olarak doğru sistemdeki karşılıklarının bulunması,
- 3-) Uydu ölçmeleriyle belirlenen koordinatların pratikte kullanılabilir hale getirilebilmesi için ülke koordinat sistemine dönüştürülmesi vb.

Koordinat dönüşümlerinde, hesap yüzeyinin şekli, dönüşümün amacı, her iki sistemde bilinen nokta sayısı vb. faktörlere göre değişik dönüşüm modelleri vardır. Düzlem üzerindeki hareketler herhangi iki nokta arasındaki uzunlukların sabit kalması şartını taşır ve buna “uzunluk koruyan dönüşümler” adı verilir (Kılıçoğlu, 1995). Benzerlik dönüşümleri, açı büyüklüklerini koruyan veya daha açık bir ifade ile bir açıyı mutlak değeri aynı olan bir diğer açıya dönüştüren dönüşümlerdir. Başka bir deyişle bir şeklin görüntüsü aynı şekildedir ancak aynı büyüklükte olmak zorunda değildir (Wolfrum, 1992). Afin dönüşümlerde ise uzunluklar veya açılar yerine alanlar ya da başka özellikler de korunabilir.

Jeodezide 1, 2 ve 3 boyutta dönüşümler yapılabilir. Tek boyutlu dönüşümde söz konusu olan çeşitli yükseklik sistemlerindeki yüksekliklerin birbirlerine dönüştürülmesidir. 2 boyutlu dönüşümde ele alınan (x, y) düzlem koordinatların ya da küçük bölgelerde iki boyutlu (φ, λ) eğrisel koordinatların birbirlerine

dönüştürülmesidir. 3 boyutta ele alınan ise kartezyen dik koordinatlar (X, Y, Z) ya da eğrisel koordinatlardır (φ, λ, h) . Başlıca dönüşüm türleri; (Algül, 1996)

- i.) Ortogonal dönüşüm,
- ii.) Benzerlik dönüşümü,
- iii.) Afin dönüşüm,
- iv.) 2. dereceden konform dönüşüm,
- v.) Projektif dönüşüm,
- vi.) Diferansiyel dönüşümdür.

Bu çalışmada kullanılan dönüşümler 3 boyutta benzerlik ve afin dönüşümleridir. Çalışmada kullanılan dönüşüm modelleri hakkında daha kapsamlı bilgi Bölüm 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

3 boyutta dönüşümde ister benzerlik dönüşümü, ister afin dönüşüm yapılsın, sistemler arasında dönüşümün yapılabilmesi için gerekli olan, her iki sistemde belirli bir sayıda ortak nokta ve bu ortak noktaların her iki sistemdeki üç boyutlu kartezyen koordinatlarıdır (X, Y, Z) . Bölüm 4.1'de, düzlem koordinatlardan (X, Y, Z) kartezyen koordinatların hesabına geçişte kullanılan matematiksel ifadeler verilmiştir.

4.1. Düzlem Koordinatlardan 3 Boyutlu Dik Koordinatlara Geçiş

Düzlem koordinatlardan 3 boyutlu kartezyen koordinatlara geçiş iki adımda gerçekleştirilir.

i.) Düzlem koordinatlardan (sağa-yukarı), elipsoidal koordinatlara geçiş:

Sağa (SA) ve Yukarı (YU) değerlerinden elipsoidal koordinatlara geçiş için, aşağıda verilen bazı yardımcı terimler hesaplanmalıdır;

$$H_1 = 1 - (1/4)e^2 - (3/64)e^4 - (5/256)e^6 \quad (4.1)$$

$$H_2 = (3/8)[e^2 + (1/4)e^4 + (15/128)e^6] \quad (4.2)$$

$$H_3 = (15/246)[e^4 + (3/4)e^6] \quad (4.3)$$

$$H_4 = (35/1072)e^6 \quad (4.4)$$

$$x = YU/k_0 \quad (4.5)$$

$$y = SA - 500000 \quad (4.6)$$

$$\varphi_0 = x[1/(aH_1)] \quad (4.7)$$

$$q = y/k_0 \quad (4.8)$$

Yukarıdaki eşitliklerde a ; elipsoidin büyük yarı eksen, k_0 ; küçültme faktörü, e^2 ve e'^2 sırasıyla birinci ve ikinci eksentrisitedir.

(4.5) eşitliğinde hesaplanan x değerine karşılık gelen φ_0 değeri hesaplanmalıdır.

$$\alpha = H_1 \varphi_0 - H_2 \sin(2\varphi_0) + H_3 \sin(4\varphi_0) - H_4 \sin(6\varphi_0) \quad (4.9)$$

$$\Delta r = H_1 - 2H_2 \cos(2\varphi_0) + 4H_3 \cos(4\varphi_0) - 6H_4 \cos(6\varphi_0) \quad (4.10)$$

$$\Delta = a\alpha - x \quad (4.11)$$

$$\varphi_0 = \varphi_0 - \Delta\varphi \quad (4.12)$$

(4.12) eşitliğinde $\Delta\varphi = \Delta/(a\Delta r)$ olmak üzere, bu eşitlikten hesaplanan φ_0 (4.9) eşitliğinde yerine konur ve (4.12) eşitliğindeki φ_0 değeri değişmeyene kadar

(4.9)-(4.12) işlem sırası tekrarlanır. Değişmeyen φ_0 değeri kesin değerdir ve bundan sonra (φ) enlemin hesaplanması için aşağıdaki işlem sırası takip edilir;

$$A_0 = \varphi_0 \quad (4.13)$$

$$A_2 = -t [2MN_r]^1 \quad (4.14)$$

$$A_4 = t [(24MN_r^3)(5 + 3t^2 + \eta^2 - 4\eta^4 - 9t^2\eta^2)]^1 \quad (4.15)$$

$$\varphi = A_0 + A_2q^2 + A_4q^4 \quad (4.16)$$

Boylam ise;

$$A_1 = \sec \varphi_0 (N_r)^1 \quad (4.17)$$

$$A_3 = -\sec \varphi_0 [(6N_r^3)(1 + 2t^2 + \eta^2)]^1 \quad (4.18)$$

$$A_5 = \frac{\sec \varphi_0}{(120N_r^5)} [(120N_r^5)(1 + 28t^2 + 6\eta^2 - 3\eta^4 - 8t^2\eta^2 + 24t^4 - 4\eta^6 + 4t^2\eta^4 + 24t^4\eta^6)]^1 \quad (4.19)$$

$$A_7 = -\sec \varphi_0 [(5040N_r^7)(61 + 662t^2 + 1320t^4 + 720t^6)]^1 \quad (4.20)$$

$$\lambda = \lambda_0 + A_1q + A_3q^3 + A_5q^5 + A_7q^7 \quad (4.21)$$

Bağıntıda λ_0 dilim orta meridyenidir.

Yukarıdaki eşitliklerin hesabında kullanılacak yardımcı değerler;

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi_0 \quad (4.22)$$

$$t = \tan \varphi_0 \quad (4.23)$$

$$N_r = a/w \quad (4.24)$$

$$M = a(1 - e^2)/w^3 \quad (4.25)$$

$$w = \sqrt{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_0)} \quad (4.26)$$

dır. (4.16) ve (4.21) eşitliklerinden elipsoidal enlem (φ) ve elipsoidal boylam (λ) hesaplanır (Kılıçoğlu, 1995).

ii.) Elipsoidal koordinatlardan 3 boyutlu dik koordinatlara geçiş:

Elipsoidal koordinatlar (φ, λ, h) ile kartezyen dik koordinatlar (X, Y, Z) arasındaki dönüşüm jeodezide sık karşılaşılan problemlerden biridir. Bu dönüşüm tamamen geometrik ilişkilerle basitçe ifade edilebilecek bir ilişkidir. Başlangıç noktası ve eksenlerinin yönü belirlenmiş bir kartezyen koordinat sisteminin üzerine merkezi kartezyen koordinatların merkezi ile çakışık bir elipsoit yerleştirilerek bir noktanın elipsoidal koordinatları ile 3 boyutlu kartezyen koordinatları arasındaki ilişki basit ve kapalı olarak şöyle ifade edilebilir;

$$X = (N_r + h) \cos \varphi \cos \lambda \quad (4.27)$$

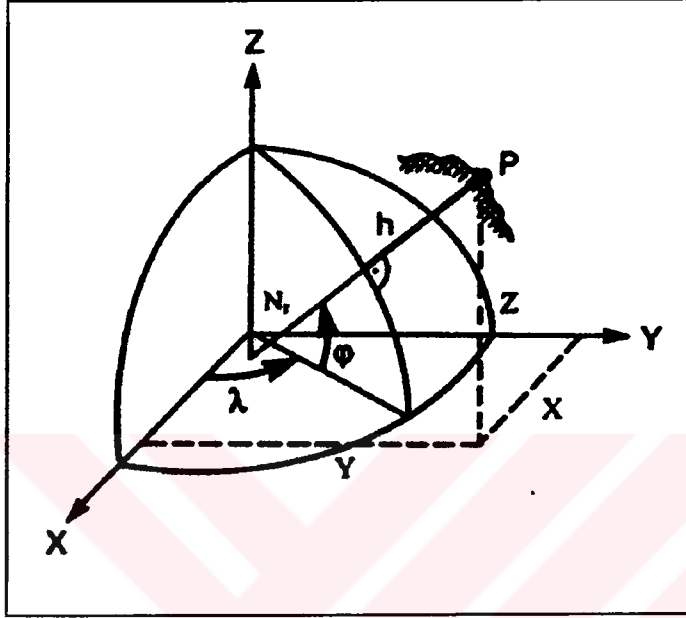
$$Y = (N_r + h) \cos \varphi \sin \lambda \quad (4.28)$$

$$Z = \left[\frac{b^2}{a^2} N_r + h \right] \sin \varphi \quad (4.29)$$

N_r eğrilik yarıçapıdır ve ;

$$N_r = \frac{a^2}{\sqrt{(a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi)}} \quad (4.30)$$

ile ifade edilir. Kartezyen koordinatlarla elipsoidal koordinatlar arasındaki ilişkinin geometrik yapısı Şekil 4.1’de verilmiştir (Hoffmann-Wellenhof vd., 1992).



Şekil 4.1 Kartezyen Koordinatlar ile Elipsoidal Koordinatlar Arasındaki İlişki

4.2. 3 Boyutlu Koordinatlardan Düzlem Koordinatlara Geçiş

3 boyutlu koordinatlardan düzlem koordinatlara geçiş de iki adımda gerçekleştirilir.

i.) 3 boyutlu koordinatlardan elipsoidal koordinatlara geçiş:

Bu dönüşüm kapalı, doğrudan eşitliklerle yapılabildiği gibi iterasyon gerektiren eşitliklerle de yapılabilir. İterasyon gerektirmeyen kapalı eşitlikler;

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X} \quad (4.31)$$

$$\tan \varphi = \frac{(Z(1-f) + e^2 a \sin^3 \mu)}{(1-f)(p - e^2 a \cos^3 \mu)} \quad (4.32)$$

$$h = p \cos \varphi \sin \varphi - a(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2} \quad (4.33)$$

şeklindedir. Buradaki e^2 , p , r ve $\tan \mu$ yardımcı değerleri;

$$e^2 = f(2 - f) \quad (4.34)$$

$$p = \sqrt{(X^2 + Y^2)} \quad (4.35)$$

$$r = \sqrt{(p^2 + Z^2)} \quad (4.36)$$

$$\tan \mu = \frac{Z}{p} \left((1 - f) + e^2 \frac{a}{r} \right) \quad (4.37)$$

eşitlikleriyle verilmektedir (Soler and Hothem, 1989).

ii.) Elipsoidal koordinatlardan düzlem koordinatlara geçiş,

SA ve YU değerlerinin hesabı için yardımcı eşitlikler;

$$c = \frac{a f}{(f - 1)} \quad (4.38)$$

$$\mu = \frac{1}{(2f - 1)} \quad (4.39)$$

$$p = \Delta \lambda \cos \varphi \quad (4.40)$$

$$R_c = \frac{c}{\sqrt{(1 + \eta^2)}} \quad (4.41)$$

$$S_1 = 1 - \frac{\mu(192 - \mu(336 - \mu(496 - 657\mu)))}{64} \quad (4.42)$$

$$S_2 = \frac{\mu (24 + \mu (30 + \mu (26 - 15\mu)))}{8} \quad (4.43)$$

$$S_3 = \frac{\mu (720 + \mu (1340 - 2455\mu))}{288} \quad (4.44)$$

$$S_4 = \frac{4\mu (63 - 196\mu)}{81} \quad (4.45)$$

$$\xi = cS_1(\varphi - S_2 \cos^2 \varphi t (1 + S_3 \cos^2 \varphi (-1 + S_4 \cos^2 \varphi))) \quad (4.46)$$

şeklindedir.

Sağa değerin (SA) hesabı için;

$$B_1 = p \quad (4.47)$$

$$B_3 = \frac{p^3}{6}(1 - t^2 + \eta^2) \quad (4.48)$$

$$B_5 = \frac{p^5}{120}(5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58t^2\eta^2) \quad (4.49)$$

$$B_7 = \frac{p^7}{5040}(61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) \quad (4.50)$$

$$SA = R_c(B_1 + B_3 + B_5 + B_7)k_0 + 500000 \quad (4.51)$$

formülleri kullanılır. k_0 , küçültme faktörüdür.

Yukarı (YU) değerin hesabi için ise;

$$B_0 = \xi \quad (4.52)$$

$$B_2 = \frac{p^4}{24} (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{p^2}{2} \quad (4.53)$$

$$B_4 = \frac{p^6}{720} (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330t^4\eta^2) \quad (4.54)$$

$$B_6 = \frac{p^8}{40320} (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6) \quad (4.55)$$

$$YU = [B_0 + R_c t (B_2 + B_4 + B_6)] k_0 \quad (4.56)$$

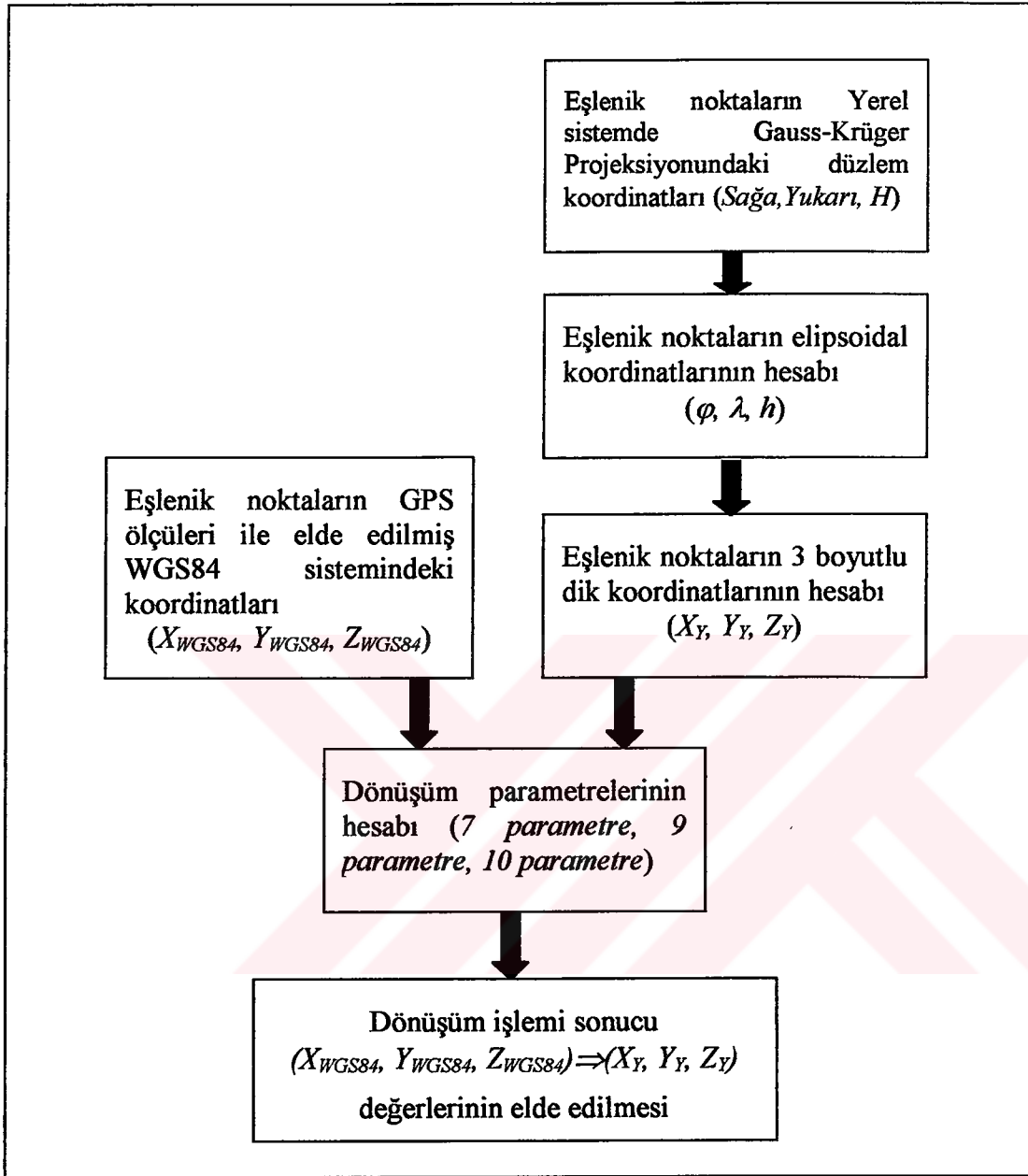
eşitlikleri kullanılır (Kılıçoğlu, 1995)

4.3. 3 Boyutlu Benzerlik Dönüşümü

Benzerlik dönüşümleri jeodezide en yaygın olarak kullanılan dönüşüm yöntemleridir. Gerek işlem hacminin azlığı, gerekse matematiksel modelin kolay uygulanabilirliği, yöntemin daha çok kullanılmasının nedenleridir. 3 boyutta 7 parametrelilik benzerlik dönüşümlerinde ölçek faktörü tüm doğrultularda değişmez kabul edilir. Şekil tümüyle korunduğu için açılar değişmez. Diğer bir deyişle benzerlik dönüşümü açı koruyan bir dönüşümdür. Dönüşüm yapılan sistemdeki doğruların uzunlukları ve noktaların konumları değişebilir. Benzerlik dönüşümüyle birçok bilim adamı uğraşmış ve problemin çözümünde değişik yaklaşımlar ortaya koymuşlardır. 3 boyutta 7 parametrelilik benzerlik dönüşümü modellerine örnek olarak Bursa-Wolf Modeli, Molodensky-Badekas Modeli, Veis Modeli, Hotine Modeli, Krakiwsky-Thomson Modeli ve Vanicek-Wells Modeli verilebilir (Şimşek, 1994).

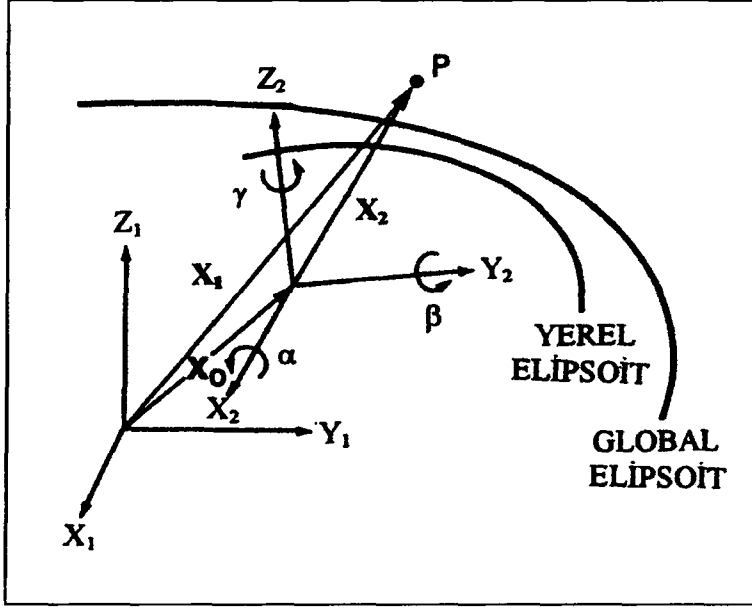
Ölçek faktörünün üç bileşene ayrılarak hesaba katılmasıyla elde edilen 9 parametrelilik benzerlik dönüşümü modeli de benzerlik dönüşüm modellerine dahil edilip, ölçeğin benzerlik dönüşümlerinde doğruluğa olan etkisi incelenebilir.

3 boyutlu dönüşümde uygulanacak işlem sırası genel hatlarıyla Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 3 Boyutlu Dönüşümde Uygulanan İşlem Sırası

Burada 7 parametrelilik benzerlik dönüşümü modellerinden Bursa-Wolf Modeli, Molodensky-Badekas Modeli ve 9 parametrelilik Helmert benzerlik dönüşümü incelenecektir. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 3 Boyutlu Benzerlik Dönüşümü

4.3.1. Bursa-Wolf modeli

7 parametrelili benzerlik dönüşümünde iki koordinat sistemi arasındaki ilişki 7 parametre ile gösterilir. Bu parametreler;

3 öteleme (kayıklık) (X_0, Y_0, Z_0)

3 dönüklük (α, β, γ)

Ölçek faktörü (k)

değerleridir. Açılarının değişmezliği koşulunu sağlayan benzerlik dönüşümün genel matematiksel ifadesi;

$$\underline{X}_1 = \underline{X}^0 + (1 + k)\underline{R} \underline{X}_2 \quad (4.57)$$

$\underline{X}_1$: Noktaların birinci sistemdeki (X_1, Y_1, Z_1) koordinatları,

$\underline{X}_2$: Noktaların ikinci sistemdeki (X_2, Y_2, Z_2) koordinatları,

k : İki sistem arasındaki ölçek farkını belirleyen bir sayı,

$\underline{X}^0$: İki sistemin başlangıç noktalarını karşılaştırmak için gerekli olan öteleme parametrelerinden oluşan öteleme vektörü,

$\underline{R}$: İki sistemin yönelmesini karşılaştırmak için üç dönüklük parametresini içeren dönme matrisi.

İki koordinat sisteminin arasındaki dönüklükleri (α, β, γ) içeren dönme matrisi (R),

$$R = \begin{bmatrix} \cos\beta \cos\gamma & \cos\alpha \sin\gamma + \sin\alpha \sin\beta \cos\gamma & \sin\alpha \sin\gamma - \cos\alpha \sin\beta \cos\gamma \\ -\cos\beta \sin\gamma & \cos\alpha \cos\gamma - \sin\alpha \sin\beta \sin\gamma & \sin\alpha \cos\gamma + \cos\alpha \sin\beta \sin\gamma \\ \sin\beta & -\sin\alpha \cos\beta & \cos\alpha \cos\beta \end{bmatrix} \quad (4.58)$$

ile ifade edilir. Jeodezik koordinat sistemleri arasındaki dönüklüklerin oldukça küçük olduğu varsayımıyla R dönüklük matrisi;

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 1 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (4.59)$$

ve iki sistem arasındaki genel ilişki;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1 = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + (1+k) \begin{bmatrix} 1 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 1 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_2 \quad (4.60)$$

şeklinde verilebilir (Abd-Elmotaal. ve El-Tokhey, 1997, Reit, 1998). Bursa-Wolf modelinde $\underline{R}$ matrisi iki kısma ayrılarak;

$$\underline{R} = \underline{I} + \underline{U}_R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 0 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 0 \end{bmatrix} \quad (4.61)$$

şeklinde yazılabilir ve her iki sistemdeki koordinat değerlerinin de hatalı olduğu varsayımıyla;

$$\underline{X}_2 + \underline{V}_2 = \underline{X}^0 + (1+k)(\underline{I} + \underline{U}_R)(\underline{X}_1 + \underline{V}_1) \quad (4.62)$$

şeklinde genel eşitlik verilir. Eşitliğin sağ tarafındaki çarpım yapıldığı takdirde ortaya çıkacak olan $k\underline{U}_R$, $k\underline{I}\underline{V}_2$ ve $\underline{U}_R \underline{V}_2$ çok küçük terimler içerir ve bu nedenle ihmal edilirler. Bu durumda eşitlik;

$$\underline{X}_2 + \underline{V}_2 = \underline{X}^0 + \underline{X}_1 + (\underline{U}_R + k\underline{I})\underline{X}_1 \quad (4.63)$$

olur.

$$k\underline{I} = \begin{bmatrix} k & 0 & 0 \\ 0 & k & 0 \\ 0 & 0 & k \end{bmatrix} \quad (4.64)$$

yazılırsa;

$$\underline{X}_2 + \underline{V}_2 = \underline{X}^0 + \underline{X}_1 + \underline{V}_1 + \begin{bmatrix} k & \gamma & -\beta \\ -\gamma & k & \alpha \\ \beta & -\alpha & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (4.65)$$

ve;

$$\underline{X}_2 + \underline{V}_2 = \underline{X}^0 + \underline{X}_1 + \underline{V}_1 + \begin{bmatrix} X_1k + Y_1\gamma - Z_1\beta \\ -X_1\gamma + Y_1k + Z_1\alpha \\ X_1\beta - Y_1\alpha + Z_1k \end{bmatrix} \quad (4.66)$$

elde edilir. Bu matris gösterimi bir nokta için denklem şeklinde ifade edilirse;

$$V_{x1} + 0 + 0 - V_{x2} + 0 + 0 + X^0 + 0 + 0 + 0 - Z_1\beta + Y_1\gamma + X_1k + X_1 - X_2 = 0 \quad (4.67a)$$

$$0 + V_{y1} + 0 + 0 - V_{y2} + 0 + 0 + Y^0 + 0 + Z_1\alpha + 0 - X_1\gamma + Y_1k + Y_1 - Y_2 = 0 \quad (4.67b)$$

$$0+0+V_{z_1}+0+0-V_{z_2}+0+0+Z^0-Y_1\alpha+X_1\beta+0+Z_1k+Z_1-Z_2=0 \quad (4.67c)$$

doğrusal denklemleri ortaya çıkar. Böylece genel gösterim şekliyle;

$$\underline{A}\underline{V}+\underline{B}\underline{x}-\underline{l}=0 \quad (4.68)$$

bilinmeyenli koşullu ölçüler dengelemesinin fonksiyonel modeli elde edilmiş olur. Burada;

$$\underline{V}=[V_{x_1} \ V_{y_1} \ V_{z_1} \ V_{x_2} \ V_{y_2} \ V_{z_2}]^T \quad (4.69)$$

$$\underline{x}=[X^0 \ Y^0 \ Z^0 \ \alpha \ \beta \ \gamma \ k]^T \quad (4.70)$$

$$-\underline{l}=[(X_1-X_2) \ (Y_1-Y_2) \ (Z_1-Z_2)]^T \quad (4.71)$$

$$\underline{A}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.72)$$

$$\underline{B}=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_1 & Y_1 & X_1 \\ 0 & 1 & 0 & Z_1 & 0 & -X_1 & Y_1 \\ 0 & 0 & 1 & -Y_1 & X_1 & 0 & Z_1 \end{bmatrix} \quad (4.73)$$

Sistemlerden birinin hatasız olduğu varsayılırsa (örneğin birinci sistem koordinatları)

$V_{x_1}=V_{y_1}=V_{z_1}=0$ ile;

$$\underline{A}=\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.74)$$

olur ve model;

$$\underline{V} = \underline{B} \underline{x} - \underline{l} \quad (4.75)$$

dolaylı ölçüler dengelemesinin fonksiyonel modeli haline gelir.

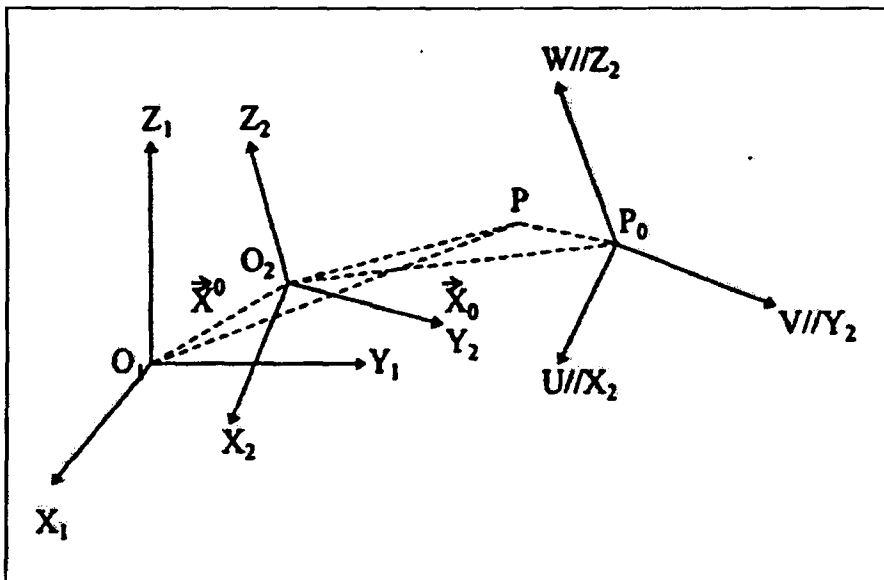
Bursa-Wolf modelinde, dönmelerin sistemin orijininde gerçekleşmesi nedeniyle, ötelemeler ve dönüklükler arasında yüksek bir korelasyon gözlenir. Bu yöntem, genellikle yeryüzünü çevreleyen noktalara sahip, global ağların dönüşümünde tercih edilmelidir (Saka, 1997).

4.3.2. Molodensky-Badekas modeli

Bu modelde Bursa-Wolf modelinden farklı olarak dönüştürülecek olan sistemin orijini, eşlenik noktaların ağırlık merkezine (P_0) kaydırılır. Böylece ötelemeler ve dönüklükler arasındaki yüksek korelasyon ortadan kalkar. Sistem P_0 noktasına döndürüldükten sonra, önce $\underline{X}^0$ konum vektörü kadar, sonra da dönüşüme konu olan iki sistem arasındaki $\underline{X}_0$ öteleme vektörü kadar ötelenmektedir. Modelin matris gösterimi;

$$\underline{X}_1 = \underline{X}^0 + \underline{X}_0 + (1+k)(\underline{I} \underline{U}_R)(\underline{X}_2 - \underline{X}_0) \quad (4.76)$$

şeklinde ifade edilebilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Molodensky-Badekas Dönüşüm Modeli

$\underline{X}_1$: Noktaların birinci sistemdeki (X_1, Y_1, Z_1) koordinatları,

$\underline{X}_2$: Noktaların ikinci sistemdeki (X_2, Y_2, Z_2) koordinatları,

$\underline{X}_0$: Eşlenik noktaların ağırlık merkezinin koordinatları,

k : İki sistem arasındaki ölçek faktörü,

$\underline{U}_R$: R dönüklük matrisi,

$\underline{I}$: Birim matris,

$\underline{X}^0$: İkinci sistemin başlangıç noktasının birinci sistemdeki konum vektörüdür.

Her iki sistemdeki koordinatların ve $\underline{X}^0$ vektörünün hatalı kabul edilmesiyle;

$$\underline{X}_1 + \underline{V}_1 = \underline{X}^0 + \underline{X}_0 + \underline{V}_0 + (\underline{I} + \underline{U}_R + k\underline{I} + k\underline{U}_R)[(\underline{X}_2 - \underline{X}_0) + (\underline{V}_2 - \underline{V}_0)] \quad (4.77)$$

doğrusal eşitliği elde edilir. Burada $k\underline{U}_R$, $k\underline{I}(\underline{V}_2 - \underline{V}_0)$ ve $\underline{U}_R(\underline{V}_2 - \underline{V}_0)$ terimleri çok küçük olmaları nedeniyle ihmal edilebilir. Bu durumda,

$$\underline{X}_1 + \underline{V}_1 = \underline{X}^0 + \underline{X}_0 + \underline{V}_0 + \underline{I}(\underline{X}_2 - \underline{X}_0) + \underline{U}_R(\underline{X}_2 - \underline{X}_0) + k\underline{I}(\underline{X}_2 - \underline{X}_0) + \underline{I}(\underline{V}_2 - \underline{V}_0) \quad (4.78)$$

olur. Burada;

$$\underline{X}_2 - \underline{X}_0 = \underline{S} = \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} \quad (4.79)$$

denirse,

$$\underline{X}_1 + \underline{V}_1 = \underline{X}^0 + \underline{X}_0 + \underline{V}_0 + \underline{X}_2 - \underline{X}_0 + \underline{U}_R \underline{S} + k \underline{I} \underline{S} + \underline{V}_2 - \underline{V}_0 \quad (4.80)$$

$$\underline{X}_1 + \underline{V}_1 = \underline{X}^0 + \underline{X}_2 + \underline{V}_2 + (\underline{U}_R + k\underline{I})\underline{S} \quad (4.81)$$

Bursa-Wolf modelinde verilen gerekli çarpımlar ve sadeleştirmeler göz önüne alınarak;

$$\underline{X}_1 + \underline{V}_1 = \underline{X}^0 + \underline{X}_2 + \underline{V}_2 + \begin{bmatrix} Uk + V\gamma - W\beta \\ -U\gamma + Vk + W\alpha \\ U\beta - V\alpha + Wk \end{bmatrix} \quad (4.82)$$

eşitliği elde edilir. Buradan;

$$V_{x_2} + 0 + 0 - V_{x_1} + 0 + 0 + X^0 + 0 + 0 + 0 - W\beta + V\gamma + Uk + X_2 - X_1 = 0 \quad (4.83a)$$

$$0 + V_{y_2} + 0 + 0 - V_{y_1} + 0 + 0 + Y^0 + 0 + W\alpha + 0 - U\gamma + Vk + Y_2 - Y_1 = 0 \quad (4.83b)$$

$$0 + 0 + V_{z_2} + 0 + 0 - V_{z_1} + 0 + 0 + Z^0 - V\alpha + U\beta + 0 + Wk + Z_2 - Z_1 = 0 \quad (4.83c)$$

elde edilir. Bu eşitliklerin matrisle gösterimi;

$$\underline{A}\underline{V} + \underline{B}\underline{x} - \underline{l} = 0 \quad (4.84)$$

şeklini alır. Bu eşitlikte $\underline{B}$ matrisi;

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -W & V & U \\ 0 & 1 & 0 & W & 0 & -U & V \\ 0 & 0 & 1 & -V & U & 0 & W \end{bmatrix} \quad (4.85)$$

Bursa-Wolf modelinde olduğu gibi sistemlerden birinin hatasız kabul edilmesi durumunda model;

$$\underline{V} = \underline{B}\underline{x} - \underline{l} \quad (4.86)$$

halini alır. Molodensky-Badekas yöntemi, Bursa-Wolf yöntemiyle aynı problemi çözer ve aynı ölçek ve dönüklük parametrelerini hesaplar. Fakat öteleme

büyüklikleri farklıdır. Ancak Molodensky-Badekas yönteminde öteleme büyüklikleri iki sistemin orijinleri arasındaki geometrik ilişkiyi temsil etmez (Kutoğlu, 1996).

4.3.3. 9 parametrelili Helmert benzerlik dönüşümü

Benzerlik dönüşümlerinde genel olarak yapılan kabul, ölçeğin tüm doğrultularda birbirine eşit olduğudur. Bu durum üç boyutlu dik koordinatların aynı doğrulukla belirlendiği varsayımına dayanır. Ancak bilindiği üzere özellikle yerel sistemin eşlenik noktalarının üç boyutlu dik koordinatları genelde yatay ve düşey datumların birleştirilmesi sonucu belirlenmiş koordinatlardır. Bu noktada göz önünde bulundurulması gereken, ölçek faktörünün her üç eksene olan etkisidir. Benzerlik dönüşümünde ölçek faktörünün doğruluğa olan etkisi, X , Y , Z eksenleri boyunca k_x , k_y ve k_z bileşenlerine ayrılarak incelenebilir. Böylece dönüşüm parametresi sayısı, 3 öteleme, 3 dönüklük ve 3 eksen boyunca 3 ölçek olmak üzere 9 olur. 9 parametrelili benzerlik dönüşümünün matematiksel modelinin genel ifadesi;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_1 = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 1 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_x x \\ k_y y \\ k_z z \end{bmatrix} \quad (4.87)$$

halini alır.

$X, Y, Z, x, y, z, X_0, Y_0, Z_0, \alpha, \beta, \gamma, k_x, k_y, k_z$ 'e göre yukarıdaki genel ifadenin türevi alınır, aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

$$Ax + Cv + Cdl = 0 \quad (4.88)$$

ya da $Cdl = -L$ kabulüyle,

$$Ax + Cv - L = 0 \quad (4.89)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_1 & y_1\beta & -z_1\beta & 0 & -k_z z_1 & k_y y_1 \\ 0 & 1 & 0 & -x_1\gamma & y_1 & z_1\alpha & k_z z_1 & 0 & -k_x x_1 \\ 0 & 0 & 1 & x_1\beta & -y_1\alpha & z_1 & -k_y y_1 & k_x x_1 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & 0 & x_n & y_n\beta & -z_n\beta & 0 & -k_z z_n & k_y y_n \\ 0 & 1 & 0 & -x_n\gamma & y_n & z_n\alpha & k_z z_n & 0 & -k_x x_n \\ 0 & 0 & 1 & x_n\beta & -y_n\alpha & z_n & -k_y y_n & k_x x_n & 0 \end{bmatrix} \quad (4.90)$$

$$C = \begin{bmatrix} k_x & k_y\gamma & -k_z\beta & -1 & 0 & 0 \\ -k_x\gamma & k_y & k_z\alpha & 0 & -1 & 0 \\ k_x\beta & -k_y\alpha & k_z & 0 & 0 & -1 \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & & & & k_x & k_y\gamma & -k_z\beta & -1 & 0 & 0 \\ & & & & & -k_x\gamma & k_y & k_z\alpha & 0 & -1 & 0 \\ & & & & & k_x\beta & -k_y\alpha & k_z & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.91)$$

$$X^T = (dX_0, dY_0, dZ_0, dk_x, dk_y, dk_z, d\alpha, d\beta, d\gamma) \quad (4.92)$$

$$v^T = (v_{x_1}, v_{y_1}, v_{z_1}, v_{X_1}, v_{Y_1}, v_{Z_1}, \dots, v_{x_n}, v_{y_n}, v_{z_n}, v_{X_n}, v_{Y_n}, v_{Z_n}) \quad (4.93)$$

$$dl^T = (\overset{\circ}{x_1} - \overset{\bullet}{x_1}, \overset{\circ}{y_1} - \overset{\bullet}{y_1}, \overset{\circ}{z_1} - \overset{\bullet}{z_1}, \overset{\circ}{X_1} - \overset{\bullet}{X_1}, \overset{\circ}{Y_1} - \overset{\bullet}{Y_1}, \overset{\circ}{Z_1} - \overset{\bullet}{Z_1}, \dots, \overset{\circ}{x_n} - \overset{\bullet}{x_n}, \overset{\circ}{y_n} - \overset{\bullet}{y_n}, \overset{\circ}{z_n} - \overset{\bullet}{z_n}, \overset{\circ}{X_n} - \overset{\bullet}{X_n}, \overset{\circ}{Y_n} - \overset{\bullet}{Y_n}, \overset{\circ}{Z_n} - \overset{\bullet}{Z_n}) \quad (4.94)$$

Sistem iterativ bir şekilde, iki iterasyon arasındaki fark yaklaşık sıfır olana kadar çözülür. Burada üzeri içi boş daireli olan değerler yaklaşık değerler, içi dolu daireli olan değerler ölçü değerleridir (Erdem, 1997).

4.4. 3 Boyutlu Afin Dönüşüm

Genel bir dönüşümü ifade eden afin dönüşümünde, doğrular doğru olarak kalır, paralellik özelliği korunurken, boyut, şekil, konum ve ağıdaki doğrultuların yönü değişir. Ölçek faktörü ağ içersindeki noktaların konumlarıyla değil, doğrultuların yönüyle ilişkilidir. Bu nedenle belli bir doğrultudaki bütün kenarlar aynı ölçekle çarpılırlar (Saka, 1997). Özellikle dönüşümün yapılacak olduğu yerel sistemlerde 3 boyutlu kartezyen koordinatlar, yatay ve düşey ağların, diğer bir deyişle farklı datuma sahip olan ağların birleştirilmesi sonucu oluşturulduklarından, ölçek farklılığı göz önünde bulundurulması gereken önemli bir parametredir.

İki ağın ölçek farklılığına ek olarak, özellikle yatay ağ bir nirengi ağı ise, bu yatay ağ sistematik distorsiyonlara uğrayacaktır. Bu distorsiyonlar mutlaka hesaba katılmalıdır (Wolfrum, 1992). Bu nedenle ölçek faktörünün ve sistematik distorsiyonların hesaba katıldığı bir afin dönüşüm modeli oluşturulmalıdır.

4.4.1. 10 parametrelili afin dönüşüm modeli

10 parametrelili afin dönüşümde iki koordinat sistemi arasındaki ilişki 10 dönüşüm parametresi ile ifade edilir;

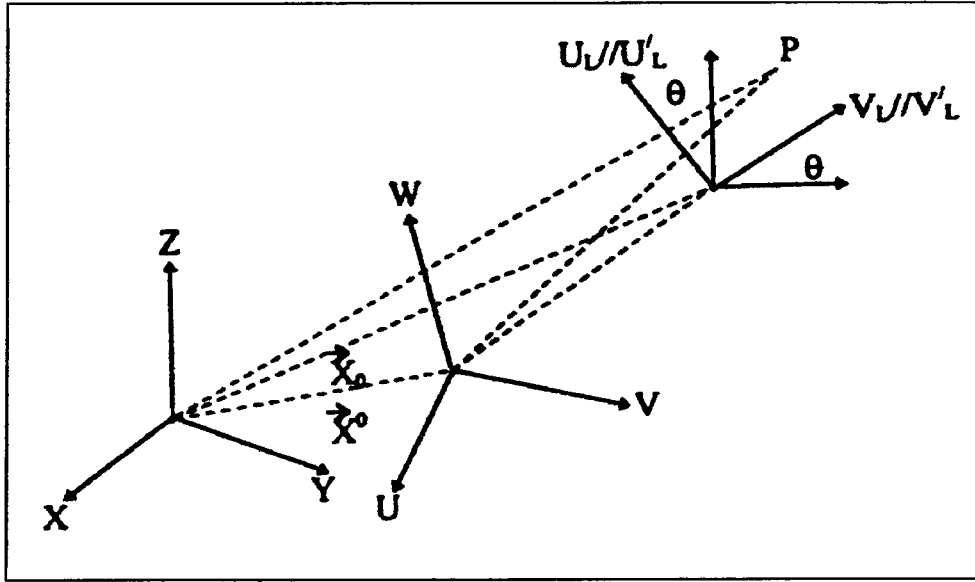
3 öteleme (kayıklık)	(X_0, Y_0, Z_0)
3 dönüklük	(α, β, γ)
3 eksen doğrultusunda 3 ölçek	(k_x, k_y, k_z)
Maksimum ölçek faktörünün doğrultusu	(θ)

Bu 10 parametreden oluşan afin dönüşümün modeli şöyle açıklanabilir:

$$\underline{U} = (X, Y, Z)^T \quad \text{Jeosentrik dik koordinatlar,}$$

$$\underline{X} = (X, Y, Z)^T \quad \text{Yerel datumda dik koordinatlar,}$$

$$\underline{X}_L = (X, Y, Z)^T \quad \text{Yerel ufuk dik koordinat sisteminde koordinatlar}$$



Şekil 4.5 10 Parametrel Afın Dönüşümü

İlk adımda uydu ölçmelerinden elde edilen jeosentrik nokta koordinatlarının yerel ufuk dik koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekmektedir. Yerel ufuk dik koordinat sistemi, başlangıç noktası ağırlık merkezi (P_0) olan ve Z_L eksen elipsoit normali ile çakışık, X_L eksen P_0 'dan geçen meridyenin teğetine paralel ve pozitif ucu kuzeyi gösteren ve Y_L eksen X_L ve Z_L eksenlerine dik ve doğuyu gösteren bir sol el dik koordinat sistemidir (Şekil 4.5).

Ağın ağırlık merkezinin koordinatları (P_0) X_{L0} ;

$$X_{L_0} = [\sum X_{L_i}] / n \quad (4.95)$$

($i: 1, 2, 3, \dots, n$: nokta sayısı)

$$X_{L0} = (X_0, Y_0, Z_0)^T \quad (4.96)$$

$$\varphi_{L_0} = (\varphi_0, \lambda_0, h_0) \quad (4.97)$$

Jeosentrik sistem ile yerel ufuk sistemi arasındaki ilişki;

$$\underline{X}_L = \underline{M}(\underline{X}_L - \underline{X}_{L0}) \quad (4.98)$$

Yukarıdaki eşitlikteki $\underline{M}$; Y_L ekseninin saat akrebi yönünde $(90-\varphi_0)$ kadar döndürülmesi, Z_L ekseninin saat akrebinin tersi yönünde $(180-\lambda_0)$ kadar döndürülmesi ve Y_L ekseninin -1 ile çarpılması sonucu oluşan dönme matrisidir.

$$\underline{M} = \underline{P}_2 \underline{R}_2(\varphi_0 - \pi/2) \underline{R}_3(\lambda_0 - \pi) \quad (4.99)$$

$$\underline{P}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.100)$$

olmak üzere;

$$\underline{M} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & \cos \varphi_0 \\ -\sin \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 & \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 & \sin \varphi_0 \end{bmatrix} \quad (4.101)$$

dır.

İkinci aşamada affinite eşitlikleri devreye girer. Yerel ufuk dik koordinat sistemi Z_L eksenini etrafında θ kadar döndürülür ve bu durumda üç adet temel distorsiyon parametresi (k_x, k_y, k_z) uygulanır.

Sonraki adımda sistem Z_L eksenini etrafında saat akrebinin tersi yönünde $(-\theta)$ kadar döndürülür ve yerel ufuk sistemine paralel olan yerel afin sistemi elde edilir. Afin sistem ile yerel ufuk sistemi arasındaki ilişki ($\underline{X}'_L$) ile ($\underline{X}_L$);

$$\underline{X}'_L = \underline{R}_3(-\theta) \underline{K} \underline{R}_3(\theta) \underline{X}_L = \underline{S} \underline{X}_L \quad (4.102)$$

$$\underline{K} = \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix} \quad (4.103)$$

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} k_x \cos^2 \theta + k_y \sin^2 \theta & (k_x - k_y) \sin \theta \cos \theta & 0 \\ (k_x - k_y) \sin \theta \cos \theta & k_x \sin^2 \theta + k_y \cos^2 \theta & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix} \quad (4.104)$$

Yukarıdaki 4 parametrelili $\underline{S}$ affinite matrisinde θ, k_x ve k_y parametreleri (X_L, Y_L) düzlemindeki distorsiyonlar, k_z ise düşey ağıdaki bozulmalardır.

Bundan sonraki aşama jeosentrik sistem ile yerel sistem arasındaki dönüklüklerin incelenmesidir. Yerel sisteme paralel bir yerel ufuk sistemi elde edilmesi bundan sonraki problemi oluşturur. X_L, Y_L ve Z_L eksenlerindeki dönüklükler sırasıyla α, β, γ olmak üzere $\underline{R}$ dönüklük matrisi;

$$\underline{R} = \underline{R}_1(\alpha) \underline{R}_2(\beta) \underline{R}_3(\gamma) \quad (4.105)$$

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} 1 & \gamma & \beta \\ -\gamma & 1 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 1 \end{bmatrix} \quad (4.106)$$

$\underline{X}_L$ veya $\underline{X}'_L$ koordinatlarının $\underline{R}$ matrisi ile döndürülmesiyle $\underline{R}\underline{X}_L$ ve $\underline{R}\underline{X}'_L$ yerel datum eksenlerine paralel eksenler elde edilir. Yerel datumda, yerel ufuk dik koordinat sistemindeki koordinatlar $\underline{X}_Y$ ile gösterilirse;

$$\underline{X}_Y = \underline{R} \underline{X}'_L \quad (4.107)$$

olur. Yerel datum koordinatlarına son geçiş;

$$\underline{X}_Y = \underline{M} (\underline{X} - \underline{X}_0) \quad (4.108)$$

$$\underline{X}_Y = \underline{M} (\underline{\Delta X}) \quad (4.109)$$

$$\underline{\Delta X} = \underline{M}^T \underline{X}_Y \quad (4.110)$$

$$\underline{\Delta X} = \underline{M}^T \underline{R} \underline{X}'_L \quad (4.111)$$

$$\underline{\Delta X} = \underline{M}^T \underline{R} \underline{S} \underline{X}_L \quad (4.112)$$

$$\underline{X} = \underline{t} + \underline{X}_{L0} + \underline{M}^T \underline{R} \underline{S} \underline{M} (\underline{X}_L - \underline{X}_{L0}) \quad (4.113)$$

$\underline{t} = (t_x, t_y, t_z)^T$, $\underline{X}_{L0}$ vektörü sabit tutulduğunda iki sistem arasındaki bilinmeyen kayıklık vektörünü içerir.

$$\underline{X}_2 = \underline{X}^0 + \underline{X}_0 + \underline{M}^T \underline{R} \underline{S} (\underline{X}_1 - \underline{X}_0) \quad (4.114)$$

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} p & q & 0 \\ q & r & 0 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix} \quad (4.115)$$

$$p = k_x \cos^2 \theta + k_y \sin^2 \theta \quad (4.116)$$

$$r = k_x \sin^2 \theta + k_y \cos^2 \theta \quad (4.117)$$

$$s = k_z \quad (4.118)$$

$$q = (k_x - k_y) \sin \theta \cos \theta \quad (4.119)$$

$\underline{S}$ matrisi Taylor Serisine açıldığında, $\underline{S} = \underline{S}^0 + d\underline{S}$ ile gösterilebilir. Jeodezik ağırlarda genellikle; $p_0 = r_0 = s_0 = 1$ ve $q_0 = 0$ olduğundan; $p = p^0 + dp$, $p^0 = 1$, $r = r^0 + dr$, $r^0 = 1$, $s = s^0 + ds$, $s^0 = 1$, $q = q^0 + dq$ ve $q^0 = 0$ ile;

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dp & dq & 0 \\ dq & dr & 0 \\ 0 & 0 & ds \end{bmatrix} \quad (4.120)$$

ya da;

$$\underline{S} = \underline{I} + \underline{dS} \quad (4.121)$$

olur. Aynı şekilde $\underline{R}$ matrisi de; ($\alpha^0 = \beta^0 = \gamma^0 = 0$, $\alpha = d\alpha$, $\beta = d\beta$, $\gamma = d\gamma$ ile)

$$\underline{R} = \underline{I} + \underline{dR} \quad (4.122)$$

$$\underline{RS} = \underline{I} + \underline{dR} + \underline{dS} \quad (4.123)$$

olur. Böylece;

$$\underline{X}_2 = \underline{X}_1 + \underline{X}^0 + \underline{M}^T (\underline{dR} + \underline{dS}) \underline{M} (\underline{X}_1 - \underline{X}_0) \quad (4.124)$$

dönüşüm eşitliğinin doğrusallaştırılmış şekli elde edilir.

Her iki sistemin de hatalı olduğu düşünüldüğünde model;

$$\underline{X}_2 + \underline{V}_{x_2} = \underline{X}_1 + \underline{V}_{x_1} + \underline{X}^0 + \underline{M}^T (\underline{dR} + \underline{dS}) \underline{M} (\underline{X}_1 - \underline{X}_0) \quad (4.125)$$

ve,

$$\underline{X}_1 + \underline{V}_{x_1} + \underline{X}^0 + \underline{M}^T (\underline{dR} + \underline{dS}) \underline{M} (\underline{X}_1 - \underline{X}_0) - (\underline{X}_2 + \underline{V}_{x_2}) = 0 \quad (4.126)$$

haline gelir. Bu modelin genel gösterimi;

$$\underline{AV} + \underline{Bx} - \underline{I} = 0 \quad (4.127)$$

haliyle bilinmeyenli koşullu ölçüler dengelemesinin matematik modelidir.

$$\underline{V}^T = [V_{X_1} \ V_{Y_1} \ V_{Z_1} \ V_{X_2} \ V_{Y_2} \ V_{Z_2}] \quad (4.128)$$

$$\underline{X}^T = [X^0 \ Y^0 \ Z^0 \ \alpha \ \beta \ \gamma \ dp \ dr \ ds \ dq] \quad (4.129)$$

$$\underline{W}^T = [(X_1 - X_2) \ (Y_1 - Y_2) \ (Z_1 - Z_2)] \quad (4.130)$$

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.131)$$

$\cos \varphi_0 = a$, $\cos \lambda_0 = b$, $\sin \varphi_0 = c$, $\sin \lambda_0 = d$, $X_1 - X_0 = \Delta X$ parametre değişimiyle;

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -a\Delta Y - cd\Delta Z & b\Delta Z & -c\Delta Y + ad\Delta Z & c^2b^2\Delta X + c^2db\Delta Y - cab\Delta Z \\ 0 & 1 & 0 & a\Delta X + cb\Delta Z & d\Delta Z & c\Delta X - ab\Delta Z & c^2db\Delta X + c^2d^2\Delta Y - cad\Delta Z \\ 0 & 0 & 1 & cd\Delta X - cb\Delta Y & -b\Delta X - d\Delta Y & -ad\Delta X + ab\Delta Y & -cab\Delta X - cad\Delta Y + a^2\Delta Z \\ d^2\Delta X - db\Delta Y & a^2b^2\Delta X + a^2db\Delta Y + cab\Delta Z & 2cdb\Delta X + c(d^2 - b^2)\Delta Y - ad\Delta Z \\ -db\Delta X + b^2\Delta Y & a^2db\Delta X + a^2d^2\Delta Y + cad\Delta Z & c(d^2 - b^2)\Delta X - 2cdb\Delta Y + ab\Delta Z \\ 0 & cab\Delta X + cad\Delta Y + c^2\Delta Z & -ad\Delta X + ab\Delta Y \end{bmatrix} \quad (4.132)$$

Dengeleme işlemi tamamlandıktan sonra yardımcı afin parametreleri p , r , s , q hesaplanır ve bu yardımcı parametrelerden aşağıdaki eşitlikler yardımıyla ortogonal ölçek düzeltmeleri hesaplanır.

$$p + r = k_x + k_y \quad (4.133)$$

$$p - r = (k_x - k_y) \cos 2\theta \quad (4.134)$$

$$2q = (k_x - k_y) \sin 2\theta \quad (4.135)$$

Maksimum yatay ölçek düzeltmesinin doğrultusu aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır;

$$\theta = (1/2) \tan^{-1}(2q/p-r) \quad (4.136)$$

ile hesaplanır ve buradan;

$$k_x = (1/2) \left(p+r + \frac{p-r}{\cos 2\theta} \right) \quad (4.137)$$

$$k_y = (1/2) \left(p+r - \frac{p-r}{\cos 2\theta} \right) \quad (4.138)$$

$$k_z = s \quad (4.139)$$

hesaplamaları ile afin dönüşüm parametrelerine ulaşılır (Wolfrum, 1992).

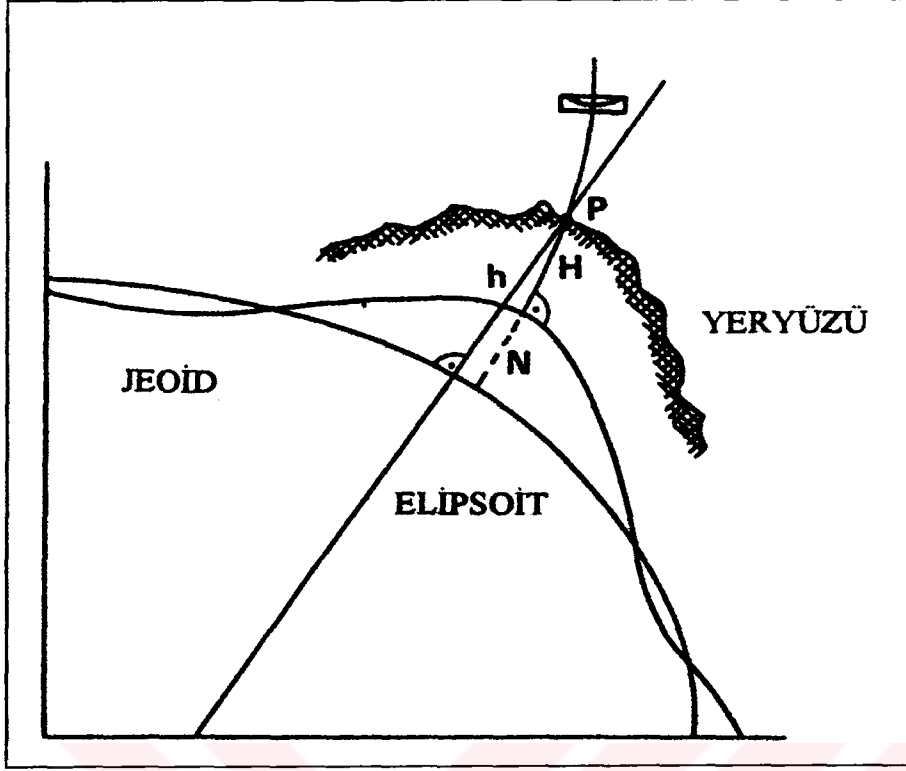
5. JEOİDİN 3 BOYUTLU DÖNÜŞÜMDEKİ ROLÜ

3 boyutlu dönüşüm hesaplarında kartezyen ya da eğrisel koordinatlar kullanılır. Uydu ölçmelerinden elde edilen jeosentrik sistemdeki koordinatlar doğrudan 3 boyutlu kartezyen ya da eğrisel koordinatlar olarak ifade edilebilirler. Ancak yerel sistemler için bu durum söz konusu değildir. Yerel sistemlerde yatay konumlar ve düşey konumlar farklı datumlarda belirlenir. Dönüşümde kullanılacak olan yerel sistemdeki 3 boyutlu kartezyen koordinatlar, bu iki datumun yine bir takım dönüşüm yöntemleriyle birleştirilmesi sonucu elde edilir. Yerel sistemde genelde yatay konum düzlem koordinatlarla, düşey konum ise ortometrik yüksekliklerle ifade edilir. 3 boyutlu koordinatların elde edilmesinde izlenen yol, düzlem koordinatlardan elipsoidal koordinatlara, elipsoidal koordinatlardan da üç boyutlu dik koordinatlara geçiş şeklindedir (Bölüm 4.1).

Düzlem koordinatlardan elipsoidal koordinatlara geçişte hiçbir problem yoktur. Ancak elipsoidal koordinatlardan 3 boyutlu dik koordinatlara geçişte dönüşüm formüllerinde geçen elipsoidal yükseklik (h), problem teşkil etmektedir. Bilindiği üzere yerel sistemlerde elipsoidal yüksekliklerin bilinmesi jeoidin belirlenmiş olmasına bağlıdır. Elipsoidal yükseklik ile ortometrik yükseklik arasındaki ilişki:

$$H = h - N \quad (5.1)$$

formülü ile ifade edilir (Şekil 5.1). Burada N jeoid ile elipsoit arasındaki uzaklık, bir başka deyişle jeoid ondülasyonudur. Bir örnek vermek gerekirse WGS84 elipsoidi ile jeoid arasındaki uzaklık 0 ila ± 100 metreye kadar farklılık göstermektedir (Featherstone vd., 1998).



Şekil 5.1 Jeoid ile Elipsoit Arasındaki İlişki

Yerel sistemdeki 3 boyutlu koordinatların elde edilebilmesi için koordinatı bilinen eşlenik noktaların lokal elipsoitten itibaren olan h yüksekliklerinin bilinmesi zorunludur. (5.1) eşitliğinden görülebileceği gibi elipsoidal yükseklik hesabı için jeoid yüksekliğinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak bunun her zaman kolayca elde edilmesi mümkün olmadığı için, yerel sistemdeki 3 boyutlu dik kartezyen koordinatlarının hesaplanması işleminde bazı yaklaşımlarla sorunun çözümüne gidilmiştir. Genel olarak ele alındığında bu işlem için aşağıdaki yöntemler uygulanır:

- Elipsoit yüksekliği türetilerek hesap,
- $h=0$ kabulü ile hesap,
- Jeoid ondülasyonlarının (N) bilinmemesi durumunda, ($h=H$) kabulü ile hesap,
- Jeoid ondülasyonlarının (N) hesaba katılması.

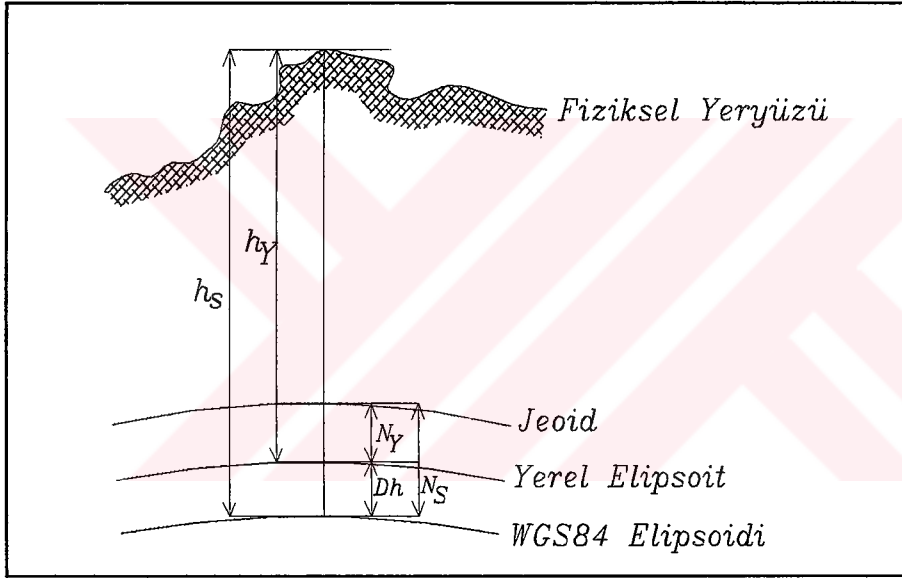
5.1. Elipsoit Yüksekliği Türetilerek Yapılan Hesap

Elipsoidal koordinatlardan 3 boyutlu koordinatlara geçiş için kullanılan formül;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_r + h_r) \cos \varphi \cos \lambda \\ (N_r + h_r) \cos \varphi \sin \lambda \\ (\frac{b^2}{a^2} N_r + h_r) \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

şeklindedir. Buradaki h_r yerel datumdaki elipsoidal yüksekliktir.

Şekil 5.2’de jeoid-yerel elipsoit ve WGS84 elipsoidi arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Yerel Elipsoit ile WGS84 Elipsoidi Arasındaki İlişki

İki elipsoit yüzeyi arasında;

$$h_Y = h_S + Dh \quad (5.3)$$

bağıntısı yazılabilir. (5.3) bağıntısı (5.2)’de yerine konursa;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_r + h_S - Dh) \cos \varphi \cos \lambda \\ (N_r + h_S - Dh) \cos \varphi \sin \lambda \\ (\frac{b^2}{a^2} N_r + h_S - Dh) \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

eşitliği elde edilir. Burada δh , Molodensky formüllerinden yaklaşık olarak elde edilebilen bir bilinmeyen, h_s ise WGS84 elipsoidine ait elipsoidal yüksekliktir (Mok, 1992).

$$Dh = \Delta X \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z \sin \varphi + a \Delta f \sin^2 \varphi - \Delta a \quad (5.5)$$

Burada;

ΔX : İki sistemin orijinleri arasındaki X eksen yönündeki öteleme vektörü,

ΔY : İki sistemin orijinleri arasındaki Y eksen yönündeki öteleme vektörü,

ΔZ : İki sistemin orijinleri arasındaki Z eksen yönündeki öteleme vektörü,

a : Yerel elipsoidin büyük yarı eksen,

Δa : İki elipsoidin büyük yarı eksenleri arasındaki fark,

f : Yerel elipsoidin basıklığı,

Δf : İki elipsoidin basıklık farkı.

Böylece yerel sistemdeki elipsoidal yükseklikler uydu ölçmeleri sonucu belirlenen koordinatlar yardımıyla jeoid ondülasyonlarına ya da ortometrik yüksekliklere ihtiyaç duymaksızın hesaplanabilir. Hesaplanan bu elipsoidal yüksekliklerden 3 boyutlu dik koordinatlara geçiş yapılır.

5.2. $h=0$ Kabulü ile Hesap

Yerel sistemde 3 boyutlu koordinatların hesabındaki elipsoidal yükseklik probleminin çözümü için diğer bir yol da, elipsoidal yükseklikleri 0 kabul edip çözüm yapmaktır. Böylece (5.2) eşitliği;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_r \cos \varphi \cos \lambda \\ N_r \cos \varphi \sin \lambda \\ \frac{b^2}{a^2} N_r \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

şeklini alır.

Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, bu kabul yapıldığında aynı işlemin uydu ölçmelerinden elde edilen koordinatlara da uygulanması gerekliliğidir. Bir başka ifadeyle uydu ölçmelerinden elde edilen 3 boyutlu dik koordinatlar da ($h=0$) kabul edilerek hesaplanmalıdır. Ancak bu yaklaşım özellikle elipsoidlerin farklı olması nedeniyle teorik olarak anlamlı değildir. Fiziksel noktaların elipsoid yüzüne indirgenmeleri, her iki elipsoidin farklı olması nedeniyle, iki nokta kümesi arasında benzerlik koşulunu ortadan kaldırır ve dönüşüm işlemlerinde yapay bir distorsiyon, modele ilave edilir. Ancak pratik uygulama açısından bakıldığında, küçük bölgeleri kapsayan çalışmalar için elipsoidlerin benzer kabul edilebileceği ve bozulmanın sonuçlara etkisinin anlamlı olmayacağı söylenebilir. Yeryüzündeki noktaların iki ayrı elipsoid üzerindeki izdüşümleri identik sayılabilir. Bununla birlikte, şekil bozukluğu enlemle ilişkili olarak farklılık gösterir ve hesaplanan dönüşüm parametreleri, ülke nirengi ağının distorsiyonsuz olması kabulünde bile, ancak aynı enlem kuşağı civarında geçerlidir (Saka, 1997).

5.3. Jeoid Ondülasyonlarının (N) Bilinmemesi Durumunda, ($h=H$) Kabulü ile Hesap

Yerel sistemlerde ortometrik yüksekliklerin kolay elde edilebilirliği nedeniyle, 3 boyutlu dik koordinatların hesaplanmasında en yaygın olarak kullanılan yöntem, elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliklere eşit ($h=H$) kabul edilmesidir. Bu varsayımla (5.2) eşitliği;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N_r + H) \cos \varphi \cos \lambda \\ (N_r + H) \cos \varphi \sin \lambda \\ \left(\frac{b^2}{a^2} N_r + H \right) \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

halini alır.

5.4. Jeoid Ondülasyonlarının (N) Hesaba Katılması

Bundan önceki 5.1, 5.2 ve 5.3 bölümlerinde anlatılan yöntemler, N değerlerinin bilinmemesi durumunda uygulanırlar. Ancak gerçekte 3 boyutlu dönüşümün sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için N değerleri bilinmeli ve yerel sistemlerdeki 3 boyutlu dik koordinatların hesabında kullanılmalıdır. Buradan hareketle (5.1) bağıntısındaki h değeri, ortometrik yüksekliklerden de yararlanarak doğru olarak elde edilir. Bununla birlikte, jeoid yüksekliğinin belirlenmesi oldukça zahmetli, pahalı ve yıllar süren çalışmalar gerektiren bir işlemdir. Ülkemizde jeoid belirleme işlemi Harita Genel Komutanlığı tarafından yapılmaktadır.

Genel olarak ele alındığında jeoid, yer yüzeyinde ölçülen gravite değerleri, yere yakın olarak dönen yapay uydulara ait veriler, uyduların üç boyutlu konumları, astronomik gözlemler ve jeodezik nivelman verileriyle belirlenir. Yerel jeoid;

- Astrojeodezik çekül sapmalarıyla,
- Δg , gravite anomalileriyle,
- Uydu gözlemleriyle,
- Analitik bir yüzey geçirerek geometrik olarak,
- Bütün bu yöntemlerin karışımıyla,

belirlenebilir (Alp, 1993, Kartal, 1998).

Bu çalışmada Bölüm 5.3'te anlatılan $h=H$ kabulüyle ve Türkiye Astrojeodezik Jeoidi'nden yararlanılarak hesaplanan N değerleri yardımıyla 3 boyutlu dönüşüm yapılmıştır. Söz konusu bu N değerlerinin hesabında, uygulamada ele alınan jeodezik ağın yakın çevresinde bulunan 21 noktanın ondülasyon değerleri kullanılmıştır. Bu işlem Sayısal Arazi Modelleri kullanılarak yapılmıştır. İzleyen bölümde bu işleme ait temel bağıntılar verilmiştir.

5.4.1. Sayısal Arazi Modeli

Uygulamaya temel teşkil eden 13 eşlenik noktanın ondülasyon değerlerinin hesabında Sayısal Arazi Modellerinden yararlanılmıştır. Literatürde verilen modelleme yöntemlerinin bazıları aşağıda sıralanmıştır (Petrie ve Kennie, 1987), (Schut, 1976), (Watson ve Philip, 1984), (Chiles ve Chauvet, 1975);

i-) Ağırlıklı aritmetik ortalama,

ii-) Polinom yüzeyi,

iii-) Multiquadrik yüzey,

iv-) Kayan yüzey,

v-) En küçük kareler,

vi-) Üçgenleme,

vii-) Kriging

Ancak eşlenik noktalardan uzak olan noktaların sonuçları olumsuz etkilememesi için ağırlıklı aritmetik ortalama ve üçgenleme yöntemleri uygulanmıştır. Bu nedenle, burada sadece bu yöntemlere ait algoritmalar verilecektir.

5.4.1.1. Ağırlıklı aritmetik ortalama ile enterpolasyon

Bu yöntemde, enterpolasyon noktasının ondülasyon değeri, çevresinde bulunan dayanak noktalarının ondülasyon değerlerinden ağırlıklı olarak hesaplanır. Her bir dayanak noktasının ondülasyon değerine verilecek olan ağırlık, o noktanın enterpolasyon noktasına olan uzaklığının bir fonksiyonudur. Bir enterpolasyon noktasının ondülasyon değeri,

$$N_0 = \sum_{i=1}^m P_i * N_i / \sum_{i=1}^m P_i \quad (5.8)$$

eşitliği ile bulunur (Yanalak, 1997).

Ağırlık fonksiyonu olarak, (x_i, y_i) herhangi bir dayanak noktasının, (x_0, y_0) ondülasyonu belirlenecek enterpolasyon noktasının konum koordinatları olduğuna göre,

$$P_i = \left[(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 \right]^{-k} = (S_i^2)^{-k}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad 2k=1,2,3 \quad (5.9)$$

eşitliği kullanılabileceği gibi,

$$P_i = e^{(-S_i^2 / k^2)}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad k=3,4,5 \quad (5.10)$$

şeklindeki Gauss fonksiyonu da kullanılabilir (Yanalak, 1997).

5.4.1.2. Üçgenleme

Yüzeyi, üçgen elemanların toplamı şeklinde ifade etmek için arazi yüzeyi üçgenlenir. Dayanak noktaları üçgenlerin köşelerini oluşturur. Bütün dayanak noktaları kullanarak boşluk kalmayacak şekilde veri alanı üçgenlerle kaplanır.

Literatürde farklı üçgenleme algoritmaları (yapıları) verilmektedir. Bu çalışmada kullanılan üçgenleme yöntemi Delaunay üçgenlemesidir. Oluşan üçgenlerin çevrel çemberleri içerisinde başka bir dayanak noktası bulunmaması esasına dayanan Delaunay üçgenlemesinin, komşuluk ilişkilerini (yapısını) en iyi şekilde yansıttığı düşünülmektedir.

Uygulamada ondülasyon değeri hesaplanacak eşlenik noktaların üçgenlemeyle elde edilen yüzeydeki ondülasyon değerleri, yüzeyde içine düştüğü üçgende yapılacak lineer enterpolasyonla bulunur. Lineer enterpolasyonda, her bir üçgen eğik düzlem olarak kabul edilir. Arazi yüzeyinin düzlem üçgen parçalarının toplamından oluştuğu düşünülür. Enterpole edilecek noktanın içine düştüğü üçgende lineer enterpolasyon uygulanarak ondülasyon değeri hesaplanır (Yanalak, 1997).

6. UYGULAMA

Bölüm 4’te ayrıntılı olarak matematiksel algoritmaları verilen 3 boyutlu dönüşüm işlemi, GPS yöntemi ile ölçümü yapılmış bir ağ üzerinde denenmiştir. Bu işlemlere ilişkin bilgiler aşağıda sıralanmıştır.

6.1 Uygulama Yapılan Jeodezik Ağın Tanıtımı

Uygulamada 1996 yılında GPS yöntemi ile ölçümü yapılmış, Gebze-Halkalı arasındaki jeodezik ağ ölçülerinden yararlanılmıştır. Söz konusu bu ağa ilişkin bazı bilgiler Tablo 6.1’de verilmiştir (Baykal ve diğ., 1996).

Tablo 6.1 Ölçülen Ağ Ait Bilgiler

Ağın Uzunluğu	: ~ 80 km
Nokta Sayısı	: 126
Dönüşümde Kullanılan Ortak Nokta Sayısı	: 13

6.2 Jeodezik Noktaların Konum ve Yükseklik Bilgilerinin Elde Edilmesi

Jeodezik ağdaki 126 noktanın jeosentrik sistemdeki konum bilgilerini elde etmek için GPS yönteminden yararlanılmıştır. 12.04.1996-07.05.1996 tarihleri arasında, Wild Leica System 300 GPS ölçme donanımı kullanılarak ölçmeler yapılmıştır. Ölçmeler, Şekil 6.1’de verilen kanavadaki gibi gerçekleştirilmiştir. Kanavada yer alan, 34014, 34015, 34027, 34030, 34031, 34070, 34091, 34092, 34093, 34112, 34120, 34142, 34146 nolu noktalar İstanbul Metropolitan Nirengi Ağına ait noktalar olup, GPS yöntemi ile elde edilen jeosentrik koordinatların ülke koordinat sistemine dönüştürülmesinde kullanılmıştır. Ölçüler, Leica SKI Programı ile değerlendirilmiştir ve serbest dengeleme yapılarak WGS84 sistemindeki dengelenmiş kartezyen koordinatları hesaplanmıştır (Baykal ve diğ., 1996). Dönüşümde kullanılan eşlenik noktaların WGS84 sistemindeki koordinat değerleri Tablo 6.2’de, tüm noktaların koordinat değerleri ise EK. A’da verilmiştir

Tablo 6.2 Eşlenik Noktaların $(X, Y, Z)_{WGS84}$ Koordinatları

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
34014	4228473.9634	2317581.5639	4161053.2609
34015	4224125.7678	2318200.3198	4165031.6431
34027	4223405.1300	2321132.6752	4164269.1761
34030	4225482.2051	2326474.9242	4159048.2751
34031	4223010.3015	2328591.0285	4160383.4881
34070	4216482.8685	2339449.0466	4160895.8164
34091	4213752.4856	2346320.1213	4159909.0003
34092	4215242.8701	2347985.1520	4157359.7435
34093	4216128.4026	2351033.0848	4154866.9426
34112	4212654.3041	2364165.5645	4150996.7848
34120	4212958.7791	2368222.9902	4148344.6663
34142	4213606.0814	2355010.1008	4155175.3250
34146	4214543.6410	2334858.1764	4165589.6616

GPS yöntemi ile konumları belirlenen jeodezik noktaların yerel sistemdeki yüksekliklerinin belirlenmesi için geometrik nivelman yapılmıştır. Ancak bina üstü vb. gibi, geometrik nivelman yöntemi ile yükseklikleri belirlenemeyen noktalara, trigonometrik yöntemle kot verilmiştir. Çalışmanın konusu olmadığı için bu konu daha fazla incelenmemiştir. Çalışmada, birinci derecede gerekli olan yükseklikler, eşlenik noktaların yerel sistemdeki yükseklikleridir. İstanbul Metropolitan Nirengi Ağı'na ait noktaların yükseklikleri trigonometrik nivelman yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yükseklikler Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3 Eşlenik Noktaların Yerel Sistemdeki Yükseklikleri

<i>NN</i>	<i>H (m)</i>	<i>NN</i>	<i>H (m)</i>
34014	102.82	34092	40.26
34015	60.68	34093	112.61
34027	148.61	34112	134.56
34030	41.63	34120	103.91
34031	53.25	34142	115.08
34070	44.36	34146	164.69
34091	115.86		

6.3 Jeodezik Ağdaki Kenar Ölçmeleri

Ağdaki ardışık jeodezik noktaların arasındaki uzunlukların bir kısmı, yersel çalışmalar yapılarak ölçülmüştür. Bu çalışmada 53 kenar, TOPCON GTS-701 Total

Station aleti ile ölçülmüştür. Ölçülen kenarlar ve bunların Gauss-Krüger projeksiyon düzlemine indirgenmiş değerleri EK-B’de verilmiştir. İndirgenmiş kenar değerleri, 3 Boyutlu dönüşümler sonucu elde edilen koordinat bilgilerinden türetilen kenarlarla karşılaştırmak için kullanılmıştır. Bu konuyla ilgili yapılan çalışmalar Bölüm 6.8’de verilmiştir.

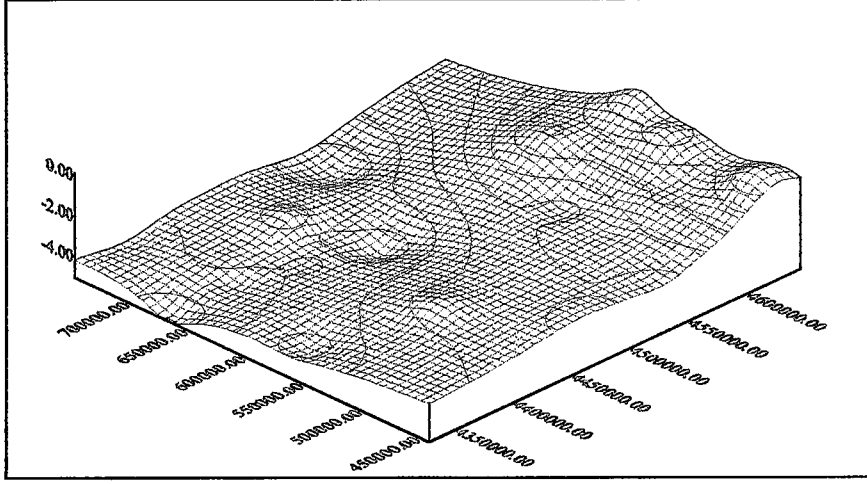
6.4 Eşlenik Noktaların Jeoid Yüksekliklerinin Hesabı

3 boyutlu dönüşüm yapılırken, eşlenik noktaların yerel sistemdeki 3 boyutlu kartezyen koordinatları iki ayrı yaklaşımla elde edilmiştir. Bu yaklaşımlardan biri ondülasyon değerlerinin (N) hesaba katılmasıdır. Eşlenik noktaların çevresinde yer alan Türkiye Astrojeodezik Jeoidine ait ondülasyon değerlerinden yararlanılarak, eşlenik noktaların jeoid ondülasyonları hesaplanmıştır. Bu amaçla Bölüm 5.4.1’de algoritması verilen Sayısal Arazi Modeli uygulamasından yararlanılmıştır. Dayanak noktası olarak alınan 21 adet Türkiye Astrojeodezik Jeoidine ait ondülasyon değerleri, (ALP, 1998)’den alınmıştır. Yapılan hesaplar sonucu, eşlenik noktalara ait ondülasyon değerleri 2 yöntem ile elde edilmiştir. Sonuç olarak bu iki değer in ortalaması hesaplarda kullanılan değer olarak alınmıştır (Tablo 6.4).

Tablo 6.4 Eşlenik Noktaların Ondülasyon Değerleri

NN	<i>Ağır. Arit. Ort. ile Ent. Yöntemi (m)</i>	<i>Üçgenleme Yöntemi (m)</i>	N_{ORT} (m)
34014	-2.9724	-2.9420	-2.9572
34015	-2.8988	-2.8432	-2.8710
34027	-2.9623	-2.9120	-2.9372
34030	-3.1397	-3.1381	-3.1389
34031	-3.1490	-3.1358	-3.1424
34070	-3.3240	-3.2953	-3.3097
34091	-3.4692	-3.4327	-3.4510
34092	-3.5267	-3.5277	-3.5272
34093	-3.6089	-3.6450	-3.6270
34112	-3.9596	-3.9598	-3.9597
34120	-4.0753	-4.0961	-4.0857
34142	-3.7008	-3.7000	-3.7004
34146	-3.1774	-3.0957	-3.1366

Çalışma bölgesinin çevresindeki jeoid yüzeyi Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Çalışma Bölgesinin Çevresindeki Jeoid Yüzeyi

6.5 Eşlenik Noktaların ED50 Datumundaki 3 Boyutlu Kartezyen Koordinatlarının Hesabı

Çalışmada 3 boyutlu dönüşümlerde kullanılacak 4 yöntemle (Bursa-Wolf Modeli, Molodensky-Badekas Modeli, 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşüm Modeli, 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modeli) dönüşüm yapılacağı ve bu dönüşümün yapılabilmesi için, ED50 datumunda koordinatı bilinen eşlenik noktaların X , Y , Z değerlerinin elde edilmesi gerektiği belirtilmişti. Bu 3 boyutlu koordinatların elde edilebilmesi için 4 ayrı yöntem olduğu Bölüm 5’te verilmişti. Çalışmada bunlardan;

- $h=H$
- $h=H+N$

yaklaşımları ele alınmıştır. Her iki yaklaşıma göre, yukarıda sözü edilen 4 dönüşüm modeli ayrı ayrı uygulanmıştır (Bölüm 6.6).

Eşlenik noktaların ED50 datumundaki elipsoidale koordinatları (φ, λ) Bölüm 4.1’de verilen ((4.1)-(4.26)) eşitlikleri yardımıyla, 3°’lik dilim genişliği ve 30°’lik dilim orta meridyeni kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 6.5).

Tablo 6.5 Eşlenik Noktaların ED50 Düzlem Koordinatları ve (φ , λ) Eğrisel Koordinat Değerleri

NN	Sağa (m)	Yukarı (m)	φ	λ
34014	392872.316	4539610.327	40° 59' 0".91879	28° 43' 37".58880
34015	395582.155	4544881.053	41° 1' 52".99649	28° 45' 30".27089
34027	398484.115	4543753.008	41° 1' 17".75792	28° 47' 35".13360
34030	402071.258	4536879.496	40° 57' 36".57279	28° 50' 12".54940
34031	405140.663	4538597.691	40° 58' 33".56220	28° 52' 22".82558
34070	417809.962	4539131.354	40° 58' 55".80201	29° 1' 24".36089
34091	425127.598	4537683.996	40° 58' 11".42371	29° 6' 37".96170
34092	425823.603	4534366.861	40° 56' 24".13680	29° 7' 9".15350
34093	428021.550	4530982.524	40° 54' 35".14881	29° 8' 44".51280
34112	441132.842	4525727.900	40° 51' 48".59761	29° 18' 6".47741
34120	444494.309	4522222.304	40° 49' 55".80962	29° 20' 31".12099
34142	432727.347	4531343.916	40° 54' 48".30340	29° 12' 5".42140
34146	414804.814	4545282.009	41° 2' 14".03983	28° 59' 12".78349

$h=H$ yaklaşımı ile Bölüm 4.1. ii'de verilen ((4.27)-(4.30)) eşitlikleri yardımıyla, elipsoidal koordinatlardan yerel sistemdeki (X , Y , Z) değerlerine geçiş yapılmış ve sonuçlar Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6 $h=H$ Yaklaşımı ile Hesaplanmış Eşlenik Noktaların Yerel Sistemdeki X , Y , Z Değerleri

NN	X_i^I (m)	Y_i^I (m)	Z_i^I (m)
34014	4228575.805	2317678.614	4161185.592
34015	4224227.552	2318297.186	4165163.889
34027	4223506.887	2321229.550	4164401.488
34030	4225584.193	2326571.940	4159180.860
34031	4223112.198	2328687.990	4160515.962
34070	4216584.536	2339545.924	4161028.090
34091	4213854.171	2346417.037	4160041.367
34092	4215344.633	2348082.152	4157492.221
34193	4216229.973	2351130.014	4154999.250
34112	4212756.027	2364262.385	4151129.280
34120	4213060.593	2368319.789	4148477.249
34142	4213707.539	2355106.892	4155307.546
34146	4214645.245	2334954.947	4165721.864

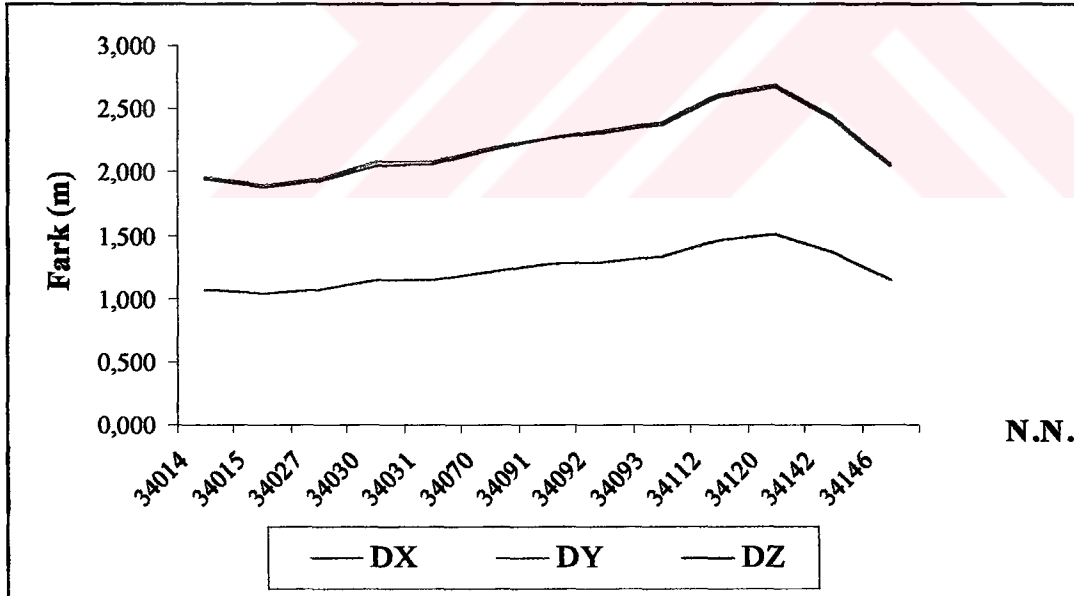
İkinci olarak $h=H+N$ yaklaşımı ile her bir noktanın elipsoidal yükseklikleri hesaplanmıştır. Tablo 6.3'de verilen H ve Tablo 6.4'te verilen N ortalama değerleri

kullanılarak yukarıda anlatılan işlemler tekrarlanmış ve eşlenik noktaların yerel sistemdeki 3 boyutlu koordinatları tekrar hesaplanmıştır (Tablo 6.7).

Tablo 6.7 ($h=H+N$) ile Hesaplanmış Eşlenik Noktaların Yerel Sistemdeki 3 Boyutlu Kartezyen Koordinatları

NN	X_i^H (m)	Y_i^H (m)	Z_i^H (m)
34014	4228573.847	2317677.541	4161183.653
34015	4224225.653	2318296.144	4165162.004
34027	4223504.945	2321228.483	4164399.561
34030	4225582.116	2326570.797	4159178.803
34031	4223110.121	2328686.845	4160513.902
34070	4216582.351	2339544.712	4161025.920
34091	4213851.894	2346415.769	4160039.104
34092	4215342.306	2348080.855	4157489.910
34193	4216227.579	2351128.679	4154996.875
34112	4212753.415	2364260.919	4151126.689
34120	4213057.898	2368318.274	4148474.578
34142	4213705.098	2355105.528	4155305.123
34146	4214643.175	2334953.800	4165719.805

Tablo 6.6 ve 6.7’de verilen değerler arasındaki farklar Şekil 6.3’te verilmiştir.



Şekil 6.3 $(X_i, Y_i, Z_i)^I_{\text{YEREL}}$ ile $(X_i, Y_i, Z_i)^{II}_{\text{YEREL}}$ Karşılaştırması

6.6 3 Boyutlu Koordinat Dönüşümleri

Burada 4 ayrı yöntem kullanılarak, EK.A'da verilen ve WGS84 elipsoidinde dengelenmiş 3 boyutlu dik koordinatların, yerel sistemdeki karşılıkları hesaplanmıştır. Dönüşümde kullanılan yöntemler;

- Bursa-Wolf Modeli,
- Molodensky-Badekas Modeli,
- 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü Modeli,
- 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modeli

dir. Dönüşüme esas olan, eşlenik noktaların Tablo 6.2'de verilen $(X, Y, Z)_{WGS84}$ ile Tablo 6.6 ve 6.7'de verilen $(X_i, Y_i, Z_i)^I_{YEREL}$ ve $(X_i, Y_i, Z_i)^{II}_{YEREL}$ koordinat değerleridir. Dönüşümde 9 parametrelili Helmert Benzerlik ve 10 parametrelili Afin Dönüşüm Modelleri için Fortran 77 dilinde yazılmış programlar, Bursa-Wolf ve Molodensky-Badekas Dönüşüm Modelleri için ise Leica SKI yazılım programı kullanılmıştır. İzleyen bölümde her bir transformasyon işlemi ele alınmıştır.

6.6.1 $h=H$ ve $h=H+N$ yaklaşımları ile dönüşüm

Burada ilk olarak elipsoidal yükseklikler (h) ortometrik yüksekliklere eşit kabul edilerek yerel sistemdeki 3 boyutlu koordinatları hesaplanan eşlenik noktalarla 4 ayrı yöntem de kullanılarak dönüşüm parametreleri hesaplanmış ve WGS84 koordinat sisteminden yerel sisteme dönüşüm yapılarak yerel sistemdeki koordinatlar elde edilmiştir. Bursa-Wolf Dönüşüm Modeli ile Molodensky-Badekas Dönüşüm Modelinin sonuçları hesaplanan koordinatlar tamamıyla birbirinin aynısı olduğu için bundan sonraki bölümlerde bu iki dönüşüm sonucu 7 Parametrelili Benzerlik Dönüşümü Sonuçları olarak adlandırılacaktır. Bu dönüşümlerin sonuçları EK.C-1, C-2 ve C-3'te verilmiştir.

Daha sonra hesaplanan jeoid ondülasyonlarıyla $h=H+N$ yaklaşımı kullanılarak yerel sistemdeki 3 boyutlu koordinatları hesaplanan eşlenik noktalarla yine 4 ayrı yöntem kullanılarak dönüşüm parametreleri hesaplanmış ve yerel sisteme dönüşüm yapılmıştır. Bu dönüşümlerin sonuçları EK.D-1, D-2 ve D-3'te verilmiştir.

Aşağıdaki tablolarda her iki yaklaşıma dayalı olarak hesaplanan dönüşüm parametreleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 6.8 Bursa-Wolf Modeli'nde Hesaplanan Dönüşüm Parametrelerinin Karşılaştırması

<i>Bursa-Wolf Modeli</i>			
<i>Dönüşüm Parametreleri</i>		<i>h=H</i>	<i>h=H+N</i>
<i>Kayıklık</i>	<i>X₀</i>	266.2211 m	228.2423 m
	<i>Y₀</i>	94.2961 m	-31.6464 m
	<i>Z₀</i>	-15.1679 m	94.3869 m
<i>Dönüklük</i>	<i>α</i>	-2.2096 sn	1.7606 sn
	<i>β</i>	6.3605 sn	3.2091 sn
	<i>γ</i>	-2.5149 sn	-4.7611 sn
<i>Ölçek</i>	<i>K</i>	0.9999981713	0.9999976244
<i>Dengelemenin k.o.h. 'sı, m₀</i>		4.4185 cm	4.4193 cm

Tablo 6.9 Molodensky-Badekas Modeli'nde Hesaplanan Dönüşüm Parametrelerinin Karşılaştırması

<i>Molodensky-Badekas Modeli</i>			
<i>Dönüşüm Parametreleri</i>		<i>h=H</i>	<i>h=H+N</i>
<i>Kayıklık</i>	<i>X₀</i>	101.7351 m	99.5075 m
	<i>Y₀</i>	96.8976 m	95.6614 m
	<i>Z₀</i>	132.3747 m	130.1649 m
<i>Dönüklük</i>	<i>α</i>	-2.2096 sn	1.7606 sn
	<i>β</i>	6.3605 sn	3.2091 sn
	<i>γ</i>	-2.5149 sn	-4.7611 sn
<i>Ölçek</i>	<i>K</i>	0.9999981713	0.9999976244
<i>Dengelemenin k.o.h. 'sı, m₀</i>		4.4185 cm	4.4193 cm

Tablo 6.10 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü Modeli'nde Hesaplanan Dönüşüm Parametrelerinin Karşılaştırması

<i>9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü Modeli</i>			
<i>Dönüşüm Parametreleri</i>		<i>h=H</i>	<i>h=H+N</i>
<i>Kayıklık</i>	<i>X₀</i>	209.0216 m.	170.5822 m.
	<i>Y₀</i>	97.9242 m.	-27.5910 m.
	<i>Z₀</i>	31.2827 m.	139.9111 m.
<i>Dönüklük</i>	<i>α</i>	-1.6870 sn	2.2744 sn
	<i>β</i>	5.4176 sn	2.2692 sn
	<i>γ</i>	-1.8553 sn	-4.0928 sn
<i>Ölçek</i>	<i>K_x</i>	1.000005449620007	1.000005003574642
	<i>K_y</i>	0.9999978819061528	0.9999973037847427
	<i>K_z</i>	0.9999930636100387	0.9999927008320250
<i>Dengelemenin k.o.h. 'sı, m₀</i>		4.4555 cm.	4.4563 cm.

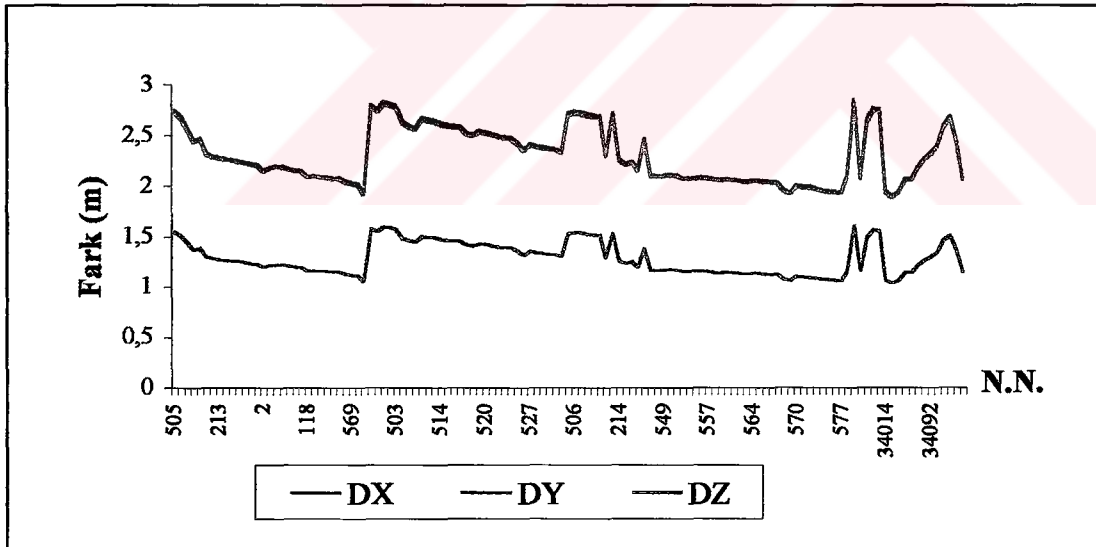
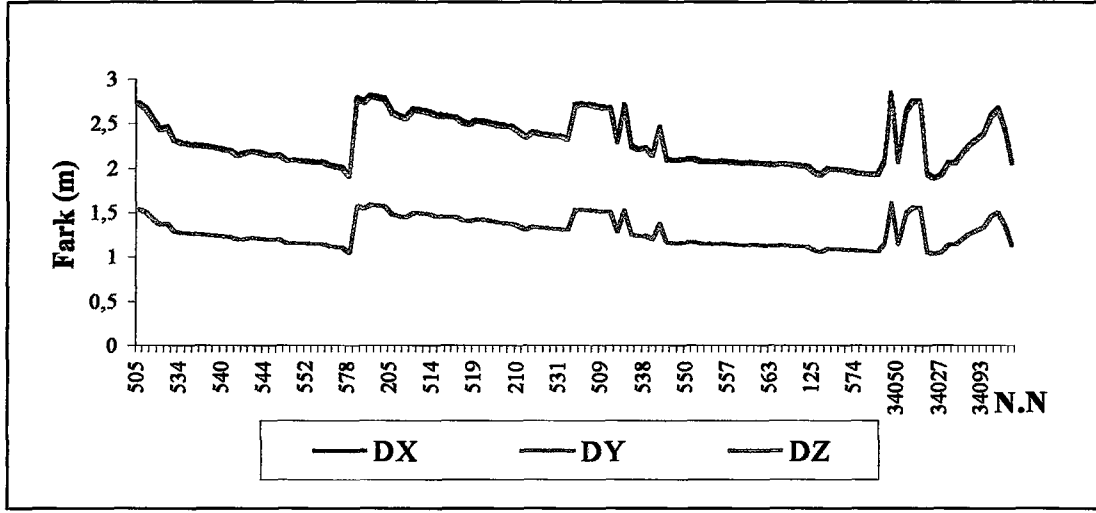
Tablo 6.11 10 Parametrelili Afin Dönüşümü Modeli'nde Hesaplanan Dönüşüm Parametrelerinin Karşılaştırması

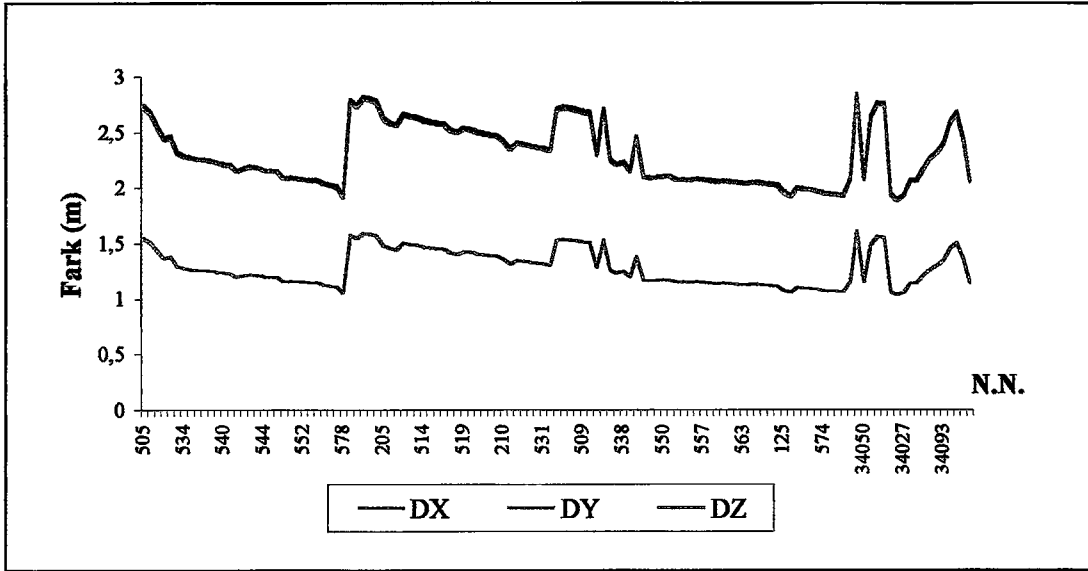
10 Parametrelili Afin Dönüşümü Modeli			
Dönüşüm Parametreleri		$h=H$	$h=H+N$
Kayıklık	X_0	101.7348 m	99.5075 m
	Y_0	96.8978 m	95.6614 m
	Z_0	132.3749 m	130.1649 m
Dönüklük	α	1.7386 sn	4.6890 sn
	β	-4.2935 sn	0.4323 sn
	γ	0.3400 sn	0.3450 sn
Ölçek	k_x	0.9999963302	0.9999958432
	k_y	1.0000010952	1.0000006260
	k_z	0.9984236697	0.9983957303
Mak. Ölçek Fak. Doğ. Q		-32.79958719 derece	-33.72891161 derece
Dengelemenin k.o.h. 'sı, m_0		4.1962 cm	4.1863 cm

6.7 Dönüşüm Sonuçlarının Karşılaştırması

$h=H$ ve $h=H+N$ yaklaşımlarıyla hesaplanan 3 boyutlu eşlenik nokta koordinatları yardımıyla belirlenen dönüşüm parametreleriyle yapılan dönüşüm sonucu bulunan yeni 3 boyutlu yerel sistem koordinatları, dönüşümde kullanılan 3 boyutlu yerel sistem koordinatlarıyla karşılaştırılmıştır. 7 Parametrelili Benzerlik Dönüşümü sonuçları (Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas) EK.E-1'de, 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü sonuçları EK.E-2'de, 10 Parametrelili Afin Dönüşüm sonuçları EK.E-3'te verilmiştir.

Bütün olarak ele alındığında $h=H+N$ ve $h=H$ yaklaşımıyla hesaplanan X , Y ve Z yönlerindeki farklılıklar Şekil 6.4, 5 ve 6'da verilmiştir.





Şekil 6.6 10 Parametrelili Afin Dönüşümünde $h=H+N$ ve $h=H$ Varsayımıyla Hesaplanan X, Y, Z Koordinatları Arasındaki Farklar

Dönüşümde eşlenik noktaların 3 boyutlu kartezyen koordinatlarının hesabında ele alınan her iki yaklaşım ile yapılan dönüşümler sonucu elde edilen koordinatlar arası max. ve min. farklar Tablo 6.12, 13 ve 14’te verilmiştir.

Tablo 6.12 7 Parametrelili Benzerlik Dönüşümü Modelleri Sonucu Elde Edilen X, Y ve Z Değerlerindeki Max. ve Min. Farklar

	X_{max} (cm)	X_{min} (cm)	Y_{max} (cm)	Y_{min} (cm)	Z_{max} (cm)	Z_{min} (cm)
$(h=H)-(h=H+N)$	2.8539	1.8971	1.6061	1.0405	2.8244	1.8818

Tablo 6.13 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşüm Modeli Sonucu Elde Edilen X, Y ve Z Değerlerindeki Max. ve Min. Farklar

	X_{max} (cm)	X_{min} (cm)	Y_{max} (cm)	Y_{min} (cm)	Z_{max} (cm)	Z_{min} (cm)
$(h=H)-(h=H+N)$	2.8525	1.8973	1.6065	1.0404	2.8258	1.8817

Tablo 6.14 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modeli Sonucu Elde Edilen X, Y ve Z Değerlerindeki Max. ve Min. Farklar

	X_{max} (cm)	X_{min} (cm)	Y_{max} (cm)	Y_{min} (cm)	Z_{max} (cm)	Z_{min} (cm)
$(h=H)-(h=H+N)$	2.8524	1.8963	1.6065	1.0399	2.8258	1.8808

6.8 Kenar Değerlerinin Karşılaştırması

Ağda yersel sistemlerle ölçülen kenarlarla dönüşüm sonucu bulunan koordinatlardan kenar hesaplanarak bir karşılaştırma yapılabilmesi için, öncelikle 4 ayrı dönüşüm modeliyle her iki yaklaşım kullanılarak yerel sisteme dönüştürülmüş 3 boyutlu koordinatlardan, Bölüm 4.2 *i*'de verilen ((4.31)-(4.37)) eşitlikleri yardımıyla elipsoidal koordinatlara geçilmiştir. Daha sonra Bölüm 4.2 *ii*'de verilen ((4.38)-(4.56)) eşitlikleri yardımıyla 3° dilim genişliğinde ve 30° dilim orta meridyeninde düzlem koordinatlar (Sağa, Yukarı) hesaplanmıştır. Hesaplanan düzlem koordinatlarla, QBasic'te yazılmış bir program yardımıyla 53 kenar bilgisi türetilmiştir. Hesaplanan bu kenarlar ile 2 boyutlu Helmert dönüşümü sonucu bulunan koordinatlardan hesaplanan kenarlar literatür (Baykal ve diğ., 1996)'dan alınmış ve tümü, Total Station ile ölçülüp Gauss-Krüger projeksiyon düzlemine indirgenmiş kenarlarla karşılaştırılmıştır.

4 ayrı dönüşüm modeliyle ve her iki yaklaşımla hesaplanan 53 kenar bilgisinin ölçülen kenarlarla karşılaştırması sonucu hesaplanan Karesel Ortalama Hatalar Tablo 6.15'te verilmiştir.

Tablo 6.15 Kenarlar İçin Hesaplanan Karesel Ortalama Hatalar

<i>Dönüşüm Modeli</i>	<i>h=H (cm)</i>	<i>h=H+N (cm)</i>	<i>Fark (cm)</i>
<i>Bursa-Wolf</i>	±1.127	±1.111	0.016
<i>Molodensky-Badekas</i>	±1.127	±1.111	0.016
<i>9 Par. Helmert Ben.</i>	±1.102	±1.085	0.017
<i>10 Par. Afin</i>	±1.098	±1.083	0.015
<i>2 Boyutlu Helmert</i>	±1.204		

Tablo 6.15'teki karesel ortalama hata değerlerinden de görüldüğü gibi, 10 Parametrelili Afin Dönüşüm diğerlerinden daha iyi bir sonuç vermiştir.

Yukarıda söz konusu edilen tüm kenar değerleri ve farklar EK.F-1, 2'de verilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Gebze-Halkalı arasında 1996 yılında GPS ile ölçülen jeodezik ağın 3 boyutlu dönüşümlerle yerel sisteme dönüştürülmesi uygulanmıştır. Her iki sistemde koordinatı bilinen 13 ortak nokta yardımıyla, $h=H+N$ ve $h=H$ varsayımlarıyla 4 ayrı modelle 3 boyutlu dönüşümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

i-) Dönüşüm sonuçları arasındaki en büyük ve en küçük farklar, Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1 $h=H$ ve $h=H+N$ Varsayımları ile Tüm Dönüşüm Modelleriyle Yapılan Dönüşüm Sonuçları Arasındaki Farklar

	$X_{max} (m)$	$X_{min} (m)$	$Y_{max} (m)$	$Y_{min} (m)$	$Z_{max} (m)$	$Z_{min} (m)$
$(h=H)-(h=H+N)$	2.85	1.90	1.61	1.04	2.83	1.88

Kullanılan tüm dönüşüm modelleri sonuçları için $(h=H)-(h=H+N)$ karşılaştırmasında mm mertebesine kadar aynı sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 7.1’den de açıkça görüleceği gibi X ve Z yönündeki farklılıklar birbirine mm’nin onda biri mertebesinde yakınlık göstermektedir. Bu sonuçlara bakılarak ondülasyonların hesaba katılmasının ağı X ve Z yönünde aynı miktarda, Y yönünde ise tüm noktalarda X ve Z’den farklı olarak aynı miktarda ötelediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Ondülasyonun hesaba katılmasının ağda sadece öteleme olarak ortaya çıkması, uygulamada kullanılan ağın deniz seviyesinde olmasından dolayı ondülasyon değerlerinin sabit bir oranda değişmesi olabilir. Ayrıca ağın, doğu-batı yönünde uzanan şerit şeklinde bir ağ olması, Y eksenini yönündeki ötelemenin X ve Z eksenini yönündeki ötelemelerden farklılık göstermesinin nedeni olabilir.

ii-) Ondülasyonların hesaba katılmasının dönüşüm parametrelerine olan etkisi göz önüne alındığında; Bursa-Wolf ve 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü Modellerinde tüm parametrelerde rastlantısal nitelikli değişimlere neden olurken, Molodensky-Badekas ve 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modellerinde dönüklük ve

ölçek parametrelerinde benzer değişimlere neden olmuş, ancak kayıklık parametrelerini diğerlerinden çok daha az etkilemiştir.

iii-) $h=H$ ve $h=H+N$ varsayımı ile yapılan dönüşümlerin sonucunda hesaplanan kenar değerleri arasındaki farklar mm mertebesinde kalmaktadır. 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü Modeli için en büyük fark +2 mm, Bursa-Wolf ve Molodensky-Badekas Modeli için ± 2 mm, 10 Parametrelili Afin Dönüşüm için ise ± 3 mm'dir. Burada ondülasyon değerlerinin hesaba katılmasının kenar uzunluk değerlerini anlamlı olarak etkilemediği ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni kenar uzunluklarının ortalama 1 km olması olabilir.

Bu çalışmada kullanılan ağda ondülasyon değerlerinin hesaba katılması sadece ağı birkaç metre mertebesinde ötelemiş, ancak bu ötelenme kenar uzunluk değerlerini etkilememiştir.

iv-) EK.E-1, 2 ve 3'te verilen çakışma artıklarının dm mertebesinde olmasının nedeni, ortak noktaların yerel konum koordinatlarındaki uyuşumsuz ölçüler ve ortometrik yüksekliklerdeki yetersiz doğruluklar olabilir. Özellikle ortak noktaların ortometrik yüksekliklerinin trigonometrik nivelmanla belirlenmiş olması, 3 boyutlu dönüşümde ortak noktaların yerel sistemdeki kartezyen koordinatlarının hesabını doğrudan etkilediğinden, yeterli doğruluk sağlayamamaktadır. 3 boyutlu dönüşümlerde kullanılacak olan ortak noktaların yerel sistemdeki yatay ve düşey konum bilgileri yeterli presizyona sahip olmak zorundadır.

v-) Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, mevcut ağ üzerinde daha önce yapılan bir çalışmadaki 2 boyutlu dönüşümler ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuç vermiştir. 2 boyutlu dönüşümde 15 ortak noktadan yola çıkılıp, daha iyi sonuç elde etmek için nokta elenerek, işlem 9 nokta ile tamamlanmıştır. Bu çalışmada hiç nokta atılmadan 13 ortak nokta ile yapılan dönüşüm sonucu belirlenen koordinatlardan hesaplanan kenarlar, 9 nokta ile yapılan 2 boyutlu dönüşüm sonucu belirlenen koordinatlardan hesaplanan kenarlardan daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca 2 boyutlu dönüşümde hangi noktanın uyuşumsuz olduğunu belirleyebilmek için harcanan zaman ve veri kaybı gibi dezavantajlar da ortadan kalkmıştır.

vi-) EK.E-1, 2 ve 3'te verilen çakışma artıkları göz önüne alındığında her iki varsayımla hesaplanan karesel ortalama hatalar Tablo 7.2'de verilmiştir.

Tablo 7.2 $h=H$ ve $h=H+N$ Varsayımları ile Hesaplanan Çakışma Artıklarının Karşılaştırması

<i>Dönüşüm Modeli</i>	<i>$h=H$ varsayımı</i>			<i>$h=H+N$ varsayımı</i>		
	m_{0_x} (cm)	m_{0_y} (cm)	m_{0_z} (cm)	m_{0_x} (cm)	m_{0_y} (cm)	m_{0_z} (cm)
<i>Bursa-Wolf</i>	9.725	6.781	9.512	9.620	6.999	9.467
<i>Molodensky-Badekas</i>	9.725	6.781	9.512	9.620	6.999	9.467
<i>9 Parametrelili Helmert</i>	9.711	6.645	9.499	9.635	6.537	9.392
<i>10 Parametrelili Afin</i>	8.737	6.564	8.952	8.619	6.461	8.834

Burada 10 Parametrelili Afin Dönüşümü Modelinin Benzerlik Dönüşümü Modellerine göre daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Ancak bu sonuca bakılarak 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modelinin her zaman daha iyi sonuç vereceği söylenemez. Özellikle ağın şekli, konumu ve yatay ve düşey datumdaki farklılıklar göz önüne alındığında bu çalışma için en iyi sonucu 10 Parametrelili Afin Dönüşümü Modeli vermiştir. Bunun nedeni ise 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modelinin ağıdaki bozulmalar ile yatay ve düşey ölçek farklılıklarını ayrı ayrı göz önüne almasıdır.

Benzerlik dönüşümü modelleri içinde 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modeline en yakın sonuçlar veren 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümü Modeli olmuştur. Bunun nedeni ise 9 Parametrelili Helmert Benzerlik Dönüşümünde üç eksen yönündeki ölçek farklılıklarının ayrı ayrı incelenmesidir. Dönüşüm parametrelerine bakıldığında 10 Parametrelili Afin Dönüşüm Modelinde özellikle Z-ekseni yönündeki ölçek, diğerlerinden büyük çıkmıştır. Bununla birlikte, 9 parametrelili Dönüşüm Modeli Z-ekseni yönündeki ölçek farklılığını ortaya çıkaramamıştır.

GPS ile elde edilen koordinatların yerel sisteme dönüştürülmesinde, ağın şekli ne olursa olsun, 3 boyutlu dönüşüm modelleri daha iyi sonuç vermektedir. Ancak yerel sistemdeki 3 boyutlu kartezyen koordinatların hesabında ağın konumu ve büyüklüğü göz önünde bulundurularak ondülasyon değerlerinin ihmal edilip edilmeyeceğine karar verilmelidir. Bu uygulamanın yapıldığı bölge denize yakın noktalardan oluştuğu ve ondülasyon değerleri çok fazla farklılık göstermediği için, 80 km'lik bir ağ olmasına rağmen, ondülasyonların hesaba katılması çok fazla etkilememiştir. Bunun yanında, ondülasyonların hızlı değişim göstereceği topoğrafik yapıya sahip bölgelerde, özellikle ağ büyükse, ondülasyonların hesaba katılması gerekli olabilir.

KAYNAKLAR

- Abd-Elmotaal, H., El-Tokhey, M., (1997)** “The Role of the Geoid in the Coordinate Transformation”, Survey Review, Vol: 34, No: 263, January, pp. 31-40
- Agajelu, S. I., (1990)** “Geoidal Heights for Nigeria”, Survey Review, 30, 235, January
- Akyüz, F., (1984)** “Türkiye Temel Nirengi Ağının ABD’de Dengelenmesi Sırasında Ulusal Datumun Avrupa Datumu 1950’ye Dönüştürülmesi”, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Sayı:50-51, Sayfa: 91-94, Ankara
- Algül E., (1996)** “Ölçme Bilgisi III Ders Notları”,
- Alp, O., (1993)** “Türkiye Astrojeodezik ve Astrogravimetrik Jeoidinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Alp, O., (1998)** “Sayısal Arazi Modeli Üzerine Bir İnceleme”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Arslan, E., (1987)** “Ülke Nirengi Ağlarında İki ve Üç Boyutlu Dengeleme Modellerinin Uygulamalı Karşılaştırması”, Doktora Tez, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Arslan, E., (1995)** “Ülke Ölçmeleri Ders Notları”
- Baykal, O., (1996)** “Yükseklik Sistemleri” İTÜ MMLS Ders Notları
- Baykal, O., Şahin, M., İnce, C., D., Alkan, R. M., (1996)** “Gebze-Haydarpaşa ve Sirkeci-Halkalı Demiryolu Hattı İyileştirme Etüdü GPS Yöntemi ile Nirengi Ölçme ve Hesap İşİ”, Teknik Rapor
- Chiles, J. P., Chauvet, P., (1975)** “Kriging: A Method for Cartography of the Sea Floor”, The International Hydrographic Review, Vol:LII, No:1, Monaco, January, pp. 25-41
- Deniz, R., (1988)** “Presizyonlu Elektrometrik Uzunluk ve Konum Belirleme Sistem ve Yöntemleri”, İTÜ MMLS Ders Notları
- Erdem, A., Ş., (1997)** “GPS-WGS84 Koordinatlarının 2 ve 3 Boyutlu Transformasyonlarında Ölçek Faktörlerinin Etkisi ve Düşey Transformasyon Yöntemleri”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

- Featherstone, W. E., Dentith, M. C., Kirby, J. F., (1998)** "Strategies For The Accurate Determination Of Orthometric Heights From GPS" Survey Review, 34, 267, 278-296
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J., (1992)** "GPS, Theory and Practice", Springer-Verlag, Wien New York
- Kartal, A., (1998)** "GPS Yöntemi ile Yükseklik Belirlenirken İnterpolasyon Yöntemlerinin Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kılıçoğlu, A., (1995)** "Jeodezide Dönüşümler", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- King, R. W., Masters, E. G., Rizos, C., Stolz, A., Collins, J., (1985)** "Surveying with GPS", Monograph 9
- Kumar, M., (1993)** "World Geodetic System 1984: A Reference Frame for Global Mapping Charting and Geodetic Applications", Surveying and Land Information Systems, Vol:53, No:1, pp.53-56
- Kutoğlu, Ş., H., (1996)** "WGS84 Koordinat Sisteminden Ülke Sistemine Dönüşüm", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Langley, R., B., (1990)** "Satellite Navigation"
- Mok, E., (1992)** "A Model for the Transformation Between Satellite and Terrestrial Networks in Hong Kong", Survey Review, Vol:244, April
- Nader, F., (1987)** "Geodesy", Lecture Presented to SE 108 Geodesy Class
- Petrie, G., Kennie, T. J., (1987)** "Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering", Computer Aided Design, vol:19, No:4, May, 171-187,
- Reit, B-G., (1998)** "The 7-Parameter Transformation to a Horizontal Geodetic Datum", Survey Review, Vol: 34, No: 268, April, pp. 400-404
- Saka, M., H., (1997)** "GPS ile Nirengi Ağı Sıklaştırmada Uygun Yöntemin Araştırılması", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Schud, G.H., (1976)** "Review of Interpolation Method for Digital Terrain Models" The Canadian Surveyor, vo:30, No:5, December
- Smith, J. R., (1988)** "Basic Geodesy", Landmark Enterprises, Rancho Cordova, United Kingdom
- Soler, T., Hathem, I. D., (1988)** "Coordinate Systems Used in Geodesy: Basic Definitions and Concepts", ASCE, Vol:114, No:2, May

- Şimşek, M., (1994)** “Uydu Tekniklerinin Ağ Sıklaştırmada Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma”, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Torge, W., (1991)** “Geodesy”, New York: deGruyter, Second Edition
- Türkezer, A., (1998)** “Yersel ve GPS Ölçülerinin 3 Boyutlu Geometrik Modelle Dengelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Watson, D. F., Philip, G. M., (1984)** “Triangle Based Interpolation” Mathematical Geology, Vol:16, No:8, 779-795
- Verkuijl, G., E., L., (1985)** “On the Combined Adjustment of 3-D Cartesian and Ellipsoidal Networks”, Department of Geodesy, Delf University of Technology,
- Yanalak, M., (1997)** “Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- Wolfrum, O., (1992)** “Merging Terrestrial and Satellite Networks by a Ten-Parameter Transformation Model”, Manuscripta Geodaetica, 17:210-214i



EKLER



***EK.A WGS84 Elipsoidinde Dengelenmiş ED50 Datumuna
Dönüştürülecek Noktaların Kartezyen Koordinatları***

NN	X (m)	Y (m)	Z (m)
000505	4213423.3532	2370792.0121	4146278.4338
000204	4213845.7042	2367340.9093	4147833.4232
000518	4213880.4346	2360886.0775	4151425.7951
000526	4215716.7079	2353685.7026	4153693.0348
000525	4215399.0031	2355329.1930	4153106.5305
000212	4215572.0564	2347428.3648	4157286.0314
000534	4215307.6224	2346142.7125	4158272.4177
000213	4215297.7602	2345436.2093	4158733.1604
000535	4215182.6389	2344926.2133	4159108.4776
000536	4215325.4551	2344584.4737	4159160.0497
000537	4215150.6577	2344056.1776	4159698.7273
000539	4214838.4422	2343531.7704	4160268.8041
000540	4214830.2014	2342744.9072	4160734.3466
000541	4215522.6431	2341692.8786	4160603.7383
000002	4215640.2134	2338658.3103	4162121.2373
000216	4215307.4782	2340398.7697	4161559.7472
000542	4215666.0763	2341037.6057	4160835.6224
000543	4215435.0720	2340695.5857	4161214.4319
000544	4215248.7881	2339661.8386	4161985.9394
000545	4215091.3798	2339267.3109	4162344.9351
000217	4215712.0121	2338600.3201	4162081.2136
000118	4216137.4786	2335017.1723	4163688.0100
000120	4217547.6994	2334498.2584	4162524.1836
000547	4215751.1369	2335411.6179	4163834.2014
000552	4217755.3890	2333523.2945	4162893.0111
000556	4220289.6358	2330857.7918	4161840.3972
000558	4221507.4434	2330142.3912	4160970.7159
000562	4223554.6709	2326746.2437	4160800.0328
000569	4226557.5309	2323445.5837	4159618.9750
000124	4226455.3331	2322926.4247	4160003.8303
000578	4224712.1312	2319257.9840	4163767.0150
000201	4213357.2900	2373771.2198	4144715.3160
000202	4213409.9665	2371159.8463	4146118.2867
000501	4212947.3283	2375463.9034	4144202.7689
000502	4213189.7782	2374501.3333	4144486.6746
000503	4213375.4114	2373136.5154	4145042.7482
000205	4213721.4617	2364960.0707	4149287.3428
000206	4213617.0800	2363090.7292	4150461.7640
000207	4213759.0689	2361708.7965	4151079.4964
000511	4213782.1504	2366827.3714	4148187.7440
000512	4213778.0832	2366205.1308	4148528.2391

NN	X (m)	Y (m)	Z (m)
000513	4213729.4140	2365588.9430	4148919.1631
000514	4213702.0057	2364245.0116	4149714.7306
000515	4213475.8215	2363584.3615	4150317.2122
000516	4213859.4812	2362687.3526	4150444.6536
000517	4213910.7488	2362350.1867	4150582.1222
000208	4214093.0797	2359165.6703	4152230.6753
000209	4214840.8836	2357475.4013	4152420.8993
000519	4213888.7826	2360239.1530	4151787.5891
000520	4214043.3886	2359565.6301	4152009.8223
000521	4214293.0252	2358381.2181	4152446.4609
000522	4214842.5646	2357046.6367	4152625.4454
000523	4215195.8756	2356193.4577	4152783.9192
000524	4215316.3093	2355699.9280	4152918.3775
000210	4215709.2043	2352783.7408	4154181.2393
000211	4215718.7967	2349062.7548	4156301.2712
000527	4215592.2347	2352164.6956	4154671.1088
000528	4215508.7252	2351401.3270	4155152.4237
000529	4215654.4547	2350641.6313	4155415.2485
000530	4215732.1709	2349961.7139	4155710.5585
000531	4215752.3412	2349611.3369	4155938.3646
000532	4215751.7317	2348109.9022	4156721.4555
000203	4214162.8544	2368869.2103	4146652.1444
000506	4213645.3821	2370193.8936	4146389.4653
000507	4213787.4567	2369795.9088	4146479.0399
000508	4214289.9351	2368401.3375	4146745.2766
000509	4214041.3258	2367684.4452	4147438.3953
000510	4214041.8584	2367491.3083	4147546.3109
000533	4215483.9585	2346610.6177	4157833.1378
005065	4214145.1262	2368743.1930	4146701.7658
000214	4215421.3019	2344207.8951	4159333.4906
000215	4215023.8712	2342403.8925	4160755.2572
000538	4214946.7492	2343798.3266	4160063.2285
000546	4215364.5225	2338934.5418	4162257.7174
000579	4216051.4973	2354456.5346	4152851.2570
000119	4216388.0706	2335806.8559	4162961.0271
000548	4215762.6292	2335615.4144	4163697.6616
000549	4215990.2343	2335787.9638	4163371.7395
000550	4216886.0545	2335518.9375	4162620.4997
000551	4217140.5683	2335228.3971	4162525.0080
000121	4219118.8288	2332045.2384	4162363.9148
000553	4218143.1763	2333017.7500	4162750.8663
000554	4218590.7326	2332408.3067	4162647.9279

NN	X (m)	Y (m)	Z (m)
000555	4219669.0559	2332045.3218	4161754.1650
000557	4221120.8944	2330642.8122	4161120.9533
000122	4222384.0397	2329087.0379	4160730.7111
000123	4225268.3073	2326229.5922	4159384.5787
000559	4221884.6300	2329425.1544	4160982.3788
000560	4222465.5148	2328674.2575	4160856.7457
000561	4222891.3814	2328054.0885	4160754.7439
000563	4224016.2857	2326392.0409	4160514.1300
000564	4224575.2120	2326423.8870	4159943.1773
000565	4225605.3219	2325752.1422	4159295.6112
000566	4226057.3613	2324745.9953	4159399.9961
000567	4226316.0164	2324207.5927	4159435.6075
000568	4226543.6407	2323628.3397	4159527.6030
000125	4225975.8947	2320504.2814	4161852.4876
000126	4224842.6125	2319560.3771	4163470.9839
000570	4226653.8611	2322039.8564	4160280.6924
000571	4226775.2796	2321489.0130	4160469.7640
000572	4226792.6424	2321125.3512	4160633.3474
000573	4226271.0844	2320898.0461	4161309.1717
000574	4226003.4086	2320062.7502	4162053.3147
000575	4225534.5033	2319965.5188	4162551.9022
000576	4225078.2640	2320215.5798	4162881.4480
000577	4224727.3202	2319944.3498	4163398.2019
000620	4216060.8050	2335047.6238	4163716.9318
034000	4212429.0706	2377051.7808	4143934.8236
034050	4219725.7505	2331660.6050	4161974.7892
034111	4216227.0995	2364119.8140	4147264.0969
034218	4214366.0835	2371537.6105	4145000.4288
034219	4210237.5846	2374572.1700	4147810.9858
034014	4228473.9634	2317581.5639	4161053.2609
034015	4224125.7678	2318200.3198	4165031.6431
034027	4223405.1300	2321132.6752	4164269.1761
034030	4225482.2051	2326474.9242	4159048.2751
034031	4223010.3015	2328591.0285	4160383.4881
034070	4216482.8685	2339449.0466	4160895.8164
034091	4213752.4856	2346320.1213	4159909.0003
034092	4215242.8701	2347985.1520	4157359.7435
034093	4216128.4026	2351033.0848	4154866.9426
034112	4212654.3041	2364165.5645	4150996.7848
034120	4212958.7791	2368222.9902	4148344.6663
034142	4213606.0814	2355010.1008	4155175.3250
034146	4214543.6410	2334858.1764	4165589.6616

EK.B Yersel Yöntemlerle Ölçülen Kenar Uzunlukları

<i>NN</i>	<i>Ölçülen</i>
201 - 503	714,371
202 - 505	400,767
203 - 507	1014,598
505 - 506	647,625
507 - 506	431,964
509 - 508	1027,469
509 - 510	221,248
204 - 510	378,855
512 - 511	709,274
513 - 512	731,350
205 - 513	728,789
205 - 514	833,311
515 - 514	922,323
515 - 206	533,396
516 - 206	470,947
516 - 517	367,724
207 - 517	825,647
207 - 518	900,877
519 - 518	741,291
520 - 208	458,639
525 - 579	1117,688
524 - 523	525,335
522 - 209	474,516
522 - 523	936,719
530 - 529	745,371
528 - 529	816,936
534 - 533	665,61

<i>NN</i>	<i>Ölçülen</i>
533 - 212	987,884
532 - 212	903,111
536 - 535	373,956
541 - 215	881,151
544 - 545	556,042
547 - 548	245,473
549 - 119	572,148
551 - 120	836,060
552 - 553	652,515
554 - 121	700,413
557 - 558	649,483
558 - 559	810,507
122 - 559	652,230
560 - 561	759,170
563 - 562	648,282
566 - 567	598,444
568 - 569	204,818
570 - 571	594,966
573 - 572	883,391
125 - 573	732,903
575 - 576	615,936
576 - 577	681,009
577 - 126	407,231
578 - 126	442,875
210 - 527	797,926
210 - 093	1924,709

EK.C-1 7 Parametrelı Benzerlik Dönüşümü Modelleri
Sonuçları ($h=H$ Yaklaşımıyla)

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
220505	4213525.1038	2370888.9249	4146411.0068
034111	4216328.8959	2364216.7626	4147396.6831
034219	4210339.2476	2374669.0206	4147943.4983
000204	4213947.4481	2367437.8169	4147965.9694
000518	4213982.1464	2360982.9588	4151558.2667
000526	4215818.4342	2353782.5952	4153825.4817
034112	4212755.9914	2364262.4295	4151129.2545
000525	4215500.7280	2355426.0850	4153238.9863
034091	4213854.1136	2346416.9368	4160041.2964
034093	4216230.1243	2351129.9747	4154999.3717
000212	4215673.7485	2347525.2286	4157418.4003
000534	4215409.3002	2346239.5649	4158404.7628
000213	4215399.4324	2345533.0579	4158865.4968
000535	4215284.3060	2345023.0574	4159240.8043
000536	4215427.1245	2344681.3196	4159292.3771
000537	4215252.3173	2344153.0166	4159831.0426
000539	4214940.0911	2343628.6004	4160401.1031
000540	4214931.8456	2342841.7336	4160866.6361
000541	4215624.3029	2341789.7167	4160736.0381
000002	4215741.8632	2338755.1392	4162253.5055
000216	4215409.1247	2340495.5973	4161692.0248
000542	4215767.7367	2341134.4443	4160967.9192
000543	4215536.7253	2340792.4180	4161346.7172
000544	4215350.4305	2339758.6623	4162118.2065
000545	4215193.0162	2339364.1296	4162477.1925
000217	4215813.6637	2338697.1504	4162213.4834
000118	4216239.1235	2335113.9971	4163820.2516
000120	4217649.3840	2334595.1138	4162656.4653
000547	4215852.7732	2335508.4357	4163966.4351
000552	4217857.0737	2333620.1503	4163025.2881
034050	4219827.4826	2331757.4980	4162107.1087
000556	4220391.3808	2330954.6946	4161972.7257
000558	4221609.2217	2330239.3195	4161103.0759
034031	4223112.1141	2328687.9842	4160515.8789
000562	4223656.4922	2326843.2050	4160932.4198
000569	4226659.4233	2323542.6003	4159751.4214
000124	4226557.2202	2323023.4369	4160136.2673
000578	4224813.9502	2319354.9413	4163899.3521
034014	4228575.8796	2317678.5992	4161185.7010
034027	4223506.9130	2321229.6078	4164401.4920
000201	4213459.0526	2373868.1431	4144847.9218
000202	4213511.7175	2371256.7600	4146250.8635
000501	4213049.0868	2375560.8241	4144335.3811
000502	4213291.5392	2374598.2557	4144619.2834
000503	4213477.1716	2373233.4366	4145175.3471
034000	4212530.8189	2377148.6951	4144067.4373
034218	4214467.8627	2371634.5471	4145133.0412

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
000205	4213823.1900	2365056.9656	4149419.8570
000206	4213718.7951	2363187.6136	4150594.2528
000207	4213860.7816	2361805.6786	4151211.9737
000511	4213883.8898	2366924.2754	4148320.2821
000512	4213879.8197	2366302.0322	4148660.7698
000513	4213831.1460	2365685.8407	4149051.6850
000514	4213803.7296	2364341.9029	4149847.2358
000515	4213577.5353	2363681.2448	4150449.7022
000516	4213961.2013	2362784.2409	4150577.1456
000517	4214012.4687	2362447.0748	4150714.6119
000208	4214194.7873	2359262.5488	4152363.1335
000209	4214942.6045	2357572.2899	4152553.3621
000519	4213990.4911	2360336.0317	4151920.0533
000520	4214145.0982	2359662.5096	4152142.2837
000521	4214394.7353	2358478.0981	4152578.9165
000522	4214944.2844	2357143.5239	4152757.9033
000523	4215297.6003	2356290.3491	4152916.3786
000524	4215418.0357	2355796.8203	4153050.8351
034142	4213707.7497	2355106.9494	4155307.7183
000210	4215810.9266	2352880.6297	4154313.6754
000211	4215820.4989	2349159.6279	4156433.6639
000527	4215693.9496	2352261.5790	4154803.5338
000528	4215610.4347	2351498.2056	4155284.8371
000529	4215756.1651	2350738.5103	4155547.6577
000530	4215833.8804	2350058.5919	4155842.9623
000531	4215854.0479	2349708.2133	4156070.7649
000532	4215853.4325	2348206.7730	4156853.8382
000203	4214264.6155	2368966.1316	4146784.7189
000506	4213747.1361	2370290.8090	4146522.0386
000507	4213889.2126	2369892.8257	4146611.6131
000508	4214391.6988	2368498.2602	4146877.8499
000509	4214143.0774	2367781.3588	4147570.9520
000510	4214143.6090	2367588.2211	4147678.8653
000533	4215585.6438	2346707.4761	4157965.4942
0005065	4214246.8874	2368840.1138	4146834.3384
034120	4213060.4981	2368319.8799	4148477.1937
000214	4215522.9704	2344304.7410	4159465.8166
000215	4215125.5185	2342500.7216	4160887.5490
000538	4215048.4010	2343895.1597	4160195.5341
034092	4215344.5537	2348082.0100	4157492.1080
000546	4215466.1652	2339031.3653	4162389.9798
000579	4216153.2395	2354553.4389	4152983.7240
034070	4216584.5449	2339545.8974	4161028.1213
000119	4216489.7279	2335903.6901	4163093.2862
000548	4215864.2672	2335712.2334	4163829.8981
000549	4216091.8799	2335884.7888	4163503.9854
000550	4216987.7249	2335615.7819	4162752.7717

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
000551	4217242.2447	2335325.2462	4162657.2849
000121	4219220.5454	2332142.1192	4162496.2189
000553	4218244.8708	2333114.6129	4162883.1501
000554	4218692.4369	2332505.1773	4162780.2191
000555	4219770.7902	2332142.2158	4161886.4872
000557	4221222.6627	2330739.7333	4161253.3064
000122	4222485.8367	2329183.9814	4160863.0872
000123	4225370.1754	2326326.5905	4159517.0156
000559	4221986.4160	2329522.0885	4161114.7427
000560	4222567.3128	2328771.2014	4160989.1197
000561	4222993.1893	2328151.0398	4160887.1246
000563	4224118.1193	2326489.0115	4160646.5280
000564	4224677.0618	2326520.8705	4160075.5939
000565	4225707.1979	2325849.1464	4159428.0536
000566	4226159.2456	2324843.0058	4159532.4414
000567	4226417.9056	2324304.6069	4159568.0550
000568	4226645.5338	2323725.3568	4159660.0511
034030	4225584.0802	2326571.9283	4159180.7219
034146	4214645.2322	2334954.9617	4165721.8489
000125	4226077.7552	2320601.2724	4161984.8805
000126	4224944.4367	2319657.3386	4163603.3288
000570	4226755.7501	2322136.8697	4160413.1255
000571	4226877.1693	2321586.0267	4160602.1946
000572	4226894.5314	2321222.3640	4160765.7744
000573	4226372.9563	2320995.0458	4161441.5789
000574	4226105.2682	2320159.7401	4162185.7033
000575	4225636.3496	2320062.4979	4162684.2744
000576	4225180.0979	2320312.5493	4163013.8082
000577	4224829.1421	2320041.3100	4163530.5475
034015	4224227.5617	2318297.2584	4165163.9484
000620	4216162.4488	2335144.4473	4163849.1713



EK.C-2 9 Parametrelı Helıert Benzerlık Dönüşümü

Modeli Sonuçları ($h=H$ Yaklaşımıyla)

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
505	4213525.1088	2370888.9008	4146411.0152
204	4213947.4523	2367437.7964	4147965.9766
518	4213982.1466	2360982.9492	4151558.2717
526	4215818.4351	2353782.5875	4153825.4850
525	4215500.7292	2355426.0763	4153238.9899
212	4215673.7447	2347525.2322	4157418.4017
534	4215409.2949	2346239.5722	4158404.7637
213	4215399.4269	2345533.0667	4158865.4972
535	4215284.2997	2345023.0676	4159240.8046
536	4215427.1184	2344681.3296	4159292.3773
537	4215252.3107	2344153.0287	4159831.0423
539	4214940.0832	2343628.6151	4160401.1026
540	4214931.8372	2342841.7497	4160866.6352
541	4215624.2956	2341789.7306	4160736.0374
2	4215741.8540	2338755.1574	4162253.5042
216	4215409.1160	2340495.6147	4161692.0235
542	4215767.7294	2341134.4585	4160967.9183
543	4215536.7169	2340792.4340	4161346.7163
544	4215350.4211	2339758.6811	4162118.2051
545	4215193.0060	2339364.1499	4162477.1910
217	4215813.6546	2338697.1683	4162213.4822
118	4216239.1135	2335114.0188	4163820.2493
120	4217649.3772	2334595.1282	4162656.4638
547	4215852.7623	2335508.4589	4163966.4327
552	4217857.0670	2333620.1652	4163025.2862
556	4220391.3792	2330954.6995	4161972.7243
558	4221609.2228	2330239.3185	4161103.0752
562	4223656.4964	2326843.1980	4160932.4193
569	4226659.4335	2323542.5817	4159751.4216
124	4226557.2297	2323023.4197	4160136.2673
578	4224813.9525	2319354.9403	4163899.3501
201	4213459.0595	2373868.1143	4144847.9308
202	4213511.7229	2371256.7354	4146250.8718
501	4213049.0938	2375560.7949	4144335.3904
502	4213291.5462	2374598.2267	4144619.2926
503	4213477.1781	2373233.4088	4145175.3560
205	4213823.1923	2365056.9498	4149419.8634
206	4213718.7960	2363187.6017	4150594.2584
207	4213860.7819	2361805.6682	4151211.9790
511	4213883.8934	2366924.2561	4148320.2891
512	4213879.8229	2366302.0140	4148660.7766
513	4213831.1487	2365685.8238	4149051.6916
514	4213803.7314	2364341.8885	4149847.2419
515	4213577.5361	2363681.2329	4150449.7080
516	4213961.2026	2362784.2283	4150577.1512
517	4214012.4699	2362447.0624	4150714.6175
208	4214194.7872	2359262.5409	4152363.1379

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
209	4214942.6053	2357572.2807	4152553.3664
519	4213990.4909	2360336.0231	4151920.0582
520	4214145.0980	2359662.5012	4152142.2884
521	4214394.7351	2358478.0904	4152578.9208
522	4214944.2848	2357143.5153	4152757.9076
523	4215297.6013	2356290.3400	4152916.3826
524	4215418.0365	2355796.8113	4153050.8391
210	4215810.9267	2352880.6235	4154313.6786
211	4215820.4970	2349159.6282	4156433.6656
527	4215693.9492	2352261.5746	4154803.5366
528	4215610.4335	2351498.2029	4155284.8397
529	4215756.1637	2350738.5080	4155547.6603
530	4215833.8787	2350058.5903	4155842.9647
531	4215854.0463	2349708.2124	4156070.7669
532	4215853.4297	2348206.7744	4156853.8401
203	4214264.6215	2368966.1066	4146784.7269
506	4213747.1413	2370290.7846	4146522.0468
507	4213889.2179	2369892.8012	4146611.6213
508	4214391.7046	2368498.2352	4146877.8579
509	4214143.0822	2367781.3365	4147570.9594
510	4214143.6137	2367588.1991	4147678.8727
533	4215585.6393	2346707.4816	4157965.4953
5065	4214246.8930	2368840.0890	4146834.3464
214	4215522.9646	2344304.7513	4159465.8164
215	4215125.5106	2342500.7373	4160887.5480
538	4215048.3938	2343895.1734	4160195.5335
546	4215466.1555	2339031.3847	4162389.9783
579	4216153.2415	2354553.4277	4152983.7282
119	4216489.7188	2335903.7089	4163093.2845
548	4215864.2564	2335712.2561	4163829.8959
549	4216091.8697	2335884.8099	4163503.9834
550	4216987.7170	2335615.7984	4162752.7702
551	4217242.2373	2335325.2616	4162657.2834
121	4219220.5414	2332142.1288	4162496.2173
553	4218244.8647	2333114.6264	4162883.1484
554	4218692.4316	2332505.1893	4162780.2175
555	4219770.7875	2332142.2221	4161886.4861
557	4221222.6632	2330739.7337	4161253.3055
122	4222485.8396	2329183.9773	4160863.0865
123	4225370.1840	2326326.5746	4159517.0158
559	4221986.4176	2329522.0865	4161114.7421
560	4222567.3156	2328771.1975	4160989.1190
561	4222993.1927	2328151.0344	4160887.1240
563	4224118.1244	2326489.0025	4160646.5277
564	4224677.0685	2326520.8582	4160075.5939
565	4225707.2071	2325849.1294	4159428.0538
566	4226159.2552	2324842.9878	4159532.4417

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
567	4226417.9157	2324304.5884	4159568.0552
568	4226645.5440	2323725.3379	4159660.0513
125	4226077.7619	2320601.2621	4161984.8793
126	4224944.4395	2319657.3364	4163603.3269
570	4226755.7595	2322136.8528	4160413.1254
571	4226877.1786	2321586.0101	4160602.1944
572	4226894.5405	2321222.3479	4160765.7741
573	4226372.9640	2320995.0331	4161441.5782
574	4226105.2747	2320159.7304	4162185.7021
575	4225636.3546	2320062.4910	4162684.2731
576	4225180.1019	2320312.5446	4163013.8066
577	4224829.1451	2320041.3078	4163530.5455
620	4216162.4384	2335144.4693	4163849.1691
34000	4212530.8260	2377148.6664	4144067.4463
34050	4219827.4801	2331757.5049	4162107.1072
34111	4216328.9045	2364216.7340	4147396.6905
34218	4214467.8711	2371634.5165	4145133.0499
34219	4210339.2486	2374669.0095	4147943.5038
34014	4228575.8915	2317678.5798	4161185.6999
34015	4224227.5622	2318297.2627	4165163.9453
34027	4223506.9141	2321229.6117	4164401.4887
34030	4225584.0896	2326571.9108	4159180.7221
34031	4223112.1184	2328687.9774	4160515.8783
34070	4216584.5387	2339545.9096	4161028.1204
34091	4213854.1051	2346416.9533	4160041.2956
34092	4215344.5497	2348082.0147	4157492.1092
34093	4216230.1251	2351129.9694	4154999.3738
34112	4212755.9912	2364262.4217	4151129.2590
34120	4213060.5010	2368319.8632	4148477.2001
34142	4213707.7462	2355106.9518	4155307.7204
34146	4214645.2187	2334954.9933	4165721.8445



EK.C-3 10 Parametrelî Afin Dönüşümü Modeli Sonuçları
($h=H$ Yaklaşımıyla)

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
505	4213525.2255	2370888.9649	4146411.1302
204	4213947.5393	2367437.8441	4147966.0623
518	4213982.2383	2360982.9998	4151558.3626
526	4215818.4645	2353782.6036	4153825.5140
525	4215500.7493	2355426.0873	4153239.0096
212	4215673.8274	2347525.2782	4157418.4841
534	4215409.3832	2346239.6214	4158404.8518
213	4215399.4794	2345533.0961	4158865.5499
535	4215284.3723	2345023.1082	4159240.8773
536	4215427.1874	2344681.3682	4159292.4464
537	4215252.3376	2344153.0439	4159831.0696
539	4214940.1404	2343628.6473	4160401.1602
540	4214931.8849	2342841.7766	4160866.6834
541	4215624.3530	2341789.7628	4160736.0951
2	4215741.9593	2338755.2163	4162253.6098
216	4215409.1687	2340495.6444	4161692.0766
542	4215767.7802	2341134.4871	4160967.9695
543	4215536.8017	2340792.4815	4161346.8014
544	4215350.5067	2339758.7292	4162118.2912
545	4215193.1081	2339364.2071	4162477.2934
217	4215813.7595	2338697.2269	4162213.5872
118	4216239.2017	2335114.0683	4163820.3380
120	4217649.4739	2334595.1822	4162656.5606
547	4215852.8688	2335508.5186	4163966.5397
552	4217857.1419	2333620.2071	4163025.3612
556	4220391.4268	2330954.7260	4161972.7718
558	4221609.2880	2330239.3546	4161103.1399
562	4223656.5533	2326843.2293	4160932.4754
569	4226659.4675	2323542.6000	4159751.4544
124	4226557.2719	2323023.4426	4160136.3083
578	4224814.0533	2319354.9962	4163899.4502
201	4213459.1445	2373868.1608	4144848.0142
202	4213511.8171	2371256.7870	4146250.9645
501	4213049.1646	2375560.8334	4144335.4596
502	4213291.6238	2374598.2690	4144619.3685
503	4213477.2708	2373233.4595	4145175.4471
205	4213823.2888	2365057.0029	4149419.9587
206	4213718.8824	2363187.6493	4150594.3439
207	4213860.8785	2361805.7215	4151212.0746
511	4213883.9804	2366924.3038	4148320.3748
512	4213879.9194	2366302.0670	4148660.8719
513	4213831.2492	2365685.8792	4149051.7908
514	4213803.8247	2364341.9399	4149847.3340
515	4213577.6300	2363681.2847	4150449.8009
516	4213961.2864	2362784.2745	4150577.2340
517	4214012.5537	2362447.1086	4150714.7002
208	4214194.8425	2359262.5715	4152363.1926

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
209	4214942.6581	2357572.3098	4152553.4185
519	4213990.5786	2360336.0716	4151920.1450
520	4214145.1848	2359662.5492	4152142.3744
521	4214394.8049	2358478.1290	4152578.9899
522	4214944.3614	2357143.5576	4152757.9834
523	4215297.6510	2356290.3674	4152916.4317
524	4215418.1000	2355796.8463	4153050.9018
210	4215810.9747	2352880.6500	4154313.7260
211	4215820.5216	2349159.6419	4156433.6901
527	4215693.9826	2352261.5930	4154803.5696
528	4215610.4899	2351498.2342	4155284.8957
529	4215756.2308	2350738.5452	4155547.7269
530	4215833.9512	2350058.6305	4155843.0368
531	4215854.0842	2349708.2334	4156070.8046
532	4215853.5102	2348206.8192	4156853.9202
203	4214264.7059	2368966.1528	4146784.8097
506	4213747.2571	2370290.8482	4146522.1609
507	4213889.3263	2369892.8607	4146611.7280
508	4214391.8162	2368498.2965	4146877.9678
509	4214143.1702	2367781.3848	4147571.0460
510	4214143.7019	2367588.2475	4147678.9595
533	4215585.7244	2346707.5290	4157965.5802
5065	4214247.0041	2368840.1500	4146834.4558
214	4215522.9934	2344304.7675	4159465.8456
215	4215125.5400	2342500.7540	4160887.5779
538	4215048.4136	2343895.1848	4160195.5538
546	4215466.2542	2339031.4400	4162390.0774
579	4216153.3149	2354553.4682	4152983.8007
119	4216489.8245	2335903.7680	4163093.3904
548	4215864.3697	2335712.3196	4163830.0096
549	4216091.9802	2335884.8718	4163504.0942
550	4216987.8179	2335615.8548	4162752.8712
551	4217242.3372	2335325.3175	4162657.3835
121	4219220.5932	2332142.1578	4162496.2691
553	4218244.9598	2333114.6795	4162883.2435
554	4218692.5186	2332505.2378	4162780.3045
555	4219770.8708	2332142.2685	4161886.5691
557	4221222.7038	2330739.7563	4161253.3458
122	4222485.8623	2329183.9897	4160863.1087
123	4225370.2087	2326326.5878	4159517.0395
559	4221986.4869	2329522.1249	4161114.8109
560	4222567.3538	2328771.2185	4160989.1567
561	4222993.2413	2328151.0612	4160887.1719
563	4224118.1900	2326489.0386	4160646.5924
564	4224677.1212	2326520.8870	4160075.6456
565	4225707.2405	2325849.1474	4159428.0862
566	4226159.2883	2324843.0056	4159532.4736

NN	X (m)	Y (m)	Z (m)
567	4226417.9506	2324304.6072	4159568.0890
568	4226645.5798	2323725.3572	4159660.0859
125	4226077.8082	2320601.2874	4161984.9247
126	4224944.5351	2319657.3893	4163603.4217
570	4226755.8146	2322136.8829	4160413.1793
571	4226877.2316	2321586.0390	4160602.2462
572	4226894.6094	2321222.3856	4160765.8417
573	4226373.0234	2320995.0656	4161441.6365
574	4226105.3342	2320159.7632	4162185.7607
575	4225636.4385	2320062.5373	4162684.3561
576	4225180.1836	2320312.5897	4163013.8875
577	4224829.2235	2320041.3512	4163530.6233
620	4216162.5486	2335144.5310	4163849.2796
34000	4212530.8321	2377148.6691	4144067.4512
34050	4219827.5214	2331757.5279	4162107.1485
34111	4216328.9548	2364216.7611	4147396.7393
34218	4214467.9156	2371634.5404	4145133.0929
34219	4210339.0945	2374668.9238	4147943.3503
34014	4228575.8621	2317678.5629	4161185.6696
34015	4224227.6165	2318297.2929	4165163.9994
34027	4223506.8662	2321229.5852	4164401.4411
34030	4225584.1002	2326571.9162	4159180.7318
34031	4223112.1313	2328687.9843	4160515.8907
34070	4216584.5884	2339545.9375	4161028.1703
34091	4213854.0954	2346416.9484	4160041.2868
34092	4215344.5983	2348082.0418	4157492.1578
34093	4216230.0858	2351129.9475	4154999.3346
34112	4212755.9729	2364262.4114	4151129.2406
34120	4213060.5203	2368319.8736	4148477.2187
34142	4213707.7299	2355106.9428	4155307.7043
34146	4214645.1847	2334954.9753	4165721.8122



EK.D-1 7 Parametrelî Benzerlik Dönüşümü Modelleri
Sonuçları ($h=H+N$ Yaklaşımıyla)

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
220505	4213522.3532	2370887.3782	4146408.2864
034111	4216326.2316	2364215.2691	4147394.0478
034219	4210336.4811	2374667.4666	4147940.7530
000204	4213944.7587	2367436.3066	4147963.3082
000518	4213979.5821	2360981.5216	4151555.7272
000526	4215815.9820	2353781.2255	4153823.0515
034112	4212753.3855	2364260.9688	4151126.6708
000525	4215498.2491	2355424.6997	4153236.5296
034091	4213851.8377	2346415.6695	4160039.0346
034093	4216227.7187	2351128.6336	4154996.9856
000212	4215671.4194	2347523.9299	4157416.0907
000534	4215407.0003	2346238.2830	4158402.4816
000213	4215397.1473	2345531.7852	4158863.2290
000535	4215282.0322	2345021.7909	4159238.5479
000536	4215424.8551	2344680.0559	4159290.1250
000537	4215250.0620	2344151.7616	4159828.8031
000539	4214937.8504	2343627.3533	4160398.8782
000540	4214929.6206	2342840.4958	4160864.4262
000541	4215622.0869	2341788.4845	4160733.8380
000002	4215739.7034	2338753.9391	4162251.3611
000216	4215406.9376	2340494.3819	4161689.8523
000542	4215765.5313	2341133.2185	4160965.7293
000543	4215534.5296	2340791.1972	4161344.5373
000544	4215348.2580	2339757.4548	4162116.0488
000545	4215190.8536	2339362.9275	4162475.0446
000217	4215811.5039	2338695.9504	4162211.3391
000118	4216237.0271	2335112.8346	4163818.1689
000120	4217647.2746	2334593.9446	4162654.3716
000547	4215850.6749	2335507.2716	4163964.3505
000552	4217854.9805	2333618.9909	4163023.2098
034050	4219825.3946	2331756.3435	4162105.0366
000556	4220389.2992	2330953.5441	4161970.6606
000558	4221607.1339	2330238.1659	4161101.0064
034031	4223110.0334	2328686.8365	4160513.8166
000562	4223654.4376	2326842.0722	4160930.3845
000569	4226657.3850	2323541.4793	4159749.4044
000124	4226555.1935	2323022.3224	4160134.2617
000578	4224812.0218	2319353.8823	4163897.4416
034014	4228573.9260	2317677.5299	4161183.7668
034027	4223504.9727	2321228.5432	4164399.5652
000201	4213456.2457	2373866.5639	4144845.1459
000202	4213508.9606	2371255.2098	4146248.1364
000501	4213046.2539	2375559.2297	4144332.5792
000502	4213288.7211	2374596.6699	4144616.4962
000503	4213474.3767	2373231.8642	4145172.5830
034000	4212527.9650	2377147.0890	4144064.6129
034218	4214465.0840	2371632.9857	4145130.2928

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
000205	4213820.5488	2365055.4832	4149417.2427
000206	4213716.1923	2363186.1537	4150591.6755
000207	4213858.2031	2361804.2329	4151209.4204
000511	4213881.2114	2366922.7715	4148317.6315
000512	4213877.1533	2366300.5352	4148658.1311
000513	4213828.4923	2365684.3510	4149049.0586
000514	4213801.1027	2364340.4290	4149844.6353
000515	4213574.9249	2363679.7804	4150447.1176
000516	4213958.6025	2362782.7836	4150574.5723
000517	4214009.8756	2362445.6208	4150712.0443
000208	4214192.2539	2359261.1303	4152360.6235
000209	4214940.0921	2357570.8842	4152550.8731
000519	4213987.9394	2360334.6019	4151917.5260
000520	4214142.5571	2359661.0861	4152139.7668
000521	4214392.2137	2358476.6864	4152576.4184
000522	4214941.7798	2357142.1224	4152755.4224
000523	4215295.1072	2356288.9549	4152913.9086
000524	4215415.5499	2355795.4303	4153048.3726
034142	4213705.3069	2355105.5845	4155305.2941
000210	4215808.4916	2352879.2699	4154311.2624
000211	4215818.1369	2349158.3110	4156431.3212
000527	4215691.5290	2352260.2276	4154801.1342
000528	4215608.0298	2351496.8630	4155282.4532
000529	4215753.7724	2350737.1747	4155545.2861
000530	4215831.4995	2350057.2633	4155840.6025
000531	4215851.6743	2349706.8895	4156068.4113
000532	4215851.0873	2348205.4650	4156851.5132
000203	4214261.8912	2368964.6012	4146782.0241
000506	4213744.3937	2370289.2672	4146519.3262
000507	4213886.4757	2369891.2874	4146608.9062
000508	4214388.9810	2368496.7332	4146875.1620
000509	4214140.3781	2367779.8428	4147568.2813
000510	4214140.9134	2367586.7073	4147676.1983
000533	4215583.3320	2346706.1874	4157963.2015
005065	4214244.1652	2368838.5842	4146831.6462
034120	4213057.8074	2368318.3693	4148474.5287
000214	4215520.7077	2344303.4819	4159463.5702
000215	4215123.2975	2342499.4865	4160885.3427
000538	4215046.1542	2343893.9096	4160193.3025
034092	4215342.2198	2348080.7088	4157489.7928
000546	4215464.0047	2339030.1648	4162387.8342
000579	4216150.7659	2354552.0562	4152981.2744
034070	4216582.3573	2339544.6825	4161025.9495
000119	4216487.6116	2335902.5159	4163091.1849
000548	4215862.1646	2335711.0667	4163827.8095
000549	4216089.7703	2335883.6182	4163501.8903
000550	4216985.6062	2335614.6068	4162750.6685

NN	X (m)	Y (m)	Z (m)
000551	4217240.1276	2335324.0721	4162655.1834
000121	4219218.4594	2332140.9653	4162494.1486
000553	4218242.7808	2333113.4554	4162881.0757
000554	4218690.3517	2332504.0230	4162778.1497
000555	4219768.6947	2332141.0562	4161884.4088
000557	4221220.5720	2330738.5780	4161251.2331
000122	4222483.7562	2329182.8332	4160861.0248
000123	4225368.1039	2326325.4494	4159514.9649
000559	4221984.3360	2329520.9396	4161112.6812
000560	4222565.2387	2328770.0568	4160987.0639
000561	4222991.1202	2328149.8982	4160885.0743
000563	4224116.0639	2326487.8785	4160644.4926
000564	4224674.9971	2326519.7325	4160073.5497
000565	4225705.1301	2325848.0076	4159426.0069
000566	4226157.1900	2324841.8744	4159530.4072
000567	4226415.8564	2324303.4793	4159566.0271
000568	4226643.4921	2323724.2338	4159658.0309
034030	4225582.0007	2326570.7829	4159178.6633
034146	4214643.1674	2334953.8185	4165719.7925
000125	4226075.7834	2320600.1896	4161982.9278
000126	4224942.5005	2319656.2752	4163601.4107
000570	4226753.7372	2322135.7632	4160411.1338
000571	4226875.1651	2321584.9255	4160600.2115
000572	4226892.5338	2321221.2664	4160763.7979
000573	4226370.9717	2320993.9556	4161439.6144
000574	4226103.3043	2320158.6618	4162183.7586
000575	4225634.3946	2320061.4241	4162682.3384
000576	4225178.1454	2320311.4768	4163011.8742
000577	4224827.2007	2320040.2437	4163528.6238
034015	4224225.6646	2318296.2179	4165162.0666
000620	4216160.3525	2335143.2845	4163847.0892



EK.D-2 9 Parametrelı Helıert Benzerlık Dönuşümü

Modeli Sonuçları ($h=H+N$ Yaklaşımıyla)

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
505	4213522.3595	2370887.3536	4146408.2935
204	4213944.7640	2367436.2856	4147963.3143
518	4213979.5832	2360981.5115	4151555.7315
526	4215815.9836	2353781.2175	4153823.0542
525	4215498.2510	2355424.6907	4153236.5326
212	4215671.4160	2347523.9333	4157416.0920
534	4215406.9953	2346238.2901	4158402.4824
213	4215397.1420	2345531.7937	4158863.2294
535	4215282.0261	2345021.8009	4159238.5482
536	4215424.8493	2344680.0657	4159290.1253
537	4215250.0555	2344151.7734	4159828.8029
539	4214937.8426	2343627.3678	4160398.8778
540	4214929.6123	2342840.5116	4160864.4255
541	4215622.0797	2341788.4982	4160733.8374
2	4215739.6942	2338753.9571	4162251.3601
216	4215406.9289	2340494.3990	4161689.8512
542	4215765.5241	2341133.2325	4160965.7286
543	4215534.5213	2340791.2130	4161344.5366
544	4215348.2485	2339757.4735	4162116.0478
545	4215190.8433	2339362.9477	4162475.0435
217	4215811.4948	2338695.9681	4162211.3381
118	4216237.0169	2335112.8561	4163818.1670
120	4217647.2678	2334593.9587	4162654.3703
547	4215850.6638	2335507.2946	4163964.3487
552	4217854.9737	2333619.0057	4163023.2081
556	4220389.2977	2330953.5488	4161970.6592
558	4221607.1351	2330238.1647	4161101.0055
562	4223654.4422	2326842.0651	4160930.3836
569	4226657.3957	2323541.4606	4159749.4039
124	4226555.2034	2323022.3052	4160134.2610
578	4224812.0242	2319353.8813	4163897.4395
201	4213456.2541	2373866.5347	4144845.1535
202	4213508.9672	2371255.1848	4146248.1434
501	4213046.2624	2375559.2000	4144332.5870
502	4213288.7295	2374596.6404	4144616.5039
503	4213474.3846	2373231.8360	4145172.5905
205	4213820.5522	2365055.4670	4149417.2481
206	4213716.1941	2363186.1414	4150591.6802
207	4213858.2043	2361804.2221	4151209.4249
511	4213881.2162	2366922.7518	4148317.6374
512	4213877.1576	2366300.5165	4148658.1369
513	4213828.4961	2365684.3337	4149049.0643
514	4213801.1055	2364340.4142	4149844.6405
515	4213574.9267	2363679.7680	4150447.1225
516	4213958.6047	2362782.7706	4150574.5771
517	4214009.8777	2362445.6081	4150712.0489
208	4214192.2546	2359261.1221	4152360.6271

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
209	4214940.0937	2357570.8746	4152550.8766
519	4213987.9401	2360334.5929	4151917.5301
520	4214142.5578	2359661.0774	4152139.7708
521	4214392.2143	2358476.6783	4152576.4220
522	4214941.7810	2357142.1134	4152755.4260
523	4215295.1089	2356288.9455	4152913.9119
524	4215415.5515	2355795.4210	4153048.3760
210	4215808.4925	2352879.2634	4154311.2650
211	4215818.1354	2349158.3110	4156431.3226
527	4215691.5292	2352260.2229	4154801.1365
528	4215608.0291	2351496.8600	4155282.4554
529	4215753.7715	2350737.1722	4155545.2883
530	4215831.4984	2350057.2614	4155840.6044
531	4215851.6732	2349706.8882	4156068.4130
532	4215851.0849	2348205.4662	4156851.5147
203	4214261.8985	2368964.5758	4146782.0307
506	4213744.4002	2370289.2424	4146519.3332
507	4213886.4824	2369891.2624	4146608.9131
508	4214388.9881	2368496.7078	4146875.1688
509	4214140.3841	2367779.8201	4147568.2876
510	4214140.9194	2367586.6850	4147676.2046
533	4215583.3279	2346706.1927	4157963.2025
5065	4214244.1721	2368838.5590	4146831.6529
214	4215520.7021	2344303.4919	4159463.5701
215	4215123.2896	2342499.5019	4160885.3419
538	4215046.1471	2343893.9231	4160193.3020
546	4215463.9949	2339030.1839	4162387.8331
579	4216150.7686	2354552.0448	4152981.2778
119	4216487.6024	2335902.5345	4163091.1834
548	4215862.1536	2335711.0892	4163827.8078
549	4216089.7600	2335883.6391	4163501.8887
550	4216985.5983	2335614.6230	4162750.6672
551	4217240.1202	2335324.0874	4162655.1822
121	4219218.4555	2332140.9748	4162494.1470
553	4218242.7746	2333113.4686	4162881.0742
554	4218690.3463	2332504.0347	4162778.1482
555	4219768.6921	2332141.0624	4161884.4077
557	4221220.5726	2330738.5784	4161251.2321
122	4222483.7594	2329182.8290	4160861.0238
123	4225368.1130	2326325.4334	4159514.9644
559	4221984.3377	2329520.9375	4161112.6804
560	4222565.2417	2328770.0527	4160987.0629
561	4222991.1239	2328149.8927	4160885.0734
563	4224116.0694	2326487.8693	4160644.4919
564	4224675.0042	2326519.7201	4160073.5492
565	4225705.1397	2325847.9904	4159426.0065
566	4226157.2002	2324841.8563	4159530.4068

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
<i>567</i>	4226415.8669	2324303.4607	4159566.0267
<i>568</i>	4226643.5028	2323724.2148	4159658.0304
<i>125</i>	4226075.7903	2320600.1793	4161982.9262
<i>126</i>	4224942.5034	2319656.2729	4163601.4087
<i>570</i>	4226753.7470	2322135.7463	4160411.1330
<i>571</i>	4226875.1749	2321584.9089	4160600.2107
<i>572</i>	4226892.5432	2321221.2502	4160763.7971
<i>573</i>	4226370.9797	2320993.9428	4161439.6132
<i>574</i>	4226103.3109	2320158.6521	4162183.7570
<i>575</i>	4225634.3997	2320061.4171	4162682.3368
<i>576</i>	4225178.1496	2320311.4720	4163011.8724
<i>577</i>	4224827.2037	2320040.2415	4163528.6217
<i>620</i>	4216160.3419	2335143.3063	4163847.0874
<i>34000</i>	4212527.9735	2377147.0599	4144064.6205
<i>34050</i>	4219825.3922	2331756.3501	4162105.0352
<i>34111</i>	4216326.2414	2364215.2400	4147394.0538
<i>34218</i>	4214465.0938	2371632.9546	4145130.3000
<i>34219</i>	4210336.4831	2374667.4550	4147940.7576
<i>34014</i>	4228573.9383	2317677.5104	4161183.7651
<i>34015</i>	4224225.6649	2318296.2223	4165162.0636
<i>34027</i>	4223504.9737	2321228.5470	4164399.5619
<i>34030</i>	4225582.0107	2326570.7653	4159178.6629
<i>34031</i>	4223110.0380	2328686.8296	4160513.8157
<i>34070</i>	4216582.3513	2339544.6945	4161025.9487
<i>34091</i>	4213851.8292	2346415.6856	4160039.0340
<i>34092</i>	4215342.2162	2348080.7133	4157489.7938
<i>34093</i>	4216227.7201	2351128.6280	4154996.9873
<i>34112</i>	4212753.3862	2364260.9606	4151126.6747
<i>34120</i>	4213057.8114	2368318.3522	4148474.5341
<i>34142</i>	4213705.3039	2355105.5866	4155305.2958
<i>34146</i>	4214643.1535	2334953.8500	4165719.7889



EK.D-3 10 Parametrelı Afın Dönüşümü Modeli Sonuçları
($h=H+N$ Yaklaşımıyla)

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
505	4213522.4783	2370887.4189	4146408.4106
204	4213944.8526	2367436.3342	4147963.4015
518	4213979.6765	2360981.5631	4151555.8239
526	4215816.0135	2353781.2339	4153823.0837
525	4215498.2715	2355424.7018	4153236.5526
212	4215671.5001	2347523.9801	4157416.1758
534	4215407.0851	2346238.3401	4158402.5720
213	4215397.1955	2345531.8236	4158863.2830
535	4215282.1000	2345021.8422	4159238.6222
536	4215424.9195	2344680.1049	4159290.1956
537	4215250.0829	2344151.7890	4159828.8307
539	4214937.9008	2343627.4005	4160398.9364
540	4214929.6608	2342840.5391	4160864.4746
541	4215622.1381	2341788.5310	4160733.8961
2	4215739.8014	2338754.0171	4162251.4675
216	4215406.9825	2340494.4292	4161689.9053
542	4215765.5758	2341133.2616	4160965.7807
543	4215534.6075	2340791.2613	4161344.6231
544	4215348.3356	2339757.5223	4162116.1353
545	4215190.9471	2339363.0059	4162475.1477
217	4215811.6014	2338696.0277	4162211.4450
118	4216237.1066	2335112.9065	4163818.2572
120	4217647.3662	2334594.0137	4162654.4688
547	4215850.7722	2335507.3554	4163964.4576
552	4217855.0499	2333619.0483	4163023.2845
556	4220389.3461	2330953.5758	4161970.7075
558	4221607.2015	2330238.2015	4161101.0714
562	4223654.5000	2326842.0970	4160930.4408
569	4226657.4302	2323541.4792	4159749.4373
124	4226555.2463	2323022.3285	4160134.3027
578	4224812.1268	2319353.9381	4163897.5414
201	4213456.3406	2373866.5820	4144845.2384
202	4213509.0631	2371255.2373	4146248.2377
501	4213046.3344	2375559.2392	4144332.6574
502	4213288.8084	2374596.6834	4144616.5812
503	4213474.4789	2373231.8876	4145172.6832
205	4213820.6503	2365055.5211	4149417.3451
206	4213716.2820	2363186.1899	4150591.7672
207	4213858.3026	2361804.2764	4151209.5223
511	4213881.3047	2366922.8004	4148317.7247
512	4213877.2558	2366300.5705	4148658.2338
513	4213828.5983	2365684.3900	4149049.1652
514	4213801.2004	2364340.4664	4149844.7342
515	4213575.0223	2363679.8207	4150447.2171
516	4213958.6899	2362782.8175	4150574.6613
517	4214009.9629	2362445.6550	4150712.1332
208	4214192.3110	2359261.1532	4152360.6829

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
209	4214940.1474	2357570.9041	4152550.9297
519	4213988.0292	2360334.6422	4151917.6184
520	4214142.6461	2359661.1262	4152139.8583
521	4214392.2853	2358476.7175	4152576.4923
522	4214941.8589	2357142.1564	4152755.5031
523	4215295.1595	2356288.9733	4152913.9619
524	4215415.6160	2355795.4565	4153048.4398
210	4215808.5413	2352879.2903	4154311.3133
211	4215818.1605	2349158.3249	4156431.3476
527	4215691.5632	2352260.2417	4154801.1701
528	4215608.0865	2351496.8918	4155282.5124
529	4215753.8398	2350737.2100	4155545.3561
530	4215831.5721	2350057.3023	4155840.6778
531	4215851.7118	2349706.9097	4156068.4513
532	4215851.1668	2348205.5117	4156851.5963
203	4214261.9843	2368964.6227	4146782.1150
506	4213744.5179	2370289.3070	4146519.4493
507	4213886.5927	2369891.3229	4146609.0218
508	4214389.1016	2368496.7701	4146875.2807
509	4214140.4736	2367779.8692	4147568.3757
510	4214141.0091	2367586.7341	4147676.2929
533	4215583.4144	2346706.2409	4157963.2888
5065	4214244.2852	2368838.6210	4146831.7643
214	4215520.7314	2344303.5085	4159463.5998
215	4215123.3195	2342499.5190	4160885.3723
538	4215046.1672	2343893.9347	4160193.3226
546	4215464.0953	2339030.2402	4162387.9339
579	4216150.8433	2354552.0859	4152981.3516
119	4216487.7099	2335902.5947	4163091.2912
548	4215862.2689	2335711.1538	4163827.9235
549	4216089.8724	2335883.7021	4163502.0014
550	4216985.7009	2335614.6804	4162750.7700
551	4217240.2219	2335324.1442	4162655.2840
121	4219218.5082	2332141.0042	4162494.1998
553	4218242.8713	2333113.5227	4162881.1710
554	4218690.4348	2332504.0841	4162778.2367
555	4219768.7767	2332141.1095	4161884.4921
557	4221220.6139	2330738.6013	4161251.2731
122	4222483.7824	2329182.8417	4160861.0464
123	4225368.1381	2326325.4469	4159514.9886
559	4221984.4083	2329520.9765	4161112.7504
560	4222565.2806	2328770.0742	4160987.1013
561	4222991.1733	2328149.9200	4160885.1222
563	4224116.1362	2326487.9060	4160644.5578
564	4224675.0578	2326519.7494	4160073.6018
565	4225705.1737	2325848.0087	4159426.0394
566	4226157.2338	2324841.8745	4159530.4393

<i>NN</i>	<i>X (m)</i>	<i>Y (m)</i>	<i>Z (m)</i>
567	4226415.9024	2324303.4799	4159566.0611
568	4226643.5392	2323724.2344	4159658.0656
125	4226075.8374	2320600.2051	4161982.9724
126	4224942.6007	2319656.3267	4163601.5051
570	4226753.8030	2322135.7769	4160411.1879
571	4226875.2288	2321584.9382	4160600.2634
572	4226892.6133	2321221.2885	4160763.8658
573	4226371.0401	2320993.9759	4161439.6726
574	4226103.3715	2320158.6853	4162183.8167
575	4225634.4851	2320061.4642	4162682.4213
576	4225178.2326	2320311.5179	4163011.9547
577	4224827.2835	2320040.2856	4163528.7008
620	4216160.4540	2335143.3691	4163847.1998
34000	4212527.9797	2377147.0626	4144064.6254
34050	4219825.4342	2331756.3736	4162105.0772
34111	4216326.2926	2364215.2676	4147394.1035
34218	4214465.1391	2371632.9789	4145130.3438
34219	4210336.3264	2374667.3679	4147940.6014
34014	4228573.9084	2317677.4933	4161183.7343
34015	4224225.7202	2318296.2530	4165162.1186
34027	4223504.9250	2321228.5201	4164399.5135
34030	4225582.0215	2326570.7708	4159178.6728
34031	4223110.0511	2328686.8366	4160513.8283
34070	4216582.4018	2339544.7229	4161025.9995
34091	4213851.8194	2346415.6807	4160039.0250
34092	4215342.2657	2348080.7409	4157489.8433
34093	4216227.6802	2351128.6057	4154996.9474
34112	4212753.3675	2364260.9502	4151126.6559
34120	4213057.8310	2368318.3627	4148474.5531
34142	4213705.2873	2355105.5775	4155305.2794
34146	4214643.1189	2334953.8317	4165719.7560

EK.E-1 7 Parametrelı Benzerlik Dönüşümleri Sonucu
Ortaya Çıkan Çakıştırma Artıkları

$h=H$ Varsayımıyla Hesaplanan Yerel Sistem Koordinatlarıyla Yapılan Dönüşüm

<i>NN</i>	v_X (cm)	v_Y (cm)	v_Z (cm)
34014	-7.50	1.31	-11.82
34015	-1.03	-7.26	-5.87
34027	-2.61	-5.69	-0.39
34030	11.39	1.10	13.72
34031	8.46	0.69	8.16
34070	-0.89	2.66	-3.13
34091	5.78	9.90	7.03
34092	8.04	14.11	11.26
34093	-15.13	3.93	-12.17
34112	3.60	-4.59	2.56
34120	9.57	-8.97	5.38
34142	-21.04	-5.81	-17.16
34146	1.36	-1.39	1.42

$$m_{0_x} = \pm 9.725 \text{ cm}$$

$$m_{0_y} = \pm 6.781 \text{ cm}$$

$$m_{0_z} = \pm 9.512 \text{ cm}$$

$h=H+N$ Yaklaşımıyla Hesaplanan Yerel Sistem Koordinatlarıyla Yapılan Dönüşüm

<i>NN</i>	v_X (cm)	v_Y (cm)	v_Z (cm)
34014	-7.90	1.11	-11.38
34015	-1.16	-7.39	-6.26
34027	-2.77	-6.02	-0.42
34030	11.53	1.41	13.97
34031	8.76	0.85	8.54
34070	-0.63	2.95	-2.95
34091	5.63	9.95	6.94
34092	8.62	14.62	11.72
34093	-13.97	4.54	-11.06
34112	2.95	-4.98	1.82
34120	9.06	-9.53	4.93
34142	-20.89	-5.65	-17.11
34146	0.76	-1.85	1.25

$$m_{0_x} = \pm 9.620 \text{ cm}$$

$$m_{0_y} = \pm 6.999 \text{ cm}$$

$$m_{0_z} = \pm 9.467 \text{ cm}$$



***EK.E-2 9 Parametrelî Benzerlik Dönüşümü Sonucu Ortaya
Çıkan Çakıştırma Artıkları***

$h=H$ Varsayımıyla Hesaplanan Yerel Sistem Koordinatlarıyla Yapılan Dönüşüm

<i>NN</i>	v_X (cm)	v_Y (cm)	v_Z (cm)
34014	-8.66	3.42	-10.79
34015	-1.02	-7.68	-5.64
34027	-2.71	-6.17	-0.07
34030	10.34	2.92	13.78
34031	7.95	1.25	8.37
34070	-0.28	1.43	-3.04
34091	6.59	8.37	7.14
34092	8.33	13.72	11.17
34093	-15.21	4.46	-12.39
34112	3.58	-3.67	2.09
34120	9.20	-7.43	4.88
34142	-20.73	-5.98	-17.44
34146	2.63	-4.64	1.94

$$m_{0_x} = \pm 9.711 \text{ cm}$$

$$m_{0_y} = \pm 6.645 \text{ cm}$$

$$m_{0_z} = \pm 9.499 \text{ cm}$$

$h=H+N$ Yaklaşımıyla Hesaplanan Yerel Sistem Koordinatlarıyla Yapılan Dönüşüm

<i>NN</i>	v_X (cm)	v_Y (cm)	v_Z (cm)
34014	-9.29	3.01	-11.46
34015	-0.14	-7.18	-4.78
34027	-2.13	-5.99	0.60
34030	9.91	2.76	13.35
34031	7.81	1.25	8.24
34070	-0.41	1.52	-3.27
34091	5.97	8.03	6.46
34092	8.35	13.79	11.08
34093	-14.60	4.79	-11.71
34112	3.39	-3.84	1.99
34120	9.60	-7.27	5.29
34142	-20.88	-6.03	-17.62
34146	2.43	-4.83	1.83

$$m_{0_x} = \pm 9.635 \text{ cm}$$

$$m_{0_y} = \pm 6.537 \text{ cm}$$

$$m_{0_z} = \pm 9.392 \text{ cm}$$



EK.E-3 10 Parametrelı Afın Dönüşümü Sonucu Ortaya

Çıkan Çakıştırma Artıkları

$h=H$ Varsayımıyla Hesaplanan Yerel Sistem Koordinatlarıyla Yapılan Dönüşüm

<i>NN</i>	v_X (cm)	v_Y (cm)	v_Z (cm)
34014	-5.71	5.11	-7.76
34015	-6.45	-10.69	-11.04
34027	2.08	-3.52	4.69
34030	9.28	2.38	12.82
34031	6.67	0.57	7.13
34070	-5.24	-1.35	-8.03
34091	7.56	8.86	8.02
34092	3.47	11.02	6.32
34093	-11.28	6.65	-8.46
34112	5.41	-2.64	3.94
34120	7.27	-8.46	3.03
34142	-19.09	-5.08	-15.83
34146	6.03	-2.83	5.18

$$m_{0_x} = \pm 8.737 \text{ cm}$$

$$m_{0_y} = \pm 6.564 \text{ cm}$$

$$m_{0_z} = \pm 8.952 \text{ cm}$$

$h=H+N$ Yaklaşımıyla Hesaplanan Yerel Sistem Koordinatlarıyla Yapılan Dönüşüm

<i>NN</i>	v_X (cm)	v_Y (cm)	v_Z (cm)
34014	-6.30	4.73	-8.38
34015	-5.66	-10.25	-10.27
34027	2.75	-3.29	5.44
34030	8.83	2.22	12.37
34031	6.51	0.55	6.99
34070	-5.46	-1.32	-8.34
34091	6.96	8.53	7.36
34092	3.41	11.03	6.14
34093	-10.60	7.02	-7.72
34112	5.26	-2.79	3.87
34120	7.63	-8.31	3.40
34142	-19.21	-5.11	-15.98
34146	5.89	-3.00	5.13

$$m_{0_x} = \pm 8.619 \text{ cm}$$

$$m_{0_y} = \pm 6.461 \text{ cm}$$

$$m_{0_z} = \pm 8.834 \text{ cm}$$

***EK.F-1 $h=H$ Yaklaşımıyla Hesaplanan Kenarların
Karşılaştırması***

NN	BURSA	9HELM	AFIN	2DHELM	ÖLÇÜL	FARKLAR (cm) (Model-Ölçülen)			
201 - 503	714,362	714,361	714,361	714,359	714,371	-0,9	-1,0	-1,0	-1,2
202 - 505	400,757	400,757	400,757	400,755	400,767	-1,0	-1,0	-1,0	-1,2
203 - 507	1014,61	1014,611	1014,61	1014,6	1014,598	1,2	1,3	1,2	0,2
505 - 506	647,602	647,602	647,602	647,598	647,625	-2,3	-2,3	-2,3	-2,7
507 - 506	431,963	431,963	431,963	431,961	431,964	-0,1	-0,1	-0,1	-0,3
509 - 508	1027,467	1027,465	1027,465	1027,458	1027,469	-0,2	-0,4	-0,4	-1,1
509 - 510	221,248	221,248	221,248	221,247	221,248	0,0	0,0	0,0	-0,1
204 - 510	378,857	378,857	378,857	378,854	378,855	0,2	0,2	0,2	-0,1
512 - 511	709,267	709,266	709,266	709,263	709,274	-0,7	-0,8	-0,8	-1,1
513 - 512	731,365	731,364	731,364	731,358	731,35	1,5	1,4	1,4	0,8
205 - 513	728,789	728,788	728,788	728,785	728,789	0,0	-0,1	-0,1	-0,4
205 - 514	833,306	833,304	833,304	833,297	833,311	-0,5	-0,7	-0,7	-1,4
515 - 514	922,317	922,315	922,315	922,312	922,323	-0,6	-0,8	-0,8	-1,1
515 - 206	533,403	533,403	533,403	533,399	533,396	0,7	0,7	0,7	0,3
516 - 206	470,936	470,937	470,937	470,933	470,947	-1,1	-1,0	-1,0	-1,4
516 - 517	367,718	367,718	367,718	367,714	367,724	-0,6	-0,6	-0,6	-1,0
207 - 517	825,643	825,641	825,641	825,638	825,647	-0,4	-0,6	-0,6	-0,9
207 - 518	900,879	900,879	900,879	900,872	900,877	0,2	0,2	0,2	-0,5
519 - 518	741,293	741,292	741,291	741,287	741,291	0,2	0,1	0,0	-0,4
520 - 208	458,646	458,646	458,646	458,641	458,639	0,7	0,7	0,7	0,2
525 - 579	1117,672	1117,674	1117,674	1117,662	1117,688	-1,6	-1,4	-1,4	-2,6
524 - 523	525,329	525,329	525,329	525,324	525,335	-0,6	-0,6	-0,6	-1,1
522 - 209	474,512	474,512	474,512	474,51	474,516	-0,4	-0,4	-0,4	-0,6
522 - 523	936,725	936,726	936,726	936,717	936,719	0,6	0,7	0,7	-0,2
530 - 529	745,368	745,367	745,367	745,362	745,371	-0,3	-0,4	-0,4	-0,9
528 - 529	816,946	816,946	816,946	816,941	816,936	1,0	1,0	1,0	0,5
534 - 533	665,625	665,624	665,624	665,618	665,61	1,5	1,4	1,4	0,8
533 - 212	987,891	987,889	987,889	987,884	987,884	0,7	0,5	0,5	0,0
532 - 212	903,122	903,12	903,12	903,114	903,111	1,1	0,9	0,9	0,3
536 - 535	373,971	373,971	373,971	373,967	373,956	1,5	1,5	1,5	1,1
541 - 215	881,147	881,149	881,149	881,14	881,151	-0,4	-0,2	-0,2	-1,1
544 - 545	556,048	556,047	556,047	556,041	556,042	0,6	0,5	0,5	-0,1
547 - 548	245,484	245,483	245,483	245,482	245,473	1,1	1,0	1,0	0,9
549 - 119	572,165	572,165	572,165	572,165	572,148	1,7	1,7	1,7	1,7
551 - 120	836,052	836,053	836,053	836,048	836,06	-0,8	-0,7	-0,7	-1,2
552 - 553	652,503	652,504	652,504	652,502	652,515	-1,2	-1,1	-1,1	-1,3
554 - 121	700,403	700,405	700,405	700,403	700,413	-1,0	-0,8	-0,8	-1,0
557 - 558	649,492	649,493	649,493	649,491	649,483	0,9	1,0	1,0	0,8
558 - 559	810,524	810,525	810,525	810,522	810,507	1,7	1,8	1,8	1,5
122 - 559	652,235	652,237	652,238	652,236	652,23	0,5	0,7	0,8	0,6
560 - 561	759,188	759,19	759,189	759,186	759,17	1,8	2,0	1,9	1,6
563 - 562	648,272	648,274	648,274	648,27	648,282	-1,0	-0,8	-0,8	-1,2
566 - 567	598,44	598,441	598,44	598,442	598,444	-0,4	-0,3	-0,4	-0,2
568 - 569	204,804	204,804	204,804	204,803	204,818	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5
570 - 571	594,972	594,971	594,971	594,971	594,966	0,6	0,5	0,5	0,5
573 - 572	883,396	883,395	883,395	883,396	883,391	0,5	0,4	0,4	0,5
125 - 573	732,933	732,932	732,932	732,931	732,903	3,0	2,9	2,9	2,8
575 - 576	615,918	615,92	615,92	615,917	615,936	-1,8	-1,6	-1,6	-1,9
576 - 577	681,035	681,034	681,034	681,034	681,009	2,6	2,5	2,5	2,5
577 - 126	407,221	407,221	407,221	407,221	407,231	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
578 - 126	442,887	442,886	442,886	442,889	442,875	1,2	1,1	1,1	1,4
210 - 527	797,933	797,931	797,931	797,924	797,926	0,7	0,5	0,5	-0,2
210 - 093	1924,708	1924,707	1924,707	1924,691	1924,709	-0,1	-0,2	-0,2	-1,8

***EK.F-2 $h=H+N$ Yaklaşımıyla Hesaplanan Kenarların
Karşılaştırması***