



GNSS VERİLERİNİN İŞLENMESİ

Hazırlayan ve Derleyen: Öğr. Gör. Emre İNCE

İçindekiler

Terimler: (Terimler Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliğinden – BÖHHBÜY- alınmıştır.).....	5
Koordinat Sistemleri	6
Geometride Kullanılan İki Boyutlu Kartezyen Sistem (Yatay Düzlem).....	7
Haritacılıkta Kullanılan İki Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemi (Yatay Düzlem).....	8
Haritacılıkta Kullanılan 2 Boyutlu Kartezyen Koordinat Sisteminin Geometride Kullanılardan Farkı.	9
Reference Frame (Referans Çerçevesi - Sistemi) ve 3 Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemi.....	11
Kutupsal Koordinat Sistemi	14
Coğrafi Koordinat Sistemi.....	15
Parabol, Elips, Elipsoit ve Elips Parametreleri	16
Parabol	16
Elips	17
Elips Denklemi ve Eşitlikleri	19
Jeodezi’de Kullanılan Koordinat Sistemleri	22
Göksel Koordinat Sistemleri	23
Jeosantrik Ataletle kalan (inertial) Koordinat Sistemi (Earth – Centered Inertial Coordinate System – ECI / Yer Merkez Hareketsiz Sistem).....	24
Yersel (Terrestrial) Koordinat Sistemleri	26
Toposentrik Sistem:.....	26
Jeosantrik Yersel Koordinat Sistemi (Geocentric Terrestrial Coordinate System) / Yer Sabit Yer Merkez Koordinat Sistemi (Earth Centered Earth Fixed Coordinate System).....	28
Jeosantrik Yersel Koordinat Sisteminde (ECEF) Referans Yüzeyinin Kullanılma Nedeni	30
Jeodezik Koordinat Sistemi ile Jeosantrik Yersel Koordinat Sistemi Arasındaki Geometrik İlişki.....	32
Örnek:.....	36
Tek Değişkenli Seriler Kullanılarak Jeodezik Koordinatlardan 3 Derecelik UTM Projeksiyon Koordinatlarının Hesaplanması.....	38
Örnek:.....	41
Kullanılan Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri	42
Global Positioning System (GPS)	42
BeiDou Navigation Satellite System (BDS)	42
Galileo.....	43
Glonass	43

Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS)	43
Quasi – Zenith Satellite System (QZSS).....	43
Yeryüzündeki Bir Noktanın Küresel Navigasyon Uydu Sistemi ile Konum Bulma Mantığı	44
GNSS ÖLÇÜMLERİNDE OLUŞAN HATALAR	54
Uydu efemeris hataları:.....	54
Uydu saat hatası ve Sinyal alıcı saat hatası:	55
İyonosferik Etki:.....	55
Troposfer etkisi.....	56
Sinyal yansıma (Multipath) etkisi	59
Anten Faz Merkezi Hatası Etkisi	60
Özet	62
GNSS TEKNİĞİNDE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ (ŞEMA).....	63
GNSS Tekniğinde Ölçüm Yöntemleri	64
GNSS Ölçüm Yöntemleri ve Dikkat Edilecekler.....	64
Görelî Konum Belirleme	65
Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematic) Ölçüm Yöntemi.....	66
Klasik Gerçek Zamanlı Kinematik Ölçüm (Classical RTK)	67
GNSS Sinyal Alıcı Ön Yüzündeki Semboller ve Anlamları.....	70
Sabit GNSS Sinyal Alıcının Kurulması	71
Gezici GNSS Sinyal Alıcının Kurulması.....	75
Ağ Gerçek Zamanlı Kinematik Ölçüm (Continuously Operating Reference Station - CORS)	78
Ağ-RTK Gezici Sinyal Alıcının Kurulması.....	87
Statik Ölçü Yöntemi	91
Statik Ölçüm Yönteminde Ölçüm Aşamaları:.....	93
Statik Ölçüm GNSS Sinyal Alıcının Kurulumu	96
Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğinde Statik Ölçüm Yöntemi ile ilgili Maddeler:	97
Statik Ölçüm Yöntemiyle Elde Edilen Konum Doğruluğunun, RTK Ölçüm Yöntemiyle Elde Edilen Konum Doğruluğuna Göre Daha Hassas Olması Sebepleri	98
Statik ölçüm Yöntemiyle Koordinatları Bulunacak Kontrol Noktalarının Yerlerinin Belirlenmesinde Dikkat edilecekler	99
Statik Ölçüm Yöntemi ile Elde Edilen Ölçümlerin Değerlendirme Aşamaları:.....	99

Statik Ölçüm Yönteminde Kullanılan Yazılım Teknolojileri.....	102
Leica Geo Office Programı Kullanılarak Statik Ölçümlerin Değerlendirilmesi.....	103
Precise Ephemeris (Hassas Gökgünlüğü) Elde Edilmesi	103
Ephemeris (Hassas Gök günlüğü) Dosyalarının İndirileceği İnternet Siteleri	107
GPS ve Glonass Uyduları İçin Ephemeris (Gök günlüğü) dosya Türleri	107
Yeni Efemeris Dosya İsimlendirmesine Göre Hassas Efemeris Dosyalarının Elde Edilmesi	110
Güncel Anten Bilgilerinin Elde Edilmesi.....	115
Anten Bilgisinin Önemi	115
Projeksiyon Tanımlaması.....	118
Koordinat Sistemi Tanımlaması	120
Proje Açılması ve Ham Verilerin Eklenmesi.....	121
Rinex Veri Formatındaki Bir Dosya Adı ve Dosya Tipi.....	123
Ephemeris dosyalarının eklenmesi.....	130
İşlem Öncesi Parametrelerin Belirlenmesi	131
Ölçüm Noktasının Yüksekliğinin Değiştirilmesi.....	135
Tek Nokta Değerlendirmesi (Single Point Positioning - SPP).....	136
Baz Çözümü	137
İLK AŞAMA	138
İkinci Aşama.....	140
Baz Oluşturmada Son Aşama	145
Dengeleme Aşaması (Serbest Dengeleme Yapılması)	147
İşlem adımları	148
Sabit Noktaların Ölçüm Epoğuna Kaydırılması	150
2005.0 Referans Epoğuna Kaydırılmış Sabit Noktaların Yeni Projeye Eklenmesi.....	152
Uyuşum Testinin Yapılması (Datum Dönüşümünün Yapılması)	154
Dayalı Dengeleme Yapılması	160
Statik Ölçüm Verilerinin Web Tabanlı Servisler ile Değerlendirilmesi.....	160
Kontrol Noktalarının Sınıflandırılması MADDE 8 (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, 2018)	161
C1, C2, C3 ve C4 Derece Ağ Noktaları, Tesislerinin Yapılması, GNSS Sinyal Alıcılarıyla Ölçümleri ve Ölçümlerinde Dikkat Edilecekler	161
C1 Derece Kontrol Noktaları.....	161
C1 derece ana GNSS ağının oluşturulması (BÖHHBÜY MADDE 11)	161
C1 noktası için yer seçimi (BÖHHBÜY-MADDE 12).....	162

C1 noktasının tesisi (BÖHHBÜY - MADDE 13).....	162
C1 noktalarının GNSS tekniğiyle ölçülmesi (BÖHHBÜY- MADDE 14).....	163
C2 Derece Kontrol Noktaları.....	165
C2 derece sıklaştırma GNSS ağının oluşturulması MADDE 16.....	165
C2 noktası için yer seçimi MADDE 17	165
C2 noktasının tesisi MADDE 18-	165
C2 noktalarının GNSS tekniğiyle ölçülmesi MADDE 19-	167
C3 Derece Kontrol Noktaları.....	167
C3 derece GNSS ağının oluşturulması MADDE 22-	167
C4 Derece Kontrol Noktaları.....	168
GNSS tekniğiyle poligon ölçmeleri MADDE 27-	168
Kontrol Noktalarına Nokta Numarası (Adı) Verilme Standarttı	169
Numaralandırma (BÖHHBÜY - MADDE 9)	169
Nokta türlerine göre numaralama	169
a) C1 noktaları:	169
b) C2 noktaları:	169
c) Alım için sıklaştırma noktaları:.....	169
e) Poligon noktaları:	169
Kaynakça.....	170

Terimler: (Terimler Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliğinden – BÖHHBÜY- alınmıştır.)

ETRF (European Terrestrial Reference Frame): Avrupa Yersel Referans Çerçevesi.

GNSS (Global Navigation Satellite Systems): Küresel Seyrüsefer Uydu Sistemleri (GPS, GLONAS, GALILEO ve benzeri).

GRS80 (Geodetic Reference System-1980): Jeodezik Referans Sistemi 1980. (Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliğinin 1979 yılında benimsediği aşağıda geometrik ve fiziksel parametreleri verilen referans elipsoidi (Plag, 2006):

$a = 6378137.0$ m (Dünyanın ekvator dairesinin yarıçap değeri),

$b = 6356752.3141$ m (küçük yarı eksen – kutup yarıçapı)

$e^2 = 0.00669438002290$ (birinci eksentrisite değeri),

$f = 1/298.257222101$ (basıklık değeri),

$J_2 = 0.00108263$ (dinamik form faktörü),

$\omega = 7292115 \times 10^{-11}$ rad s⁻¹ (Dünyanın açısal hızı),

$GM = 398600.5 \times 10^9$ m³ s⁻² (Yer merkezli yer çekim sabiti).

GZK: Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK = Real Time Kinematik)

ITRF (International Terrestrial Reference Frame): Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi.

ITRF 96: 1996 yılında güncellenmiş ITRF = Datum

RINEX (Receiver Independent Exchange Format): Alıcıdan Bağımsız Değişim Formatı

TUDKA-99 (Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999): I. ve II. derece nivelman ağının gravite ölçüleri ile birlikte Antalya ortalama deniz seviyesine (sıfır yüzeyi) göre 1999 yılında dengelemesiyle belirlenen Helmert ortometrik yüksekliklerinden oluşan düşey referans çerçevesi.

TUREF: Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (Koordinatları ITRF96 ile 2005.0 referans epoğunda çakışık ve koordinatlarının zamana göre doğrusal değişimi -hızlar- ITRF96'nın Sıfır Net -Dönüklüğüne (No-Net-Rotation) göre tanımlı dört boyutlu ulusal datumdur.]

TUSAGA-Aktif: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif (GZK hizmeti veren GNSS Ağı)

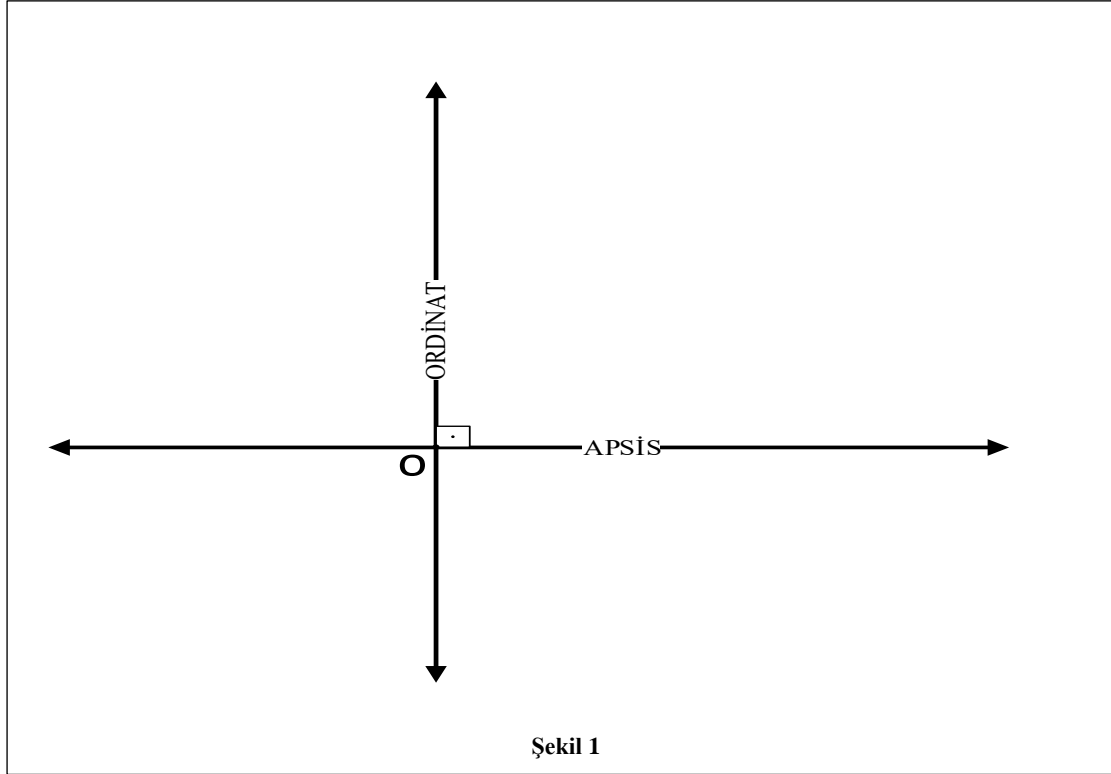
TUTGA: Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı

BÖHHBÜY: Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliği.

Koordinat Sistemleri

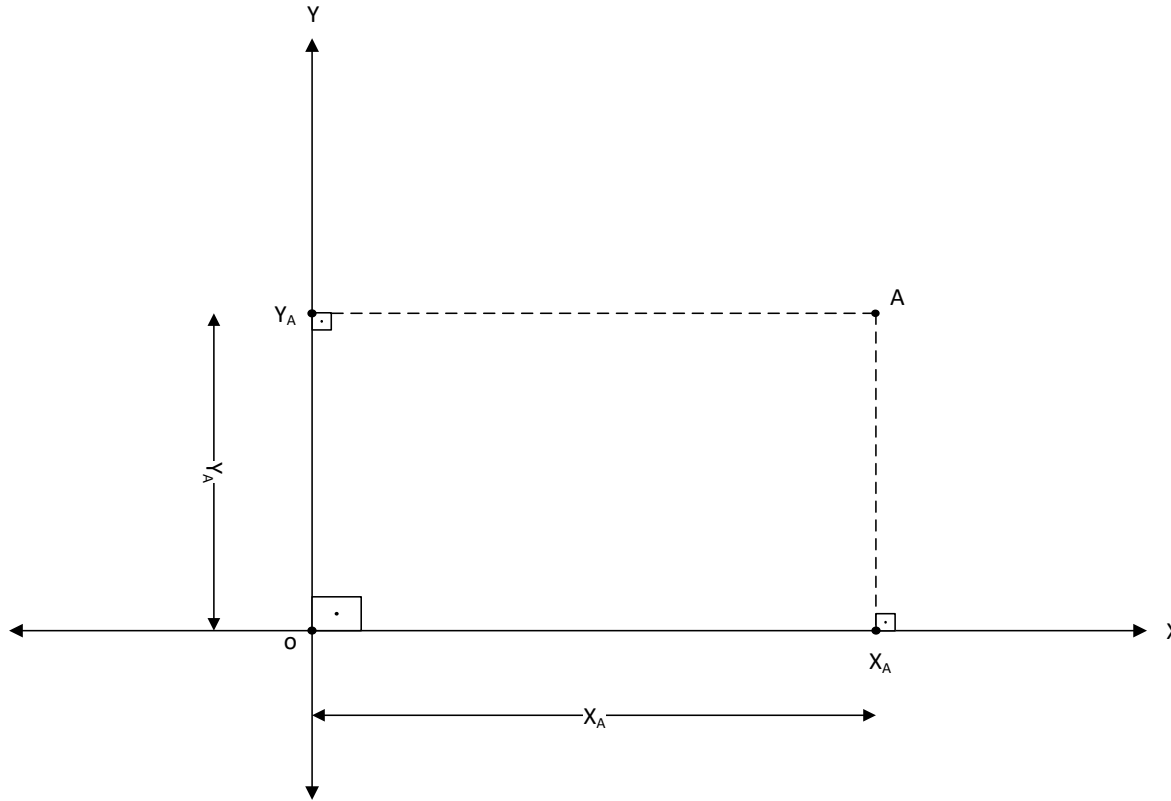
Fransız Filozof ve matematikçi olan René Descartes, uzaydaki bir noktayı numaralar seti olarak işaretleyebilmeyi ve cebirsel denklemleri iki boyutlu koordinat sisteminde geometrik şekiller olarak göstermeyi (ve tam tersini) sağlayan Kartezyen koordinat sistemini bulmuş ve ismini vermiştir (Makshud, 2017).

Koordinat, bir yüzey üzerinde veya uzayda bir noktanın yerini bulmaya yarayan veridir (Türk Dil Kurumu, 2019). Bir noktanın bir düzlem üzerindeki konumu, koordinat eksenleri olarak anılan birbirleriyle dik kesişen (kesiştikleri nokta orijin olarak adlandırılır) koordinat eksenleriyle belirlenir (Makshud, 2017). Bir diğer deyişle nokta konumu, Descartes'in tanımladığı 2 boyutlu Kartezyen koordinat sistemi üzerinde belirlenir.



Şekil 1 birbirleriyle dik kesişen eksenlerin oluşturduğu koordinat sistemini tasvir etmektedir. O noktası iki eksenin kesişim yeri olan orijin noktasını temsil eder. Sağa ve sola doğru yön belirten (kuvvet değerleri) eksen *Apsis*; yukarı ve aşağıya yön belirten eksen *Ordinat* olarak adlandırılır. Apsis eksenini orijin noktasından itibaren sağa doğru pozitif değerli şekilde artarken, ordinat eksenini orijin noktasından itibaren yukarı doğru pozitif değerli artış gösterir.

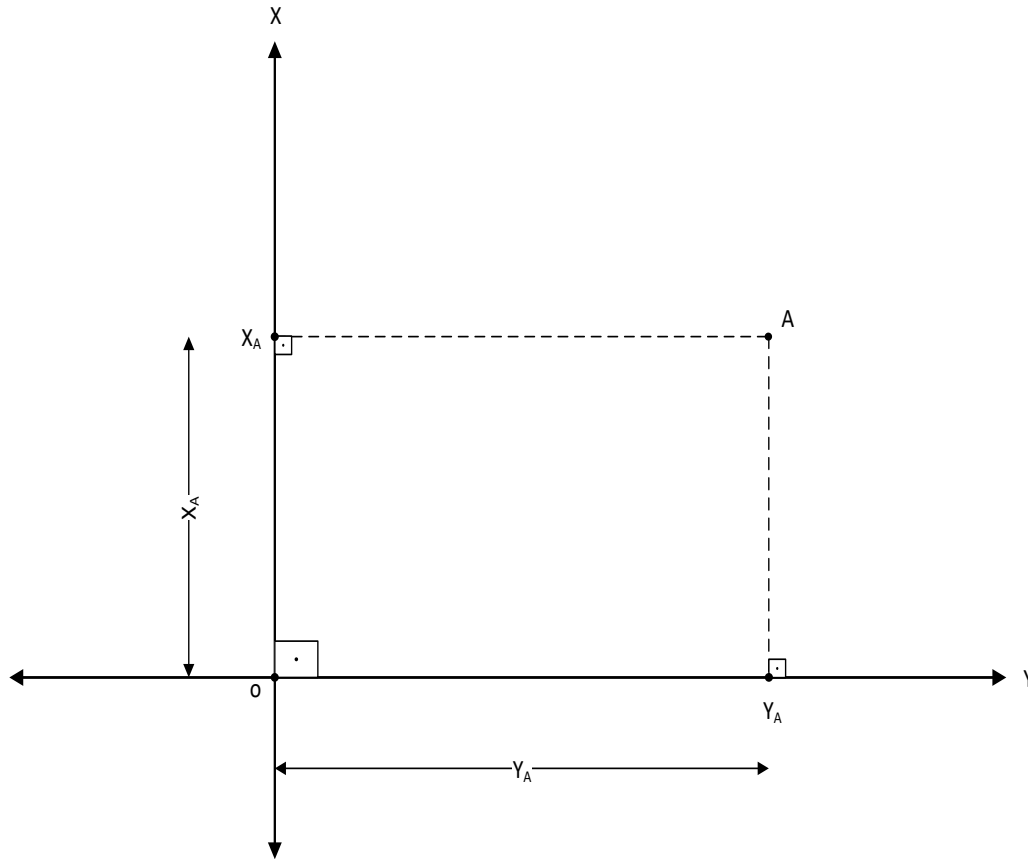
Geometride Kullanılan İki Boyutlu Kartezyen Sistem (Yatay Düzlem)

GEOMETRİDE KULLANILAN İKİ BOYUTLU KARTEZYEN SİSTEM
(YATAY DÜZLEM)

Şekil 2

Şekil 2 Geometride kullanılan iki boyutlu Kartezyen koordinat sistemini tasvir etmektedir. Kartezyen kelimesi eksenlerin birbirine dik olmasını ifade eder. İki boyutlu Kartezyen koordinat sistemi aynı zamanda yatay düzlem olarak adlandırılır. Şekil 2 tasvirinde ordinat eksenini Y ile Apis eksenini X ile gösterilmektedir. Şekil 2 tasvirinde yatay düzlemdeki bir A noktasının konum değerini ifade eden koordinatlar olan X_A ve Y_A değerlerinin, A noktasından eksenlere inilen diklerle oluştuğu görülmektedir. X_A ve Y_A koordinat değerleri A noktasının her bir ekseninde orijin noktasına olan uzaklığıdır. Koordinat değerleri metre uzunluk biriminde ifade edilir.

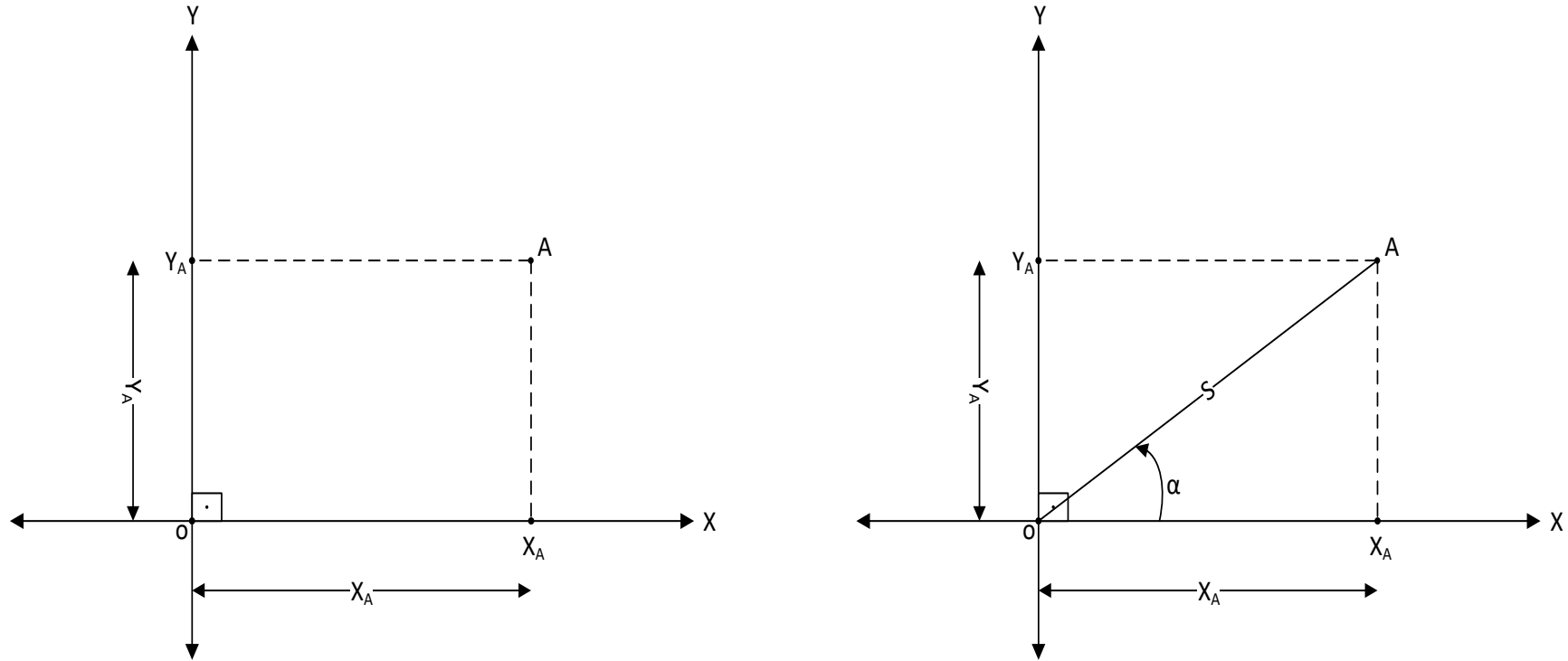
Haritacılıkta Kullanılan İki Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemi (Yatay Düzlem)

HARİTACILIKTA KULLANILAN İKİ BOYUTLU KARTEZYEN KOORDİNAT SİSTEMİ
(YATAY DÜZLEM)

Şekil 3

Şekil 3 Haritacılıkta kullanılan iki boyutlu Kartezyen koordinat sisteminin tasviri vardır. Geometride kullanılan koordinat sisteminden farklı olarak sağa doğru artan koordinatlar Y ekseninde; yukarı doğru artan koordinatlar X ekseninde gösterilmektedir. Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde geometride kullanılan Kartezyen koordinat sistemi ile haritacılıkta kullanılan Kartezyen koordinat sistemi arasındaki fark daha kolay anlaşılacaktır. Haritacılıkta kullanılan takeometrik ölçüm aletlerinde oluşan yatay düzlemde ki yatay açının artışı saat yönünde olduğu için sadece X ile Y eksenlerinin yerleri değişmiştir. Açı her iki sistemde de X ekseninden Y eksenine doğru artmaktadır.

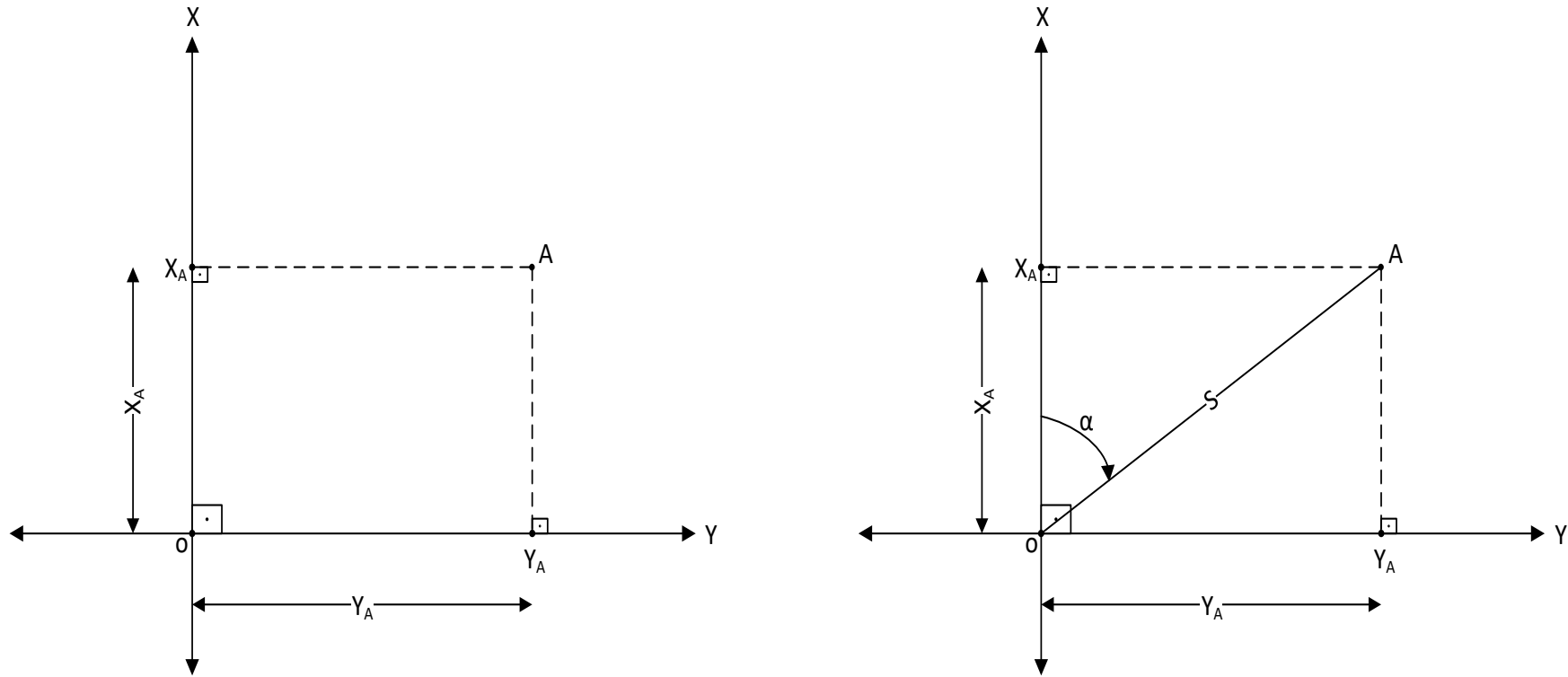
Haritacılıkta Kullanılan 2 Boyutlu Kartezyen Koordinat Sisteminin Geometride Kullanılından Farkı

GEOMETRİDE KULLANILAN İKİ BOYUTLU KARTEZYEN KOORDİNAT SİSTEMİ
(YATAY DÜZLEM)

Açı saatin ters yönünde, X ekseninden Y eksenine doğru artıyor.

Şekil 4

HARİTACILIKTA KULLANILAN İKİ BOYUTLU KARTEZYEN KOORDİNAT SİSTEMİ (YATAY DÜZLEM)

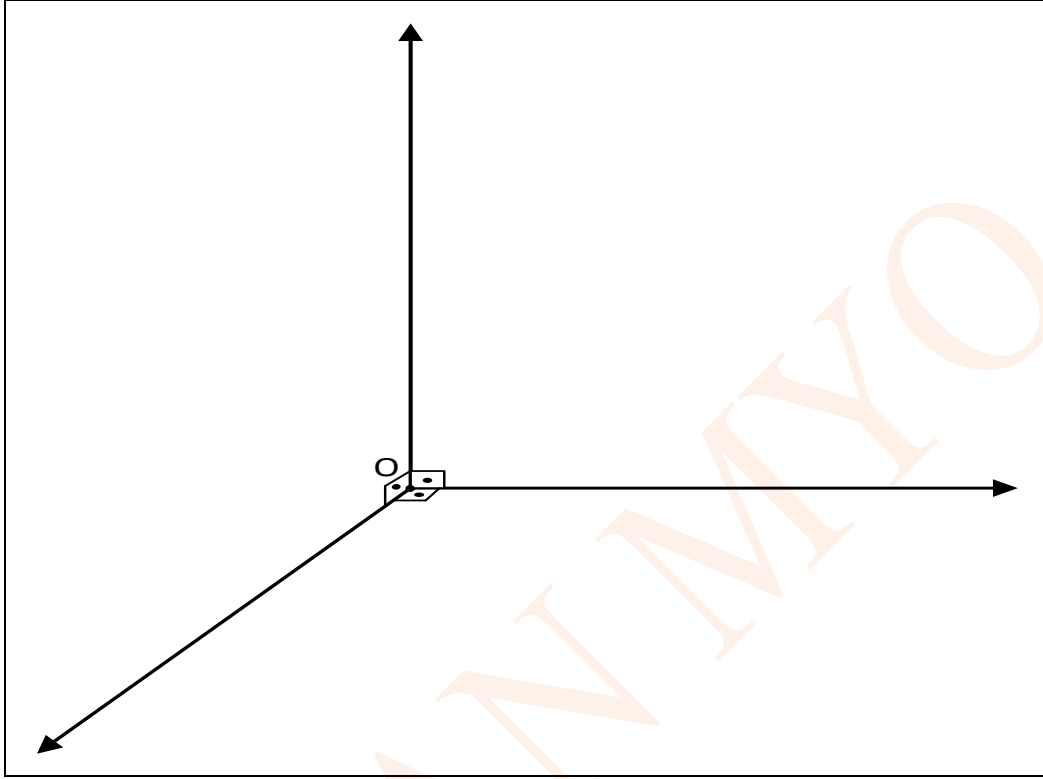


Açı saat yönünde ve X ekseninden Y eksenine doğru artıyor.

Şekil 5

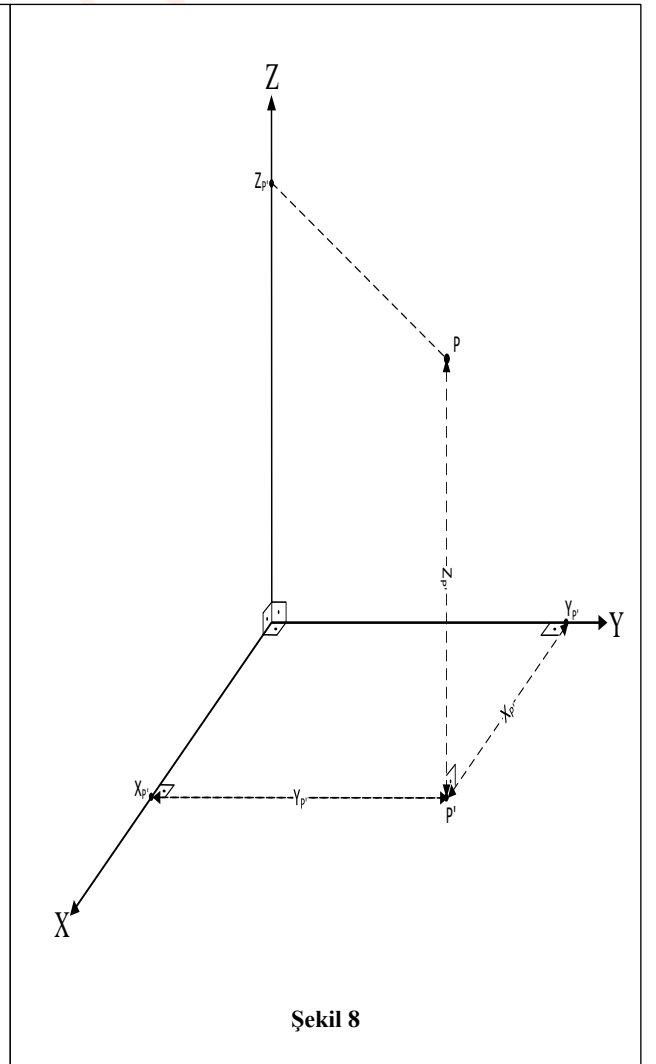
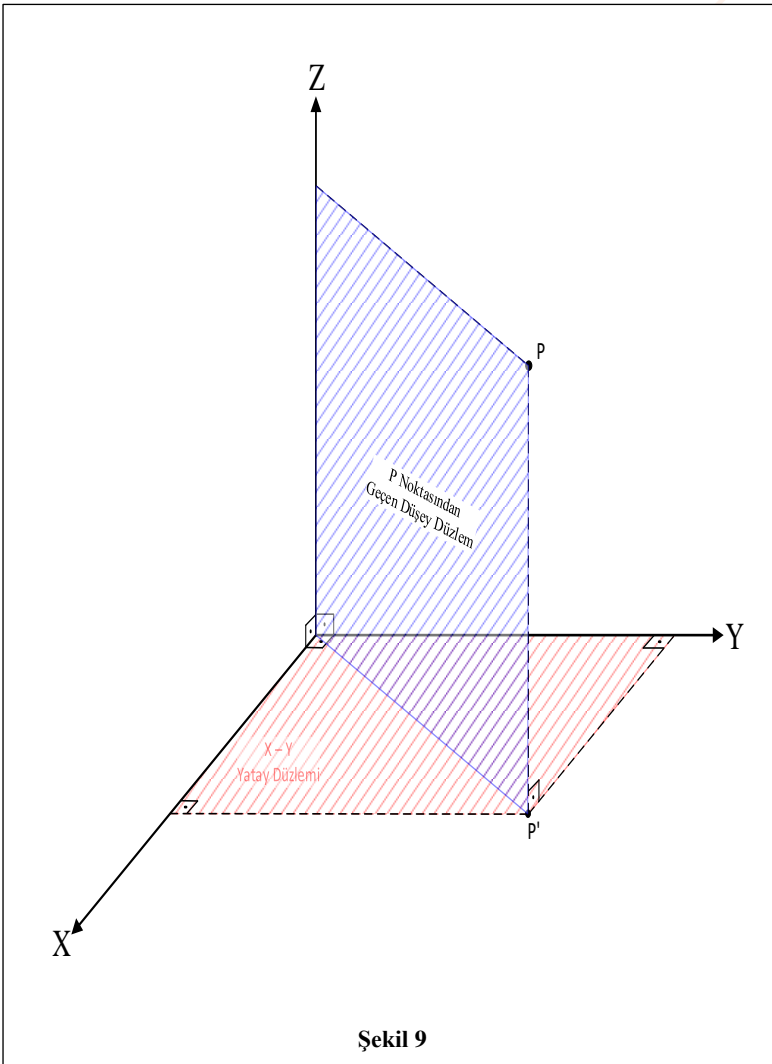
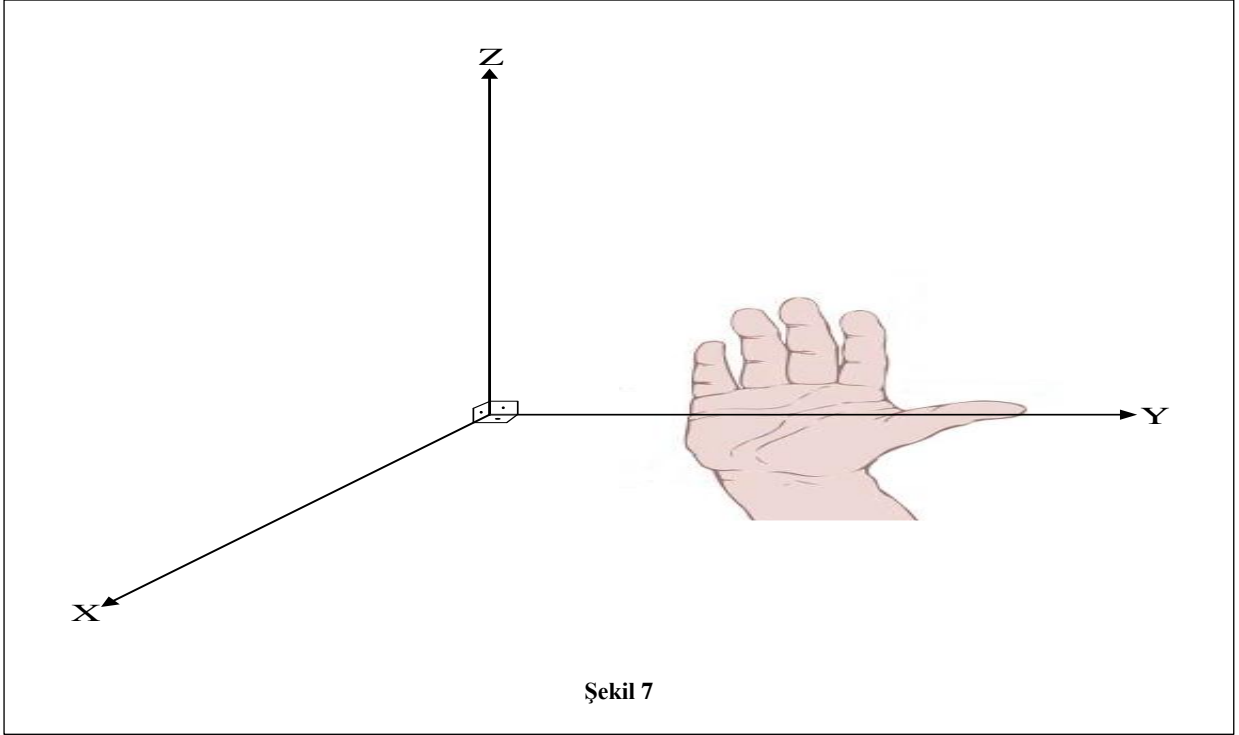
Reference Frame (Referans Çerçevesi - Sistemi) ve 3 Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemi

Referans çerçevesi, objelerin 3 boyutlu uzaydaki hareketini algılamada kullanılan bir fiziki tabiridir.



Şekil 6 Referan Çerçevesi tasviri

Coğrafik objeleri sadece 2 boyutlu bir koordinat sistemi ($X - Y$ yatay düzlemi) kullanarak gerçekteki konum değerlerini belirleyemeyiz. Nokta konum değerlerini ifade etmek için 3 boyutlu Kartezyen koordinat sisteminin kullanılması gerekir. Referans çerçevesi 3 boyutlu Kartezyen koordinat sisteminin şeklini oluşturmaktadır. Şekil 6 koordinat sisteminin eksenleri belirtilmeden tasvir edilmiştir. Eksenler sağ el kuralına göre belirlenir. Şekil 7 sağ el kuralına göre referans çatısında koordinat eksenlerinin tanımlanması için kullanımı tasvir etmektedir. *Sağ el kuralına göre, el avuç içi Y eksenini kavrayacak ve sağ el baş parmağı Y eksenini artış yönünü gösterecek şekilde yerleştildiğinde diğer eksenlerin artış yönleri belirlenmiş olacaktır.* X eksenini, Y eksenine dik olacak şekilde aynı düzlemde oluştur. Z eksenini X ve Y eksenlerinin kesişim noktası olan O (orijin noktası) noktasından, X ve Y eksenlerinin oluşturduğu yatay düzleme dik olacak şekilde oluştur (Şekil 7). Z eksenini kullanıma göre düşey doğrultu, Nadir, çekül doğrultusu olarak da adlandırılır.

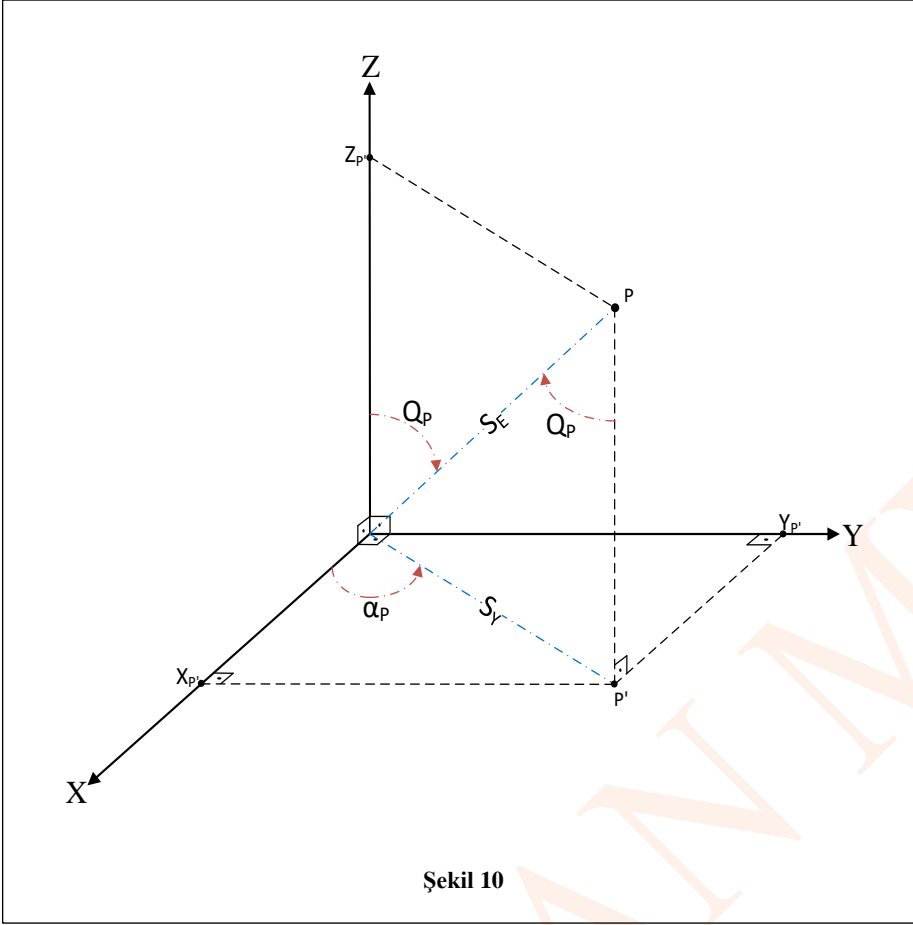


Şekil 9, 3 boyutlu Kartezyen koordinat sisteminde bir P noktasının koordinatlarının eksenler üzerindeki temsili yapılmıştır. Şekil 8 incelendiğinde koordinat sisteminde P noktasının eksenler üzerindeki koordinatlarını bulabilmek için iki farklı düzlem kullanılmıştır. Z eksenini üzerindeki koordinatı bulabilmek için P noktasından geçen düşey düzlem kullanılmıştır. P noktasından geçen düşey düzlemde P noktasından Z eksenine dik inilmiştir. X ve Y eksenini üzerindeki koordinatları bulabilmek için P noktasından, X – Y eksenlerinin oluşturduğu yatay düzleme dik inilmiş ve yatay düzlemi kestiği nokta olan (Şekil 8’de P' noktası) P' noktasından X ve Y eksenlerine dik inilerek P noktasının yatay koordinatları elde edilmiştir. 3 Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemi, haritacılıkta noktaların harita düzlemine aktarılması için, ölçüm yapılan yeryüzündeki referans noktası koordinat sisteminin başlangıcı olacak şekilde ve dünyanın ağırlık merkezini koordinat sisteminin merkezi olacak şekilde tüm dünyada temel bir koordinat sistemi olacak şekilde ayrı ayrı kullanılmaktadır.



Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliği (BÖHHBÜY) Madde 10, Türkiye’de kullanılan referans çerçevesinin Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi olarak tanımlanmış ve parametrelerini belirlemiştir.

Kutupsal Koordinat Sistemi



Şekil 10

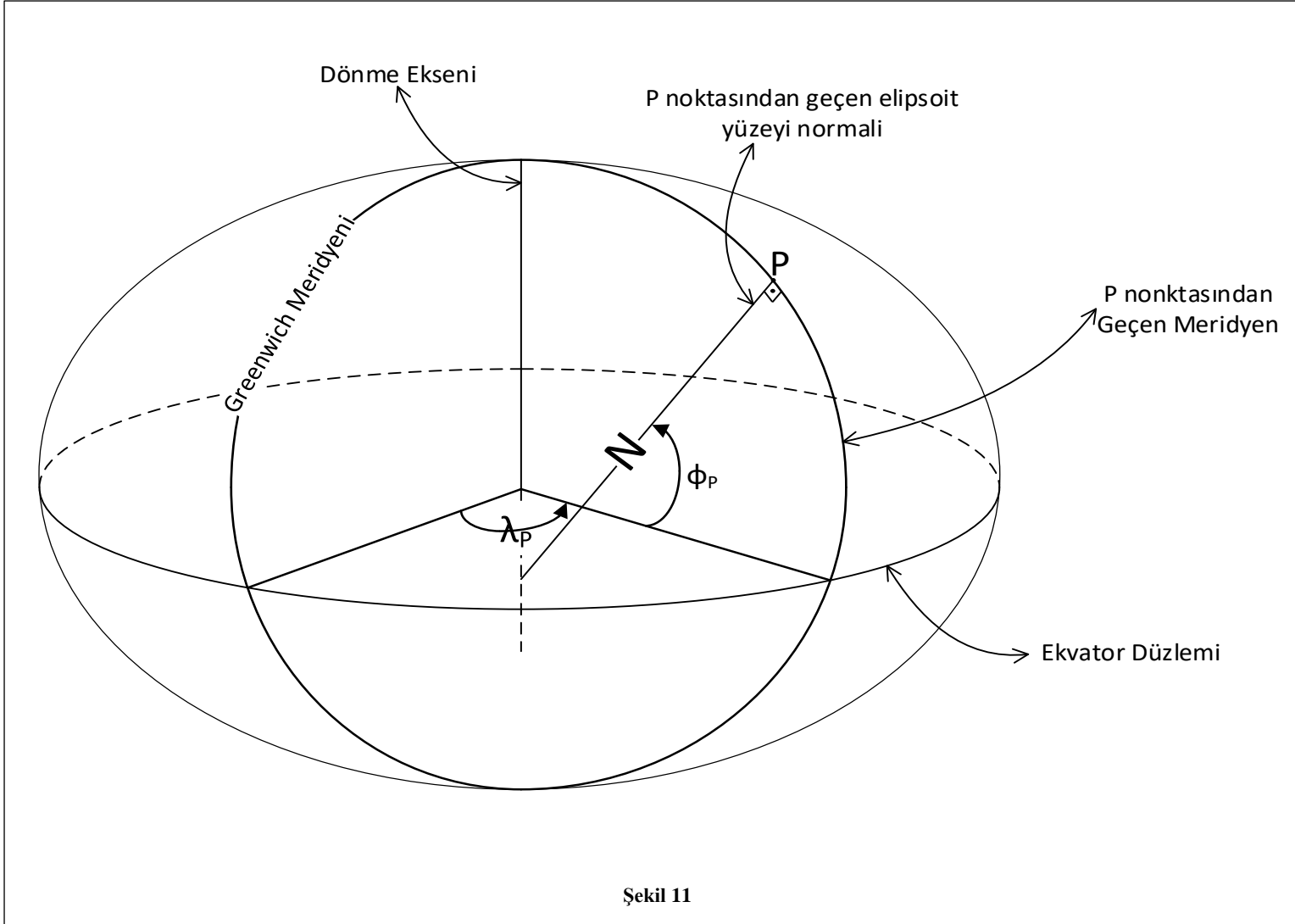
Şekil 10 kutupsal koordinat sistemine göre P noktasının koordinat parametrelerini göstermektedir. P noktasının kutupsal koordinat sistemine göre yatay düzlemdeki koordinatları α_P yatay açısı (semt açısı) ve S_Y yatay mesafesidir. P noktasının kutupsal koordinat sistemine göre düşey düzlemdeki koordinat parametreleri Q_P düşey açısı ve S_E eğik mesafesidir. Kutupsal koordinat sistemi noktaların zeminde tespit edilmeleri (aplikasyon işlemi - yer tespiti) için kullanılan sistemdir. Bu işleme haritacılıkta nokta aplikasyonu denilmektedir.

3 Boyutlu Kartezyen koordinat sistemi ile Kutupsal koordinat sistemi arasında ki bağlantı:

$$\begin{aligned} S_Y &= S_E * \sin Q_P \\ X_{P'} &= S_Y * \cos(\alpha_P) \\ Y_{P'} &= S_Y * \sin(\alpha_P) \\ Z_P &= S_E * \cos(Q_P) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_Y &= \sqrt{(X_{P'}^2 + Y_{P'}^2)} \\ Q_P &= \tan^{-1}(S_Y/Z_P) \\ \alpha_P &= \tan^{-1}(Y_{P'}/X_{P'}) \end{aligned}$$

Coğrafi Koordinat Sistemi



Şekil 11 Coğrafi koordinat sisteminin döl elipsoit yüzeyi üzerindeki tasviridir. Dünya yerine referans yüzey olarak en uygun düzgün geometrik yüzey döl elipsoittir. Sonraki konularda ki anlatımlarda paralellik sağlaması için Coğrafi Koordinat sistemini ifade etmek amacıyla tasvirde döl elipsoit seçilmiştir. Coğrafi koordinat sisteminde koordinat parametreleri enlem (ϕ) ve boylam (λ) değerlerinin derece açı birimindedir. Alman literatüründe enlem “Breite” (enlem) ve “Länge” (Boylam) kelimelerinin baş harfleri kullanılarak *B* ve *L* harfleriyle de ifade edilir (TORGE, 1991). P noktasının Enlem koordinatı (ϕ_P), P noktasından geçen meridyen yüzeyi üzerinde ki, P noktasının elipsoit normalinin ekvator düzlemi arasındaki açı değeridir.

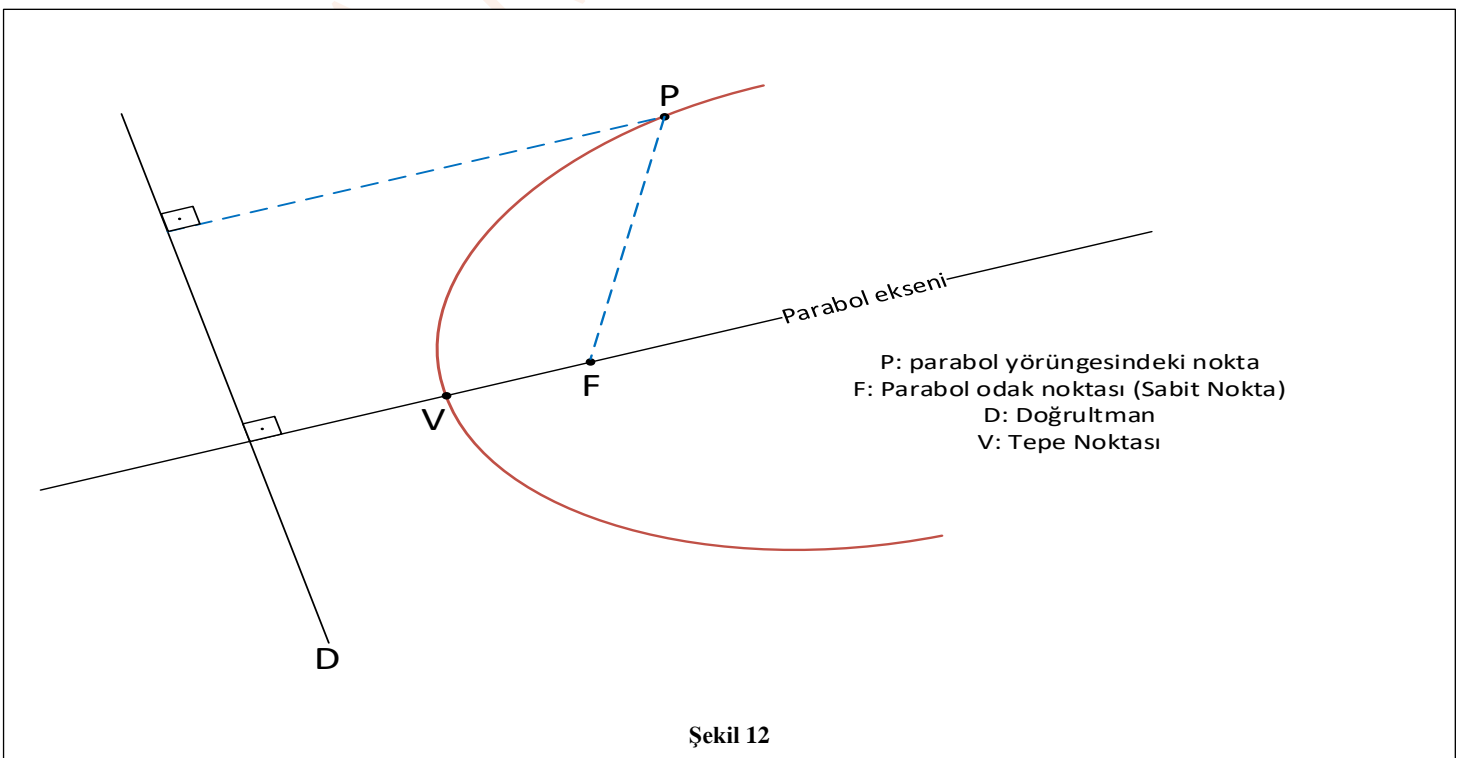
P noktasının Boylam Koordinatı (λ_P), boylam koordinatının başlangıç meridyen düzlemi olarak kabul edilen Greenwich Meridyen düzlemi ile P noktasından geçen meridyen düzleminin arasında kalan ekvator düzlemindeki açı değeridir. Enlem koordinatları ekvator düzleminde 0° (sıfır derece) değeri olacak şekilde bu düzlemden itibaren kuzeye doğru pozitif (+) olarak artarken, güneye doğru negatif (-) değer fakat mutlak artış gösterir. Enlem değerleri, 0° ile $+90^\circ$ aralığında kuzey enlem; 0° ile -90° aralığında güney enlem değerleri arasındadır. Boylam koordinatları Greenwich başlangıç meridyeni 0° (sıfır derece) değeri olacak şekilde bu düzlemden doğuya doğru pozitif (+) olarak artarken, batıya doğru negatif (-) değer fakat mutlak artış gösterir. Boylam değerleri 0° ile $+180^\circ$ aralığında doğu boylam; 0° ile -180° aralığında batı boylam değerleri arasındadır.

Şekil 11 dünya yerine referans yüzeyi olarak kullanılan dönел elipsoidin temsili şeklini vermiştir. Şekil de dikkat edilmesi gereken P noktasının dönел elipsoit üzerinde olmasıdır. P noktasının düzlem harita üzerine aktarılması için bir projeksiyon kullanılması gerekecektir. Projeksiyon işlem aşamalarında matematiksel ve geometrik işlem adımlarında elipse dair bazı detaylı bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. Bir sonraki konuda elipse dair bilgiler aktarılacaktır.

Parabol, Elips, Elipsoit ve Elips Parametreleri

Harita yapımı amaçlı kullanılan projeksiyonlarda geoit yerine kullanılan referans yüzeyi elipsoit, düzgün geometrik şekillerden elipsin bir türevidir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde kullanılan referans elipsoidi seçimi, tanımlanan yerel geoitten etkilenmiştir, fakat büyük ölçekli harita projeksiyonları geoit değil referans elipsoidine uyacak şekilde tasarlanmıştır (Snyder, 1987). Hesaplamalarda kullanılacak elipsoit için ilk önce düzgün geometrik şekil olan elipsin nasıl oluştuğunu elipse dair parametrelerin kullanım amaçlarının bilinmesi gereklidir.

Parabol



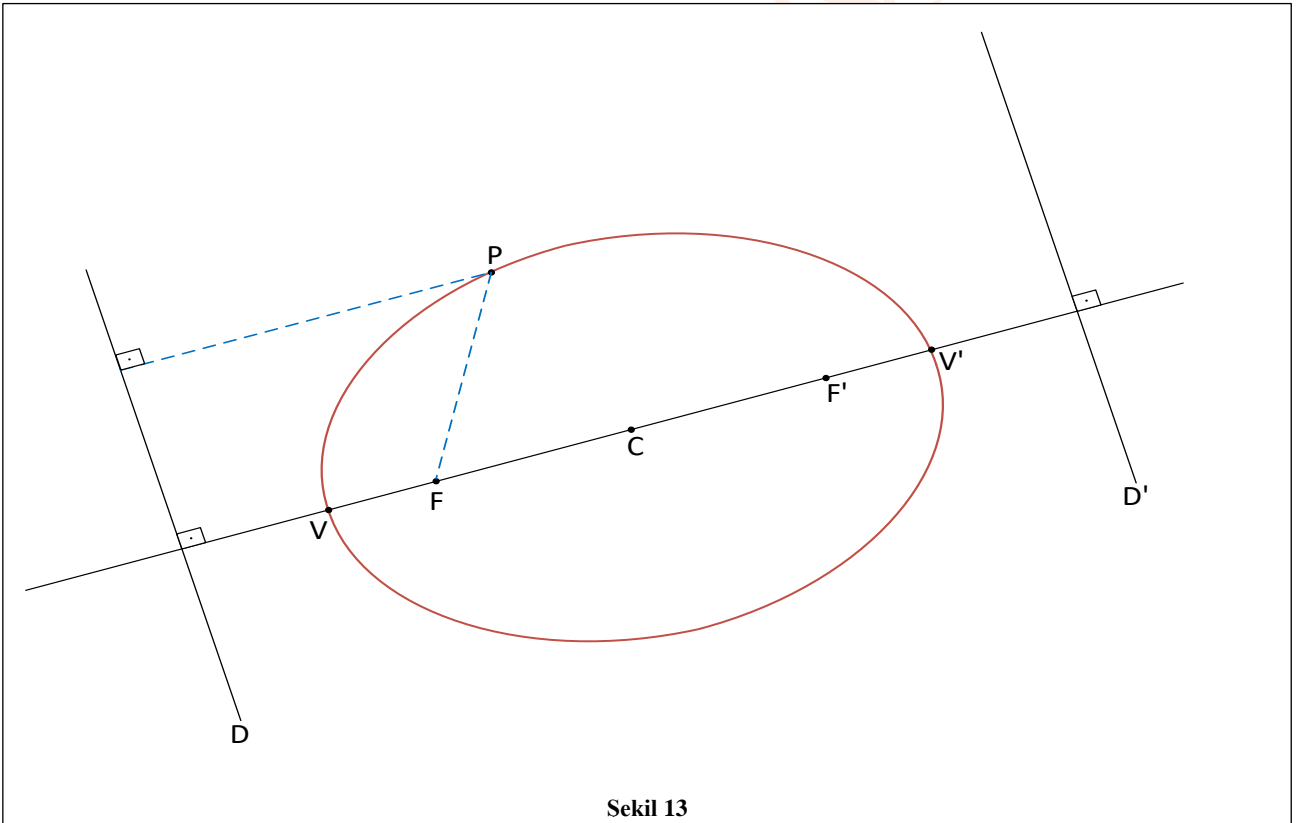
Şekil 12

Parabol, yörünge (kırmızı renkli çizgi) üzerinde ki noktanın (Şekil 12 P noktası) sabit bir noktaya (Şekil 12 F noktası) olan **uzaklığı** ile P noktasının sabit bir doğrultmana (Şekil 12 D doğrultmanı) olan dik inme değeri (Şekil 12 mavi kesik kesik olan çizgi) **uzaklığının oranı 1** (Bir) olduğu sürece hareket etmesiyle oluşan düzgün geometrik şekildir (Vossler, 1981). P noktasının, F noktasına olan uzaklığı ile D doğrultmanına olan dik inmesinin mesafesinin oran değeri her daim 1 olacak şekilde hareketiyle parabol şekli ortaya çıkacaktır. Oran *E* harfi ile gösterilir ve eksentrisite (dış merkezlik) olarak adlandırılır.

$$e = \frac{\overline{PF}}{\overline{PD}} = \text{Eksentrisite} = \text{Eccentricity}$$

F odak noktasından çıkan ve D doğrultmanını dik kesen doğruya parabol eksenidir. Bu doğrunun parabol yörüngesini kestiği noktaya (V = vertex) düğüm noktası veya tepe noktasıdır.

Elips



Sekil 13

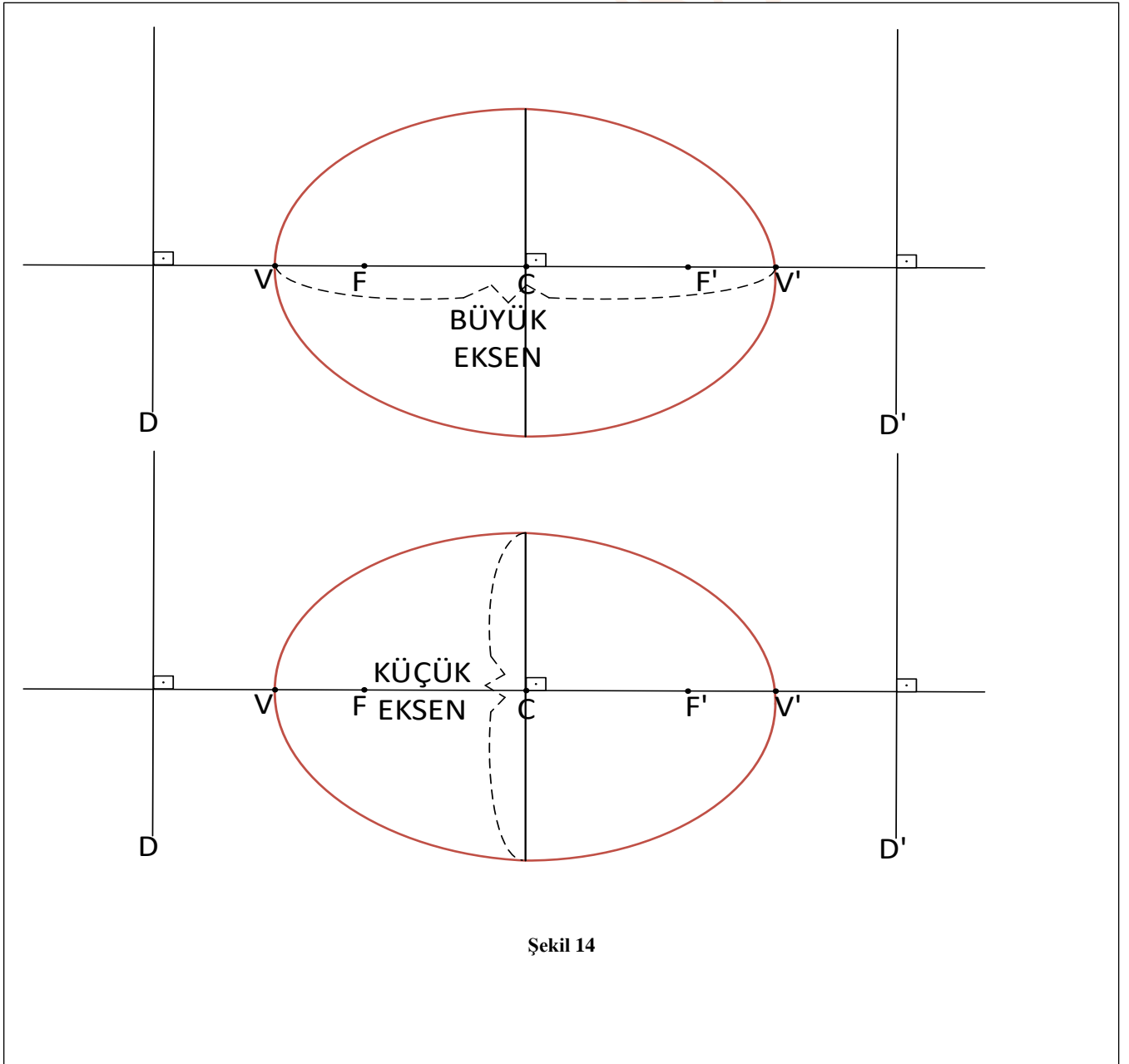
Elips, yörünge (Şekil 13 kırmızı renkli çizgi) üzerinde ki noktanın (Şekil 13 P noktası) sabit bir noktaya (Şekil 13 F noktası) olan **uzaklığı** ile P noktasının sabit bir doğrultmana (Şekil 13 D doğrultmanı) olan dik inme (Şekil 13 mavi kesik kesik olan çizgi) **değerinin oranı** (bir değerinden küçük sabit bir pozitif sayı) korunduğu sürece hareket etmesiyle oluşan düzgün geometrik şekildir (Vossler, 1981). Tanım incelendiğinde parabol ile benzerlik gösterdiği görülecektir. Parabolden farklı olarak oran

değeri yani $e = \text{eksantrisite}$ değeri 1'den küçük ve pozitif bir **sabit** sayıdır ($e < 1$). *Eksantrisite, elipsoidin ne kadar yuvarlaklaştığının bir ölçüsüdür. Bir çemberin eksantrisite değeri sıfırdır.*

$$0 < e = \frac{\overline{PF}}{\overline{PD}} < 1$$

P noktası, E eksantrisite oranına sabit kalacak şekilde hareket ettiğinde oluşan elips yörüngesi, F odak noktasından D doğrultmanına olan dik doğrultuyu V noktasından keser, eş zamanlı olarak Şekil 13'de görüldüğü gibi \overline{FD} vektör doğrultusunu V' tepe (düğüm) noktasında da keser. Oluşan VV' elips kirişi, **elips büyük eksen** olarak adlandırılır. Ana eksen boyunca F odak noktasının simetrisi F' odak noktası ve D' doğrultmanı oluşur. Oluşan bu simetrik F' odak noktası ve D' doğrultmanı sayesinde elips ortaya çıkacaktır. $\overline{FF'}$ ve VV' elips kirişi orta noktası C noktasıdır. C noktası elipsin merkezidir.

Odak noktaları olan F ve F' odak noktalarından geçen aynı zamanda V ve V' düğüm noktalarından geçen elipsin büyük eksenine dik olacak şekilde C noktasından geçen kirişte küçük eksen olarak adlandırılır (Şekil 14).



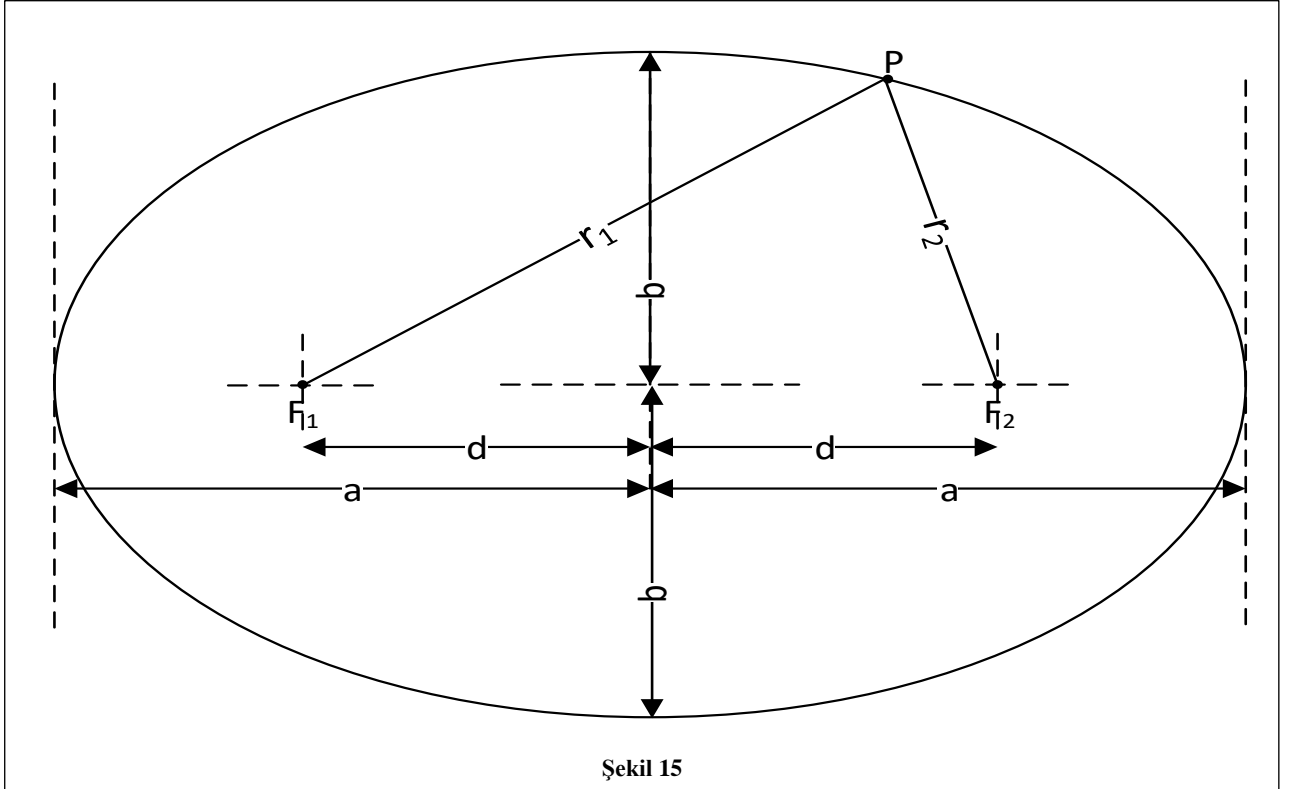
Şekil 14

Elips Denklemi ve Eşitlikleri

Şekil 15 bir elips düzgün geometrik şekline ait temel uzunlukları göstermektedir. P elips şekli (yörüngesi) üzerindeki bir noktayı göstermektedir. F_1 ve F_2 olarak ifade edilen odak noktalarının büyük eksen üzerinde elips merkezine uzaklığı d (liner/doğrusal eksentrisite) olarak ifade edilmiştir. Büyük eksen elips merkezi dikkate alınarak ikiye bölündüğünde yarı eksenin mesafe değeri a ile ifade edilmiştir. Küçük eksen elips merkezi dikkate alınarak ikiye bölündüğünde yarı eksenin mesafe değeri b ile ifade edilmiştir. Elips yörüngesi üzerindeki herhangi bir P noktasından elipsin odak noktalarına olan uzaklıkların toplamı:

$$\overline{PF_1} = r_1 \quad r_1 + r_2 = 2 * a$$

$$\overline{PF_2} = r_2$$



Şekil 16 incelendiğinde elipse ait a , b ve d parametreleri arasında ki bağıntıya bakıldığında:

$$a^2 = b^2 + d^2$$

$$d^2 = a^2 - b^2$$

$$d = \sqrt{a^2 - b^2}$$

$$e = \text{birinci eksentrisite} = \frac{d}{a} = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} = \sin(\omega)$$

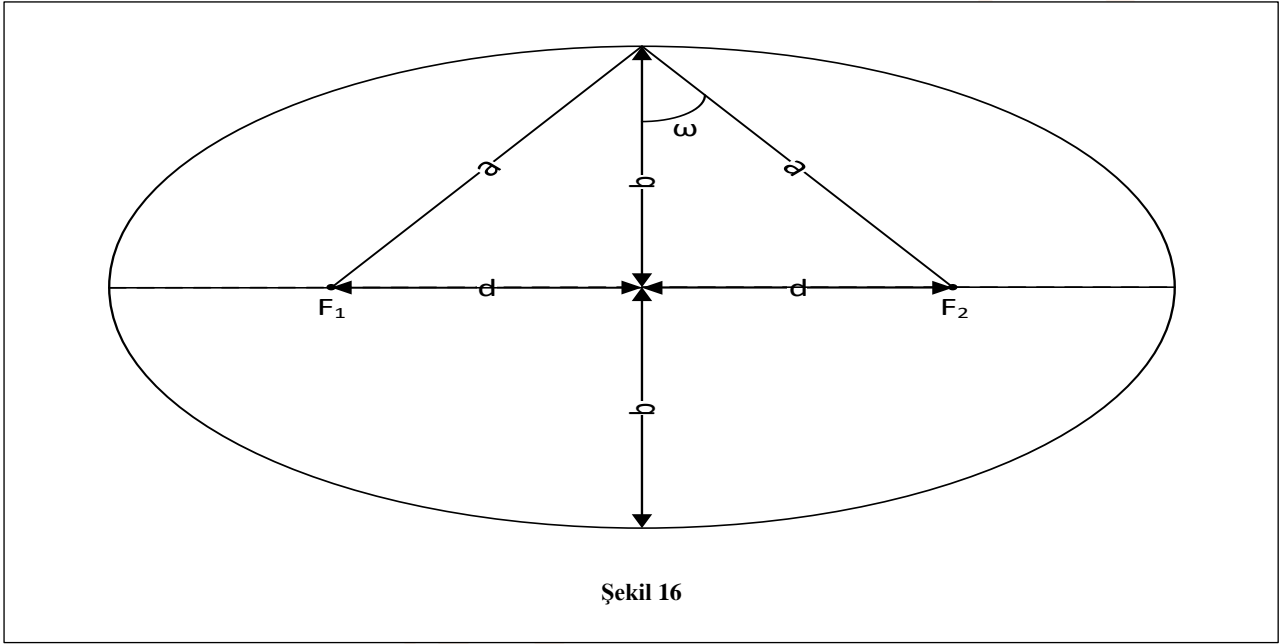
$$e' = \text{ikinci eksentrisite} = \frac{d}{b} = \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)}}{b} = \tan(\omega)$$

$$f = \text{elipsoid basıklık değeri} = \frac{a - b}{a}$$



e = eksentrisite elipsin ne kadar yuvarlaklaştığını gösteren orandır, f değeri ise elipsin basıklık oranıdır. e ve f arasındaki ilişki aşağıdaki formüllerde verilmiştir.

$$e^2 = 2f - f^2 \quad \text{veya} \quad f = 1 - \sqrt{(1 - e^2)}$$



Elips denklemini çıkarmak için elips iki boyutlu Kartezyen düzlem üzerinde ifade edilmelidir (Şekil 17). Şekil 17’de, elips analitik geometride ifade edilen X – Y yatay düzlemi üzerinde tasvir edilmiştir. Elips merkezi Kartezyen sistemin merkezi ile çakışık vaziyettedir. Elips yörüngesi üzerindeki P noktası ile F₁ ve F₂ odak noktaları arasındaki mesafelerin toplamı bilindiğine göre, koordinat değerlerinden yola çıkarak elips denklemini elde edilir.

$$r_1 + r_2 = 2 * a$$

$$\sqrt{((d + X_p)^2 + Y_p^2)} + \sqrt{((d - X_p)^2 + Y_p^2)} = 2 * a$$

$$\sqrt{((d + X_p)^2 + Y_p^2)} = 2 * a - \sqrt{((d - X_p)^2 + Y_p^2)}$$

$$\left(\sqrt{(d + X_p)^2 + Y_p^2}\right)^2 = \left(2 * a - \sqrt{(d - X_p)^2 + Y_p^2}\right)^2$$

$$4 * d * X_p - 4 * a^2 = -4 * a * \sqrt{(d - X_p)^2 + Y_p^2}$$

$$(d * X_p - a^2)^2 = \left((-1) * a * \sqrt{(d - X_p)^2 + Y_p^2}\right)^2$$

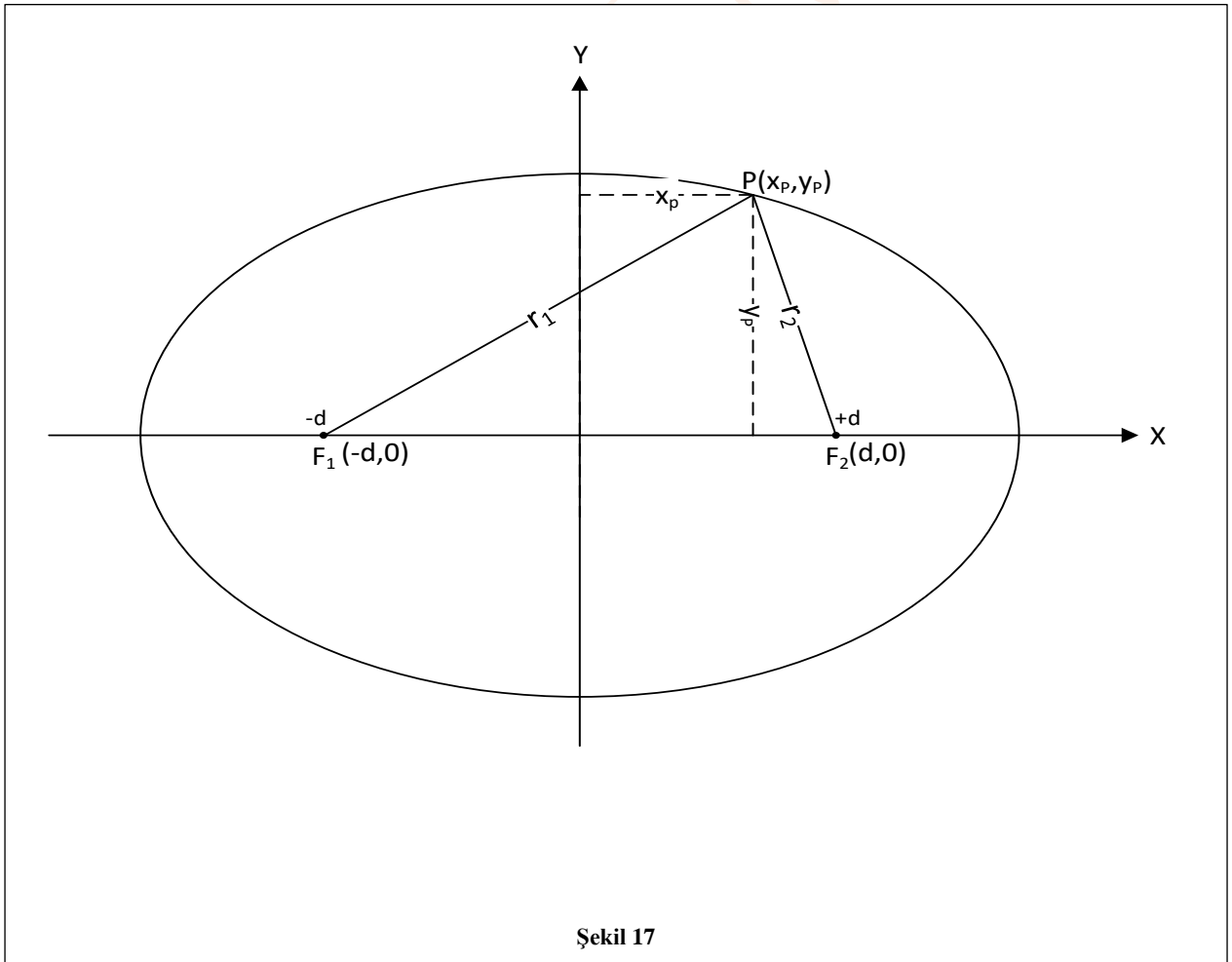
$$a^4 - a^2 * d^2 = a^2 * X_p^2 - d^2 * X_p^2 + a^2 * Y_p^2$$

$$a^2 * (a^2 - d^2) = X_p^2 * (a^2 - d^2) + a^2 * Y_p^2$$

$$a^2 * b^2 = X_p^2 * b^2 + a^2 * Y_p^2$$

$$\frac{a^2 * b^2}{a^2 * b^2} = \frac{X_p^2 * b^2 + a^2 * Y_p^2}{a^2 * b^2}$$

$$\frac{X_p^2}{a^2} + \frac{Y_p^2}{b^2} = 1$$

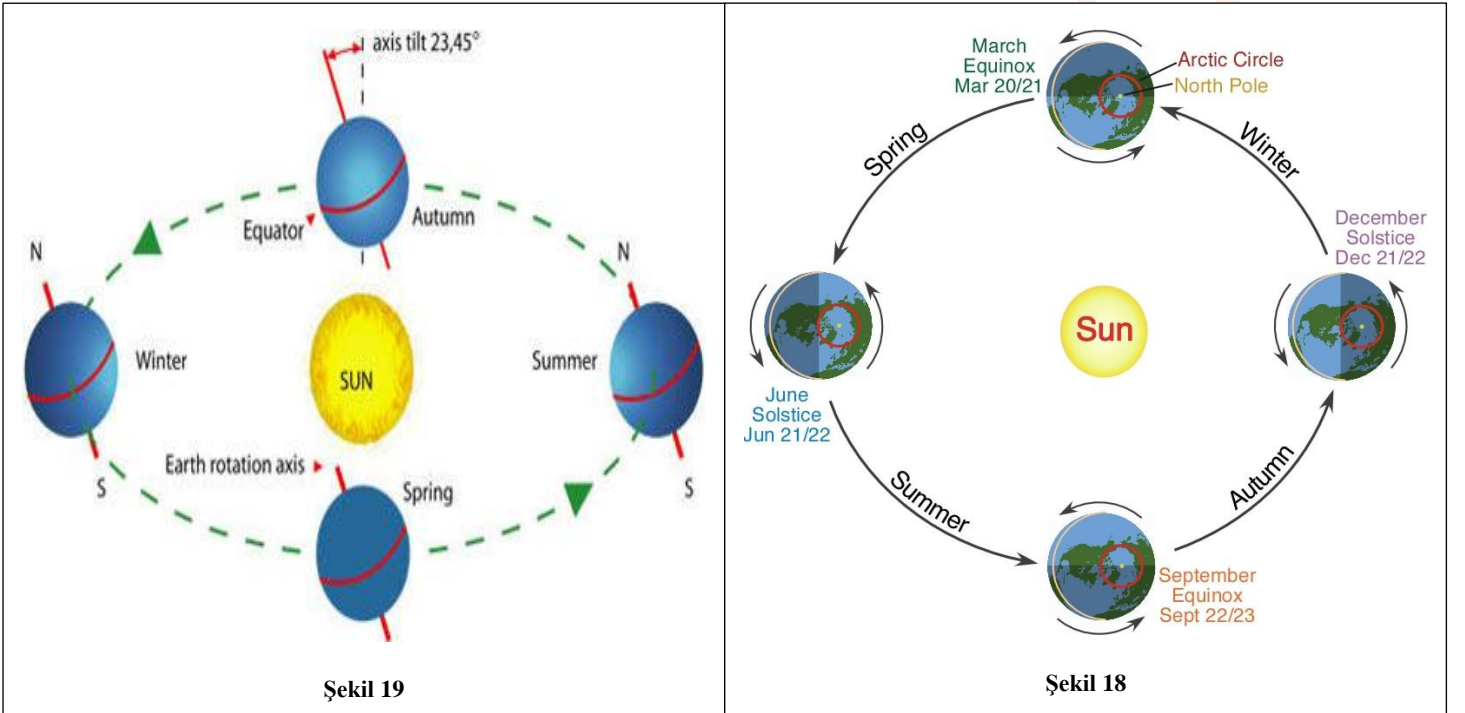


Jeodezi'de Kullanılan Koordinat Sistemleri

Bir koordinat sistemini tanımlamak için (Krakiwsky & Wells, 1971)

- Başlangıç noktasının konumu,
- Referans çatısının üç eksenin dönüklükleri ve artış yönleri,
- Bir noktanın konumunu tanımlayan parametreler gereklidir.

Dünyanın uzayda iki farklı periyodik hareketi vardır. Bunlardan biri kendi eksenini etrafında dönmesi, diğeri de güneş etrafında devir yaparak dönmesidir (Şekil 19 ve Şekil 18) (Krakiwsky & Wells, 1971).



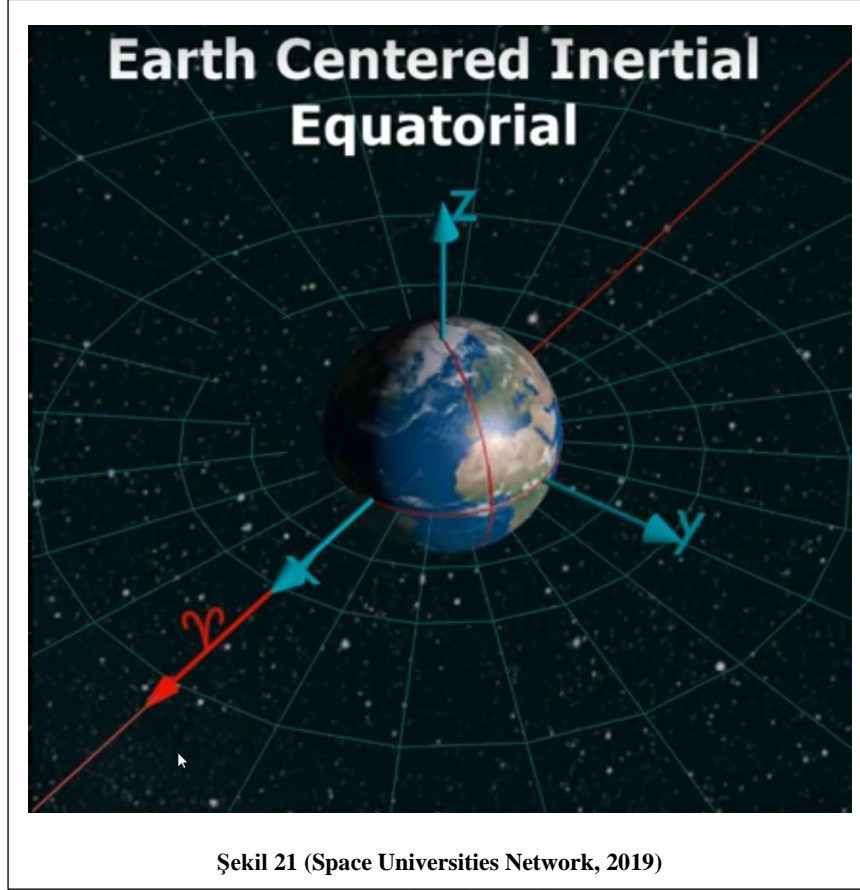
Bu uzaydaki iki periyodik hareket dışında Ay gibi dünyanın doğal uydusu veya birçok yapay uyduların dünya etrafında ve kendi yörüngeleri üzerinde yaptıkları yörüngesel hareket vardır. Dünyanın ve/veya uyduların (ay gibi doğal uydular veya yapay uydular) yaptıkları periyodik hareketler koordinat sistemlerinin tanımlanmasının ve zaman sisteminin (gün, ay, yıl, gün beri, gün öte, mevsimler gibi zaman sistemleri) tanımlanmasının temellerini oluşturur (Krakiwsky & Wells, 1971).

Krakiwsky ve Wells'e göre, temelde üç koordinat sistemi oluşur ve kullanılır. Bahsi geçen koordinat sistemleri (Krakiwsky & Wells, 1971):

- Yeryüzündeki coğrafik objelerin koordinatlarının elde edilmesi için kullanılan Yersel (Terrestrial) Koordinat sistemi,
- Uzaydaki yıldız gibi objelerin ve uydu yörüngelerinin koordinatlarının elde edilmesi için kullanılan Göksel (Celestial) koordinat sistemi,

- Yerküre etrafındaki uydu yörüngelerinin koordinatlarının belirlenmesi için kullanılan Yörünge (orbital) koordinat sistemidir.

Göksel Koordinat Sistemleri



Doğanalp'e göre göksel koordinat sistemleri, uydu yörüngelerinin ve dolayısıyla yapay veya doğal uyduların uzaydaki konumlarının belirlenmesi için kullanılır (DOĞANALP, 2013). *Hareketsiz (yani atalette kalan) (inertial) koordinat sistemleridir. Atalette olmasından kast edilen, uyduların ve/veya gök cisimlerinin hareketlerinden etkilenmemesidir.* Bu sayede **uydu yörüngeleri** (uyduların hareketlerinde izledikleri yörünge) sabit bir koordinat sistemine göre belirlenir.

Jeosantrik Ataletle kalan (inertial) Koordinat Sistemi (Earth – Centered Inertial Coordinate System – ECI / Yer Merkez Hareketsiz Sistem)

Ana konu başlığında bir koordinat sisteminin tanımı için üç temel kavram belirtilmişti. Bu kavramlara göre Jeosantrik Yersel koordinat sistemi tanımlanırsa:

- Koordinat sistemi başlangıç noktası yaklaşık yerkürenin ağırlık merkezidir,
- Koordinat sistemi X – Y – Z eksenlerinden oluşur. Z eksen her zaman referans çatisının başlangıç noktasından başlayarak yeryuvarının dönme eksenini boyunca kuzey kutup noktasını (manyetik kutup noktası değil) işaret edecek şekildedir. X ve Y eksenleri ekvatorial düzlemedir ve dünyayla beraber dönmezler (Groves, 2013),
- X eksen ekliptik ile ekvatorun arakesit doğrultusunda ilkbahar noktası yönündedir (DOĞANALP, 2013),
- Y eksen, ekvatorial düzlem üzerinde X eksenine dik olacak şekilde sağ el koordinat sistemine göre oluşmuştur.

ECI sisteminde, koordinat elde edilmesi için, referans çatisının ataletle kalması gerekir. Ataletle kaldığı sürece uydu yörüngeleri koordinatları hesaplanabilecektir. Yörünge Koordinatları hesaplanması, uyduların yörünge üzerinde gezinti yapacakları yol belirlenmiş olur. Yörünge belirlenmesi, yörünge üzerindeki sinyal gönderecekleri an konumları bilinmesi için önemlidir. Fakat yeryuvarının kendi dönme hareketine dayalı, gök cisimlerinin yörünge hareketine dayalı ve uydulardan çıkan sinyallerin yeryuvarına gelene kadar ki sürece dayalı oluşan fiziksel ve zamansal farklılıklar ECI sisteminin ataletle kalmasını (hareketsiz kalmasını) önler. Aşağıda fiziksel ve zamansal farklılıkların hangileri olduğu listelenmiştir (ÜSTÜN, 2012):

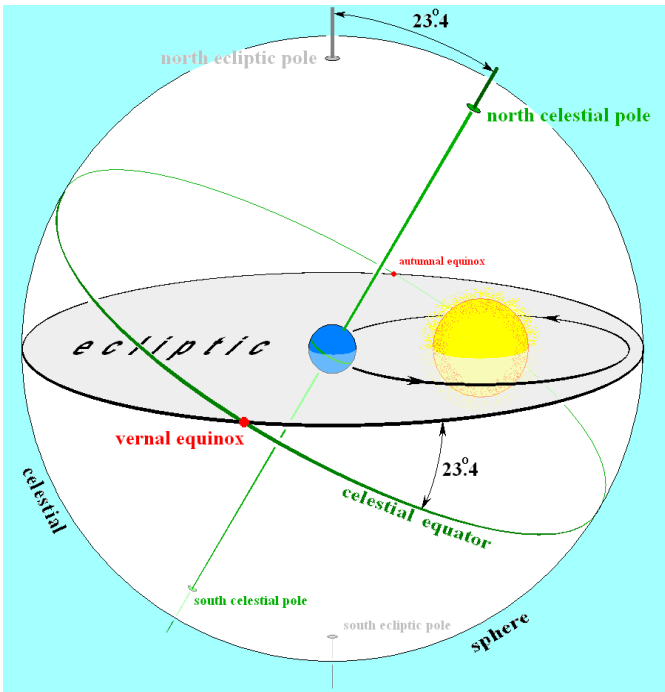
- Yerin kendi eksenini etrafındaki dönme hareketine dayalı olarak, yeryüzünde gerçekleştirilen gözlemlerin zaman kaydı için:
 - UT (UT1) dünya zamanı,
 - UTC dünya zamanı (UT1 ile uyumlu atomik),
 - GST yıldız zamanı kullanılır.
- Gök Cisimlerinin yörünge hareketine dayalı, uydu hareketlerinin izlenmesi için:
 - TT yersel zaman: Güneş sisteminin efemeris zaman standardı,
 - TCG (yermerkezli) ve TCB (barisentrik) koordinat zamanı,
 - TDB Barisentrik dinamik zaman kullanılır.
- Fiziksel (nükleer) süreçlere dayalı, uydudan çıkan sinyalin yol alma sürelerinin ölçümü ve gözlem denklemlerinin oluşturulması için:
 - TAI uluslararası atomik zaman,
 - GPS zamanı (GPS konum ölçmelerinin zaman sistemi) kullanılır.

Tablo 1 bu farklı zamanların, eş bir zamandaki farklılıklarını gösteren bir örnektir (ÜSTÜN, 2012).

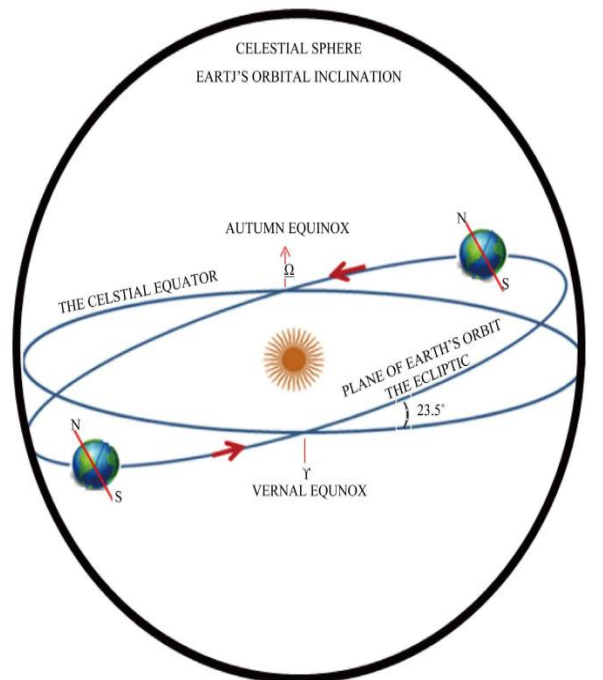
Tablo 1 (ÜSTÜN, 2012)

Sistem	Tarih	Zaman
UTC	15.01.2006	21:24:37.500000
TAI	15.01.2006	21:25:10.500000
GPS	15.01.2006	21:24:51.500000
UT1	15.01.2006	21:24:37.834100
TT	15.01.2006	21:25:42.684000
TCG	15.01.2006	21:25:43.322690
TDB	15.01.2006	21:25:42.683799
TCB	15.01.2006	21:25:56.893378

Bu sorunun çözümü yani ECI sisteminin referans çatısının eksenlerinin ataletle kalabilmesi (hareketsiz kalması) için belirli bir epoğa (zamana) göre tanımlanması gereklidir (eksenlerin belirlenen bir zamana göre sabit kalınması). Bu sayede eksenler ataletle kalacak ve devamlı hareket eden uyduların uydu yörünge koordinatları bu sabit değişmeyen referans çatısına göre anlık olarak belirlenmiş olacaktır.



Şekil 23 (Ekliptika, 2019)



Şekil 22 (Mothe, 2014)

Bu epok değeri 01/01/2000 tarih 12:00 UTC (güneşe göre hesaplanmayan) zamanıdır. UTC atomik olarak hesaplanan Coordinated Universal Time kelimesinin baş harflerinin kısaltmasıdır. Türkçe 'de karşılık bulunduğu tabir ise *Eş Güdümlü Evrensel Zaman* tabiridir. Bazı kaynaklarda Türkçe karşılık olarak *Koordinatlandırılmış Dünya Zamanı* çevrilmiştir (ÜSTÜN, 2012). Teknik tanımlama olarak “01/01/2000 tarih 12:00 zamanındaki J2000.00 olarak adlandırılan epok” (J2000.00 epogu) olarak da tanımlanmıştır (DOĞANALP, 2013).

Yersel (Terrestrial) Koordinat Sistemleri



Şekil 24

Yersel (Terrestrial) koordinat sistemi, koordinat sisteminin başlangıç noktasına göre ikiye ayrılır.

1) Jeosantrik (Geocentric) yersel koordinat sistemi: Koordinat sisteminin başlangıcı yaklaşık dünyanın ağırlık merkezidir.

2) Toposentrik (Topocentric) yersel koordinat sistemi: Koordinat sisteminin başlangıcı yeryüzündeki bir noktadır (Ölçüm noktası).

Toposentrik Sistem:

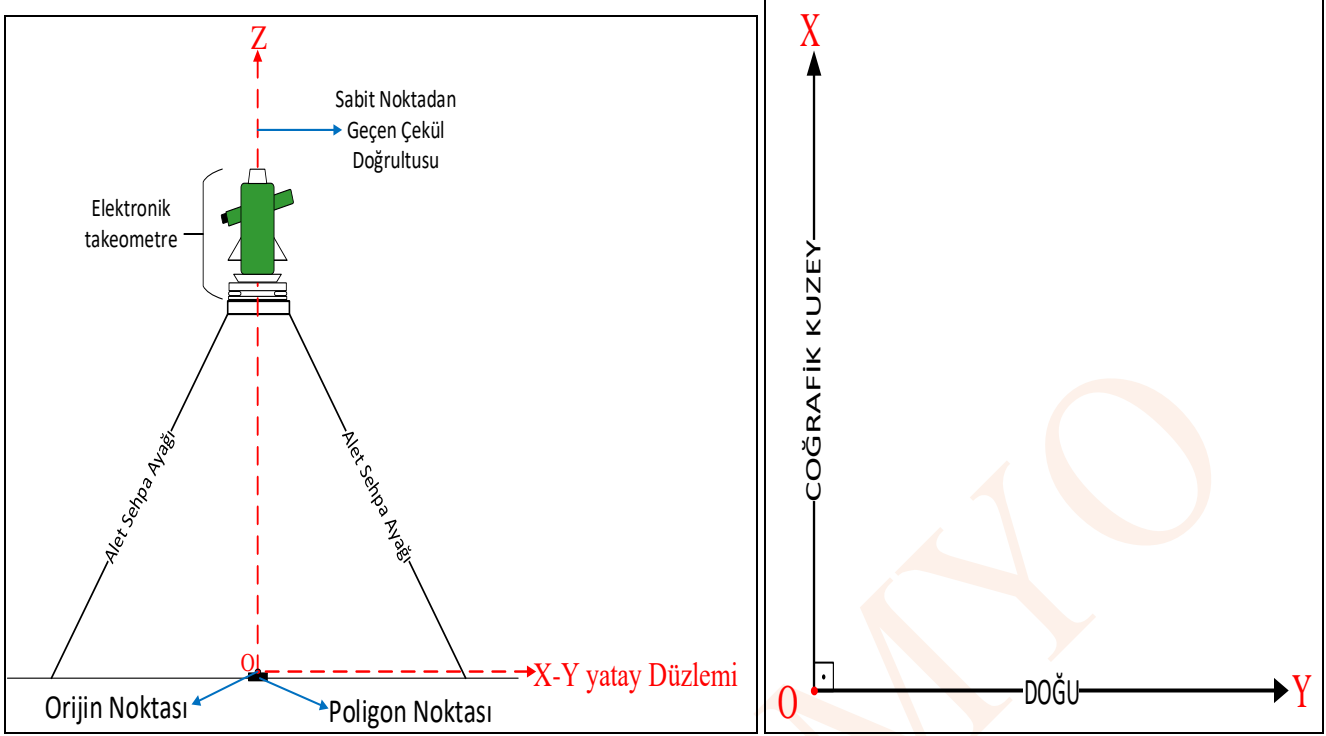
Toposentrik sistem, orijin noktasının yeryüvarı üzerinde olduğu referans sistemidir. Toposentrik sistem, harita yapımı için gerekli yersel ölçümlerde kullanılmaktadır. Elektronik takeometre kullanılarak, coğrafik objelerin detay noktalarının koordinatlarının hesaplanması için, ölçüm yapılması

gerektiğinde iki adet sabit noktaya (koordinatı bilinen nokta - poligon noktası,...) ihtiyaç vardır. Noktalardan bir tanesi elektronik takeometrenin kurulu olduğu noktadır, diğer nokta ise başlangıç doğrultusunun oluşturulması için gerekli noktadır. Elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktada toposentrik referans çerçevesi oluşur. Bu referans çerçevesinin oluşması için gereken kriterler:

- a) Orijin noktası elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktadır,
- b) Z ekseni elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktadan geçen düşey doğrultusudur (çekül doğrultusu) ve Z ekseninin pozitif artışı sabit noktadan çekül doğrultusu boyunca yukarı doğrudur. Elektronik takeometre Z ekseni etrafında döner,
- c) X ekseni, elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktada oluşan coğrafik kuzey doğrultusuyla çakışıktır ve X koordinatının pozitif artışı kuzey yönündedir,
- d) Y ekseni, elektronik takeometrenin kurulu olduğu sabit noktada oluşan X eksenine dik açıyla oluşacak şekilde, doğu yönüyle çakışıktır ve Y koordinatının pozitif artışı doğu yönündedir,
- e) X – Y – Z eksenleri metre uzunluk birimiyle ifade edilirler.

Yukarıdaki toposentrik sistemde referans çerçevesi üzerinde eksenler için tanımlamalar yapılmıştır. Bu sayede Elektronik takeometrenin üzerine kurulu olduğu her sabit noktada yeniden toposentrik koordinat sistemi oluşur.

Şekil 25 sol ve sağ resimlerde 3 boyutlu toposentrik koordinat sistemi (toposentrik referans çerçevesi) temsili vardır. Sol resimde, elektronik takeometrenin üzerine kurulu olduğu poligon noktasında toposentrik referans çerçevesinin orijin noktası oluşmuştur. Poligon noktasından geçen çekül doğrultusu toposentrik referans çerçevesinin Z ekseni geçmektedir. X-Y yatay düzlemi poligon noktasından geçmektedir (Şekil 25 **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** sol resim). Şekil 25 sağ resim orijin noktasına (takeometrenin üstünden) kuş bakışı görünüşüdür. Şekil 25 sağ resim, poligon noktasında oluşan toposentrik referans çerçevesinin yatay düzlemi gözükmektedir. *X eksenin coğrafik kuzey ile çakışık olduğu* ve artış yönü gözükmektedir. Şekil 25 sağ resimde Y ekseninin X eksenine dik bir şekilde doğu yönünde olduğu ve artış yönünün doğu yönü olduğu gözükmektedir. Bu tanımlamalar yapılarak toposentrik referans çerçevesini oluşturur.



Şekil 25

Jeosantrik Yersel Koordinat Sistemi (Geocentric Terrestrial Coordinate System) / Yer Sabit Yer Merkez Koordinat Sistemi (Earth Centered Earth Fixed Coordinate System)

Ana konu başlığında bir koordinat sisteminin tanımı için üç temel kavram vardı. Bu kavramlara göre Jeosantrik Yersel koordinat sistemi tanımlanırsa:

- Jeosantrik Yersel koordinat sisteminin başlangıç noktası yaklaşık yerkürenin merkezidir,
- Koordinat sistemi X – Y – Z eksenlerinden oluşur. Z eksenini yerin dönme eksenini ile çakışık olarak alır. X eksenini ekvator düzlemi üzerindedir. Ayrıca Greenwich meridyeninin ekvatoru kestiği noktadan X eksenini geçer (Şekil 27 X eksenini Kırmızı çizilmiş Greenwich meridyeni ile ekvator düzleminde kesişir). Y eksenini, ekvator düzleminde X eksenine dik olacak şekilde 90° boylamında ve sağ el kuralına göre oluştur,
- Yersel koordinatlar bu koordinat sisteminde X – Y – Z koordinatları ile ifade edilir.

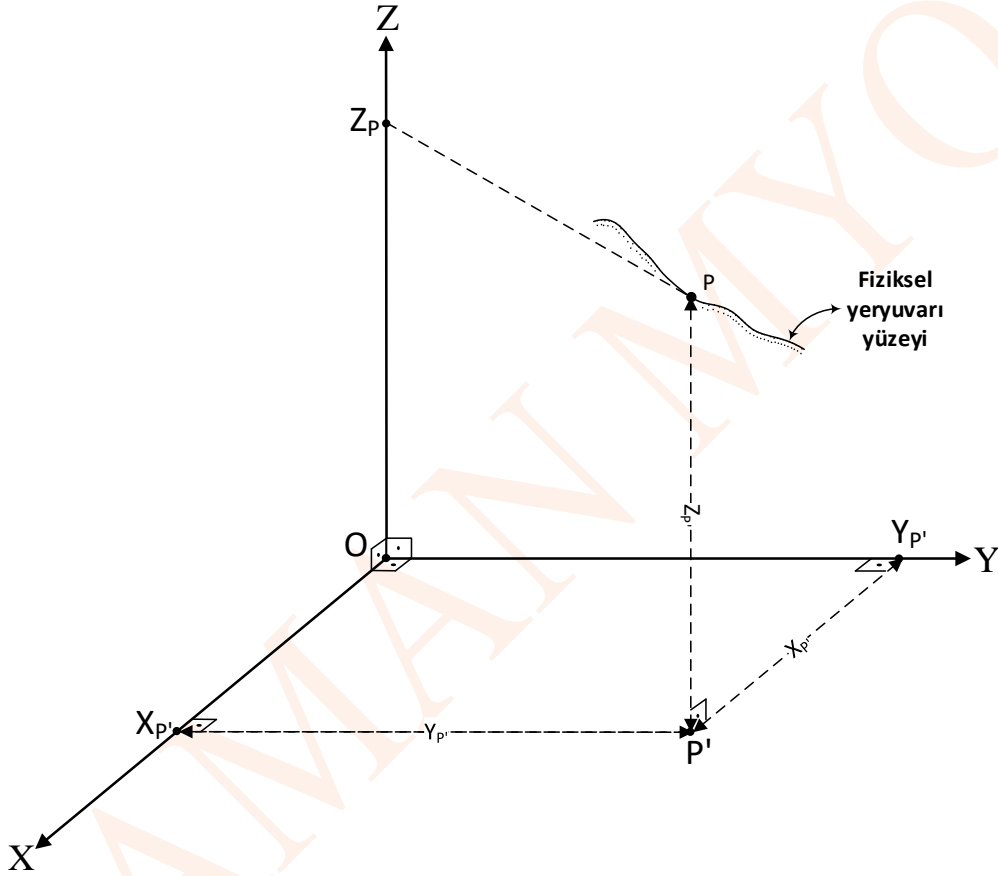
Jeosantrik (geocentric) kelimesi, koordinat sisteminin başlangıç noktası olan noktanın (orijin noktasının) yerin ağırlık merkezi ile çakışık olduğunu belirtmek için kullanılır. Şekil 27 jeosantrik yersel koordinat sisteminin tasvir etmektedir. Jeosantrik yersel koordinat sisteminde, X eksenini Greenwich meridyeni ile ekvator düzleminde kesişir. Bu sebepten ötürü dünya dönme eksenini etrafında döndükçe X – Y – Z Kartezyen koordinat sistemi de dönmektedir (Şekil 24).



Jeosantrik yersel koordinat sisteminde, X eksenini Greenwich meridyeni kapsar. Bu sebepten ötürü dünya dönme eksenini etrafında döndükçe X – Y – Z Kartezyen koordinat sistemi de dönmektedir



Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) koordinatları bu koordinat sisteminde sunulmaktadır (BAYKAL, 2009).



Şekil 26

Şekil 26 jeosantrik yersel koordinat sistemi tasviridir. Şekildeki O noktası yerin ağırlık merkezi ile çakışık olduğu farz edilen noktadır (Şekil 27 dünya yer ağırlık merkezi ile jeosantrik yersel koordinat sisteminin daha iyi bir tasviri görülmektedir.). P noktası fiziksel yeryüzü üzerindeki herhangi bir noktayı temsil etmektedir. Jeosantrik yersel koordinat sistemine göre P noktasının koordinatları $X_{P'} - Y_{P'} - Z_p$ ile ifade edilir.

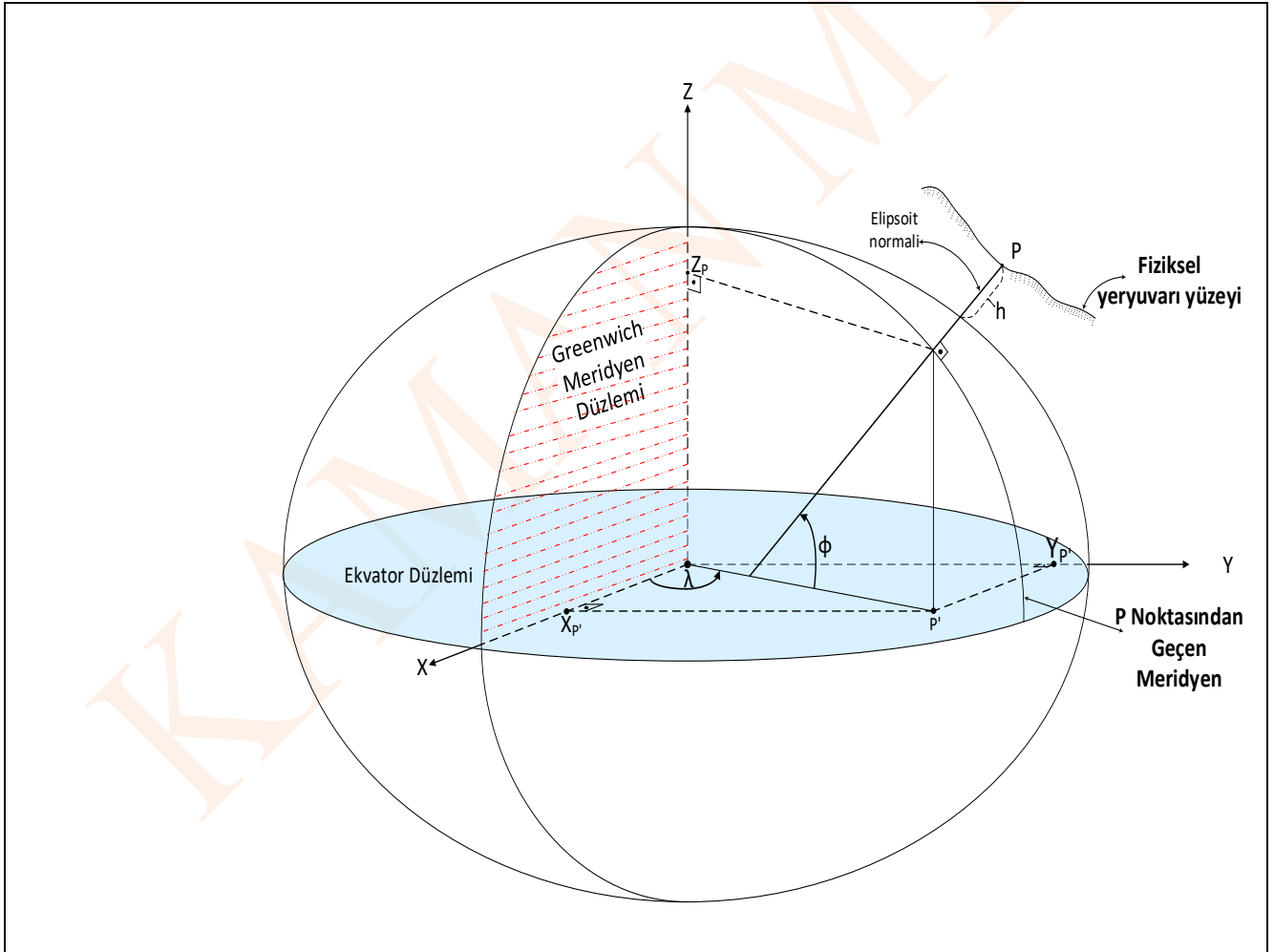


Jeosantrik Yersel Koordinat Sistemi bazı ulusal kaynaklarda, Yer Merkezli Dik Koordinat Sistemi olarak ifade edilebilir (BAYKAL, 2009).

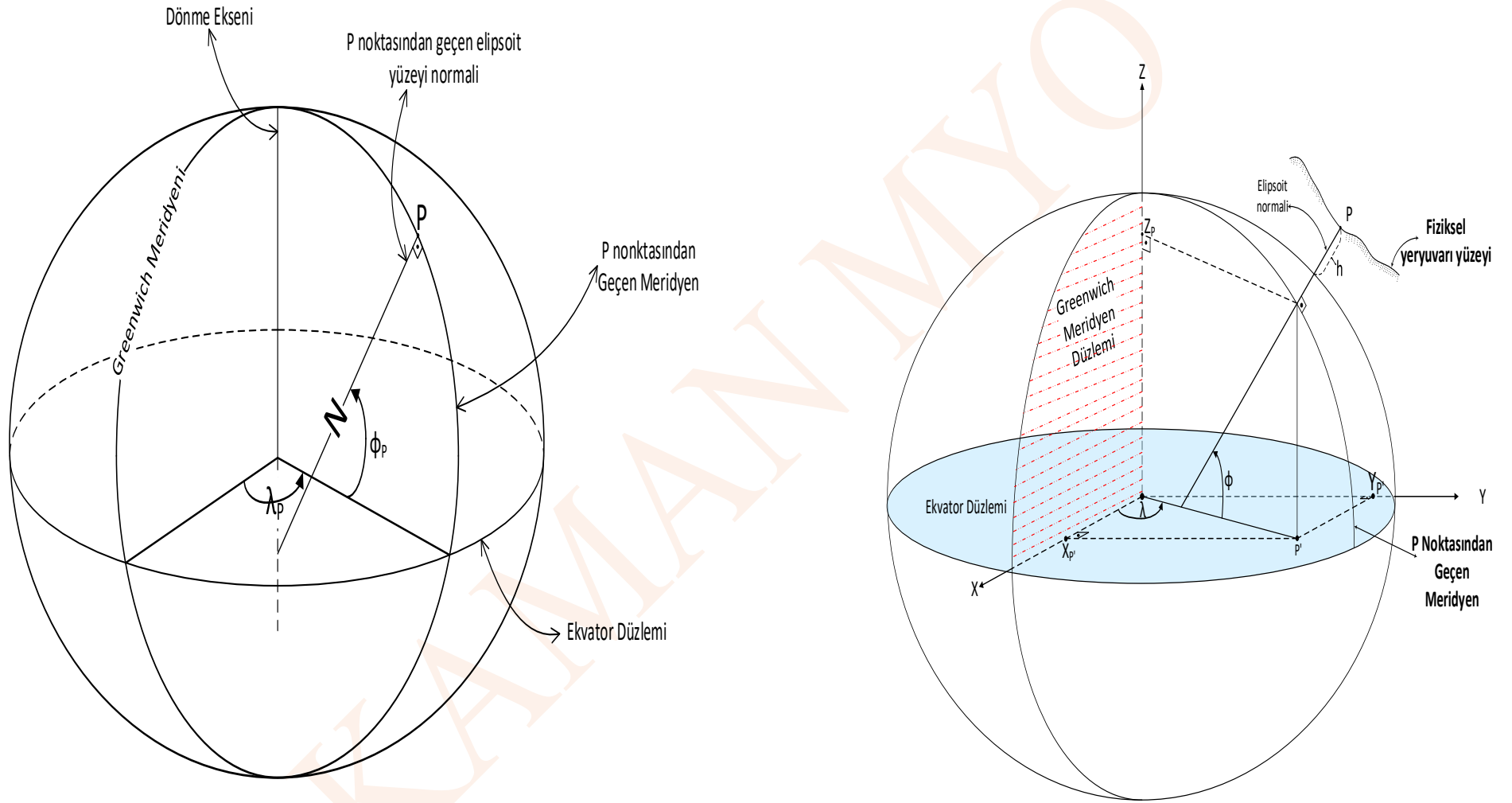
Jeosantrik Yersel Koordinat Sisteminde (ECEF) Referans Yüzeyinin Kullanılma Nedeni

Fiziksel yeryüzü geometrisinin belirlenmesi (dünya şeklinin belirlenmesi) açısından bir hesap yüzeyine (dünya yerine kullanılacak projeksiyon işlemlerindeki hesaplama yüzeyi – döl elipsoit) gerek olmadığı düşünülebilir, ancak (BAYKAL, 2009):

- Jeosantrik yersel koordinat sisteminde elde edilmiş koordinatlar, doğrudan doğruya harita düzlem koordinatlara dönüştürülemediğinden (dönüştürmek için bir ara yüzey – döl elipsoit kullanılmaktadır) ve sonuç olarak düzlem haritaya aktarılamadığından,
- Çekül doğrultusunu temel olarak çalışan elektronik takeometre (total station), nivo gibi donanımlarla üretilen ölçüm değerlerini ve üretilen dik koordinatları, jeosantrik yersel koordinat sisteminde kullanarak yeni büyüklükler hesaplamak mümkün olmadığından, dünya yerine kullanılacak bir hesap yüzeyine (referans yüzeyine) ihtiyaç vardır.



Şekil 27



Şekil 28

Şekil 28 Jeosantrik Yersel Koordinat sistemine göre elde edilmiş koordinatların, harita yüzeyine aktarılmasında kullanılacak referans yüzey ile olan ilişkisini tasvir etmektedir. Referans yüzey olarak dönel elipsoit kullanılmıştır. Dönel elipsoit, elipsin küçük yarı ekseninin (b yarı eksen) Jeosantrik Yersel Koordinat sistemindeki Z eksenine etrafında dönmesiyle oluşan düzgün geometrik şekildir. Elipsin büyük yarı eksen (a yarı eksen) ekvator düzleminin yarıçapı olacak şekilde belirlenmiştir. Elipsin basıklık değeri (f değeri) yerkürenin kutupları arasında basıklık değerine göre belirlenmiştir. Yerküre üzerinde yapılan ölçümler ile belirlenen a , f , e^2 ve e'^2 parametreleri ile yeryuvarı yerine referans yüzey belirlenmiş olur.

Şekil 28 incelendiğinde fiziksel yeryüzü üzerindeki P noktasından geçen ve ekvator düzlemini kesen elipsoit normalinin, ekvator düzlemi ile arasında kalan açı P noktasının **Jeodezik enlemi** (φ_p), P noktasından geçen meridyen ile başlangıç meridyeni olarak kabul edilen Greenwich meridyeni arasında kalan (ve ekvator düzlemi üzerinde oluşan) açı P noktasının **Jeodezik boylamı** (λ_p) olarak ifade edilir. Fiziksel yeryüzü üzerindeki P noktasının, referans yüzey olan dönel elipsoide olan düşey mesafesine, P noktasının **elipsoidal yüksekliği** (h_p) denir.



Jeosantrik Yersel Koordinat sisteminde nokta konum değeri, dik (Kartezyen) koordinat sistemi ile $X - Y - Z$ koordinatlarıyla ifade edilebileceği gibi Jeodezik Koordinat Sistemi ile φ (Jeodezik Enlem), λ (Jeodezik Boylam) ve h (elipsoit yüksekliği) ile de ifade edilebilir.



Jeosantrik Yersel Koordinat Sistemi bazı uluslararası kaynaklarda, Earth Centered Earth Fixed (Yer merkezli Yer Sabit) Coordinate System olarak ifade edilir.



Jeosantrik Yersel Koordinat sistemi yeryüzündeki noktaların anlık koordinatlarını elde etmek için kullanılır. Bu sebepten dolayı referans çatısı yerin ağırlık merkezi ile çakışıktır ve referans çatısı yer ile beraber dönmektedir.

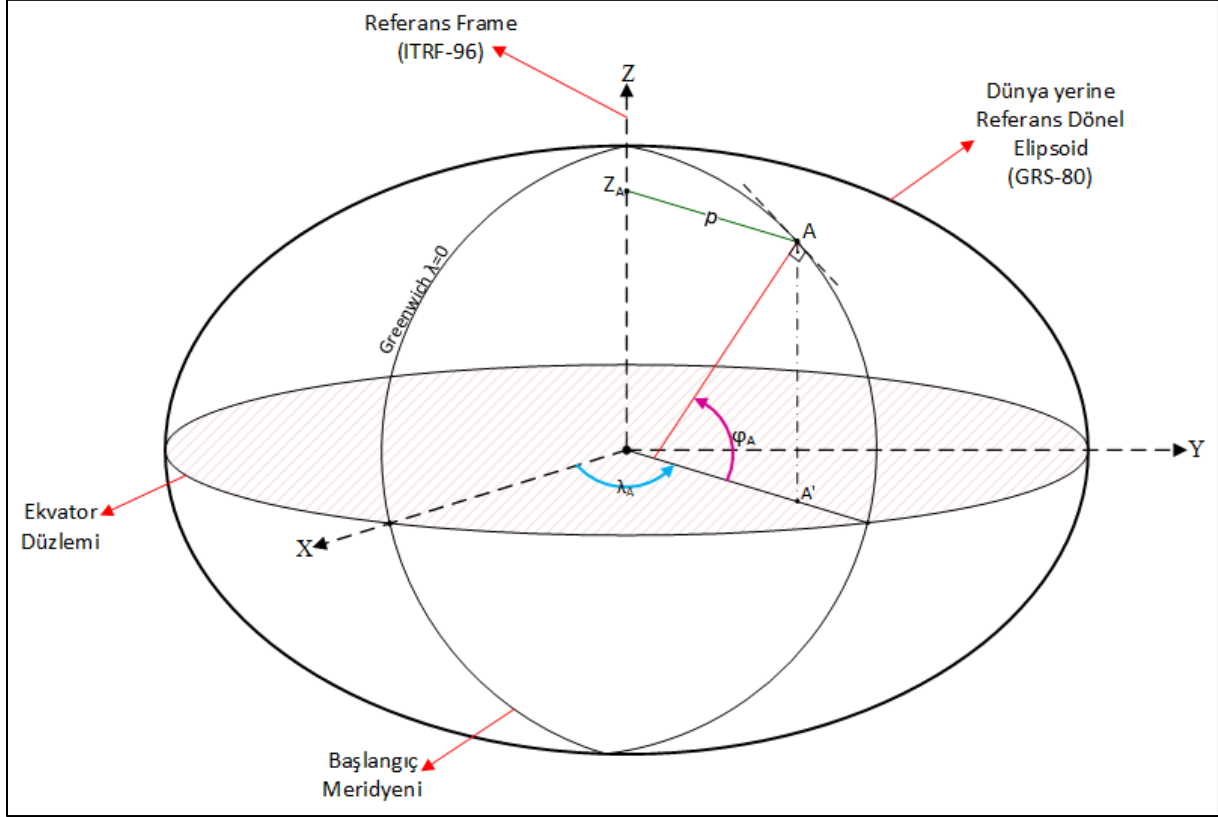
Jeodezik Koordinat Sistemi ile Jeosantrik Yersel Koordinat Sistemi Arasındaki Geometrik İlişki

Jeodezik koordinat sisteminde:

- Dünya yerine dünyayı temsil eden referans yüzeyi dönel elipsoittir,
- Koordinat sisteminde bir noktanın koordinat değerleri enlem (B veya φ) ve boylam (L veya λ) açı değerleri ile ifade edilir,
- Koordinat sisteminin başlangıcı yeryuvarının (Dünya) ağırlık merkezi ile çakışık olan referans dönel elipsoidin merkezi olarak belirlenmiştir.

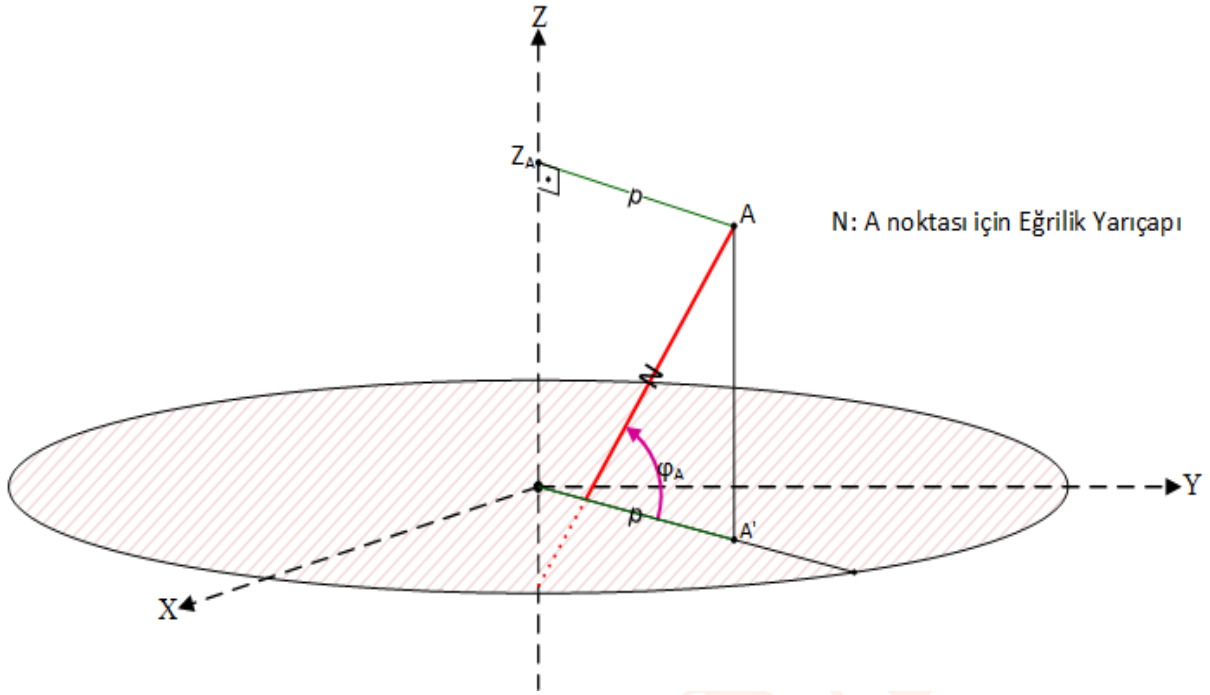
Şekil 29 A noktasının jeodezik koordinatlarının temsili gösterilmektedir. A noktasının Jeodezik enlemi, A noktasından geçen elipsoit normalinin ekvator düzlemini kesmesiyle oluşan doğru ile ekvator

düzlemi arasında kalan açı değeridir (Şekil 29 φ_A açısı). A noktasının jeodezik boylamı, başlangıç meridyeni ile referans elipsoid yüzeyi üzerindeki A noktasından geçen meridyen arasında kalan açı değeridir (Şekil 29 λ_A). Enlem ve boylam değerleri derece açı biriminde ifade edilmektedir.



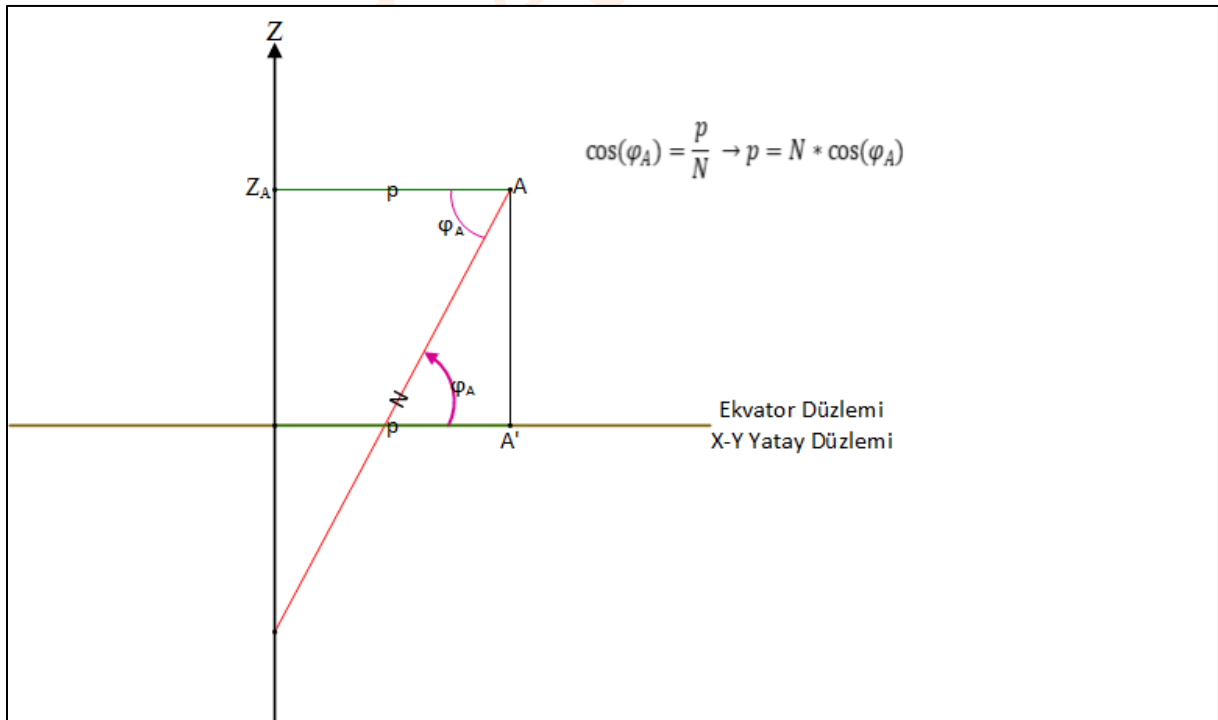
Şekil 29

Referans elipsoidinin yüzeyi üzerindeki her bir noktanın referans merkezine olan uzaklığı, kürede olduğu gibi sabit değildir. Şekil 29 ve Şekil 30'a dikkat edilirse A noktasının elipsoid yüzey normalini elipsoid merkezi ile çakışmamaktadır. Referans elipsoidi üzerindeki A noktasından geçen elipsoid normalini, ekvator düzlemini geçip Z eksenini kesmektedir. Bu doğruya A noktasının eğrilik yarıçapı (N) olarak ifade edilir.



Şekil 30

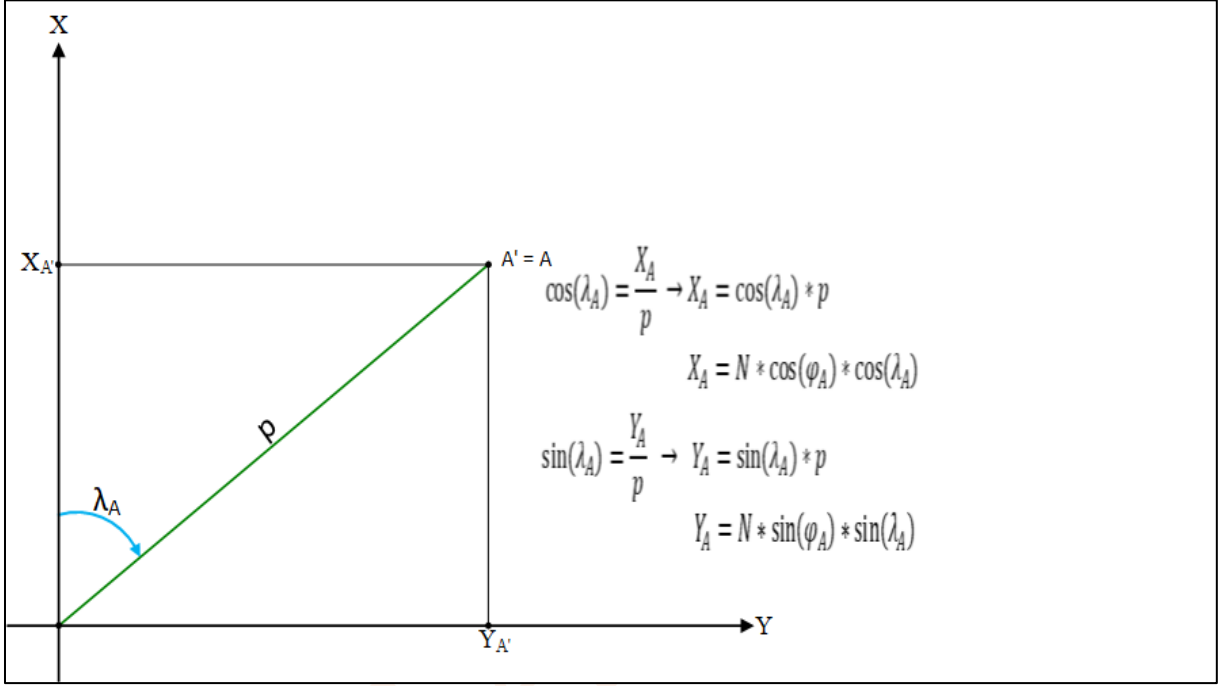
Şekil 31 referans elipsoidi üzerindeki A noktasının kesiti gözükmektedir. A noktasından jeosantrik koordinat sistemindeki Z eksenine inilen dik ile oluşan doğrunun (p doğrusu) uzunluğunun uzunluk değerinin **N** eğrilik yarıçapı ve φ_A A noktasının jodezik enlem koordinatı ile nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.



Şekil 31

$$Z_A = \frac{b^2}{a^2} * N * \sin(\varphi_A) = (1 - f)^2 * N * \sin(\varphi_A)$$

Şekil 32 referans elipsoidi üzerindeki A noktasının jeosantrik koordinat sistemindeki X ve Y koordinatlarının hesaplanması gözükmektedir. A noktasından jeosantrik koordinat sistemindeki X-Y yatay düzleminin olduğu ekvator düzlemine inilen dik ile oluşan A' noktası, A noktasının izdüşümüdür.



Şekil 32

Tablo 2 (Özbenli, 2001)

$$B = \varphi = \text{Enlem}$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 1 - (a * (1 - f))^2 / a^2 \rightarrow \text{birinci eksentrisite}$$

$$\frac{b}{a} = \sqrt{1 - e^2} = \frac{1}{\sqrt{1 + e'^2}} = \frac{e}{e'}$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} = \frac{a^2}{(a * (1 - f))^2} - 1 \rightarrow \text{ikinci eksentrisite}$$

$$\frac{a^2}{b} = c = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2}}$$

$$\eta^2 = e'^2 * (\cos(B))^2$$

$$V = \sqrt{1 + e'^2 * (\cos(B))^2} = \sqrt{1 + \eta^2} = \text{Enlemin kullanıldığı bir fonksiyonu}$$

$$W = \sqrt{(1 - e^2 * (\sin(B))^2)} = \text{Enlemin kullanıldığı bir fonksiyonu}$$

$$N = \frac{a}{w} = \frac{c}{V} = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 * (\sin(B))^2)}}$$

Dikkat edilirse örneklerde verilen A noktası referans elipsoid yüzeyi üzerinde olduğu düşünülmektedir. Yeryüzü üzerindeki nokta referans elipsoidinden daha yüksekte veya daha alçakta olabilir (Şekil 27, Şekil 28). Noktanın kendi elipsoid yükseklik değeri (h) vardır. Bu değerle hesaba katılırsa Tablo 3 içinde listelenmiş formüller kullanılabilir.

Tablo 3 (STRANG & BORRE, 1997), (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 1994)

$X = (N + h) * \cos(\varphi) * \cos(\lambda)$
$Y = (N + h) * \cos(\varphi) * \sin(\lambda)$
$Z = ((1 - e^2) * (N + h)) * \sin(\varphi) = ((1 - f)^2 * N + h) * \sin(\varphi)$

Jeosantrik kartezyen koordinatlardan jeodezik koordinatlara dönüşüm yapmak için Tablo 4 içinde listelenmiş formüller kullanılabilir.

Tablo 4 (Land Information New Zealand, 2021)- (Xu & Xu, 2016)

$\text{Boylam} = \lambda = \tan^{-1}(Y/X)$
$p = \sqrt{(X^2 + Y^2)}$
$r = \sqrt{(p^2 + Z^2)}$
$\mu = \tan^{-1}((Z/p) * ((1 - f) + (e^2 * a)/r))$
$\text{Enlem} = \varphi = \tan^{-1}((Z * (1 - f) + (e'^2 * a * (\sin(\mu))^3)) / ((1 - f) * (p - e^2 * a * (\cos(\mu))^3)))$
$\text{Elipsoid Yüksekliği} = h = (\sqrt{(X^2 + Y^2)} / \cos(\varphi)) - a * \sqrt{(1 - e^2 * (\sin(\varphi))^2)}$

Örnek: Noktanın Jeosantrik yersel koordinatları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Noktanın jeodezik koordinatları olan enlem ve boylam değerlerini bulunuz.

NNO	X	Y	Z
P11	4109443.546	2740359.9611	4023642.2787

Cevap: GRS-80 referans elipsoidinin parametreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

a	6378137.000 m
b	6356752.31414034 m
f	0.003352810681184
1/f	298.257222100882
e	0.081819191042846
e'	0.082094438151947
c	6399593.62586404

$$\text{Boylam} = \lambda = \tan^{-1}(Y/X) = 33.69712224^\circ$$

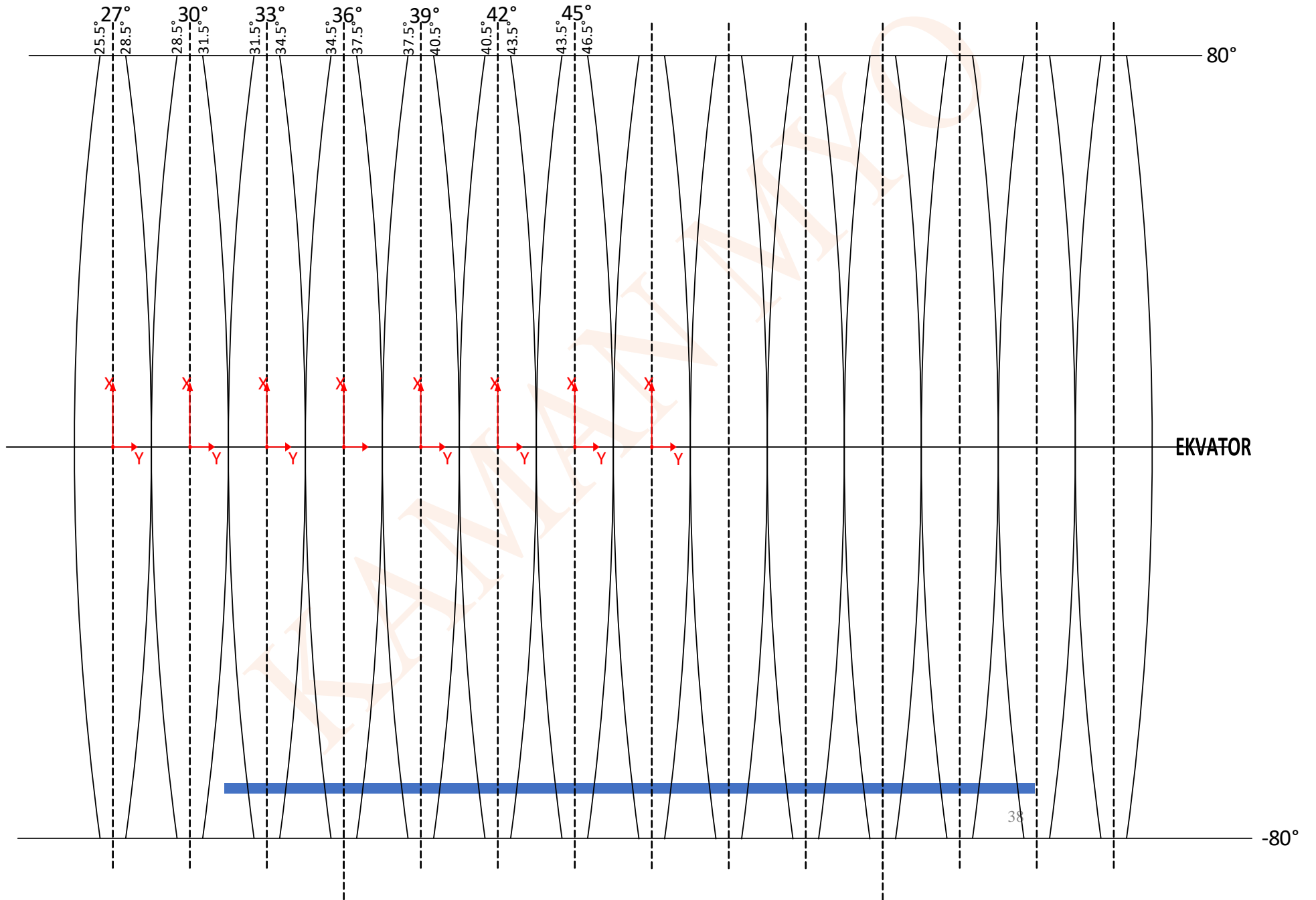
$$p = \sqrt{(X^2 + Y^2)} = 4939341.958 \text{ m}$$

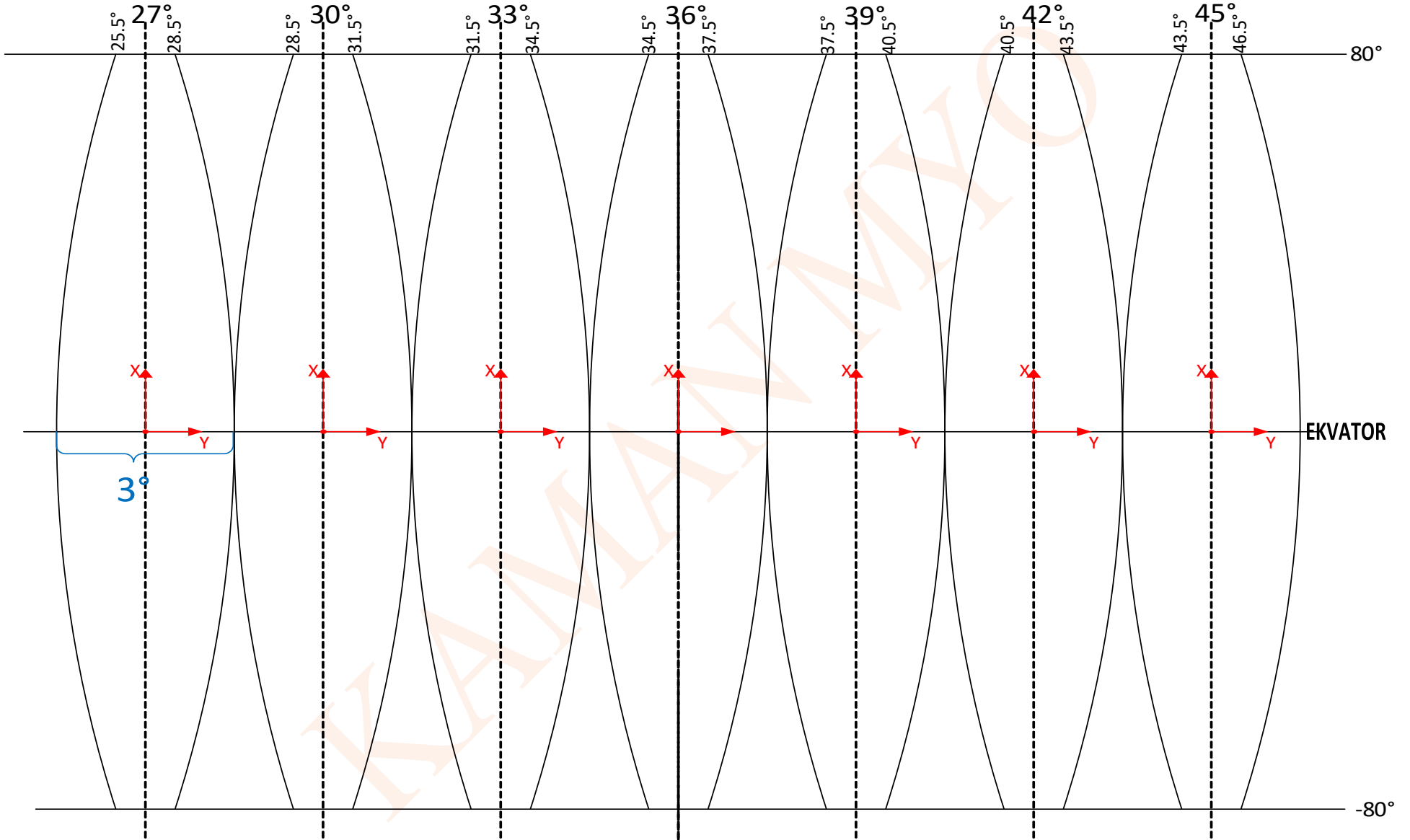
$$r = \sqrt{(p^2 + Z^2)} = 6370776.731 \text{ m}$$

$$\mu = \tan^{-1}((Z/p) * [(1 - f) + (e^2 * a)/r]) = 39.26048171^\circ$$

$$\varphi = \tan^{-1}((Z * (1 - f) + (e'^2 * a * (\sin(\mu))^3)) / [(1 - f) * (p - e^2 * a * (\cos(\mu))^3)]) = 39.35517948^\circ$$

$$h = p * \cos(\varphi) + Z * \sin(\varphi) - a * \sqrt{(1 - e^2 * (\sin(\varphi))^2)} = 1195.723619 \text{ m}$$





Tek Değişkenli Seriler Kullanılarak Jeodezik Koordinatlardan 3 Derecelik UTM Projeksiyon Koordinatlarının Hesaplanması

Noktanın,

- Jeodezik enlem değeri (φ veya B),
- Jeodezik boylam değeri (λ veya L),
- Noktanın içinde bulunduğu 3 Derecelik UTM Projeksiyonu diliminin dilim orta meridyenin boylam değeri (L_0) bilinmektedir.

Kullanılan GRS-80 referans elipsoidinin parametreleri bilinmektedir. GRS-80 elipsoid parametreleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5

a	6378137.000 m
f	0.003352810681184

Kullanılacak formüller: ((KAYA, 1999))

$$f = \frac{a - b}{a}$$

$$c = \frac{a^2}{b}$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

$$\rho = \frac{180^\circ}{\pi}$$

$$t = \tan(B)$$

$$\eta^2 = e'^2 * (\cos(B))^2$$

$$V = \sqrt{(1 + \eta^2)}$$

$$N = \frac{c}{V}$$

$$\Delta L = L - L_0 = \text{boylam} - \text{dilim orta merid.}$$

$$B = \varphi = \text{enlem}, L = \lambda = \text{boylam}$$

$$A' = c * \left(1 - \frac{3}{4} * e'^2 + \frac{45}{64} * (e'^2)^2 - \frac{175}{256} * (e'^2)^3 + \frac{11025}{16384} * (e'^2)^4 - \frac{43659}{65536} * (e'^2)^5 \right) * \frac{1}{\rho}$$

$$B' = c * \left(-\frac{3}{8} * e'^2 + \frac{15}{32} * (e'^2)^2 - \frac{525}{1024} * (e'^2)^3 + \frac{2205}{4096} * (e'^2)^4 - \frac{72765}{131072} * (e'^2)^5 \right)$$

$$C' = c * \left(\frac{15}{256} * (e'^2)^2 - \frac{105}{1024} * (e'^2)^3 + \frac{2205}{16384} * (e'^2)^4 - \frac{10395}{65536} * (e'^2)^5 \right)$$

$$D' = c * \left(-\frac{35}{3072} * (e'^2)^3 + \frac{315}{12288} * (e'^2)^4 - \frac{31185}{786432} * (e'^2)^5 \right)$$

$$E' = c * \left(+\frac{315}{131072} * (e'^2)^4 - \frac{3465}{524288} * (e'^2)^5 \right)$$

$$F' = c * \left(-\frac{693}{1310720} * (e'^2)^5 \right)$$

$$A_1 = \frac{N * \cos(B)}{\rho} = (N * \cos(B)) / \rho$$

$$A_2 = \frac{N * (\cos(B))^2 * t}{(2 * \rho^2)} = (N * (\cos(B))^2 * t) / (2 * \rho^2)$$

$$A_3 = \frac{N * (\cos(B))^3 * (1 - t^2 + \eta^2)}{(6 * \rho^3)} = N * (\cos(B))^3 * (1 - t^2 + \eta^2) / (6 * \rho^3)$$

$$A_4 = (N * (\cos(B))^4 * t * (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4 * \eta^2 * t^2)) / (24 * \rho^4)$$

$$A_5 = (N * (\cos(B))^5 * (5 - 18 * t^2 + t^4 + 14 * \eta^2 - 58 * \eta^2 * t^2)) / (120 * \rho^5)$$

$$G = A' * B + B' * \sin(2 * B) + C' * \sin(4 * B) + D' * \sin(6 * B) + E' * \sin(8 * B) + F' * \sin(10 * B)$$

Gauss – Kruger Koordinatlarının Hesabı:

$$X_g = G + A_2 * (\Delta L)^2 + A_4 * (\Delta L)^4$$

$$Y_g = A_1 * (\Delta L) + A_3 * (\Delta L)^3 + A_5 * (\Delta L)^5$$

UTM Projeksiyonuna Göre YUKARI Ve SAĞA Koordinatlarının Hesabı:

a) 3 derecelik UTM projeksiyonu için ölçek katsayısı $m_0 = 1$

$$YUKARI = X_g * m_0$$

$$SAĞA = Y_g * m_0 + 500000 \text{ m}$$

b) 6 derecelik UTM projeksiyonu için ölçek katsayısı $m_0 = 0.9996$

$$YUKARI = X_g * m_0$$

$$SAĞA = Y_g * m_0 + 500000 \text{ m}$$

Örnek: P11 noktasının jeodezik koordinatları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Nokta, 33° boylam değerine sahip meridyenin dilim orta meridyeni olduğu 3 derecelik UTM projeksiyon dilimi içindedir.