

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**JEODEZİK DÖNÜŞÜMLERİN İNCELENMESİ VE YAZILIMLARININ  
GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Müh. Berkant KONAKOĞLU**

**MAYIS 2014  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**JEODEZİK DÖNÜŞÜMLERİN İNCELENMESİ VE YAZILIMLARININ  
GELİŞTİRİLMESİ**

**Harita Müh. Berkant KONAKOĞLU**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“HARİTA YÜKSEK MÜHENDİSİ”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06.05.2014**  
**Tezin Savunma Tarihi : 22.05.2014**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ertan GÖKALP**

**Trabzon 2014**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**  
**Harita Mühendisliği Anabilim Dalında**  
**Berkant KONAKOĞLU tarafından hazırlanan**

**JEODEZİK DÖNÜŞÜMLERİN İNCELENMESİ VE YAZILIMLARININ  
GELİŞTİRİLMESİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 06 / 05 / 2014 gün ve 1552 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Ertan GÖKALP .....**

**Üye : Prof. Dr. Kemal ŞEN .....**

**Üye : Prof. Dr. Cüneyt ŞEN .....**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“JEODEZİK DÖNÜŞÜMLERİN İNCELENMESİ VE YAZILIMLARININ GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez süreci boyunca bilgi birikimini, tecrübesini ve sabrını benden esirgemeyen, fikirleri ile vizyonumu her geçen gün geliştirmeyi hedefleyen çok değerli tez danışmanım Prof. Dr. Ertan GÖKALP’ e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez döneminde zaman zaman desteklerini gördüğüm değerli hocalarım Arş. Gör. Alper AKAR, Arş. Gör. Mustafa ULUKAVAK, Arş. Gör. Volkan YILMAZ ve Arş. Gör. Fatih KADI’ ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez dönemi boyunca manevi destekleriyle her zaman yanımda olan mesai arkadaşlarım Arş. Gör. Selma ZENGİN KAZANCI ve Arş. Gör. Sibel CANAZ SEVGEN ve değerli ağabeyim Muhammet GÜMRÜKÇÜOĞLU’ na teşekkürü borç bilirim.

Son olarak bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Berkant KONAKOĞLU

Trabzon 2014

## TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “JEODEZİK DÖNÜŞÜMLERİN İNCELENMESİ VE YAZILIMLARININ GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı bu çalıŐmayı baŐtan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ertan GÖKALP’ in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarı yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 06.05.2014

Berkant KONAKOğLU

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No.

ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XVII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XX
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Problemin Tanımı .....	2
1.3. Çalışmanın Amacı .....	2
1.4. Metodoloji.....	3
1.5. Koordinat Sistemleri.....	3
1.5.1. Kartezyen Koordinat Sistemi.....	3
1.5.2. Coğrafi Koordinat Sistemi.....	4
1.5.2.1 Kartezyen ile Coğrafi Koordinat Sistemleri Arasındaki İlişki .....	5
1.5.3. Projeksiyon Koordinat Sistemi .....	8
1.5.4. Universal Transversal Mercator (UTM) Projeksiyon Sistemi.....	9
1.5.5. ITRF Koordinat Sistemi .....	11
1.6. Jeoid ve Elipsoit.....	12
1.6.1. Jeoid.....	12
1.6.2. Dönel Elipsoit .....	13
1.6.2.1. Jeoid ile Elipsoit Arasındaki İlişki .....	15
1.6.3. Datum ve Elipsoit Çeşitleri.....	15
1.6.3.1. ED50 .....	16
1.6.3.2. WGS84 .....	17

1.6.3.3.	GRS80 Elipsoidi .....	17
1.6.3.4.	Hayford Elipsoidi.....	17
1.7.	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA99).....	17
1.8.	Dönüşüm Yöntemleri.....	20
1.8.1.	İki Boyutlu Benzerlik Dönüşümü .....	20
1.8.2.	İki Boyutlu Afin Dönüşümü .....	29
1.8.3.	İki Boyutlu Projektif Dönüşüm .....	32
1.8.4.	İki Boyutlu Polinom Dönüşümü.....	34
1.8.5.	Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümü.....	36
1.8.6.	Coğrafi Koordinatlardan Sağa Yukarı Değerlerin Hesaplanması .....	44
1.8.7.	Sağa Yukarı Değerlerden Coğrafi Koordinatlara Dönüşüm.....	46
1.8.8.	TUTGA Noktalarının Hız Kestirimi.....	47
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	50
2.1.	Yazılım .....	50
2.2.	Uygulama Programlarının Tanıtılması .....	51
2.2.1.	İki Boyutlu Koordinat Dönüşümleri.....	52
2.2.2.	Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümleri.....	59
2.2.3.	TUTGA.....	61
2.2.4.	Elipsoit Yüksekliği ile Ortometrik Yükseklik Arası Dönüşüm .....	64
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER .....	69
3.1.	İki Boyutlu Koordinat Dönüşümleri.....	69
3.2.	Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümleri.....	84
3.3.	Elipsoit Yüksekliği ile Ortometrik Yükseklik Arasında Dönüşüm .....	85
3.3.	TUTGA.....	86
4.	SONUÇ.....	88
5.	KAYNAKLAR .....	90
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

JEODEZİK DÖNÜŞÜMLERİN İNCELENMESİ VE YAZILIMLARININ  
GELİŞTİRİLMESİ

Berkant KONAKOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ertan GÖKALP  
2014, 91 Sayfa

Günümüzde ülkesel ve bölgesel anlamda farklı referans sistemleri kullanılması ile birlikte farklı koordinat sistemlerine ihtiyaç duyulmasına neden olmuştur. Farklı koordinat sistemlerine dayalı yapılan mühendislik çalışmalarının birbirleri ile ilişkilendirilmesi gerekir. GPS ile elde edilen konum bilgileri ülke sistemine dönüştürülerek yersel ölçü ile elde edilen konum bilgileriyle bütünleştirilebilir. Farklı koordinat sistemleri arasında dönüşüm yapmak için literatürde geometrik anlamda farklı birçok dönüşüm yöntemleri yer almaktadır. Dönüşüm hesabı, iki koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi tanımlayan parametreler hesaplanarak gerçekleştirilir. Dönüşüm parametreleri her iki sistemde koordinatları bilinen ortak noktaları ölçü olarak kullanarak hesaplanır. Tez kapsamında mühendislik uygulamalarında sıkça kullanılan dönüşüm yöntemleri irdelenmiştir. İncelenen dönüşüm modelleri; iki boyutlu koordinat dönüşüm yöntemleri, üç boyutlu koordinat dönüşüm yöntemleri, kartezyen ve coğrafi koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm, dilim dönüşümleri, coğrafi koordinat sistemi ile projeksiyon sistemi arasında dönüşüm, epok kaydırma işlemi, koordinat ve hızları bilinen noktalardan başka bir noktanın hızlarının hesabı, elipsoit yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere dönüşüm. Yapılan literatür araştırmasında bazı dönüşüm modelleri kullanan paket programların mevcut olduğu görülmüştür. Fakat var olan bazı paket programlarda dönüşüm modellerinin kapsamlı incelenmediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak mühendislik çalışmalarında kolay kullanıma sahip uygulama Matlab GUI(Guide User Interface) aracı ile geliştirilmiştir. Geliştirilen program, mühendislik uygulamalarında kullanılan Netcad yazılımı ile karşılaştırılmış ve programın kapasitesi test edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Koordinat Dönüşümü, Matlab, Dönüşüm, Epok



Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF GEODETIC TRANSFORMATION METHODS AND  
DEVELOPING THEIR SOFTWARES

Berkant KONAKOĞLU

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geomatics Engineering Graduate Programme  
Supervisor: Prof. Dr. Ertan GÖKALP  
2014, 91 Pages

Recently, usage of different reference systems in various national and regional applications have led the ones need for different coordinat systems. Engineering applications depend on different coordinate systems need to be related to each other. GPS measurements are transformed into the national system and then can be integrated into the position data obtained by terrestrial measurements. In the literature, there are various geometric transformation methods to be able to transform among different coordinate systems. The transformation can be applied by defining the parameters which specify the relation between the coordinate systems. Transformation parameters are computed by getting benefit from the common points whose positions are known in both systems. Within the scope of this thesis, commonly used transformation methods are examined. 2-3 dimensional coordinate transformation methods, transformation between cartesian and geographic coordinate systems, zone transformations, transformation between geographic and projection coordinate systems, epoch shifts, calculation of velocity of a specific point using points whose coordinates and velocities are known, the transformation between orthometric and ellipsoidal heights obtained by GPS are investigated in this study. In the literature review, it has been found out that some software packages which are capable of using some transformation models are available. Hence, it has clearly seen that the transformation models in this softwares are not investigated comprehensively. For this purpose, an efficient and user friendly Matlab GUI (Guide User Interface) tool is developed for wide variety of engineering applications. The developed program is compared with Nectad software and the capabilities of the program are tested.

**Key Words:** Coordinate Transformation, Matlab, Transformation, Epoch

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.	Başlangıç noktası yerin ağırlık merkezi olan kartezyen koordinat sistemi.....	3
Şekil 2.	Meridyen ve enlem daireleri.....	4
Şekil 3.	P noktasının yerin merkezine göre konumu .....	5
Şekil 4.	Kartezyen ve coğrafi koordinatlar .....	5
Şekil 5.	Dünyanın düzleme tasviri .....	8
Şekil 6.	Dilim orta meridyeni .....	9
Şekil 7.	Jeoid .....	12
Şekil 8.	Meridyen elipsoidi .....	13
Şekil 9.	Ortometrik ve elipsoit yüksekliği .....	15
Şekil 10.	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA).....	18
Şekil 11.	Dönüşüm yapılacak iki dik koordinat sistemi .....	20
Şekil 12.	Üç boyutlu dönüşüm .....	36
Şekil 13.	$\epsilon$ dönüklüğü .....	37
Şekil 14.	$\psi$ dönüklüğü .....	38
Şekil 15.	$\omega$ dönüklüğü .....	39
Şekil 16.	Uygulama programının başlangıç ara yüzü .....	51
Şekil 17.	İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar bilinmiyor) ara yüzü.....	52
Şekil 18.	İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar biliniyor) ara yüzü .....	53
Şekil 19.	İki boyutlu afin dönüşümü (hatalar bilinmiyor) ara yüzü .....	53
Şekil 20.	İki boyutlu afin dönüşümü(hatalar biliniyor) ara yüzü .....	54
Şekil 21.	İki boyutlu projektif dönüşüm ara yüzü .....	54
Şekil 22.	İki boyutlu birinci dereceden polinom dönüşümü ara yüzü .....	55
Şekil 23.	İki boyutlu ikinci dereceden polinom dönüşümü ara yüzü .....	55
Şekil 24.	İki boyutlu üçüncü dereceden polinom dönüşümü ara yüzü .....	56

Şekil 25.	Coğrafi koordinat sisteminden UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzü .....	56
Şekil 26.	UTM koordinat sisteminden coğrafi koordinat sistemine dönüşüm ara yüzü .....	57
Şekil 27.	3° 'lik UTM ve 6° 'lik UTM koordinatları arası dönüşüm ara yüzü .....	58
Şekil 28.	Kartezyen koordinat sistemi ile coğrafi koordinat sistemi arası dönüşüm ara yüzü.....	59
Şekil 29.	Üç boyutlu benzerlik dönüşümü ara yüzü .....	60
Şekil 30.	Epok kaydırma ara yüzü.....	61
Şekil 31.	Mesafelere göre hız kestirimi ara yüzü .....	62
Şekil 32.	Lineer interpolasyon yöntemi ile hız kestirimi ara yüzü .....	63
Şekil 33.	Ortometrik yükseklik ile elipsoit yüksekliği arası dönüşüm ara yüzü .....	64
Şekil 34.	Hataları bilinmeyen iki boyutlu dönüşüm ara yüzlerinde kullanılacak (benzerlik, afin, polinom ve projektif) ortak noktalara ait dosya yapısı ....	65
Şekil 35.	Hataları bilinen iki boyutlu dönüşüm ara yüzlerinde kullanılacak (benzerlik ve afin) ortak noktalara ait dosya yapısı .....	66
Şekil 36.	İki boyutlu dönüşüm ara yüzlerinde kullanılacak (benzerlik, afin, polinom ve projektif) çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı .....	66
Şekil 37.	Coğrafi koordinat sisteminden UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzünde kullanılacak çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı .....	67
Şekil 38.	UTM koordinat sisteminden coğrafi koordinat sistemine dönüşüm ve dilim dönüşümü ara yüzünde kullanılacak çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı .....	67
Şekil 39.	Epok kaydırma ve hız kestirimleri ara yüzlerinde kullanılacak çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı.....	68
Şekil 40.	Elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arası dönüşüm ara yüzünde çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı .....	68
Şekil 41.	İki boyutlu dönüşüm yöntemlerinde (hatalar bilinmiyor) kullanılan ortak noktaların dağılımları .....	70
Şekil 42.	İki boyutlu dönüşüm yöntemlerinde (hatalar biliniyor) kullanılan ortak noktaların dağılımları .....	80

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No.

Tablo 1. Çeşitli uluslararası elipsoidler ve boyutları .....	13
Tablo 2. Datum .....	16
Tablo 3. Geleneksel uyşumsuz ölçüler analiz yöntemleri .....	26
Tablo 4. Bazı robust kestirimlerin ağırlık fonksiyonları .....	28
Tablo 5. İki boyutlu dönüşümlerde (hatalar bilinmiyor) kullanılan ortak noktaların her iki sistemdeki koordinat değerleri .....	69
Tablo 6. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar bilinmiyor) 1. iterasyon sonunda koordinatların tek tek uyşum testi .....	71
Tablo 7. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar bilinmiyor) 2. iterasyon sonunda koordinatların tek tek uyşum testi .....	71
Tablo 8. İki boyutlu benzerlik dönüşümünde (hatalar bilinmiyor) klasik yöntem ile elde edilen dönüşüm katsayılar ile Netcad Programı ile elde dönüşüm katsayıları ..	72
Tablo 9. İki boyutlu benzerlik dönüşümünde (hatalar bilinmiyor) robust yöntemler ile elde edilen dönüşüm katsayıları .....	72
Tablo 10. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu benzerlik dönüşüm ara yüzünde (hatalar bilinmiyor) uyşumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatlar .....	72
Tablo 11. İki boyutlu afin dönüşümü (hatalar bilinmiyor) koordinatların 1. iterasyon sonunda tek tek uyşum testi .....	72
Tablo 12. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar bilinmiyor) 2. iterasyon sonunda koordinatların tek tek uyşum testi .....	73
Tablo 13. İki boyutlu afin dönüşümünde (hatalar bilinmiyor) klasik yöntem ile elde edilen dönüşüm katsayılar ile Netcad Programı ile elde dönüşüm katsayıları .....	73
Tablo 14. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu afin dönüşüm ara yüzünde (hatalar bilinmiyor) uyşumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatlar .....	74
Tablo 15. İki boyutlu 1. dereceden polinom dönüşümü koordinatların 1. iterasyon sonunda tek tek uyşum testi .....	74
Tablo 16. İki boyutlu 1. dereceden polinom dönüşümü koordinatların 2. iterasyon sonunda tek tek uyşum testi .....	74
Tablo 17. İki boyutlu 1. dereceden polinom dönüşüm katsayıları .....	75
Tablo 18. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu 1. dereceden polinom dönüşümü ara yüzünde uyşumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatlar .....	75

Tablo 19. İki boyutlu 2. dereceden polinom dönüşümü koordinatların tek tek uyuşum testi.....	76
Tablo 20. İki boyutlu 2. dereceden polinom dönüşüm katsayıları .....	76
Tablo 21. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu 2. dereceden polinom dönüşümü ara yüzünde uyuşumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatlar .....	77
Tablo 22. İki boyutlu 2. dereceden 3. dereceden polinom dönüşümü koordinatların tek tek uyuşum testi.....	77
Tablo 23. İki boyutlu 3. dereceden polinom dönüşüm katsayıları .....	77
Tablo 24. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu 3. dereceden polinom dönüşümü ara yüzünde uyuşumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatlar.....	78
Tablo 25. Projektif dönüşüm için kullanılan ortak noktaların her iki sistemdeki koordinatları .....	78
Tablo 26. İki boyutlu projektif dönüşüm katsayıları .....	79
Tablo 27. İki boyutlu projektif dönüşüm ara yüzünde resim koordinatları ve katsayılar kullanılarak elde edilmiş obje koordinatları .....	79
Tablo 28. İki boyutlu benzerlik dönüşümünde (hatalar biliniyor) kullanılan ortak noktaların her iki sistemdeki koordinat değerleri .....	79
Tablo 29. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar biliniyor) koordinatların tek tek uyuşum testi .....	80
Tablo 30. İki boyutlu benzerlik dönüşümünde (hatalar biliniyor) elde edilen dönüşüm katsayıları .....	80
Tablo 31. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu benzerlik dönüşüm ara yüzünde uyuşumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatların karşılaştırılması(hatalar biliniyor)...	81
Tablo 32. İki boyutlu afin dönüşümü (hatalar biliniyor) koordinatların tek tek uyuşum testi .....	81
Tablo 33. İki boyutlu afin dönüşümünde (hatalar biliniyor) elde edilen dönüşüm katsayıları .....	81
Tablo 34. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu afin dönüşüm ara yüzünde uyuşumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatların karşılaştırılması (hatalar biliniyor).....	82
Tablo 35. Coğrafi koordinatlardan UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzünde kullanılan coğrafi koordinatlar ve dönüşüm sonucunda elde edilen Gauss-Krüger koordinatları .....	82
Tablo 36. Coğrafi koordinatlardan UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzü ile coğrafi koordinatların UTM koordinat sistemindeki 3° lik ve 6° lik UTM koordinatları .....	82

Tablo 37. UTM koordinatlardan coğrafi koordinat sistemine dönüşüm ara yüzünde kullanılan UTM koordinatları ve coğrafi koordinat sistemindeki enlem ve boylam değerleri .....	83
Tablo 38. Dilim dönüşümü ara yüzünde kullanılan UTM koordinat değerleri.....	83
Tablo 39. Kartezyen koordinat ile coğrafi koordinat sistemleri arası dönüşüm ara yüzünde kullanılan coğrafi koordinat ve kartezyen koordinat değerleri.....	84
Tablo 40. Üç boyutlu benzerlik dönüşümünde kullanılan ortak noktaların her iki sistemdeki koordinat değerleri.....	84
Tablo 41. Üç boyutlu benzerlik dönüşümünde (hatalar bilinmiyor) elde edilen dönüşüm katsayıları.....	85
Tablo 42. Kesin koordinatlar ile üç boyutlu benzerlik dönüşüm ara yüzünde klasik yöntem ile elde edilmiş koordinatlar.....	85
Tablo 43. Elipsoid yüksekliği ile ortometrik yükseklik arası dönüşümde kullanılan noktaların coğrafi koordinat koordinat değerleri.....	85
Tablo 44. Yükseklik dönüşüm ara yüzü kullanılarak elde edilen jeoid ondülasyonları....	86
Tablo 45. 1998.0 referans epoğundaki noktaların koordinat ve hız değerleri.....	86
Tablo 46. Ölçme epoğuna kaydırılmış noktaların koordinat değerleri.....	86
Tablo 47. Ağırlıklı ortalama yönteminde kullanılan noktaların koordinat ve hız değerleri.....	87
Tablo 48. Lineer interpolasyon yönteminde kullanılan noktaların projeksiyon koordinat ve hız değerleri.....	87

## SEMBOLLER DİZİNİ

AGA	: Ana GPS Ağı
DN	: Dilim Numarası
DOM	: Dilim Orta Meridyeni
ED	: European Datum
EKKY	: En K¼çük Kareler Yöntemi
GPS	: Global Positioning System
GUI	: Guide User Interface
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
IUGG	: International Union of Geodesy and Geophysics
KML	: Keyhole Markup Language
MATLAB	: MATrix LABoratory
SGA	: Sıklaştırma GPS Ağı
TUD	: Türkiye Ulusal Datum
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
UTM	: Universal Transverse Mercator
WGS	: World Geodetic System
VLBI	: Very Long Baseline Interferometry

## 1.GENEL BİLGİLER

### 1.1.Giriş

Yeryüzü noktalarının konumlarının belirlenmesi jeodezinin temel görevlerinden biridir. Konumları belirlenen bu noktalar belirli bir koordinat sisteminde tanımlanmalıdır. Bir koordinat sisteminde tanımlı koordinat verilerinin diğer bir koordinat sistemindeki karşılığının bulunmasına koordinat dönüşümü adı verilir. Günümüz mühendislik uygulamalarında farklı koordinat sistemlerinde çalışılmış koordinat verileri bir arada değerlendirilmek istenirse, bu durumda bir koordinat sisteminde elde edilen koordinatlardan diğer koordinat sistemindeki koordinat değerinin hesaplanması gerekir.

Son yıllarda gelişen uzay jeodezik yöntemler ile beraber bir noktanın yeryüzü üzerindeki konumu yüksek duyarlıkta ve üç boyutlu olarak belirlenebilmektedir. Uzay jeodezik yöntemler gelişmeden önce klasik yersel ölçüm yöntemleriyle Ülke Temel Jeodezik Ağları, yatay ve düşey ağlar olarak oluşturulmuştur. Yeryüzü üzerinde klasik yöntemler ile belirlenen nokta konumları ile uzay jeodezik yöntemler kullanılarak belirlenen nokta konumları arasındaki dönüşümün yapılabilmesi için koordinat dönüşümüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Uydu ile konum belirleme yöntemlerinde yükseklikler için referans yüzeyi elipsoittir. Fakat jeodezik çalışmalarda yükseklikler için genellikle referans yüzeyi olarak jeoit kullanılır. Ülke sisteminde kullanılan noktaların ortometrik yükseklikleri ile elipsoit yükseklikleri arasında dönüşüm gerekmektedir. Yükseklik sistemleri arasında dönüşüm için jeoid ondülasyonlarının bilinmesi gerekmektedir.

Haritacılık uygulamalarında toplanan ölçünün kesin değeri hiçbir zaman bilinemez fakat gerçek değerine yaklaşmasını sağlanabilir. Söz konusu hatalardan dolayı uygulamada gerekli ölçü sayısı ile yetinilmez, gerekli ölçü sayısından fazla ölçü yapılır. Fazla sayıda yapılan ölçüler arasında ayırım yapmadan ölçüler arasında ilişki dengeleme hesabı ile yapılır. En küçük kareler yöntemi ile ölçülerin kesin değerleri ve duyarlılıkları hesaplanır. Ölçü grubunda bulunan kaba ve sistematik hataların yanında ölçü grubunda belirlenemeyen ölçü hataları da bulunabilir. Bu tür belirlenemeyen ölçü hatalarını içeren ölçü grubunda bulunan ölçüler uyuşumsuz ölçü olarak adlandırılır. Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi genellikle EKKY'ne dayalı geleneksel çözüm yöntemi ile yapılır. Uyuşumsuz



ölçü belirlenmesinde kullanılan geleneksel çözüm yöntemlerinin sahip olduğu dezavantajlar çözüm için başka yöntemler arayışına yol açmıştır. Hampel ve Andrew gibi birçok araştırmacı istatistik biliminde yaygın olarak kullanılan robust istatistik yöntemleri ile ölçü hatalarına duyarlı olmayı hedefleyen amaç fonksiyonu kullanarak düzeltmelerin hatalardan daha az etkilenmesini sağlamıştır.

### **1.2.Problemin Tanımı**

Jeodezide kullanılan koordinat dönüşüm modellerini kullanan programlar için literatür taraması yapıldığında, bulunan programların dönüşüm modellerini tümüyle kapsamadığı, veri giriş formatının belirli bir standartta olmadığı ve kullanıcı kolaylığı açısından yetersiz olduğu görülmüştür. Belirtilen nedenlerden dolayı jeodezik dönüşüm modelleri kapsamlı bir şekilde incelenerek, anlaşılabilir, kullanımı kolay ve istatistiksel analizin yapılabileceği koordinatlar arası dönüşüm programı oluşturulması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

### **1.3.Çalışmanın Amacı**

Yapılan bu çalışmanın amacı; farklı koordinat sistemlerinden elde edilmiş koordinatlar arası iki boyutlu dönüşüm, üç boyutlu benzerlik dönüşüm, 3° 'lik UTM ve 6° 'lik UTM koordinatları arası dönüşüm, kartezyen koordinat sistemi ile coğrafi koordinat sistemi arası dönüşüm, coğrafi koordinat sistemi ile UTM koordinat sistemi arası dönüşüm, elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arası dönüşüm, TUTGA koordinatları ile epok kaydırma ve hız kestirme gibi kullanımı yaygın olan jeodezik dönüşüm yöntemleri incelenerek, kullanımı kolay, ayrıca farklı meslek disiplinlerinin de bilimsel araştırma ve proje uygulama aşamalarında kullanabileceği MATLAB programlama dilinde kullanıma açık ve program geliştirilmesidir.

## 1.4. Metodoloji

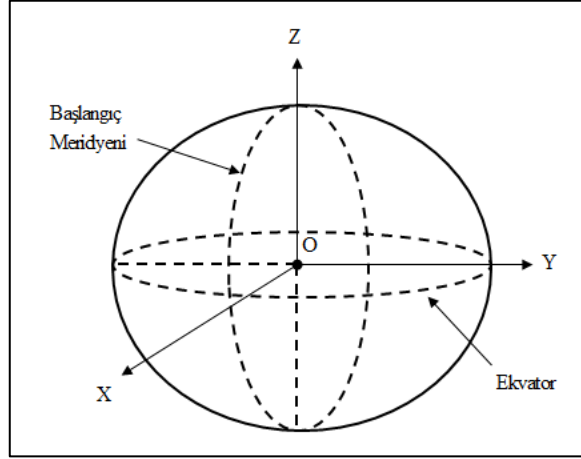
Yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen uygulamalarda izlenen adımlar aşağıdaki gibidir:

- ❖ Dönüşüm modelleri incelendi.
- ❖ Dönüşüm modelleri MATLAB program dilinde kodlandı.
- ❖ Yazılan program kodları MATLAB kullanıcı ara yüzü ile entegre edildi.
- ❖ Oluşturulan ara yüzler gerçek değeri bilinen test değerleri ile test edildi.

## 1.5. Koordinat Sistemleri

### 1.5.1. Kartezyen Koordinat Sistemi

3-Boyutlu kartezyen koordinat sistemi başlangıç noktası genellikle yerin ağırlık merkezi olan, birbirine dik üç adet yüzeyden oluşan bir koordinat sistemidir.

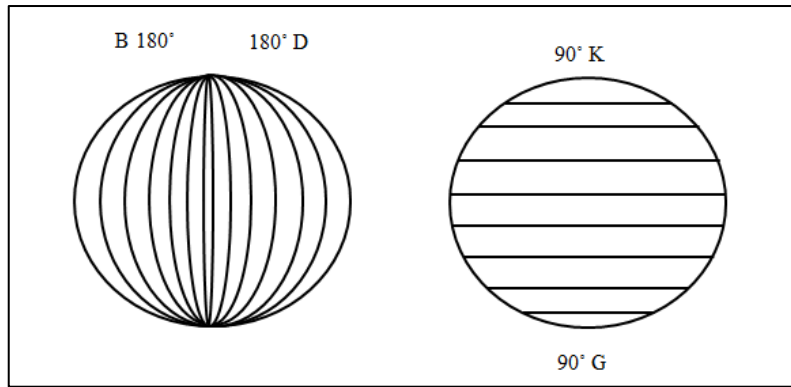


Şekil 1. Başlangıç noktası yerin ağırlık merkezi olan kartezyen koordinat sistemi

Üç boyutlu uzayın herhangi bir P noktasının bu k+oordinat sistemindeki konumu, P noktasından her bir yüzeye inilen diklerin boyları olan  $x$ ,  $y$ ,  $z$  değerleri ile belirlenir. Aynı zaman bunlar noktanın kartezyen koordinatları olarak adlandırılır (Dilaver,1997).

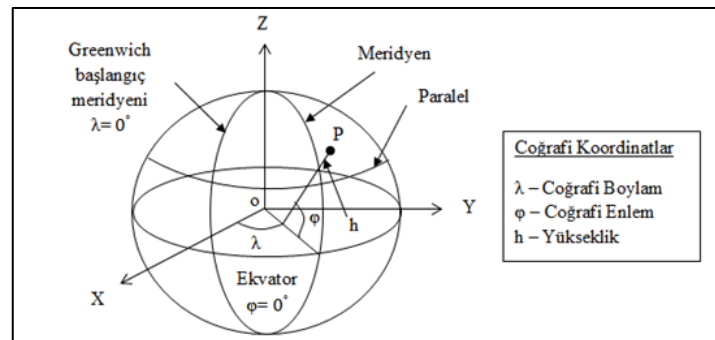
### 1.5.2. Coğrafi Koordinat Sistemi

Coğrafi koordinat sistemi bütün yer küresi için geçerli olan en eski yöntemlerden ve dünya çapında kullanılan bir koordinat sistemidir. Bu koordinat sistemi paralel ve meridyen dairelerinden oluşur. Dünyayı kuzey ve güney yarım küre olarak ikiye bölen, ekvatora paralel dairelere paralel ya da enlem daireleri denir. Ekvatorun kuzeyindeki paraleller kuzey paralelleri, güneyindekiler ise güney paralelleri olarak adlandırılır.



Şekil 2. Meridyen ve enlem daireleri

Ekvatora dik ve kutuplarda birleşen dairelere de meridyen ya da boylam daireleri denir. Londra'da Greenwich gözlem evinden geçen meridyen, diğer bir deyişle bunun ekvatoru kestiği nokta başlangıç meridyeni olarak seçilmiştir.

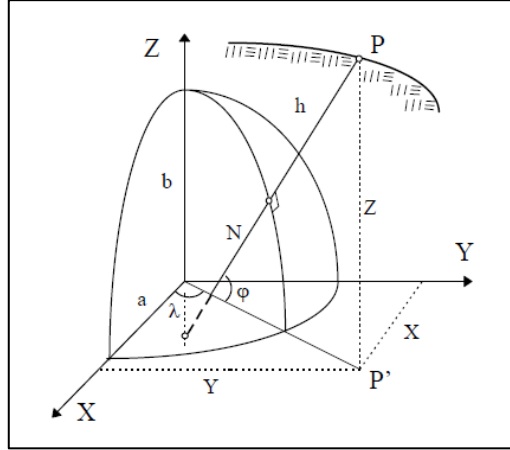


Şekil 3. P noktasının yerin merkezine göre konumu

Bir noktadan (P) geçen enlem dairesinin ekvatora olan uzaklığına diğer bir deyişle bir noktanın ekvatora olan uzaklığını yerin merkezinden gören açıya o noktanın enlemi denir. Bir noktadan geçen meridyen dairesi ile başlangıç meridyeni arasındaki açıya, diğer bir deyişle bir noktanın meridyeni ile başlangıç meridyeni arasındaki uzaklığı yerin merkezinden gören açıya o noktanın boylamı denir.

### 1.5.2.1.Kartezyan İle Coğrafi Koordinat Sistemleri Arasındaki İlişki

Bir noktanın kartezyen  $(X,Y,Z)$  koordinatlarıyla  $\varphi, \lambda, h$  coğrafi koordinatları ve elipsoit yüksekliği arasındaki ilişki;



Şekil 4. Kartezyen ve coğrafi koordinatlar (Üstün,1996)

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

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

$$Z = (N - e^2 N + h) \sin\varphi \quad (3)$$

bağlantıları ile geçilebilir (Vaniček & Krakiwsky, 1986).

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \quad (4)$$

Jeodezik dik koordinatlardan elipsoidal coğrafi koordinatlara dönüşümde  $L$  boylamı,  $(x,y,z)$  koordinatlarından doğrudan çözülebilmesine karşın,  $B$  enlemi ve  $h$  yüksekliği  $(x,y,z)$  koordinatlarından doğrudan çözülemediği için çok sayıda algoritma geliştirilmiştir (Yıldırım vd., 2011). Problemin çözümü kapalı formüller ve iterasyon olmak üzere iki yolla gerçekleştirilebilir. Kapalı formüller ile problemin çözümü tek bir adımda gerçekleştirilebilir. Kapalı formüller ile problemin çözümü tek bir adımda gerçekleştirilebilir. Kapalı formüller ile problemin çözümü tek bir adımda gerçekleştirilebilir. Kapalı formüller ile problemin çözümü tek bir adımda gerçekleştirilebilir. Kapalı formüller ile problemin çözümü tek bir adımda gerçekleştirilebilir.

$$\varphi = \arctan\left(\frac{Z + e'^2 b \sin^3 \mu}{r - e^2 a \cos^3 \mu}\right) \quad (5)$$

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (6)$$

$$h = \frac{r}{\cos \varphi} - N \quad (7)$$

ile verilir. Eşitliklerde geçen büyüklükler;

$$\mu = \arctan\left(\frac{Za}{X^2 + Y^2b}\right) \quad (8)$$

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (9)$$

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (10)$$

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \quad (11)$$

Kartezyen koordinatlardan coğrafi koordinatlara iteratif yöntem ile geçmek istenirse XYZ formülleri kullanılır. Eşitlikler ile;

$$\frac{Z}{r} = \frac{\left(\frac{b^2}{a^2}N + h\right) \sin \varphi}{(N + h) \cos \varphi} \quad (12)$$

oluşturulur ise;

$$\tan \varphi = \frac{Z(N + h)}{r \left( \frac{b^2}{a^2} N + h \right)} \quad (13)$$

elde edilir. Meridyen eğrilik yarıçapının enleme bağlı olması nedeniyle bu eşitlikten enlemin hesaplanması olanaklı değildir. Bunun için;

$$\frac{b^2}{a^2} = 1 - \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 1 - e^2 \quad (14)$$

eşitliğinden yararlanılarak,

$$\tan \varphi = \frac{Z(N + h)}{r \left( 1 - e^2 \frac{N}{N + h} \right)} = \frac{Z}{r} \left( 1 - e^2 \frac{N}{N + h} \right)^{-1} \quad (15)$$

eşitliği elde edilir. Meridyen eğrilik yarıçapının elipsoit yüksekliğe göre çok büyük olması nedeniyle  $N/(N+h)$  değeri 1 alınır (Üstün,1996). Buna göre;

$$\tan \varphi_0 = \frac{Z}{r} (1 - e^2)^{-1} \quad (16)$$

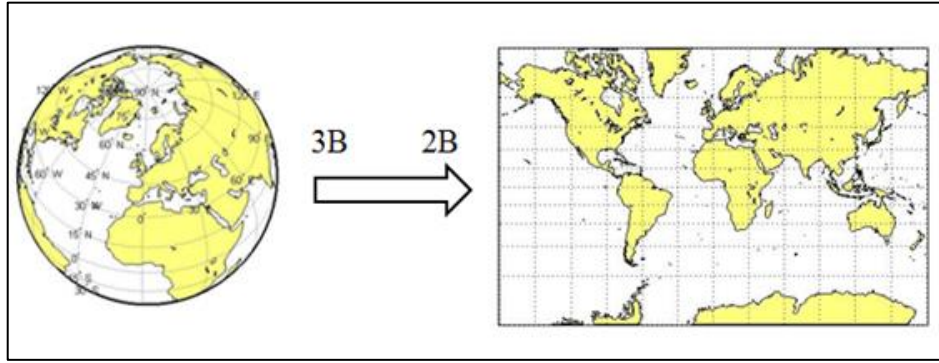
İteratif yöntem için ilk  $\varphi_0$  değeri elde edilir. Ardından  $N_0$  ve  $h_0$  değerleri hesaplanır. Formülde yerine koyularak yeni bir  $\varphi$  değeri elde edilir.  $\varphi$  değeri ile bir önceki ile arasında fark kalmayınca ya da öngürelen bir sınır değerinden küçük oluncaya kadar iterasyona devam edilir.

### 1.5.3.Projeksiyon Koordinat Sistemi

Projeksiyon, yeryüzünün tamamını veya bir kısmını bazı özellikleri korunarak düzleme aktarılmasıdır. Aktarma işlemi projeksiyon sistemi kullanılır. Haritalar düzlem üzerinde iki boyutlu hazırlanırlar. Küre veya elipsoit kapalı yüzeyler olduğundan haritalara deformasyonsuz aktarılamazlar. Bu yüzden düzleme aktarma işlemi projeksiyon kullanımını zorunlu kılar. Projeksiyonlarda üç türlü deformasyon söz konusudur:

- Açı Deformasyonu
- Uzunluk Deformasyonu
- Alan Deformasyon

Projeksiyon koordinat Sistemi, coğrafi koordinat sisteminin bir projeksiyon metodu ve ona ait parametreler kullanılarak yapılan transformasyonunun sonucudur. Projeksiyon koordinat sistemi iki boyutlu düzlem yüzeydir.



Şekil 5. Dünyanın düzleme tasviri

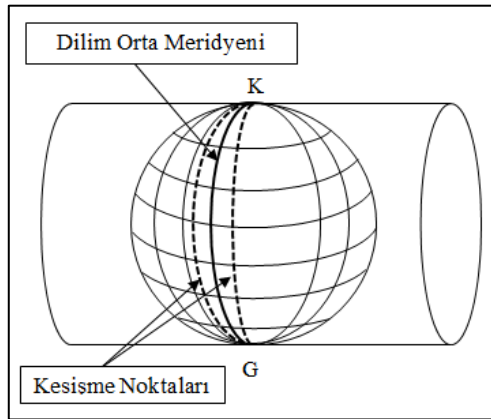
### 1.5.4.Universal Transversal Merkator (UTM) Projeksiyon Sistemi

UTM projeksiyonu, Gauss-Krüger projeksiyonuna dayanan, silindire uyarlanmış ekvatorial konumlu elipsoit formda bir haritalama referans sistemidir. Bu projeksiyon Gauss-Krüger projeksiyonu esas alınarak geliştirilmiştir. UTM sistemi özel coğrafi pafta ağı ile tüm dünyanın büyük ölçekli askeri haritalarının yapımı için 1947 yılında Amerika

Birleşik Devletleri silahlı kuvvetleri tarafından tasarlanmıştır. Uygulanacak bu projeksiyonda şu noktalar dikkate alınmıştır;

- ❖ Doğrultu deformeasyonlarının en az olması için konformluk,
- ❖ Yüzeyle arası dönüşümlerin mümkün olması,
- ❖ Dik koordinat sisteminde beraberliğin sağlanması
- ❖ Meridyen yakınsamasının 5 dereceden küçük olması.

Bu projeksiyonda ana daire, meridyen ile üst üste çakışır. Silindir, dünyadan belli belirsiz daha küçüktür. Ortam eşit uzaklıkta ve paralel iki boylam silindiri keser.



Şekil 6. Dilim orta meridyeni

Universal Transverse Mercator projeksiyonunda (UTM), boylamlar arası  $6^\circ$  olan dilimler kullanır. Dilimlerin başlangıç boylamı  $180^\circ$  batı boylamıdır. Dilimler 1 den başlayarak numaralandırılır ve doğuya doğru artarak gider. Silindir orta meridyen boyunca dünyaya teğettir. Böylece her dilimin  $3^\circ$  sağ ve  $3^\circ$  solu aynı dilim içinde yer alır. Projeksiyonun dilim numarası (DN) biliniyorsa o dilimin orta meridyeni (DOM), orta meridyen  $\lambda_0$  boylamı biliniyorsa da dilim numarası hesaplanabilir.

$$\text{DOM} = (\text{DN}) \cdot 6 - 180$$

(17)



$$DN = \frac{\lambda + 180}{6} \quad (18)$$

Yukardaki formül kullanılarak; Türkiye'nin UTM bölge numaraları 35, 36, 37, 38 dir ve bunlar 27°,33°,39°,45° doğu boylamlarına karşılık gelir.

Orta meridyenden uzaklaştıkça boylamlar arasındaki mesafe artar ve yeryüzü şeklinde bozulma başlar. Şekil bozulmasını önlemek için doğu-batı doğrultusundaki bozulma oranı, kuzey-güney yönüne de uygulanır ve bu şekilde yeryüzü şekli korunmuş olur. Projeksiyonda seçilen silindirin yarıçapı, şekildeki bozulmayı minimum indirecek şekilde seçilir. UTM projeksiyonunda uzunluk deformasyonunu dengeli küçük değerler arasında tutmak amacı ile koordinat değerleri bir m "ölçek faktörü" ile çarpılarak kullanılır. UTM projeksiyonunda uzunlukların anormal büyümesini önlemek amacıyla hesaplanan  $X_g$  ve  $Y_g$  değerleri  $m_0$  ölçek faktörü ile küçültülerek kullanılır. 6° dilim genişliğinde,  $m_0=0,0096$  olarak kabul edilir.

UTM projeksiyon dik koordinatları, dilim orta meridyeni ile ekvatorun kesim noktasını orijin kabul eden eksen sisteminde doğuya doğru artacak şekilde  $y$ , kuzey yönünde artacak şekilde  $x$  değerleri ile tanımlanır. UTM projeksiyonunda değerler orta meridyene göre hesaplandığından, dönüşüm yapılırken dilim orta meridyeninin doğru verilmesi gerekir. Enlem ekvatorдан olan uzaklığı, boylam ise dilim orta meridyeninden olan uzaklığı verir. Dilim orta meridyeninin batısında kalan değerler eksi olacağından, bundan kurtulmak için  $y$  değerlerine kuzey yarı küre için 500 000 m. eklenir ve sağa (False Easting) adını alır.

$X$  değeri kuzey yarı elipsoit de aynen alınır ve yukarı (Northing) değer ismi ile tanımlanır. Güney yarı küre için ise  $x$  değerlerine 10 000 000 m. eklenir.

Pozitif yapılan ordinatlara hangi dilimde olduğunu göstermek üzere o dilimin numarası tanıtıcı rakam olarak konulur. Sağ ve yukarı koordinat değerleri, UTM projeksiyonunun dik koordinat sistemindeki değerleridir. Bu değerler ile sadece çizim yapılabilir. Hesaplama işlemlerinde noktaların  $X_g$  ve  $Y_g$  değerleri ile Gauss-Krüger koordinatları kullanılarak hesaplama işlemleri gerçekleştirilir.

Universal Transverse Mercator Projeksiyonunda;

- ❖ Dilim genişliği 6° 'dir (3° dilimlerde kullanılabilir).
- ❖ Boylamların hesaplanmasında başlangıç, orta meridyendir.

- ❖ Enlemlerin hesaplanmasında başlangıç, ekvatordur.
- ❖ Ölçek faktörü 0.9996 'dır (3° lik dilim kullanılırsa ölçek faktörü 1 alınır).
- ❖ Sağa (x) koordinat değeri kuzey yarı küre için 500 000 m. dir.
- ❖ Yukarı (y) koordinat değeri güney yarı küre için 10 000 000 m. dir.
- ❖ Birim metredir.
- ❖ Dilimlerin başlangıcı 180°W - 174°W meridyenleridir.
- ❖ Dilim numaraları 1'den başlar.
- ❖ Dilimler 174°E - 180°E meridyenlerinde biter.
- ❖ Son dilim numarası 60'dır.
- ❖ 84°N ve 80°S enlemleri arasında kullanılır.

### **1.5.5. ITRF (International Terrestrial Reference Frame) Koordinat Sistemi**

ITRF, GPS (Global Positioning System), VLBI (Very Long Base Interferometry) gibi gelişmiş jeodezik ölçüm yöntemlerinden elde edilen, başlangıcı yerin ağırlık merkezi olan, hassas 3 boyutlu koordinat ve hızları ile tanımlı uluslararası yersel referans sistemine dayalı bir ağıdır. ITRF ağı, nokta koordinatları ve noktaların hareket hızlarının, yer kabuğundaki tüm plakaların hareket ettiği varsayılan bir modele göre belirlenen dinamik bir ağıdır. Ülkemiz 2001 yılına kadar ED-50 sistemi kullanmış; ancak 2001 yılında sonra GRS80 elipsoidinde ITRF koordinat sistemi kullanılmıştır. Belirli yıllarda güncelleştirilen ITRF versiyonlarında 1-2 cm. farklılık göstermektedir. Güncelleme yapıldığı yıla göre isim alır. (ITRFyy) ITRF88, ITRF89, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005 ve ITRF2008. ITRF'in içeriği (URL-2) ;

- ❖ İstasyonların 3 boyutlu kartezyen koordinatları ve hızları,
- ❖ İstasyonların kataloğu,
- ❖ DOMES (Directory of MERIT Sites) istasyon kimlik numaraları,
- ❖ Lokal bağlantılar.

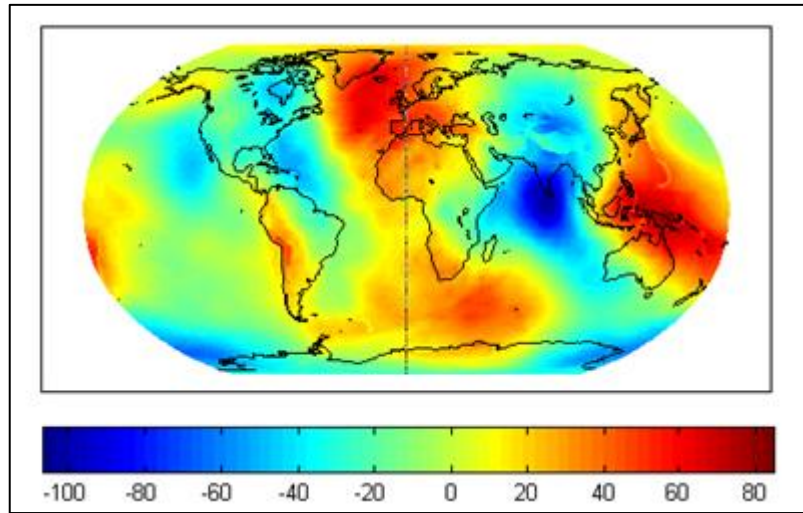
## 1.6. JEOİD ve ELİPSOİT

### 1.6.1. Jeoid

Birçok literatürde jeoid, okyanusların ve karaların altından da devam ettiği düşünülerek oluşturulan soyut kapalı bir yüzey olarak tanımlanmaktadır. Yapılan bu aslında gerçek jeoidin tanımına uymaz. Aslında jeoid, durgun deniz yüzeyinden bir takım farklılıklar gösterir. Bunun nedeni ise ülkelerin, yükseklik sistemlerini oluştururken durgun deniz yüzeyinden yararlanmış ve deniz yüzeyi ile jeoidi çakıştırarak bunu başlangıç olarak kabul etmiş olmalarıdır.

Fiziksel açıdan bakıldığında, deniz yüzeyinin yüksekliğinin farklı bölgelerde de aynı olması gerektiği düşünülebilir. Örneğin; Türkiye’de Antalya’da sıfır kotuyla başlanan nivelman Trabzon’da sıfır kotuyla tamamlanamamaktadır (Üstün,1996). Normal olarak jeoid, deniz yüzeyine bağlı olarak tanımlanırsa böyle bir aykırılığın olmaması beklenirdi. Dünyanın homojen bir kütle yapısından farklılık göstermesi deniz yüzeyini de etkilemiş ve sonuçta çekim kuvvetlerinin de etkisiyle, karalar için söz konusu topoğrafyanın durgun deniz yüzeyi için de geçerli olduğu anlaşılmıştır.

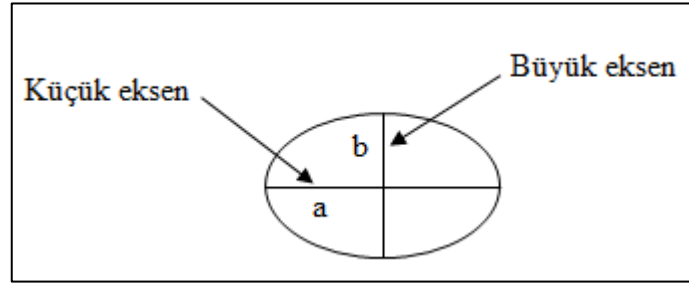
Tüm dünyayı kapsayacak, yeterli hassasiyeti sağlayacak bir jeoidin belirlenmesi mümkün olmadığından her bölge için her bölge için yerel jeoidin belirlenmesine çalışılmaktadır.



Şekil 7. Jeoid

### 1.6.2.Dönel Elipsoit

Fiziksel bir yüzey olması nedeniyle jeoidi harita yapımında referans yüzeyi almak olanaksızdır. Bunun yerine dünya üzerinde jeoide uygun genel dönel bir elipsoit referans yüzeyi seçilir. Dönel elipsoit, meridyen elipsi adını verdiğimiz elipsin küçük eksenini etrafında döndürülmesiyle oluşan bir cisimdir. Elipsoidi tanımlayan parametreler meridyen elipsine ilişkin parametrelerdir. Elipsin boyutları Şekil 8'e göre büyük yarı eksenini  $a$  ve küçük yarı eksenini  $b$ 'dir. Elipsoit için basıklık verildiğinde  $a$  veya  $b$  eksenlerinden bir tanesinin daha verilmiş olması elipsoidi belirlemeye yeterlidir.



Şekil 8. Meridyen elipsoidi

Tablo 1. Çeşitli uluslararası elipsoitler ve boyutları

Elipsoit	Yılı	a(m)		Basıklık
		Büyük Yarı Eksen	Küçük Yarı Eksen	
Bessel	1841	6377397.1550	6356078.9632	1/299.1528
Clarke	1880	6378249.1450	6356514.9900	1/293.466
Hayford	1910	6378388	6356911.9461	1/297.0
Krassowski	1940	6378245	6356863.0190	1/298.3
WGS72	1972	6378175	6356752.3142	1/298.26
GRS80	1980	6378137	6356752.3141	1/298.2572
WGS84	1984	6378137	6356752.3142	1/298.257224

Değişik ülkesel ve bölgesel kabuller dolayısıyla belirlenmiş çok sayıda elipsoit vardır. Her ülke kendisine uygun bir elipsoit seçmiş ve fiziksel yeryüzünde yapmış olduğu

gözlemlerini bu referans yüzeyine indirgeyip seçilen projeksiyona elipsoidi açmışlardır. Hayford elipsoidi Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliğinin (IUGG) 1924 yılındaki toplantısında uluslararası elipsoit olarak kabul edilmiştir. Dönüşümlerden kullanılan elipsoit parametreleri;

Elipsoidin dış merkezliliği;

$$e = \frac{(a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}}}{a} \quad (19)$$

Basıklık;

$$f = \frac{a - b}{a} \quad (20)$$

Meridyen eğrilik yarıçapı;

$$\rho = \frac{a * (1 - e^2)}{(1 - e^2 * \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}}} \quad (21)$$

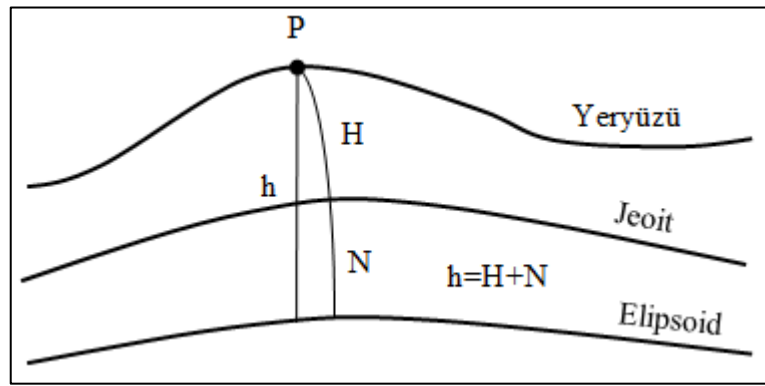
Çapraz eğrilik yarıçapı;

$$V = \frac{a}{(1 - e^2 (\sin^2 \phi))^{\frac{1}{2}}} \quad (22)$$

### 1.6.2.1. Jeoid ile Elipsoit Arasındaki İlişki

Yatay jeodezik kontrol ağları için, referans yüzeyi olarak jeoidde geometrik açıdan en çok benzeyen elipsoidin kullanılması gerekmektedir. Ancak yükseklikler için referans yüzeyi olarak jeoid kullanılmaktadır.

Elipsoit ile jeoid arasında ki ilişki yükseklik farkları ile tanımlanabilir. Jeoidin elipsoidten olan yüksekliğine jeoid ondülasyonu (N) denir. Ortometrik yükseklik (H) ile elipsoit yüksekliği (h) arasındaki ilişki;



Şekil 9. Ortometrik ve elipsoit yüksekliği

### 1.6.3. Datum ve Elipsoit Çeşitleri

Yeryüzündeki herhangi bir noktanın yatay ve düşey konumunu tanımlamak amacıyla kullanılan referans koordinat sistemi için kabul edilen başlangıca datum denir. Diğer bir söylemle, datum yerin şeklini ve boyutunu tanımlayan bir referans sistemidir. Harita veya arazi üzerindeki bir noktanın seçilen başlangıç sisteminde yerini bulmak için bir referans koordinat sistemi tanımlanır. Ayrıca dünyanın gerçek şekline en uygun bir elipsoit ve datum seçilir. Yatay datum koordinatlar için referans alınan başlangıç yüzeyi ve düşey datum ise yükseklikler için referans alınan başlangıç yüzeyidir.

Her ülke kendi durumlarına uygun bir datum kurması, farklı datumlu koordinat sistemlerin oluşmasına sebep olmuştur. Datum seçimine bağlı olarak herhangi bir datumdaki bir noktanın koordinat değerleri diğer datumdaki koordinat değerlerinden farklılık gösterir. Örneğin; ED-50 Avrupa datumunda üretilen haritadaki koordinat

değerleri, WGS-84 datumunda üretilen haritadaki koordinat değerlerinden farklılık gösterir. Bir koordinat sistemindeki bilgilerin diğer koordinat sistemindeki değerinin bulunması için iki koordinat sisteminde tanımlı ortak noktalar ile olanaklıdır. Ortak noktalar yardımıyla koordinat sistemleri arasındaki ilişkiyi kuran parametreler hesaplanarak dönüşüm gerçekleştirilir. Dönüşüm model seçimi, dönüşümde korunması istenen özelliklere bağlıdır. Örneğin şeklin korunması isteniyorsa benzerlik dönüşüm modeli seçilmelidir. İki datumda belirlenen koordinatlar arası uyumunu sağlamak amacıyla, koordinatlar arası dönüşüm değerlerinin bilinmesi gereklidir.

Tablo 2. Datum

Datum	Alan	Başlangıç Noktası	Başlangıç	Elipsoidi
NAD-27	Kuzey Amerika	Kansas; Meades Ranch	39 13 26.686 N 98 3230.506 W	Clarke 1866
ED-50	Avrupa	Postdam, Helmert	52 22 51.445 N	International
WGS-84	Global	Yerin Kütle Merkezi		WGS 84
ITRF	Global	Yerin Kütle Merkezi		GRS 80

### 1.6.3.1.ED50

Günümüzde jeodezik ağ kurma çalışmaları teknolojik gelişmelere bağlı olarak oldukça değişmiştir. Mevcut ülke ağları, yatay ağlar ve düşey ağlar olarak ayrı ağ biçiminde kurulmuş ve nirengi ağının nokta koordinatları, 1954 yılında Meşedağ noktası başlangıç olarak seçilerek Lambert konform projeksiyonunda koordinatların değişken alındığı bir dengeleme hesabıyla TUD-54 yatay kontrol ağı oluşturulmuştur. TUD- 54'ün ED-50'ye dönüşümü, Bulgaristan ve Yunanistan'da yer alan, ED-50 sisteminde koordinatları bilinen 8 ortak noktanın, bağlantı ölçüleri ile hesaplanan TUD-54 koordinatlarından yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. ED-50 datumunda; referans elipsoidi olarak Uluslararası 1924 Elipsoidi ( $a=6378388$ ;  $b=6356911.9461$ ;  $f=1/297$ ;  $e=0.08199188998$ ).

### 1.6.3.2.WGS84

Amerika Savunma bakanlığı tarafından oluşturulan ve uydu navigasyon sistemlerinin temelini oluşturan yersel üç boyutlu bir koordinat sistemidir ve uluslararası yersel koordinat sistemi olarak kabul edilir.

Başlangıçta transit doppler gözlemlerine dayalı olarak geliştirilmiş olup, 1987 yılından itibaren uydular için hassas efemeris hesaplamalarında WGS-84 sistemi kullanılmaya başlanmıştır.

WGS84 sisteminde noktaların koordinatları  $X, Y, Z$  kartezyen koordinatları veya enlem, boylam ve elipsoid yüksekliği  $(\phi, \lambda, H)$  ile tanımlıdır. Uydulardan alınan tüm konum bilgileri WGS84 referans elipsoidine göre hesaplanmaktadır. Sistemin başlangıç noktası yerin ağırlık merkezidir.

### 1.6.3.3.GRS80 Elipsoidi

GRS80 elipsoidi, 1979 yılında Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği tarafından referans elipsoidi olarak kabul edilmiştir. Kabul edilen bu referans elipsoidi dünyada birçok ülkede temel referans elipsoidi olarak kullanılmaya başlanmış ve Uluslararası Yersel Koordinat Sistemi (ITRF) için de referans elipsoidi olarak seçilmiştir.

### 1.6.3.4.Hayford Elipsoidi

Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği'nin 1924 yılında Madrid'de yapılan toplantısında bilimsel çalışmalar ve triyagülasyon çalışmalarına yeni başlayan ülkeler için "uluslararası elipsoid" olarak kabul edilmiştir.

## 1.7.Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA-99)

Hızlı nüfus artışı ve kentleşme, kalkınmaya yönelik alt yapı hizmetlerine olan gereksinimi artırmıştır. Özellikle kadastronun sayısal anlamda doğru ve en kısa sürede tamamlanmasını zorunlu kılmıştır. Gelişen GPS teknolojisi, klasik ölçüm tekniklerle şimdiye kadar erişilemeyen yeni olanaklar ve hedefler getirmiş ve bu hedeflere hızlı,

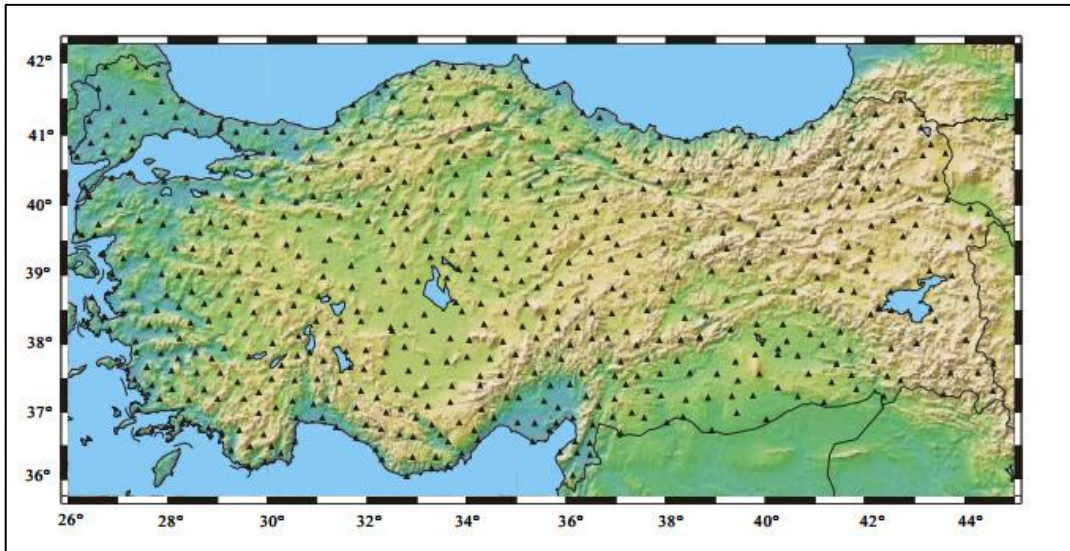


verimli ve ekonomik yoldan ulaşma olanağı sağlamıştır. Halen daha kullanılan iki boyutlu konum koordinatlarını kapsayan Avrupa datumu (ED50) yerine, bir çok Avrupa ülkesi gibi ülkemizde de global referans sistemlerine bağlı yeni bir Jeodezik Temel Ağ oluşturma ihtiyacı doğmuştur.

Yeni kurulacak jeodezik temel ağı;

- ❖ GPS teknolojisine dayalı üç boyutlu,
- ❖ Her noktasında  $(X,Y,Z)$  veya (enlem, boylam, elipsoit yüksekliği), noktaların hızları, ortometrik yükseklik (H) ve jeoid yüksekliği (N) bilinen,
- ❖ Belirli bir zamanda (epok),
- ❖ Yüksek duyarlılıkta,
- ❖ Herkesin ulaşabileceği sıklıkta ve birbirini görme zorunluluğu olmayan noktalardan oluşan,
- ❖ Homojen bir referans sisteminde,
- ❖ ED50 datumundaki Ulusal Temel Yatay Kontrol Ağı ile arasında dönüşümü sağlanan, bir ağ olması amaçlanmıştır.

Bu özellikleri sağlayan jeodezik temel ağıın kurulması amacıyla ölçme ve değerlendirme çalışmaları 1997-1999 yılları arasında Harita Genel Komutanlığı tarafından tamamlanmış olup oluşturulan bu ağa Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı 1999 (TUTGA-99) denilmektedir.



Şekil 10. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA)

1997-1999 yılları arasında tanımlanan TUTGA koordinatları ITRF96 datumunda ve 1998.0 epoğunda tanımlanmıştır. Marmara ve Düzce depremleri sonrası yeni ölçülerle güncellenmiştir ve TUTGA-99A adını almıştır. Deprem bölgesi için 2000.45 epoğu tanımlanmıştır. TUTGA'nın birçok noktasında yapılan güncelleme ölçüleri sonrasında 2005.0 epoğu tanımlanmıştır. TUTGA'nın datumu her ne kadar ITRF96 olarak tanımlansa dahi tanımlanan epoklar özellikle noktalara ait koordinat bileşenlerinin hız vektörleri için yeni başlangıç referans zamanları, diğer bir deyişle yeni datuamlar anlamına gelmektedir.

Ana GPS Ağı (AGA) ve Sıklaştırma GPS Ağı (SGA) GPS ölçüleri değerlendirilirken; TUTGA koordinatları, ölçme epoğuna (T) kaydırılır ve değerlendirmede kullanılır. Epok kaydırma işlemi, noktaların depremden etkilenen bölge içinde olup olmadığına göre farklılık gösterir.

1) Depremden etkilenmeyen bir bölgedeki epok kaydırma için;

$$\begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix}_{TUTGA} = \begin{bmatrix} X(T_0) \\ Y(T_0) \\ Z(T_0) \end{bmatrix}_{TUTGA} + (T - T_0) \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{TUTGA} \quad (23)$$

eşitliği kullanılır.  $T_0$  = TUTGA referans epoğu,  $V_X, V_Y, V_Z$  = Deprem öncesi nokta hızlarıdır.

2) Depremden etkilenen bölge içinde yer alan TUTGA noktalarının deprem sonrasında bir T ölçü epoğundaki koordinatları, bölgede deprem sonrası TUTGA koordinatları ve hızları belirli ise ;

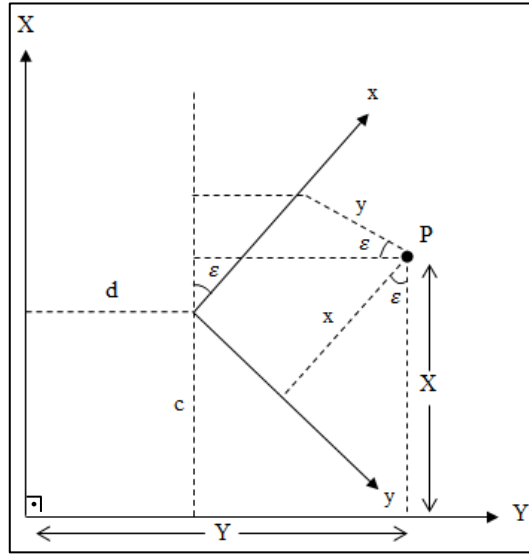
$$\begin{bmatrix} X(T) \\ Y(T) \\ Z(T) \end{bmatrix}_{TUTGA} = \begin{bmatrix} X(T_d) \\ Y(T_d) \\ Z(T_d) \end{bmatrix}_{TUTGA} + (T - T_d) \begin{bmatrix} V'_X \\ V'_Y \\ V'_Z \end{bmatrix}_{TUTGA} \quad (24)$$

eşitliği ile hesaplanır.  $T_d$  = deprem sonrası TUTGA koordinatları belirlendiği epok,  $V'_X, V'_Y, V'_Z$  = Deprem sonrası nokta hızlarıdır.

## 1.8. Dönüşüm Yöntemleri

### 1.8.1. İki Boyutlu Benzerlik Dönüşümü

Benzerlik dönüşümünde dönüşümden önceki şekil ile dönüşüm sonrası şekiller benzerdir. Dönüşüm parametrelerinde tek bir ölçek faktörü olduğundan dolayı şekiller belli bir oranda küçülür veya büyürler, bu sayede kırılma açıları değişime uğramazlar. Kısacası dönüştürülen yeni sistemin başlangıcı ötelenmiş, iki sistem arası belli miktarda dönüklük oluşmuş ve belli miktarda ölçek katsayısı ile çarpılarak oluşmuştur (Tanık 2003).



Şekil 11. Dönüşüm yapılacak iki dik koordinat sistemi

Şekilde;

- $x, y$  : 1. sistemin koordinatları
- $X, Y$  : 2. sistemin koordinatları
- $\varepsilon$  : Sistemleri arasındaki dönüklük açısı
- $c, d$  : Öteleme parametreleri
- $m$  : Ölçek faktörü

olmak üzere, iki dik koordinat sistemi ve bir P noktasının her iki sistemdeki koordinatları gösterilmiştir. Bu noktanın her iki sistemdeki koordinatları arasında,

$$\begin{aligned} X &= c + x.m.\cos\varepsilon - y.m.\sin\varepsilon \\ Y &= d + x.m.\sin\varepsilon + y.m.\cos\varepsilon \end{aligned} \quad (25)$$

eşitlikleri yazılabilir.

$$a = m.\cos\varepsilon, b = m.\sin\varepsilon \quad (26)$$

$$a^2 + b^2 = m^2 \cos^2\varepsilon + m^2 \sin^2\varepsilon;$$

$$a^2 + b^2 = m^2 (\cos^2\varepsilon + \sin^2\varepsilon);$$

$$(\cos^2\varepsilon + \sin^2\varepsilon) = 1; \quad (27)$$

$$m^2 = a^2 + b^2;$$

$$m = \sqrt{a^2 + b^2} \quad m : \text{Ölçek Faktörü}$$

$$\frac{b}{a} = \frac{m \sin \varepsilon}{m \cos \varepsilon}$$

$$\tan \varepsilon = \frac{b}{a} \quad (28)$$

$$\varepsilon = \arctan \frac{b}{a} \quad \varepsilon : \text{Dönüklük açısı}$$

Denklemleri düzenlediğimizde;

$$\begin{aligned} X &= a.x - b.y + c \\ Y &= a.y + b.x + d \end{aligned} \quad (29)$$

olur. Eşitlikteki a, b, c, d katsayıları dönüşüm parametreleri olarak adlandırılır. Dönüşümde bir ölçek, bir dönüklük ve iki öteleme olmak üzere toplam dört parametre vardır. Dört

parametrenin çözümü için her iki sistemde en az iki noktanın koordinatları gereklidir. Ortak nokta sayısının ikiden fazla olması durumunda dönüşüm parametreleri en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır.

Bilinmeyenlerin Fonksiyonu = Ölçü+ Düzeltme

$$\begin{aligned}
 ax_1 - by_1 + c &= X_1 + V_{X_1} \\
 ay_1 + bx_1 + d &= Y_1 + V_{Y_1} \\
 \dots & \\
 \dots & \\
 ax_n - by_n + c &= X_n + V_{X_n} \\
 ay_n + bx_n + d &= Y_n + V_{Y_n}
 \end{aligned} \tag{30}$$

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & -y_1 & 1 & 0 \\ y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & -y_n & 1 & 0 \\ y_n & x_n & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}, \quad l = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad V = \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{Y_1} \\ \dots \\ V_{X_n} \\ V_{Y_n} \end{bmatrix} \tag{31}$$

Bilinmeyenler matrisi  $X$ ;  $N = A^T P A$ ,  $n = A^T P l$  olmak üzere

$$X = N^{-1} n \tag{32}$$

eşitliği ile hesaplanır (İnal ve Turgut, 2003).

$$V = AX - l \tag{33}$$

$$V = \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{Y_1} \\ \dots \\ \dots \\ V_{X_n} \\ V_{Y_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & -y_1 & 1 & 0 \\ y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & -y_n & 1 & 0 \\ y_n & x_n & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \quad \text{Fonksiyonel Model} \tag{34}$$

eşitliğinden ortak nokta koordinatlarına getirilecek düzeltmeler hesaplanır.

Dengeli ölçüler; düzeltmelere ölçülere eklenerek dengeli ölçüler hesaplanır. Hesaplanan bu değerler ilk düzeltme denklemlerinde yerine konarak şartı sağladıkları denetlenir.

$$\begin{bmatrix} X_1 + V_{X_1} \\ Y_1 + V_{Y_1} \\ \dots \\ \dots \\ X_n + V_{X_n} \\ Y_n + V_{Y_n} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_1 & -y_1 & 1 & 0 \\ y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & -y_n & 1 & 0 \\ y_n & x_n & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (35)$$

Dolaylı ölçüler dengelemesine göre karesel ortalama hesabı;

$$m_o = \mp \sqrt{\frac{[VPV]}{2n - 4}} \quad (36)$$

Bilinmeyenlerin ters ağırlık matrisi;

$$\underline{Q}_{xx} = (A^T P A)^{-1} = \begin{bmatrix} q_{xx} & q_{xy} & q_{xz} \\ q_{xy} & q_{yy} & q_{yz} \\ q_{xz} & q_{yz} & q_{zz} \end{bmatrix} \quad (37)$$

Bilinmeyenlerin ortalama hataları;

$$\begin{aligned} m_{a=} &= \pm m_o \sqrt{q_{aa}} \\ m_{b=} &= \pm m_o \sqrt{q_{bb}} \\ m_{c=} &= \pm m_o \sqrt{q_{cc}} \\ m_{d=} &= \pm m_o \sqrt{q_{dd}} \end{aligned} \quad (38)$$

ile hesaplanır. Dönüşümde kullanılacak noktaların koordinat duyarlılıkları biliniyorsa  $(m_x, m_y)$ , her iki sistemdeki koordinatlar bir takım hatalar içerdiğinden (29) eşitliği;

$$\begin{aligned}
F(x, y, X, Y) &= a(x + V_x) - b(y + V_y) + c - (X + V_X) \\
G(x, y, X, Y) &= b(x + V_x) + a(y + V_y) + d - (Y + V_Y)
\end{aligned} \tag{39}$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlikleri lineer hale getirmek için değişkenlere kısmi türev alınır.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial F}{\partial x} &= a \quad \frac{\partial F}{\partial y} = -b \quad \frac{\partial F}{\partial X} = -1 \\
\frac{\partial F}{\partial a} &= x \quad \frac{\partial F}{\partial b} = -y \quad \frac{\partial F}{\partial c} = 1 \\
\frac{\partial G}{\partial x} &= b \quad \frac{\partial G}{\partial y} = a \quad \frac{\partial G}{\partial Y} = -1 \\
\frac{\partial G}{\partial a} &= y \quad \frac{\partial G}{\partial b} = x \quad \frac{\partial G}{\partial d} = 1
\end{aligned} \tag{40}$$

(38) eşitliklerindeki kısmi türevler kullanılarak her bir nokta için (37) eşitliği matris gösteriminde aşağıdaki gibi ifade edilir (Charles D. vd., 2006).

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} a_0 & -b_0 & -1 & 0 \\ b_0 & a_0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_X \\ V_Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x & -y & -1 & 0 \\ y & x & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_a \\ d_b \\ d_c \\ d_d \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} X - (a_0x - b_0y + c_0) \\ Y - (b_0x + a_0y + d_0) \end{bmatrix} \\
B & \quad V \quad A \quad X \quad K
\end{aligned} \tag{41}$$

Çözüm için ilk olarak noktaların konum duyarlılıkları dikkate alınmadan yaklaşık dönüşüm parametreleri ( $a_0$ ,  $b_0$ ,  $c_0$  ve  $d_0$ ) elde edilir. Dönüşüm sonucu elde edilen parametreler  $B$ ,  $P$  ve  $K$  matrisinin hesabında kullanılır. Sonrasında ağırlık katsayıları matrisi ( $Q$ );

$$Q \frac{1}{\sigma_0^2} = \begin{bmatrix} \sigma_{x_1}^2 & & & & \\ & \sigma_{y_1}^2 & & & \\ & & \sigma_{X_1}^2 & & \\ & & & \sigma_{Y_1}^2 & \\ & & & & \ddots \\ & & & & & \ddots \end{bmatrix} \quad (42)$$

ve ağırlık matrisi ( $P$ ), bilinmeyenler vektörü ( $X$ ) ve düzeltmeler vektörü ( $V$ );

$$P = (BQB^T)^{-1}$$

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P K \quad (43)$$

$$V = AX - K$$

eşitlikleriyle hesaplanır. 1. iterasyon sonucu elde edilen  $B$ ,  $P$  ve  $K$  parametreleri yapılan iterasyonlar sonucu aralarında fark görülmeinceye kadar tekrar edilir (İnal vd., 2003).

Uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesi EKKY'ne dayalı geleneksel çözüm yöntemi ile yapılır. Hesap algoritmasının basit oluşu, gözlemlerle ilgili istatistik dağılımların bilinmesine gerek duyulmaması, matematiksel ve fonksiyonel modelin hesap boyunca sabit kalması bu yöntemin tercih edilme sebepleridir (Boz,2005). İteratif olarak belirlenen uyuşumsuz ölçüler her iterasyon sonucu ölçü grubundan çıkarılmaktadır. Bu durum uyuşumsuz ölçülerin içerdiği bilgilerin yok sayılması anlamına gelmektedir. Uyuşumsuz ölçü belirlenmesinde kullanılan geleneksel çözüm yöntemlerinin sahip olduğu dezavantajlar çözüm için başka yöntemler arayışına yol açmıştır. Ölçü kümesinde tek bir uyuşumsuz ölçünün bulunması EKKY yönteminin yayma etkisinden dolayı kestirilen değerleri anlamsız kılmaya yeterli olacaktır. EKKY ile çözümde bir ölçü diğer ölçülerin hatalarından etkilenebilir uyuşumsuz ölçü olarak görülebilir veya uyuşumsuz bir ölçü uyumlu bir ölçü olarak görülebilir. Bu durum EKKY kestirim yönteminin ölçü grubunda bulunan uyuşumsuz ölçülerin ayıklanmasında yetersiz kaldığı söylenebilir. Dengeleme hesabı neticesinde ölçülerde uyuşumsuz ölçü olup olmadığını test etmek için;

$$H_0: E\{\nabla l_i\} = 0 \quad H_s: E\{\nabla l_i\} = \nabla l_i \neq 0 \quad (44)$$



şeklinde sıfır ve seçenek hipotezi kurulur. Hipotez testi ölçülere getirilen düzeltme değerlerini kullanarak gerçekleşir. Her bir düzeltme değeri için test değeri hesaplanır. Bu değer ölçülerin dağılımının uyduğu tablodan  $f = n - u$  serbestlik derecesine göre belirlenen sınır değeri ile karşılaştırılır. Eğer sınır değerinden büyük test değerleri var ise bu değerler uyuşumsuz ölçü olarak kabul edilir ve ölçü grubundan atılır. Çözüm iteratif olarak uyuşumsuz ölçü kalmayınca kadar devam eder. Geleneksel çözüm yöntemlerinde üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar Data-Snooping, Tau ve T (student) testidir. Üç yöntemin birbirinden farkı çözümde kullandıkları varyans değerleri ve ölçülerin dağılım tablolarıdır.

Tablo 3. Geleneksel uyuşumsuz ölçüler analiz yöntemleri

Yöntem	Test Değeri	Test Dağılımı	Sınır Değer
Data-Snooping	$W_i = \frac{ v_i }{\sigma_0 \sqrt{Q v_i v_i}}$	$\sim N(0,1)$	$N_{1-\alpha_0/2}$
Tau Testi	$T_i = \frac{ v_i }{m_0 \sqrt{Q v_i v_i}}$	$\sim \tau_{f, 1-\alpha_0/2}$	$\tau_{f, 1-\alpha_0/2}$
T testi	$t_i = \frac{ v_i }{\bar{m}_0 \sqrt{Q v_i v_i}}$	$\sim t_{f-1, 1-\alpha_0/2}$	$t_{f-1, 1-\alpha_0/2}$

Geleneksel uyuşumsuz ölçü belirlenmesi için Data-Snooping, Tau ve T testleri yapılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler arası tek fark düzeltmeleri normlandırmak için kullanılan varyans faktörlerinin farklı olmasıdır.

Uyuşumsuz Data-Snooping test yöntemi diğer test yöntemlerine göre test büyüklükleri bakımından farklılık göstermektedir. Bunun sebebi Data-Snooping testinde  $\sigma_0^2$  öncül varyans değerinin, diğer testlerde kullanılan  $m_0^2$  ve  $\bar{m}_0^2$  varyans değerlerinden farklı olmasıdır. Geleneksel çözüm yöntemlerinin dezavantajlarından dolayı uyuşumsuz ölçü gruplarının belirlenmesi için başka yöntemler arayışını ortaya çıkarmıştır (URL-1).

Robust kestirimde, en küçük kareler yönteminde kullanılan  $v^T P v = \min.$  amaç fonksiyonu yerine, düzeltmelerin hatalarından daha az etkilenen başka bir  $\rho(v)$  amaç fonksiyonu seçilir. Seçilen amaç fonksiyonunu en küçük yapan çözüm aranır. Bu yöntem için eşitlik;

$$\sum_{i=1}^n P_i \rho(v_i) = \min. \quad (45)$$

şeklinde yazılır. Amaç fonksiyonunun en küçük olması koşulu yukarıdaki eşitlikte ( $v$ ) değerlerine göre türev alınarak elde edilir. Elde edilen doğrusal olmayan eşitliğin çözümü iteratiftir. Robust kestirimde  $\rho(v)$  amaç fonksiyonunun düzeltmelere göre türevi ile  $\psi(v)$  etki fonksiyonu elde edilir.

$$\psi(v) = \partial \rho(v) / \partial v \quad (46)$$

Etki fonksiyonunun düzeltmelere bölünmesiyle ağırlık fonksiyonu elde edilir.

$$w(v) = \psi(v) / v \quad (47)$$

Robust kestirici fonksiyonları genel olarak istatistiksel analizlerde kullanılan M-kestiricileri, R-kestiricileri ve L-kestiricileri olarak sınıflandırılabilir. M-kestirimi hesap işlemleri bakımından yeniden ağırlıklandırılmalı EKKY’i de denilebilir. Kestirim işlemi;

$$\bar{P}_i = P w_{i-1} \quad (48)$$

Robust ağırlık matrisinin ilk değeri  $w_0 = I_{n \times n}$  birim matrisi alınır.

$$\begin{aligned} A^T \bar{P} v &= 0 \\ x_i &= (A^T \bar{P}_i A)^{-1} A^T \bar{P}_i l \\ v_i &= [A(A^T \bar{P}_i A)^{-1} A^T \bar{P}_i l - l] \end{aligned} \quad (49)$$

Burada;  $\bar{P}_{n \times n}$  eşdeğer ağırlık matrisi,  $P_{n \times n}$  ölçülerin ilk ağırlık matrisi,  $w_{n \times n}$  robust ağırlık matrisi,  $A_{n \times u}$  katsayılar matrisi,  $v_{n \times 1}$  düzeltmeler vektörü,  $x_{n \times 1}$  dengeleme bilinmeyenleri vektörü,  $l_{n \times 1}$  ötelenmiş ölçüler vektörü ve  $i$  iterasyon sayısıdır.

Yukarıda yapılan çözümler sonucunda uyumlu olan ölçülerin  $X_i$  bilinmeyenleri ve  $\bar{P}_{i+1}$  eşdeğer ağırlıklarının değişmediği, uyumsuz ölçülerin  $\bar{P}_{i+1}$  eşdeğer ağırlıklarının giderek küçüldüğü ve bazılarının sıfıra gittiği görülür. Bu durum da uyumsuz ölçülerin bilinmeyenler üzerindeki negatif etkisinin azaldığı anlamına gelmektedir. Robust yöntemlerin doğru ve güvenilir sonuç vermesi, ölçülere ait düzeltme değerlerinin karşılaştırıldığı  $c$  sınır parametre değerinin mümkün olduğunca doğru biçimde belirlenmesine bağlıdır.

Yapılan literatür araştırması sırasında robust kestirimlerin doğru ve güvenilir sonuçlar vermesinde önemli rol oynayan  $c$  sınır parametre değeri robust ağırlık değerlerinin belirlenmesinde farklı sınır değerlerinin kullanılması sabit bir sınır değerinin olmadığı tespit edilmiş ve sınır değerinin genellikle tecrübelerle dayanarak seçildiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. Bazı robust kestirimlerin ağırlık fonksiyonları

Yöntem	Sınır	Amaç Fonksiyonu	Etki Fonksiyonu	Ağırlık Fonksiyonu
EKKY		$\frac{1}{2} V^2$	$V$	$1$
Andrews	$ v_i  \leq c\pi$	$c^2 \left(1 - \cos \frac{ V }{c}\right)$	$c \sin \frac{ V }{c}$	$\sin \frac{ V }{c} \left(\frac{ V }{c}\right)^{-1}$
	$ v_i  \geq c\pi$	$2c^2$	$0$	$0$
Beaton-Tukey	$ v_i  \leq c$	$\frac{c^2}{6} \left(1 - \left(1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2\right)^3\right)$	$ V  \left(1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2\right)^2$	$\left(1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2\right)^2$
	$ v_i  > c$	$\frac{1}{6} c^2$	$0$	$0$

Tablo 4' ün devamı

Danimarka	$ v_i  \leq c$	$\frac{1}{2} V^2$	$V$	1
	$ v_i  > c$	$-(c^2 + c V )e^{-\frac{ V }{c}}$	$ V e^{-\frac{ V }{c}}$	$e^{-\frac{ V }{c}}$
Hampel	$ v_i  \leq a$			1
	$a <  v_i  \leq b$			$\frac{a}{ v_i }$
	$b <  v_i  \leq c$			$\frac{a(c -  v_i )}{ v_i (c - b)}$
	$ v_i  > c$			0

Hampel yönteminde sınır değeri seçimi için Hampel 2, 4 ve 8 değerlerini ileri sürmüştür. Danimarka yönteminde sınır değeri öncül standart sapma  $s_0$  biliniyor ise  $2s_0$  (Boz, 2005) veya 1.5,2 ve 2.5 değerleri seçilir (Krarup, Kubik, 1980).

### 1.8.2. İki Boyutlu Afin Dönüşümü

Benzerlik dönüşümünün aksine, afin dönüşümünde önceki şekil dönüşüm sonrası şekiller benzer değildir. Nedenleri ise x ve y yönlerinde ölçek faktörlerinin farklı olması ve eksenlerin birbirine dik olmaması durumlarıdır. Fotogrametri ve kartoğrafya alanlarında kullanımı yaygın dönüşüm yöntemidir.

Afin dönüşümde 2 ölçek, 2 öteleme ve 2 dönüklük olmak üzere toplam altı parametre vardır. Dört parametrenin çözümü için her iki sistemde en az üç noktanın koordinatları gereklidir. Ortak nokta sayısının üçten fazla olması durumunda dönüşüm parametreleri en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır. Afin dönüşümünde iki koordinat sistemi arasındaki ilişki;

$$\begin{aligned} X &= ax + by + c \\ Y &= dx + ey + f \end{aligned} \tag{50}$$

eşitlikleri ile ifade edilir.

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix}, l = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \dots \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix}, V = \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{Y_1} \\ \dots \\ \dots \\ V_{X_n} \\ V_{Y_n} \end{bmatrix} \quad (51)$$

Bilinmeyenler matrisi  $X$ ;  $N = A^T P A$ ,  $n = A^T P l$  olmak üzere

$$X = N^{-1} n \quad (52)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bilinmeyenler bulunduktan sonra,

$$V = AX - l \quad (53)$$

eşitliğinden ortak nokta koordinatlarına getirilecek düzeltmeler hesaplanır.

$$V = \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{Y_1} \\ \dots \\ \dots \\ V_{X_n} \\ V_{Y_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \dots \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \quad \text{Fonksiyonel Model} \quad (54)$$

Fonksiyonel model kullanılarak ortak nokta koordinatlarına getirilecek düzeltmeler hesaplanır. Dengeli ölçüler denetimi;

$$\begin{bmatrix} X_1 + V_{X_1} \\ Y_1 + V_{Y_1} \\ \dots \\ \dots \\ X_n + V_{X_n} \\ Y_n + V_{Y_n} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ \dots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (55)$$

Dolaylı ölçüler dengelemesine göre karesel ortalama hesabı;

$$m_o = \mp \sqrt{\frac{[VPV]}{2n - 6}} \quad (56)$$

Bilinmeyenlerin ortalama hatası;

$$\begin{aligned} m_{a=} & \pm m_o \sqrt{q_{aa}} \\ m_{b=} & \pm m_o \sqrt{q_{bb}} \\ m_{c=} & \pm m_o \sqrt{q_{cc}} \\ m_{d=} & \pm m_o \sqrt{q_{dd}} \\ m_{e=} & \pm m_o \sqrt{q_{ee}} \\ m_{f=} & \pm m_o \sqrt{q_{ff}} \end{aligned} \quad (57)$$

Duyarlılıkları biliniyorsa dönüşümde kullanılacak noktaların koordinat duyarlılıkları biliniyorsa ( $m_x, m_y$ ), her iki sistemdeki koordinatlar bir takım hatalar içerdiğinden (50) eşitliği;

$$\begin{aligned} F(x,y,X,Y) &= a(x+V_x) - b(y+V_y) + c - (X+V_X) \\ G(x,y,X,Y) &= d(x+V_x) + e(y+V_y) + f - (Y+V_Y) \end{aligned} \quad (58)$$

şeklinde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} a_0 & -b_0 & -1 & 0 \\ b_0 & a_0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_x \\ V_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x & y & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_a \\ d_b \\ d_c \\ d_d \\ d_e \\ d_f \end{bmatrix} \quad (59)$$

$$= \begin{bmatrix} X - (a_0x + b_0y + c_0) \\ Y - (d_0x + e_0y + f_0) \end{bmatrix}$$

$$Q \frac{1}{\sigma_0^2} = \begin{bmatrix} \sigma_{x_1}^2 & & & & & \\ & \sigma_{y_1}^2 & & & & \\ & & \sigma_{x_1}^2 & & & \\ & & & \sigma_{y_1}^2 & & \\ & & & & \cdot & \\ & & & & & \cdot \end{bmatrix} \quad (60)$$

$$\begin{aligned} P &= (BQB^T)^{-1} \\ X &= (A^T P A)^{-1} A^T P K \\ V &= AX - K \end{aligned} \quad (61)$$

formülleri kullanarak iteratif çözüm aranır.

### 1.8.3. İki Boyutlu Projektif Dönüşüm

Bir düzlemden diğer bir düzleme yapılan izdüşümler ile projektif dönüşüm tanımlanabilir. İki düzlem birbirine paralel olabilir veya iki düzlem birbirleriyle kesişebilirler. Projektif dönüşümde toplam sekiz parametre vardır. Bu sekiz parametrenin çözümü için her iki sistemde en az dört noktanın koordinatları gereklidir. Ortak nokta sayısının dörtten fazla olması durumunda dönüşüm parametreleri en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır. Objeye düzleminde  $Z=0$  kabul edilirse;

$$X = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{c_1x + c_2y + 1} \quad (62)$$

$$Y = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{c_1x + c_2y + 1}$$

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x_2 & -y_1x_2 \\ 0 & 0 & 0 & -x_1 & y_1 & 1 & x_1y_2 & -y_1y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_nx_n & -y_nx_n \\ 0 & 0 & 0 & -x_n & y_n & 1 & x_ny_n & -y_ny_n \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ \dots \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (63)$$

Bilinmeyenler matrisi X;

$N = A^T P A$ ,  $n = A^T P l$  olmak üzere

$$X = N^{-1}n \quad (64)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bilinmeyenler bulunduktan sonra

$$V = AX - l \quad (65)$$

eşitliğinden ortak nokta koordinatlarına getirilecek düzeltmeler hesaplanır.



$$\begin{aligned}
V &= \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{Y_1} \\ \vdots \\ V_{X_n} \\ V_{Y_n} \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x_2 & -y_1x_2 \\ 0 & 0 & 0 & -x_1 & y_1 & 1 & x_1y_2 & -y_1y_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_nx_n & -y_nx_n \\ 0 & 0 & 0 & -x_n & y_n & 1 & x_ny_n & -y_ny_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \quad (66)
\end{aligned}$$

Fonksiyonel model kullanılarak ortak nokta koordinatlarına getirilecek düzeltmeler hesaplanır. Dolaylı ölçüler dengelemesine göre karesel ortalama hesabı;

$$m_o = \mp \sqrt{\frac{[VPV]}{2n - 8}} \quad (67)$$

Bilinmeyenlerin ortalama hatası;

$$\begin{aligned}
m_{a_1} &= \pm m_o \sqrt{q_{a_1 a_1}} & m_{a_2} &= \pm m_o \sqrt{q_{a_2 a_2}} & m_{a_3} &= \pm m_o \sqrt{q_{a_3 a_3}} \\
m_{b_1} &= \pm m_o \sqrt{q_{b_1 b_1}} & m_{b_2} &= \pm m_o \sqrt{q_{b_2 b_2}} & m_{b_3} &= \pm m_o \sqrt{q_{b_3 b_3}} \\
m_{c_1} &= \pm m_o \sqrt{q_{c_1 c_1}} & m_{c_2} &= \pm m_o \sqrt{q_{c_2 c_2}} & & 
\end{aligned} \quad (68)$$

#### 1.8.4. İki Boyutlu Polinom Dönüşüm

Benzerlik dönüşümünün uygun sonuçlar vermediği veya distorsiyonlu ağlar için alternatif olabilecek bir yöntemdir. Polinom dönüşümünün hangi durumlarda kullanılacağı ağın yapısına ve seçilen polinom derecesine bağlıdır (Soycan, 2002).

$$\begin{aligned}
X &= a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 y^2 + a_5 xy + \dots \\
Y &= b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 y^2 + b_5 xy + \dots
\end{aligned} \quad (69)$$

x, y: 1. koordinat sistemi,  
X,Y: 2. koordinat sistemi

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  polinom katsayıları her iki sistem de koodinatlari bilinen ortak noktalar kullanılarak hesaplanabilir. Minumum ortak nokta sayısı birinci derece polinom için dört, ikinci derece polinom için altı ve üçüncü derece polinom için on'dur. Eğer ortak nokta sayısı polinom katsayılarından fazla olması durumunda dönüşüm parametreleri en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & y_1^2 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & y_1^2 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & y_2^2 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & y_2^2 & x_2 & y_2 \\ \dots & & & & & & \\ \dots & & & & & & \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & y_n^2 & x_n & y_n \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & y_n^2 & x_n & y_n \end{bmatrix} L = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ x_2 \\ y_2 \\ \dots \\ \dots \\ x_n \\ y_n \end{bmatrix} X = \begin{bmatrix} a_0 \\ b_0 \\ a_1 \\ b_1 \\ \dots \\ \dots \\ a_q \\ b_q \end{bmatrix} \quad (70)$$

Bilinmeyenler matrisi X;  $N = A^T P A$ ,  $n = A^T P l$  olmak üzere

$$X = N^{-1} n \quad (71)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bilinmeyenler bulunduktan sonra

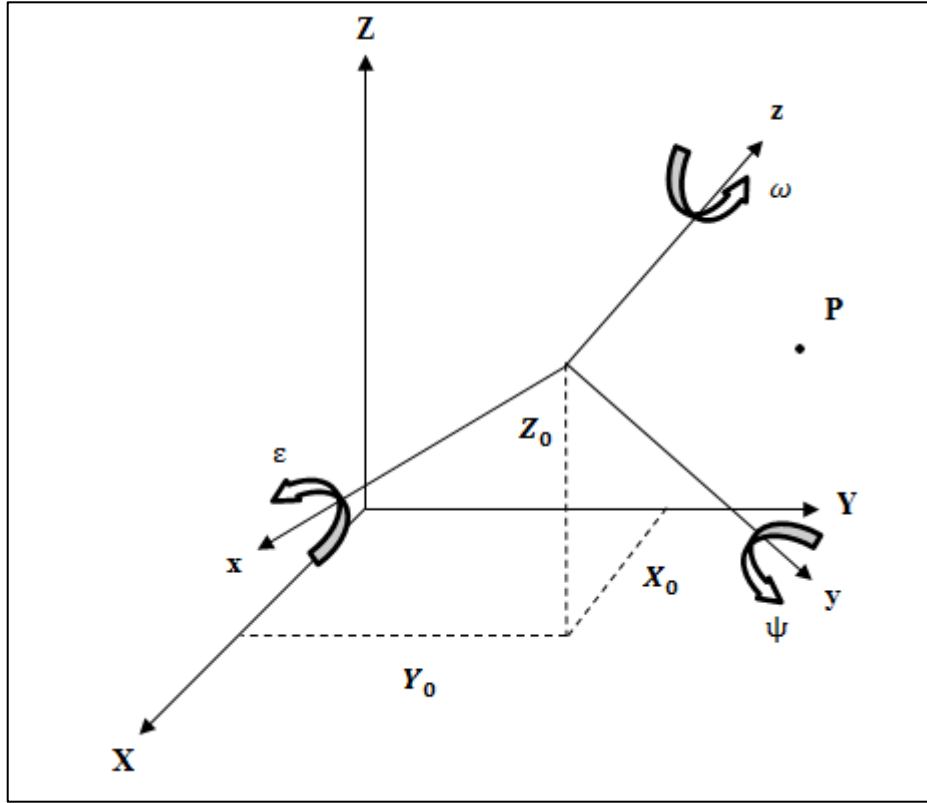
$$V = AX - l \quad (72)$$

karesel ortalama hesabı;

$$m_o = \mp \sqrt{\frac{[VPV]}{2n - u}} \quad (73)$$

n: Ortak nokta sayısı, u: Polinom katsayıları sayısıdır.

### 1.8.5. Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümü



Şekil 12. Üç boyutlu dönüşüm

GPS çalışmalarında ve fotogrametri de kullanılan, 7 parametrelilik dönüşüm olarak da bilinen üç boyutlu benzerlik dönüşümü ile  $(x, y, z)$  sisteminden diğer üç boyutlu  $(X, Y, Z)$  sistemine noktaların koordinatları dönüştürülür. Üç boyutlu benzerlik dönüşümünde; üç dönüklük açısı, üç öteleme elemanı, bir ölçek faktörü olmak üzere toplam yedi parametre vardır. Dönüklük matrisi iki sistem arası iki boyutlu dönüklüklerden yararlanılarak oluşturulur. Uzaydaki bir P noktasının birinci sistem koordinatları  $(x, y, z)$  ile ikinci sistem koordinatları arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

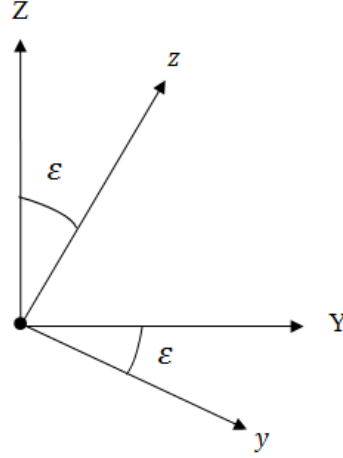
$X = T + SDx$  formülü ile tanımlanır.

$T = (X_0, Y_0, Z_0)$  : Öteleme parametreleri

$D = (\varepsilon, \psi, \omega)$  : Dönüklük parametreleri

$D$  dönüklük matrisi, ardışık olarak gerçekleşen üç dönüklüğün bir sonucudur.

- ❖  $(x, y, z)$  sistemi  $x$  eksenini etrafında şekildeki gibi  $\varepsilon$  kadar döndürülürse;



Şekil 13.  $\varepsilon$  dönüklüğü

$x$  ekseninin konumunda bir değişme olmamakta, diğer eksenlerin konumları ;

$$y' = y \cos \varepsilon + z \sin \varepsilon \quad (74)$$

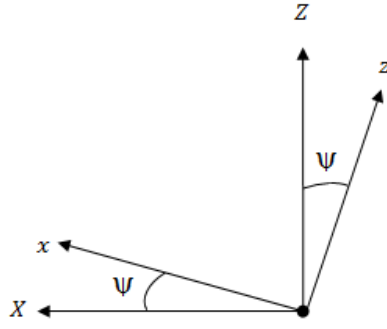
$$z' = z \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon$$

Matris gösterimi;

$$\begin{bmatrix} x \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon & \sin \varepsilon \\ 0 & -\sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = D(\varepsilon) \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (75)$$

şeklindedir.

- ❖  $(x, y, z)$  sistemi  $y'$  eksenini etrafında şekildeki gibi  $\psi$  kadar döndürülürse;

Şekil 14.  $\psi$  dönüklüğü

$y$  ekseninin konumunda bir değişme olmamakta, diğer eksenlerin konumları;

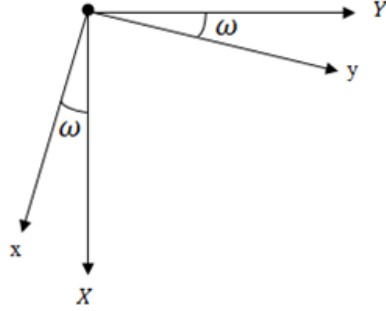
$$\begin{aligned} x' &= x \cos \psi - z' \sin \psi \\ z' &= x \sin \psi - z' \cos \psi \end{aligned} \quad (76)$$

Matris gösterimi;

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & \sin \psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \psi & 0 & \cos \psi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = D(\psi) \cdot \begin{bmatrix} x \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad (77)$$

şeklindedir.

❖  $(x, y, z)$  sistemi  $z''$  eksenini etrafında şekildeki gibi  $\psi$  kadar döndürülürse;



Şekil 15.  $\omega$  dönüklüğü

$$\begin{aligned} y'' &= y' \cos \omega - x' \sin \omega \\ x'' &= x' \cos \omega + y' \sin \omega \end{aligned} \quad (78)$$

Matris gösterimi;

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega & \sin \omega & 0 \\ -\sin \omega & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z'' \end{bmatrix} = D(\omega) \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z'' \end{bmatrix} \quad (79)$$

Bu şekilde  $(x, y, z)$  koordinat eksenleri  $(X, Y, Z)$  koordinat eksenleri çakıştırılmış ve noktaların  $(x, y, z)$  sistemdeki koordinatları  $(x'', y'', z'')$  şeklinde değiştirilerek  $(X, Y, Z)$  sistemine dönüştürülmüş olur (Karaali,1999).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = D(\varepsilon) \cdot D(\psi) \cdot D(\omega) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (80)$$

Elde edilen tüm dönüklük matrisleri çarpıldığında dönüşüm için tek bir dönüklük matrisi elde edilir.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \quad (81)$$

$$\begin{aligned} d_{11} &= \cos\psi \cos\omega \\ d_{12} &= \sin\varepsilon \sin\psi \cos\omega + \cos\varepsilon \sin\omega \\ d_{13} &= -\cos\varepsilon \sin\psi \cos\omega + \sin\varepsilon \sin\omega \\ d_{21} &= -\cos\psi \sin\omega \\ d_{22} &= -\sin\varepsilon \sin\psi \sin\omega + \cos\varepsilon \cos\omega \\ d_{23} &= \cos\varepsilon \sin\psi \sin\omega + \sin\varepsilon \cos\omega \\ d_{31} &= \sin\psi \\ d_{32} &= -\sin\varepsilon \cos\psi \\ d_{33} &= \cos\varepsilon \cos\psi \end{aligned} \quad (82)$$

Sonuç olarak genel dönüşüm bağıntısı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + S \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (83)$$

Jeodezik uygulamalarda iki koordinat sistemi arasındaki dönmelerde bazı kabuller yapılarak;

$$\begin{aligned} \cos \varepsilon &\cong \cos \psi \cong \cos \omega \cong 1 \\ \sin \varepsilon &\cong \varepsilon \\ \sin \psi &\cong \psi \\ \sin \omega &\cong \omega \\ \sin \varepsilon \sin \psi &\cong \sin \varepsilon \sin \omega \cong \sin \psi \sin \omega \cong 0 \end{aligned}$$

$D$  dönüklük matrisi;

$$\begin{bmatrix} 1 & \omega & -\psi \\ -\omega & 1 & \varepsilon \\ \psi & -\varepsilon & 1 \end{bmatrix} \quad (84)$$

şeklinde yazılabilir. Üç boyutlu genel dönüşüm formülü yedi bilinmeyen içermektedir. Çözüm için yedi eşitliğin yazılması yani her iki sistemde de koordinatları bilinen üç nokta gereklidir. Gereğinden fazla noktanın koordinatları biliniyor ise çözüm EKKY' ne göre hesaplanır. Dönüşüm parametrelerinin belirlenmesinde ilk olarak dönüklük parametreleri  $(X_0, Y_0, Z_0)$  elimine edilerek sonuca ulaşılabilir. Bu nedenle her iki sistemde bulunan  $n$  sayıdaki ortak nokta koordinatlarından ağırlık merkezinin her iki sistemdeki koordinatları;

$$\begin{aligned} X_s &= \frac{[X]}{n}, Y_s = \frac{[Y]}{n}, Z_s = \frac{[Z]}{n} \\ x_s &= \frac{[x]}{n}, y_s = \frac{[y]}{n}, z_s = \frac{[z]}{n} \end{aligned} \quad (85)$$

şeklinde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + SD \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} \quad (86)$$

yazılabilir. Öteleme parametreleri eşitliğin sol tarafına çekildiğinde;

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} - SD \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} \quad (87)$$

eşitliği elde edilir. Genel dönüşüm bağıntısında  $(x_s, y_s, z_s)$  ve  $(X_0, Y_0, Z_0)$  bilinenleri yerine konulduğunda;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} - SD \begin{bmatrix} X_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} + SD \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (88)$$

bağıntısı elde edilir. Buradan;

$$\begin{bmatrix} X - X_s \\ Y - Y_s \\ Z - Z_s \end{bmatrix} = SD \begin{bmatrix} x - x_s \\ y - y_s \\ z - z_s \end{bmatrix} \quad (89)$$



olup,

$$\begin{aligned}
 X - X_S &= \bar{X} \quad ; \quad x - x_S = \bar{x} \\
 Y - Y_S &= \bar{Y} \quad ; \quad y - y_S = \bar{y} \\
 Z - Z_S &= \bar{Z} \quad ; \quad z - z_S = \bar{z}
 \end{aligned} \tag{90}$$

kısaltma formüllerini kullanarak,

$$\begin{bmatrix} \bar{X}_i \\ \bar{Y}_i \\ \bar{Z}_i \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_i \\ \bar{y}_i \\ \bar{z}_i \end{bmatrix} \tag{91}$$

veya

$$\begin{aligned}
 \bar{X}_i &= S(d_{11}x + d_{21}y + d_{31}z) + T_x \\
 \bar{Y}_i &= S(d_{12}x + d_{22}y + d_{32}z) + T_y \\
 \bar{Z}_i &= S(d_{13}x + d_{23}y + d_{33}z) + T_z
 \end{aligned} \tag{92}$$

şeklinde yazılabilir. (92) eşitlikleri (81) bağıntısı dikkate alınıp bağıntıya Taylor seri açılımı yapılarak ve bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri dikkate alınarak doğrusallaştırılır. Bilinmeyenlere göre kısmi türevler;

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \varepsilon_0 + d\varepsilon \\
 \psi &= \psi_0 + d\psi \\
 \omega &= \omega_0 + d\omega \\
 S &= S_0 + dS
 \end{aligned} \tag{93}$$

şeklinde seçilen yaklaşık değerleri;

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial x}{\partial S} &= \bar{x}_i \cos \psi_0 \cos \omega_0 + \bar{y}_i (\sin \varepsilon_0 \sin \psi_0 \cos \omega_0 + \cos \varepsilon_0 \sin \omega_0) \\
 &\quad + \bar{z}_i (\cos \varepsilon_0 \sin \psi_0 \cos \omega_0 - \sin \varepsilon_0 \sin \omega_0) = a_{i1}
 \end{aligned} \tag{93}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial S} &= -\bar{x}_i \cos \psi_0 \sin \omega_0 + \bar{y}_i (-\sin \varepsilon_0 \sin \psi_0 \sin \omega_0 + \cos \varepsilon_0 \cos \omega_0) \\ &\quad + \bar{z}_i (\cos \varepsilon_0 \sin \psi_0 \sin \omega_0 + \sin \varepsilon_0 \cos \omega_0) = a_{i5} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial z}{\partial S} = \bar{x}_i \sin \psi_0 - \bar{y}_i \sin \varepsilon_0 \cos \psi_0 + \bar{z}_i \cos \varepsilon_0 \cos \psi_0 = a_{i9}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial \varepsilon} &= S[\bar{y}_i (\cos \varepsilon_0 \sin \psi_0 \cos \omega_0 - \sin \varepsilon_0 \sin \omega_0) + \bar{z}_i (\sin \varepsilon_0 \sin \psi_0 \cos \omega_0 \\ &\quad + \cos \varepsilon_0 \sin \omega_0)] = a_{i2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial \varepsilon} &= S[\bar{y}_i (-\cos \varepsilon_0 \sin \psi_0 \sin \omega_0 - \sin \varepsilon_0 \cos \omega_0) \\ &\quad + \bar{z}_i (-\sin \varepsilon_0 \sin \psi_0 \sin \omega_0 + \cos \varepsilon_0 \cos \omega_0)] = a_{i6} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial z}{\partial \varepsilon} = S[-\bar{y}_i (\cos \varepsilon_0 \cos \psi_0) - \bar{z}_i (\sin \varepsilon_0 \cos \psi_0)] = a_{i10}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial \psi} &= S[-\bar{x}_i \sin \psi_0 \cos \omega_0 + \bar{y}_i \sin \varepsilon_0 \cos \psi_0 \cos \omega_0 \\ &\quad - \bar{z}_i \cos \psi_0 \cos \varepsilon_0 \cos \omega_0] = a_{i3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial \psi} &= S[(\bar{x}_i \sin \psi_0 \sin \omega_0 - \bar{y}_i \sin \varepsilon_0 \cos \psi_0 \sin \omega_0 \\ &\quad + \bar{z}_i \cos \varepsilon_0 \cos \psi_0 \sin \omega_0)] = a_{i7} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial z}{\partial \psi} = S[\bar{x}_i \cos \psi_0 + \bar{y}_i \sin \varepsilon_0 \sin \psi_0 - \bar{z}_i \cos \varepsilon_0 \sin \psi_0] = a_{i11}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial \omega} &= S[-\bar{x}_i \sin \omega_0 \cos \psi_0 + \bar{y}_i (\cos \varepsilon_0 \cos \omega_0 - \sin \varepsilon_0 \sin \psi_0 \sin \omega_0) \\ &\quad + \bar{z}_i (\sin \varepsilon_0 \cos \omega_0 + \cos \varepsilon_0 \sin \omega_0 \sin \psi_0)] = a_{i4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial \omega} &= S[-\bar{x}_i \cos \psi_0 \cos \omega_0 + \bar{y}_i (-\cos \varepsilon_0 \sin \omega_0 - \sin \varepsilon_0 \sin \psi_0 \cos \omega_0) \\ &\quad + \bar{z}_i (-\sin \varepsilon_0 \sin \omega_0 + \cos \varepsilon_0 \cos \omega_0 \sin \psi_0)] = a_{i8} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial z}{\partial \omega} = 0 = a_{i12}$$

Yukarıdaki türevler, iki koordinat sisteminde bulunan ortak nokta nokta için yazılması gerekmektedir (i= Nokta sayısı).

$$A = \begin{bmatrix} a_{i1} & a_{i2} & a_{i3} & a_{i4} \\ a_{i5} & a_{i6} & a_{i7} & a_{i8} \\ a_{i9} & a_{i10} & a_{i11} & a_{i12} \end{bmatrix} \quad (94)$$

Katsayılar matrisi elde edildikten sonra öncül değerler ile kapanmalar,

$$\begin{aligned}
lx_i &= \bar{X}_i - S[\bar{x}_i \cos\psi_0 \cos\omega_0 + \bar{y}_i(\cos\psi_0 \sin\omega_0 \\
&\quad + \cos\omega_0 \sin\psi_0 \sin\varepsilon_0) + \bar{z}_i(\sin\varepsilon_0 \sin\omega_0 \\
&\quad - \cos\omega_0 \sin\psi_0 \cos\varepsilon_0)] \\
ly_i &= \bar{Y}_i - S[-\bar{x}_i \cos\psi_0 \sin\omega_0 \\
&\quad + \bar{y}_i(\cos\varepsilon_0 \cos\omega_0 - \sin\varepsilon_0 \sin\omega_0 \sin\psi_0) \\
&\quad + \bar{z}_i(\sin\varepsilon_0 \cos\omega_0 + \cos\varepsilon_0 \cos\omega_0 \sin\psi_0)] \\
lz_i &= \bar{Z}_i - S[\bar{x}_i \sin\psi_0 - \bar{y}_i \sin\varepsilon_0 \cos\psi_0 + \bar{z}_i \cos\varepsilon_0 \cos\psi_0]
\end{aligned} \tag{95}$$

bağıntılar ile elde edilir. Düzeltmeler;

$$\begin{aligned}
V_{x_i} &= a_{i1}dS + a_{i2}d\varepsilon + a_{i3}d\psi + a_{i4}d\omega - lx_i \\
V_{y_i} &= a_{i5}dS + a_{i6}d\varepsilon + a_{i7}d\psi + a_{i8}d\omega - ly_i \\
V_{z_i} &= a_{i9}dS + a_{i10}d\varepsilon + a_{i11}d\psi + a_{i12}d\omega - lz_i
\end{aligned} \tag{96}$$

şeklinde ifade edilir. EKKY ile dengeleme yapılır. Elde edilen küçültülmüş parametre değerleri öncül parametre değerini eklenerek bilinmeyenler (93)' e göre hesaplanır. Sonuç olarak dönüklük parametreleri ve ölçek faktörü dengelemeli olarak bulunmuş olur. Daha sonra öteleme faktörleri ilgili formülde yerine konarak bulunur. Bütün bilinmeyenler bulunduktan sonra dönüşümün genel bağlantısı ile yeni noktaların dönüşüm hesabı yapılabilir.

### 1.8.6.Coğrafi Koordinatlardan Sağa Yukarı Değerlerin Hesaplanması

Türkiye 1/25.000 ve daha küçük ölçekli haritalar için 6° lik dilim genişliği, 1/5.000 ve daha küçük ölçekli haritalar için 3° lik dilim genişliği kullanmaktadır. Bazı uygulamalarda dilimler arası dönüşüm problemi ile karşılaşmaktadır. Bu durum coğrafi koordinatların UTM projeksiyon koordinatlarına dönüştürülmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Coğrafi koordinatlardan UTM projeksiyon koordinat sistemine geçmeden önce coğrafi koordinat sisteminden Gauss-Krüger koordinat sistemine dönüşüm yapılır.

Ardından isteğe bağlı üç derecelik ve altı derecelik sistemlere dönüşüm aşağıdaki formüller yardımı ile gerçekleştirilir. Üç derecelik dilimde koordinatlar için;

$$\begin{aligned}
 l &= L - L_0 \\
 \eta^2 &= e'^2 \cos^2 B \\
 V &= \sqrt{1 + \eta^2}
 \end{aligned} \tag{97}$$

$$\begin{aligned}
 N &= c / V \\
 t &= \tan B \\
 A_1 &= N \cos B / \rho \\
 A_2 &= N \cos^2 B t / (2\rho^2) \\
 A_3 &= N \cos^3 B (1 - t^2 + \eta^2) / (6\rho^3) \\
 A_4 &= N \cos^4 B (5 - t^2 + 9\eta^2) / (24\rho^4) \\
 A_5 &= N \cos^5 B (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) / (120\rho^5) \\
 A_6 &= N \cos^6 B t (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^2 t^2) / (720\rho^6) \\
 A_7 &= N \cos^7 B t (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) / (5040\rho^7) \\
 A_8 &= N \cos^8 B t (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6) / (40320\rho^8)
 \end{aligned} \tag{98}$$

Yukarıda verilen katsayılar çoğunlukla  $A_5$  katsayısına kadar kullanılır. Özellikle  $3^\circ$  dilim genişlikli Gauss-Krüger koordinatlarının hesabında  $A_6, A_7, A_8$  katsayılarını kullanılmasına gerek yoktur.  $A_6, A_7, A_8$  katsayılarının kullanımı  $6^\circ$  dilim genişlikli Gauss-Krüger koordinatlarının hesabında, özellikle Güney enlem değerlerinde  $|\Delta L| \geq 2.7^\circ$  olduğunda hesap inceliğini artırır. Ekvatordan B enlemine kadar olan meridyen yay uzunluğu G ise;

$$\begin{aligned}
 G &= 111136.53666 B - 16107.03468 \sin 2B \\
 &+ 16.97621 \sin 4B + 0.02227 \sin 6B + \dots
 \end{aligned} \tag{99}$$

formülü ile elde edilir. Gauss-Krüger koordinatları;

$$\begin{aligned}
 x_g &= G + A_2 l^2 + A_4 l^4 + \dots \\
 y_g &= A_1 l + A_3 l^3 + A_5 l^5 + \dots
 \end{aligned} \tag{100}$$

Üç derecelik dilimde koordinatlar için (UTM);

$$\begin{aligned} X_{3drc} &= x_g \times m_0 \\ Y_{3drc} &= y_g \times m_0 + 500000 \text{ m. } (m_0=1) \end{aligned} \quad (101)$$

Altı derecelik dilimde koordinatlar için (UTM);

$$\begin{aligned} X_{6drc} &= x_g \times m_0 \\ Y_{6drc} &= y_g \times m_0 + 500000 \text{ m. } (m_0=0.9996) \end{aligned} \quad (102)$$

### 1.8.7.Sağa Yukarı Değerlerden Coğrafi Koordinatlara Dönüşüm

Sağa yukarı değerlerden coğrafi koordinatlara dönüşüm için ilk olarak Gauss-Krüger koordinat değerlerinin bulunması gerekir.

$$\begin{aligned} x_g &= X/m_0 \\ y_g &= (Y - 500000 \text{ m.})/m_0 \end{aligned} \quad (103)$$

$$\begin{aligned} B_1 &= \rho / N_f \cos B_f \\ B_2 &= \rho t_f (-1 - \eta_f^2) / 2 N_f \\ B_3 &= \rho t_f (-1 - 2t_f^2 - \eta_f^2) / 2 (6N_f^3 \cos B_f) \\ B_4 &= \rho t_f (5 + 3t_f^2 + 6\eta_f^2 - 6t_f^2 \eta_f^2) / (24 N_f^4) \\ B_5 &= \rho (5 + 28t_f^2 + 24t_f^4) / (120 N_f^5 \cos B_f) \\ B_6 &= \rho t_f (-61 - 90t_f^2 - 45t_f^4 - 107\eta_f^2 + 162\eta_f^2 t_f^2 \\ &\quad + 45\eta_f^2 t_f^4) / (720 N_f^6) \\ B_7 &= \rho (-61 - 662t_f^2 - 1320t_f^4 - 720t_f^6) / (5040 N_f^7 \cos B_f) \\ B_8 &= \rho t_f (1385 + 3633t_f^2 + 4095t_f^4 + 1575t_f^6) / (120 N_f^5 \cos B_f) \end{aligned} \quad (104)$$

Yukarıda verilen katsayılar çoğunlukla  $B_5$  katsayısına kadar kullanılır. Özellikle  $3^\circ$  dilim genişlikli Gauss-Krüger koordinatlarının hesabında  $B_6, B_7, B_8$  katsayılarını

kullanılmasına gerek yoktur.  $6^\circ$  lik dilimlerde ve güney enlem değerleri ile hesap yaparken  $|y| \geq 200 \text{ Km}$  değerlerinde  $B_6, B_7, B_8$  katsayılarının kullanılması hesap inceliğini artırabilir (Kaya,1999). Noktanın Gauss-Krüger koordinatları bulunduktan sonra ayak noktası enlemi bulunur.

$$\sigma = G/A'$$

$B_f$  : Ayak noktası enlemi;

$$B_f = \sigma + B'' \sin 2\sigma + C'' \sin 4\sigma + D'' \sin 6\sigma + \dots \quad (105)$$

$x = G$  meridyen yayını gören enlem değeri olarak hesaplanır.

$$t_f = \tan B_f$$

$$\eta_f^2 = e'^2 \cos^2 B_f$$

$$V_f = \sqrt{1 + \eta_f^2} \quad (106)$$

$$N_f = c / V_f$$

$$B = B_f + B_2 y^2 + B_4 y^4$$

$$L = L_0 + B_1 y + B_3 y^3 + B_5 y^5 \quad (107)$$

Böylece UTM sisteminde sağa ve yukarı değerleri verilen bir noktanın coğrafi koordinatları B enlem değeri ve L boylam değeri bulunmuş olur.

### 1.8.8. TUTGA Noktalarının Hız Kestirimi

TUTGA noktalarının hızlarının kestirilmesinde genellikle ağırlıklı ortalama, yüzey polinomu ve en küçük karelerle kolokasyon yöntemleri kullanılır (Demir vd., 2000). Verdiği uygun sonuçlar nedeniyle ağırlıklı ortalama yönteminde p kestirim noktasındaki  $\bar{V}_p$  hız bileşeni, ölçü noktalarındaki  $v_i$  değerlerinden yararlanarak;

$$\bar{V}_p = \frac{\sum_{i=1}^n w_i v_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (108)$$

eşitliği hesaplanır.  $w_i$  ağırlık fonksiyonu kestirim noktası ile ölçü noktası arasındaki mesafeye bağlı olarak belirlenir.

$$w_i = 1/d_i \quad (109)$$

Hız kestirimi için kullanılan diğer yöntem lineer interpolasyon yöntemidir. Hızları bilinen noktaların oluşturduğu üçgen yardımıyla, üçgenin içinde kalan nokta veya noktaların hızları bu üç nokta ile bulunabilir. Bu üçgende; üç noktanın projeksiyon koordinatları  $(Y_1, X_1)$ ,  $(Y_2, X_2)$ ,  $(Y_3, X_3)$  ve hızları  $(V_x, V_y, V_z)$  bilinmelidir. Üçgenin içindeki bir noktanın  $(Y_p, X_p)$  hızları;

$$\begin{aligned} V_{p_{x,y,z}} = & \frac{(X_2 - X_p)(Y_3 - Y_2)(Y_2 - Y_p)(X_3 - X_2)}{(X_2 - X_1)(Y_3 - Y_2)(Y_2 - Y_1)(X_3 - X_2)} V_{1_{x,y,z}} \\ & + \frac{(X_3 - X_p)(Y_1 - Y_3)(Y_3 - Y_p)(X_1 - X_3)}{(X_3 - X_2)(Y_1 - Y_3)(Y_3 - Y_2)(X_1 - X_3)} V_{2_{x,y,z}} \\ & + \frac{(X_1 - X_p)(Y_2 - Y_1)(Y_1 - Y_p)(X_2 - X_1)}{(X_1 - X_3)(Y_2 - Y_1)(Y_1 - Y_3)(X_2 - X_1)} V_{3_{x,y,z}} \end{aligned} \quad (110)$$

formülü ile bulunur. Üç veya daha fazla nokta yardımıyla hız kestirimi yapılabilir.

$$V_{(x,y)} = A + B_y + C_x \quad (111)$$

iki değişkenli polinom formülünde;

$$A = \begin{bmatrix} 1 & Y_1 & X_1 \\ 1 & Y_2 & X_2 \\ 1 & Y_3 & X_3 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & Y_n & X_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} \quad (112)$$

olmak üzere, en küçük kareler yöntemine göre;

$$\underline{X}_{X,Y,Z} = (A^T A)^{-1} A^T V_{X,Y,Z} \quad (113)$$

ile  $A$ ,  $B$ ,  $C$  katsayıları bulunur,

$$V_{X,Y,Z} = A_{X,Y,Z} + B_{X,Y,Z} Y + C_{X,Y,Z} X \quad (114)$$

formülünde hızı kestirilecek noktanın projeksiyon koordinatları yerlerine yazılarak noktanın hız kestirimi yapılır.



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Yazılım

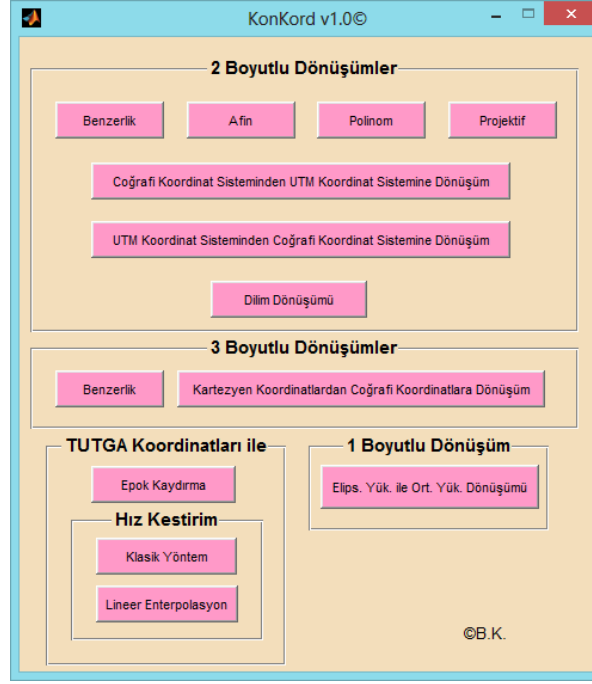
Bu tez çalışmasında ara yüz geliştirme ortamı olarak MATLAB(MATrix LABoratory) kullanılmıştır. 1970' lerin sonunda Cleve Moler tarafından yazılan program birçok meslek disiplini tarafından kullanılmaktadır. Yüksek seviye bir teknik bilgisayar programı olan MATLAB programının temel özellikleri;

- ❖ Programın arka planında yer alan fonksiyon kütüphanesi kullanıcıya vakit kazandırmaktadır,
- ❖ Sinyal ve görüntü işleme, aygıt denetleme, lineer veya lineer olmayan kontrol sistemleri dizaynı, yapay sinir ağları modelleme, bulanık mantık gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir,
- ❖ Kod, dosya ve bilgi düzenleme için geliştirme ortamı içerir,
- ❖ Bilgi görselleştirme için 2D ve 3D grafik fonksiyonları içerir,
- ❖ Grafikselleştirme kullanıcı ara yüzü geliştirme eklentisi, MATLAB kullanıcılarına teknik veri işleme ve görüntüleme imkanı sağlar.

MATLAB grafikselleştirme kullanıcı ara yüzü, diğer söylemi ile MATLAB GUI, her bireyin rahatça grafik tabanlı uygulama hazırlamasında kolaylık sağlar (URL-4).

## 2.2.Uygulama Programlarının Tanıtılması

Programı çalıştırmak için ilk olarak bilgisayarın C:/ sürücüsünün içine programın ‘exe’ uzantılı dosyanın atılması gerekmektedir. ‘Konkord.exe’ dosyası tıklandığında Şekil 16 ‘ da görülen başlangıç ara yüzü ile karşılaşılır.



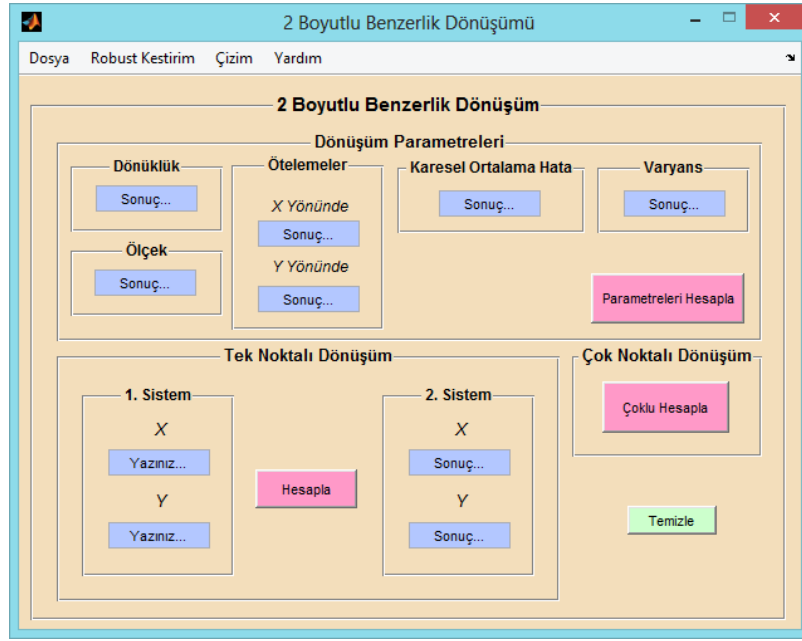
Şekil 16. Uygulama programının başlangıç ara yüzü

Açılan ara yüzde 2 boyutlu dönüşüm, 3 boyutlu dönüşüm ve TUTGA koordinatları ile epok kaydırma ve hız kestirim, elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arası dönüşüm uygulamaları yer almaktadır.

### 2.2.1.İki Boyutlu Koordinat Dönüşümleri

İki boyutlu koordinat dönüşümü panelinde aşağıdaki dönüşüm modelleri yer almaktadır.

- ❖ İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar bilinmiyor)



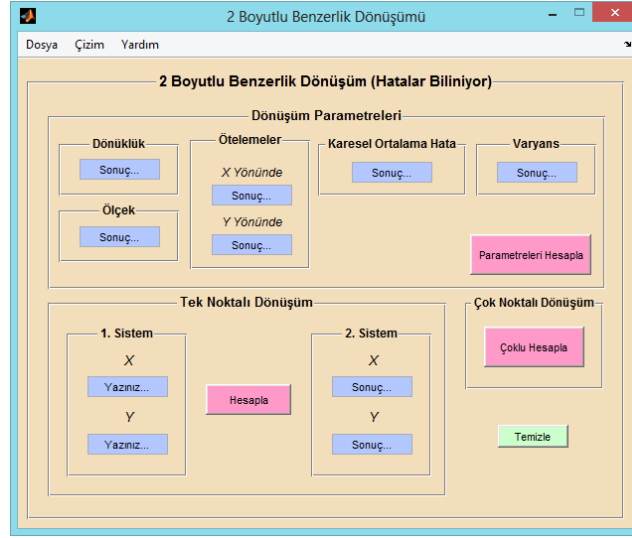
Şekil 17. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar bilinmiyor) ara yüzü

Parametreleri hesaplamak için ilk olarak 'Dosya' sekmesinde bulunan 'Koordinat Verilerini Yükle' butonuna tıklanarak koordinat verileri yüklenir. Sonrasında ara yüzde yer alan 'Parametreleri Hesapla' butonuna tıklanarak dönüşüm parametreleri hesaplanır. Dönüşüm parametreleri robust kestirim yöntemleri ile de elde edilebilir. Koordinat verileri yüklenir ve hangi kestirim yöntemi kullanılmak isteniyorsa o yöntem seçilerek parametreler hesaplatılır. Elde edilen dönüşüm parametreleri 'Dosya' sekmesinden 'Dönüşüm Parametrelerini Kaydet' butonu tıklanarak kaydedilebilir.

Tek noktalı dönüşüm için dönüşüm parametrelerini sisteme yüklemek gerekir. Dosya sekmesinden 'Dönüşüm Parametrelerini Yükle' butonuna tıklanarak dönüşüm parametreleri yüklenir. Girdi yerlerine koordinat verileri yazılır, hesapla butonuna tıklanarak 1. sistemindeki koordinat değerinin 2. koordinat sistemindeki değeri elde edilmiş olunur. Koordinat verileri birden çok ise ilk olarak koordinat verileri ve dönüşüm

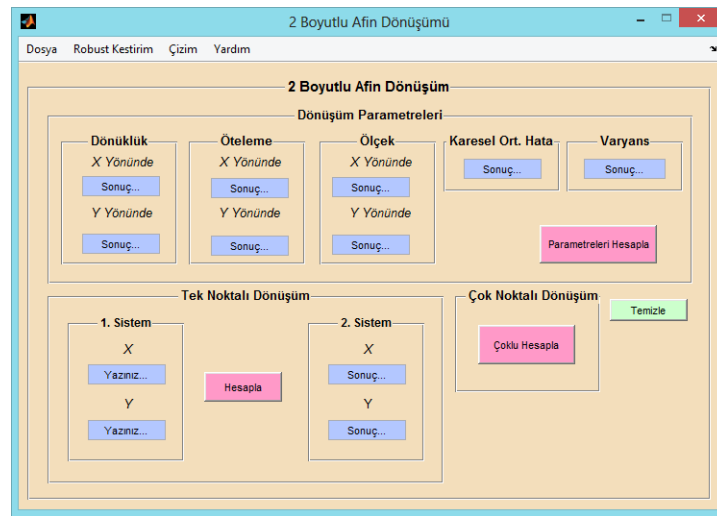
parametreleri yüklenir, 'Çoklu Hesapla' butonuna tıklayarak işlem gerçekleştirilir. Dönüşüm sonrası rapor almak için 'Dosya' sekmesinden 'Rapor Al' butonuna tıklanarak alınır. 'Çizim' sekmesinden dönüşümde kullanılan ortak noktaların dağılımları görülebilir. Yardım sekmesinden ara yüz hakkında bilgi alınabilir.

❖ İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar biliniyor)



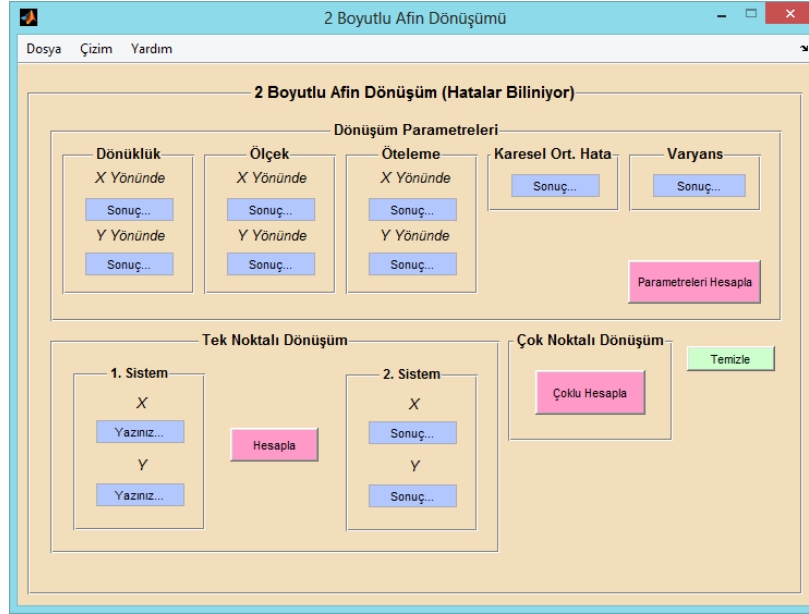
Şekil 18. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar biliniyor) ara yüzü

❖ İki boyutlu afin dönüşümü (hatalar bilinmiyor)



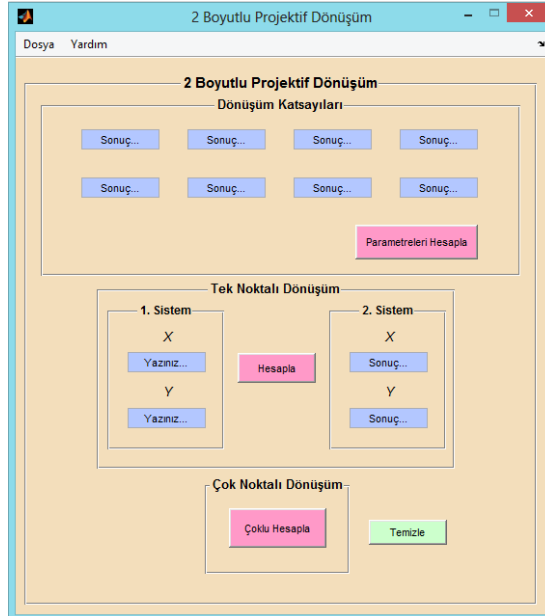
Şekil 19. İki boyutlu afin dönüşümü (hatalar bilinmiyor) ara yüzü

## ❖ İki boyutlu afin dönüşümü (hatalar biliniyor)



Şekil 20. İki boyutlu afin dönüşümü (hatalar biliniyor) ara yüzü

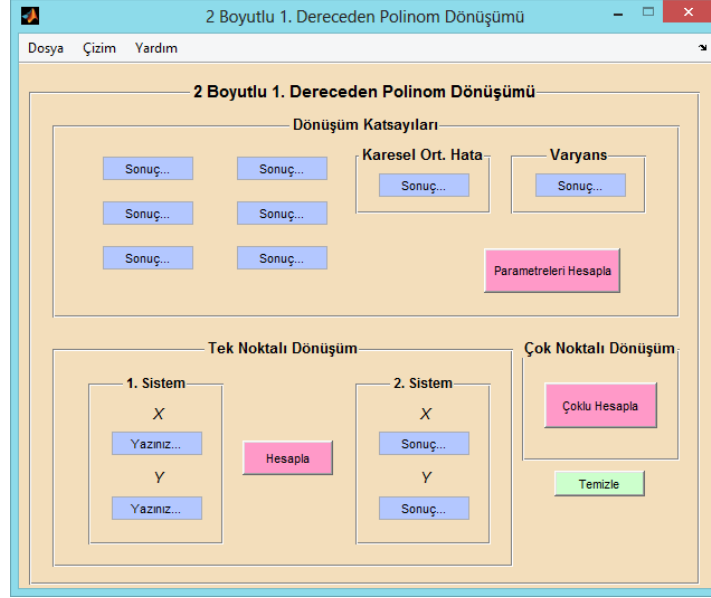
## ❖ İki boyutlu projektif dönüşüm



Şekil 21. İki boyutlu projektif dönüşüm ara yüzü

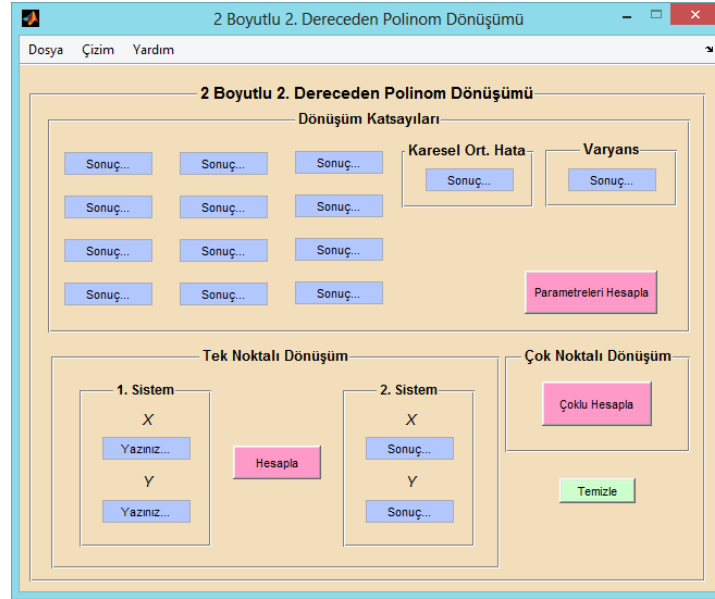
❖ Polinom dönüşümü

- Birinci dereceden polinom dönüşümü



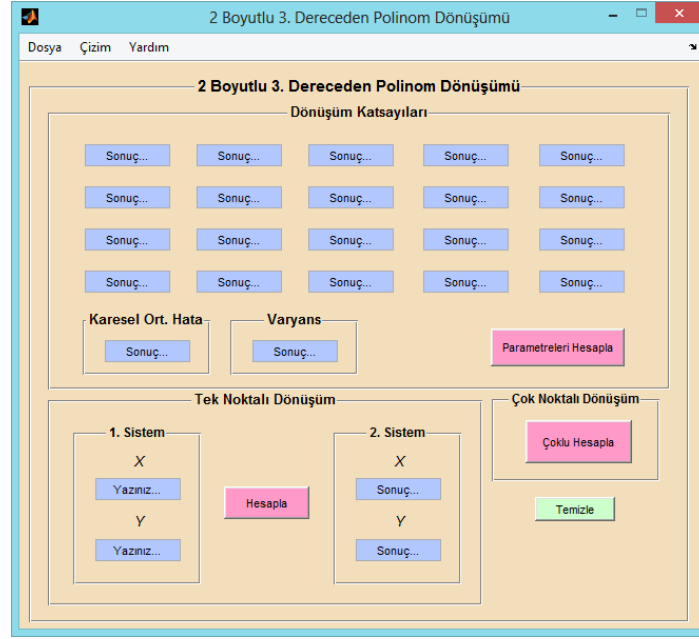
Şekil 22. İki boyutlu birinci dereceden polinom dönüşümü ara yüzü

- İkinci dereceden polinom dönüşümü



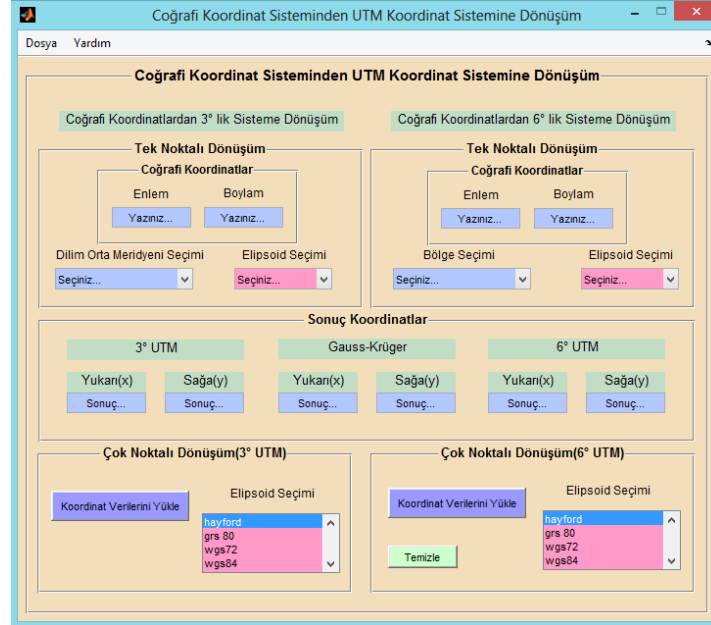
Şekil 23. İki boyutlu ikinci dereceden polinom dönüşümü ara yüzü

- Üçüncü dereceden polinom dönüşümü



Şekil 24. İki boyutlu üçüncü dereceden polinom dönüşümü ara yüzü

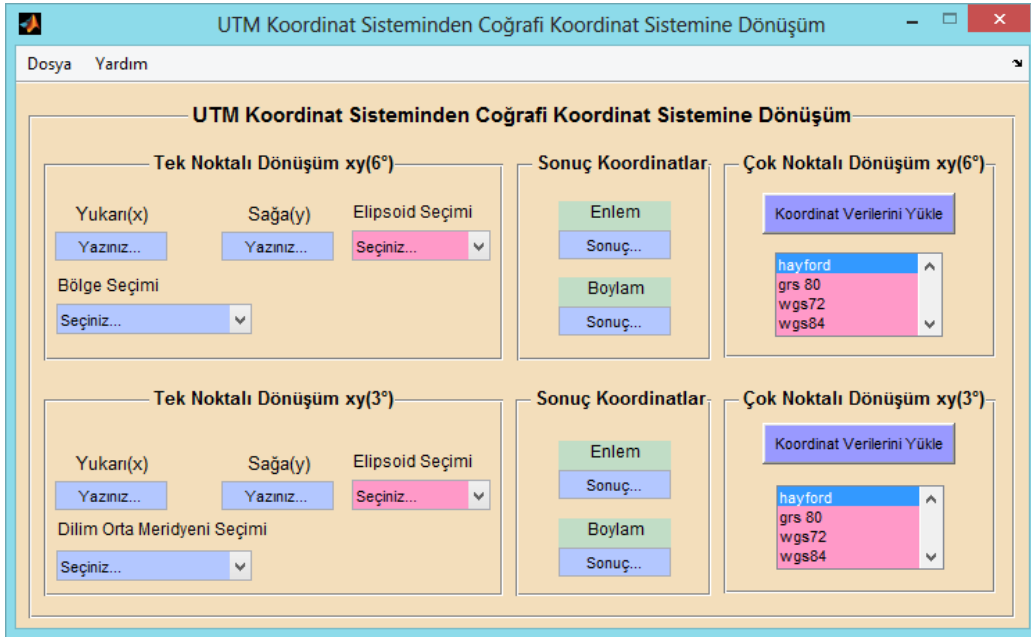
- ❖ Coğrafi koordinat sisteminden UTM koordinat sistemine dönüşüm



Şekil 25. Coğrafi koordinat sisteminden UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzü

Coğrafi koordinatlardan UTM koordinat sistemine dönüşüm işlemi tek noktalı veya çok noktalı olarak gerçekleştirilebilir. Tek noktalı dönüşüm için enlem ve boylam değerleri girdi yerlerine yazılır. 3° 'lik dönüşüm için dilim orta meridyeni, 6° 'lik sisteme dönüşüm için bölge seçimi yapılır. Dönüşüm işlemi elipsoit seçimi ile tamamlanır. Çok noktalı dönüşüm için 'Koordinat Verileri Yükle' butonuna tıklanarak koordinat verileri sisteme yüklenir. Ardından 3° 'lik sisteme dönüşüm için dilim orta meridyeni, 6° 'lik sisteme dönüşüm için bölge seçimi yapılır. Dönüşüm çok noktalı dönüşüm panelinden elipsoit seçimi ile tamamlanır. Yapılan dönüşüm sonrası rapor 'Dosya' sekmesinden 'Rapor Al' butonuna tıklanarak alınır.

❖ UTM koordinat sisteminden coğrafi koordinat sistemine dönüşüm



Şekil 26. UTM koordinat sisteminden coğrafi koordinat sistemine dönüşüm ara yüzü

UTM koordinat sisteminden coğrafi koordinat sistemine dönüşüm işlemi tek noktalı veya çok noktalı olarak gerçekleştirilebilir. Tek noktalı dönüşüm için yukarı ve sağa koordinat değerleri girdi yerlerine yazılır. Yapılan diğer işlem ve sırası coğrafi koordinatlardan UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzü ile aynıdır. Ara yüz dönüşüm sonrası elde edilen coğrafi koordinat değerlerini 'kml' formatına dönüştürerek kullanıcıya Google Earth'te, Google Haritalar'da ve diğer uygulamalarda görüntüleme fırsatı sunmaktadır.



❖ 3° 'lik UTM ve 6° 'lik UTM Koordinatları Arası Dönüşüm

The screenshot shows a software application window titled "3° lik UTM ve 6° lik UTM Kordinatları Arası Dönüşüm". The window has a menu bar with "Dosya" and "Yardım". The main content area is titled "3° lik UTM ve 6° lik UTM Kordinatları Arası Dönüşüm" and is divided into two main sections: "3° lik Sistemden 6° lik Sisteme Dönüşüm" and "6° lik Sistemden 3° lik Sisteme Dönüşüm".

The top section, "3° lik Sistemden 6° lik Sisteme Dönüşüm", contains two sub-sections: "Tek Noktalı Dönüşüm (xy3°)" and "Sonuç Koordinatlar(xy6°)". The "Tek Noktalı Dönüşüm (xy3°)" sub-section has three input fields: "Yukarı(x)" with a "Yazınız..." button, "Sağa(y)" with a "Yazınız..." button, and "Elipsoid Seçimi" with a "Seçiniz..." dropdown menu. Below these is a "Dilim Orta Meridyeni Seçimi" dropdown menu with a "Seçiniz..." button. The "Sonuç Koordinatlar(xy6°)" sub-section has two input fields: "Yukarı(x)" with a "Sonuç..." button and "Sağa(y)" with a "Sonuç..." button. Below these is a "Bölge Seçimi" dropdown menu with a "Seçiniz..." button. A "Temizle" button is located to the right of this section.

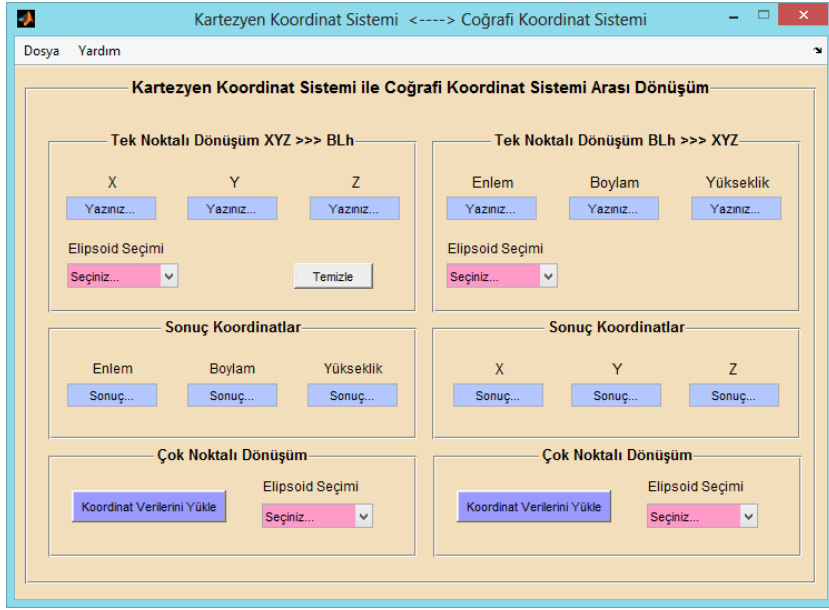
The bottom section, "6° lik Sistemden 3° lik Sisteme Dönüşüm", contains two sub-sections: "Tek Noktalı Dönüşüm (xy6°)" and "Sonuç Koordinatlar(xy3°)". The "Tek Noktalı Dönüşüm (xy6°)" sub-section has three input fields: "Yukarı(x)" with a "Yazınız..." button, "Sağa(y)" with a "Yazınız..." button, and "Elipsoid Seçimi" with a "Seçiniz..." dropdown menu. Below these is a "Bölge Seçimi" dropdown menu with a "Seçiniz..." button. The "Sonuç Koordinatlar(xy3°)" sub-section has two input fields: "Yukarı(x)" with a "Sonuç..." button and "Sağa(y)" with a "Sonuç..." button. Below these is a "Dilim Orta Meridyeni Seçimi" dropdown menu with a "Seçiniz..." button.

Şekil 27. 3° 'lik UTM ve 6° 'lik UTM koordinatları arası dönüşüm ara yüzü

### 2.2.2.Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümleri

Üç boyutlu benzerlik panelinde aşağıdaki dönüşüm modelleri yer almaktadır.

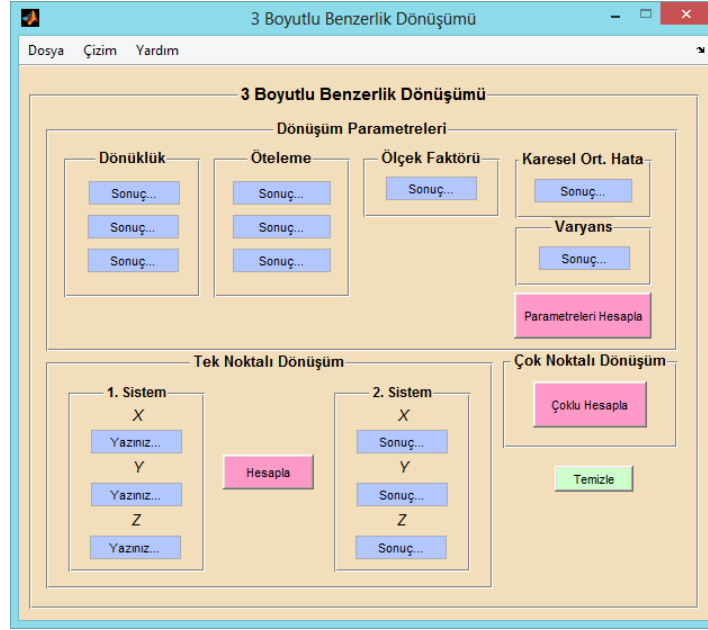
- ❖ Kartezyen koordinat sisteminden coğrafi koordinat sistemine dönüşüm



Şekil 28. Kartezyen koordinat sistemi ile coğrafi koordinat sistemi arası dönüşüm ara yüzü

Kartezyen koordinatlardan coğrafi koordinat sistemine dönüşüm işlemi tek noktalı veya çok noktalı olarak gerçekleştirilebilir. Tek noktalı dönüşüm için kartezyen koordinatları girdi yerlerine yazılır. Dönüşüm işlemi elipsoit seçimi ile tamamlanır. Çok noktalı dönüşüm için 'Koordinat Verileri Yükle' butonuna tıklanarak koordinat verileri sisteme yüklenir. Dönüşüm çok noktalı dönüşüm panelinden elipsoit seçimi ile tamamlanır. Yapılan dönüşüm sonrası rapor 'Dosya' sekmesinden 'Rapor Al' butonuna tıklanarak alınır.

❖ Üç boyutlu benzerlik dönüşümü



Şekil 29. Üç boyutlu benzerlik dönüşümü ara yüzü

Üç boyutlu benzerlik dönüşüm işlemi yukarıda anlatılan iki boyutlu benzerlik dönüşüm yönteminde anlatılan şekilde yapılır.

### 2.2.3.TUTGA

#### ❖ Epok Kaydırma

Şekil 30. Epok kaydırma ara yüzü

Epok kaydırma hesabında GPS günleri, referans epoğu ve kaydırılmak istenen yıl değerleri girdi yerlerine yazılır. Ardından referans epoğunda bulunan noktaların kartezyen koordinatları ve hız değerleri girilir. ‘Hesapla’ butonuna tıklanarak kaydırılan epokta ki kartezyen koordinatları hesaplanır. Çoklu epok kaydırma işlemi için ‘Çoklu Epok Kaydırma’ butonuna tıklanır. Hesap işlemi sonrası rapor almak için ‘Dosya’ sekmesinden ‘Rapor Al’ butonuna tıklanır.

## ❖ Hız Kestirimi

Şekil 31. Mesafelere göre hız kestirimi ara yüzü

Hız kestirim hesabı için ilk olarak 'Dosya' sekmesinden 'Koordinat Verilerini Yükle' butonuna tıklayarak veriler sisteme yüklenir. Ardından hızlarının hesaplanması istenen kartezyen koordinat değerleri ilgili girdi yerlerine yazılır ve 'Hesapla' butonuna tıklayarak işlem tamamlanır. Yapılan hesap sonrası rapor almak için 'Dosya' sekmesinden 'Rapor Al' butonuna tıklanarak alınır.

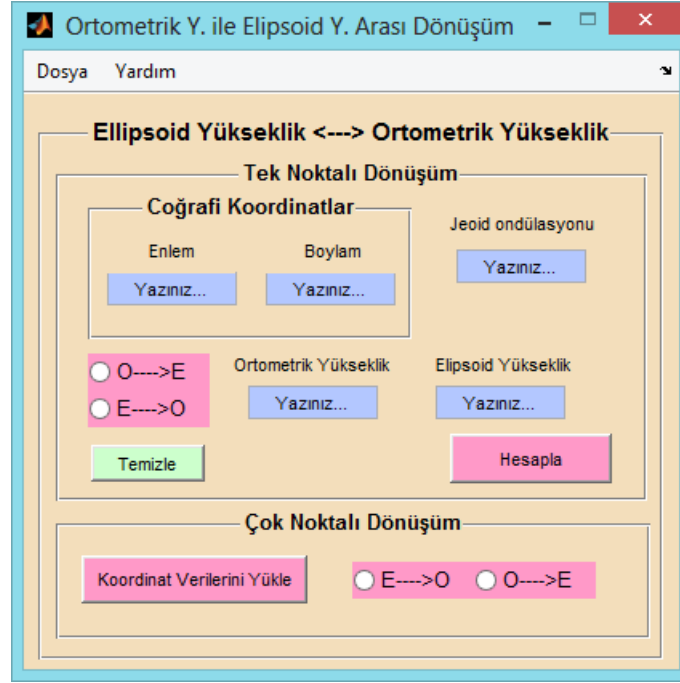
❖ Lineer İnterpolasyon Yöntemi ile Hız Kestirimi



Şekil 32. Lineer interpolasyon yöntemi ile hız kestirimi ara yüzü

Lineer interpolasyon yöntemi ile hız kestirim işlemi için ilk olarak koordinat verileri yüklenir. Ardından hızlarının hesaplanması istenen projeksiyon koordinat değerleri ilgili girdi yerlerine yazılır ve 'Hesapla' butonuna tıklayarak işlem tamamlanır. Yapılan hesap sonrası rapor almak için 'Dosya' sekmesinden 'Rapor Al' butonuna tıklanarak alınır.

## 2.2.4.Elipsoit Yüksekliği ile Ortometrik Yükseklik Arası Dönüşüm



Şekil 33. Ortometrik yükseklik ile elipsoit yükseklik arası dönüşüm ara yüzü

Elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arası jeoid ondülasyon değeri Matlab programı kütüphanesinde yer alan EGM96 jeopotansiyel modeli kullanılarak belirlenir. Geliştirilen ara yüze WGS84 sisteminde hesaplanan coğrafi koordinat değerleri girilerek jeoid ondülasyon değeri hesaplanır. Elipsoit yüksekliğinden ortometrik yüksekliğe dönüşüm için elipsoit yükseklik değeri ilgili girdi yerine yazılır ve 'E---->O' butonuna tıklanır. Ortometrik yükseklikten elipsoit yüksekliğe dönüşüm için ortometrik yükseklik değeri ilgili girdi yerine yazılır ve 'O---->E' butonuna tıklanır. Çok noktalı dönüşüm için 'Çoklu Noktalı Dönüşüm' panelinde koordinat verileri yüklenir. Hesap işlemi sonrası rapor almak için 'Dosya' sekmesinden 'Rapor Al' butonuna tıklanır.

## Excel Dosya Yapıları;

Hataları bilinmeyen iki boyutlu dönüşüm yöntemlerinden benzerlik, afin, polinom ve projektif dönüşüm yöntemleri için ortak noktalara ait dosya yapısı Şekil 34' te, çok noktalı dönüşümde kullanılacak noktalara ait dosya yapısı Şekil 36' da ki gibidir.

NN	X-1	Y-1	X-2	Y-2
1	4540932.853	564429.942	4540747.763	564415.745
2	4540961.469	564782.119	4540776.372	564767.913
3	4540859.744	564587.482	4540674.654	564573.280
4	4540787.412	564523.299	4540602.325	564509.097
5	4540778.515	564825.232	4540593.423	564811.022
6	4540703.036	564635.937	4540517.949	564621.731
7	4540622.941	564802.982	4540437.853	564788.77
8	4540686.097	565162.919	4540501.001	565148.698
9	4540582.717	564982.788	4540397.627	564968.57
10	4540807.552	565029.3	4540622.455	565015.084
11	4540556.122	564846.712	4540371.035	564832.497

Şekil 34. Hataları bilinmeyen iki boyutlu dönüşüm ara yüzlerinde kullanılacak (benzerlik, afin, polinom ve projektif) ortak noktalara ait dosya yapısı

Hataları bilinen iki boyutlu dönüşüm yöntemlerinden benzerlik, afin, polinom ve projektif dönüşüm yöntemleri için ortak noktalara ait dosya yapısı Şekil 35' te ki gibidir.



NN	X-1	Y-1	X-2	Y-2	mx-1	my-1	mx-2	my-2
1	16547.6999	23339.5321	18070.9774	22934.0557	0.011	0.015	0.019	0.027
2	20412.3219	23322.5384	19211.4522	26626.5532	0.009	0.016	0.021	0.013
3	19594.4441	24420.0667	17923.4329	26163.2958	0.009	0.014	0.007	0.010
4	17397.6451	25996.0353	15776.6356	24519.9578	0.014	0.010	0.015	0.012
5	19004.6647	26264.1092	15987.6144	26135.4352	0.013	0.012	0.012	0.009

Nokta No      Noktaların 1. Sistemindeki Koordinatları      Noktaların 2. Sistemindeki Koordinatları      1. ve 2. Sistemindeki Koordinatların Konum Hataları

Şekil 35. Hataları bilinen iki boyutlu dönüşüm ara yüzlerinde kullanılacak (benzerlik ve afin) ortak noktalara ait dosya yapısı

NN	X-1	Y-1
12	4540562.864	564972.638
13	4540136.741	564451.659
14	4539979.020	565294.407
15	4540091.247	565154.087

Nokta No      Dönüşümde kullanılacak koordinatlar

Şekil 36. İki boyutlu dönüşüm ara yüzlerinde kullanılacak (benzerlik, afin, polinom ve projektif) çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı

Coğrafi koordinat sisteminden UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzünde çok noktalı dönüşümde kullanılacak noktalara ait dosya yapısı Şekil 37 ' de ki gibidir.

NN	Enlem	Boylam
1	41.086145802	28.653785997
2	41.281312107	28.784197133
3	41.105496491	28.753466184
4	41.142840807	28.660079942
5	40.973711000	39.831719400
6	40.973414000	39.835147000

Nokta No      Dönüşümde kullanılacak koordinatlar

Şekil 37. Coğrafi koordinat sisteminden UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzünde kullanılacak çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı

UTM koordinat sisteminden coğrafi koordinat sistemine dönüşüm ve 3° 'lik UTM ve 6° 'lik UTM koordinatları arası dönüşüm ara yüzlerinde çok noktalı dönüşümde kullanılacak noktalara ait dosya yapısı Şekil 38' de ki gibidir.

NN	Yukarı	Sağa
1	4540297.100	564410.987
2	4540458.282	565274.106
3	4448019.351	407749.798
4	4161760.918	653617.178
5	4538143.230	569618.560
6	4537898.490	569464.590
7	4553506.303	638405.161
8	4560687.951	661736.278

Nokta No      Dönüşümde kullanılacak koordinatlar

Şekil 38. UTM koordinat sisteminden coğrafi koordinat sistemine dönüşüm ve 3° 'lik UTM ve 6° 'lik UTM koordinatları arası dönüşümü ara yüzünde kullanılacak çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı

Epok kaydırma ve hız kestirimleri ara yüzlerinde çok noktalı dönüşüm işlemlerinde kullanılacak noktalara ait dosya yapısı Şekil 39’ de ki gibidir.

NN	X	Y	Z	Vx	Vy	Vz
1	3707614.459	3086589.187	4163952.291	0.0329	0.0196	-0.0275
2	3707589.102	3084895.509	4163820.519	0.0259	0.0159	-0.0295
3	3707952.309	3086698.928	4163298.452	0.0288	0.0163	-0.0287

Nokta No	Dönüşümde kullanılacak koordinatlar	Dönüşümde kullanılacak koordinatların hız değerleri
-------------	---	--

Şekil 39. Epok kaydırma ve hız kestirimleri ara yüzlerinde kullanılacak çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı

Elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arası dönüşüm ara yüzünde çok noktalı dönüşüm işlemi için kullanılacak noktalara ait dosya yapısı Şekil 40’ da ki gibidir.

NN	Enlem	Boylam	Ort.\Elips. Yük.
1	40.832113488	26.414607730	213.477
2	40.835659545	26.434206178	259.164
3	40.819141335	26.432040244	195.448
4	40.795620950	26.422628654	201.096
5	40.811065053	26.409053333	273.347

Şekil 40. Elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arası dönüşüm ara yüzünde çok noktalı dönüşüm için dosya yapısı

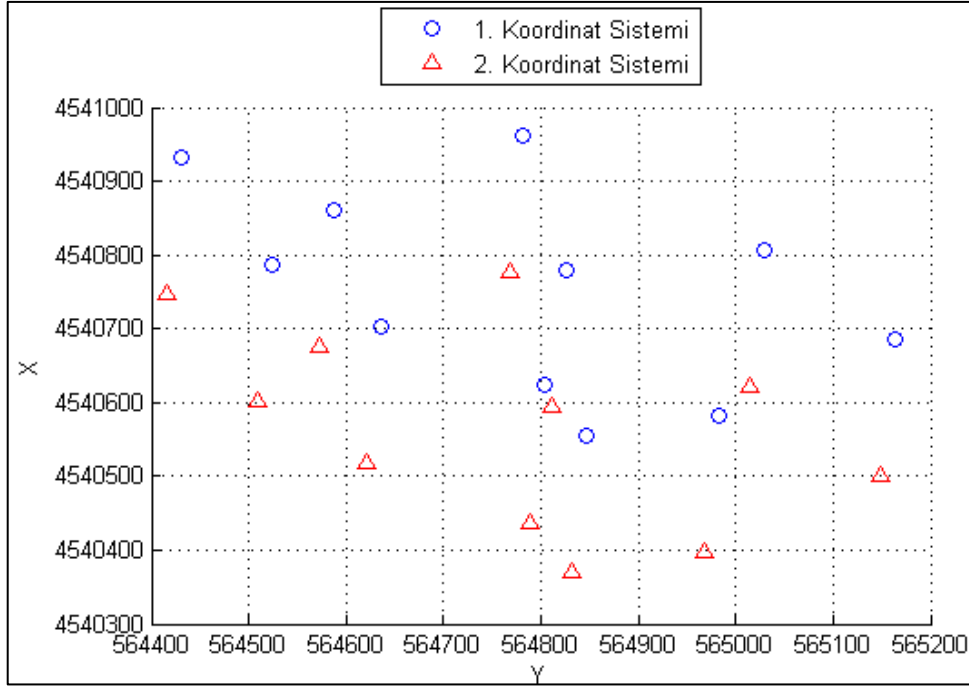
### 3.BULGULAR VE İRDELEMELER

#### 3.1.İki Boyutlu Koordinat Dönüşümleri

İki boyutlu benzerlik, afin ve polinom dönüşümünde her iki sistemde bulunan koordinat değerleri bilinen 11 nokta kullanılarak dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen dönüşüm parametreleri ile 12, 13, 14, 15 numaralı noktaların koordinat değerleri bulunmuştur.

Tablo 5. İki boyutlu dönüşümlerde (hatalar bilinmiyor) kullanılan ortak noktaların her iki sistemdeki koordinat değerleri

Nokta No	1. Sistem		2. Sistem	
	X(m.)	Y(m.)	X(m.)	Y(m.)
1	4540932.853	564429.942	4540747.763	564415.745
2	4540961.469	564782.119	4540776.372	564767.913
3	4540859.744	564587.482	4540674.654	564573.280
4	4540787.412	564523.299	4540602.325	564509.097
5	4540778.515	564825.232	4540593.423	564811.022
6	4540703.036	564635.937	4540517.949	564621.731
7	4540622.941	564802.982	4540437.853	564788.770
8	4540686.297	565162.919	4540501.001	565148.698
9	4540582.717	564982.788	4540397.627	564968.570
10	4540807.552	565029.300	4540622.455	565015.084
11	4540556.122	564846.712	4540371.035	564832.497



Şekil 41. İki boyutlu dönüşüm yöntemlerinde (hatalar bilinmiyor) kullanılan ortak noktaların dağılımları

Hataları bilinmeyen noktalar ile yapılan 2 boyutlu benzerlik, afin ve 1. dereceden polinom dönüşümünde koordinatlara tek tek uyumsuz test yapılarak 8 numaralı nokta uyumsuz nokta olarak tespit edilmiştir. 8 numaralı nokta ölçü grubundan çıkarılarak dönüşüm parametreleri bulunmuştur (Tablo 6, Tablo 11, Tablo 15).

2 boyutlu dönüşüm (hatalar bilinmiyor) ara yüzleri kullanılarak elde edilen dönüşüm parametreleri ile 1. ve 2. sistemde koordinatları bilinen 4 nokta kullanılarak yapılan işlemin doğruluğu test edilmiştir (Tablo 10, Tablo 14, Tablo 18, Tablo 21, Tablo 24 ).

2 boyutlu benzerlik dönüşümü ara yüzünde bazı robust kestirim yöntemleri de kullanarak dönüşüm parametreleri elde edilebilir (Tablo 9).

Necad programı kullanılarak yapılan iki boyutlu benzerlik ve afin dönüşümü (hatalar bilinmiyor) sonucu elde edilen parametre değerleri ile yapılan işlemin doğruluğu test edilmiştir (Tablo 8, Tablo 13).

Tablo 6. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar bilinmiyor) 1. iterasyon sonunda koordinatların tek tek uyuşum testi

Nokta No	Koordinatların Tek Tek Uyuşum testi			
	Tx	Ty	c	$\alpha = 0.95$
1	0.518921157	0.283388259	1.734063607	Uyuşumlu
2	-0.323692174	0.546052960	1.734063607	Uyuşumlu
3	0.117183204	0.181979138	1.734063607	Uyuşumlu
4	0.249024307	-0.022246858	1.734063607	Uyuşumlu
5	-0.554618321	0.083395015	1.734063607	Uyuşumlu
6	-0.069837142	-0.207948423	1.734063607	Uyuşumlu
7	-0.545116274	-0.344437002	1.734063607	Uyuşumlu
8	2.936124931	-0.003177648	1.734063607	Uyuşumsuz
9	-0.997675445	-0.343810295	1.734063607	Uyuşumlu
10	-1.020627094	-1.020627094	1.734063607	Uyuşumlu
11	-0.676108285	-0.476482641	1.734063607	Uyuşumlu

Tablo 7. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar bilinmiyor) 2. iterasyon sonunda koordinatların tek tek uyuşum testi

NN	Koordinatların Tek Tek Uyuşum testi			
	Tx	Ty	c	$\alpha = 0.95$
1	0.670541065	0.786825838	1.745883676	Uyuşumlu
2	0.675875728	0.383547056	1.745883676	Uyuşumlu
3	-1.252507443	-0.752769283	1.745883676	Uyuşumlu
4	-0.900867861	0.494916569	1.745883676	Uyuşumlu
5	-1.227041757	-0.746565165	1.745883676	Uyuşumlu
6	-0.070212075	-1.065244657	1.745883676	Uyuşumlu
7	0.575562405	-1.111968642	1.745883676	Uyuşumlu
9	0.341874097	-0.218098364	1.745883676	Uyuşumlu
10	0.300599311	1.493108730	1.745883676	Uyuşumlu
11	0.722641504	0.474016621	1.745883676	Uyuşumlu

Tablo 8. İki boyutlu benzerlik dönüşümünde (hatalar bilinmiyor) klasik yöntem ile elde edilen dönüşüm katsayıları ile Netcad Programı ile elde edilen dönüşüm katsayıları

2 Boyutlu Benzerlik Dönüşümü		
Katsayılar	Klasik Yöntem	Netcad İle Bulunan
a	0.99997245	0.99997245
b	0.00001772°	0.00001772°
c	-49.99802 m.	-49.99846 m.
d	-79.11734 m.	-79.11965 m.

Tablo 9. İki boyutlu benzerlik dönüşümünde (hatalar bilinmiyor) robust yöntemler ile elde edilen dönüşüm katsayıları

Katsayılar	Andrews	Beaton-Tukey	Danimarka	Hampel
a	0.999991878	0.999991683	0.999991656	0.999991893
b	0.000128422°	0.000127255°	0.000127103°	0.000128512°
c	-75.66329 m.	-75.43382 m.	-75.40388 m.	-75.68083 m.
d	-592.74547 m.	-587.33712 m.	-586.63199 m.	-593.16169 m.

Tablo 10. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu benzerlik dönüşüm ara yüzünde (hatalar bilinmiyor) uyumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatlar

Nokta No	Kesin Koordinatlar		Klasik Yöntem	
	X(m.)	Y(m.)	X(m.)	Y(m.)
12	4540562.864	564972.638	4540562.864	564972.640
13	4540136.741	564451.659	4540136.741	564451.661
14	4539979.020	565294.407	4539979.020	565294.410
15	4540091.247	565154.087	4540091.247	565154.090

Tablo 11. İki boyutlu afin dönüşümü (hatalar bilinmiyor) 1. iterasyon sonunda koordinatların tek tek uyuşum testi

Nokta No	Koordinatların Tek Tek Uyuşum testi			
	T <sub>x</sub>	T <sub>y</sub>	c	α= 0.95
1	0.619732354	0.005378022	1.745883676	Uyuşumlu
2	-0.614046834	-0.001311083	1.745883676	Uyuşumlu
3	0.179539740	-0.007736009	1.745883676	Uyuşumlu
4	0.522171774	0.005679081	1.745883676	Uyuşumlu
5	-0.667671633	-0.007342312	1.745883676	Uyuşumlu

Tablo 11' in devamı

6	0.224962426	-0.006533661	1.745883676	Uyuşumlu
7	-0.306069884	-0.006067627	1.745883676	Uyuşumlu
8	2.431099224	-0.004727583	1.745883676	Uyuşumsuz
9	-0.914851144	0.001348791	1.745883676	Uyuşumlu
10	-1.335357185	0.010469376	1.745883676	Uyuşumlu
11	-0.348797443	0.008636805	1.745883676	Uyuşumlu

Tablo 12. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar bilinmiyor) 2. iterasyon sonunda koordinatların tek tek uyum testi

Nokta No	Koordinatların Tek Tek Uyum testi			
	Tx	Ty	c	$\alpha = 0.95$
1	0.956859829	0.711217736	1.745883676	Uyuşumlu
2	0.590165872	-0.271688251	1.745883676	Uyuşumlu
3	-1.062474568	-0.822207440	1.745883676	Uyuşumlu
4	-0.654646495	0.738282476	1.745883676	Uyuşumlu
5	-1.305365852	-0.946927552	1.745883676	Uyuşumlu
6	0.022075246	-0.679782906	1.745883676	Uyuşumlu
7	0.458537694	-0.742114233	1.745883676	Uyuşumlu
9	0.061542965	-0.045859675	1.745883676	Uyuşumlu
10	0.038385506	0.764495976	1.745883676	Uyuşumlu
11	0.514361738	0.880944578	1.745883676	Uyuşumlu

Tablo 13. İki boyutlu afin dönüşümünde (hatalar bilinmiyor) klasik yöntem ile elde edilen dönüşüm katsayıları ile Netcad programı ile elde dönüşüm katsayıları

2 Boyutlu Afin Dönüşümü		
Katsayılar	Klasik Yöntem	Netcad İle Bulunan
a	0.99997258	0.99997258
b	0.00001647°	0.00001647°
c	-0.00001811°	-0.00001811°
d	0.9997182	0.9997182
e	-50.35221 m.	-50.32254 m.
f	-73.09025 m.	-73.09237 m.



Tablo 14. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu afin dönüşüm ara yüzünde (hatalar bilinmiyor) uyuşumsuzluk testi yapılarak elde edilmiş koordinatlar

Nokta No	Kesin Koordinatlar		Klasik Yöntem	
	X(m.)	Y(m.)	X(m.)	Y(m.)
12	4540562.864	564972.638	4540562.864	564972.640
13	4540136.741	564451.659	4540136.741	564451.661
14	4539979.020	565294.407	4539979.020	565294.410
15	4540091.247	565154.087	4540091.246	565154.090

Tablo 15. İki boyutlu 1. dereceden polinom dönüşümü 1. iterasyon sonunda koordinatların tek tek uyuşum testi

Nokta No	Koordinatların Tek Tek Uyuşum testi			
	Tx	Ty	c	$\alpha = 0.95$
1	0.619732354	0.005378022	1.745883676	Uyuşumlu
2	-0.614046834	-0.001311083	1.745883676	Uyuşumlu
3	0.179539740	-0.007736009	1.745883676	Uyuşumlu
4	0.522171774	0.005679081	1.745883676	Uyuşumlu
5	-0.667671633	-0.007342312	1.745883676	Uyuşumlu
6	0.224962426	-0.006533661	1.745883676	Uyuşumlu
7	-0.306069884	-0.006067627	1.745883676	Uyuşumlu
8	2.431099224	-0.004727583	1.745883676	Uyuşumsuz
9	-0.914851144	0.001348791	1.745883676	Uyuşumlu
10	-1.335357185	0.010469376	1.745883676	Uyuşumlu
11	-0.348797443	0.008636804	1.745883676	Uyuşumlu

Tablo 16. İki boyutlu 1. dereceden polinom dönüşümü 2. iterasyon sonunda koordinatların tek tek uyuşum testi

Nokta No	Koordinatların Tek Tek Uyuşum testi			
	Tx	Ty	c	$\alpha = 0.95$
1	0.956859829	0.711217736	1.761310136	Uyuşumlu
2	0.590165872	-0.271688251	1.761310136	Uyuşumlu
3	-1.062474568	-0.822207440	1.761310136	Uyuşumlu
4	-0.654646495	0.738282476	1.761310136	Uyuşumlu
5	-1.305365852	-0.946927552	1.761310136	Uyuşumlu
6	0.022075246	-0.679782906	1.761310136	Uyuşumlu
7	0.458537694	-0.742114233	1.761310136	Uyuşumlu
9	0.061542965	-0.045859675	1.761310136	Uyuşumlu
10	0.038385506	0.764495976	1.761310136	Uyuşumlu
11	0.514361738	0.880944578	1.761310136	Uyuşumlu

Tablo 17. İki boyutlu 1. dereceden polinom dönüşüm katsayıları

2 Boyutlu 1. Dereceden Polinom Dönüşümü	
a1	0.999972579
a2	-0.000018110
a3	0.000000000
b1	0.000016472
b2	0.999971824
b3	0.000000000

Tablo 18. Kesin koordinatları ile iki boyutlu 1. dereceden polinom dönüşümü ara yüzünde uyumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatlar

Nokta No	Kesin Koordinatlar		Klasik Yöntem	
	X(m.)	Y(m.)	X(m.)	Y(m.)
12	4540562.864	564972.638	4540562.863	564972.638
13	4540136.741	564451.659	4540136.741	564451.659
14	4539979.020	565294.407	4539979.020	565294.408
15	4540091.247	565154.087	4540091.246	565154.088

2 boyutlu 2. dereceden ve 3. dereceden polinom dönüşümü ara yüzleri kullanılarak yapılan dönüşümde sınır değerinden küçük test değeri bulunamamıştır (Tablo 19, Tablo 22). Bu yüzden ölçü grubundan nokta çıkarılmadan dönüşüm parametreleri bulunmuştur (Tablo 20, Tablo 23).

2 boyutlu 2. dereceden ve 3. dereceden polinom dönüşümü ara yüzleri kullanılarak dönüşüm parametreleri ile 1. ve 2. sistemde koordinatları bilinen 4 nokta kullanılarak yapılan işlemin doğruluğu test edilmiştir (Tablo 21, 24).

Tablo 19. İki boyutlu 2. dereceden polinom dönüşümü koordinatların tek tek uyuşum testi

Nokta No	Koordinatların Tek Tek Uyuşum testi			
	Tx	Ty	c	$\alpha= 0.95$
1	-0.288473487	0.001608986	1.812461123	Uyuşumlu
2	0.320676803	-0.002676612	1.812461123	Uyuşumlu
3	0.431923626	-0.003105216	1.812461123	Uyuşumlu
4	-0.135516661	0.004389496	1.812461123	Uyuşumlu
5	0.175398663	0.001946738	1.812461123	Uyuşumlu
6	0.287148892	-0.007028894	1.812461123	Uyuşumlu
7	0.283465151	-0.005685517	1.812461123	Uyuşumlu
8	0.823694271	-0.005502263	1.812461123	Uyuşumlu
9	-0.777807878	0.003106467	1.812461123	Uyuşumlu
10	-1.514625212	0.010228550	1.812461123	Uyuşumlu
11	0.081701406	0.003611361	1.812461123	Uyuşumlu

Tablo 20. İki boyutlu 2. dereceden polinom dönüşüm katsayıları

2 Boyutlu 2. Dereceden Polinom Dönüşümü	
Katsayılar	Klasik Yöntem
a1	0.000000069
a2	-0.000000843
a3	-0.000000277
a4	1.000005534
a5	-0.000140652
a6	0.033733295
b1	-0.000000016
b2	-0.000000006
b3	-0.000000013
b4	0.000017420
b5	0.999972732
b6	0.000392491

Tablo 21. Kesin koordinatları ile iki boyutlu 2. dereceden polinom dönüşümü ara yüzünde uyumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatlar

Nokta No	Kesin Koordinatlar		Klasik Yöntem	
	X(m.)	Y(m.)	X(m.)	Y(m.)
18	4540562.864	564972.638	4540562.819	564972.638
27	4540136.741	564451.659	4540136.671	564451.653
41	4539979.02	565294.407	4539978.828	565294.405
36	4540091.247	565154.087	4540091.140	565154.086

Tablo 22. İki boyutlu 3. dereceden polinom dönüşümü koordinatların tek tek uyuşum testi

Nokta No	Koordinatların Tek Tek Uyuşum testi			
	Tx	Ty	c	$\alpha = 0.95$
1	-0.007634801	-0.000017265	2.919985580	Uyuşumlu
2	0.003890535	0.000008798	2.919985580	Uyuşumlu
3	-0.007958467	-0.000017998	2.919985580	Uyuşumlu
4	0.264517415	0.000598190	2.919985580	Uyuşumlu
5	0.011350969	0.000025669	2.919985580	Uyuşumlu
6	-0.640056144	-0.001447447	2.919985580	Uyuşumlu
7	0.359553135	0.000813107	2.919985580	Uyuşumlu
8	0.014010765	0.000031684	2.919985580	Uyuşumlu
9	-0.081898111	-0.000185208	2.919985580	Uyuşumlu
10	-0.023150998	-0.000052355	2.919985580	Uyuşumlu
11	0.000188607	0.000000427	2.919985580	Uyuşumlu

Tablo 23. İki boyutlu 3. dereceden polinom dönüşüm katsayıları

2 Boyutlu 3. Dereceden Polinom Dönüşümü	
Katsayılar	Klasik Yöntem
a1	0.000000008
a2	0.000000001
a3	0.000000027
a4	0.000000016
a5	-0.000001077
a6	-0.000000795
a7	-0.000000679
a8	0.999783973
a9	-0.000144462
a10	0.031889257

Tablo 23'ün devamı

b1	0.000000000
b2	0.000000000
b3	0.000000000
b4	0.000000000
b5	-0.000000019
b6	-0.000000011
b7	-0.000000022
b8	0.000014100
b9	0.999970535
b10	0.000491823

Tablo 24. Kesin koordinatları ile iki boyutlu 3. dereceden polinom dönüşümü ara yüzünde uyumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatlar

Nokta No	Kesin Koordinatlar		Klasik Yöntem	
	X(m.)	Y(m.)	X(m.)	Y(m.)
18	4540562.864	564972.638	4540562.823	564972.638
27	4540136.741	564451.659	4540136.520	564451.642
41	4539979.02	565294.407	4539979.519	565294.387
36	4540091.247	565154.087	4540091.486	565154.076

2 boyutlu projektif dönüşümü için her iki sistemde koordinatları bilinen 4 ortak nokta (Tablo 25) ile dönüşüm parametreleri elde edilmiş (Tablo 26) ve bu dönüşüm katsayıları kullanılarak resim koordinat sisteminden obje koordinat sistemine dönüşüm yapılmıştır (Tablo 27).

Tablo 25. Projektif dönüşüm için kullanılan ortak noktaların her iki sistemdeki koordinatları

Nokta No	Resim Koordinatları		Objekt Koordinatları	
	X (mm.)	Y (mm.)	X (mm.)	Y (mm.)
1	-0.03329	0.110074	1488.05	3552.12
2	0.032183	0.101785	2229.38	3507.46
3	-0.04576	-0.074337	1376.4	1899.76
4	0.028472	-0.096643	2086.48	1600.12

Tablo 26. İki boyutlu projektif dönüşüm katsayıları

2 Boyutlu Projektif Dönüşüm Katsayıları	
a1	8021.065
a2	-4066.292
a3	1821.069
b1	-4066.292
b2	7360.815
b3	2479.221
c1	-1.330
c2	-0.728

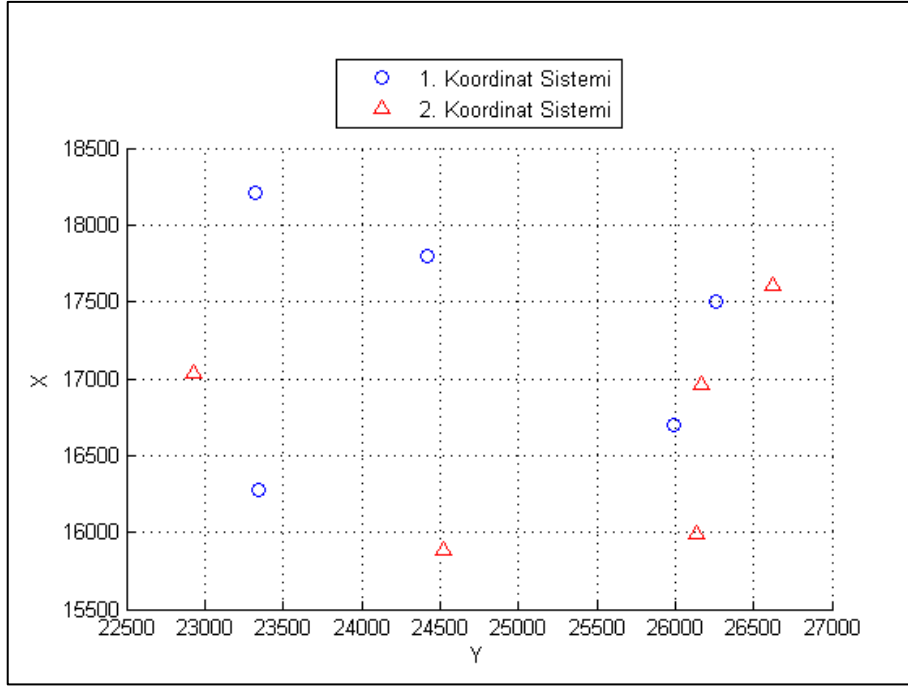
Tablo 27. İki boyutlu projektif dönüşüm ara yüzünde resim koordinatları ve katsayılar kullanılarak elde edilmiş obje koordinatları

Nokta No	Resim Koordinatları		Obje Koordinatları	
	X (mm.)	Y (mm.)	X (mm.)	Y (mm.)
1	1.628	5.182	1839.427	2525.737

Hataları bilinen noktalar ile iki boyutlu benzerlik ve afin dönüşümü 5 ortak nokta kullanarak dönüşüm parametreleri iteratif şekilde hesaplanmıştır (Tablo 30, Tablo 33). Ayrıca 1. sistemde koordinatları bilinen 6, 7, 8 numaralı noktaların 2. sistemdeki koordinat değerleri hesaplanan dönüşüm parametreleri yardımıyla belirlenmiştir (Tablo 31, Tablo 34).

Tablo 28. İki boyutlu dönüşümünde (hatalar biliniyor) kullanılan ortak noktaların her iki sistemdeki koordinat değerleri

NN	1. Sistem		2. Sistem		Duyarlıklar			
	X(m.)	Y(m.)	X(m.)	Y(m.)	mx-1	my-1	mx-2	my-2
1	16547.6999	23339.5321	18070.9774	22934.0557	±0.011	±0.015	±0.019	±0.027
2	20412.3219	23322.5384	19211.4522	26626.5532	±0.009	±0.016	±0.021	±0.013
3	19594.4441	24420.0667	17923.4329	26163.2958	±0.009	±0.014	±0.007	±0.010
4	17397.6451	25996.0353	15776.6356	24519.9578	±0.014	±0.010	±0.015	±0.012
5	19004.6647	26264.1092	15987.6144	26135.4352	±0.013	±0.012	±0.012	±0.009



Şekil 42. İki boyutlu dönüşüm yöntemlerinde (hatalar biliniyor) kullanılan ortak noktaların dağılımları

Tablo 29. İki boyutlu benzerlik dönüşümü (hatalar biliniyor) koordinatların tek tek uyum testi

Nokta No	Koordinatların Tek Tek Uyum testi			
	Tx	Ty	c	$\alpha = 0.95$
1	0.335257164	-0.628402835	1.943180281	Uyumsuzlu
2	-1.233072615	-0.259666940	1.943180281	Uyumsuzlu
3	0.929803533	0.388305986	1.943180281	Uyumsuzlu
4	-0.063583585	0.175434391	1.943180281	Uyumsuzlu
5	0.184100617	0.486905275	1.943180281	Uyumsuzlu

Tablo 30. İki boyutlu benzerlik dönüşümünde (hatalar biliniyor) elde edilen dönüşüm katsayıları

2 Boyutlu Benzerlik Dönüşümü(Hatalar Biliniyor)	
Katsayılar	Klasik Yöntem
a	0.290885275434137°
b	0.956743359519312
c	35587.44793475 m.
d	313.01021199 m.

Tablo 31. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu benzerlik dönüşüm ara yüzünde uyumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatların karşılaştırılması (hatalar biliniyor)

Nokta No	Kesin Koordinatlar		Klasik Yöntem	
	X(m.)	Y(m.)	X(m.)	Y(m.)
6	20980.0870	23651.7935	20980.087	23651.794
7	20098.8117	25024.9782	20098.812	25024.978
8	20841.4201	26764.1357	20841.420	26764.136

Tablo 32. İki boyutlu afin dönüşümü (hatalar biliniyor) koordinatların tek tek uyum testi

Nokta No	Koordinatların Tek Tek Uyum Testi			
	Tx	Ty	c	$\alpha=0.95$
1	0.058962728	-0.001584419	2.131846786	Uyumsuz
2	-0.572858823	-0.120325898	2.131846786	Uyumsuz
3	1.236145415	0.308582166	2.131846786	Uyumsuz
4	-0.462121591	-0.034894252	2.131846786	Uyumsuz
5	0.039591597	-0.061033011	2.131846786	Uyumsuz

Tablo 33. İki boyutlu afin dönüşümünde (hatalar biliniyor) elde edilen dönüşüm katsayıları

2 Boyutlu Afin Dönüşümü(Duyarlılık)	
Katsayılar	Klasik Yöntem
a	0.290889271°
b	-0.956744381
c	35587.399 m.
d	0.956739591
e	0.290880922°
f	313.190 m.



Tablo 34. Kesin koordinatlar ile iki boyutlu afin dönüşüm ara yüzünde uyumsuz test yapılarak elde edilmiş koordinatların karşılaştırılması (hatalar biliniyor)

Nokta No	Kesin Koordinatlar		Klasik Yöntem	
	X(m.)	Y(m.)	X(m.)	Y(m.)
6	20980.0870	23651.7935	20980.089	23651.815
7	20098.8117	25024.9782	20098.817	25024.990
8	20841.4201	26764.1357	20841.433	26764.142

Coğrafi koordinatları bilinen noktalar ile Gauss-Krüger, 3° 'lik ve 6° 'lik UTM koordinatları hesaplanmıştır (Tablo 35, Tablo 36).

Tablo 35. Coğrafi Koordinatlardan UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzünde kullanılan coğrafi koordinatlar ve dönüşüm sonucunda elde edilen Gauss-Krüger koordinatları

NN	Coğrafi Koordinatlar		Gauss-Krüger	
	Enlem(°)	Boylam(°)	x(m.)	y(m.)
1	41.086145802	28.653785997	4551537.866	138969.259
2	41.281312107	28.784197133	4573430.739	149483.680
3	41.105496491	28.753466184	4553771.269	147295.886
4	41.142840807	28.660079942	4557765.142	139371.822
5	40.973711000	39.831719400	4537986.985	70005.012
6	40.973414000	39.835147000	4537956.754	70293.828

Tablo 36. Coğrafi koordinatlardan UTM koordinat sistemine dönüşüm ara yüzü ile coğrafi koordinatların UTM koordinat sistemindeki 3° 'lik ve 6° 'lik UTM koordinatları

Nokta No	3° 'lik UTM		6° 'likUTM		Elipsoit
	Yukarı(m.)	Sağa(m.)	Yukarı(m.)	Sağa(m.)	
1	4551537.866	638969.259	4549717.251	638913.671	Hayford
2	4573430.739	649483.680	4571601.367	649423.887	Hayford
3	4553771.269	647295.886	4551949.760	647236.967	GRS80
4	4557765.142	639371.822	4555942.036	639316.073	GRS80
5	4537986.985	570005.012	4536171.790	569977.010	GRS80
6	4537956.754	570293.828	4536141.571	570265.710	GRS80

3° 'lik ve 6° 'lik UTM Koordinatları bilinen noktaların coğrafi koordinatları hesaplanmıştır (Tablo 37).

Tablo 37. UTM koordinatlardan coğrafi koordinat sistemine dönüşüm ara yüzünde kullanılan UTM koordinatları ve coğrafi koordinat sistemindeki enlem ve boylam değerleri

NN	3° 'lik UTM		6° 'lik UTM		Coğrafi koordinatlar		Elipsoit
	Yukarı(m.)	Sağa(m.)	Yukarı(m.)	Sağa(m.)	Enlem	Boylam	
1	4540297.100	564410.987	4538480.981	564385.223	40.994259057	39.765460968	Hayford
2	4540458.282	565274.106	4538642.099	565247.996	40.995641703	39.775734405	Hayford
3	4448019.351	407749.798	4446240.143	407786.698	40.160773500	31.917225325	Hayford
4	4161760.918	653617.178	4159422.604	653555.731	37.574499998	28.738833332	Hayford
5	4538143.230	569618.560	4536327.973	569590.713	40.975150819	39.827146052	GRS80
6	4537898.490	569464.590	4536083.331	569436.804	40.972960354	39.825289435	GRS80
7	4553506.303	638405.161	4551684.900	638349.799	41.104673570	28.647611184	GRS80
8	4560687.951	661736.278	4558863.676	661671.583	41.164998130	28.927102833	GRS80

3° 'lik ve 6° 'lik UTM Koordinatları bilinen noktaların dönüşümü ara yüzü kullanılarak sistemler arası dönüşüm yapılmıştır (Tablo 38).

Tablo 38. 3° 'lik UTM ve 6° 'lik UTM koordinatları arası dönüşüm ara yüzünde kullanılan UTM koordinat değerleri

Nokta No	3° lik UTM		6° lik UTM		Elipsoit
	Yukarı(m.)	Sağa(m.)	Yukarı(m.)	Sağa(m.)	
1	4540465.883	565199.270	4538649.697	565173.190	Hayford
2	4540293.371	565328.213	4538477.254	565302.082	Hayford
3	4540593.423	564811.022	4538777.186	564785.098	GRS80
4	4539979.020	565294.407	4538163.029	565268.289	GRS80
5	4553506.303	638405.161	4551684.900	638349.799	GRS80

Coğrafi koordinatlardan UTM koordinat sistemine dönüşüm, UTM koordinatlardan coğrafi koordinat sistemine dönüşüm ve 3° 'lik UTM ve 6° 'lik UTM koordinatları arası dönüşüm sonuçları URL-3 uzantısından kontrol edilmiştir.

### 3.2. Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümleri

Coğrafi koordinatları bilinen noktaların kartezyen koordinatları hesaplanmıştır (Tablo 39).

Tablo 39. Kartezyen koordinat ile coğrafi koordinat sistemleri arası dönüşüm ara yüzünde kullanılan coğrafi koordinat ve kartezyen koordinat değerleri

Nokta No	Coğrafi Koordinatlar			Kartezyen Koordinatlar		
	Enlem(°)	Boylam(°)	E. Yükseklik (m.)	X(m.)	Y(m.)	Z(m.)
1	40.83140595	26.41464054	250.225	4328463.996	2150046.941	4148438.514
2	40.8349519	26.43423789	295.970	4327528.771	2151428.098	4148766.378
3	40.81843417	26.43207207	232.190	4328640.776	2151776.868	4147336.623

Üç boyutlu benzerlik dönüşümünde her iki sistemde koordinatları bilinen 9 nokta kullanılarak dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır (Tablo 41). Ayrıca 1. sistemde koordinat değerleri bilinen 10, 11, 12 numaralı noktaların 2. sistemdeki koordinatları dönüşüm parametreleri ile hesaplanmıştır (Tablo 42).

Tablo 40. Üç boyutlu benzerlik dönüşümünde kullanılan ortak noktaların her iki sistemdeki koordinat değerleri

Nokta No	1. Koordinat Sistemi			2. Koordinat Sistemi		
	X(m.)	Y(m.)	Z(m.)	X(m.)	Y(m.)	Z(m.)
1	3703443.799	3089292.537	4160224.662	3703275.475	3089152.127	4160154.061
2	3703555.762	3089331.596	4160096.848	3703387.435	3089191.186	4160026.251
3	3703510.609	3089123.858	4160289.997	3703342.282	3088983.455	4160219.395
4	3703628.266	3089148.544	4160167.752	3703459.934	3089008.141	4160097.153
5	3703718.951	3088791.267	4160351.055	3703550.613	3088650.879	4160280.451
6	3703826.068	3088832.747	4160225.743	3703657.727	3088692.358	4160155.143
7	3703342.410	3089359.261	4160265.094	3703174.091	3089218.848	4160194.492
8	3703586.073	3089444.278	4159986.925	3703417.746	3089303.864	4159916.332
9	3703441.408	3089109.333	4160361.897	3703273.084	3088968.930	4160291.292

Tablo 41. Üç boyutlu benzerlik dönüşümünde (hatalar bilinmiyor) elde edilen dönüşüm katsayıları

3 Boyutlu Benzerlik Dönüşümü	
Dönüşüm Parametreleri	
$\alpha$	0.000080768°
$\beta$	0.000170191°
$\varphi$	0.000137771°
$t_1$	-11.925440938 m.
$t_2$	-10.910534320 m.
$t_3$	94.123114594 m.
s	0.999958967

Tablo 42. Kesin koordinatları ile üç boyutlu benzerlik dönüşüm ara yüzünde klasik yöntem ile elde edilmiş koordinatlar

Nokta No	Kesin Koordinatlar			Klasik Yöntem		
	X(m.)	Y(m.)	Z(m.)	X(m.)	Y(m.)	Z(m.)
10	3703529.132	3089022.662	4160025.253	3703529.131	3089022.661	4160025.255
11	3703540.042	3088542.737	4160369.545	3703540.044	3088542.738	4160369.544
12	3703773.187	3088633.027	4160096.793	3703773.188	3088633.024	4160096.795

### 3.3.Elipsoit Yüksekliği ile Ortometrik Yükseklik Arasında Dönüşüm

Elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arasında dönüşüm hesabı EGM-96 jeoidi esas alınarak program geliştirilmiştir.

Tablo 43. Elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arası dönüşümde kullanılan noktaların coğrafi koordinat değerleri

Nokta No	Enlem	Boylam
1	40° 34' 33.38687''	28° 59' 04.77148''
2	40° 32' 40.75582''	29° 03' 50.14934''

Tablo 44. Yükseklik dönüşüm ara yüzü kullanılarak elde edilen jeoid ondülasyonları

Nokta No	Jeoid Ondülasyonu (m.)
1	37.800
2	37.820

### 3.4.TUTGA

Tablo 45. 1998.0 referans epoğundaki noktaların koordinat ve hız değerleri

Nokta No	X(m.)	Y(m.)	Z(m.)	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>
22	3707614.459	3086589.187	4163952.291	0.0329	0.0196	-0.0275
35	3707589.102	3084895.509	4163820.519	0.0259	0.0159	-0.0295
43	3707952.309	3086698.928	4163298.452	0.0288	0.0163	-0.0287

Tablo 46. Ölçme epoğuna kaydırılmış noktaların koordinat değerleri

Nokta No	X(m.)	Y(m.)	Z(m.)
22	3707614.966	3086589.489	4163951.868
35	3707589.501	3084895.754	4163820.065
43	3707952.753	3086699.179	4163298.010

Epok kaydırma işleminde GPS günleri toplamı 438, GPS gün sayısı 3 ve ölçme yılı 2013 ve hesaplanan ölçme epoğu 2013.4 ' tür.

Tablo 47. Ağırlıklı ortalama yönteminde kullanılan noktaların koordinat ve hız değerleri

Nokta No	X(m.)	Y(m.)	Z(m.)	Vx (m/y)	Vy (m/y)	Vz (m/y)
22	3707614.459	3086589.187	4163952.291	0.0329	0.0196	-0.0275
35	3707589.102	3084895.509	4163820.519	0.0259	0.0159	-0.0295
43	3707952.309	3086698.928	4163298.452	0.0288	0.0163	-0.0287
24	370184.250	3087108.259	4162200.236	0.0294	0.0173	-0.0285

Ağırlıklı ortalama yöntemi ile 22, 35 ve 43 numaralı noktaların kartezyen koordinatları ve hız değerleri kullanılarak 24 numaralı noktanın hız değeri hesaplanmıştır (Tablo 47).

Tablo 48. Lineer interpolasyon yönteminde kullanılan noktaların projeksiyon koordinat ve hız değerleri

Nokta No	Sağa (m.)	Yukarı (m.)	Vx (m/y)	Vy (m/y)	Vz (m/y)
1	4445236.466	498073.387	-0.0056	-0.0032	0.0037
2	4453783.952	416169.333	-0.0035	-0.0019	0.0047
3	4540227.122	401684.914	-0.018	0.0151	0.0068
4	4468807.150	451943.505	-0.0073	0.0014	0.0047

Lineer interpolasyon yöntemi ile 1, 2 ve 3 numaralı noktaların projeksiyon koordinatları ve hız değerleri kullanılarak 4 numaralı noktanın hız değeri hesaplanmıştır (Tablo 48).

#### 4. SONUÇ

Farklı ölçüm yöntemleri ve farklı koordinat sistemlerinde elde edilen koordinatların bir projede kullanılması gerekliliği durumunda koordinat dönüşümü gerekebilir. Örneğin; GPS ile konumları belirlenen noktaların ülke koordinat sistemine dönüştürülmesi, fotogrametri de resim koordinatları ile obje koordinatlarına geçişte koordinat dönüşümü uygulanır.

Jeodezide dönüşüm tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu olmak üzere üç bölümde incelenebilir. Ayrıca düşey konumlar arası farklı referans sistemlerin kullanılması dönüşüm gerekliliğini ortaya koymuştur. GPS ile elde edilen yükseklikler elipsoit olmasına karşın, uygulamalarda ortometrik yükseklikler kullanılmaktadır. Bu nedenle GPS ile toplanan yükseklik verilerinin mühendislik çalışmalarda kullanılması uygun hale getirilmesi için ortometrik yüksekliklere dönüştürülmesi gerekir.

Tez kapsamında jeodezide kullanılan dönüşüm modelleri incelenerek, koordinat sistemleri arasında dönüşüm yapabilen, istatistik değerlendirme yapılarak, kullanımı kolay, tutarlı sonuçların elde edilebileceği bir program geliştirilmiştir. Program ile kullanıcı her iki sistemde ortak noktalar yardımı ile bölgesel dönüşüm parametrelerini elde edebilecek ve dönüşüm parametreleri kullanılarak başka bir sistemdeki noktanın koordinatlarını belirleyebilecektir. Program kapsamında farklı yollardan elde edilen verilerin tutarlılığı uyumsuz ölçü testi ile denetlenebilmektedir. Klasik uyumsuz ölçü belirleme yönteminin bazı dezavantajlarından dolayı alternatif yöntem olarak ortaya çıkan robust kestirim yöntemleri de programın menülerinde yer almaktadır. Geliştirilen program düzenli veri girdisi ve raporlama olanakları sağlamaktadır.

Yapılan çalışmada ilk olarak mühendislik çalışmalarında yaygın kullanılan benzerlik ve afin dönüşümü ticari yazılım olarak kullanılan Netcad programı ile geliştirilen program karşılaştırılmış ve yapılan çalışmanın doğruluğu test edilmiştir. Buna göre; iki boyutlu benzerlik dönüşümü ara yüzü kullanılarak ölçü grubundan 8 numaralı nokta uyumsuz ölçü olarak tespit edilmiş ve ölçü grubundan otomatik olarak çıkarılarak dönüklük ve öteleme parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen parametreler Netcad programı ile elde edilen parametreler ile karşılaştırıldığında; x ve y yönünde dönüklük parametreleri ve x yönündeki öteleme parametresi dikkate alınmayacak küçüklükte farklı, y yönündeki öteleme parametre ise 2 mm. farklı çıkmıştır.

İki boyutlu afin dönüşümü ara yüzü kullanılarak ölçü grubundan 8 numaralı nokta uyumsuz ölçü olarak tespit edilmiş ve ölçü grubundan otomatik olarak çıkarılarak dönüklük ve öteleme parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen parametreler Netcad programı ile elde edilen parametreler ile karşılaştırıldığında; dönüklük, ölçek parametreleri ve x yönündeki öteleme parametresi dikkate alınmayacak küçüklükte farklı, y yönündeki öteleme parametresi ise 2 mm. farklı çıkmıştır.

İki boyutlu 1. dereceden, 2. dereceden, 3. dereceden polinom dönüşümü, projektif ve hataları bilinen iki boyutlu benzerlik, afin ve üç boyutlu benzerlik dönüşümü ara yüzü kullanılarak dönüşüm katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen parametrelerin doğruluğunu test etmek için her iki sistemde koordinatları bilinen noktalar ile katsayılar kullanılarak yapılan dönüşüm sonrası koordinat değerleri karşılaştırılmış ve aralarında mm. mertebesinde olduğu fark edilmiştir.

Coğrafi koordinat sistemi ile UTM koordinat sistemi arası dönüşüm ve 3° 'lik UTM ve 6° 'lik UTM koordinatları arası dönüşüm sonucunda elde edilen veriler URL-3 uzantısından elde edilen veriler ile karşılaştırılarak programın doğruluğu test edilmiştir. Yapılan test sonucunda geliştirilen program ile URL-3 uzantısından elde edilen sonuç değerleri birbirine çok yakın çıktığı tespit edilmiştir.

Geliştirilen program EGM96 jeoid modelini kullanılarak elipsoit yüksekliği ile ortometrik yükseklik arası dönüşüm olanağı sunmaktadır.

Geliştirilen program bilgisayarın işletim sistemine göre iki farklı versiyonu mevcuttur (32 bit ve 64 bit). Geliştirilen programın çalıştırılabilmesi için MATLAB programı ve Compiler Toolbox' ının bilgisayara yüklü olması gerekmektedir. Yazılan program ileri ki zamanlarda gelen öneriler ile zenginleştirilmeye açıktır.



## 5. KAYNAKLAR

- Boz, Y., 2005. GPS Ölçülerindeki Uyuşumsuz Ölçülerin Geleneksel, Robust ve Bulanık Mantık Yöntemleriyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Charles D. G., Wolf P. R., 2006. Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, Dördüncü Baskı, John Wiley & Sons, Inc.
- Demir, C. ve Açıkgoz, M., 2000. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktalarında uzun periyotlu (inter-sismik) hızların kestirilmesi, Harita Dergisi, 123, 1-19.
- Dilaver, A., 1997. Jeodezide Temel Koordinat Sistemleri, Trabzon: K.T.Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi.
- Karaali, C., 1999. Üç Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemleri Arasında Benzerlik Dönüşümü, Fakülte Yayını No: 2.
- Kaya, A., 1999. Jeodezi II Küre ve Elipsoidin Düzleme Tasviri, Birinci Baskı, Trabzon: K.T.Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi.
- Krarup, T. ve Kubık, K., 1980. Gotterdammerung over Least Squares Adjustment. 14 th. Congress of Int.Soc.of Photogrammetry, Comm.III.
- Kraus, K., Fotogrametri, Altan, O., Külür, S., Toz, G., Demirel, H., Duran Z. ve Çelikoyan, M., 2007. Cilt 1, Birinci baskı, Nobel Yayın, İstanbul.
- Soycan, M., 2002. GPS Sonuçlarının Dönüşümü Üzerine Bir İnceleme, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6, 1-2, 17-22.
- Tanık, A., 2003. Dönüşümler ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Turgut, B. ve İnal, C., 2003. Nokta Konum Duyarlıklarının İki ve Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümüne Etkisi, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Konya.
- Üstün, A., 1996. Datum Dönüşümleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vaniček, P. and Krakiwsky, E.J., 1986. *Geodesy: The concepts*, 2nd ed., North Holland, Amsterdam.
- Yıldırım, F., Kaya, A. ve Kaplan, Y., 2011. Jeodezik Dik ve Coğrafi Koordinat Dönüşüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Harita Dergisi, 146, 1-3.

URL-1, [http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/05b57f6add810d3\\_ek.pdf](http://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/05b57f6add810d3_ek.pdf), 10 Nisan 2014.

URL-2, <http://itrf.ensg.ign.fr/>, 8 Mart 2014.

URL-3, <http://apsalin.com/>, 19 Mayıs 2014.

URL-4, <http://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>, 12 Nisan 2014.

## ÖZGEÇMİŞ

26.02.1989 yılında Trabzon'da doğdu. 2002 – 2006 yılları arasında Trabzon Lisesi'nde lise eğitimi gördü. 2007 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünü kazandı. 4 yıllık eğitimin ardından 2012 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılının Mart ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Yüksek Lisans eğitimi halen devam etmektedir. Bildiği yabancı dil İngilizcedir.