



**T.C.  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DUHOK BÖLGESİ İÇİN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ  
PARAMETRE VE YÖNTEMLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Dara Sulaiman Mustafa MUSTAFA**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Kemal YURT**

**AKSARAY, 2017**





**T.C.  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DUHOK BÖLGESİ İÇİN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ  
PARAMETRE VE YÖNTEMLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Dara Sulaiman Mustafa MUSTAFA**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Kemal YURT**

**AKSARAY, 2017**

## AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 142306805 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, Dara Sulaiman Mustafa MUSTAFA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DUHOK BÖLGESİ İÇİN KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ PARAMETRE VE YÖNTEMLERİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** Yrd. Doç. Dr. Kemal YURT  
Aksaray Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** Doç. Dr. Hediye ERDOĞAN  
Aksaray Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** Prof. Dr. Ömer MUTLUOĞLU  
Selçuk Üniversitesi



**Teslim Tarihi: 26 Eylül 2017**

**Savunma Tarihi: 03 Kasım 2017**

## ÖNSÖZ

Kontrol noktaları şehir planlaması, yol yapım çalışmaları ve birçok çalışma için referans alındığından dolayı büyük önem taşımaktadır. Yakın zamanda bir Alman firması tarafından Duhok şehrinde bir jeodezik ağ kurulmuştur. Sistemin kurulumu 2006 yılında gerçekleştirilmiştir. Küresel WGS84 sisteminde noktaların koordinatlarının her yıl kontrol edilmesi gerekmektedir çünkü WGS84 ile çalışırken sistemdeki manyetik azalma gibi birçok değişkenin yıllık bazda uyarlanması veya doğrulanması gerekmektedir. Dolayısıyla hiçbir koordinat sistemi sabit değildir ve doğruluğun sağlanması için bu değişimlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Tüm bu sebeplerden ötürü bu tez çalışması gerçekleştirilmiş olup Alman şirketinin noktaları da analizde kullanılacak şekilde bir kontrol noktası ağı kurulmuştur. Alman şirketi, manyetik kuzeyi baz alarak her yıl geliştirilen uluslararası referans sistemlerinden biri olan WGS84 sistemini kullandığı için bu sistemin de GRS80 sistemine dönüştürülmesi gerekmiştir.

## **DOĞRULUK BEYANI**

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

**Dara Sulaiman Mustafa MUSTAFA**



## **DOĞRULUK BEYANI**

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

**Dara Sulaiman Mustafa MUSTAFA**

## TEŞEKKÜR

Her şeyden önce, hedefime ulaşmak için bu projeyi yaparken bana güç veren Yüce Allah’a şükürler olsun. Bilimsel tavsiyeleri için danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Kemal YURT’a en derin şükran ve teşekkürü sunmak isterim. Kendisinin sabır ve desteği olmadan, bu projenin gerçekleşmesi mümkün olamazdı. Anne ve babama koşulsuz destek ve teşvikleri için teşekkürü bir borç bilirim. Tüm arkadaşlarıma ve bana bir kelime ile dahi olsa yol gösteren herkese teşekkür ederim. Sevgili eşime desteği ve sabrı için sonsuz şükranlarımı ifade etmek isterim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                              | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖNSÖZ.....                                                                   | ii           |
| DOĞRULUK BEYANI.....                                                         | iii          |
| TEŞEKKÜR .....                                                               | iv           |
| İÇİNDEKİLER .....                                                            | v            |
| ÖZET.....                                                                    | vii          |
| ABSTRACT .....                                                               | viii         |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                        | ix           |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                      | x            |
| KISALTMALAR DİZİNİ .....                                                     | xi           |
| 1. GİRİŞ .....                                                               | 1            |
| 2. KOORDİNAT SİSTEMLERİ.....                                                 | 3            |
| 2.1 Coğrafi Koordinat Sistemleri (CKS).....                                  | 4            |
| 2.2 Kartezyen Koordinat Sistemleri (KKS) .....                               | 6            |
| 2.3 Projeksiyon Koordinat Sistemleri (PKS) .....                             | 7            |
| 2.4 Jeodezide Koordinat Sistemleri.....                                      | 7            |
| 2.4.1 Küresel kartezyen koordinat sistemi .....                              | 8            |
| 2.4.2 Eğrisel koordinat sistemi.....                                         | 9            |
| 2.4.3 Lokal kartezyen referans sistemleri .....                              | 10           |
| 3. ELİPSOİT VE JEİD .....                                                    | 12           |
| 3.1 Elipsoit .....                                                           | 12           |
| 3.2 Jeoid .....                                                              | 13           |
| 3.3 Fiziksel Yeryüzü, Jeoid ve Referans Elipsoidi Arasındaki İlişkiler ..... | 14           |
| 3.4 Jeodezik Datum.....                                                      | 16           |
| 3.5 Dünya Jeodezik Sistemi 1984 (WGS84).....                                 | 17           |
| 3.6 Jeodezik Referans Sistemi 1980 (GRS80) .....                             | 18           |
| 3.6.1 WGS84 ve GRS80 arasındaki fark .....                                   | 18           |
| 3.6.2 WGS84 elipsoidi ve WGS84 datumu arasındaki fark .....                  | 19           |
| 3.7 ITRF ve ITRS.....                                                        | 19           |
| 3.7.1 ITRF kullanım alanları.....                                            | 20           |
| 3.7.2 Uzay jeodezisi bağlamında yersel referans sistemi.....                 | 21           |

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. KOORDİNAT DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ .....</b>              | <b>22</b> |
| 4.1 Tek Boyutlu Dönüşüm Modeli (1BD) .....                | 24        |
| 4.1.1 Yükseklik dönüşümü.....                             | 24        |
| 4.2 İki-Boyutlu Dönüşümler (2BD) .....                    | 24        |
| 4.2.1 Benzerlik dönüşümü .....                            | 25        |
| 4.2.1 Afın dönüşümü.....                                  | 26        |
| 4.2.2 Polinom dönüşümü .....                              | 27        |
| 4.3 Üç-Boyutlu Dönüşümler (3BD).....                      | 28        |
| 4.3.1 Helmert benzerlik dönüşüm modeli.....               | 30        |
| 4.3.2 Molodensky-Badekas dönüşüm modeli .....             | 30        |
| 4.3.3 Bursa-Wolf dönüşüm modeli: .....                    | 32        |
| 4.3.4 Veis dönüşümü.....                                  | 33        |
| <b>5. UYGULAMA.....</b>                                   | <b>35</b> |
| 5.1 Tek Boyutlu Dönüşüm (Yükseklik Dönüşümü) .....        | 43        |
| 5.2 İki Boyutlu Dönüşüm (Afın Dönüşümü) .....             | 44        |
| 5.3 Üç Boyutlu Dönüşüm (Molodensky-Badekas Dönüşümü)..... | 45        |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>                          | <b>48</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                    | <b>49</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                         | <b>52</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                      | <b>66</b> |

## ÖZET

### DUHOK BÖLGESİ İÇİN KOORDİNAT DÖNÜŞÜM PARAMETRE VE YÖNTEMLERİN İNCELENMESİ

Yakın zamana kadar Duhok şehri triangulasyon ağı, kontrol noktaları ve kadastral referans noktalarına sahip değildi. Kısa süre önce bir Alman firması, Duhok şehrinde jeodezik ağ kurmuştur. Sistemin kurulumu 2006 yılında gerçekleşmiştir. Küresel sistemlerde noktaların koordinatlarının sürekli kontrol edilmesi gerekmektedir. Çünkü yer kabuğu hareketleri ve manyetik azalma gibi birçok değişkenin etkisinden dolayı koordinat sistemleri sabit değildir ve doğruluğun sağlanması için sürekli olarak gözden geçirilmelidir.

Bu çalışma Alman şirketinin Duhok şehri için oluşturduğu kontrol noktalarının GNSS ölçülerinin analizi, koordinat sistemleri arasında dönüşüm parametrelerinin hesabı, kontrolü ve analizi için yapılmıştır. Alman şirketi, manyetik kuzeyi baz alarak her yıl değişen uluslararası referans sistemlerinden biri olan WGS84 sistemini kullandığı için bu sistemin de ITRF sistemine dönüştürülmesi gerekmektedir.

Doğru gözlemler yapmak adına ölçüm cihazları ile çalışma ağını oluşturan altı nokta üzerinde günlük 6 ila 8 saat arasında GNSS gözlemleri yapılmıştır. Daha sonra ITRF sistemine dönüşüm için kullanılacak dönüşüm parametreleri belirlenmiş ve farklı dönüşüm yöntemleri uygulanarak dönüşümler gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** GPS, GNSS, WGS84, ITRF, GRS80.

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF SUITABLE COORDINATE TRANSFORMATION PARAMETERS AND METHODS FOR DUHOK REGION**

A long time ago and the city of Dohuk lacks triangulation networks and control points or reference points cadastral due to the lack of a developed and high-qualified equipment in the science survey in this city, then these points of control references are very important that the focus of any city in the world to the need of its importance in the life of the community and learned, including most of the ministries, and the municipal planning and construction, roads and other ministries. Until recently the German firm has established up a network of control points in the city of Dohuk, the system specifically in 2006. the global WGS84 system aims to check the coordinates of the points in a year, because when working on WGS84 system you must verify the coordinates of each year due to the adoption of many of the factors of this system, including magnetic deviation and because coordinates are not fixed systems.

So for all these reasons this thesis has been done and the establishment of a network of control points by the advanced GPS system, including the points of the German company to achieve the analysis, this thesis is a kind of service to the universities of Duhok specially Duhok Polytechnic University, and government departments as well, But the international change of format from WGS84 system of the German company (which rounded yearly international reference frames that rely on magnetic north at any constant international reference each year, , which are based on the general 1.

To make accurate observations with the device, it was placed on six points of the study network for a period of 6- 8 hours per day to have multiple GPS readings. We analyzed the latter, transfer and convert the relative parameters in this new grid coordinates.

**Keywords:** GPS, GNSS, WGS84, ITRF, GRS80.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1: Yerküreyi düz bir yüzeye döndüren koordinat sistemi. ....                                                                                                                                | 3  |
| Şekil 2.2: Örnek noktalı Coğrafi Koordinat Sistemi. ....                                                                                                                                            | 5  |
| Şekil 2.3: Enlem ve boylam değerlerini gösteren küre şeklinde dünya. ....                                                                                                                           | 6  |
| Şekil 2.4: Kırmızı ile işaretlenmiş orijinde ortalanmış iki yarıçaplı daireye sahip kartezyen koordinat sistemi. ....                                                                               | 7  |
| Şekil 2.5: Konvansiyonel yersel jeodezik (CTRS) ve yerel jeodezik koordinat (GCS) sistemleri. ....                                                                                                  | 9  |
| Şekil 2.6: Jeodezik ve yerel jeodezik ağlar. ....                                                                                                                                                   | 9  |
| Şekil 3.1: A-Belirgin a,b yarı-eksenlerine sahip üç-eksenli elipsoit; B- Bir çift eşit yarı-eksenli (a) ve simetrik ekseni olan belirgin üçüncü yarı eksenli (c) dönüş (sferoid) elipsoitleri. .... | 12 |
| Şekil 3.2: Jeoid. ....                                                                                                                                                                              | 13 |
| Şekil 3.3: Jeoid ve yükseklik ilişkileri. ....                                                                                                                                                      | 14 |
| Şekil 3.4: GRS80 elipsoidi ve jeoid. ....                                                                                                                                                           | 14 |
| Şekil 3.5: Referans elipsoidi, jeoid ve fiziksel yeryüzü arasındaki ilişki. ....                                                                                                                    | 15 |
| Şekil 3.6: Dünya'nın şeklinin analizi, fiziksel yeryüzü, jeoid, elips, küre. ....                                                                                                                   | 15 |
| Şekil 3.7: WGS84 Referans Sistemi. ....                                                                                                                                                             | 17 |
| Şekil 3.8: Orijin, ölçek ve dönüklük. ....                                                                                                                                                          | 21 |
| Şekil 4.1: Dönüşüm örnekleri. ....                                                                                                                                                                  | 23 |
| Şekil 4.2: Yükseklik dönüşümü. ....                                                                                                                                                                 | 24 |
| Şekil 4.3: İki boyutlu dönüşüm. ....                                                                                                                                                                | 25 |
| Şekil 4.4: (a) koordinat sisteminde ölçülen koordinatların (b) sistemine dönüşüm adımları. ....                                                                                                     | 26 |
| Şekil 4.5: Afin dönüşümü. ....                                                                                                                                                                      | 27 |
| Şekil 4.6: Polinom dönüşümü. ....                                                                                                                                                                   | 28 |
| Şekil 4.7: Üç boyutlu dönüşüm. ....                                                                                                                                                                 | 29 |
| Şekil 4.8: Molodensky-Badekas dönüşüm modeli. ....                                                                                                                                                  | 31 |
| Şekil 4.9: Bursa-Wolf dönüşüm modelinin geometrik temsili. ....                                                                                                                                     | 32 |
| Şekil 4.10: (1) 3 boyutlu Bursa-Wolf modeli, (2) 3 boyutlu Molodensky modeli. ...                                                                                                                   | 33 |
| Şekil 5.1: Çalışma alanı. ....                                                                                                                                                                      | 35 |
| Şekil 5.2: Leica Viva GS15 GNSS alıcısı. ....                                                                                                                                                       | 36 |
| Şekil 5.3: Noktaların konumları. ....                                                                                                                                                               | 37 |
| Şekil 5.4: Noktaların konumları. ....                                                                                                                                                               | 38 |
| Şekil 5.5: Dönüşüm adımları (Topcon Tools). ....                                                                                                                                                    | 39 |
| Şekil 5.6: Veri işleme adımları. ....                                                                                                                                                               | 41 |
| Şekil 5.7: Geoid yükseklik hesabı yazılımı. ....                                                                                                                                                    | 43 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1: WGS84 ve GRS80 arasındaki fark.....                                                       | 18 |
| Çizelge 4.1: Datum dönüşüm modelleri. ....                                                             | 34 |
| Çizelge 5.1: Noktaların UTM projeksiyon ve coğrafi koordinatları. ....                                 | 40 |
| Çizelge 5.2: Noktaların coğrafi ve kartezyen koordinatları.....                                        | 40 |
| Çizelge 5.3: Noktaların koordinatları (WGS84), (ITRF2015). ....                                        | 40 |
| Çizelge 5.4: Serbest dengeleme sonucu standart sapmalar. ....                                          | 41 |
| Çizelge 5.5: Düzeltilmiş koordinatlar.....                                                             | 42 |
| Çizelge 5.6: Kartezyen koordinatlardan coğrafi koordinatlara dönüşüm. ....                             | 42 |
| Çizelge 5.7: Coğrafi koordinatlardan grid koordinatlara dönüşüm. ....                                  | 42 |
| Çizelge 5.8: Elde edilen $\Delta X$ , $\Delta Y$ ve $\Delta Z$ 'ler.....                               | 43 |
| Çizelge 5.9: Yükseklik dönüşümü.....                                                                   | 43 |
| Çizelge 5.10: 2 boyutlu afin dönüşümü.....                                                             | 44 |
| Çizelge 5.11: 2 boyutlu afin parametreleri. ....                                                       | 44 |
| Çizelge 5.12: Üç boyutlu Molodensky-Badekas dönüşümü.....                                              | 45 |
| Çizelge 5.13: 2 kontrol noktasındaki üç boyutlu Molodensky-Badekas dönüşümünün düzeltme değerleri..... | 45 |
| Çizelge 5.14: 3 boyutlu Bursa-Wolf dönüşümü. ....                                                      | 46 |
| Çizelge 5.15: 2 kontrol noktasındaki üç boyutlu Bursa-Wolf dönüşümünün düzeltme değerleri.....         | 46 |
| Çizelge 5.16: Test ölçüleri.....                                                                       | 47 |

## KISALTMALAR DİZİNİ

|              |                                          |
|--------------|------------------------------------------|
| <b>1B</b>    | Bir Boyut                                |
| <b>2B</b>    | İki Boyut                                |
| <b>3B</b>    | Üç Boyut                                 |
| <b>4B</b>    | Dört Boyut                               |
| <b>2BD</b>   | İki Boyutlu Dönüşüm                      |
| <b>3BD</b>   | Üç Boyutlu Dönüşüm                       |
| <b>BKS</b>   | Boyutsal Koordinat Sistemleri            |
| <b>CKS</b>   | Coğrafi Koordinat Sistemleri             |
| <b>CORS</b>  | Sürekli Çalışan Referans İstasyonu       |
| <b>DEM</b>   | Sayısal Yükseklik Modeli                 |
| <b>ECEF</b>  | Dünya Merkezli, Dünya Sabitli            |
| <b>ED50</b>  | Avrupa Datumu 1950                       |
| <b>EOPs</b>  | Dünya Oryantasyon Parametreleri          |
| <b>GNSS</b>  | Küresel Uydu Navigasyon Sistemleri       |
| <b>GPS</b>   | Küresel Konumlama Sistemi                |
| <b>GRS80</b> | Jeodezik Referans Sistemi 1980           |
| <b>ICRF</b>  | Uluslararası Göksel Referans Çerçevesi   |
| <b>IERS</b>  | Uluslararası Dünya Referans Sistemi      |
| <b>IGS</b>   | Uluslararası GNSS Servisi                |
| <b>ITRF</b>  | Uluslararası Yersel Referans Sistemi     |
| <b>IUGG</b>  | Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği |
| <b>KKS</b>   | Kartezyen Koordinat Sistemleri           |
| <b>LGS</b>   | Yerel Jeodezik Sistem                    |
| <b>MSL</b>   | Ortalama Deniz Seviyesi                  |
| <b>PKS</b>   | Projeksiyon Koordinat Sistemleri         |
| <b>RF</b>    | Referans Sistemi (veya Referans Ağı)     |
| <b>RMS</b>   | Karesel Ortalama Hata                    |
| <b>WGS84</b> | Dünya Jeodezik Sistemi 1984              |

## 1. GİRİŞ

Jeodezi alanında da küreselleşme yaşanmaktadır. Bu bağlamda farklı datumlar ve verilerin birleştirilmesi düşünülmektedir. Ülkeler, uydu jeodezisinin uygulanmasıyla dünya sınırları dışındaki geniş alanlarda verileri değerlendirerek üretime başlamıştır. Konumsal veri sistemlerini değiştirerek gelişmiş ülkeler uydular yoluyla mekansal verileri bir araya getirebilirler.

Bilindiği üzere, dünya üzerindeki bir noktanın, üç boyutlu konumu (3B) GNSS ile elde edilebilir. Bir noktanın sadece düşey konumu incelendiğinde, GNSS ile 3B konum olarak belirlenen bir noktanın elipsoit yüksekliği, WGS84 elipsoidi ile fiziksel yeryüzü üzerindeki nokta arasında elipsoid normalı boyunca ölçülen mesafesidir.

Dünyayı sembolize eden koordinat sisteminin kaynağı jeoid ve elipsoittir. Dünya'nın jeoid ve elipsoit modelinin temel sebebi, Dünya'nın homojen olmayan ve düzensiz topoğrafyaya sahip olmasıdır. Klasik yer ölçümleri fiziksel bir ortam üzerinde yapılır ve boyutlar çevrenin etkisi altındadır. Dolayısıyla gözlemlerde belirlediğimiz koordinat sistemi farkında olmadan oluşur. Bu tür sistemler doğal koordinat sistemleri, doğal koordinat ya da gözlenmiş öge olarak adlandırılır. Tüm ölçümler tek bir yüzeyi değerlendirmek için yapılır. Bu yüzey elipsoit ya da jeoid olabilir.

Eğer bir noktaya ait ortometrik yükseklik biliniyorsa, elipsoit ve ortometrik yükseklik arasındaki yükseklik farkı ile jeoid yüzeyi kolaylıkla bulunabilir. Diğer bir deyişle, GPS/Nivelman ölçümleri kullanarak jeoid belirlenebilir.

Yatay ve düşey konum koordinatları farklı referans yüzeylerine dayanmaktadır. Uydu ekipmanları (diğer referans sistemlerindeki) ile oluşturulan koordinatlar üç boyutludur. Mevcut ulusal koordinat sistemiyle bağlantılı olarak özellikle elipsoit yüksekliğinin ortometrik yüksekliğe oranı (ya da tam tersi) için bunları dönüştürmek gerekmektedir. Bu sorun, çeşitli dönüşüm modelleriyle çözülebilir. Ancak dönüşüm modeli, mevcut verinin doğası ve amacına uygun şekilde uygulanmalıdır.

Koordinat dönüşümü, bir kaynak koordinat sistemi (lokal ya da piksel koordinat sistemi) ve bir hedef koordinat sistemi (dünya ya da obje koordinat sistemi) arasında

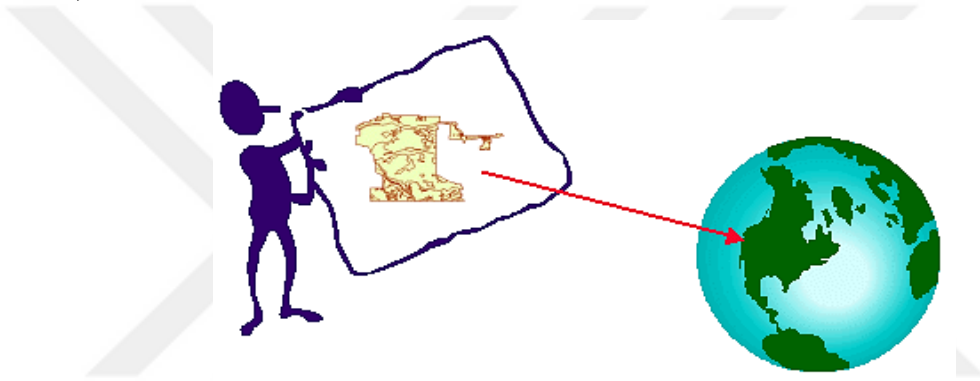
geometrik bir bağlantı kurmak için kullanılan matematiksel bir işlemdir. Bu işlemde, iki koordinat sisteminde de ölçülen kontrol noktaları dizisi kullanarak dönüşüm parametreleri hesaplanır. Birçok dönüşüm modeli geliştirilmiştir. Bunlar, yüzey enterpolasyonu bazlı, polinom, öngörüşel, afin, konformal ve çevirisel türlerdir. Her bir model kullanılan parametre sayısı açısından farklıdır ve sonuç olarak dönüştürülen koordinatlar üzerinde farklı etkilere sahip olmaktadır.

Dönüşüm parametreleri genellikle iki sistemde bilinen koordinatlarla ortak noktalar yoluyla hesaplanır. Daha sonra bu ortak noktalar, ölçüm ağındaki lokal datum bazlı ama ölçüm ağı ile doğrudan bağlantılı olmayan diğer noktalar ve birçok türetilmiş alan veri dizisi için bir dönüşüm modeli belirlemede kullanılır.

Bu çalışma Duhok şehrinin tamamı için lokal datum ve ITRF sistemi arasındaki dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi ile sınırlıdır. Dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi ortak noktaların iki sistemde de koordinatları mevcut olduğunda mümkün olabilmektedir. Bu işlem, hâlihazırda klasik yöntemlerle belirlenmiş kontrol noktalarında GNSS ölçümleri yapılarak ve iki yöntem ile elde edilen koordinatları parametreleri belirlemek için standart matematik modelleri kullanarak gerçekleştirilebilir. Bu parametreler, kontrol noktaları ile birlikte ölçümde kullanılır. Yersel yöntemlerle oluşturulan klasik jeodezik ağların (triangulasyon ve trilaterasyon ağları) güncel gereksinimleri karşılamada yetersiz kaldığı bilinmektedir. GNSS ile elde edilen koordinatları lokal koordinat sistemine dönüştürmek için, lokal sistemin triangulasyon ve trilaterasyon ağlarının koordinatları kullanılır. Dolayısıyla, GNSS’le elde edilen yüksek doğruluk biraz kaybolur. Bu sonuçlar, çalışılan bölgedeki ulusal koordinatların doğruluğuna dayalıdır. Yani, sonuçlar her bölgede farklı doğruluğa sahip olabilmektedir.

## 2. KOORDİNAT SİSTEMLERİ

Koordinatlar; düzlemde, haritada, geometrik uzayda veya dünyada noktaların gerçek konumlarını belirlemek için ifade edilen ikili, üçlü veya dördü rakamlar olarak ifade edilen değerlerdir. Bir koordinat sistemi; orijin, eksenlerin yönü ve ölçek olmak üzere üç bileşenle tanımlanır. Jeodezik datum, birim, projeksiyon ve referans sistemi bilgilerinin farklılığına bağlı olarak birçok koordinat sistemi mevcuttur. Koordinatlar düz ya da eğrisel, iki boyutlu ya da üç boyutlu, hatta bir boyutlu bile olabilir (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1:** Yerküreyi düz bir yüzeye döndüren koordinat sistemi.

Jeodezi ve diğer fizik bilimlerinin temel ihtiyaçlarından biri, nesnelerin birbirlerine göreceli konumları için mantıklı tanımlar sunmaktır. Bilimsel açıdan bu işlem, uzaydaki her bir noktaya rakamlar atayarak bir matematiksel dilde gerçekleştirilir. Bu rakamlara koordinat denir ve bu işleme göre belirlenen sistem, koordinat sistemi olarak adlandırılır; dolayısıyla bir koordinat sistemi, uzaydaki bir konumu belirleyen rakamlar dizisi olarak tanımlanabilir (Fosu, 2006).

Koordinat sistemi, sistemin öznesini tanımlamak için kullanılan bir plandır - referans yüzeyleri bazında düzlemdeki ya da geometrik uzaydaki noktaların koordinatlarıdır. Dünya yüzeyi üzerindeki verinin yerini belirlemek için kullanılan bir koordinat sistemi, yerel ve küresel koordinat sistemleri, sadece uzayda yer-referans noktaları olarak değil ayrıca yön bulma ve coğrafi bilgi sistemleri için de kullanılır. Koordinat sistemleri, bir harita üzerindeki noktalara karşılık gelen aktarılabılır birimleri (sayıları) oluşturmak için dünyayı bölmenin yollarıdır. Bu sistemler kullanışlıdır

çünkü bir koordinat değerleri dizisi, dünya üzerindeki herhangi bir kişiye verilip gerçek koordinat değerlerini gerçek hayattaki bir yerle ilişkilendirmesi sağlanabilir. Farklı koordinat sistemlerinin dünyayı bölme şekilleri de farklıdır. Koordinat sistemi, dünyadaki her konumun, bir şebeke üzerinde bilinen konumun koordinat dizisiyle belirlenmesini sağlar. Çoklu sistemlerin koordinatları, alanlarla ifade edilen farklı referans yüzeylerine dayanır. Bir referans yüzeyi (örneğin harita) olarak seviye seçerken koordinatlar bir düzlem, grid ya da iki-boyutlu (2B) koordinatlardır. Bunun sebebi, harita üzerindeki her noktanın konumunu belirlemek için sadece X'e değil ikili bir boyuta ihtiyaç duyulmasıdır. Yerküreyi ya da elipsoidi referans yüzeyi olarak alırken mekânsal türden koordinatlarla ya da üç-boyutlu (3B) ifadelerin koordinatlarıyla çalışmaktayız ve tam konumu belirlemek için üçüncü referans boyutunun en yüksek noktasını eklemek zorundayız. Ancak her bir noktanın XYZ üçlüsünün değerlerini bilmeye gerek yoktur. Yeryüzünün bir küre olarak düşünüldüğü durumda buna küresel koordinatlar denirken elipsoit söz konusu olduğunda jeodezik koordinatlar, coğrafi koordinatlar ya da elipsoit koordinatları adı verilir. Ayrıca, genellikle sadece yüzey şekli referans kullanıcısının yüksek noktasını yansıtan bir-boyutlu (1B) koordinatlar da vardır. Jeodezik ve fiziksel uygulamalarda, dört boyutlu (4B) yüksek çözünürlüklü koordinatlar yoktur. Dört-boyutlularda, alan belirli bir andaki nokta ile belirlenir yani koordinatların belirlendiği zamanı dördüncü boyut (t) olarak ifade edecek şekilde (x,y,z,t) ile gösterilir. Noktaları iki ya da üç boyutlu uzayda ifade eden birçok koordinat sistemi bulunmaktadır. Ortogonal eksenlere dayalı koordinat sistemini René Descartes ortaya koymuştur (Ayer vd., 2008). Analitik geometride kullanılan bu iki ve üç boyutlu sistemler, genellikle Dikdörtgen ve Düzlem Kartezyen Sistemleri olarak bilinir.

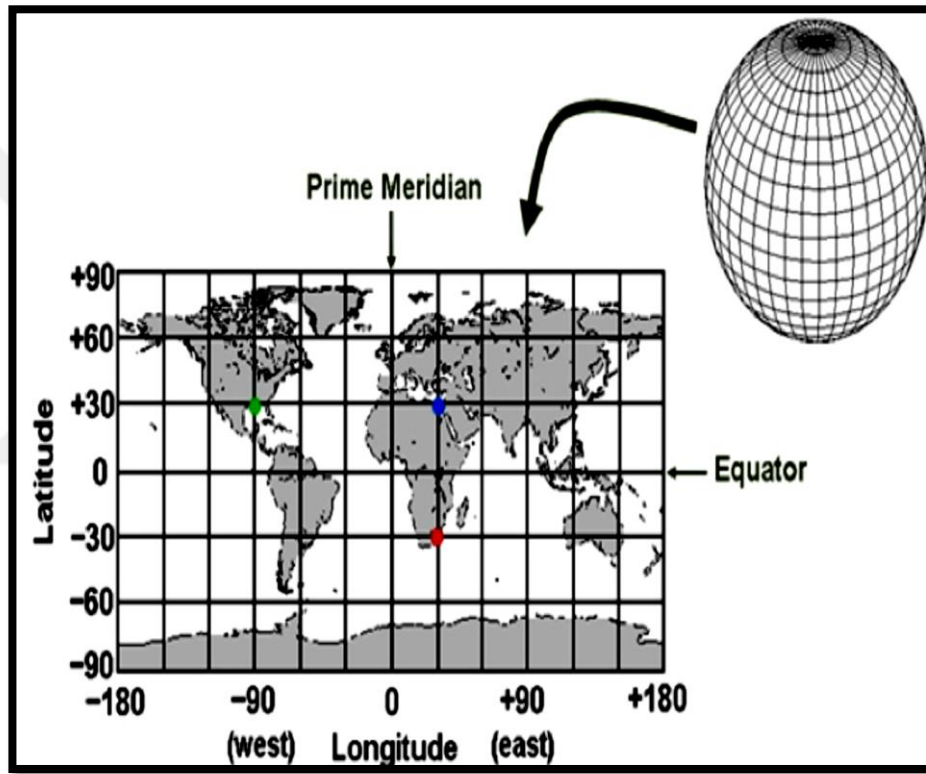
## 2.1 Coğrafi Koordinat Sistemleri (CKS)

Coğrafi Koordinat Sistemi, yeryuvarı üzerindeki her konumun bir sayı, harf ya da sembol dizisi ile belirlenmesini sağlayan koordinat sistemidir. Koordinatlar, genellikle sayılardan biri düşey konumu, iki veya üçü yatay konumu temsil edecek şekilde seçilir. Koordinatlarda yaygın olan tercih enlem, boylam ve yüksekliktir.

Bir başka deyişle, coğrafi koordinat sistemi (CKS), dünya üzerindeki konumları üç boyutlu küresel bir yüzey kullanarak belirler. CKS, sıkça datum olarak adlandırılır ama datum CKS'nin sadece bir parçasıdır. Bir CKS, açısal ölçüm birimi, bir başlangıç meridyeni ve datum bileşenlerinden oluşur. Bir yüzey özelliği, kendi enlem ve boylam

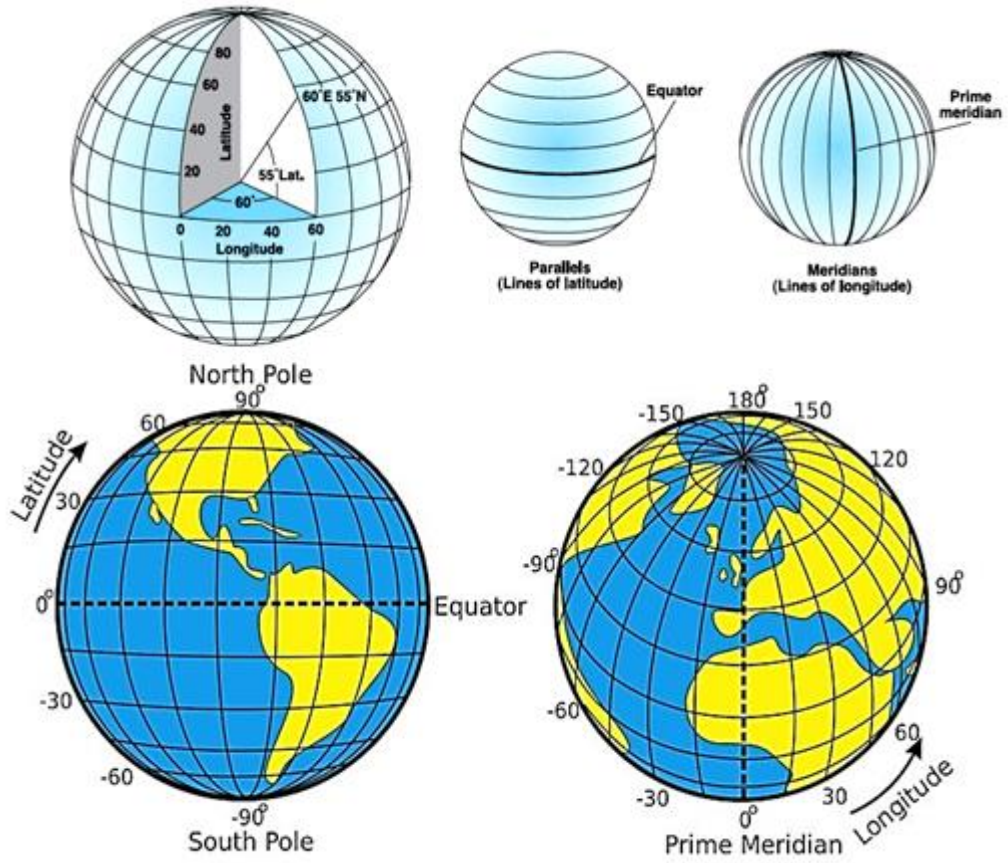
değerleriyle referanslandırılır. Enlem ve boylam, dünyanın merkezinden dünya yüzeyindeki bir noktaya kadar ölçülen açılardır. Açılar, dereceyle (ya da gradlarla) ölçülür.

En bilinen koordinat sistemi, konum belirlemek için enlem ve boylamları ölçen Coğrafi Koordinat Sistemi (CKS)'dir. Enlem çizgileri, ekvatora paralel olacak şekilde kuzey ve güneye doğru ilerler. Pozitif sayılar kuzey yarım küreyi, negatif sayılar güney yarım küreyi simgeler. Ekvator ise 0 derece enlemidir. Boylam çizgileri, başlangıç meridyeninin doğu ve batısına doğru ilerler. Pozitif sayılar doğu yarım küreyi, negatif sayılar batı yarım küreyi simgelerken başlangıç (Greenwich) meridyeni 0 derece boylamıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Örnek noktalı coğrafi koordinat sistemi.

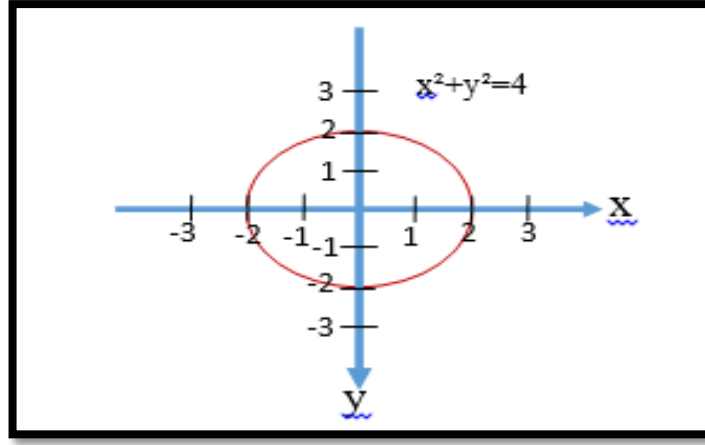
Dünya yüzeyi üzerindeki bir noktanın enlemi (kısaltması: Lat.,  $\phi$ , ya da  $\phi$ ), aynı enlemdeki noktaları birleştiren çizgiler Dünya yüzeyinde daireler oluşturur ve bunlara ekvatora ve birbirlerine paralel oldukları için paraleller adı verilir. Kuzey Kutbu  $90^\circ$  K, Güney Kutbu  $90^\circ$  G paralelidir.  $0^\circ$  paraleli ekvator olarak belirlenmiştir ve tüm coğrafi koordinat sistemlerinin temel düzlemidir. Ekvator Yerküreyi Kuzey ve Güney Yarım Küreler halinde böler (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3:** Enlem ve boylam değerlerini gösteren küre şeklinde dünya.

## 2.2 Kartezyen Koordinat Sistemleri (KKS)

Kartezyen koordinat sistemi, aynı prensip kullanılarak herhangi bir noktanın üç boyutlu uzaydaki konumu üç kartezyen koordinatıyla yani noktanın üç ortak dik düzleme olan mesafesiyle (ya da üç ortak dik çizgiye olan dik yansımasıyla) belirlenebilir. Genel olarak, ( $n$  gerçek uzayın bir elemanı)  $n$  kartezyen koordinatlar noktayı, herhangi bir  $n$  boyutu için  $n$ -boyutlu öklid uzayında belirler. Bu koordinatlar noktadan  $n$  ortak dik hiper düzlemlere olan mesafeye eşit ya da küçük eşittir. On yedinci yüzyılda Rene Descartes tarafından kartezyen koordinatların ortaya atılması, öklid geometri ve cebir arasındaki ilk bilimsel bağlantıyı kurması dolayısıyla matematikte bir devrim yapmıştır. Geometrik şekiller (örn eğriler) kartezyen koordinat sistemini kullanırken kartezyen denklemleri ile gösterilebilir; şekil üzerinde duran noktaların koordinatlarını içeren cebirsel denklemler gibi. Örneğin, düzlemin orijinini merkez alan ve çapı 2 olan bir daire,  $x$  ve  $y$  koordinatları  $x^2 + y^2 = 4$  denklemini sağlayan tüm noktaların dizisi olarak tanımlanabilir (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4:** Kırmızı ile işaretlenmiş orijinde ortalanmış iki yarıçaplı daireye sahip kartezyen koordinat sistemi.

### 2.3 Projeksiyon Koordinat Sistemleri (PKS)

Projeksiyon koordinat sistemi düzlem üzerinde ve iki-boyutlu bir yüzeyde tanımlanır. CKS'nin aksine projeksiyon koordinat sistemi, uzunluk, açı ve alanların iki-boyut üzerinde sürekli olması avantajına sahiptir. Coğrafi koordinat sistemi ile çalışırken bu geçerli değildir. Projeksiyon koordinat sistemi, daima bir küre ya da küremsi kullanabilen bir coğrafi koordinat sistemine dayanmaktadır. Projeksiyon koordinat sisteminde sistem merkezinde orijin olan bir sistem üzerindeki x,y koordinatlarıyla konumlar belirtilir. Her konum, kendisini merkez konuma ilişkilendiren iki değere sahiptir. Bir değer sağa diğeri de yukarı konumunu belirler. Sağa değer y ve yukarı değer x'tir. Orijindeki koordinatlar y=0 ve x=0'dır. Eşit dikey ve yatay çizgilere bölünmüş bir ağ üzerinde, merkezi yatay çizgi y-ekseni, merkezi düşey çizgi x-ekseni olarak adlandırılır. Orijin üzerindeki yatay çizgiler ve orijinin sağındaki dikey çizgiler pozitif değerlere sahiptir; altta ve solda olanlar negatiftir.

### 2.4 Jeodezide Koordinat Sistemleri

Jeodezi, dünyanın boyutu ve şekli ile dünya üzerinde veya üstündeki noktaların koordinatlarıyla ilgili bilim dalıdır. Bir istasyonun koordinatları, diğer istasyonların koordinatlarına bağlı olarak belirlenir. Bunun için şu dört ölçüm kategorisinden bir ya da daha fazlası gereklidir; yönler, mesafeler, mesafe farkları ve yükseklikler. Dünya üzerindeki iki istasyon arasındaki yatay ve düşey açısal ölçümler (örnek: teodolit ile ölçülenler) yersel yöntemlerdir. Dünya üzerindeki bir istasyon ile uydu konumu arasındaki açısal ölçümler (örnek: yerküre etrafına yerleştirilmiş yapay uydunun fotoğraflanması gibi) uydu yöntemleridir. Dünya üzerindeki bir istasyon ile bir yıldız

arasındaki açısal ölçümler (örnek: yıldız üzerindeki direkt teodolit resimler ile ölçüm gibi) astronomik yöntemleridir (Soler vd., 1988).

Dünya üzerindeki iki istasyon arasındaki mesafeler (örnek: elektromanyetik mesafe ölçüm cihazlarıyla ölçülenler) yersel mesafelerdir. Dünya üzerindeki bir istasyon ile uydu konumu arasındaki mesafeler (örnek: lazer ile ölçülenler) uydu mesafeleridir. Dünya üzerindeki bir istasyon ile iki diğer istasyon arasındaki mesafe farkının ölçümü (örnek: hiperbol konumlama sistemleriyle yapılan ölçümler) yersel mesafe farklarıdır. Dünya üzerindeki bir istasyon ile iki uydu konumu arasındaki mesafe farkı ölçümleri (tümleşik Doppler fark sistemleri ile yapılan ölçümler gibi) uydu mesafe farklarıdır. Tüm bu ölçümler istasyonlar arasındaki geometrik ilişkileri belirlemek için yapılır ve geometrik jeodezinin konusuna girer (Bamford, 1962). Tanım ve denklemler, gösterge ve notasyonların mümkün olduğunca birleştirilmesi, farklı referanslar karşılaştırıldığında çıkan karmaşanın ana sebepleridir. Aşağıda, jeodezik öneme sahip birtakım önemli koordinat sistemleri incelenmiştir. Bu sistemler üç temel kategoride gruplandırılmışlardır: Küresel koordinat sistemi, eğrisel koordinat sistemi ve yerel koordinat sistemi.

#### **2.4.1 Küresel kartezyen koordinat sistemi**

Konvansiyonel Yersel Referans Koordinat Sistemi (CTRS) (x, y, z), aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

Orijin: Dünya kütesinin merkezinde,

Z-ekseni: Kuzey Kutbu'nun konvansiyonel tarifine doğru, ya da Uluslararası Dünya Rotasyon Servisi (IERS) tarafından belirlenen konvansiyonel yersel kutba (CTP) doğru yönlendirilmiştir.

X-ekseni: IERS tarafından belirlenmiş 0 derece boylamından geçer (yaklaşık olarak Greenwich Meridyeni'nden).

Y-ekseni: X- ve Z- eksenlerine dik sağ sistem bir koordinat sistemi oluşturur.

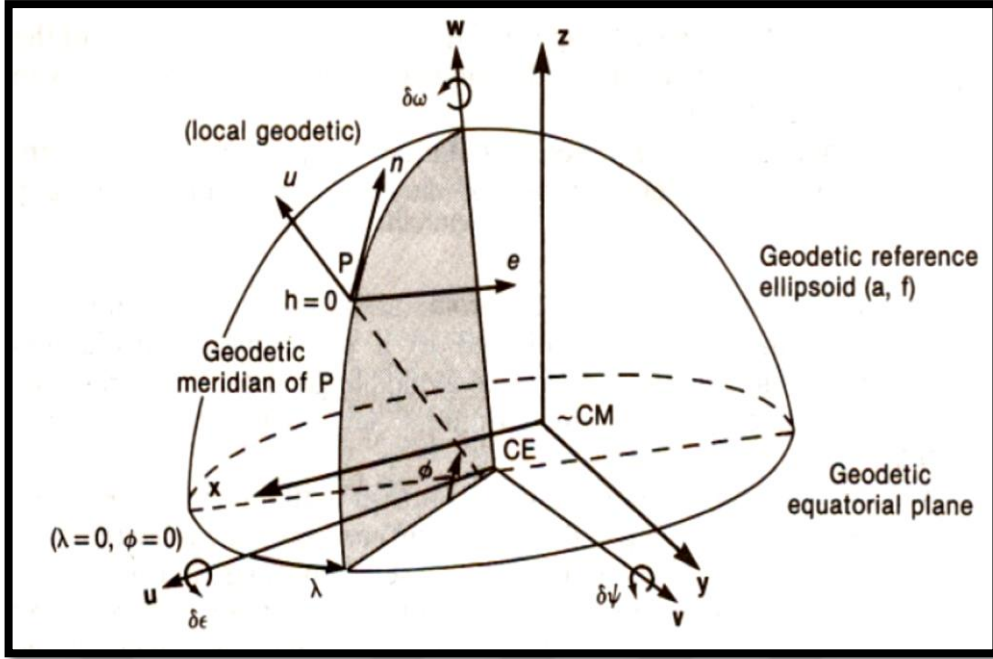
Jeodezik Koordinat Sistemleri (GCS) (u, v, w): Her bir datum için bir koordinat sistemi mevcuttur (Şekil 2.5). Aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

Orijin: Söz konusu datumu tarif etmek için kullanılan referans elipsoidinin merkezindedir,

w-ekseni: Referans elipsoidinin küçük yarı eksen b ile çakışır.

o-ekseni:  $\lambda = 0$ ,  $\phi = 0$  noktasından geçer,

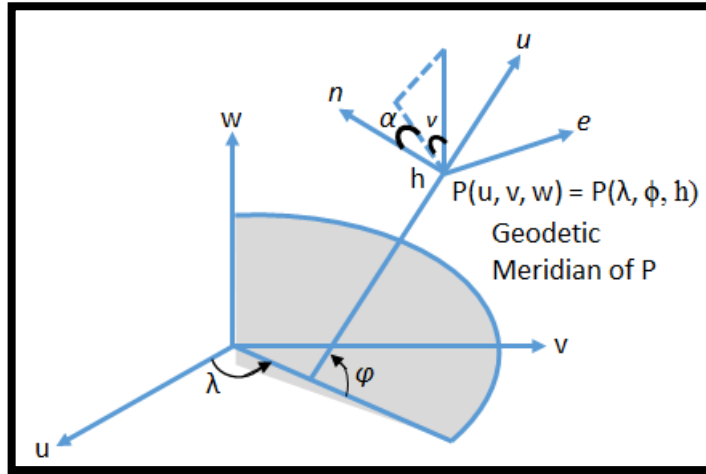
v-ekseni: u- ve w- eksenlerine dik sağ sistemli bir üçlü oluşturur.



Şekil 2.5: Konvansiyonel yersel jeodezik (CTRS) ve yerel jeodezik koordinat (GCS) sistemleri.

#### 2.4.2 Eğrisel koordinat sistemi

Jeodezik problemlerde kullanılan temel referans yüzeyinin doğasından ötürü, bazen mekansal dikdörtgen koordinatlar yerine eğrisel koordinatlar kullanmak daha uygundur. Bu durum özellikle referans olarak bir elipsoit alındığında geçerlidir. Eğrisel Jeodezik Koordinatlar ( $\lambda$ ,  $\phi$ ,  $h$ ) aşağıdaki gibi tanımlanır (Şekil 2.6 ).



Şekil 2.6: Jeodezik ve yerel jeodezik ağlar.

$\lambda$ : Jeodezik boylam. Düzlem (uw) ve başlangıç jeodezik meridyeni arasındaki açı  
P noktasının düzlemi doğuya doğru pozitif olarak ölçülmüştür (ya da batıya NAD 27 ve NAD 83 datumları);  $0 < \lambda < 2\pi$ .

$\phi$ : Jeodezik enlem. P'deki elipsoit normali ile ekvator düzlemi arasındaki açı  
(uv):  $-\pi/2 < \phi < \pi/2$ .

h: Jeodezik yükseklik. P ve bu elipsoidin yüzeyi arasındaki referans elipsoidine normal üzerindeki mesafe. Bazı araştırmacılar, bu parametre için elipsoit yüksekliği terimini kullanmaktadır. Doğal (ya da Astronomik) Koordinatlar ( $\Phi$ ,  $\Lambda$ , H). Doğal koordinatlar fiziksel özelliklere bağlıdır ve her bir P noktasına özgüdür. Aşağıda verilen bileşenleri içermektedir:

$\Phi$ ,  $\Lambda$ : Astronomik enlem ve boylam. Bu eğrisel koordinatlar doğrudan gözlemlerden belirlenmiştir ve dolayısıyla, anlık dünya dönme eksenini ve Ekvator'a işaret ederler. Elipsoit normali çekül doğrusunun yönüyle yer değiştirmiştir.

H: Ortometrik yükseklik. Ayrıca yükselti ya da ortalama deniz seviyesi yüksekliği olarak da adlandırılır. Seviyeleme gözlemleri ve yer çekim verisinden elde edilmiştir; P'den jeoid olan çekül doğrusu üzerindeki mesafedir. Bu üçüncü doğal koordinat, P'deki jeopotansiyel değeri ile değiştirilebilir. Jeoid, ortalama deniz seviyesini en iyi yakalayan dünya yer çekimi alanının eşpotansiyelli yüzeyidir. Önemli bir formül h ile H'yi N (ondülasyon ya da jeoid yüksekliği) ile ilişkilendirir.  $h = H + N$  Uygulamada sadece CTRS sistemine indirgenmiş astronomik koordinatlar kullanılır. Bu koordinatlar CTP'de yapılan kutupsal hareket düzeltmelerini içerir. (Mueller, 1969). İndirgenmiş koordinatlar aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$\Phi^*$ : İndirgenmiş astronomik enlem.

$\Lambda^*$ : İndirgenmiş astronomik boylam.

(x, y, z) ve (u, v, w) sistemleri arasındaki ideal paralellik durumunda, indirgenmiş astronomik ve jeodezik koordinatlar arasındaki dönüşüm, Heiskanen ve Moritz 1967 tarafından belirlenen  $\varepsilon$  ve  $\eta$  dikey bileşenlerinin sapması (astrojeodezik) yoluyla ortaya konur.

$$\varepsilon = \Phi^* - \phi \quad (2.1)$$

$$\eta = (\Lambda^* - \lambda) \cos \phi \quad (2.2)$$

#### 2.4.3 Lokal kartezyen referans sistemleri

Lokal koordinat sistemleri, orijinleri gözlem noktası P'de olan Kartezyen sistemlerdir. P dünya yüzeyi üzerinde ise, lokal koordinat sistemi toposentrik adını alır.

Lokal Sistemler (x, y, z) aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

Orijin: Herhangi bir P noktası (x, y, z).

x, y, ve z eksenleri, herhangi bir belirlenmiş lokal (x, y, z) sisteme paraleldir.

Önceden bahsedilen yersel sistemlerin (örn (x, y, z)<sub>WGS72</sub> ya da (x, y, z)<sub>WGS84</sub>) birisi ile ilişkili herhangi bir noktada lokal bir yersel sistem belirleyebiliriz. Bu tür sistemler, görelî konumlama tekniklerinden (örn GPS bağıl uydu konumlama ya da VLBI) elde

edilen sonuçların raporlanmasında kullanılır. Çünkü (bilindiği varsayılan) bir A noktasına göre bir B noktasının görelî koordinatları belirlendiğinde, bazen  $(dx, dy, dz)$  ya da  $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$  notasyonları kullanılır, burada  $dx = \Delta x = X_B - X_A$  şeklindedir. Bu, B noktasının sabit nokta (referans istasyonu) A'ya göre koordinatlarının bilindiği anlamına gelir. A'nın bulunduğu sistem herhangi yersel sisteme (örn WGS84) paralel lokal bir sistem olarak bilinir.

Lokal Jeodezik Sistem (e, n, u) aşağıdaki şekilde tanımlanır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6):

Orijin: Herhangi bir P noktası  $(\lambda, \phi, h)$  belirli bir elipsoidi referans alır.

u-ekseni: P'den referans elipsoidin normali boyuncadır. Dışta (jeodezik zenit) ya da "başucu" yönde pozitif değer alır.

e-ekseni: u eksenine ve jeodezik meridyen düzlemine dik olan doğrudur ( $h = 0$  olduğu zaman P'nin jeodezik paraleline teğettir). Artan  $\lambda$  yönünde (doğu) pozitiftir.

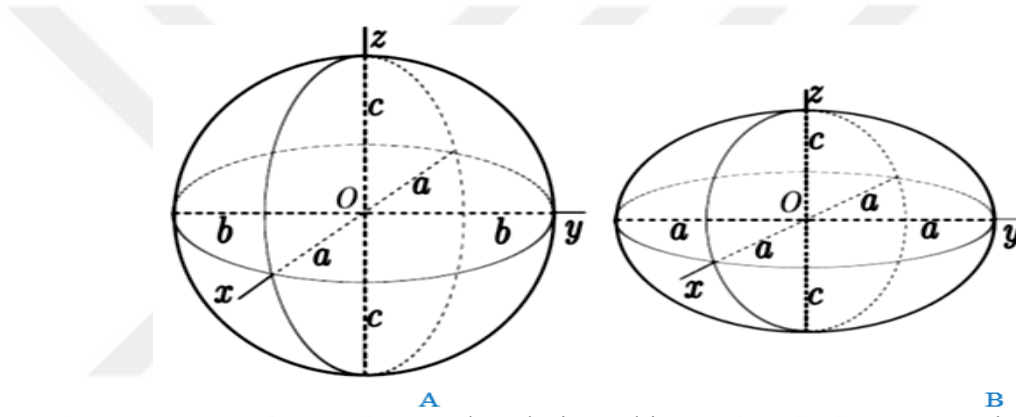
n-ekseni: Sağ sistemli bir üçlü oluşturarak e ve u'ya diktir ( $h = 0$  olduğu zaman P'nin jeodezik meridyenine teğettir). Artan  $\phi$  yönünde (kuzey) pozitiftir.

### 3. ELİPSOİT VE JEOİD

#### 3.1 Elipsoit

Elipsoit, bir elipsin üç boyutlu türevi olan kapalı kuadratik bir yüzeydir (Şekil 3.1). Bir kartezyen koordinat sisteminin orijininin merkezinde yer alan ve eksenlerle hizalanmış bir elipsoidin standart denklemi,

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \quad (3.1)$$



**Şekil 3.1:** A- Belirgin a,b yarı-eksenlerine sahip üç-eksenli elipsoit; B- Bir çift eşit yarı-eksenli (a) ve simetrik eksenli olan belirgin üçüncü yarı eksenli (c) dönüş (sferoid) elipsoitleri.

Elipsoit, yayvan (üst) ya da kutuplardan yassılaşımıştır (alt). Çünkü c, a'dan farklıdır (Şekil 3.1), (a,0,0), (0,b,0) ve (0,0,c) noktaları yüzeyde uzanır ve orijinden bu noktalara olan çizgi segmentleri a,b,c uzunluğundaki ana-yarı eksenler olarak adlandırılır. Uygun elipslerin büyük-yarı eksenleri ve küçük-yarı eksenlerine tekabül eder. Biri dejenere olan dört belirgin durum mevcuttur:

$a > b > c$  — üç-eksenli ya da (nadiren) eşkenar olmayan elipsoit.

$a = b > c$  — kutuplardan yassı dönüş elipsoidi (kutuplardan yassı sferoid).

$a = b > c$  — yayvan dönüş elipsoidi (yayvan sferoid).

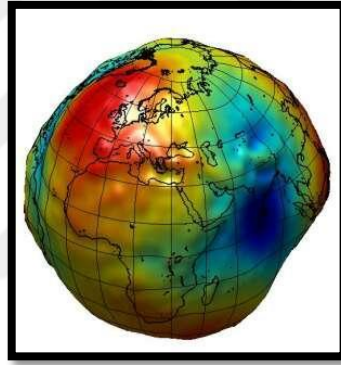
$a = b = c$  — dejenere küre durumu.

Matematik , “üç-eksenli elipsoit” yerine genellikle “elipsoit” kullanır. Bilimsel literatür (özellikle jeodezi) “dönel elipsoidi” yerine genellikle “elipsoit” kullanır ve “üç-eksenli” sıfatını sadece genel durumdan bahsederken kullanır. Daha önceden,

“dönel elipsoidi” yerine “sferoid” kullanılırdı. Bir elipsoidin merkezinden geçen herhangi bir düzlemsel kesit, yüzeyinde bir elips oluşturur: bu, bir dönel elipsoidinin simetri eksenine normal olan kesimler için bir daireye dejenere olur.

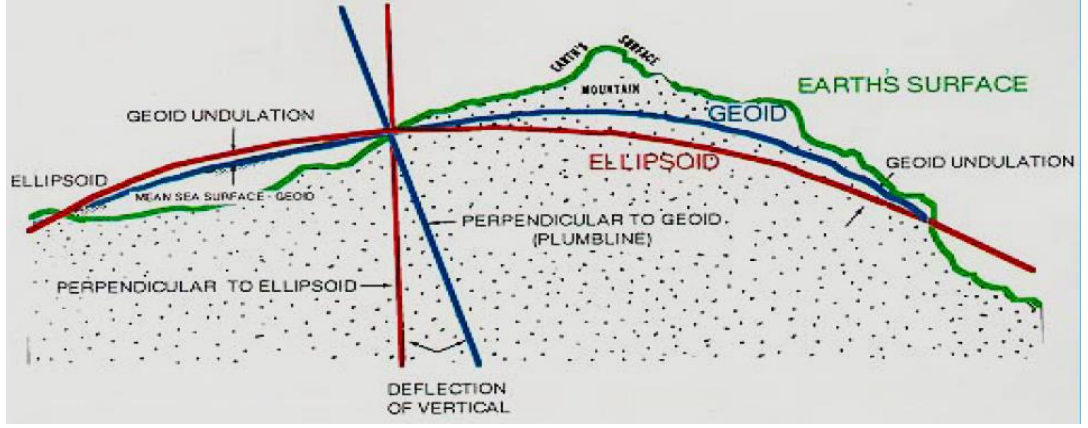
### 3.2 Jeoid

Jeoid, Dünya’nın sadece yer çekimi (gravite) ve rotasyonunun (kendi eksenini etrafında dönmesi) etkisi altında, rüzgâr ve gelgit gibi etmenler olmaksızın okyanusların alacağı şekildir (Şekil 3.2). Bu yüzey kıtalar üzerinde (çok dar farazi kanallar gibi) uzatılır. Jeoid üzerindeki tüm noktalar, aynı yer çekimi potansiyel enerjisine sahiptir (yer çekimsel potansiyel enerji ve merkezkaç potansiyel enerjisinin toplamı). Yer çekimi gücü her yerde jeoide dik olarak çalışır, yani çekül jeoide diktir, su seviyeleri ise yataydır.



Şekil 3.2: Jeoid (URL-1).

Jeoid, Dünya’nın yer çekim alanının yüzeyinin eşit potansiyeli ya da seviyesidir. Okyanusların gelgit ya da atmosferik güçlere tabi olmaksızın sadece yer çekimi etkisinde yerleştiğini hayal edin. Ayrıca su özgürce yer değiştirebilsin diye okyanusları bağlamak için tüneller kullanılır. Elde edilen yüzey, jeoidin temsidir. Jeoid, ortalama deniz seviyesine (ODS) yaklaşık olarak eşittir ve yerel ortalama deniz seviyesine kıyasla bir metre civarı farklılık gösterir. Karmaşık bir şekildir. Jeoid dünyanın kompozisyonundan etkilenir dolayısıyla eğiminde süreksizlikler olabilir. Bu durum, elipsoit gibi matematiksel bir yüzeye zıt olarak yüzeyin analitik bir yüzey olduğu anlamına gelir. Genellikle yer merkezli yatay bir jeodezik datumdan 100 metreden az farklılığa sahiptir (Şekil 3.3).

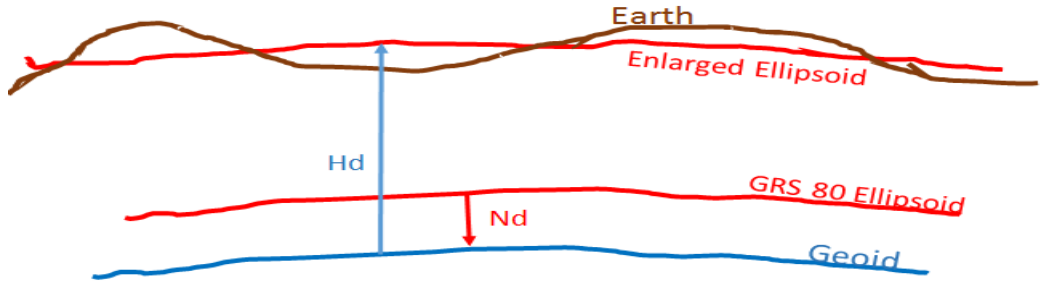


**Şekil 3.3:** Jeoid ve yükseklik ilişkileri.

Yükseklik ölçümleri için bir referans (sıfır yükseklik) yüzeyi gereklidir. Bu yükseklik referans yüzeyi bir denge yüzey olmalıdır ve dünya çapında kullanabilmek için elipsoidin şekli gibi kapalı bir şekil olmalıdır. Ortalama deniz seviyesini taklit eden Dünya'nın bu yer çekim alanı eş potansiyeli jeoid olarak tabir edilir. Bu, herhangi bir noktanın yer çekimi (çekül doğrusu) yönünde dik olduğu anlamına gelir. Jeoid referans denge yüzeyi olarak seçilir çünkü dünyanın her yerinde üzerindeki her nokta tamamen aynı potansiyele sahiptir. Her sistem tasarımını üç kriter etkiler; uygun parametrelerle birlikte medyan yükseltisi,  $H_d$  ortalama jeoid ayrımı ve  $N_d$  projeksiyon türü (konik ya da silindirik). Sistemin medyan yükseltisini ve ortalama jeoid yüksekliğini, GRS80 büyük yarı ve küçük yarı-eskenleri ekleyerek her bir sistem için büyütülmüş bir elipsoid belirlenir (Şekil 3.4).

$$a = 6,378,137.000 \text{ m} + H_d + N_d \quad (3.2)$$

$$b = 6,356,752.314 \text{ m} + H_d + N_d \quad (3.3)$$

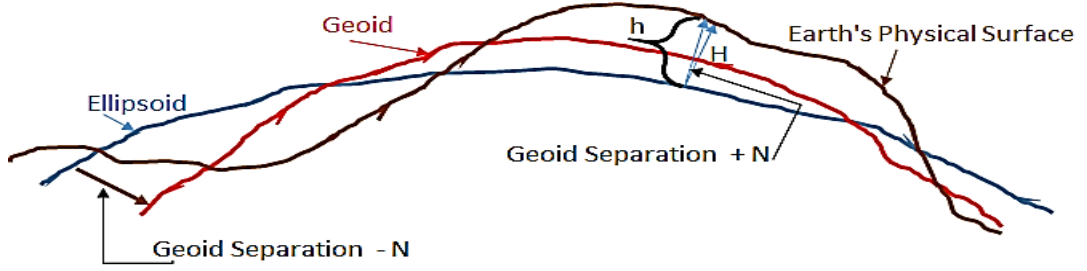


**Şekil 3.4:** GRS80 elipsoidi ve jeoid.

### 3.3 Fiziksel Yeryüzü, Jeoid ve Referans Elipsoidi Arasındaki İlişkiler

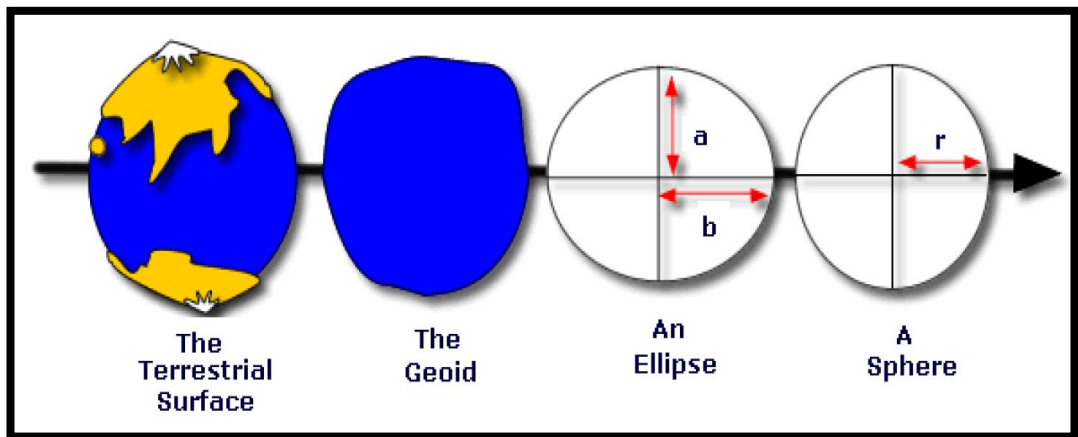
Jeoid ayrımı, elipsoid normali boyunca ölçüldüğü üzere jeoid ve matematiksel referans elipsoidi arasındaki mesafedir. Bu mesafe, referans elipsoidinin dışında pozitif, içinde negatiftir. Ayrıca jeoid yüksekliği ve jeoid ondülasyonu olarak da adlandırılırlar.

Fiziksel yeryüzü, jeoid ve referans elipsoidi arasındaki ilişkiler Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.5:** Referans elipsoidi, jeoid ve fiziksel yeryüzü arasındaki ilişki.

Diğer bir varsayım ise dünyanın düz olduğu (küçük bir alan için) ve elipsoit ile jeoidin iki paralel düzlem olduğudur. Bu varsayımda, bir yerdeki jeoid yüksekliği biliniyorsa, yakın konumlardaki jeoid yüksekliği de aynıdır. Bazı uygulamalar için bu varsayım uygundur ancak büyük resme bakıldığında bu varsayımın da eksikleri vardır. Daha iyi bir varsayım iki düzlemin paralel değil de birinin diğerine kıyasla eğik olduğu şeklindedir. Belirli bir alandaki en az üç nokta için (bir düzlemi belirlemek için gereklidir) jeoid yükseklikleri biliniyorsa, aynı alandaki diğer jeoid yükseklikleri lineer enterpolasyon teknikleriyle elde edilebilir. Aynı genel alanda ekstrapolasyon da mantıklı cevaplar sağlayabilir ama kontrolsüz ekstrapolasyondan kaçınılmalıdır. İnceleme alanı boyunca dağılmış üçten fazla noktanın jeoid yükseklikleri biliniyorsa, yerel bir “en iyi uyum” modeli uygun bir seçim olacaktır. Daha da iyi bir varsayım ise, iki yüzeyin de eğimli ve ortak merkezli olduğudur. Elipsoidin eğriliği matematiksel olarak iyi tanımlanır ve hesaplanabilir. Bu varsayımdaki bir zorluk ise düzensiz eğriliğe (yer çekiminden dolayı) sahip olması sebebiyle jeoidin eğriliğini belirlemedeki güvenilirlik meselesidir. “En iyi” jeoid modelinin inşa edildiği alan işte budur (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6:** Dünya’nın şeklinin analizi, fiziksel yeryüzü, jeoid, elips, küre.

### 3.4 Jeodezik Datum

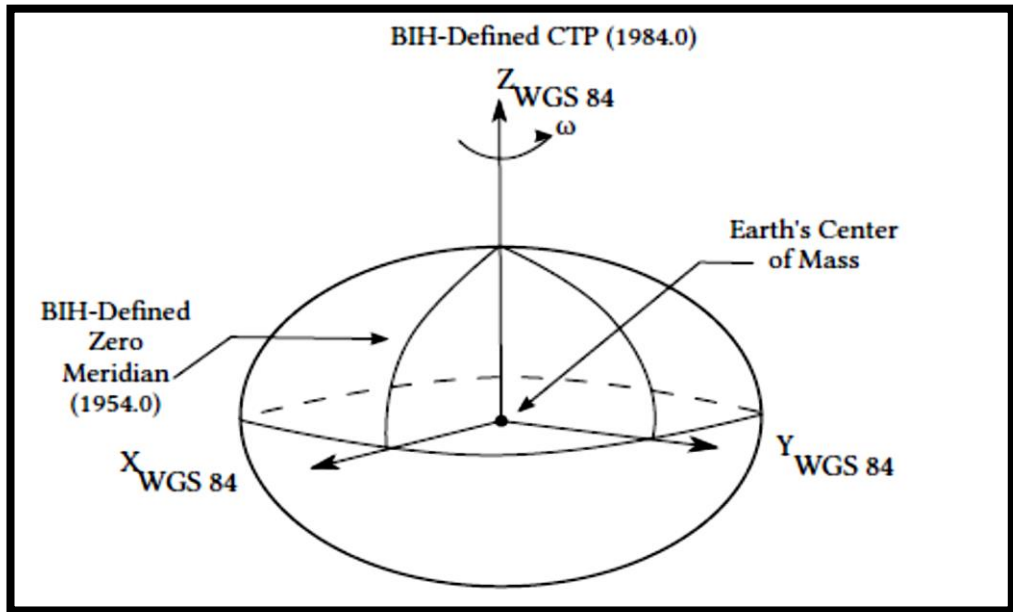
Jeodezik datum ya da jeodezik sistem, yerküre üzerindeki yerlerin (ya da benzer nesnelerin) konumlarını ortaya koymak için kullanılan bir koordinat sistemi ve referans noktaları dizisidir. Deniz seviyesinin yaklaşık bir tanımı WGS84 datumu yani bir elipsoittir ancak daha doğru bir tanım Dünya Gravitasyoneli'dir. Diğer alanlar için ya da farklı zamanlarda başka datumlar da belirlenmiştir: ED50 1950 yılında Avrupa üzerinde belirlenmiş ve Avrupa'da nereye baktığınıza göre WGS84'ten birkaç yüz metre farklılık göstermektedir. Mars'ın okyanusları ve dolayısıyla deniz seviyesi yoktur ama oradaki yerleri konumlamak için en az iki Mars Datumu kullanılmıştır. Datumlar; jeodezi, navigasyon, ölçme ve uydu navigasyon sistemlerinde haritalarda (kâğıt ya da dijital) belirtilen konumları Dünya üzerindeki gerçek konumlarına çevirmek için kullanılır. Her biri bir elipsoit ile başlar ve sonra enlem, boylam ve elipsoid yükseklik koordinatlarını belirler. Dünya yüzeyi üzerindeki bir veya daha fazla nokta referans noktası (baz nokta) olarak seçilir.

Datumlar arasındaki koordinat farkları yaygın olarak datum kayması olarak adlandırılır. İki belirli datum arasındaki datum kayması, bir ülke veya bölge içindeki bir yerden diğerine değişiklik gösterebilir ve sıfırdan birkaç yüz metreye (uzak adalarda birkaç kilometre) varabilir. Kuzey Kutbu, Güney Kutbu ve Ekvator farklı datumlarda farklı yerlerde olacaktır ve dolayısıyla gerçek kuzey de biraz farklı olacaktır. Farklı datumlarda Yer'in kesin şekil ve büyüklüğü (referans elipsoitleri) için farklı enterpolasyonlar kullanır. Jeodezik Datumlar Yer'in kesin modelini belirler, Yer'in büyüklüğüne dair ilk tahminler Aristo tarafından yapıldığından beri konum tanımları yaratmak için yüzlerce farklı datum kullanılmıştır (Dana, 1997). Datumlar uydu ölçümleri ile Yer'i bir küre benzeri tarif eden hallerinden elipsoit modelleri haline evrim geçirmiştir. Datum örnekleri, yükseklik referanslama için jeoid ve ortalama deniz seviyeleri ile küre biçimli koordinat tanımları için kullanılan elipsoitlerdir. Koordinat sistemlerinin baz aldığı, Yerküre'nin şekil ve büyüklüğünün en basit matematiksel tahmini, elipsoit ve jeoidlerdir (Ayer ve Fosu, 2008). Jeodezik datumlar iki yolla sınıflandırılabilir. Küresel ve mutlak datumlar, orijin olarak Yer'in Merkezi'ni alırlar. Bölgesel elipsoitler, Yer'in yüzeyine sadece kendi geçerlilik bölgelerinde yaklaşır. Yatay, düşey ve tam datumlar, hem düşey hem yatay sistemleri tarif eden jeodezik datum türleridir.

### 3.5 Dünya Jeodezik Sistemi 1984 (WGS84)

ABD Savunma Bakanlığı askeri amaçlı olarak dünyanın çeşitli yerlerinin haritasını yapabilmek amacıyla GPS fikrini ortaya koymuştur. Üretilen ürünlerin (haritaların) tek bir referans sistemine sahip olması fikri ile ilk olarak WGS60 jeodezik referans sistemi kullanılmaya başlanmıştır. DMA (The Defense Mapping Agency), 1960'tan bu yana WGS'ler üzerinde çalışmaktadır. Şimdiye kadar dört sistem geliştirmiştir. Bunlar WGS60, WGS66, WGS72 ve WGS84'tür. WGS84 (World Geodetic System of 1984) sistemi jeode en yakın olan ve en geniş çaplı uyan bir sistemdir. WGS 84 sistemi yersel ortalama dünya elipsoidini, dünya gravitasyonel modelini ve diğer jeodezik datumlara dönüşüm parametrelerini içermektedir (Yurt, 2006).

Dünya Jeodezik Sistemi, dünya için temel referans sistem, geometrik şekil ve yer çekimsel modeli sağlar ve konumların çeşitli yerel jeodezik sistemlerde yer merkezli, yer sabit (ECEF) koordinat sistemiyle ilişkilendirilmesine yarar. WGS84 referans elipsoidi, yermerkezli bir döl elipsoidtir. WGS84 koordinat sisteminin orijin ve eksenleri, aynı zamanda WGS84 elipsoidinin geometrik merkezi ve X,Y,Z eksenleri olarak kullanılır. WGS84 elipsoid parametreleri sağlandığında, yükseltiler ve jeodezik yükseklikler arasında dönüşüm yapmak için WGS84 jeoid yükseklik modeli kullanılabilir. Çoğu yerel datum üzerindeki konumları WGS84'e çevirmek için gerekli datum kayma teknikleri ve parametreleri de WGS84'ün parçası olarak geliştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: WGS84 Referans Sistemi.

### 3.6 Jeodezik Referans Sistemi 1980 (GRS80)

GRS80 ya da tam adıyla Jeodezik Referans Sistemi 1980, küresel bir referans elipsoiti ve bir yer çekimi modelini içeren jeodezik referans sistemidir. Jeoid, esasen Yer'in topografik özelliklerinin çıkarılmış şeklidir. Akıntılar, hava basıncı değişimleri ve benzerlerinin yokluğunda ve kıtaların altında devam edecek şekilde deniz suyu ve ortalama deniz seviyesi yüzeyinin ideal bir dengesidir. Elipsoitten farklı olarak jeoid, üzerinde konumlama gibi geometrik problemlerin hesaplanması için düzensiz ve çok karmaşıktır. Jeoid ve referans elipsoidi arasındaki geometrik ayrıma jeoid ondülasyonu denir. Küresel olarak  $\pm 110$  m değişim gösterir. Konvansiyonel olarak jeoidle aynı büyüklükte (hacimde) seçilen bir referans elipsoiti, büyük yarı-ekseni  $a$  (ekvator) ve basıklık  $f$  ile betimlenir.  $b$  nin küçük yarı-eksen (kutup) olduğu  $f = (a-b)/a$  niceliği tamamen geometriktir. Dünyanın mekanik elipselliği (dinamik basıklık sembol  $J_2$ ) uydu yörünge karışıklıklarının gözlenmesi ile yüksek kesinlikte belirlenir. Geometrik basıklık ile ilişkisi dolaylıdır. Bu ilişki iç yoğunluk dağılımına bağlıdır.

1980 Jeodezik Referans Sistemi (GRS80), 6378137m büyük yarı-eksen ve 1/298.257 222 101 basıklık varsaymaktadır. Bu sistem, 1979 yılında Canberra, Avustralya'da toplanan XVII. Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği (IUGG) Genel Kurulu'nda kabul edilmiştir. GRS80 referans sistemi, esasen Dünya Jeodezik Sistemi 1984'te (WGS84) kullanılmıştır. WGS84'ün referans elipsoiti, ilerleyen zamanlardaki iyileştirmeler nedeniyle bir miktar farklılık göstermektedir. Çok çeşitli ülkeler tarafından haritalar ve planlar için kullanılan birtakım diğer sistemler, gün geçtikçe bu ülkelerin GRS80 referans elipsoidini kullanan daha küresel ve yer merkezli referans sistemlerine geçmeleri nedeniyle kullanım dışı kalmaktadır.

#### 3.6.1 WGS84 ve GRS80 arasındaki fark

Birçok kullanıcının ilk fark ettiği, bizim NAD-83 tanımımızın elipsoit olarak WGS84 kullanırken standart tanımın GRS80 elipsoidini kullanmasıdır. Burada referans maksadıyla elipsoidin tanım parametreleri verilmiştir (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1:** WGS84 ve GRS80 arasındaki fark.

| Datum | Büyük Yarı-Eksen | Basıklık        |
|-------|------------------|-----------------|
| WGS84 | 6378137          | 1/298,257223563 |
| GRS80 | 6378137          | 1/298,257222101 |

WGS84 ve GRS80 elipsoidinin basıklıkları arasında küçük bir fark bulunmakta olup iki elipsoidin küçük yarı-eksenleri (Kuzey-Güney eksen) arasındaki fark yaklaşık 0.1mm'dir (  $b_{WGS84} = 6356752.31425$   $b_{GRS80} = 6356752.31414$ ).

### 3.6.2 WGS84 elipsoidi ve WGS84 datumu arasındaki fark

Genel olarak, bir datum bir elipsoidi ve merkezinin konumunu simgeler. WGS84 elipsoidinin tanımı değişmemiş olsa da, merkezinin konumu çok az değişmiştir çünkü Yer kütesinin merkezine denk gelmesi amaçlanmaktadır. Daha kesin ölçümler ortaya çıktıkça datum değişmektedir. Aynı datumun farklarını belirtmek amacıyla yıl ya da başka rakamların sona eklenmesi konvansiyoneldir.

Orijinal WGS84 gerçekleştirmesi esasen NAD83 (1986) ile bağdaşmaktadır. Ancak sonra gelen WGS84 gerçekleştirmeleri, birtakım ITRS gerçekleştirmelerine hesaba katmaktadır. GPS uyduları tahmin edilen WGS84 yörüngelerini yaydığı için konumlama noktaları için bu sinyal bilgisini kullanan insanlar, otomatik olarak WGS84 ile tutarlı olan koordinatları elde eder.

### 3.7 ITRF ve ITRS

Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRS), yeryuvarı ile birlikte uzaydaki gündelik hareketinde eş olarak dönen yeryuvarı konumsal referans sistemidir. Astronomi, jeodezi ve jeofizik disiplinlerine küresel referans sağlamakla görevli IERS, ITRS'nin gerçekleştirilmesini yönetmektedir. ITRS gerçekleştirmeleri, IERS ITRS Ürün Merkezi (ITRS-PC) tarafından Uluslararası Yersel Referans Sistemi adı altında üretilmektedir. ITRF koordinatları, GPS, VLBI, SLR, LLR ve DORIS Uzay Jeodezisi tekniklerinin gözlemlerini kullanarak IERS analiz merkezleri tarafından hesaplanan bağımsız TRF çözümlerinin kombinasyonu ile elde edilmiştir. Tümü, bütün yeryuvarını kapsayan alanlarda yer alan istasyon ağlarını kullanır. Dünya sürekli şekil değiştirmektedir. Bizim konumuzda ise, Dünya'nın yer kabuğunun hareketi gözlemlenirken referanslanmalıdır. Bir yersel referans sistemi, dünya yüzeyinde yer alan bazı noktaların koordinat dizisini sağlar. Bu dizi, uzaydaki dönüşünü ölçerken yerküreyi temsil etmekte kullanmak üzere plaka tektoniklerinin, bölgesel çökme ve/veya binmelerin ölçülmesinde kullanılabilir. Bu dönüş, göksel referans sistemi olarak adlandırılan yıldız objelerine bağlanmış bir sisteme kıyasla ölçülür. Uluslararası Yeryuvarı Dönüş ve Referans Sistemleri Servisi (IERS), bir Göksel Referans Sistemi

(ICRF) ve Yersel Referans Sistemi (ITRF) ortaya koymak ve sürdürmek için 1988 yılında kurulmuştur (Jin vd., 2003).

Yeryuvarı Oryantasyon Parametreleri (EOP'ler) bu iki sistemi birbirine bağlar. Bu sistemler, farklı konumlardan gelen sonuçları ve gözlemleri kıyaslamak için ortak bir referans sağlar. Günümüzde kesin koordinatlar hesaplamak için dört ana jeodezik teknik kullanılmaktadır: GPS, VLBI, SLR ve DORIS. Bu tekniklerin aygıtlarıyla donatılmış takip ağı halen gelişmekte olduğu için mevcut veri süresi zamanla artmaktadır.

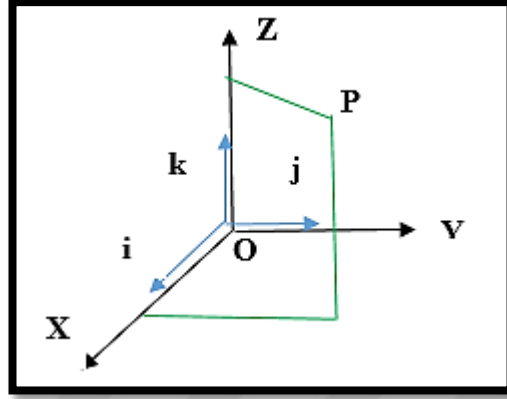
Sırasıyla ITRF88, ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF95, ITRF96, ITRF97, ITRF2000 ve ITRF2005 sistemleri mevcuttur. Tüm bu sistemler istasyon konumları ve hızlarını içermektedir. Yer kabuğunun değişikliklerini modellemektedirler ve bu yüzden farklı epoklardan gelen gözlemleri kıyaslamada kullanılabilirler. İstasyon kaymalarının tüm yüksek frekansları IERS konvansiyonlarıyla erişilebilir. ITRF tanımları için konvansiyonlar dönüştürülürken gerçekleştirmeler arasındaki süreklilik mümkün olduğunca sağlanmıştır. Tüm bu çözümleri bağlayan ilişki hayati öneme sahiptir. Burada dönüşüm parametreleriyle verilmektedirler. Yersel Referans Ağı (TRF), bir Yersel Referans Sistemine bağlanmış belirli bir koordinat sisteminde (kartezyen, coğrafi, grid vb.) kesin olarak belirlenmiş koordinatları olan bir dizi fiziksel noktadır. Bu çeşit bir TRF'nin, TRS'nin bir gerçekleştirmesi olduğu söylenir.

### **3.7.1 ITRF kullanım alanları**

- Hassas Yörünge Belirleme için:
  - GNSS: Küresel Uydu Navigasyon Sistemleri.
  - Diğer uydu görevleri: Altimetre, Oşinografi, Yerçekimi.
- Yer bilimleri uygulamaları:
  - Tektonik hareketler ve yer kabuğu deformasyonları.
  - Ortalama deniz seviyesi değişimleri.
  - Dünya'nın dönüşü.
- Diğer uygulamalar:
  - Navigasyon: Hava, Kara ve Deniz.
  - Ulusal jeodezik sistemler.
  - Haritacılık ve Konumlama.

### 3.7.2 Uzay jeodezisi bağlamında yersel referans sistemi

- Orijin: Dünya Sisteminin kütlelerinin merkezi.
- Ölçek: – (uzunluk birimi): SI birimi.
- Dönüklük: Ekvatorsal (Z eksen, yaklaşık olarak Dünya kutbu yönündedir) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Orijin, ölçek ve dönüklük.

#### 4. KOORDİNAT DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ

Gök cisimleri ile mekanik uygulamalarının büyük kısmı, gözlem niceliklerinin bir koordinat sisteminden diğerine dönüştürülmesini kapsar. Dolayısıyla, göksel mekanizmalarda karşılaştığımız problemlerin çözümünde uygulanacak kuralları bulmak için bu işlemin nasıl yapıldığını genel olarak tartışmak gerekmektedir. Matematiksel olarak birçok koordinat dönüşümünü tanımlamak mümkün olsa da, özel bir yöntem olan lineer dönüşüm alanımızla ilgili dönüşümlerde daha sık kullanılmaktadır. Bu tür koordinat sistemleri, bir sistemdeki koordinatları bir diğerindekilerle ilişkilendirmek için lineer cebir denklemleri yolunu kullanır. Çünkü kullanıcılar sistemler arasında dönüşüm yapmak isteyecekleri birtakım koordinat sistemleri ile karşılaşabilir.

Bir koordinat sisteminde verilmiş ya da hesaplanmış nokta koordinatlarının başka sistemdeki karşılıklarının bulunmasına “koordinat dönüşümü” denir. Farklı bir koordinat sisteminde üretilen haritaların yeni seçilen bir sisteme göre yeniden çizilmesi, doğru sistemdeki karşılıklarının bulunması, GNSS ile belirlenen koordinatların pratikte kullanılabilir hale getirilebilmesi için ülke koordinat sistemine dönüştürülmesi, fotogrametride alet koordinatlarından resim koordinatlarına geçişte, resim koordinatlarından arazi koordinatlarına geçişte koordinat dönüşüm uygulanır (Başçiftçi, 2008).

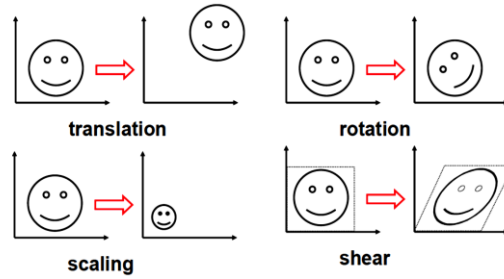
Jeodezik dönüşümler, bir yöntem ve bu yöntemle tutarlı bir dizi parametre değerinden oluşur. Bu, yedi parametre kullanan birkaç yöntemden biridir ve Avrupa E&P Endüstrisinde tercih edilendir. Gazete bildirisinde verilen parametre değerleri sadece konum vektör dönüşümü ile kullanılabilir. Diğer yer merkezli yöntemlerle kullanabilmek için düzenlenmeleri gerekmektedir. Özellikle de eğer koordinat sistemi konvansiyonu sizin uygulamanızda kullanılmış ve değer işaretlerinin üç dönüklük parametreleri ekte verilmişse düzenleme gerekir.

Bir koordinat sistemini tanımlamak için onun diğer koordinat sistemleriyle ilişkisini açıklamaya gerek yoktur. Ancak bazı yazılım paketleri, mevcut koordinat sisteminizden WGS84’e olan datum dönüşüm parametrelerine sahiptir. Bunun anlamı, ED50’nin ve/veya OSGB36’nın, kendisini WGS84 ve GRS80’e ilişkilendiren dönüşüm parametre dizisine hâlihazırda yazılımın içinde sahip olmasıdır.

İki koordinat sistemi arasında doğrudan dönüşüm yapamayan uygulamalar için standart bir sistem (WGS84 gibi) yoluyla dönüşüm sağlanacaktır.

Dönüşüm  $x$ ,  $y$ ,  $z$  gibi noktaların  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  haline taşınmasıdır. Bu dönüşüm 1, 2 veya 3 boyutta olabilir ve koordinat eksenlerine taşıma olarak da düşünülebilir. Koordinat dönüşümü, aynı alanı tarif etmek için bir sistemden diğerine çevirmek olarak tanımlanabilir (Chirila vd., 2011).

GNSS alıcılarında, noktaların konumları WGS84 dönel elipsoidi üzerinde belirlenmektedir. Bazı alıcılar, noktaların konumlarını başka datumlarda da hesaplayabilir. Bu sayede, GNSS teknolojisi kullanarak, Dünya'nın kütle merkezine göre konum belirlemek mümkündür. Dünya Jeodezik Sistemi 1984 (WGS84: NIMA 1990), GPS uydu yörünge elemanları aracılığıyla Dünya merkezini referans alan dönel bir elipsoittir. Bu sebeple yerel datumlar dönüşüm parametreleri ile küresel WGS84 datumuna bağlanmıştır (parametrelenmiştir). Farklı datumlarda ifade edilen jeodezik koordinatlar eğer dönüşüm yapılmazsa, birkaç yüz metrelik konum hatalarına yol açabilir. Jeodezik bir konumun bir datumdan diğerine matematiksel çevrimine dönüşüm denir. İki datum arasındaki dönüşüm modelleri için Helmert Dönüşümü ve Molodensky Dönüşümü en yaygın kullanılan yöntemlerdir (Şekil 4.1).



**Şekil 4.1:** Dönüşüm örnekleri.

Ölçmeciler ve mühendisler, genellikle birbiriyle uyumsuz iki jeodezik datumu referans almış koordinat bilgilerini bir araya getirmek ile uğraşırlar. İki datum, koordinatlarının orijininin konumu, koordinat eksenlerinin oryantasyonu ve referans elipsoidlerinin boyut ve şekli gibi konularda farklılık gösterebilir. Dolayısıyla bir jeodezik datumdan diğerine jeodezik verileri matematiksel olarak dönüştürecek parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Eğer iki sistemin koordinatı bilinen en az üç ortak noktası varsa bu mümkündür. Datum dönüşümü çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilir. Bu yöntemler kartezyen dönüşümleri (iki ya da üç boyutlu) veya nokta-bağımlı dönüşümler olarak sınıflandırılabilir.

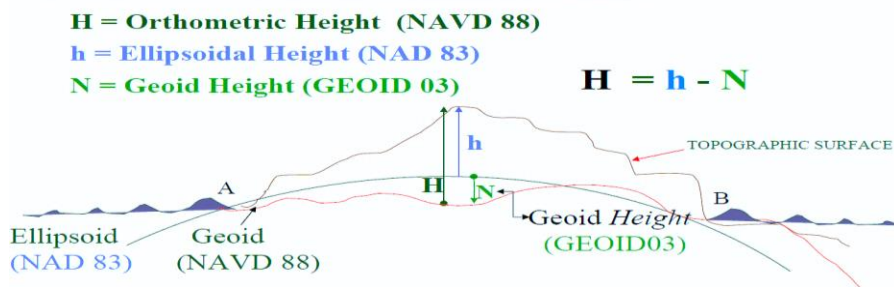
## 4.1 Tek Boyutlu Dönüşüm Modeli (1BD)

### 4.1.1 Yükseklik dönüşümü

Ortometrik ve elipsoidal yükseklikler arasındaki ilişki, elipsoit yükseklikleri  $h$ , ortometrik yükseklik  $H$  ve jeoid ondülasyonu  $N$  olmak üzere Şekil 4.2 ile ifade edilir. Bu bağıntı yükseklik sistemlerini bağlamanın ötesinde, aynı referans yüksekliğine dayalı hem tek boyutlu hem de üç boyutlu dönüşüm için bilgi sağlamaktadır.

Referans olarak üç boyutlu bir elipsoide bağlı olan noktanın yüksekliği için GNSS sonuçları aynı referans sistemine taşınmalıdır. Bilindiği üzere Avrupa Datumu ED50'nin yatay koordinatları, Hayford elipsoidine bağlı UTM koordinatlarıdır ve yükseklikten bağımsızdır. ED50, eklenen bu ortometrik yüksekliklerle koordine olması için üretilmiştir. GNSS datumlarından edilen üç-boyutlu konumsal datum dönüşümünden geçirilmişse, ED50'nin bilinen yüksekliği kullanılan elipsoidin yüksekliklerini baz alacak şekilde yapılmalıdır. Bu işlemde sonra yükseklikleri dönüştürmek mümkündür. Elipsoit yüksekliklerinden ortometrik yükseklikler elde edilirken jeoid ondülasyonunun doğruluğu dönüşümün hassasiyeti için önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada jeoid ondülasyonunun hesaplanmasında Earth Gravitational Model 1996 (EGM96) jeoid modeli kullanılarak elipsoidal yüksekliklerden ortometrik yüksekliklere geçiş sağlanmıştır (Şekil 4.2).

$$H_2 - H_1 = h_2 - h_1 - (N_2 - N_1) \quad (4.1)$$



Şekil 4.2: Yükseklik dönüşümü.

## 4.2 İki-Boyutlu Dönüşümler (2BD)

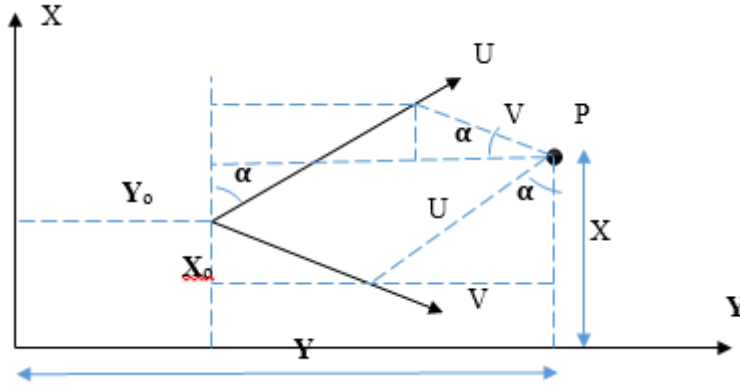
GNSS teknolojisinin jeodezi ölçmelerine girmesi, bilgi sistemlerinin çeşitli kurum ve kuruluşlarca kurulmaya başlanması, jeodezi uygulamalarında koordinat dönüşümlerinin önemini bir kat daha artırmıştır (Ünsal, 2009). İki boyutlu benzerlik ve afin dönüşümleri mesleğimizin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanı, benzerliği koruyan ve adını da buradan alan benzerlik (Helmert) dönüşümüdür. Diğerleri ise, paralellliği koruyan afin dönüşümü ve polinom

dönüşümüdür. Dönüşüm işlemi benzerlik, afin ve projektif yöntemleri ile yapılabilir. Her yöntem farklı sonuçlar verebilir ve parametre değerleri farklıdır. Uygulanacak yöntem, yapılacak çalışmalara uygun şekilde seçilir (Hüsrevoğlu ve Tuşat, 2017).

#### 4.2.1 Benzerlik dönüşümü

İki boyutlu benzerlik dönüşümü, iki boyutlu iki koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi ifade eder. Benzerlik dönüşümünün amacı, şekil bozulmalarını önlemektir. Bu dönüşüm modelinde, ilk sistemdeki koordinat eksenleri birbirine diktir ve ilk sistemdeki x ve y eksenlerinin ölçek faktörünün aynı olduğu kabul edilir. Örneğin (U,V) ve (X,Y) gibi iki koordinat sistemi arasında öteleme, dönüklük ve ölçek faktörü mevcuttur. 2B koordinat sistemleri arasındaki ilişki Şekil 4.3'te gösterilmiştir. İki boyutlu dönüşümler jeodezide sıklıkla kullanılmaktadır. Öncül 3 boyutlu Kartezyen koordinatları coğrafi hale getirilir ve son olarak da projeksiyon koordinatlarına çevrilir. Sonra biri dönüklük diğeri  $K = (1+k)$  ölçek faktörü olan iki dönüşüm parametresi  $X_0$ ,  $Y_0$  ile tam 2B benzerlik dönüşümü, Helmert dönüşümü olarak uygulanır (Hofmann-Wellenhof vd., 1997).

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{pmatrix} + K \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

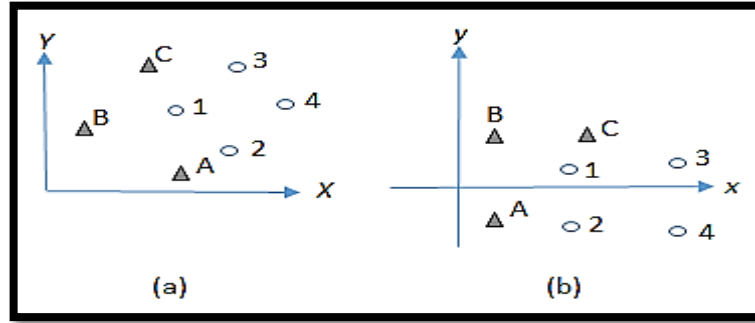


Şekil 4.3: İki boyutlu dönüşüm.

İki boyutlu dönüşüm, bir sistemden diğerine 2B kartezyen koordinatlarını (x,y) dönüştürmek için kullanılır. İki sistem de 2B'ta olmalıdır. İdeal açıdan iki-boyutlu dönüşümler sadece sınırlı alanlarda geçerlidir. İki boyutlu konformal koordinat dönüşümü, dört-parametrelilik benzerlik dönüşümü olarak da bilinir çünkü iki koordinat sistemi arasındaki ölçek ilişkileri korunur.

Benzerlik dönüşümünde 1 ölçek, 1 dönüklük ve 2 öteleme olmak üzere toplam dört parametre vardır. Dört parametrenin çözümü için her iki sistemde koordinatları bilinen en az iki ortak noktaya ihtiyaç vardır (Şekil 4.4). Ortak nokta sayısının ikiden fazla

olması durumunda dönüşüm parametreleri en küçük kareler yöntemine göre hesaplanır (Yaşayan, 1978).



**Şekil 4.4:** (a) Koordinat sisteminde ölçülen koordinatların (b) sistemine dönüşüm adımları.

Ölçekleme: (b)'deki A ve B arasındaki uzunluğu (a)'daki A ve B arasındaki uzunluğa dönüştürmek için;

$$S = \frac{AB\alpha}{AB\alpha}, \begin{pmatrix} x' = Sx \\ y' = Sy \end{pmatrix} \quad (4-3)$$

Buna ölçeklenmiş sistem (b') denir.

Dönüklük: Ölçeklenmiş sistem (b')deki koordinat sistemini döndürülür ki (b')deki noktaların (X',Y') sistemindeki karşılıkları bulunsun.

$$X' = x' \cos \theta - y' \sin \theta \quad (4.4)$$

$$Y' = x' \sin \theta + y' \cos \theta \quad (4.5)$$

Öteleme: Tx ve Ty'yi hesaplamak için ölçeklenmiş-döndürülmüş (rotasyon yapılmış) sistemdeki ortak noktaların koordinatlarını kullanılarak dönüşüm sağlanır.

$$Tx = X - X' \quad (4.6)$$

$$Ty = Y - Y' \quad (4.7)$$

#### 4.2.1 Afin dönüşümü

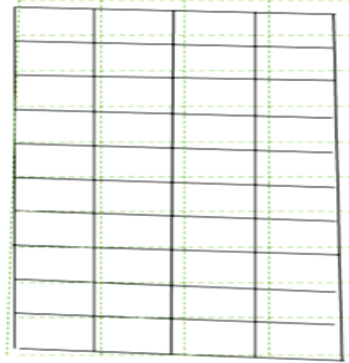
Afin Dönüşümü, lineer bir dönüşümdür (Şekil 4.5). Afin dönüşüm hesaplamalarında altı parametre kullanılır. Bunlar, ayrı ayrı olarak belirlenen iki ölçek faktörü, iki dönüklük ve iki öteleme parametreleridir. Parametrelerin çözümü için en az üç ortak nokta gerekir ve sonuçta koordinat sistemleri birbiriyle ilişkilendirilir (Hüsrevoğlu ve Tuşat, 2016). Dönüşüm fonksiyonu 6 parametre ile ifade edilir. Denklem şu şekildedir (Al Marzooqi vd., 2005):

$$\begin{aligned} X' &= s_x X \cos \alpha - s_y Y \sin \alpha + x_0 \\ Y' &= s_x X \sin \alpha + s_y Y \cos \alpha + y_0 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Basitleştirilmiş denklem şöyledir:

$$\begin{aligned} X' &= \alpha X + bY + x_0 \\ Y' &= cX + dY + y_0 \end{aligned} \quad (4.9)$$

Burada dönüşüm parametreleri (ya da katsayıları)  $a, b, c, d, x_0, y_0$ 'dır.



**Şekil 4.5:** Afin dönüşümü.

Bu yöntem ile yapılan dönüşümlerde, sistemler arasındaki,  $X$  ve  $Y$  boyutlarındaki ölçek katsayıları birbirinden farklıdır. Sonuçta elde edilen yeni koordinatlarla yapılan hesaplamalarda semt, kenar ve açı değerleri eski sistemde yapılan değerlere göre farklıdır. Özetlemek gerekirse başlangıcı ötelenmiş, belli miktarda dönüklük oluşmuş  $X$  ve  $Y$  boyutlarında farklı ölçek katsayıları ile çarpılarak yeni sistemde koordinatlar oluşmuştur (Tanık, 2003).

Geometride afin dönüşümü, afin harita ya da afinite (Latince affine, “bağlantılı” kelimesinden türemiştir) noktaları, düz çizgileri ve düzlemleri koruyan afin boşluklar arasındaki bir fonksiyondur. Ayrıca paralel çizgi dizileri afin dönüşümünden sonra da paralel kalır. Afin dönüşümü, çizgiler arasındaki açıları ya da noktalar arasındaki mesafeleri korumayabilir ama düz bir çizgi üzerinde olan noktalar arasındaki mesafelerin oranını korur (Solomon vd., 2013).

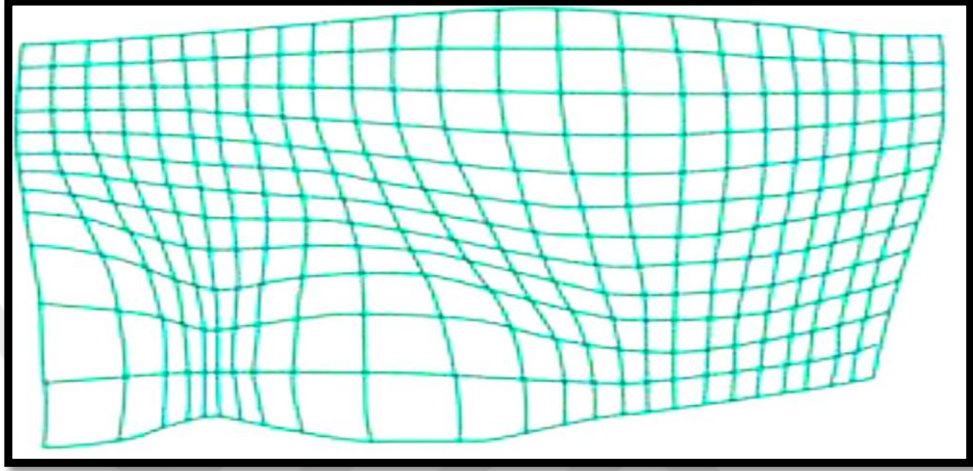
#### 4.2.2 Polinom dönüşümü

Polinom dönüşümü, iki adet 2B Kartezyen koordinat sistemini, bir çevrim, bir rotasyon ve bir değişken ölçek değişimi yoluyla birbiriyle ilişkilendiren ve lineer olmayan bir dönüşümdür. Dönüşüm fonksiyonunda sınırsız sayıda terim olabilir. Denklem şu şekildedir:

$$\begin{aligned} X' &= x_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY + a_4X^2 + a_5Y^2 + a_6X^2Y + a_7XY^2 + a_8X^3 \\ Y' &= y_0 + b_1X + b_2Y + b_3XY + b_4X^2 + b_5Y^2 + b_6X^2Y + b_7XY^2 + b_8X^3 \end{aligned} \quad (4.10)$$

Polinom dönüşümü bazen, düzeltilmemiş uydu görüntülerinin, hava fotoğraflarının yer referanslanmasında, en doğru veri katmanı üzerinde gerdirmeye ya da kauçuklama yöntemleriyle tam olarak örtüşmeyen vektör veri katmanlarını eşleştirmek için

kullanılır. Şekil 4.6, sabit bir ölçek bozulması içermeyen bir alanı göstermektedir. Bu durum, kameranın eğilmesi ya da arazi rölyefi (topoğrafya) sebebiyle bir hava fotoğrafında meydana gelebilir. Yüksek iterasyonlu bir polinom dönüşümü yoluyla yaklaşık bir düzeltme çıkarılabilir. Rölyef farklarının ortaya çıkardığı yer değiştirmeler sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak düzeltilebilir.



Şekil 4.6: Polinom dönüşümü.

### 4.3 Üç-Boyutlu Dönüşümler (3BD)

Uydu ölçmelerinin son yıllarda getirdiği kolaylıklar sadece mutlak koordinatların elde edilmesiyle kalmamış, özellikle bağıl konumlamadaki yüksek hassasiyet ile üç boyutlu konumlamada, ülke jeodezik ağlarının iyileştirilmesi ve nokta sıklaştırılması çalışmalarında da büyük kolaylıklar sağlamıştır. Doğal olarak uydu gözlemleri ile elde edilen verilerle, yersel verilerin ortak bir sistemde değerlendirilmesi gerekir (Üstün, 1996). Üç-boyutlu dönüşüm, iki sistemdeki kartezyen koordinatlarını ilişkilendiren yedi parametre içerir. İki sistemin orijinlerini ilişkilendirmek için üç öteleme parametresi ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ), üç dönüklük parametresi, - iki sistemin oryantasyonunu ilişkilendirmek adına koordinat eksenlerinin ( $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ) her biri için bir tane- ve iki sistem arasındaki ölçek farklarını hesaba katmak için bir tane de ölçek faktörü parametresi ( $dS$ ) mevcuttur.

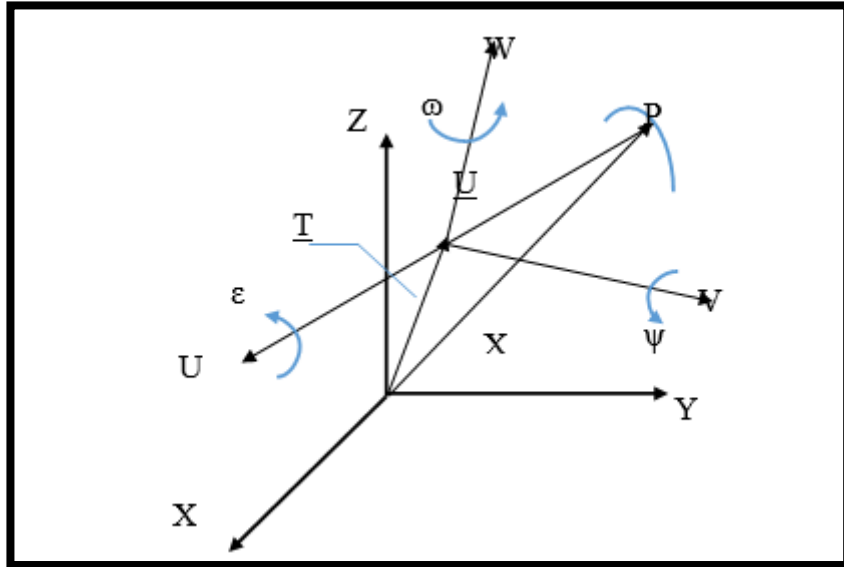
İki jeodezik referans koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi tanımlamak için altı parametre gereklidir: üç öteleme parametresi ve koordinat eksenleri arasında üç dönüklük parametresi. Açıkçası, bir koordinat sisteminin parçası olarak herhangi bir ölçek bozulmasının hesaba katılması gerekmez, çünkü ölçek farkı referans koordinat

sisteminin bozulmasından öte konumlarının (koordinatların) sistemsal bozulmasına işaret eder (Vanicek vd., 1996).

Jeodezik referans sistemleri arasında koordinat dönüşümleri uygulandığında, dönüklük ve ölçek faktörü parametreleri için küçük değerler beklenir. Dolayısıyla, sırasıyla birkaç ark saniyelik dönüklük parametreleri varsayıldığında, genellikle aşağıdaki 3B benzerlik dönüşüm formülü kullanılır. Belirli bir datum üzerinde verilen noktanın yer merkezli koordinatlarının diğer bir datuma dönüştürülmesi için, Bursa (1962) ve Wolf (1963), üç boyutlu Helmert dönüşümünün basitleştirilmiş bir halini ortaya koymuşlardır. Basitleştirme olduğu için Bursa-Wolf metodu aşağıdaki gibi çok küçük (birkaç ark saniyelik sıra) dönüşüm uygulamalarında kullanılabilir:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix} + (1 + k)R \begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

Dönüşüm, üç öteleme bileşeni  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  içerir,  $R$  3x3 ortogonal rotasyon dönüklük matrisidir,  $k$  ( $1+k$ ) birliğinden ölçek derivasyonu ve ppm cinsinden ifade edilecek kadar küçük olan ölçek faktörü bileşenidir (Şekil 4.7).  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  ise hedef datum üzerindeki yer merkezli koordinatlardır. 2B koordinat sistemleri arasındaki ilişki Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Küçük ağırlar için Bursa-Wolf modeli uygulandığında, dönüklük parametreleri ile öteleme parametreleri yüksek korelasyon gösterir (Rizos, 1999).



Şekil 4.7: Üç boyutlu dönüşüm.

#### 4.3.1 Helmert benzerlik dönüşüm modeli

Belirli bir datum üzerinde verilen noktanın yer merkezli koordinatlarının diğer bir datumdakine dönüştürülmesi için, iki sistem arasında üç tür farklılık olduğunu varsayan üç boyutlu Helmert dönüşümünün basitleştirilmiş bir halini önermiştir. Orijin farklıdır ve aralarında bir vektör kaynağı gereklidir. Her ekseninde bir dönüklük vardır. Bir ölçek değişikliği olabilir. Birleştirilmiş dönüşümün orta kısmı yani yer merkezli den yer merkezliye, genellikle basitleştirilmiş bir 7 parametrelilik Helmert dönüşümü olarak tarif edilir ve “Bursa-Wolf” formülü olarak bilinen 7 parametrelilik matris formunda ifade edilir.  $X_B, Y_B, Z_B$  ağındaki noktaların koordinatlarını  $X_A, Y_A, Z_A$  ağındaki koordinatlara ilişkilendiren bu dönüşüm modelinin notasyonu aşağıdaki formdadır: (Wolf, 1963).

$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} + (1 + dS) \begin{pmatrix} 1 & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & R_x \\ R_y & -R_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} \quad (4.12)$$

Burada:

$dS$ : ölçek faktörüdür ve milyon başına parça olarak (ppm) ifade edilir ( $10^{-6}$ ).

$\Delta (x,y,z)$  öteleme bileşenlerini simgeler.

$R(x,y,z)$  sırasıyla üç dönüklük açısını simgeler.

$X_B, Y_B, Z_B$  : yeni sistemdeki ortak noktanın koordinatları.

$X_A, Y_A, Z_A$  : eski sistemdeki ortak noktanın koordinatları.

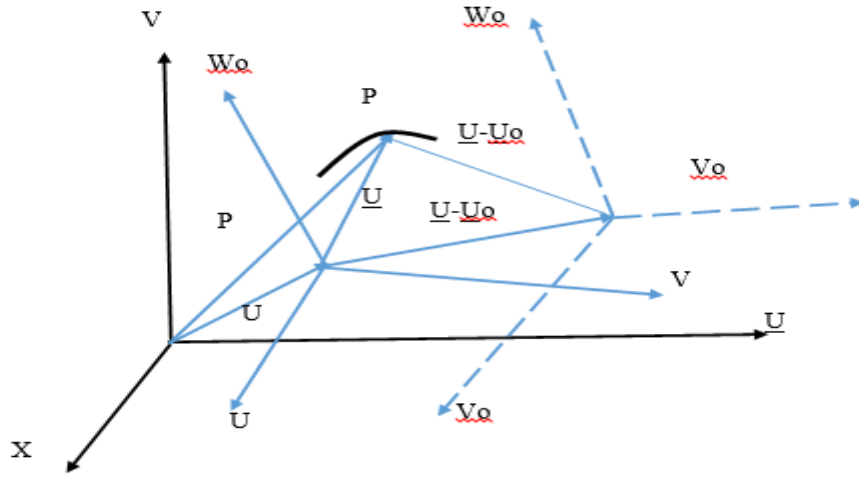
$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

#### 4.3.2 Molodensky-Badekas dönüşüm modeli

Enlem, boylam ve yüksekliği doğrudan dönüştürmenin en yaygın yöntemlerinden bir diğeri de Molodensky dönüşümüdür (Şekil 4.8). Bu model, ya standart yedi (7) parametre ya da kısaltılmış beş (5) parametre dönüşümü olarak sınıflandırılabilir. Yedi parametre dönüşümü, üç öteleme ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ), üç dönüklük ( $R_x, R_y, R_z$ ) ve datumlarla ilişkili referans elipsoidlerinin geometrik merkezlerinin bir ölçeğinden (ölçek faktörü) ( $dS$ ) oluşur. Beş parametre modeli, üç parametreye ek olarak iki referans sisteminin büyük yarı-ekseni ( $\Delta a$ ) ve ters çevrilmiş basıklık ( $\Delta f$ ) değişiklikleri ifade eden iki ek parametreyi içermektedir. Hızlı çalışma, kolay uygulama ve yüksek

doğruluk, optimum bir 3B koordinat dönüşüm modeli için kriter olarak kabul edilebilir. Jeodezide 3B koordinat dönüşümü için yaygın olarak yedi parametrelilik benzerlik dönüşümü kullanılmaktadır (Bowring, 1976).

Yedi parametrelilik benzerlik dönüşümünde açılar değişmese de noktaların konumları değişebilir. Yedi parametre benzerlik dönüşümü, dönüşümün üç öteleme, bir ölçek faktörü ve üç dönüklük parametresine sahiptir. 3 boyutlu koordinatlar, orijini öteleyerek, her ekseninde dönüklük fonksiyonunu uygulayarak ve ölçeklendirilerek başka bir referans sistemine dönüştürülebilir. Bu yedi dönüşüm parametresini hesaplamak için iki farklı koordinat sisteminden üç ortak nokta yeterlidir ancak en küçük kareler yöntemi ile dengeleme hesabı için daha fazla ortak nokta gereklidir.



Şekil 4.8: Molodensky-Badekas dönüşüm modeli.

$$\underline{U} + \Delta (\underline{U}-\underline{U}_0) + \underline{Q} (\underline{U}-\underline{U}_0) + \underline{U} - \underline{X} = 0 \quad (4.14)$$

olur. (4.14) denklemi en küçük kareler yöntemine göre dengelemenin fonksiyonel modeli olarak düşünülür ve bir nokta için yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_U \\ v_V \\ v_W \\ v_X \\ v_Y \\ v_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & U-U_0 & 0 & -(W-W_0) & V-V_0 \\ 0 & 1 & 0 & V-V_0 & W-W_0 & 0 & -(U-U_0) \\ 0 & 0 & 1 & W-W_0 & -(V-V_0) & U-U_0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \\ \Delta \\ \varepsilon \\ \psi \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U-X \\ V-Y \\ W-Z \end{bmatrix} = 0 \quad (4.15)$$

Molodensky-Badekas yöntemi datumlar arasında 3B kartezyen koordinatlarının yedi parametrelilik konformal dönüşümüdür ama dahası yersel ve uydu datumları arasındaki

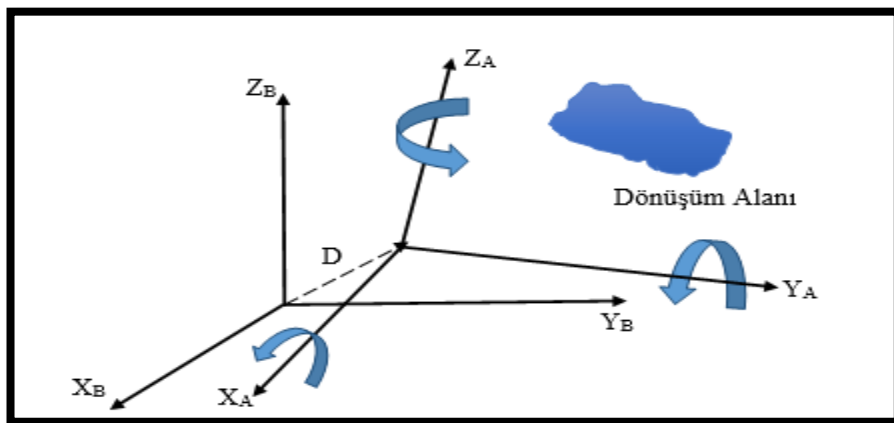
dönüşüme uygundur. Bu dönüşüm modeli, yersel ağın ( $X_m, Y_m, Z_m$ ) merkezinden (centroid) üç öteleme parametresi ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ), üç dönüklük parametresi ( $R_x, R_y, R_z$ ) ve bir tane de ölçek faktörü ( $dS$ ) içerir. Molodensky-Badekas yöntemi aşağıdaki şekildedir:

$$\begin{pmatrix} X_{KA} \\ Y_{KA} \\ Z_{KA} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 + \Delta L & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 + \Delta L & R_x \\ R_z & -R_y & 1 + \Delta L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{WGS} - X_m \\ Y_{WGS} - Y_m \\ Z_{WGS} - Z_m \end{pmatrix} \quad (4.16)$$

### 4.3.3 Bursa-Wolf dönüşüm modeli:

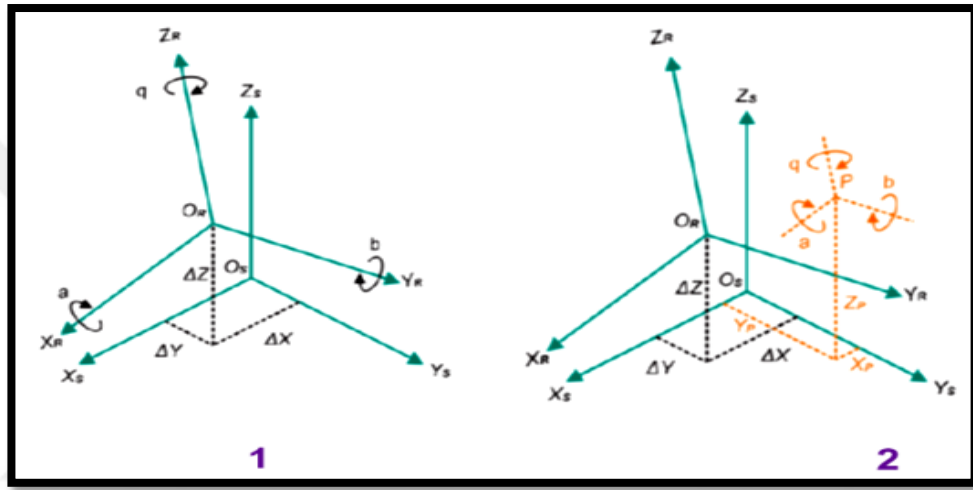
İki jeosentrik elipsoidal koordinat sistemi arasında datum dönüşümü, temel olarak 3 öteleme, 3 dönüklük ve 1 ölçekten oluşan 7 parametrelili benzerlik dönüşümüyle sağlanır (Şekil 4.9). Böyle bir dönüşümü gerçekleştirmek için çok sayıda yaklaşım söz konusudur. Ancak sağladıkları sonuçlar ve uygulanmalarındaki kolaylıklar nedeniyle, genellikle Bursa Wolf ve Molodensky-Badekas modelleri tercih edilir. Modellerin uygulanmasında bu farklılığa rağmen, her iki model tarafından üretilen dönüştürülmüş koordinatlar benzersizdir (Kutoğlu vd., 2002). Molodensky ile Bursa-Wolf Dönüşüm Modelleri arasındaki fark, Bursa-Wolf modeli (Şekil 4.9) doğrudan verilen koordinatları kullanırken, Molodensky-Badekas modelinde ise ilk sistemin koordinatları ortak noktaların ağırlık merkezi koordinatlarına göre kaydırılır. Ancak dönüşüm hesaplamasından elde edilen çevrim ve karekök ortalama değerleri oldukça farklı olabilir (Kutoglu vd., 2002), (King vd., 1985). Bu model matematiksel olarak şöyle ifade edilir:

$$\begin{pmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} + (1+k) \begin{pmatrix} 1 & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & R_x \\ R_y & -R_x & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} \quad (4.17)$$



**Şekil 4.9:** Bursa-Wolf dönüşüm modelinin geometrik temsili.

Bursa-Wolf (Bursa 1962, Wolf 1963) ve Molodensky-Badekas (Molodensky vd., 1962, Badekas 1969), uygulama kolaylıkları sebebiyle yedi-parametrelilik benzerlik dönüşümü yöntemleri arasında en sık kullanılanlardır. Teorik olarak, Bursa-Wolf ve Molodensky-Badekas yöntemleri, aynı veri dizileri kullanıldığında aynı sonuçları vermelidir. Bu modeller arasındaki tek kavramsal fark, hangi eksensel dönüklük ve ölçek faktörlerinin uygulanacağına dair seçim yapma hususudur. Molodensky-Badekas yöntemi, parametreleri ağırlık merkezi ilişkilendirilerek dönüşüm parametreleri arasındaki yüksek korelasyonu ortadan kaldırır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: (1) 3 boyutlu Bursa-Wolf modeli, (2) 3 boyutlu Molodensky modeli.

#### 4.3.4 Veis dönüşümü

Bu model Veis tarafından 1960 yılında geliştirilmiştir (Leick, 1990). Molodensky-Badekas Modelinde geçen  $U_0$  noktasından bu modelde de yararlanılır. Veis dönüşüm modelinin uygulanması daha zordur ama buna rağmen Bursa-Wolf modelinde olduğu üzere belirlenen parametreler arasındaki korelasyonu genellikle ekarte eder. Bu korelasyonlar, Veis modeline merkezi koordinat sisteminin eklenmesi sonucu ortadan kaldırılmıştır. Ancak, dönüşüm parametrelerinin hesaplanmasında konumsal ve konum dışı çalışan profesyonellere yardımcı olmak için birkaç teknik var olsa da ağırlık merkezi hala dönüşüm parametrelerine dair güvenilir bilgi elde etme hususunda en temel araçtır. Bu çalışmada Veis modelinin uygulaması bazı zorlukları da beraberinde getirmiştir. Örneğin, parametreleri hesaplamak için parametrik teknik yerine, benzerlik temelli datum öteleme yöntemlerinin karşılaştırıldığı en tümleşik en küçük kareler ayarlama tekniğini uygulamıştır.

Parametrik en küçük kareler çözümü yaklaşımı göz önünde bulunduğunda, Veis dönüşüm modelinin en küçük kareler parametrik terimleriyle ifade edilmesi mantıklı olacaktır. Bu çalışmada ortaya konulan Veis formülünün en küçük kareler parametrik ifadesi, Deakin 2006’da Molodensky-Badekas dönüşüm modelini türetirken uyguladığı modelin bir benzeridir. Ancak, Veis formülünün en küçük kareler parametrik ifadesi henüz jeodezi ve ölçüm alanında kullanıma tam olarak hazır değildir (Leick, 1990), (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1:** Datum dönüşüm modelleri.

| İKİ BOYUTLU (2B) |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                 |
|------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NO.              | MODEL                                               | AVANTAJLAR                                                                                                                                                                                                                                   | DEZAVANTAJLAR                                                                                                   |
| 1                | Konformal Dönüşüm                                   | Harita koordinatlarını düzlem koordinatlarına dönüştürülür. Daha az nokta kullanılabilir (en az iki). Tekrar gridlendirme için faydalıdır. Düz çizgiler korunur.                                                                             | Sadece çok sınırlı alanlarda geçerli.                                                                           |
| 2                | Afın Dönüşümü                                       | Düz çizgiler korunur.                                                                                                                                                                                                                        | Sadece çok sınırlı alanlarda geçerli. Poligonların şeklini bozar dolayısıyla alanları değiştirir.               |
| 3                | Polinom Dönüşümü                                    | İki koordinat sisteminden biri ya da ikisi de oryantasyonda ve ölçekte homojenlik içermiyorsa faydalıdır. (EPSG, 2009)                                                                                                                       | Düz çizgiler değişir. Poligonların boyutunu ve şeklini bozar.                                                   |
| ÜÇ BOYUTLU (3B)  |                                                     |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                 |
| NO.              | MODEL                                               | AVANTAJLAR                                                                                                                                                                                                                                   | DEZAVANTAJLAR                                                                                                   |
| 1                | Yer merkezli (Basit 3 Parametre)                    | Parametreleri belirlemek için en basit matematik yöntemi. Eğer iki datumdaki ortak noktaların sayısı yedi parametrenin hepsinin doğru belirlenmesi için yetersizse uygundur.                                                                 | Ortak noktanın dışındaki noktaları hesaba katamaz. 5 ila 10 m doğrulukla en az doğruluğa sahiptir (ICSM, 2002). |
| 2                | Basitleştirilmiş Molodensky (5 Parametrelili) Model | Yerel jeodezik datum için yükseklik yoksa kullanılabilir.                                                                                                                                                                                    | Yerel elipsoitun yüksekliğinin olmayışı, yükseklikteki değişime dair bir tahmin verir.                          |
| 3                | Standart Molodensky (7 Parametrelili) Model         | Uydu datumundan yerel datuma dönüşüm için uygun. Rotasyonlar belirlemede kullanılan noktaların içindeki bir konumdan çıkarıldığı için parametre derivasyonlarındaki çevrimler ve rotasyonlar arasındaki yüksek korelasyonu ortadan kaldırır. | İki uydu datumu ile kullanıma uygun değildir.                                                                   |
| 4                | Bursa Wolf                                          | Ortak noktaların Kartezyen koordinatlarını doğrudan kullanır. İki uydu datumu arasında dönüşüme uygundur.                                                                                                                                    | Kartezyen koordinatları ile ortak noktaların sentroid koordinatlarını beraber kullanır.                         |

## 5. UYGULAMA

Bu çalışma Irak'ın kuzeyinde bulunan Duhok şehrinde yapılmıştır. Duhok şehrinin kuzey sınırında Türkiye, batı sınırında Suriye, doğu sınırında Erbil şehri, güney sınırında ise Musul şehri bulunmaktadır. Duhok şehri geometrik olarak yarı dikdörtgen şeklindedir (Şekil 5.1). Şehir  $36^{\circ}$ - $38^{\circ}$  enlemleri,  $42^{\circ}$ - $43^{\circ}$  boylamları arasındadır. Duhok şehrinin toplam alanı  $6553 \text{ km}^2$ 'dir ( $2530 \text{ mile}^2$ ). Sınır şehirlerinden biridir, bu nedenle Irak'taki Basra kentindeki referans noktaya göre kuzey kesimleri deniz seviyesinden 430-450 m yüksektir.

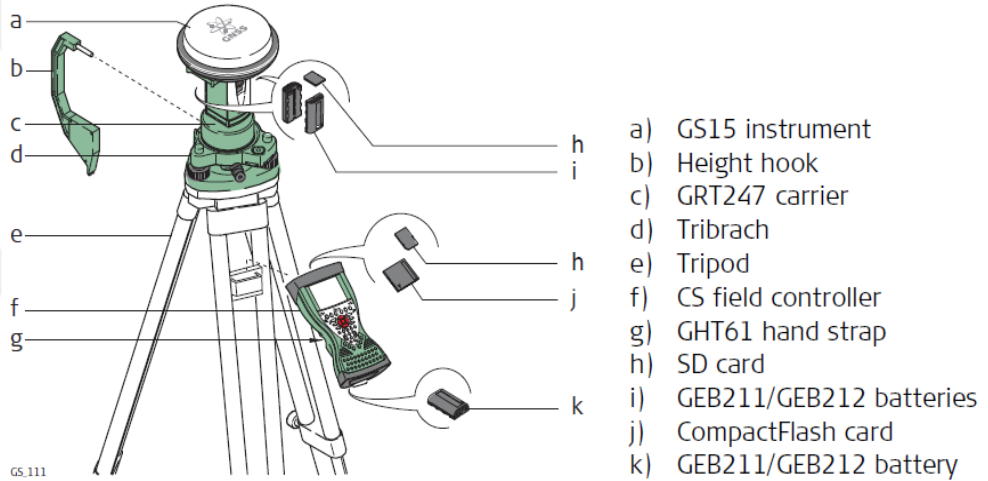


Şekil 5.1: Çalışma alanı.

Bu çalışmada, ulusal jeodezik datum ile GRS80 arasındaki dönüşüm parametrelerinin Duhok ili genelinde belirlenen çalışma alanı için belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu parametrelerin hesaplanabilmesi için iki sistemde de koordinatları bilinen ortak noktalara sahip olunması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek içinde, klasik yöntemlerle tesis edilmiş olan trigonometrik ağlar üzerinde GNSS ölçümleri yapıldıktan sonra, dönüşüm parametrelerini belirlemek için standart matematiksel modeller kullanılarak iki yöntemle elde edilen koordinatları karşılaştırmak gerekmektedir. Yersel yöntemlerle oluşturulmuş olan klasik jeodezik ağların günümüzdeki ihtiyaçları karşılama noktasında yetersiz olduğu bilinmektedir. GNSS ile elde edilen koordinatları ulusal koordinat sistemine dönüştürmek için ulusal sistemin triangülasyon veya trilaterasyon ağının koordinatları kullanılmaktadır. Bu yüzden GNSS ile elde edilen doğruluk dönüşüm işlemi sebebiyle azalmaktadır.

Bu sonuçlar, çalışılan bölgede daha önceden klasik yöntemlerle üretilmiş ulusal koordinatların doğruluğuna bağlıdır. Bu yüzden, sonuçlar her bölgede farklı doğruluklara sahiptir.

Bu çalışmada, yazılım olarak Matlab, Geoid Height Calculator ve Topcon Tools yazılımları kullanılmıştır. Dönüşüm yöntemlerinden; tek boyutlu yükseklik dönüşümü, iki boyutlu Afın dönüşümü ve üç boyutlu Molodensky-Badekas ve Bursa-Wolf dönüşümleri kullanılmıştır. Tez çalışmasında, Duhok bölgesinde bulunan 6 nokta parametre hesaplanması amacıyla seçilmiştir. Noktalar WGS84 datumunda, Tansversal Merkator Projeksiyonunda 38. Dilimde hesaplanmıştır. Yeni istasyonların (1, 2, 3, 4, 5 ve 6) koordinatları, Leica Viva GS15 GNSS alıcısı ile yapılan ölçümlerden elde edilmiştir ve gözlem süreleri 2 ile 6 saat arasında değişmektedir (Şekil 5.2), (Şekil 5.3), (Şekil 5.4).



Şekil 5.2: Leica Viva GS15 GNSS alıcısı.



Şekil 5.3: Noktaların konumları.



Şekil 5.4: Noktaların konumları.

39

**Çizelge 5.1:** Noktaların UTM projeksiyon ve coğrafi koordinatları.

| No  | UTM Zone 38 Grid Koordinatları |             |          | Jeodezi Koordinatlar |                 |         |
|-----|--------------------------------|-------------|----------|----------------------|-----------------|---------|
|     | E                              | N           | H        | $\varphi$            | $\lambda$       | h       |
| P01 | 315253.3117                    | 4081334.711 | 559.6787 | 36°51'35.5673"N      | 42°55'39.2168"E | 540.999 |
| P02 | 322066.6476                    | 4079675.471 | 610.3867 | 36°50'46.4706"N      | 43°0'15.6074"E  | 593.54  |
| P03 | 327606.533                     | 4079396.416 | 654.3258 | 36°50'41.1048"N      | 43°3'59.376"E   | 638.879 |
| P04 | 315554.9448                    | 4083742.656 | 580.3511 | 36°52'54.0481"N      | 42°55'49.3267"E | 564.25  |
| P05 | 318553.4221                    | 4082721.258 | 601.6243 | 36°52'22.8414"N      | 42°57'51.2224"E | 585.005 |
| P06 | 329398.4915                    | 4081334.486 | 719.1198 | 36°51'45.4705"N      | 43°5'10.402"E   | 703.45  |

Lokal coğrafi koordinatlardan (jeodezik koordinatlar) Kartezyen koordinatlara dönüşüm Topcon Tools yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.2).

**Çizelge 5.2:** Noktaların coğrafi ve kartezyen koordinatları.

| No  | Coğrafi Koordinatlar |                 |         | Kartezyen Koordinatlar |             |             |
|-----|----------------------|-----------------|---------|------------------------|-------------|-------------|
|     | $\varphi$            | $\lambda$       | h       | X                      | Y           | Z           |
| P01 | 36°51'35.5673"N      | 42°55'39.2168"E | 540.999 | 3741461.44             | 3480136.508 | 3805298.451 |
| P02 | 36°50'46.4706"N      | 43°0'15.6074"E  | 593.54  | 3737489.414            | 3485794.7   | 3804118.811 |
| P03 | 36°50'41.1048"N      | 43°3'59.376"E   | 638.879 | 3733804.602            | 3489939.805 | 3804013.617 |
| P04 | 36°52'54.0481"N      | 42°55'49.3267"E | 564.25  | 3740241.553            | 3479343.773 | 3807247.976 |
| P05 | 36°52'22.8414"N      | 42°57'51.2224"E | 585.005 | 3738619.369            | 3481958.321 | 3806490.842 |
| P06 | 36°51'45.4705"N      | 43°5'10.402"E   | 703.45  | 3731771.164            | 3490447.596 | 3805639.078 |

Yeni istasyonların (1, 2, 3, 4, 5 ve 6) koordinatları, Leica Viva GS15 GNSS alıcısı ile yapılan ölçümlerden elde edilmiştir ve gözlem süreleri 2 ile 6 saat arasında değişmektedir (Çizelge 5.3).

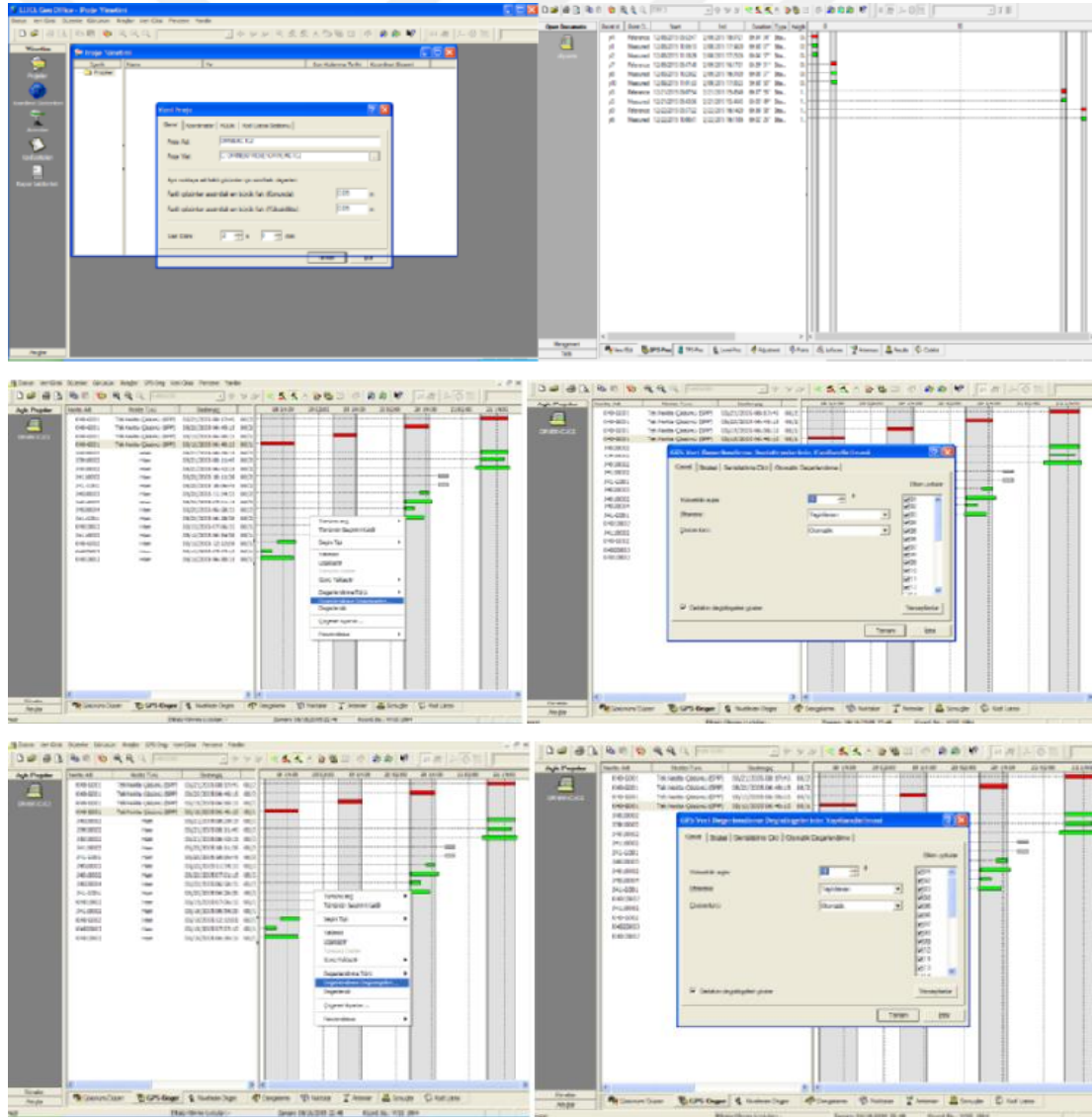
**Çizelge 5.3:** Noktaların koordinatları (WGS84), (ITRF2015).

| No     | Kartezyen Koordinatlar |             |             |
|--------|------------------------|-------------|-------------|
|        | X                      | Y           | Z           |
| ITRF01 | 3741461.760            | 3480136.150 | 3805299.757 |
| ITRF02 | 3737488.720            | 3485793.530 | 3804118.786 |
| ITRF03 | 3733802.509            | 3489938.194 | 3804013.023 |
| ITRF04 | 3740243.465            | 3479343.434 | 3807243.411 |
| ITRF05 | 3738618.596            | 3481956.789 | 3806490.843 |
| ITRF06 | 3731778.420            | 3490445.310 | 3805631.464 |

**Çizelge 5.4:** Serbest dengeleme sonucu standart sapmalar.

| No  | Jeodezik Koordinatlar |                 |         | Standart Sapmalar |          |           |
|-----|-----------------------|-----------------|---------|-------------------|----------|-----------|
|     | $\varphi$             | $\lambda$       | h       | st.(n) m          | st.(e) m | st.(Hz) m |
| P01 | 36°51'35.5673"N       | 42°55'39.2168"E | 540.999 | 0.0002            | 0.0003   | 0.0004    |
| P02 | 36°50'46.4706"N       | 43°00'15.6074"E | 593.540 | 0.0003            | 0.0004   | 0.0002    |
| P03 | 36°50'41.1048"N       | 43°03'59.3760"E | 638.879 | 0.0022            | 0.0010   | 0.0017    |
| P04 | 36°52'54.0481"N       | 42°55'49.3267"E | 564.250 | 0.0150            | 0.0150   | 0.0220    |
| P05 | 36°52'22.8414"N       | 42°57'51.2224"E | 585.005 | 0.0020            | 0.0010   | 0.0050    |
| P06 | 36°51'45.4705"N       | 43°05'10.4020"E | 703.450 | 0.0050            | 0.0070   | 0.0030    |

Daha sonra Çizelge 5.3’de elde edilen koordinatlar LGO programı ile değerlendirilmiştir (Çizelge 5.4) (Şekil 5.6).



**Şekil 5.6:** Veri işleme adımları.

**Çizelge 5.5:** Düzeltilmiş koordinatlar.

| Nokta  | Ölçüm Koordinatları |             |             | Düzeltilmiş Koordinatlar |             |             |
|--------|---------------------|-------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------|
|        | X                   | Y           | Z           | X                        | Y           | Z           |
| ITRF01 | 3741461.76          | 3480136.15  | 3805299.757 | 3741461.546              | 3480136.17  | 3805298.271 |
| ITRF02 | 3737488.72          | 3485793.53  | 3804118.786 | 3737489.395              | 3485794.288 | 3804118.518 |
| ITRF03 | 3733802.509         | 3489938.194 | 3804013.023 | 3733804.615              | 3489939.43  | 3804013.37  |
| ITRF04 | 3740243.465         | 3479343.434 | 3807243.411 | 3740241.435              | 3479343.623 | 3807248.237 |
| ITRF05 | 3738618.596         | 3481956.789 | 3806490.843 | 3738619.325              | 3481958.014 | 3806490.621 |
| ITRF06 | 3731778.42          | 3490445.31  | 3805631.464 | 3731770.814              | 3490446.576 | 3805638.846 |

Elde edilen Kartezyen koordinatlardan (düzeltilmiş koordinatlardan) Projeksiyon ve Coğrafi koordinatlara dönüşüm Topcon Tools yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.6), (Çizelge 5.7).

**Çizelge 5.6:** Kartezyen koordinatlardan coğrafi koordinatlara dönüşüm.

| Nokta  | Kartezyen Koordinatlar |             |             | Coğrafi Koordinatlar |                  |         |
|--------|------------------------|-------------|-------------|----------------------|------------------|---------|
|        | X                      | Y           | Z           | $\Phi$               | $\Lambda$        | h       |
| ITRF01 | 3741461.546            | 3480136.17  | 3805298.271 | 36°51'35.57612"N     | 42°55'39.22459"E | 558.673 |
| ITRF02 | 3737489.395            | 3485794.288 | 3804118.518 | 36°50'46.47936"N     | 43°00'15.61566"E | 611.035 |
| ITRF03 | 3733804.615            | 3489939.43  | 3804013.37  | 36°50'41.11379"N     | 43°03'59.38383"E | 656.44  |
| ITRF04 | 3740241.435            | 3479343.623 | 3807248.237 | 36°52'54.06882"N     | 42°55'49.34613"E | 582.162 |
| ITRF05 | 3738619.325            | 3481958.014 | 3806490.621 | 36°52'22.85072"N     | 42°57'51.23483"E | 602.586 |
| ITRF06 | 3731770.814            | 3490446.576 | 3805638.846 | 36°51'45.46491"N     | 43°05'10.40064"E | 719.796 |

Coğrafi koordinatlardan projeksiyon koordinatlara dönüşüm Topcon Tools yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.7).

**Çizelge 5.7:** Coğrafi koordinatlardan grid koordinatlara dönüşüm.

| Nokta  | Coğrafi Koordinatlar |                  |         | Projeksiyon Koordinatlar |             |         |
|--------|----------------------|------------------|---------|--------------------------|-------------|---------|
|        | $\phi$               | $\lambda$        | h       | E                        | N           | h       |
| ITRF01 | 36°51'35.57612"N     | 42°55'39.22459"E | 558.673 | 315253.448               | 4081333.605 | 558.673 |
| ITRF02 | 36°50'46.47936"N     | 43°00'15.61566"E | 611.035 | 322066.724               | 4079674.649 | 611.035 |
| ITRF03 | 36°50'41.11379"N     | 43°03'59.38383"E | 656.44  | 327605.975               | 4079395.277 | 656.44  |
| ITRF04 | 36°52'54.06882"N     | 42°55'49.34613"E | 582.162 | 315556.567               | 4083747.297 | 582.162 |
| ITRF05 | 36°52'22.85072"N     | 42°57'51.23483"E | 602.586 | 318553.8                 | 4082720.251 | 602.586 |
| ITRF06 | 36°51'45.46491"N     | 43°05'10.40064"E | 719.796 | 329404.785               | 4081343.08  | 719.796 |

Ölçmelerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen koordinatlar ile Lokal koordinatlar arasındaki  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  ve  $\Delta Z$ 'ler elde edilmiştir (Çizelge 5.8).

**Çizelge 5.8:** Elde edilen  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  ve  $\Delta Z$ 'ler.

| Nokta  | Gözlem Koordinatları |             |             | Lokal Koordinatlar |             |             | Farklar    |            |            |
|--------|----------------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
|        | X                    | Y           | Z           | X                  | Y           | Z           | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ |
| ITRF01 | 3741461.546          | 3480136.17  | 3805298.271 | 3741461.44         | 3480136.508 | 3805298.451 | 0.10       | -0.338     | -0.18      |
| ITRF02 | 3737489.395          | 3485794.288 | 3804118.518 | 3737489.414        | 3485794.7   | 3804118.811 | -0.02      | -0.412     | -0.293     |
| ITRF03 | 3733804.615          | 3489939.43  | 3804013.37  | 3733804.602        | 3489939.805 | 3804013.617 | 0.01       | -0.375     | -0.247     |
| ITRF04 | 3740241.435          | 3479343.623 | 3807248.237 | 3740241.553        | 3479343.773 | 3807247.976 | -0.12      | -0.15      | 0.261      |
| ITRF05 | 3738619.325          | 3481958.014 | 3806490.621 | 3738619.369        | 3481958.321 | 3806490.842 | -0.04      | -0.307     | -0.221     |
| ITRF06 | 3731770.814          | 3490446.576 | 3805638.846 | 3731771.164        | 3490447.596 | 3805639.078 | -0.35      | -1.02      | -0.232     |

### 5.1 Tek Boyutlu Dönüşüm (Yükseklik Dönüşümü)

Tek boyutlu yükseklik dönüşümü online bir servis olarak çalışan Geoid Height Calculator uygulamasında yapılmıştır (Şekil 5.7). Elde edilen elipsoid yükseklikler sisteme girildikten sonra EGM96'ya göre jeoid ondülasyonları kestirilmiş ve ortometrik yüksekliklere geçiş sağlanmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.9'da verilmiştir.

|                                                                            |                                                                                                             |               |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Latitude:</b>                                                           | <input type="text" value="+90 to -90"/>                                                                     | degrees North |
|                                                                            | <input type="text" value="0 to 60"/>                                                                        | minutes North |
|                                                                            | <input type="text" value="0 to 60"/>                                                                        | seconds North |
|                                                                            | E.g. enter the latitude as:<br>-56.25 degrees or -56 degrees 15 minutes, for 56 degrees 15 minutes South.   |               |
| <b>Longitude:</b>                                                          | <input type="text" value="+180 to -180"/>                                                                   | degrees East  |
|                                                                            | <input type="text" value="0 to 60"/>                                                                        | minutes East  |
|                                                                            | <input type="text" value="0 to 60"/>                                                                        | seconds East  |
|                                                                            | E.g. enter the longitude as:<br>-102.5 degrees or -102 degrees 30 minutes, for 102 degrees 30 minutes West. |               |
| <b>GPS Elevation:</b>                                                      | <input type="text"/>                                                                                        | meters        |
| <input type="button" value="Reset"/> <input type="button" value="Submit"/> |                                                                                                             |               |

**Şekil 5.7:** Geoid yükseklik hesabı yazılımı.

**Çizelge 5.9:** Yükseklik dönüşümü.

| Nokta  | Ölçme Yükseklikleri |         |         | Lokal Yükseklikler |         |         |
|--------|---------------------|---------|---------|--------------------|---------|---------|
|        | E. Yük.             | G. Yük. | O. Yük. | E. Yük.            | G. Yük. | O. Yük. |
| ITRF01 | 558.673             | 17.650  | 541.023 | 540.999            | 17.650  | 523.349 |
| ITRF02 | 611.035             | 17.699  | 593.336 | 593.54             | 17.699  | 575.841 |
| ITRF03 | 656.44              | 17.782  | 638.658 | 638.879            | 17.782  | 621.097 |
| ITRF04 | 582.162             | 17.756  | 564.406 | 564.25             | 17.756  | 546.494 |
| ITRF05 | 602.586             | 17.766  | 584.82  | 585.005            | 17.766  | 567.239 |
| ITRF06 | 719.796             | 17.897  | 701.899 | 703.45             | 17.897  | 685.553 |

## 5.2 İki Boyutlu Dönüşüm (Afin Dönüşümü)

İki boyutlu Afin dönüşümünü gerçekleştirmek için bilinmeyen 6 parametre, Matlab yazılımı kullanılarak elde edilmiştir ve dönüşüm sonuçları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

**Çizelge 5.10:** 2 boyutlu Afin dönüşümü.

| Nokta  | Grid Koordinatlar<br>(Ölçülen) |             | Grid Koordinatlar<br>(Lokal) |             |
|--------|--------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
|        | E                              | N           | E                            | N           |
| ITRF01 | 315253.448                     | 4081333.605 | 315253.3117                  | 4081334.711 |
| ITRF02 | 322066.724                     | 4079674.649 | 322066.6476                  | 4079675.471 |
| ITRF03 | 327605.975                     | 4079395.277 | 327606.533                   | 4079396.416 |
| ITRF04 | 315556.567                     | 4083747.297 | 315554.9448                  | 4083742.656 |
| ITRF05 | 318553.8                       | 4082720.251 | 318553.4221                  | 4082721.258 |
| ITRF06 | 329404.785                     | 4081343.08  | 329398.4915                  | 4081334.486 |

**Çizelge 5.11:** 2 boyutlu Afin parametreleri.

| Parametreler             |
|--------------------------|
| <b>a0</b> = -1378.515625 |
| <b>a1</b> = 0.999984     |
| <b>a2</b> = 0.000339     |
| <b>b0</b> = -4923.804688 |
| <b>b1</b> = 0.000120     |
| <b>b2</b> = 1.001197     |

Dönüşüm fonksiyonu 6 parametre ile ifade edilir: iki dönüklük açısı (a, b), iki ölçek faktörü ve 2 öteleme ( $x_0$ ,  $y_0$ ). Bilinmeyen 1 ile 3 arasındaki noktaların düzeltilmiş koordinatları ( $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ), ( $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ) parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.11).

$$\begin{aligned} X' &= \alpha X - bY + x_0 \\ Y' &= dY + cX + y_0 \end{aligned} \quad (5.1)$$

Koordinatlar, kontrol noktalarının Sağa Yukarı koordinatlarıdır.

$$\begin{aligned} x &= a_0 + a_1X + a_2Y = 315253.4604 \text{ m} \\ y &= b_0 + b_1X + b_2Y = 4081332.987 \text{ m} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Kontrol noktasında düzeltme değerleri,  $V-x = -0.148711927 \text{ m}$ ,  $V-y = 1.723949056 \text{ m}$  olarak hesaplanmıştır.

### 5.3 Üç Boyutlu Dönüşüm (Molodensky-Badekas Dönüşümü)

Üç boyutlu dönüşüm X eşitliği kullanılarak 7 bilinmeyen parametrenin (Çizelge 5.12) hesaplanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Eşitlikte üç öteleme ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ), 3 dönüklük ( $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ) ve ölçek faktörü ( $1 + \Delta L$ ) bulunmaktadır. Hesaplamalar Matlab yazılımı kullanılarak EKK yöntemiyle elde edilmiştir (Çizelge 5.13).

$$\begin{pmatrix} X_{WGS84} \\ Y_{WGS84} \\ Z_{WGS84} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 + \Delta L & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 + \Delta L & R_x \\ R_z & -R_y & 1 + \Delta L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{LOC} - X_m \\ Y_{LOC} - Y_m \\ Z_{LOC} - Z_m \end{pmatrix} \quad (5.3)$$

$X_{WGS84}$ ,  $Y_{WGS84}$ ,  $Z_{WGS84}$ ; noktaların WGS84 datumunda kartezyen koordinatlarıdır.

$X_{LOC}$ ,  $Y_{LOC}$ ,  $Z_{LOC}$ ; noktaların lokal kartezyen koordinatlarıdır.

**Çizelge 5.12:** Üç boyutlu Molodensky-Badekas dönüşümü.

| Parametre   | 7 Parametre |
|-------------|-------------|
| Öteleme dX  | 322.6727    |
| Öteleme dY  | 253.0628    |
| Öteleme dZ  | -551.6869   |
| Dönüklük RX | 0.0001      |
| Dönüklük RY | -0.0001     |
| Dönüklük RZ | 0.0000      |
| Ölçek       | 1.0000      |

**Çizelge 5.13:** 2 kontrol noktasındaki üç boyutlu Molodensky-Badekas dönüşümünün düzeltme değerleri.

| Düzeltilme Değerleri |        |        |        |
|----------------------|--------|--------|--------|
| Nokta                | V-x    | V-y    | V-z    |
| ITRF05               | 0.1022 | 0.0921 | 0.2324 |
| ITRF06               | 0.4885 | 0.8432 | 0.0228 |

Üç boyutlu dönüşüm X eşitliği kullanılarak 7 bilinmeyen parametrenin (Çizelge 5.14) hesaplanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Eşitlikte 3 öteleme ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ), 3 dönüklük ( $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ) ve 1 ölçek faktörü ( $1 + \Delta L$ ) bulunmaktadır. Hesaplamalar MATLAB yazılımı kullanılarak EKK yöntemiyle elde edilmiştir.

$$\begin{pmatrix} X_{GRS80} \\ Y_{GRS80} \\ Z_{GRS80} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 + \Delta L & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 + \Delta L & R_x \\ R_y & -R_x & 1 + \Delta L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{LOC} \\ Y_{LOC} \\ Z_{LOC} \end{pmatrix} \quad (5.4)$$

$X_{GRS80}$ ,  $Y_{GRS80}$ ,  $Z_{GRS80}$ ; noktaların GRS80 datumunda kartezyen koordinatlarıdır.  $X_{LOC}$ ,  $Y_{LOC}$ ,  $Z_{LOC}$ ; noktaların lokal kartezyen koordinatlarıdır. Daha sonra düzeltme değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.15).

**Çizelge 5.14:** 3 boyutlu Bursa-Wolf dönüşümü.

| Parametre   | 7 Parametre |
|-------------|-------------|
| Öteleme dX  | 1.5809      |
| Öteleme dY  | 6.9922      |
| Öteleme dZ  | -3.8504     |
| Dönüklük RX | 0.0000      |
| Dönüklük RY | -0.0000     |
| Dönüklük RZ | 0.0015      |
| Ölçek       | -0.0269     |

**Çizelge 5.15:** 2 kontrol noktasındaki üç boyutlu Bursa-Wolf dönüşümünün düzeltme değerleri.

| Düzeltilme Değerleri |         |        |        |
|----------------------|---------|--------|--------|
| Nokta                | V-x     | V-y    | V-z    |
| ITRF05               | -8.7383 | 1.0475 | 1.0754 |
| ITRF06               | -8.7627 | 1.0459 | 1.0750 |

Dönüşüm parametreleri hesaplandıktan sonra Alman Vossing Şirketi'nden Duhok şehrinin doğusu, batısı ve orta kısımlarından lokal kartezyen ve grid koordinatları bilinen üç noktanın (P1,P2,P3) koordinat değerleri alındı. Daha sonra bu noktalarda GNSS ölçüleri yapılarak noktaların ITRF koordinatları elde edildi. Elde edilen ITRF koordinatları yukarıda hesaplanan dönüşüm parametreleri kullanılarak lokal kartezyen ve grid koordinatlara dönüştürüldü. Bulunan koordinatlar ile Alman Vossing Şirketi'nden alınan koordinatlar karşılaştırılarak Çizelge 5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.16: Test ölçüleri.

| Point | Kartezyen Koordinatlar |              |             | Lokal Kartezyen Koordinatlar (Vossing Şirketi) |             |             | Farklar    |            |            |
|-------|------------------------|--------------|-------------|------------------------------------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
|       | X                      | Y            | Z           | X                                              | Y           | Z           | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ |
| P1    | 3741419.943            | 3482619.895  | 3803488.420 | 3741419.973                                    | 3482620.152 | 3803488.630 | -0.030     | -0.257     | -0.210     |
| P2    | 3735834.296            | 3484727.7100 | 3806770.312 | 3735834.276                                    | 3484727.901 | 3806770.142 | 0.020      | -0.191     | 0.170      |
| P3    | 3737037.152            | 3484512.810  | 3805718.296 | 3737037.202                                    | 3484512.990 | 3805718.547 | -0.050     | -0.180     | -0.251     |
| Point | Grid Koordinatlar      |              |             | Lokal Grid Koordinatlar (Vossing Şirketi )     |             |             | Farklar    |            |            |
|       | E                      | N            | H           | E                                              | N           | H           | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta H$ |
| P1    | 317046.7371            | 4078849.8612 | 802.8359    | 317046.9057                                    | 4078849.908 | 803.1196    | -0.1686    | -0.0463    | -0.2837    |
| P2    | 322484.1094            | 4082950.4258 | 651.3405    | 322484.4028                                    | 4082950.132 | 651.4401    | -0.2934    | 0.2935     | -0.0996    |
| P3    | 321480.0759            | 4081689.8169 | 606.6110    | 321480.1752                                    | 4081689.92  | 606.8889    | -0.0993    | -0.1032    | -0.2779    |

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çoğu jeodezik yazılımda yaygın olarak kullanılan ve uygulanan üç dönüşüm modeli incelenmiştir. WGS84 datumu ile GRS80 datumu arasındaki en uygun dönüşüm parametreleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. WGS84 ve GRS80 elipsoidinin basıklıkları arasında küçük bir fark bulunmakta olup iki elipsoidin küçük yarı-eksenleri (Kuzey-Güney eksen) arasındaki fark yaklaşık 0.1mm'dir ( $b_{WGS84} = 6356752.31425$  m,  $b_{GRS80} = 6356752.31414$  m).

GRS80 sisteminde coğrafi koordinatlarını belirlemek için altı kontrol noktasında GNSS gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu noktaların WGS84 sisteminde koordinatları elde edilip GRS80 sistemine dönüştürülmüştür.

Daha sonra, koordinat düzeltmesi yapılmıştır. Yerel koordinatların düzeltilmesi, Topcon Tools yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Her iki düzeltmenin de amacı, ülkedeki ulusal datumu belirleyen Alman şirketinin elde ettiği koordinatlar ile lokal koordinatların karşılaştırmasını yaparak arasındaki farkları belirlemektir. Bu çalışmada üç modelde dönüşüm parametreleri belirlenmiştir.

- 1 boyutlu yükseklik dönüşümünde, noktaların Elipsoit Yüksekliği, Geoid Yüksekliği ve Ortometrik Yükseklikleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar Calculator Geoid Height adlı çevrimiçi program ile elde edilmiştir.
- 2 boyutlu afin dönüşümü; Matlab yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve model için doğru sonuçlar elde edilmiştir.
- 3 boyutlu Molodensky-Badekas ve Bursa-Wolf dönüşümleri; matris denklemi ile ilgili dönüşüm 1 boyutlu yükseklik dönüşümünden daha karmaşıktır.

Test ölçüleri sonucunda  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  değerlerine bakıldığında 30 cm'nin altında bir fark olduğu görülmektedir. Bu da Irak Ulusal Koordinat Sistemi oluşturulana kadar bu çalışma sonucu bulunan dönüşüm parametrelerinin Duhok için kullanılabileceğini göstermektedir.

Her iki datumda koordinat değerleri bilinen ortak nokta sayısı artırılarak dönüşüm parametrelerinde iyileştirmeler yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Al Marzooqi, Y., Fashir, H. ve Syed I. A., 2005. Derivation of datum transformation parameters for Dubai emirate, Proc. FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Nisan 16, 21.
- Ayer, J. ve Fosu, C., 2006. Map coordinate referencing and the use of GPS datasets in Ghana, Journal of Science and Technology, 1106, 127.
- Badekas, J., 1969. Investigation related to the establishment of a world geodetic system, No. DGS-124, Ohio State Univ. Columbus Dept Of Geodetic Science.
- Bamford, C.R., 1962. The application of the ligand field theory to coloured glasses, Physical Chemistry 3, 6, 189-202.
- Başçiftçi, F. ve İnal, C. 2008. Jeodezide Kullanılan Bazı Koordinat Dönüşümlerinin Programlanması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bowring, B.R. ve Bernard, R., 1976. Transformation from spatial to geographical coordinates, Survey Review, 23, 181, 323-327.
- Bursa, M., 1962. The theory for the determination of the non-parallelism of the minor axis of the reference ellipsoid and the inertial polar axis of the Earth, and the planes of the initial astronomic and geodetic meridians from observations of artificial Earth satellites, Studia Geophysica et Geodetica, 6, 209-214.
- Chirila, C. ve Mihalache, R.M., 2011. Coordinate Transformations For Integrating Local Map Information In The New Geocentric European System, For Urban Real-Estate Cadaster Achievement, Mathematical Modeling in Civil Engineering.
- Consult, M., 1969. Spherical and practical astronomy, as applied to geodesy, F. Ungar Pub. Co., New York.
- Dana, J.D., 1997. Dana's new mineralogy: the system of mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury, Journal of mineralogical and petrological sciences, 106, 169-174.
- Deakin, R.E., 2006. A Note on the Bursa-Wolf and Molodensky-Badekas Transformations, School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University, 1-21.

- Dzidefo, A., 2011. Determination of Transformation Parameters between the World Geodetic System 1984 and the Ghana Geodetic Network, Doktora tezi, Department of Geomatic Engineering, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi.
- Fosu, C., 2006. Introduction to Geodesy, Geomatic Engineering Department, Lectures Notes KNUST, Kumasi.
- Heiskanen, W.A. ve Moritz, H., 1967. Physical geodesy, Bulletin Géodésique 86,1, 491-492.
- Hoffmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Collins, J., 1997. GPS theory and practice, Fourth Revision edition, Springer, New York.
- Hüsrevoğlu, M. ve Tuşat, E., 2017. İki Boyutlu Bazı Datum Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi, Journal Of Geomatics, 3, 1, 22-34.
- Jin, S. ve Zhu, W., 2003. International Terrestrial Reference Frame: current status and its future, Progress in Astronomy, 21, 241-249.
- King, R.W., Master, E. G., Rizos, C., Stolz, A. ve Collins, J., 1985. Surveying with Global Positioning System–GPS, Ferd. Dümmler, Bonn.
- Kutoglu, Ş.H., Mekik, Ç. ve Hakan, A., 2002. A comparison of two well-known models for 7-parameter transformation, Australian Surveyor, 47, 1, 24-30.
- Kutoğlu, Ş. H., Mekik, Ç., ve Köksal, E., 2001. Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümü İçin Kullanılan Bursa-Wolf Ve Molodensky-Badekas Modellerinin Karşılaştırılması, 8. Türkiye Harita Bilimsel Ve Teknik Kurultayı, 19.03.2001-23.03.2001, Ankara.
- Leick, A. ve Lambert, S., 1990. GPS Satellite Surveying. ISBN 0-471-81990-5 Wiley Interscience, 605 3rd Avenue, New York, USA.
- Molodensky, M. S., Yeremeyev, V. F. ve Yurkina, M. I., 1962. An evaluation of accuracy of stokes, Series and of Some attempts to improve his theory, Bulletin Géodésique, 63, 1, 19-37.
- Mueller, I.I., 1969. Spherical and practical astronomy, as applied to geodesy, Ungar Pub. Co., New York, USA.
- NIMA, 1990. TM 8358.1, Datums, Ellipsoids, Grids, and Grid Reference Systems. 1st. ed. Washington, D.C.: NIMA. Available at: <ftp://164.214.2.65/pub/gig/tm8358.1>, Alındığı tarih 23.09.2017.
- Rizos, C., 1999. Quality issues in real-time GPS positioning. Final Report of the IAG SSG, 1, 154.
- Soler, T. ve Hothem, L.D., 1988. Coordinate systems used in geodesy: Basic definitions and concepts, Journal of Surveying Engineering, 114, 2, 84-97.

- Solomon, M., 2013. Determination of transformation parameters for Montserrado County, Republic of Liberia. Master of Science Thesis in Geomatic Engineering, Faculty of Civil and Geomatic Engineering, College of Engineering, KNUST, Kumasi, Ghana.
- Tanık, A. 2003. Dönüşümler ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 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. 1996. Datum Dönüşümleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vaníček, P. ve Robin R. S., 1996. Transformation of coordinates between two horizontal geodetic datums, Journal of Geodesy, 70, 11, 740-745.
- Veis, G., 1960. Geodetic uses of artificial satellites, Smithsonian contributions to Astrophysics, 3, 95.
- Wolf B., 1962. The theory for the determination of the non-parallelism of the minor axis of the reference ellipsoid and the inertial polar axis of the Earth, Studia Geophysica et Geodetica, 6, 209-214.
- Wolf, H., 1963. Geometric Connection and Re-Orientation of three-dimensional triangulation nets, Bulletin Géodésique (1946-1975), 68, 165-169.
- Yaşayan A., 1978. Hava Fotogrametrisinde İki Boyutlu Doğrusal Dönüşümler ve Uygulamaları, K.T.Ü. Yayın No:102, YBF Yayın No: 19, Trabzon.
- Yurt, K., 2006. Geometrik ve Gravimetrik Metodlarla Lokal Jeoid Belirleme ve Modelleme: Trabzon İli Örneği, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- URL-1 <<http://docplayer.biz.tr/docs-images/29/13169957/images/17-0.jpg>>, alındığı tarih: 29.06.2017.

## **EKLER**

### **Ek A: Parametre kestirimi için matlab kodları**



## Ek A: Parametre kestirimi için matlab kodları

```
clear;
clc;
%-----
%-----[ 2D-Affine Program ]-----
%-----
%----- Input Points ITRF01; ITRF02; ITRF03; ITRF04; ITRF05--
%-----
E=[315253.448;322066.724;327605.975;315556.567;318553.800];
N=[4081333.605;4079674.649;4079395.277;4083747.297;4082720.251];
%-----
x=[315253.3117;322066.6476;327606.533;315554.9448;318553.4221];
y=[4081334.711;4079675.471;4079396.416;4083742.656;4082721.258];
%-----
%-----[ Start Computation ]-----
[n1 y1]=size(E);
p=0;
for i=1:2:2*n1
    p=p+1;
    a(i,1)=1;
    a(i,2)=x(p,1);
    a(i,3)=y(p,1);
    a(i,4)=0;a(i,5)=0;a(i,6)=0;
    L(i,1)=E(p,1);
    a(i+1,1)=0;a(i+1,2)=0;a(i+1,3)=0;
    a(i+1,4)=1;
    a(i+1,5)=x(p,1);
    a(i+1,6)=y(p,1);
    L(i+1,1)=N(p,1);
end
D = inv(a'*a)*(a'*L);
ao=D(1,1);a1=D(2,1);a2=D(3,1);
bo=D(4,1);b1=D(5,1);b2=D(6,1);
disp('The 6-Parameter [a0,a1,a2,bo,b1,b2] ')
fprintf('ao=%f a1=%f a2=%f bo=%f b1=%f b2=%f \n',ao,a1,a2,bo,b1,b2)
disp('The Residual V s=')
v=a*D-L;
%-----
%=====
%===== Check Point (ITRF060)=====
%=====
%-----
```

```

%-----
xx=[329398.4915];
yy=[4081334.486];
%-----
[R2 C2]=size(xx);
for i=1:R2
EE(i,1)=ao+a1*xx(i,1)+a2*yy(i,1);
NN(i,1)=bo+b1*xx(i,1)+b2*yy(i,1);
end
disp('The Coordinates (Easting, Northing of check point ')
EE;
NN;
%-----
%--- Compute the Residual in the check point (V-Easting, V-Northing
%---- Check Point (ITRF060) -----
%-----
TEE=[329404.785];
TNN=[4081343.08];
%-----
[R3 C3]=size(TEE);
for i=1:R3
vEasting(i,1)=TEE(i,1)-EE(i,1);
vNorthing(i,1)=TNN(i,1)-NN(i,1);
end
disp('The Residual in the check point (V-Easting, V-Northing ')
vEasting
vNorthing
Warning: Matrix is close to singular or badly scaled.
Results may be inaccurate. RCOND = 3.370243e-021.
The 6-Parameter [a0,a1,a2,bo,b1,b2]
ao=-1378.515625 a1=0.999984 a2=0.000339 bo=-4923.804688 b1=0.000120
b2=1.001197
The Residual V s=
The Coordinates (Easting, Northing of check point
The Residual in the check point (V-Easting, V-Northing
vEasting =
6.1300
vNorthing =
7.3773
3D Molodensky-Badekas Matlab Kodları
clear;clc
%#####
#####
disp('*****')
disp('*****This program Find The Seven Parameters Of Absolute Orientation')
disp('*****')
no=4;
%***the model coordinates*****

```

```

Xm=[3741461.546;3737489.395;3733804.615;3740241.435];
Ym=[3480136.17;3485794.288;3489939.43;3479343.623];
Zm=[3805298.271;3804118.518;3804013.37;3807248.237];
%*****the ground coordinates*****
Xg=[3741461.44;3737489.414;3733804.602;3740241.553];
Yg=[3480136.508;3485794.7;3489939.805;3479343.773];
Zg=[3805298.451;3804118.811;3804013.617;3807247.976];
%****start computations*****
for i=0:no
pa=0;wa=0;
Txa=1;Tya=1;Tza=1;
ka=atan(((Xg(1,1)-Xg(2,1))/(Yg(1,1)-Yg(2,1)))-((Xm(1,1)-Xm(2,1))/(Ym(1,1)-
Ym(2,1)))));
if ka<=0.0
ka=ka*-1;
end
end
b1=((Xg(1,1)-Xg(2,1))^2)+((Yg(1,1)-Yg(2,1))^2)+((Zg(1,1)-Zg(2,1))^2);
b2=((Xm(1,1)-Xm(2,1))^2)+((Ym(1,1)-Ym(2,1))^2)+((Zm(1,1)-Zm(2,1))^2);
sa=sqrt(b1/b2);
%/*-----*/
vv=0;
while vv ~=8
vv=vv+1;
ok=0;
s=sa;p=pa;k=ka;w=wa;Tx=Txa;Ty=Tya;Tz=Tza;
M(1,1)=cos(p)*cos(k);
M(1,2)=sin(w)*sin(p)*cos(k)+cos(w)*sin(k);
M(1,3)=-cos(w)*sin(p)*cos(k)+sin(w)*sin(k);
M(2,1)=-cos(p)*sin(k);
M(2,2)=-sin(w)*sin(p)*sin(k)+cos(w)*cos(k);
M(2,3)=cos(w)*sin(p)*sin(k)+sin(w)*cos(k);
M(3,1)=sin(p);
M(3,2)=-sin(w)*cos(p);
M(3,3)=cos(w)*cos(p);
Xga=s.*(M(1,1).*Xm+M(2,1).*Ym+M(3,1).*Zm)+Txa;
Yga=s.*(M(1,2).*Xm+M(2,2).*Ym+M(3,2).*Zm)+Tya;
Zga=s.*(M(1,3).*Xm+M(2,3).*Ym+M(3,3).*Zm)+Tza;
%*****
%Xga=rand(4,1);Yga=rand(4,1);Zga=rand(4,1);
P=0;
for J = 1:3:10
P = P + 1;
A(J, 1) = M(1, 1) * Xm(P, 1) + M(2, 1) * Ym(P, 1) + M(3, 1) * Zm(P, 1);
A(J, 2) = 0;
A(J, 3) = ((-sin(p) * cos(k)) * Xm(P, 1) + sin(p)* sin(k) * Ym(P, 1) + cos(p) * Zm(P,
1))*s;
A(J, 4) = (M(2, 1) * Xm(P, 1) - M(1, 1) * Ym(P, 1)) * s;
A(J, 5) = 1;
A(J, 6) = 0;

```

```

L(J, 1) = Xg(P, 1) - Xga(P, 1);
end
P = 0;
for J = 2:3:11
P = P + 1;
A(J, 1) = M(1, 2) * Xm(P, 1) + M(2, 2) * Ym(P, 1) + M(3, 2) * Zm(P, 1);
A(J, 2) = (-M(1, 3) * Xm(P, 1) - M(2, 3) * Ym(P, 1) - M(3, 3) * Zm(P, 1)) * s;
A(J, 3) = ((sin(w) * cos(p) * cos(k)) * Xm(P, 1) + (-sin(w) * cos(p) * sin(k))
* Ym(P, 1) + (sin(w) * sin(p)) * Zm(P, 1))*s;
A(J, 4) = (M(2, 2) * Xm(P, 1) - M(1, 2) * Ym(P, 1)) * s;
A(J, 5) = 0; A(J, 6) = 1; A(J, 7) = 0;
L(J, 1) = Yg(P, 1) - Yga(P, 1);
end
P = 0;
for J = 3:3:12
P = P + 1;
A(J, 1) = M(1, 3) * Xm(P, 1) + M(2, 3) * Ym(P, 1) + M(3, 3) * Zm(P, 1);
A(J, 2) = (M(1, 2) * Xm(P, 1) + M(2, 2) * Ym(P, 1) + M(3, 2) * Zm(P, 1)) * s;
A(J, 3) = ((-cos(w) * cos(p) * cos(k)) * Xm(P, 1) + (cos(w) * cos(p) * sin(k))
* Ym(P, 1) + (-cos(w) * sin(p)) * Zm(P, 1))*s;
A(J, 4) = (M(2, 3) * Xm(P, 1) - M(1, 3) * Ym(P, 1)) * s;
A(J, 7) = 1; A(J, 5) = 0;
L(J, 1) = Zg(P, 1) - Zga(P, 1);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
u=A'*L;
n=A'*A;
D=inv(n)*u
%*****
sa=sa+D(1,1);wa=wa+D(2,1);pa=pa+D(3,1);ka=ka+D(4,1);Txa=Txa+D(5,1);
Tya=Tya+D(6,1);Tza=Tza+D(7,1);
DD=[sa;wa;pa;ka;Txa;Tya;Tza];
end
%*****
disp('*****the Final Absolute parameteres*****')
DD
disp('*****the v-matrix*****')
v=A*D-L
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
^^
% ^^^^ Compute the coordinates of the check points ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
% ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
^^
xxm=[3738619.325;3731770.814];
yym=[3481958.014;3490446.576];
zzm=[3806490.621;3805638.846];
%-----
[R2 C2]=size(xxm);
for i=1:R2
XXga(i,1)=s*(M(1,1)*xxm(i,1)+M(2,1)*yym(i,1)+M(3,1)*zzm(i,1))+Txa;

```

```

YYga(i,1)=s*(M(1,2)*xxm(i,1)+M(2,2)*yym(i,1)+M(3,2)*zzm(i,1))+Tya(1,1);
ZZga(i,1)=s*(M(1,3)*xxm(i,1)+M(2,3)*yym(i,1)+M(3,3)*zzm(i,1))+Tza(1,1);
end
%-----
%--- Compute the Residual in the check point (V-Easting, V-Northing
%----- Check Point (ITRF05, ITRF060) -----
%-----
TXXga=[3738619.369;3731771.164];
TTYga=[3481958.321;3490447.596];
TZZga=[3806490.842;3805639.078];
for i=1:R2
vEasting(i,1)=TXXga(i,1)-XXga(i,1);
vNorthing(i,1)=TTYga(i,1)-YYga(i,1);
VHeights(i,1)=TZZga(i,1)-ZZga(i,1);
end
disp('The Residual in the check point (V-Easting, V-Northing, VHeights ')
vEasting
vNorthing
VHeights
*****
*
*****This program Find The Seven Parameters Of Absolute Orientation
*****
*
Warning: Matrix is close to singular or badly scaled.
Results may be inaccurate. RCOND = 3.479353e-022.
D =
0.0000
0.0001
-0.0001
-0.0000
321.6023
252.0294
-552.6384
Warning: Matrix is close to singular or badly scaled.
Results may be inaccurate. RCOND = 3.479513e-022.
D =
0.0000
0.0000
-0.0000
0.0000
0.0703
0.0334
-0.0485
Warning: Matrix is close to singular or badly scaled.
Results may be inaccurate. RCOND = 3.479513e-022.
D =
1.0e-004 *
0.0000
0.0000

```

-0.0000  
0.0000  
0.0803  
0.0279  
-0.1104

Warning: Matrix is close to singular or badly scaled.  
Results may be inaccurate. RCOND = 3.479513e-022.

D =  
1.0e-006 \*  
0.0000  
0.0000  
-0.0000  
0.0000  
0.1543  
-0.0052  
-0.2324

Warning: Matrix is close to singular or badly scaled.  
Results may be inaccurate. RCOND = 3.479513e-022.

D =  
1.0e-006 \*  
-0.0000  
-0.0000  
0.0000  
-0.0000  
-0.3502  
-0.2587  
0.6558

Warning: Matrix is close to singular or badly scaled.  
Results may be inaccurate. RCOND = 3.479513e-022.

D =  
1.0e-006 \*  
-0.0000  
-0.0000  
0.0000  
-0.0000  
-0.4817  
0.1156  
0.4629

Warning: Matrix is close to singular or badly scaled.  
Results may be inaccurate. RCOND = 3.479513e-022.

D =  
1.0e-006 \*  
-0.0000  
0.0000  
-0.0000  
0.0000  
0.3586  
0.0119  
-0.2195

Warning: Matrix is close to singular or badly scaled.

Results may be inaccurate. RCOND = 3.479513e-022.

D =

1.0e-005 \*

0.0000

0.0000

-0.0000

0.0000

0.0688

0.0449

-0.1380

\*\*\*\*\*the Final Absolute parameteres\*\*\*\*\*

DD =

1.0000

0.0001

-0.0001

0.0000

322.6727

253.0628

-551.6869

\*\*\*\*\*the v-matrix\*\*\*\*\*

v =

0.1621

0.0211

-0.1428

0.0267

-0.0181

-0.0673

-0.0025

-0.0309

0.0626

-0.1863

0.0278

0.1476

The Residual in the check point (V-Easting, V-Northing, VHeights

vEasting =

0.1022

0.4885

vNorthing =

0.0921

0.8432

VHeights =

0.2324

0.0228

>>

### A.3 3D Bursa-Wolf Matlab Code

MATLAB desktop keyboard shortcuts, such as Ctrl+S, are now customizable. In addition, many keyboard shortcuts have changed for improved consistency across the desktop.

To customize keyboard shortcuts, use Preferences. From there, you can also restore previous default settings by selecting "R2009a Windows Default Set"

from the active settings drop-down list.

>>

```
%#####  
##  
%*****this program find the Absolute Orientation Parameters**  
%#####  
##  
disp('*****')  
disp('*****This program Find The Parameters Of Absolute Orientation')  
disp('*****')  
no=4;  
%***the model coordinates*****  
Xm=[80.7134;  
29.8248;  
85.7436;  
1.6921];  
Ym=[80.7463;  
-33.5983;  
-33.1677;  
92.939];  
Zm=[-146.3239;  
-146.0882;  
-148.2820;  
-142.4790];  
%*****the ground coordinates*****  
Xg=[3491.81;503.30;427.51;3942.55];  
Yg=[4534.98;6077.64;4574.83;6638.43];  
Zg=[42.44;.67;4.77;52.64];  
%***start computations*****  
for i=0:no  
pa=0;wa=0;  
Txa=1;Tya=1;Tza=1;  
ka=atan(((Xg(1,1)-Xg(2,1))/(Yg(1,1)-Yg(2,1)))-((Xm(1,1)-Xm(2,1))  
/(Ym(1,1)-Ym(2,1)))));  
if ka<=0.0  
ka=ka*-1;  
end  
end  
b1=((Xg(1,1)-Xg(2,1))^2)+((Yg(1,1)-Yg(2,1))^2)+((Zg(1,1)-Zg(2,1))^2);  
b2=((Xm(1,1)-Xm(2,1))^2)+((Ym(1,1)-Ym(2,1))^2)+((Zm(1,1)-Zm(2,1))^2);  
sa=sqrt(b1/b2);  
%/*-----*/  
vv=0;  
while vv ~8  
vv=vv+1;  
ok=0;  
s=sa;p=pa;k=ka;w=wa;Tx=Txa;Ty=Tya;Tz=Tza;  
M(1,1)=cos(p)*cos(k);  
M(1,2)=sin(w)*sin(p)*cos(k)+cos(w)*sin(k);  
M(1,3)=-cos(w)*sin(p)*cos(k)+sin(w)*sin(k);
```

```

M(2,1)=-cos(p)*sin(k);
M(2,2)=-sin(w)*sin(p)*sin(k)+cos(w)*cos(k);
M(2,3)=cos(w)*sin(p)*sin(k)+sin(w)*cos(k);
M(3,1)=sin(p);
M(3,2)=-sin(w)*cos(p);
M(3,3)=cos(w)*cos(p);
Xga=s.*(M(1,1).*Xm+M(2,1).*Ym+M(3,1).*Zm)+Txa;
Yga=s.*(M(1,2).*Xm+M(2,2).*Ym+M(3,2).*Zm)+Tya;
Zga=s.*(M(1,3).*Xm+M(2,3).*Ym+M(3,3).*Zm)+Tza;
for i=0:no
%Xga(i,1)=s*(M(1,1)*Xm(i,1)+M(2,1)*Ym(i,1)+M(3,1)*Zm(i,1))+Tx;
%Yga(i,1)=s*(M(1,2)*Xm(i,1)+M(2,2)*Ym(i,1)+M(3,2)*Zm(i,1))+Tya(1,1);
%Zga(i,1)=s*(M(1,3)*Xm(i,1)+M(2,3)*Ym(i,1)+M(3,3)*Zm(i,1))+Tza(1,1);
end
%*****
%Xga=rand(4,1);Yga=rand(4,1);Zga=rand(4,1);
P=0;
for J = 1:3:10
P = P + 1;
A(J, 1) = M(1, 1) * Xm(P, 1) + M(2, 1) * Ym(P, 1) + M(3, 1) * Zm(P, 1);
A(J, 2) = 0;
A(J, 3) = ((-sin(p) * cos(k)) * Xm(P, 1) + sin(p)* sin(k) * Ym(P, 1)
+ cos(p) * Zm(P, 1))*s;
A(J, 4) = (M(2, 1) * Xm(P, 1) - M(1, 1) * Ym(P, 1)) * s;
A(J, 5) = 1;
A(J, 6) = 0;
L(J, 1) = Xg(P, 1) - Xga(P, 1);
end
P = 0;
for J = 2:3:11
P = P + 1;
A(J, 1) = M(1, 2) * Xm(P, 1) + M(2, 2) * Ym(P, 1) + M(3, 2) * Zm(P, 1);
A(J, 2) = (-M(1, 3) * Xm(P, 1) - M(2, 3) * Ym(P, 1) - M(3, 3) * Zm(P, 1)) * s;
A(J, 3) = ((sin(w) * cos(p) * cos(k)) * Xm(P, 1) + (-sin(w) * cos(p) * sin(k))
* Ym(P, 1) + (sin(w) * sin(p)) * Zm(P, 1))*s;
A(J, 4) = (M(2, 2) * Xm(P, 1) - M(1, 2) * Ym(P, 1)) * s;
A(J, 5) = 0;A(J, 6) = 1; A(J, 7) = 0;
L(J, 1) = Yg(P, 1) - Yga(P, 1);
end
P = 0;
for J = 3:3:12
P = P + 1;
A(J, 1) = M(1, 3) * Xm(P, 1) + M(2, 3) * Ym(P, 1) + M(3, 3) * Zm(P, 1);
A(J, 2) = (M(1, 2) * Xm(P, 1) + M(2, 2) * Ym(P, 1) + M(3, 2) * Zm(P, 1)) * s;
A(J, 3) = ((-cos(w) * cos(p) * cos(k)) * Xm(P, 1) + (cos(w) * cos(p) * sin(k))
* Ym(P, 1) + (-cos(w) * sin(p)) * Zm(P, 1))*s;
A(J, 4) = (M(2, 3) * Xm(P, 1) - M(1, 3) * Ym(P, 1)) * s;
A(J, 7) = 1;A(J, 5) = 0;
L(J, 1) = Zg(P, 1) - Zga(P, 1);
end

```

```
%%%%%%%%%%%%%%%
u=A'*L;
n=A'*A;
D=inv(n)*u
%*****
sa=sa+D(1,1);wa=wa+D(2,1);pa=pa+D(3,1);ka=ka+D(4,1);Txa=Txa+D(5,1);
Tya=Tya+D(6,1);Tza=Tza+D(7,1);
DD=[sa;wa;pa;ka;Txa;Tya;Tza];
end
%*****
disp('*****the Final Absolute parameteres*****')
DD
disp('*****the v-matrix*****')
v=A*D-L
%^%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
^^
% ^^^^ Compute the coordinates of the check points ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
%^%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
^^
xxm=[3738619.325;3731770.814];
yym=[3481958.014;3490446.576];
zzm=[3806490.621;3805638.846];
%------
[R2 C2]=size(xxm);
for i=1:R2
XXga(i,1)=s*(M(1,1)*xxm(i,1)+M(2,1)*yym(i,1)+M(3,1)*zzm(i,1))+Txa;
YYga(i,1)=s*(M(1,2)*xxm(i,1)+M(2,2)*yym(i,1)+M(3,2)*zzm(i,1))+Tya(1,1);
ZZga(i,1)=s*(M(1,3)*xxm(i,1)+M(2,3)*yym(i,1)+M(3,3)*zzm(i,1))+Tza(1,1);
end
%------
%--- Compute the Residual in the check point (V-Easting, V-Northing
%---- Check Point (ITRF05, ITRF060) -----
%------
TXXga=[3738619.369;3731771.164];
TTYga=[3481958.321;3490447.596];
TTZga=[3806490.842;3805639.078];
for i=1:R2
vEasting(i,1)=TXXga(i,1)-XXga(i,1);
vNorthing(i,1)=TTYga(i,1)-YYga(i,1);
VHeights(i,1)=TTZga(i,1)-ZZga(i,1);
end
disp('The Residual in the check point (V-Easting, V-Northing, VHeights ')
vEasting
vNorthing
VHeights
*****
*****This program Find The Parameters Of Absolute Orientation
*****
D =
1.0e+003 *
```

-0.0522  
-0.0000  
0.0000  
-0.0003  
1.6220  
6.9301  
-3.6324  
D =  
4.3894  
0.0019  
-0.1007  
0.6611  
66.7815  
-185.4549  
620.1055  
D =  
-5.9307  
0.0878  
0.0287  
0.0180  
-106.6487  
250.0990  
-846.5466  
D =  
-0.0166  
-0.0197  
-0.0056  
-0.0049  
-1.9079  
-3.1327  
6.8824  
D =  
-0.0016  
-0.0000  
0.0001  
-0.0001  
-0.3067  
-0.3588  
0.5584  
D =  
1.0e-004 \*  
-0.0016  
0.0002  
-0.0000  
0.0000  
-0.2182  
0.8839  
0.2380  
D =  
1.0e-008 \*

-0.0000  
-0.0002  
0.0001  
-0.0000  
-0.2355  
-0.5977  
-0.2057

D =

1.0e-012 \*  
0.0002  
0.0002  
-0.0000  
0.0000  
0.0799  
0.3359  
0.1355

\*\*\*\*\*the Final Absolute parameteres\*\*\*\*\*

DD =

1.0e+003 \*  
-0.0269  
0.0000  
-0.0000  
0.0015  
1.5809  
6.9922  
-3.8504

\*\*\*\*\*the v-matrix\*\*\*\*\*

v =

0.1289  
-0.1665  
4.5189  
-0.2217  
-0.2680  
5.6939  
0.1256  
0.3990  
-6.1518  
-0.0327  
0.0354  
-4.0610

The Residual in the check point (V-Easting, V-Northing, VHeights

vEasting =

1.0e+007 \*  
-8.7383  
-8.7627

vNorthing =

1.0e+008 \*  
1.0475  
1.0459

VHeights =

1.0e+008 \*

1.0754

1.0750

>>



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Dara Sulaiman Mustafa MUSTAFA

**Doğum Yeri ve Tarihi** : Duhok / IRAQ, 06.09.1978

**E-Posta** : darahe78@yahoo.com

### ÖĞRENİM DURUMU

- **Lisans** : 2003-2006, Baghdad Technical College, Department of Engineering Surveying.

- **Yüksek Lisans** : 2014, ASÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı.