

**İKİ BOYUTLU KOORDİNAT DÖNÜŞÜM
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ: BURSA
İLİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Melike OKUR
Danışman
Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Şubat 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İKİ BOYUTLU KOORDİNAT DÖNÜŞÜM PARAMETRELERİNİN
BELİRLENMESİ: BURSA İLİ ÖRNEĞİ

Melike OKUR

Danışman

Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2022

TEZ ONAY SAYFASI

Melike OKUR tarafından hazırlanan “İki Boyutlu Koordinat Dönüşüm Parametrelerinin Belirlenmesi: Bursa İli Örneği” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 16/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

Başkan : Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İbrahim YILMAZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK
Necmettin Erbakan Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

16/ 02 / 2022

Melike OKUR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İKİ BOYUTLU KOORDİNAT DÖNÜŞÜM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ: BURSA İLİ ÖRNEĞİ

Melike OKUR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim YILMAZ

Yeryüzünde her bir noktanın jeodezik anlamda tanımlanabilmesi için koordinat sistemleri kullanılmaktadır. Yeryüzünde bulunan nokta verilerinin koordinatlarının tanımlanabilmesi için bir referansa yani datuma ihtiyacı vardır. Dünya’da çoğu ülke kendilerine uygun bir datum seçerek harita üretmektedirler. Ülkeler arası doğan bu datum farklılıkları veya ülkemizde de olduğu gibi yapılan datum değişiklikleri datum dönüşümlerini ortaya çıkarmaktadır. Eski ve yeni koordinatlar arası farklılıklar yapılan uygulamalarda problemler ortaya çıkardığı için dönüşüm işlemleri önem kazanmıştır.

Bu çalışmada farklı koordinat sistemleri ve bu sistemler arası iki boyutlu dönüşüm yöntemleri araştırılmıştır. Ardından, uygulamanın amacı doğrultusunda Bursa bölgesinde ED50 ve IRTF96 sistemlerinden elde edilen koordinatlar arası dönüşüm işlemleri yapıp parametreler üretilmiş ve yeni nokta koordinatları hesaplanmıştır. Hesaplanan koordinatlar ile ortalama hatalar bulunup dönüşümler karşılaştırılmıştır.

2022, x +45 sayfa

Anahtar Kelimeler: Datum, Parametre, Afin Dönüşümü, Helmert Dönüşümü, Konum Hatası

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETERMINING TWO DIMENSIONAL COORDINATE TRANSFORMATION PARAMETERS: BURSA PROVINCE EXAMPLE

Melike OKUR

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. İbrahim YILMAZ

Coordinate systems are used to describe each point on the earth in a geodetic sense. In order to define the coordinates of the point data on the earth, it needs a reference, that is, a datum. Most countries in the world produce maps by choosing a suitable datum. These datum differences between countries or datum changes, as in our country, reveal datum transformations. Since the differences between the old and new coordinates cause problems in the applications, the transformation operations have gained importance.

In this study, different coordinate systems and two-dimensional transformation methods between these systems were investigated. Then, in line with the purpose of the application, transformations between coordinates obtained from ED50 and IRTF96 systems in Bursa region were performed, parameters were produced and new point coordinates were calculated. The mean errors were found with the calculated coordinates and the transformations were compared.

2022, x +45 pages

Keywords: Datum, Datum Parameters, Affine Transformation, Helmert Transformation, Position Error.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim YILMAZ'a ve Sayın Prof. Dr. Mustafa YILMAZ'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen ve beni destekleyen arkadaşlarıma, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma çok teşekkür ederim.

Bu çalışmayı yürütebilmek için verilerimi temin ettiğim Bursa Tapu ve Kadastro IV. (Bursa) Bölge Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teŐekkürlerimi bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimimin başında tanıştığım ve kendisinden çok Őey öğrendiğim kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Bayram TURGUT'a en içten teŐekkürlerimi sunarım.

Melike OKUR

Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KOORDİNAT SİSTEMLERİ	2
2.1 Dik (Kartezyen) Koordinat Sistemi	2
2.2 Coğrafi Koordinat Sistemi	3
2.3 Yerel Koordinat Sistemi	4
2.4 Yükseklik Sistemleri.....	5
2.4.1 Jeoit ve Jeopotansiyel Yükseklik	5
2.4.2 Elipsoit ve Elipsoidal Yükseklik	7
2.4.3 Ortometrik Yükseklik.....	8
2.4.4 Jeoit ile Elipsoit Arasındaki İlişki	9
2.5 Datum.....	10
2.5.1 ED50 (European Datum 1950) Datumu.....	12
2.5.2 WGS84 (World Geodetic System 1984) Datumu	12
2.5.3 ITRF96 (International Terrestrial Reference System) Datumu.....	13
2.6 Datum Dönüşümleri.....	13
2.6.1 İki Boyutlu Datum Dönüşümleri.....	14
2.6.2 İki Boyutlu Benzerlik (Helmert) Dönüşümü.....	14
2.6.3 İki Boyutlu Afin Dönüşümü.....	20
2.6.4 İki Boyutlu Projektif Dönüşüm	24
3.UYGULAMALAR.....	26
3.1 İki Boyutlu Helmert Benzerlik Dönüşümü	32
3.2 İki Boyutlu Afin Dönüşümü	35
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41

5. KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	45

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

gal	İvme Birimi (Galileo Galilei)
kgal	İvme Birimi (Galileo Galilei)
km	Kilometre
m	Metre

Kısaltmalar

BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
ED50	European Datum 1950
EKK	En Küçük Kareler
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodetic Reference System 1980
IGS	International GNSS Service
ITRF91	International Terrestrial Reference Frame 1991
ITRF96	International Terrestrial Reference Frame 1996
TUD54	Türkiye Ulusal Datumu 1954
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
WGS84	World Geodetic System 1984

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kutupsal ve dik koordinatlar	2
Şekil 2.2 Dik (Kartezyen) koordinat sistemi (İlvan 2014).	3
Şekil 2.3 Coğrafi koordinat sistemi (İnt. Kyn. 3).....	4
Şekil 2.4 Yükseklik Sistemleri (Demirkol vd. 2002)	5
Şekil 2.5 Meridyen elipsi (Üstün 2012).	7
Şekil 2.6 Elipsoidal yükseklik (h) ve ortometrik yükseklik (H) (Güllü ve Taktak 2009)	8
Şekil 2.7 Jeoit ve elipsoit arasındaki ilişki (Üstün 1996)	9
Şekil 2.8 Yatay datum (Demirkol vd. 2002).	10
Şekil 2.9 Mutlak ve rölatif yer elipsoitleri (Demirkol vd. 2002)	11
Şekil 2.10 Ortalama deniz seviyesi ve düşey datum (Demirkol vd. 2002)	12
Şekil 2.11 Benzerlik dönüşümü öncesi ve sonrası şekiller (Subaşı 2014)	14
Şekil 2.12 İki boyutlu benzerlik dönüşümü (Şişman vd. 2013)	15
Şekil 2.13 Afin dönüşümü öncesi ve sonrası şekiller (Subaşı 2014).	20
Şekil 2.14 İki boyutlu afin dönüşümü (Şişman vd. 2013).....	21
Şekil 2.15 İki boyutlu projektif dönüşüm (Ünsal 2009).....	24
Şekil 3.1 Bursa ili nokta dağılımı.....	27
Şekil 3.2 Bölgelere göre noktaların dağılımı	28
Şekil 3.3 Helmert ve Afin dönüşümleri nokta konum hatalarının grafik üzerinde gösterimi	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Referans elipsoitler ve parametreleri (Evsen 2019)	8
Çizelge 2.2 Dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan datumlar ve elipsoitleri	11
Çizelge 3.1 ITRF06 ve ED50 datumlarında ortak noktaların birinci bölgedeki jeodezik dik koordinatları	29
Çizelge 3.2 ITRF06 ve ED50 datumlarında ortak noktaların ikinci bölgedeki jeodezik dik koordinatları	30
Çizelge 3.3 ITRF06 ve ED50 datumlarında ortak noktaların üçüncü bölgedeki jeodezik dik koordinatları.	31
Çizelge 3.4 ITRF06 ve ED50 datumlarında ortak noktaların test bölgesindeki jeodezik dik koordinatları.	32
Çizelge 3.5 Helmert dönüşüm parametreleri.....	33
Çizelge 3.6 1. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları	34
Çizelge 3.7 2. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları	34
Çizelge 3.8 3. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları	35
Çizelge 3.9 4. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları	35
Çizelge 3.10 Tüm bölgelerden üretilen nokta konum hataları	35
Çizelge 3.11 Afin dönüşüm parametreleri.	37
Çizelge 3.12 1. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları	37
Çizelge 3.13 2. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları	38
Çizelge 3.14 3. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları	38
Çizelge 3.15 4. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları	39
Çizelge 3.16 Tüm bölgelerden üretilen nokta konum hataları	39

1. GİRİŞ

Koordinatlar, bir noktanın belli bir referans sistemi üzerindeki yerini belirtmeye yarayan doğrusal ve açısal büyüklüklerdir. Yeryüzü bir koordinat sistemiyle tanımlanmaktadır. Jeodezide, arazi ya da haritada var olan bir objenin kabul edilen bir başlangıç noktasına göre konumunu bulmak için koordinat sistemleri kullanılmaktadır. Kullanılan koordinat sistemleri; “Kartezyen Koordinat Sistemi”, “Coğrafi Koordinat Sistemi”, “Projeksiyon Koordinat Sistemi” olarak adlandırılır.

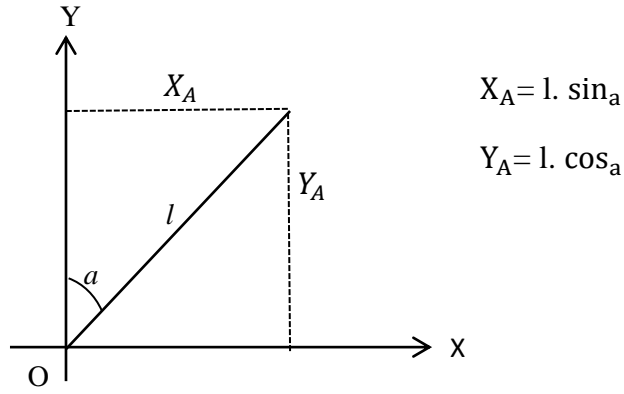
Yeryüzünde bulunan nokta verilerinin koordinatlarının tanımlanabilmesi için bir datuma ihtiyaç vardır. Yeryüzündeki herhangi bir noktanın koordinat bilgilerinin tanımlanması için referans kabul edilen bu elipsoide veya başlangıca datum adı verilmektedir. Dünya’da çoğu ülke kendilerine uygun bir datum ve projeksiyon sistemi seçerek harita üretmektedirler.

Ülkemizde ise jeodezik nokta koordinatlarını tanımlamak için datum olarak 2005 yılına kadar Avrupa Datumu (ED50- European Datum 1950) kullanılmakta iken tektonik hareketler nedeniyle bozulmalar yaşanmış ve hassas sonuçlar elde edilemediği için datum değişimi söz konusu olmuştur. Bu problemleri ortadan kaldırmak için Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) kurulmuştur. Kurulan bu GPS ağının datumu ve koordinat sistemi ise Uluslararası Yersel Referans Sistemi 1996 (ITRF96-International Terrestrial Reference Frame 1996)’dır. Ülkemizde uygulanan bu datum değişimi ile hem ED50 hem de ITRF96 koordinat sistemlerinden elde edilen nokta koordinat verilerinin bir arada kullanılması amacı ile dönüşüm yöntemleri uygulanmaktadır. Bu dönüşümler yapılan uygulamanın amacına göre iki boyutlu ve üç boyutlu olarak seçilmektedir.

Bu uygulamada ise Bursa iline ait ED50 ve ITRF96 koordinat sistemlerinden elde edilen ortak noktalar kullanılarak koordinat dönüşümü yapılmış ve doğruluk oranları karşılaştırılmıştır. Koordinat dönüşüm yöntemlerinden iki boyutlu Helmert (Benzerlik) Dönüşümü ve Afin Dönüşümü kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. KOORDİNAT SİSTEMLERİ

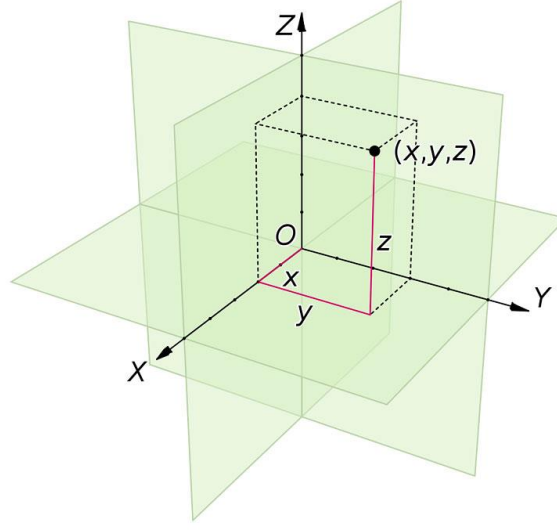
Yeryüzü üzerindeki bir noktayı matematiksel olarak tanımlayabilmek için konum verilerine ihtiyaç duyulur. Bu konum verilerini anlamlı biçimde ifade edebilmek için ise bir koordinat sistemi gerekmektedir. Koordinat sistemi, bu noktanın dünya üzerinde enlem ve boylamlarla yaptığı açı, bu eksnelere olan uzaklıkları ile başlangıç noktasına (orijine) olan uzaklığının belirtildiği referans sistemidir. Konum; düzlemlere dik uzaklık ile belirtiliyorsa Dik Koordinat Sistemi, doğrultunun düzlemlerle yaptığı açı ve orijine olan uzaklık belirtiliyorsa Kutupsal Koordinat Sistemi olarak tanımlanmaktadır. Kutupsal ve dik koordinatlar arasındaki ilişki (Şekil 2.1)' de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Kutupsal ve dik koordinatlar.

2.1 Dik (Kartezyen) Koordinat Sistemi

Bir noktanın iki boyutlu bir yüzey üzerinde veya üç boyutlu uzayda yerini belirlemek için kullanılan koordinat sistemidir (Şekil 2.2). Koordinat eksenlerini doğru biçiminde olduğu dikey bir sistemdir. Birbirine dik iki eksenin kesişmesiyle 'Kartezyen Koordinat Sistemi', birbirine dik üç eksenin kesişmesiyle 'Üç Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemi' oluşmaktadır.

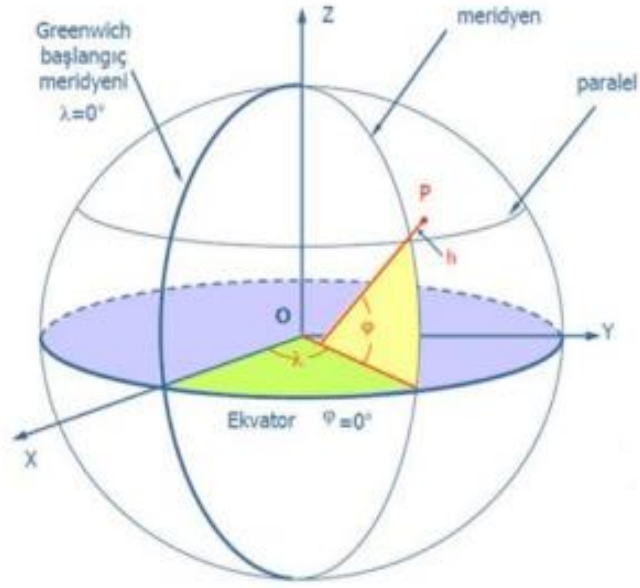


Şekil 2. 2 Dik (Kartezyen) koordinat sistemi (İlvan 2014).

2.2 Coğrafi Koordinat Sistemi

Jeodezide kullanılan bir diğer koordinat sistemi coğrafi koordinat sistemidir. Coğrafi koordinat sisteminde, yeryüzündeki bir noktanın konumu referans elipsoidine tanımlanırken enlem ve boylam büyüklükleri kullanılır. Coğrafi koordinatlar bir düzlem belirtmemektedirler. Bu nedenle, iki boyutlu bir yüzeyde harita olarak çizilebilmek için projeksiyon kullanılmaktadır.

Elipsoit üzerindeki bir P noktasının coğrafi koordinatları enlem ve boylam ile belirlenir. Coğrafi enlem (ϕ), ekvator düzleminde itibaren meridyen yönünde kuzey ve güney yönde olan açı olarak; coğrafi boylam (λ) ise, ekvator düzleminde başlangıç meridyeninden (Greenwich) geçen meridyene göre doğu ve batı yönde olan açı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.3).



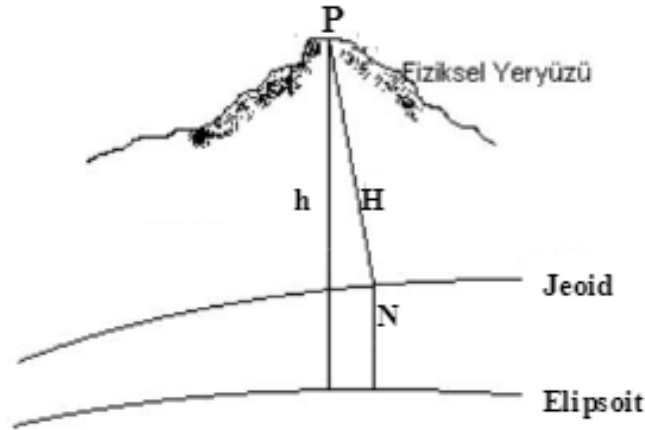
Şekil 2. 3 Coğrafi koordinat sistemi (İnt. Kyn. 3).

2.3 Yerel Koordinat Sistemi

Yerel Koordinat sisteminde yeryüzü üzerindeki herhangi bir nokta orijin kabul edilir. Bu sistem dik koordinat sistemi olarak tanımlanmaktadır. Ulusal ve yerel anlamda üretilen haritaların projeksiyonları ülkemizde Universal Transversal Mercator (UTM)'dur. Lokal olarak üretilenlerle ise düzlem projeksiyonlarda karşılaşılmaktadır. UTM projeksiyonunda üretilen haritalar genellikle 1:25000 ve daha küçük, Transversal Merkator projeksiyonunda üretilenler ise 1:5000 ve daha büyük ölçekte haritalardır. UTM projeksiyonunda üretilen haritalar ile ülke düzeyinde düşük çözünürlükte dijital bilgi üretilirken Transversal Merkator projeksiyonunda üretilenlerle genellikle yerel düzeyde ve yüksek çözünürlükte dijital bilgi üretilir. Düzlem projeksiyonda olan haritalar ise 1988 Büyük Ölçekli Harita Yapım Yönetmeliği öncesinde ya da geçiş sürecinde üretilmiş olan büyük ölçekli, yüksek çözünürlükte dijital bilgi üretilen haritalardır (İlvan 2014).

2.4 Yükseklik Sistemleri

Yeryüzündeki bir noktanın yüksekliği noktanın bulunduğu eş potansiyelli yüzeyden başlangıç yüzeyine olan uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Jeoidin yeryüzü noktalarına göre konumu bilinmediğinden teorik bir kavramdır. Yükseklik ise ölçülebilen bir kavram olarak nitelendirilir. Jeodezide, teori (bilimsel) ve uygulamadaki yükseklik problemlerinin çözümü için çeşitli yükseklik sistemleri tanımlanmıştır. Bu yükseklikler pratik ve teorik yükseklikler olarak iki sınıfta incelenmiştir. Pratik yükseklikler; normal yükseklik, normal ortometrik yükseklik ve elipsoidal yüksekliktir. Teorik yükseklikler; jeopotansiyel yükseklik, dinamik yükseklik ve ortometrik yüksekliktir (İnt. Kyn. 2). Bu çalışmada ise jeopotansiyel yükseklik (N), elipsoidal yükseklik (h) ve ortometrik yükseklikler (H) incelenmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Yükseklik Sistemleri (Demirkol vd. 2002).

2.4.1 Jeoit ve Jeopotansiyel Yükseklik

Jeoit, yeryuvarının gerçek şeklini tanımlamak için kullanılmaktadır. Gerçek bir eş potansiyelli yüzey, durgun bir okyanus yüzeyi olarak da tanımlanmaktadır. Gauss ise jeoidi, yeryuvarının matematiksel şekli olarak tanımlar. Birçok literatürde jeoit, “okyanusların karaların altından da devam ettiği düşünülerek oluşturulan kapalı bir yüzey” olarak geçmektedir. Aslında jeoit, durgun deniz yüzeyinden bir takım farklılıklar

gösterir. Jeodezicilerin görevlerinden biri de bu farkı saptamaktır. Bunun nedeni ise ülkelerin, yükseklik sistemlerini oluştururken durgun deniz yüzeyinden yararlanmış ve deniz yüzeyi ile jeoidi karşılaştırarak bunu başlangıç olarak kabul etmiş olmalarıdır (Üstün 2012).

Jeoit yerin gerçek şekli olarak isimlendirilir ve tanımlanan referans elipsoidinden olan yükseklik farkı (jeoit yüksekliği, jeoit ondülasyonu) ile ifade edilir. Jeoit yüksekliği genel olarak yersel ölçüler, uzaysal ölçüler ve bunların kombinasyonu ile matematiksel olarak belirlenebilir (Evsen 2019).

Jeoidi belirleyen en önemli faktör gravite kuvvetidir. Gravite kuvvetinin yönü, çekül doğrultusundadır yani her nokta için yerin merkezine doğru yön belirtmektedir. Bu nedenle gravite kuvvetine yerçekimi kuvveti de denmektedir ve fiziksel yeryüzünde ölçülebilir. Gravite kuvveti $|g|$ biçiminde gösterilmektedir. Jeoidi belirleyen bir diğer önemli parametre ise merkezkaç kuvvetidir. Jeoid, merkezkaç ve gravite kuvvetlerinin bileşkesi olarak ifade edilebilir.

Fiziksel yeryüzündeki bir P noktasından geçen nivo yüzeyi potansiyeli ile jeoidin potansiyeli arasında $kgal \cdot metre$ biriminde ifade edilen potansiyel farka jeopotansiyel yükseklik denilmektedir. P noktasındaki jeopotansiyel yükseklik C_P ile gösterilmektedir. Jeopotansiyel yüksekliğin denklemi;

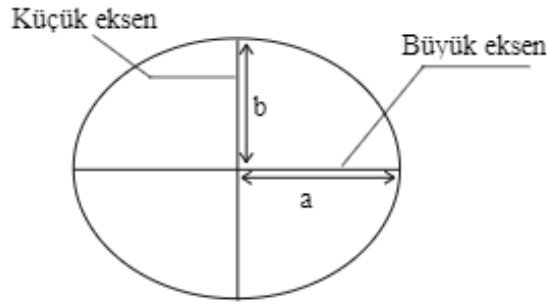
$$C_P = W_0 - W_P = -\int_0^P d_w = \int_0^P g * d_h \quad (2.1)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada; ' W_0 ' jeoidin potansiyelini, ' W_P ' nivo yüzeyi potansiyelini, ' d_w ' birbirine diferansiyel anlamda yakın iki nivo yüzeyi arasındaki potansiyel farkı, ' d_h ' diferansiyel anlamda yükseklik farkı ve ' g ' gravite değerini ifade etmektedir.

2.4.2 Elipsoit ve Elipsoidal Yükseklik

Dünyanın şekli genel olarak kutuplardan basık ekvatorдан geniş olarak nitelendirilmektedir. Yani Dünya'nın şekli düzgün bir küre biçiminde olmadığından, jeodezik hesaplar yapmak için elipsoide yaklaştırılarak işlem yapılmaktadır. Bu nedenle Dünya yüzeyi için tanımlı çok sayıda elipsoit tanımlanmıştır. Bölgeye göre yeryüzüne boyut ve konum olarak ayrıca fiziksel jeode uyu m sağlayacak biçimde en iyi elipsoit seçilmektedir (Çizelge 2.1).

Dönel elipsoit, meridyen elipsi adı verilen küçük eksen etrafında döndürülmesiyle oluşmaktadır. Bahsedilen meridyen elipsine ilişkin parametreler elipsoidi tanımlamaktadır. Elipsin boyutları küçük yarı eksen ve büyük yarı eksenidir (Şekil 2.5).



Şekil 2. 5 Meridyen elipsi (Üstün 2012).

a: Büyük yarı eksen

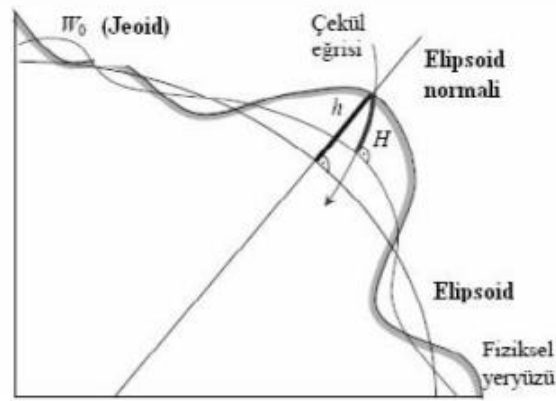
b: Küçük yarı eksen

α : Elipsoidin basıklığı

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad (2.2)$$

Elipsoit, yatay konum tanımlamaları için kullanılan bir referans yüzeyidir ve yeryüzünün matematiksel olarak modellenmesinde kullanılmaktadır. Elipsoidal

yükseklik (h) ise, yeryüzündeki bir noktadan seçilen referans elipsoidine elipsoit normalini boyunca indirilen dikin uzunluğuna denmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2. 6 Elipsoidal yükseklik (h) ve ortometrik yükseklik (H) (Güllü ve Taktak 2009).

Çizelge 2.1 Referans elipsoidler ve parametreleri (Evsen 2019).

Referans Elipsoidi	Büyük Yarı Eksen	Küçük Yarı Eksen	Basıklık ($1/f$)	Genel Kullanıcı
International 1924 (Hayford)	6378388 m	6356911,9460 m	1/297	Most of the World
Geodetic Reference System 1980 (GRS 80)	6378137 m	6356752,3141 m	1/298,257222101	Worldwide
World Geodetic System 1984 (WGS 84)	6378137 m	6356752,3142 m	1/298,257223563	Current Worldwide
Clarke 1866	6356583,8 m	6356583,8 m	1/294,9786982	North America

2.4.3 Ortometrik Yükseklik

Jeodezide ortometrik yükseklik, yeryüzü üzerindeki bir noktanın çekül doğrultusu boyunca jeoide olan uzaklığı olarak tanımlanmaktadır. “H” ile gösterilmektedir (Şekil

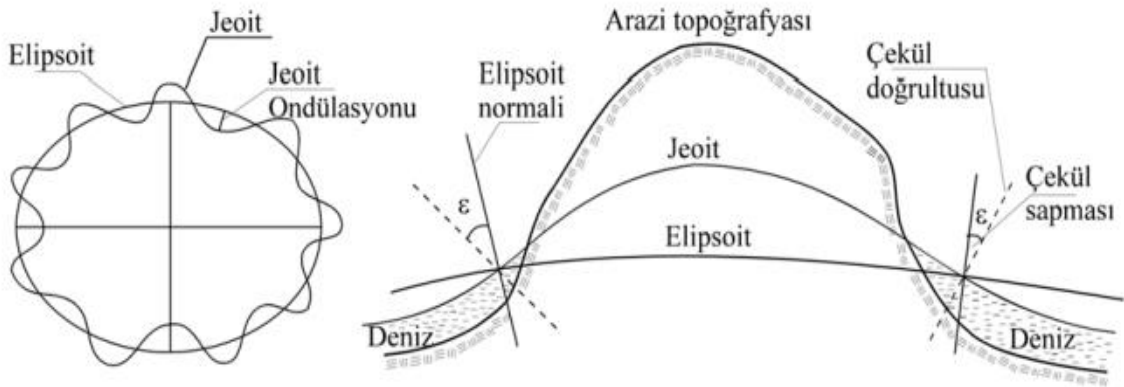
2.5). Herhangi bir noktanın jeopotansiyel yüksekliğinden (c) ve jeoide kadar olan ortalama gravite değerinden (\bar{g}) aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$H = \frac{c}{\bar{g}} \quad (\bar{g} = \text{ölçülen noktanın gravite değeri} + 0,0424 \text{ (Gal/km)} * H \text{ (km)}) \quad (2.3)$$

2.4.4 Jeoit ile Elipsoit Arasındaki İlişki

Jeodezik çalışmalarda jeoit, matematiksel olarak tanımlanamadığı için referans yüzeyi olarak kullanılmamaktadır. Bu sebeple, geometrik açıdan jeoide en yakın sayılan elipsoit referans yüzeyi olarak seçilmiştir. Yalnızca yükseklikle için jeoit referans olarak kullanılmaktadır.

Boyutlarıyla jeoide en yakın olması istenen elipsoit ile jeoit arasındaki ilişki aralarındaki yükseklik farkları ile kurulmaktadır (Şekil 2.7). Jeoidin elipsoitten olan yüksekliğine jeoit yüksekliği (N) ya da jeoit ondülasyonu denir. Global olarak tanımlanan ya da kullanılan bir referans elipsoidi için jeoit ondülasyon değeri 100 metreden fazla olmamalıdır. Jeoit yüksekliğinin elipsoit yüksekliği ve ortometrik yükseklikle arasındaki ilişki $h = H + N$ formülüyle ifade edilmektedir (Üstün 1996).

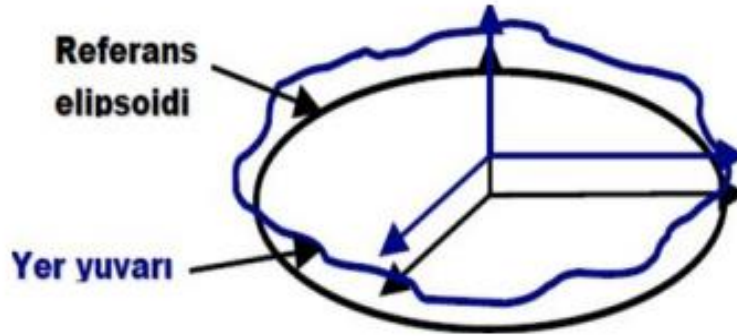


Şekil 2. 7 Jeoit ve elipsoit arasındaki ilişki (Üstün 1996).

2.5 Datum

Datum, yeryüzünde bulunan herhangi bir noktanın yatay ve düşey konumunun tanımlanması için kullanılacak referans koordinat sisteminde kabul edilen başlangıçtır. Jeodezik datum ise; jeodezik hesapların yapılabilmesi için matematiksel olarak tanımlı ve dünya yüzeyine en yakın yüzey olarak kabul edilen referans elipsoidinin konumunu belirleyen parametre bilgileri olarak tanımlanabilir. Datum parametre bilgileri aynı zamanda bir koordinat sistemi de tanımlamaktadır (Şişman ve Dilaver 2005). Koordinat sistemleri arasındaki fark datum parametre bilgilerinden kaynaklanmaktadır. Aynı elipsoidi kullanan koordinat sistemleri arasındaki farkı farklı datum parametreleri ortaya çıkarmaktadır.

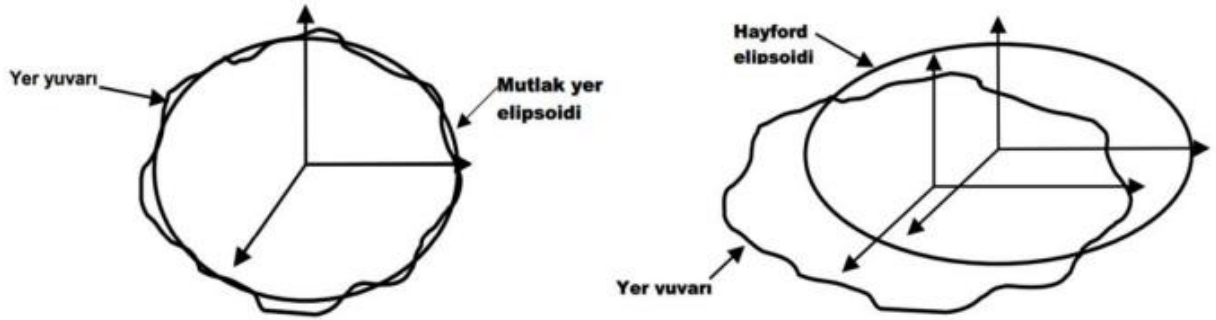
Noktaların yatay koordinatları için yatay datum referans olarak kullanılmaktadır. Her ülke kendi haritasını oluşturmak için şartlarına uygun bir yatay datum oluşturmaktadır (Şekil 2.8). Yani datum, elipsoit üzerinden belirlendiği için bölgesel olarak en uygun referans elipsoidi oluşturulmakta ve boyutları belirlenmektedir.



Şekil 2. 8 Yatay datum (Demirkol vd. 2002).

Yeryüzünün fiziksel şeklini belirlemek için, önceden tanımlanmış koordinatı bilinen noktalara gereksinim vardır. Bu noktalar nirengi noktası olarak adlandırılır ve nirengi noktalarının konumları yatay ve düşey datum ele alınarak iki veya üç boyutlu olarak incelenebilir. Bu durumda yatay ve düşey datum için bir yüzey seçmek gerekir. Bir datum, elipsoidi, enlem- boylam bilgileri ve fiziksel bir orijin ile tanımlanmaktadır.

Bir noktanın elipsoid ve jeoit normalleri çakıştırılıp elipsoid için tüm koşullar gerçekleştirilebiliyorsa tanımlanan bu elipsoide “Mutlak Yer Elipsoidi”, dönme eksenleri için yalnızca paralellik koşulu sağlanıyorsa bu elipsoide “Rölatif Yer Elipsoidi” denir. Bu açıdan ülkemizde ED50 sisteminde kullanılan ve 1924 yılında Hayford tarafından tanımlanan elipsoid rölatif bir elipsoid, WGS84 sistemi tarafından kullanılan WGS84 elipsoidi ise mutlak bir elipsoidtir (Şekil 2.9) (Çizelge 2.2).

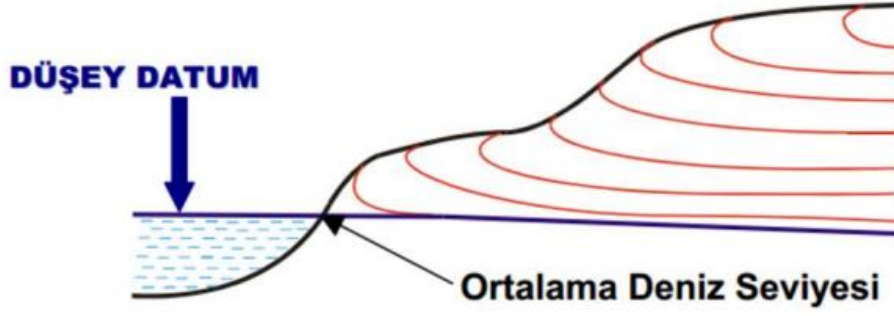


Şekil 2. 9 Mutlak ve rölatif yer elipsoidleri (Demirkol vd. 2002).

Çizelge 2.2 Dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan datumlar ve elipsoidleri.

Datum	Alan	Başlangıç Noktası	Elipsoid
ITRF96	Global	Yerin Kütle Merkezi	GRS80
WGS84	Global	Yerin Kütle Merkezi	WGS84
ED50	Avrupa, Orta Doğu, Kuzey Afrika	Postdam, Helmert Tower	Hayford (International)

Noktanın yüksekliği, nokta ile ortalama deniz seviyesi arasındaki fark ölçülerek hesaplanmaktadır. Noktaların yükseklik bilgileri, düşey datum referans alınarak tanımlanmaktadır. Ülkemizde haritalarda kullanılan düşey datum, deniz kıyısına kurulan mareograf (deniz seviyesi ölçme) istasyonlarıyla uzun süreli gözlemler yapılarak belirlenen ortalama deniz seviyesidir (Şekil 2.10). Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS)’nde ise elipsoidten alınan yükseklikler kullanılmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2. 10 Ortalama deniz seviyesi ve düşey datum (Demirkol vd. 2002).

2.5.1 ED50 (European Datum 1950) Datumu

ED50 datumu, uluslararası jeodezik ağ bağlantıları için İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra kurulmuş bir jeodezik veridir. Ülkemizde 1934 yılında temel jeodezik ağların ilk kuruluş çalışmaları, I. derece Yatay Kontrol Ağı kapsamında yatay ve düşey açı, baz ve astronomik ölçüler, nokta tesisi ile başlamıştır. 1950'li yılların başlarına kadar yapılan çalışmalar ile I. derece Yatay Kontrol Ağı oluşturulmuştur. Daha sonra 1954 yılında Meşedağ noktası başlangıç alınmış ve TUD54 oluşturulmuştur. 786 noktadan oluşan bu ağ ED50'ye dönüşürken Bulgaristan ve Yunanistan'da koordinatları bilinen 8 ortak noktanın, bağlantı ölçüleri ile hesaplanır (İnt.Kyn.1). Ayrıca ED50 datumu Hayford elipsoidini kullanmaktadır.

Ülkemizde 2001 yılına kadar üretilen 1/25.000, 1/50.000 ve 1/100.000 ölçekli topoğrafik haritalarda yatay koordinatlar ED50'ye göre, yükseklikler ise ortalama deniz seviyesine göre tanımlanmıştır. Fakat GPS teknolojisiyle beraber dünyada haritaların WGS84 sisteminde üretimi yaygınlaşmış, ülkemizde de topoğrafik haritalar WGS84 sisteminde üretilmeye başlanmıştır.

2.5.2 WGS84 (World Geodetic System 1984) Datumu

WGS84 sistemi, uydu navigasyon sistemlerinin temelini oluşturan yersel üç boyutlu bir koordinat sistemidir. Amerika Savunma Bakanlığı tarafından GPS uydularının yörünge bilgilerinin tanımı için oluşturulan uluslararası yersel koordinat sistemi olarak kabul

edilmektedir. Uydulardan alınan konum bilgileri bu datumun aynı isimli referans elipsoidinde hesaplanmaktadır.

Jeosentrik (Yer merkezli) olan bu datum dünyanın ağırlık merkezini başlangıç noktası olarak kabul eder. Duyarlılığı daha yüksek olduğu için ITRF sistemine bağımlı olarak 1984 yılında yeniden belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca ITRF91 koordinatları sabit alınan bazı IGS noktaları ile 10 izleme noktasında toplanan GPS verileri kullanılarak WGS84 sisteminin iyileştirme çalışmaları yapılmıştır (İnt.Kyn.1).

2.5.3 ITRF96 (International Terrestrial Reference System) Datumu

ITRF96 datumunun referans elipsoidi GRS80 elipsoididir. GRS80, Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği tarafından 1979 yılında ITRF96 sisteminin referans elipsoidi olarak kabul edilmiştir. Bu datum, 2005 yılında yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHKBÜY) ile ülkemizde resmi datum olarak kullanılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda hassas ölçümler için yeterli duyarlılığı sağlayamayan ED50 datumu yerine kullanılarak Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) kurulmuştur. TUTGA depremlerin etkisi ile 2001 yılında güncellenmiş ve tekrar kullanılmıştır.

2.6 Datum Dönüşümleri

Yeryüzündeki konumlandırma işlemi koordinat sistemleri üzerinden yapılmaktadır. Farklı koordinat sistemlerinde elde edilen nokta verilerini başka bir koordinat sisteminde tanımlamak veya dönüştürmek amacıyla yapılan işleme datum dönüşümü veya koordinat dönüşümü denmektedir. Datum dönüşümünü uygulayabilmek için dönüşüm yapılacak sistemlerin ortak verileri tanımlanmaktadır. Bu veriler yardımıyla koordinat sistemleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan parametreler hesaplanarak dönüşüm gerçekleştirilir (Üstün 1996).

Dönüşüm sırasında objenin bazı özelliklerinin korunması istenebilir. Eğer noktalar arasındaki açıların, başka bir deyişle şeklin korunması isteniyorsa, bu bir benzerlik

dönüşümüdür. Ayrıca uzunluk ya da alanların korunduğu dönüşümler ve afin dönüşüm de objenin diğer özelliklerinin korunduğu dönüşümlerdir (Üstün 1996). Dönüşüm yöntemi olarak; iki veya üç boyutlu benzerlik dönüşüm yöntemleri, polinomlarla dönüşüm, enterpolasyon veya sonlu elemanlarla dönüşüm ve benzeri bilimsel literatürde yer almış dönüşüm yöntemlerinden en uygun olanı kullanılır (BÖHNBÜY 2018). Bu çalışmada iki boyutlu koordinat dönüşümleri üzerine çalışılmıştır.

2.6.1 İki Boyutlu Datum Dönüşümleri

İki boyutlu dönüşümde xy sistemindeki koordinatlar XY sistemine bilinen, ya da yeteri kadar eşlenik nokta koordinatlarından yararlanarak hesaplanan, dönüşüm parametreleri yardımıyla dönüştürülür (Başçiftçi ve İnal 2008). Dönüşüm benzerlik, afin, projektif dönüşüm yöntemlerinden birisi kullanılarak yapılabilir. Yöntemlerin parametre değerleri birbirinden farklıdır ancak hangi yöntemin kullanılacağı işlemin amacına göre farklılık göstermektedir.

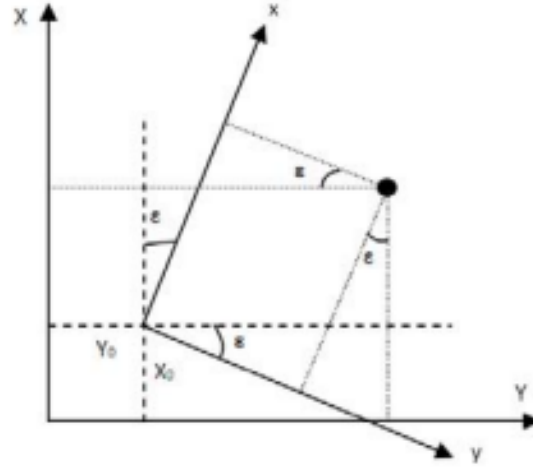
2.6.2 İki Boyutlu Helmert (Benzerlik) Dönüşümü

İki boyutlu benzerlik (Helmert) dönüşümü jeodezik çalışmalarda sıkça kullanılan yöntemlerden biridir. Bu dönüşüm işlemi dönüştürülen şeklin geometrik açıdan şeklinin korunmasına dayalıdır. Yani dönüştürülen şeklin kenarları arasında kalan açılar sabit kalmakta yalnızca kenar uzunlukları uzayıp kısalmaktadır. Kısacası dönüşümden önceki şekil ile dönüşüm sonrası şekil birbirine benzerdir (Şekil 2.11).



Şekil 2. 11 Benzerlik dönüşümü öncesi ve sonrası şekiller (Subaşı 2014).

Benzerlik dönüşümü, bir noktanın her iki sistemdeki koordinatları döndürme, öteleme ve ölçek faktörleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu dönüşümde bir ölçek faktörü, bir dönüklük açısı ve iki öteleme olmak üzere toplam dört adet parametre belirlenmektedir. Parametrelerin belirlenmesi için her iki sistemde de koordinatları bilinen en az iki nokta gerekmektedir. Dönüşümün eksenler üzerinde gösterimi şekil 2.12’de gösterilmektedir.



Şekil 2. 12 İki boyutlu benzerlik dönüşümü (Şişman vd. 2013).

Şekil 2.12’de iki dik koordinat sistemi ve bir P noktasının her iki sistemdeki koordinatları gösterilmiştir ve şekildeki;

x, y : 1. Sistemin koordinatları

X, Y : 2. Sistemin koordinatları

ϵ : İki koordinat sistemi arasındaki dönüklük açısı

X_0, Y_0 : Öteleme elemanları

m : Ölçek faktörü

olarak tanımlanmaktadır. P noktasının her iki sistemdeki koordinatları arasında;

$$X = x.m.\cos\epsilon - y.m.\sin\epsilon + X_0 \quad (2.4)$$

$$Y = x.m.\sin\varepsilon + y.m.\cos\varepsilon + Y_0 \quad (2.5)$$

eşitlikleri yazılabilir.

$$a = m \cos\varepsilon, \quad b = m \sin\varepsilon, \quad c=X_0, \quad d=Y_0 \quad (2.6)$$

denirse, benzerlik dönüşümünün eşitlikleri;

$$X = a.x - b.y + c \quad (2.7)$$

$$Y = a.y + b.x + d \quad (2.8)$$

olur. Eşitlikteki a, b, c, d katsayıları dönüşüm parametreleri olarak isimlendirilir. Bu dönüşümde m ölçek katsayısı ve iki dik koordinat sistemi arasındaki ε dönüklüğü, parametreler cinsinden;

$$m = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2.9)$$

$$\tan \varepsilon = \frac{a}{b} \quad (2.10)$$

olur (Tanık 2003).

Benzerlik dönüşümünde ortak nokta sayısı ikiden fazla ise dönüşüm parametreleri bir parametre kestirim yöntem olan En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile hesaplanır. Nokta sayısının üç ya da daha fazla olması durumunda (2.7) ve (2.8) eşitlikleri kullanılarak nokta sayısının iki katı kadar düzeltme denklemi yazılabilir (Yaşayan 1978).

Koordinatların düzeltme denklemleri;

$$ax_1 - by_1 + c = X_1 + V_{X_1}$$

$$ay_1 + bx_1 + d = Y_1 + V_{Y_1}$$

...

(2.11)

...

$$ax_n - by_n + c = X_n + V_{X_n}$$

$$ay_n + bx_n + d = Y_n + V_{Y_n}$$

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & -y_1 & 1 & 0 \\ y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & -y_n & 1 & 0 \\ y_n & x_n & 0 & 1 \end{bmatrix}_{2n \times 4} \quad (2.12)$$

$$X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}_{4 \times 1} \quad I = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \dots \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad V = \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{Y_1} \\ \dots \\ \dots \\ V_{X_n} \\ V_{Y_n} \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad (2.13)$$

Bilinmeyenler matrisi X ;

$$N = A^T P A, n = A^T P I \quad (2.14)$$

olmak üzere,

$$X = N^{-1} n \quad (2.15)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bilinmeyenler bulunduktan sonra;

$$V = AX - I \quad (2.16)$$

eşitliğinden ortak nokta koordinatlarına getirilecek düzeltmeler hesaplanır. Dolaylı ölçüler dengelemesine göre koordinatların ortalama hatası;

$$m_0 = m_x = m_y = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{2n-4}} \quad (2.17)$$

ve bir P noktasının konum hatası;

$$m_P = m_0 \sqrt{2} = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{n-2}} \quad (2.18)$$

ile hesaplanır.

Dönüşümde kullanılan noktaların koordinat duyarlılıkları (m_x, m_y) biliniyorsa, hem birinci hem de ikinci sistemdeki koordinatları bir takım hatalar içerdiğinden (2.7) ve (2.8) eşitlikleri;

$$F(x, y, X, Y) = \alpha(x+V_x) - b(y+V_y) + c - (X+V_X) = 0 \quad (2.19)$$

$$G(x, y, X, Y) = b(x+V_x) + \alpha(y+V_y) + d - (Y+V_Y) = 0$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitlikleri lineer hale getirmek için değişkenlere kısmi türev alınır.

$$\frac{dF}{dx} = \alpha \quad \frac{dF}{dy} = -b \quad \frac{dF}{dX} = -1$$

$$\frac{dF}{d\alpha} = x \quad \frac{dF}{db} = -y \quad \frac{dF}{dc} = 1$$

(2.20)

$$\frac{dG}{dx} = b \quad \frac{dG}{dy} = \alpha \quad \frac{dG}{dY} = -1$$

$$\frac{dG}{d\alpha} = y \quad \frac{dG}{db} = x \quad \frac{dG}{dd} = 1$$

(2.20) eşitliklerindeki kısmi türevler kullanılarak her bir nokta için (2.19) eşitlikleri matris gösteriminde aşağıdaki gibi ifade edilir (İnal ve Turgut 2001).

Matris biçiminde gösterilirse;

$$\begin{bmatrix} \alpha_0 & -b_0 & -1 & 0 \\ b_0 & \alpha_0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_x \\ V_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x & -y & 1 & 0 \\ y & x & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_\alpha \\ d_b \\ d_c \\ d_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X - (\alpha_0 x - b_0 y + c_0) \\ Y - (b_0 x + \alpha_0 y + d_0) \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$$B \quad V \quad A \quad X \quad K$$

şeklinde ifade edilir. Noktaların koordinat duyarlılıkları dikkate alınmadan benzerlik dönüşümü yapılır. α_0, b_0, c_0, d_0 dönüşüm parametreleri hesaplanır. Hesaplanan parametreler 1. iterasyon için B , W ve K matrisinin hesabında kullanılır ve ağırlık katsayıları matrisi Q hesaplanır.

$$Q = \frac{1}{\sigma_0^2} \begin{bmatrix} \sigma_{x_1}^2 & & & & & \\ & \sigma_{y_1}^2 & & & & \\ & & \sigma_{x_1}^2 & & & \\ & & & \sigma_{y_1}^2 & & \\ & & & & \dots & \\ & & & & & \dots \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Ağırlık matrisi (W), bilinmeyenler vektörü (X) ve düzeltmeler vektörü (V);

$$W = (BQB^T)^{-1} \quad (2.23)$$

$$X = (A^T W A)^{-1} A^T W K \quad (2.24)$$

$$V = AX - K \quad (2.25)$$

Eşitlikleriyle hesaplanır. 1. iterasyon sonucu hesaplanan parametreler kullanılarak yeniden B , W ve K matrisleri oluşturulur. Hesaplanan parametreler arasında fark görülmedikçe kadar tekrarlanır (İnal ve Turgut 2001, Başçiftçi ve İnal 2008).

2.6.3 İki Boyutlu Afin Dönüşümü

İki boyutlu afin dönüşümü, jeodezik çalışmalardan çok fotogrametrik ve kartografik çalışmalarda kullanılmaktadır. Afin dönüşümünde koordinat eksenleri birbirine dik değildir ve farklı eksenlerde farklı ölçekler içermektedir. Belirli bir yönde ölçek sabittir. Ancak yön değişirse ölçekte değişir. Paralel doğrular dönüşümden sonra yine paraleldir. Açılar ise dönüşümden sonra değişirler (Şekil 2.13) (Yaşayan 1978, İlvan 2014).



Şekil 2. 13 Afin dönüşümü öncesi ve sonrası şekiller (Subaşı 2014).

Benzerlik dönüşümünde 4 parametre kullanılırken afin dönüşümünde parametre sayısı 6'dır. Bu parametreler; 2 öteleme, 2 dönüklük, 2 ölçek faktörüdür. Bu parametreleri belirlemek için her iki sistemde de ortak olan en az 3 nokta gerekmektedir. Ortak nokta sayısının üçten fazla olması durumunda dönüşüm parametreleri en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır (İnal ve Turgut 2001). Afin dönüşümünün eksenler üzerinde gösterimi şekil 2.14'teki gibidir.

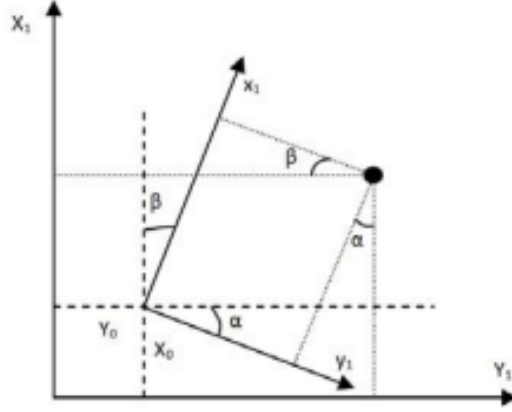
x_i, y_i : 1. Sistemin koordinatları

X_i, Y_i : 2. Sistemin koordinatları

a, β : İki koordinat sistemi arasındaki dönüklük açıları

X_0, Y_0 : Öteleme elemanları

m_x, m_y : Ölçek faktörleri



Şekil 2. 14 İki boyutlu afin dönüşümü (Şişman vd. 2013).

Afin dönüşümünde iki ayrı koordinat sistemi arasındaki ilişki;

$$X_i = m_x \cdot x_i \cdot \cos\alpha - m_y \cdot y_i \cdot \sin\beta + X_0 \quad (2.26)$$

$$Y_i = m_x \cdot x_i \cdot \sin\alpha + m_y \cdot y_i \cdot \cos\beta + Y_0 \quad (2.27)$$

eşitlikleri ile ifade edilmektedir.

$$a = m_x \cdot \cos\alpha \quad b = -m_y \cdot \sin\beta \quad c = X_0 \quad (2.28)$$

$$d = m_x \cdot \sin\alpha \quad e = m_y \cdot \cos\beta \quad f = Y_0 \quad (2.29)$$

olarak alınır;

$$X_i = ax_i + by_i + c \quad (2.30)$$

$$Y_i = dy_i + ex_i + f \quad (2.31)$$

eşitlikleri yazılmaktadır. Bu eşitlikler kullanılarak en küçük kareler yöntemine göre yapılacak olan dengelemede nokta sayısının iki katı kadar düzeltme denklemi yazılır.

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}_{2n \times 6} \quad I = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \dots \\ \dots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix}_{6 \times 1} \quad V = \begin{bmatrix} V_{X_1} \\ V_{Y_1} \\ \dots \\ \dots \\ V_{X_n} \\ V_{Y_n} \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad (2.32)$$

Dönüşüm parametreleri (2.14) ve (2.15) eşitlikleri ile hesaplanır. Dolaylı ölçüler dengelemesine göre bir ölçünün ortalama hatası;

$$m_0 = m_x = m_y = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{2n-6}} \quad (2.33)$$

ve bir P noktasının konum hatası;

$$m_p = \pm m_0 \sqrt{2} = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{n-3}} \quad (2.34)$$

formülü ile hesaplanır.

Dönüşümde kullanılan noktaların koordinat duyarlılıkları (m_x , m_y) biliniyorsa (2.30) ve (2.31) eşitliklerinden yararlanılarak benzerlik dönüşümündeki yol izlenir. Dönüşüm parametrelerinin hesabı için (2.35) denklemi her nokta için yazılır. (2.22), (2.23), (2.24) ve (2.25) eşitlikleri kullanılarak iterasyonla çözüm yapılır (Başçiftçi ve İnal 2008).

$$\begin{bmatrix} \alpha_0 & -b_0 & -1 & 0 \\ b_0 & e_0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_x \\ V_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x & y & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_\alpha \\ d_b \\ d_c \\ d_d \\ d_e \\ d_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X - (\alpha_0 x + b_0 y + c_0) \\ Y - (d_0 x + e_0 y + f_0) \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

$$F(x, y, X, Y) = \alpha(x + V_x) + b(y + V_y) + c - (X + V_x) = 0 \quad (2.36)$$

$$G(x, y, X, Y) = d(x + V_x) + e(y + V_y) + f - (Y + V_y) = 0 \quad (2.37)$$

$$F = X = \frac{a_1 x + b_1 y + c_1}{a_3 x + b_3 y + 1} \quad (2.38)$$

$$G = Y = \frac{a_2 x + b_2 y + c_2}{a_3 x + b_3 y + 1} \quad (2.39)$$

$$A = \begin{bmatrix} \left(\frac{dX}{da_1}\right)_0 & \left(\frac{dX}{db_1}\right)_0 & \left(\frac{dX}{dc_1}\right)_0 & 0 & 0 & 0 & \left(\frac{dX}{da_3}\right)_0 & \left(\frac{dX}{db_3}\right)_0 \\ 0 & 0 & 0 & \left(\frac{dY}{da_2}\right)_0 & \left(\frac{dY}{db_2}\right)_0 & \left(\frac{dY}{dc_2}\right)_0 & \left(\frac{dY}{da_3}\right)_0 & \left(\frac{dY}{db_3}\right)_0 \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

$$X = \begin{bmatrix} da_1 \\ db_1 \\ dc_1 \\ da_2 \\ db_2 \\ dc_2 \\ da_3 \\ db_3 \end{bmatrix}_{8 \times 1} ; \quad I = \begin{bmatrix} X_1 - X_{01} \\ Y_1 - Y_{01} \\ X_2 - X_{02} \\ Y_2 - Y_{02} \\ \dots \\ \dots \\ X_n - X_{0n} \\ Y_n - Y_{0n} \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad (2.41)$$

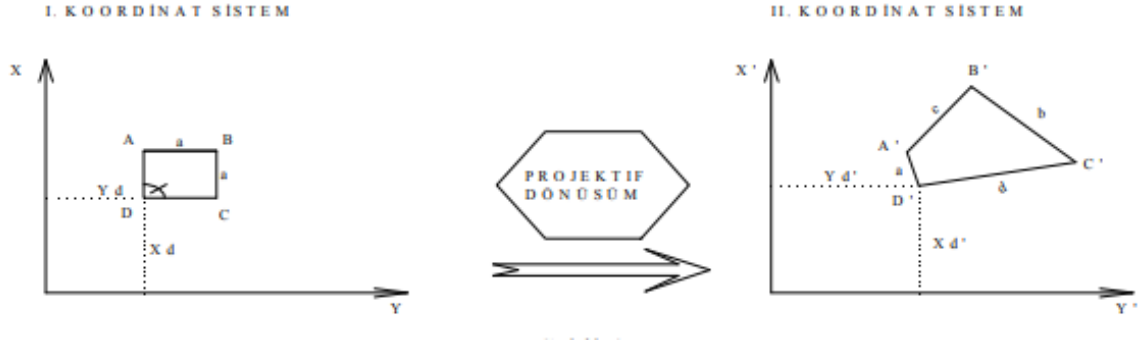
$$\frac{dX}{da_1} = \frac{x}{a_3 x + b_3 y + 1} \quad \frac{dY}{da_2} = \frac{x}{a_3 x + b_3 y + 1} \quad \frac{dX}{da_3} = -\frac{a_1 x + b_1 y + c_1}{(a_3 x + b_3 y + 1)^2} X$$

$$\frac{dY}{da_3} = -\frac{a_2 x + b_2 y + c_2}{(a_3 x + b_3 y + 1)^2} X \quad \frac{dY}{db_2} = \frac{y}{a_3 x + b_3 y + 1} \quad \frac{dX}{db_3} = -\frac{a_1 x + b_1 y + c_1}{(a_3 x + b_3 y + 1)^2} X \quad (2.42)$$

$$\frac{dY}{da_3} = -\frac{a_2x+b_2y+c_2}{(a_3x+b_3y+1)^2} y \quad \frac{dX}{dc_1} = \frac{1}{a_3x+b_3y+1} \quad \frac{dY}{dc_2} = \frac{1}{a_3x+b_3y+1}$$

2.6.4 İki Boyutlu Projektif Dönüşüm

Afin dönüşümü ile benzerlik gösteren bu dönüşüm fotogrametri alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Özellik olarak en genel dönüşüm yöntemidir. Bir düzlemden diğer bir düzleme yapılan izdüşümler yardımıyla iki boyutlu projektif dönüşüm tanımlanabilir. Bu düzlemler birbirine paralel olabilir ya da kesişebilirler (Yaşayan 1978, Başçiftçi ve İnal 2008).



Şekil 2. 15 İki boyutlu projektif dönüşüm (Ünsal 2009).

Projektif dönüşümde sekiz parametrenin çözümü için her iki sistemde koordinatları bilinen en az dört eşlenik noktaya ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 2.15). Ortak nokta sayısının dörtten fazla olması durumunda dönüşüm parametreleri en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile hesaplanır. Projektif dönüşümde iki ayrı koordinat sistemi arasındaki ilişki (2.37) ve (2.43) arasındaki tüm eşitlikler ile ifade edilir. En küçük kareler yöntemine göre dengelemeli çözüm için nokta sayısının iki katı kadar düzeltme denklemi yazılır ve bilinmeyenlere göre kısmi türev alınarak lineer hale getirilerek katsayılar matrisi (A) hesaplanır (İnal ve Turgut 2001, Başçiftçi ve İnal 2008).

Projektif dönüşümde bahsettiğimiz sekiz parametre $a_1, b_1, c, a_2, b_2, c_2, a_3$ ve b_3 parametreleridir. Bunlardan a_1, b_1, c, a_2, b_2 ve c_2 afin dönüşümü yapılarak hesaplanır. $a_3=0, b_3=0$ yazılarak projektif dönüşüm yapılır ve dönüşüm parametrelerinin yeni değerleri hesaplanır. Dönüşüm parametrelerinin son değerleri iterasyonla belirlenir. Dönüşüm parametrelerinin son değerlerinin bulunmasından sonra ortak noktaların koordinatlarına getirilecek düzeltmeler hesaplanır yalnız $[V_X] = 0, [V_Y] = 0$ olmalıdır (İnal ve Turgut 2001, Başçiftçi ve İnal 2008).

Dolaylı ölçüler dengelemesine göre bir ölçünün ortalama hatası;

$$m_0 = m_x = m_y = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{2n-8}} \quad (2.43)$$

ve bir P noktasının konum hatası;

$$m_p = \pm m_0 \sqrt{2} = \pm \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2}{n-4}} \quad (2.44)$$

olarak hesaplanır (Hüsrevoğlu ve Tuşat 2018).

3.UYGULAMALAR

Son yıllarda uydu ve uzay tekniklerinin kullanımı dünyada ve ülkemizde önem kazanmıştır. Uydu ve uzay tekniklerinin ve bu tekniklerle üretilen ürünlerin kullanılması, uluslararası jeodezik referans sistemine uyum sağlaması gibi sebeplerle, geleneksel yöntemlere dayalı olarak oluşturulan ulusal ve bölgesel referans koordinat sistemleri bağıl ve mutlak datumların ilişkilendirilmesi çalışmaları güncel problemler haline gelmiştir (Deniz vd. 2022).

Ülkemizde de resmi olarak 2005 yılından itibaren ED50 referans elipsoidi yerine ITRF96 elipsoidinin kullanılması bu durumun bir göstergesidir. Yapılan bu datum değişikliği ile bir dönüşüm problemi ortaya çıkmıştır. Yani önceden ED50 referans elipsoidi ile üretilen jeodezik noktaların ve haritaların yeni yapılan çalışmalar ile uyumlu hale getirilmesi nedeniyle dönüşüm çalışmaları önem kazanmıştır.

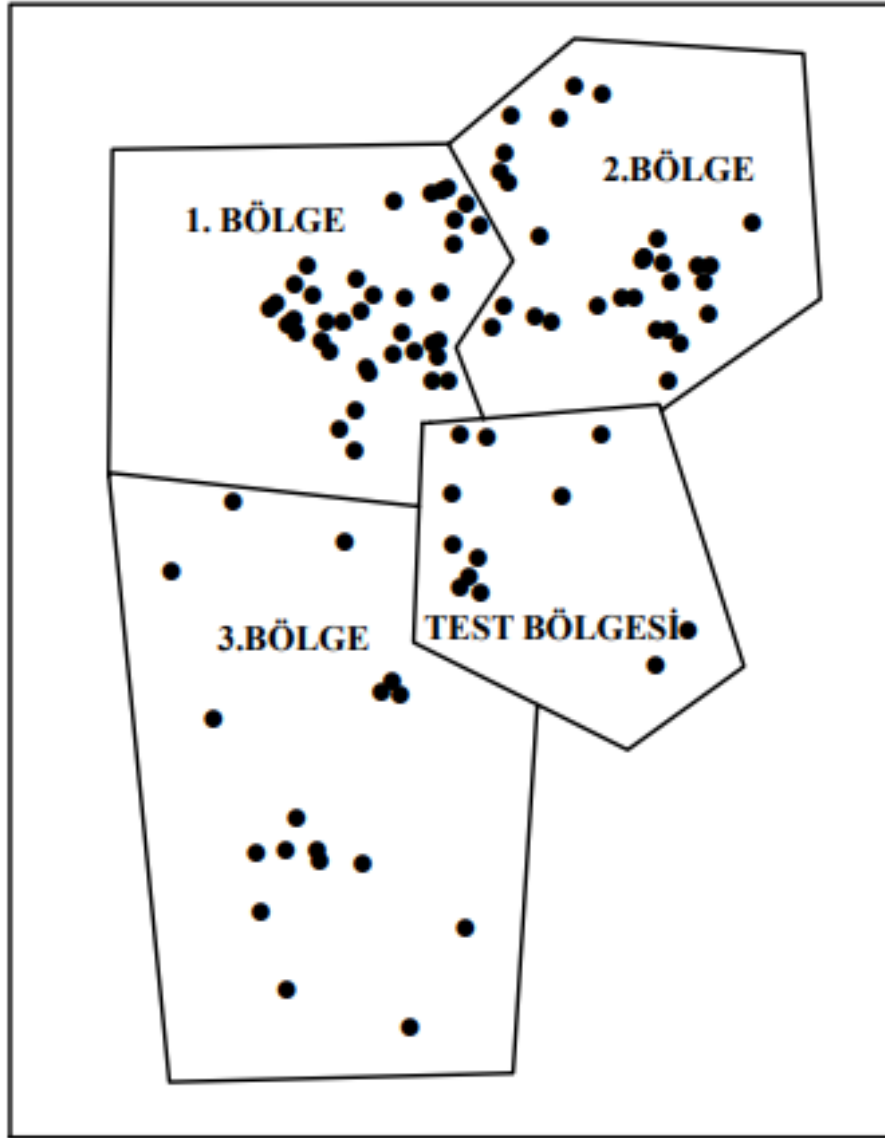
Bu çalışmada ise ED50 ve ITRF96 olmak üzere her iki sistemde koordinatları bilinen veriler elde edilerek dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki sistemde koordinatları bilinen, Bursa ili merkez bölgesine ait olan nokta verileri Bursa Tapu ve Kadastro Bölge Müdürlüğünden temin edilmiştir. Temin edilen bu nokta verileri bölgelere ayrılıp ED50'den ITRF96'ya olacak şekilde iki boyutlu Helmert ve Afin dönüşümleri yapılmıştır. Bu dönüşümler ile elde edilen test noktası koordinatları ve konum hataları karşılaştırılmıştır.

Her iki sistemde (ED50 ve ITRF96) koordinatları bilinen 97 adet nokta verisi temin edilmiştir. Noktaların uygulama alanındaki dağılımı şekil 3.1'deki gibidir.



Şekil 3.1 Bursa ili nokta dağılımı.

Uygulama alanı, 4 bölgeye ayrılarak Helmert ve Afin dönüşüm işlemleri uygulanmıştır. Bu bölgeler; 1. Bölge, 2. Bölge, 3. Bölge ve Test Alanı olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Bölgelere göre noktaların dağılımı.

Birinci bölgede 38 nokta (çizelge 3.1), ikinci bölgede 30 nokta (çizelge 3.2), üçüncü bölgede 17 nokta (çizelge 3.3) ve test bölgesinde 12 nokta (çizelge 3.4) verisi bulunmaktadır. Uygulamada dört farklı bölgeden dönüşüm parametresi üretilmiştir. Dönüşüm parametresi üretilen bölgeler; birinci, ikinci, üçüncü bölgeler ve bu bölgelerin birleşiminden oluşan dördüncü bölgedir. Dönüşüm parametreleri ED50' den ITRF96' ya Helmert ve Afin dönüşümleri yapılarak üretilmiştir. Dört bölgeden elde edilen dönüşüm parametreleri kullanılarak test bölgesinde bulunan noktaların koordinatları yeniden hesaplanmıştır. Hesaplanan yeni koordinatlar ile test bölgesinin eski

koordinatları karşılaştırılmış ve konum hatası en düşük değeri veren bölgeler tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1 ITRF06 ve ED50 datumlarında ortak noktaların birinci bölgedeki jeodezik dik koordinatları.

Nokta No	ITRF96		ED50	
	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)
1-1	413199.426	448122.465	413234.965	4481410.345
1-2	404003.728	4423454.459	404039.046	4423640.140
1-3	400511.432	4428416.345	400546.677	4428602.060
1-4	423466.994	4444987.488	423502.217	4445173.169
1-5	397406.541	4453098.544	397441.707	4453284.079
1-6	385746.956	4457784.245	385782.256	4457969.961
1-7	384362.817	4456528.984	384398.120	4456714.669
1-8	388466.088	4452533.508	388501.375	4452719.270
1-9	389840.017	4453952.414	389875.292	4454138.121
1-10	390056.627	4462123.867	390091.946	4462309.610
1-11	392955.482	4466476.513	392990.829	4466662.262
1-12	394356.403	4459769.867	394391.834	4459955.537
1-13	415638.934	4459165.520	415674.362	4459351.260
1-14	398328.386	4446727.155	398363.723	4446912.840
1-15	406766.116	4443054.020	406801.534	4443239.660
1-16	390623.294	4451032.951	390658.495	4451218.519
1-17	405566.775	4455534.929	405602.097	4455720.617
1-18	401440.032	4453342.101	401475.315	4453527.699
1-19	396461.187	4449081.316	396496.389	4449266.846
1-20	422002.291	4483435.368	422037.854	4483621.255
1-21	427174.183	4471634.262	427209.770	4471820.175
1-22	424379.450	4483944.251	424415.022	4484130.218
1-23	425699.258	4484482.830	425734.846	4484668.736
1-24	429977.678	4480531.721	430013.310	4480717.639
1-25	433132.733	4475548.870	433168.376	4475734.790
1-26	427296.983	4476773.727	427332.579	4476959.642
1-27	407478.181	4441217.080	407513.533	4441402.705
1-28	412853.233	4445744.917	412888.641	4445930.622
1-29	404591.113	4463557.567	404626.575	4463743.370
1-30	408430.119	4459816.442	408465.561	4460002.227

Çizelge 3.1 (Devam) ITRF06 ve ED50 datumlarında ortak noktaların birinci bölgedeki jeodezik dik koordinatları.

1-31	404221.726	4432737.010	404256.904	4432922.630
1-32	418052.664	4446217.140	418088.127	4446402.895
1-33	422252.501	4439367.424	422288.003	4439553.105
1-34	422087.173	4448543.967	422122.644	4448729.622
1-35	414935.218	4450580.295	414970.820	4450766.030
1-36	424069.333	4460078.992	424104.865	4460264.820
1-37	425970.983	4439796.658	426006.479	4439982.333
1-38	423582.476	4448896.071	423617.987	4449081.783

Çizelge 3.2 ITRF96 ve ED50 datumlarında ortak noktaların ikinci bölgedeki jeodezik dik koordinatları.

Nokta No	ITRF96		ED50	
	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)
2-1	477044.156	4439760.819	477079.790	4439946.830
2-2	447000.750	4473496.023	447036.514	4473682.247
2-3	496669.417	4476596.541	496705.396	4476782.817
2-4	471403.569	4468572.587	471439.325	4468758.818
2-5	461858.139	4506648.207	461893.810	4506834.350
2-6	455197.890	4508220.324	455233.510	4508406.420
2-7	451742.723	4500487.815	451778.230	4500673.920
2-8	437991.771	4488199.700	438027.427	4488385.750
2-9	440459.739	4501211.585	440495.430	4501397.780
2-10	438941.930	4492327.421	438977.524	4492513.591
2-11	439903.660	4485897.944	439939.413	4486083.925
2-12	466171.422	4459266.692	466207.169	4459452.666
2-13	485445.625	4462374.407	485481.381	4462560.587
2-14	471121.581	4467842.471	471157.340	4468028.690
2-15	469119.697	4458852.065	469155.430	4459038.226
2-16	471403.597	4468572.609	471439.325	4468758.818
2-17	474503.646	4472845.339	474539.409	4473031.468
2-18	486896.679	4466542.444	486932.462	4466728.678
2-19	475876.808	4466993.391	475912.572	4467179.499
2-20	474359.728	4451197.130	474395.473	4451383.176
2-21	477423.764	4451499.442	477459.530	4451685.496

Çizelge 3.2 (Devam) ITRF96 ve ED50 datumlarında ortak noktaların ikinci bölgedeki jeodezik dik koordinatları.

2-22	477740.196	4462688.620	477775.945	4462874.752
2-23	479869.567	4448286.721	479905.355	4448472.756
2-24	483967.007	4466228.732	484002.794	4466414.900
2-25	486355.114	4455403.727	486390.936	4455589.823
2-26	436119.161	4452301.363	436154.752	4452487.208
2-27	446108.840	4454401.344	446144.510	4454587.211
2-28	438693.626	4456992.744	438729.247	4457178.638
2-29	449821.971	4453104.809	449857.683	4453290.576
2-30	460567.936	4456901.041	460603.651	4457086.950

Çizelge 3.3 ITRF96 ve ED50 datumlarında ortak noktaların üçüncü bölgedeki jeodezik dik koordinatları.

Nokta No	ITRF96		ED50	
	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)
3-1	361493.555	4395227.684	361528.934	4395413.229
3-2	375859.850	4411597.392	375895.150	4411782.910
3-3	410327.185	4367009.234	410362.432	4367194.768
3-4	412641.460	4369723.626	412676.727	4369909.179
3-5	414671.539	4366218.445	414706.818	4366404.000
3-6	401776.711	4402262.433	401812.094	4402447.981
3-7	371274.868	4360706.383	371310.093	4360891.695
3-8	416957.277	4289092.085	416992.495	4289277.162
3-9	388155.954	4330051.608	388191.266	4330237.067
3-10	390683.272	4337686.148	390718.399	4337871.512
3-11	395991.059	4328114.289	396026.278	4328299.621
3-12	381228.025	4329788.218	381263.245	4329973.653
3-13	429864.260	4312188.151	429899.671	4312373.287
3-14	388369.133	4297620.404	388404.302	4297805.520
3-15	395287.939	4330029.395	395323.281	4330214.783
3-16	382343.834	4316024.608	382378.925	4316209.800
3-17	405915.579	4326977.181	405950.760	4327162.529

Çizelge 3.4 ITRF96 ve ED50 datumlarında ortak noktaların test belgesindeki jeodezik dik koordinatları.

Nokta No	ITRF96		ED50	
	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)
T-1	432779.664	4398449.489	432815.049	4398635.204
T-2	426839.132	4401500.635	426874.393	4401686.470
T-3	430702.405	4393846.083	430737.785	4394031.693
T-4	428629.854	4391675.646	428665.143	4391861.272
T-5	474162.319	4373359.404	474197.758	4373544.725
T-6	481616.384	4381376.308	481651.896	4381561.799
T-7	461628.374	4426978.001	461663.830	4427163.942
T-8	434683.952	4426833.106	434719.063	4427018.933
T-9	428548.348	4427063.909	428583.449	4427249.596
T-10	452422.457	4412723.240	452457.726	4412909.207
T-11	426738.044	4413320.176	426773.207	4413505.798
T-12	433427.106	4390347.924	433462.465	4390533.620

3.1 İki Boyutlu Helmert (Benzerlik) Dönüşümü

Bu çalışmada, uygulama bölgesindeki noktaların ED50'den ITRF96'ya dönüşümü yapılmıştır. Dönüşüm işlemi için iki boyutlu koordinat dönüşümlerinden ilk olarak Helmert Benzerlik Dönüşümü uygulanmıştır. Dönüşüm yapılırken öncelikle dört adet dönüşüm parametresi hesaplanmıştır. Bu parametreler iki öteleme elemanları, bir dönüklük açısı ve bir ölçek faktörüdür. Bu parametreler her bölge için ED50'den ITRF96'ya olacak şekilde ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan parametreler kullanılarak test bölgesindeki noktaların koordinatları ED50'den ITRF96'ya dönüştürülmüştür.

Helmert dönüşümü yaparken yeni nokta koordinatları;

$$X = x.m.\cos\epsilon - y.m.\sin\epsilon + c \quad (3.1)$$

$$Y = x.m.\sin\epsilon + y.m.\cos\epsilon + d \quad (3.2)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Parametreler düzenlenirse,

$$X = a.x - b.y + c \quad (3.3)$$

$$Y = a.y + b.x + d \quad (3.4)$$

eşitlikleri kullanılarak yeni nokta koordinatları elde edilmektedir. Helmert dönüşüm parametreleri çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Helmert dönüşüm parametreleri.

Dönüşüm Parametreleri	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
a=	0.99999347	0.99999683	0.99999677	0.99999506
b=	0.00000086	-0.00000239	0.00000127	-0.00000018
c=	-156.98856	-170.805280	-171.835430	-163.790330
d=	-28.906570	-44.9323000	-28.4671700	-34.1788600
m ₀ =	0.08244475	0.08596783	0.09132979	0.135435453

Her bölgeden ayrı ayrı hesaplanan dönüşüm parametreleri (3.3) ve (3.4) denklemlerinde yerine yazılarak test bölgesinin yeni nokta koordinatları hesaplanmıştır. Yeni ve eski ITRF96 koordinatları arasındaki fark düzeltme miktarlarını vermektedir. Her bir bölge için düzeltme miktarları da hesaplanmıştır. Yeni nokta koordinatları ve düzeltme değerleri çizelge 3.6, çizelge 3.7, çizelge 3.8 ve çizelge 3.9'da verilmektedir.

Çizelge 3.6 1.Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları.

Nokta No	Y' (m)	X' (m)	Vy (m)	Vx (m)
T-1	432787.0990	4398449.120	7.434974006	-0.368868824
T-2	426846.4844	4401500.371	7.352390578	-0.263684628
T-3	430709.8446	4393845.641	7.439579520	-0.442021450
T-4	428637.2142	4391675.236	7.360247310	-0.410066130
T-5	474169.5162	4373358.769	7.197167104	-0.634617127
T-6	481623.6124	4381375.785	7.228386266	-0.523379179
T-7	461635.7161	4426977.647	7.342126180	-0.353971436
T-8	434691.1250	4426832.662	7.172950801	-0.443852026
T-9	428555.5512	4427063.329	7.203214731	-0.580081629
T-10	452429.6600	4412723.013	7.202982967	-0.226970766
T-11	426748.0960	4413319.622	10.05204499	-0.553777819
T-12	433434.5038	4390347.588	7.397779017	-0.335522259

Çizelge 3.7 2. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları.

Nokta No	Y' (m)	X' (m)	Vy (m)	Vx (m)
T-1	432758.2319	4398451.489	-21.43206184	2.000474370
T-2	426817.5875	4401502.732	-21.54452249	2.096603690
T-3	430680.9855	4393847.988	-21.41947452	1.905102840
T-4	428608.3553	4391677.569	-21.49871694	1.923029459
T-5	474140.8697	4373361.189	-21.44927879	1.784915863
T-6	481594.9649	4381378.255	-21.41906921	1.947317128
T-7	461606.8533	4426980.206	-21.52069616	2.204986856
T-8	434662.1721	4426835.133	-21.77993468	2.027048543
T-9	428526.5770	4427065.781	-21.77103607	1.871653223
T-10	452400.8126	4412725.494	-21.64444400	2.254171779
T-11	426716.3736	4413322.022	-21.67044992	1.845894585
T-12	433405.6652	4390349.933	-21.44075137	2.008703716

Çizelge 3.8 3. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları.

Nokta No	Y' (m)	X' (m)	Vy (m)	Vx (m)
T-1	432790.7701	4398448.611	11.10610410	-0.877696821
T-2	426850.1372	4401499.875	11.00516753	-0.760007777
T-3	430713.5070	4393845.118	11.10196720	-0.965189354
T-4	428640.8689	4391674.706	11.01490540	-0.939546641
T-5	474173.3136	4373358.161	10.99457304	-1.243210615
T-6	481627.4377	4381375.199	11.05367786	-1.108572519
T-7	461639.4942	4426977.221	11.12015404	-0.780482598
T-8	434694.8140	4426832.246	10.86200147	-0.859794362
T-9	428559.2201	4427062.916	10.87211245	-0.992747176
T-10	452433.4018	4412722.543	10.94478624	-0.696748051
T-11	426748.9665	4413319.165	10.92250490	-1.011055700
T-12	433438.1737	4390347.053	11.06772394	-0.871350923

Çizelge 3.9 4. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları.

Nokta No	Y' (m)	X' (m)	Vy (m)	Vx (m)
T-1	432777.9403	4398449.762	-1.723720679	0.273318801
T-2	426837.3131	4401501.012	-1.818923066	0.377176229
T-3	430700.6874	4393846.274	-1.717630363	0.190686238
T-4	428628.0560	4391675.863	-1.798000835	0.217035042
T-5	474160.4494	4373359.415	-1.869634975	0.010714655
T-6	481614.5491	4381376.450	-1.834901490	0.142452054
T-7	461626.5736	4426978.365	-1.800368830	0.363579615
T-8	434681.9398	4426833.351	-2.012235579	0.245445902
T-9	428546.3560	4427064.012	-1.991967165	0.103202016
T-10	452420.5177	4412723.698	-1.939324824	0.458340908
T-11	426736.1254	4413320.282	-1.918550686	0.105770536
T-12	433425.3545	4390348.218	-1.751460629	0.294457162

Çizelge 3.10 Tüm bölgelerden üretilen nokta konum hataları.

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
Nokta Konum Hatası (m_p) (m)	0.116594484	0.121576871	0.129159828	0.191534654

Helmert dönüşümü sonucu birim ölçünün ortalama hatası (m_0) ve çizelge 3.10' da verilen nokta konum hataları (m_p) incelendiğinde en düşük hata değerini veren bölge birinci bölgedir. Konum hatası daha düşük olan birinci bölgenin, test bölgesinin yeni koordinatlarını hesaplamak için diğer bölgelere göre daha uygun olduğu görülmektedir.

3.2 İki Boyutlu Afin Dönüşümü

Uygulama bölgesi için yapılan bir diğer iki boyutlu koordinat dönüşümü Afin Dönüşümüdür. Bu dönüşüm esnasında 6 adet parametre üretilmiştir. Bunlar; 2 öteleme elemanı, 2 dönüklük açısı ve 2 ölçek faktörüdür. Helmert Dönüşümünde olduğu gibi parametreler her bölge için ED50'den ITRF96'ya olacak şekilde ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu parametreler kullanılarak test bölgesindeki noktaların koordinatları Ed50'den ITRF96'ya dönüştürülmüştür.

Afin dönüşümü yaparken kullanılan,

$$X_i = ax_i + by_i + c \quad (3.5)$$

$$Y_i = dy_i + ex_i + f \quad (3.6)$$

eşitliklerinde parametreler aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

$$X'_i = a_1 \cdot x_i + b_1 \cdot y_i + c_x \quad (3.7)$$

$$Y'_i = b_2 \cdot y + a_2 \cdot x_i + c_y \quad (3.8)$$

Bu eşitliklerde kullanılan parametreler çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 Afin dönüşüm parametreleri.

Dönüşüm Parametreleri	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
$a_1=$	0.99999525	0.99999526	0.99999602	0.99999677
$b_1=$	-0.00000358	0.00000016	-0.00000142	-0.00000110
$a_2=$	-0.00000287	-0.00000524	-0.00000076	-0.00000456
$b_2=$	0.99999366	0.99999659	0.99999832	0.99999507
$C_x=$	-163.384270	-162.442740	-167.785300	-169.489210
$C_y=$	-16.8768500	-34.8519600	-28.4259000	-28.5234600
$m_0=$	0.06850892	0.074662247	0.08705674	0.08782672

Her bölgeden ayrı ayrı hesaplanan dönüşüm parametreleri (3.7) ve (3.8) denklemlerinde yerine yazılarak test bölgesinin yeni nokta koordinatları hesaplanmıştır. Yeni ve eski ITRF96 koordinatları arasındaki fark düzeltme miktarlarını vermektedir ve her bir bölge için hesaplanmıştır. Yeni nokta koordinatları ve düzeltme değerleri çizelge 3.12, çizelge 3.13, çizelge 3.14 ve çizelge 3.15'te verilmektedir.

Çizelge 3.12 1. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları.

Nokta No	Y' (m)	X' (m)	Vy (m)	Vx (m)
T-1	432782.8040	4398449.377	3.140019554	-0.112265094
T-2	426842.1769	4401500.650	3.044926179	0.0145089400
T-3	430705.5664	4393845.895	3.161401484	-0.187961812
T-4	428632.9438	4391675.492	3.089771143	-0.154232254
T-5	474165.3227	4373358.869	3.003662853	-0.535235418
T-6	481619.3904	4381375.878	3.006394616	-0.430002335
T-7	461631.3202	4426977.876	2.946240804	-0.125055237
T-8	434686.7245	4426832.964	2.772486803	-0.141904177
T-9	428551.1487	4427063.648	2.800724593	-0.261034328
T-10	452425.3155	4412723.242	2.858518593	0.0016126070
T-11	426740.9576	4413319.922	2.913646227	-0.254270621
T-12	433430.2392	4390347.829	3.133166482	-0.095100320

Çizelge 3.13 2. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları.

Nokta No	Y' (m)	X' (m)	Vy (m)	Vx (m)
T-1	432755.6723	4398451.981	-23.99170779	2.491979541
T-2	426815.0206	4401503.232	-24.11143878	2.596566035
T-3	430678.4395	4393848.491	-23.96550192	2.408467822
T-4	428605.8159	4391678.080	-24.03806120	2.434423994
T-5	474138.3717	4373361.628	-23.94734871	2.223529644
T-6	481592.4422	4381378.665	-23.94177679	2.356721376
T-7	461604.2054	4426980.588	-24.16857272	2.587369128
T-8	434659.5311	4426835.576	-24.42093121	2.469745308
T-9	428523.9368	4427066.237	-24.41121744	2.327670267
T-10	452398.2075	4412725.919	-24.24948509	2.679463595
T-11	426713.7730	4413322.504	-24.27102702	2.327526231
T-12	433403.1285	4390350.435	-23.97746317	2.511484636

Çizelge 3.14 3. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları.

Nokta No	Y' (m)	X' (m)	Vy (m)	Vx (m)
T-1	432782.5530	4398449.298	2.889007963	-0.191465482
T-2	426841.9047	4401500.560	2.772669303	-0.075173789
T-3	430705.2960	4393845.808	2.890996434	-0.275193792
T-4	428632.6591	4391675.398	2.805127993	-0.247612365
T-5	474165.2116	4373358.860	2.892553776	-0.544368822
T-6	481619.3309	4381375.891	2.946937847	-0.416861652
T-7	461631.2639	4426977.881	2.889860170	-0.119975127
T-8	434686.5422	4426832.911	2.590237585	-0.195136421
T-9	428550.9384	4427063.582	2.590370113	-0.327341889
T-10	452425.1862	4412723.216	2.729160023	-0.024168614
T-11	426740.7099	4413319.841	2.665856606	-0.335071029
T-12	433429.9741	4390347.745	2.868077508	-0.179140506

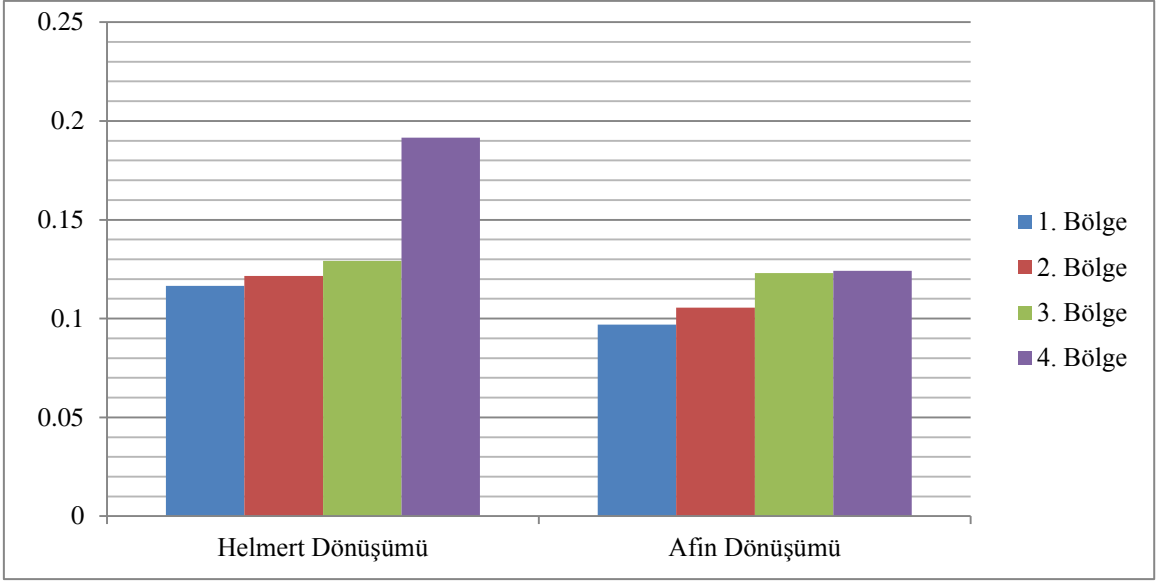
Çizelge 3.15 4. Bölgeden üretilen parametreler ile hesaplanan test bölgesinin yeni nokta koordinatları ve düzeltme miktarları.

Nokta No	Y' (m)	X' (m)	Vy (m)	Vx (m)
T-1	432764.3340	4398451.031	-15.33001472	1.542101737
T-2	426823.6934	4401502.294	-15.43864106	1.658780869
T-3	430687.1012	4393847.537	-15.30378180	1.454256069
T-4	428614.4793	4391677.126	-15.37466656	1.479546433
T-5	474146.9534	4373360.588	-15.36561889	1.183623004
T-6	481601.0181	4381377.628	-15.36592565	1.319528302
T-7	461612.8427	4426979.645	-15.53133026	1.644220253
T-8	434668.2092	4426834.666	-15.74283132	1.560327877
T-9	428532.6244	4427065.335	-15.72363456	1.426332010
T-10	452406.8491	4412724.966	-15.60794257	1.726389763
T-11	426722.4540	4413321.584	-15.59003835	1.407715744
T-12	433411.7837	4390349.473	-15.32226326	1.548557696

Çizelge 3.16 Tüm bölgelerden üretilen nokta konum hataları.

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
Nokta Konum Hatası (m_p) (m)	0.096886244	0.105588362	0.123116822	0.124205739

Afin dönüşümü sonucu birim ölçünün ortalama hatası (m_0) ve çizelge 3.16' da verilen nokta konum hataları (m_p) incelendiğinde en düşük hata miktarını veren birinci bölgedir. Konum hatası daha düşük olan birinci bölgenin, test bölgesinin yeni koordinatlarını hesaplamak için diğer bölgelere göre daha uygun olduğu görülmektedir. Sonuçların karşılaştırılması şekil 3.3'te grafik biçiminde gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Helmert ve Afın dönüşümleri nokta konum hatalarının grafik üzerinde gösterimi.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde yapılan jeodezik çalışmalarda farklı koordinat sistemlerinde tanımlanmış olan noktaların bir arada kullanımı yapılan çalışmayı bütünlük açısından zorlaştırmaktadır. Ülkemizde yapılan koordinat sistemi değişikliği de aslında uygulamaları zorlaştıran bir etmendir. Bu problemleri ortadan kaldırmak ve sağlıklı bir çalışma yürütebilmek amacıyla farklı koordinat sistemleri arası dönüşümler yapılmaktadır. Böylelikle nokta koordinatları arasındaki farklılıklar ortadan kaldırılıp tek bir sistem üzerinden daha hassas ve daha doğru sonuçlar elde edilmektedir.

Koordinat dönüşümleri için birçok yöntem geliştirilmiştir. Yapılan uygulamanın amacına uygun olarak yöntem seçilmektedir. Dönüşümler tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu olarak ele alınmakta ve kendi içinde sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada ise iki boyutlu dönüşüm yöntemlerinden Afin ve Benzerlik (Helmert) dönüşüm yöntemleri uygulanmıştır. Datum dönüşümü için her iki sistemde de koordinatları bilinen noktalara ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada Bursa iline ait ED50 ve ITRF96'da koordinatları bilinen 97 ortak noktada Afin ve Benzerlik (Helmert) dönüşümleri yapılmıştır. Bu noktalar dört bölgeye ayrılmış ve bir bölge test alanı olarak seçilmiştir. Kalan bölgeler birinci, ikinci, üçüncü bölgeler olarak nitelendirilmiş ve bu üç bölgedeki noktaların tamamı kullanılarak dördüncü bir bölge oluşturulmuştur. Sözü edilen bu dört bölge için ayrı ayrı Afin ve Benzerlik (Helmert) dönüşümleri uygulanıp parametreler üretilmiştir.

Helmert dönüşümü ile dört parametre, Afin dönüşümü ile altı parametre üretilip bu parametrelerle test alanının ITRF96 sisteminde yeni koordinatları hesaplanmış ve eski koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Hangi bölgeden üretilen yeni koordinatların test alanının eski koordinatlarına yakın sonucu verdiği ve hangi dönüşüm yönteminin daha yakın sonucu verdiği araştırılmıştır.

Her iki dönüşüm kendi içinde karşılaştırılmış ve Helmert dönüşümü ile elde edilen veriler incelendiğinde birinci bölgede en uygun nokta konum hatası $m_p = \pm 0.117$ (0.

116594484) m'dir. Afin dönüşümü ile elde edilen veriler incelendiğinde ise yine birinci bölgede en uygun nokta konum hatası $m_p = \pm 0.097$ (0.096886244) m olarak bulunmuştur. Her iki dönüşüm için de en uygun seçilen bölgeler birinci bölgedir. Bu iki dönüşüm karşılaştırıldığında ise test noktasının eski ve yeni koordinatları arasında en az konum hatasını veren dönüşümün Afin dönüşümü olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Başçiftçi F, İnal C, 2008, Jeodezide Kullanılan Bazı Koordinat Dönüşümlerinin Programlanması, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 27-40.
- Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY), 2018, Resmi Gazete, 26 Haziran 2018, 30460.
- Demirkol E Ö, Yıldırım A, Gürdal M A, 2002, Avrupa Datumu 1950 (ED-50) ile Dünya Jeodezik Sistemi 1984 (World Geodetic System 1984: WGS84) Arasında Datum Dönüşümü ve Askeri Uygulamaları, Harita Genel Komutanlığı, 15s, Ankara.
- Deniz İ, Kutoğlu Ş H, Deniz R, 2022, ITRF96- ED50 Transformasyonu: Radyal esaslı enterpolasyon ve küresel harmonik modelleme, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 9, 1, 12-23.
- Evsen S, 2019, 2 ve 3 Boyutlu Koordinat Dönüşümleri; Şırnak İli Örneği, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Aksaray.
- Güllü M, Taktak F, 2009, Afyonkarahisar'da GPS Gözlemleri ve Nivelman Ölçüleri Yardımıyla Yerel Jeoid Profilinin Çıkarılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7-2, 165-180.
- Hüsrevoğlu M, Tuşat E, 2018, İki Boyutlu Bazı Datum Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi, Geomatik Dergisi, 3, 1, 22-34.
- İlvan A, 2014, Mersin İli Toroslar İlçesi Örneğinde Lokal Datum Dönüşüm Parametrelerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s, İstanbul.
- İnal C, Turgut B, 2001, Nokta konum duyarlıkları ile koordinat dönüşümü, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 16, 2, 39-46.
- Subaşı Y S, 2014, Nokta Konum Doğruluğunun İki ve Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümüne Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50s, İstanbul.
- Şişman Y, Dilaver A, 2005, Datum Dönüşümünde Kalite Kontrol, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart - 1 Nisan 2005, Ankara.

- Şişman Y, Şişman A, Bektaş S, 2013, Koordinat Dönüşümünde Deney Tasarımı Yaklaşımı, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5, 1, 37-46.
- Tanık A, 2003, Dönüşümler ve Uygulamaları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, İstanbul.
- Üstün A, 1996, Datum Dönüşümleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, İstanbul.
- Ünsal F B, 2009, İki Boyutlu Doğrusal Koordinat Dönüşümleri, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11- 15 Mayıs 2009, Ankara.
- Üstün A, 2012, Mekânsal Verilerin Datum Dönüşümleri ve Kadastroda Uygulamaları, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, 75s, Ankara.
- Yaşayan A, 1978, Hava Fotogrametrisinde İki Boyutlu Doğrusal Dönüşümler ve Uygulamaları, K.T.Ü. Yayın No:102, YBF Yayın No: 19, Trabzon.

İnternet kaynakları

- 1- <https://www.haritaciyiz.com/>, 13.07.2021
- 2- https://avesis.yildiz.edu.tr/caydin/yayinlar/Fiziksel_Jeodezi.pdf, 06.11.2021
- 3- https://jeodezi.boun.edu.tr/sites/jeodezi.boun.edu.tr/files/dosyalar/files/JEODEZI_BUKRDAE_GED.pdf, 06.11.2021

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Melike Okur
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi/ 13.08.1996
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) : 0554 557 17 23/ melikeokur.13@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Orhangazi Anadolu Öğretmen Lisesi (2010 – 2014)
Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Böl.,
(2014– 2018)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Böl.,
(2019– 2022)