

45724

**İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CERGA ASTROLABI İLE YAPILAN GÜNEŞ
GÖZLEMLERİNİN ANALİZİ VE FK5 SİSTEMİ
VE GÜNEŞ'İN GÖRÜNEN YÖRÜNGE
PARAMETRELERİNİN DÜZELTİLMESİNE
UYGULANMASI**

TUNCAY ÖZDEMİR


**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**


MALATYA

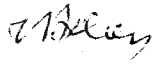
1995


“Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne”

İş bu çalışma, jürimiz tarafından Fizik anabilim Dalında
DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan Prof. Dr. Osman Demircan 

Üye Prof. Dr. Feriand Chillet 

Üye Prof. Dr. Zeki Aslan (Danışman) 

Üye Doç. Dr. Orhan Cilibası 

Üye _____

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

...08.1.12.../1995
Prof. Dr. ESREF YÜKSEL



Benim bugünlere gelmemi sağlayan Anneme, Babama ve Hocam'a



Teşekkür

Yüksek lisans ve doktora öğrenciliğim süresince benim için gerçek bir rehber olan hocam sayın Prof.Dr. Zeki Aslan'a, konunun seçiminde ve verilerin bize verilmesinde olduğu kadar, üniversitemizde bir astrolab istasyonu kurulması yönünde yaptığı katkılardan dolayı sayın Prof.Dr. Fernand Chollet'e, onca emek çekerek elde ettiği gözlem verilerini bizim kullanımımıza vermekte bir an bile tereddüt etmeyen sayın Prof.Dr. Francis Laclare'a, Paris'e her gidişim de beni sıcak bir dostlukla karşılayan, konum hakkında bir çok yayına ulaşmamı sağlayan sayın Prof.Dr. Suzanne Débarbat'a, diğer birçok konuda olduğu kadar, Fransızca tercümelerimde yaptığı yardımlardan dolayı sayın Doç.Dr. Orhan Gölbaşı'ya, evinde kaldığım süre içerisinde bana ailesinden biriymişim gibi davranan sayın Liliane Garin'e, astrolab konusunda ki tartışmalarımızda kafamdaki bir çok soruya cevap bulan sayın Prof.Dr. Nelson Vani Leister'e ve yaptığı çalışmaları bana gönderen sayın Paulo César da Rocha Poppe'ye, en içten teşekkürlerimi sunarım.

Özet

Bu çalışmada, Fransa CERGA Gözlemevi astrolabı ile 1978-1982 yılları arasında yapılmış Güneş gözlemleri kullanılarak, dinamik sistem ile FK5 sistemi arasındaki düzeltme terimleri ve Yer'in dolanım parametreleri üzerindeki düzeltme terimleri araştırılmıştır.

Bunun için, öncelikle iki sistemin birbirlerine göre olan bağıl hareketlerinin bir dönme hareketi olacağı göz önünde tutularak, iki sistem arasındaki dönmeyi tanımlayan matris oluşturulmuş ve bu matris gök koordinatlarındaki (sağ açıklık ve dik açıklık) küçük değişimler ($\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$) cinsinden ifade edilmiştir. Daha sonra başvuru sistemi kullanılarak hesaplanan α_h ve δ_h değerleri ve gözlenen α_g ve δ_g değerleri arasındaki ($\alpha_g - \alpha_h$) ve ($\delta_g - \delta_h$) farkları, kurulan modele konularak iki sistemin birbirlerine göre olan durumları araştırılmış ve bulunan değerlere göre, FK5 sisteminin dinamik sisteme göre bir hareketinin olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç modern gözlemler ışığında yapılan analiz sonuçları ile desteklenmiştir.

Güneş'in görünen hareketi aslında Yer'in kendi eksenini etrafındaki dönme ve Güneş etrafındaki yörüngesel hareketlerinin sonucu olduğundan, Yer'in dolanım parametreleri de elde edilmiştir. Bu parametrelerin değerlerinin de hata sınırları içerisinde ihmal edilemeyecek büyüklükte olması nedeniyle, bizi, Yer'in düzensiz değişimlerini tanımlayan matematiksel modellerin düzeltme terimlerine ihtiyaç duydukları sonucuna götürmüştür.

Anahtar Kelimeler :

Başvuru Sistemi, Yıldız Kataloğları, FK5 Sistemi, Dönme Parametreleri, Astrolab, Güneş Gözlemleri

Abstract

In this study, correction terms between the dynamic system and FK5 system and the correction terms on the rotation parameters of the Earth were investigated by the use of the Sun observations made by CERGA observatory, France, between 1978 and 1982.

For this purpose, firstly the matrix which defines the rotation between the two systems was established considering that the relative motion of the two systems would be a rotation and this matrix was expressed with respect to each other in terms of the small variations ($\Delta\alpha$ and $\Delta\delta$) in the celestial coordinates (right ascension and declinations). The positions of the two systems with respect to each other were then investigated by introducing into the constructed model the residual between the observed (α_o, δ_o) values and calculated values (α_c, δ_c) which were calculated by use of the reference systems, and it was concluded that the FK5 system does have a motion relatively to the dynamic system. This result was supported by the result of analyses made in the light of modern observations.

Since the apparent motion of the sun is in fact a consequence of the rotation of Earth around its axis and orbital motion around the sun, rotation parameters of Earth were obtained, as well. The fact that the values of these parameters are not negligible compared to the magnitude of the experimental error leads us to conclusion that the mathematical models describing the irregular variations of Earth needs correction terms.

Key Words:

Reference System, Star Catalogs, FK5 System, Rotation parameters, Astrolabe, Sun observations

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
1.1 Terminoloji.....	2
1.2 Başvuru Sistemlerini Kurma Güçlükleri.....	3
2. TEMEL KAVRAMLAR.....	6
2.1 Yıldız Kataloğları.....	11
2.1.1 Kataloğ Tipleri.....	11
2.1.2 Özgün Gözlem Kataloğları.....	12
2.1.2.1 Mutlak Dikaçıklıkların Belirlenmesi.....	12
2.1.2.2 Mutlak Sağaçıklıkların Belirlenmesi.....	13
2.2 Temel Yıldız Kataloğları.....	16
2.2.1 Yıldız Konumlarını Etkileyen Sistematik Hatalar.....	16
2.2.2 Kataloğ Sisteminin Kurulması.....	17
2.2.3 Temel Bir Sistemin Tanımlanması.....	17
2.2.4 FK Serisi Temel Yıldız Kataloğları.....	18
2.2.5 HIPPARCOS Projesi.....	21
2.3 Anlaşmasal Başvuru Sistemleri.....	22
2.4 IERS.....	23
3. ASTROLAB.....	26
3.1 Çalışma Prensibi.....	27
3.2 Danjon Astrolabı (Model OPL).....	29
3.3 Çok amaçlı Danjon Astrolabı.....	34
3.4 Fotoelektrik Astrolab.....	34
3.5 Astrolab'ın Duyarlılığı.....	36
3.6 Gözlemlerin Değerlendirilmesi.....	38
3.6.1 Yıldız Gözlemleri.....	38
3.6.1.1 Yıldız Gözlemlerinin Düzeltilmesi.....	42
3.6.1.2 Yıldız Gözlemleri ve Kataloğlar.....	44
3.6.2 Gezegen Gözlemleri.....	48
3.7 Güneş Gözlemleri.....	49

3.7.1 Güneş Gözlemlerindeki Düzeltmeler.....	50
3.7.2 Güneş'in Yarıçapı.....	50
3.7.3 Sistematik Hatalar.....	51
3.7.4 İstasyonun Koordinatları.....	52
3.7.5 Sistemin Çözümü.....	53
4. PROBLEM.....	55
4.1 Problemin Oluşması.....	55
4.2 Modelleme.....	58
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	74
5.1 Çözüm.....	74
5.2 Tartışma.....	84
KAYNAKLAR.....	90
EKLER.....	94
Ek-1.....	94
Özgeçmiş.....	103

Şekillerin Listesi

Şekil 2-1	Küre üzerinde koordinatlar	8
Şekil 2-2	Ekliptik sistem ile ekvator sistemi	14
Şekil 3-1	Claude ve Driencourt astrolabı	27
Şekil 3-2	Prizmatik Astrolab'da oluşan odaklama hatası	28
Şekil 3-3	Tek Wollaston prizma	30
Şekil 3-4	Çift Wollaston prizma	30
Şekil 3-5	Astrolab'da görüntülerin hareketi	31
Şekil 3-6	Mikrometrenin çalışma prensibi	32
Şekil 3-7	Danjon astrolabı	33
Şekil 3-8	Çok amaçlı astrolab	34
Şekil 3-9	Fotoelektrik astrolab	35
Şekil 3-10	Bir gök cisminin almukantar'dan geçişi	37
Şekil 3-11a	Gök cisminin batı geçişi	38
Şekil 3-11b	Gök cisminin doğu geçişi	38
Şekil 3-12	Astrolab'da retikül görünümü	44
Şekil 3-13a	Güneş'in doğu geçişi	49
Şekil 3-13b	Güneş'in batı geçişi	49
Şekil 3-14	Güneş gözlemlerinin düzeltilmesi	52
Şekil 4-1	Yer'in dönmesini etkileyen olaylar	55
Şekil 4-2	Koordinat eksenlerinin dönmesi	59
Şekil 4-3	Güneş'in yörünge parametreleri	64
Şekil 4-4	Güneş'in yörüngesi için Neper beşgeni	66
Şekil 5-1	Kullanılan programların şematik gösterimi	75
Şekil 5-2	FK5 sistemi ile Dinamik sistemin durumları	87

Çizelgelerin Listesi

Çizelge 2-1	Koordinat çerçevelerinin başlangıç noktasını belirtmek için kullanılan tanımlar	7
Çizelge 2-2	Başvuru düzlemleri	7
Çizelge 2-3	Başvuru sistemleri	10
Çizelge 2-4	1992 epokuna göre HIPPARCOS sonuçlarının FK5 ile karşılaştırılması	22
Çizelge 3-1	Değişik gözlem araç ve teknikleri ile bunların duyarlılıkları	26
Çizelge 3-2	Klasik astrolab'ın kapasitesi	36
Çizelge 3-3	Çok amaçlı astrolab'ın kapasitesi	36
Çizelge 5-1	Bulunan $R_\alpha, T_\alpha, U_\alpha, V_\alpha, W_\alpha$ ve $R_{yi}, T_{yi}, U_{yi}, V_{yi}, W_{yi}$ değerleri	80
Çizelge 5-2	Elde edilen sonuçlar	84

1. GİRİŞ

Malatya İnönü Üniversitesinde bir astrolab istasyonu kurulması yönünde başlayan çalışmalar sonucu, Fransa Paris gözlemevi ile üniversitemiz arasındaki bilimsel işbirliğini geliştirici bir protokol imzalanmıştır. Bu amaçla, Fransa CERGA¹ gözleminde bulunan astrolab kullanılarak, Dr. F. Laclare tarafından, 1978-1982 yıllarında yapılmış Güneş gözlemleri, FK5 temel sisteminin herhangi bir düzeltme terimine gerek duyup duymadığı ve Yer'in yörünge parametrelerinin bulunması konusunda çalışılmak üzere tarafımıza verildi. Ülkemizde bu konuda yapılmış çalışma olmamasından dolayı, işe temel tanımlardan başlamak uygun olacaktır.

Yer, Güneş sistemi ve evrendeki cisimler durağan değildir. Hepsi hareket eder, döner ve deformasyona uğrarlar. Bunların kinematik ve dinamiklerinin çalışılması ise jeodezi, jeofizik, astronomi ve astrofizik bilimlerinin ana amaçlarıdır. Bu bilimlerin ilgilendiği kinematik ve dinamik olaylardan bazıları şunlardır[1].

- Yer ve okyanus gelgitleri
- Yer kabuğu (crust) üzerindeki kıtaların ağırlık etkileri
- Kutup hareketi
- Yer'in dönmesi
- Yer-Ay sisteminin dinamik davranışı
- Gezegenlerin, doğal ve yapma uyduların hareketleri
- Yıldızların galaksideki hareketleri
- Yıldız kümelerinin dinamiği
- Galaksinin Diferansiyel dönmesi
- Galaksi kümelerinin dönmesi v.s.

Hareket ve konum mutlak kavramlar değildir ve sadece bir başvuruya göre tanımlanabilirler. Matematiksel olarak bu bir koordinat sistemi kullanılarak yapılabilir. Fiziksel olarak olay bu kadar basit değildir, çünkü bir noktanın koordinatları gözlemsel olarak erişilebilir olmalıdır. Yani nokta ile gözlemsel nesne

¹ Centre d'Etude et de Recherches Geodynamiques et Astronomiques

arasında fiziksel bir bağıntı olmalıdır. Böyle bir başvuru sistemi fiziksel olarak gerçekleştiğinde, buna başvuru çerçevesi denir.

Başvuru Çerçevesi: Özel bir koordinat sistemini belirlemeye yardımcı olacak başvuru noktalarının uygun koordinatlar topluluğu olarak tanımlanabilir. Diğer noktaların koordinatları, bu başvuru noktalarına bağlı olarak bulunur[2].Örneğin FK4 kataloğunda bulunan 1535 yıldızın koordinatları FK4 çerçevesini tanımlarken, BIH² çerçevesi, BIH tarafından kabul edilen kutup hareketinin başlangıcını kutup noktası olarak alır ve UT1 zamanını tanımlarken kullanılan ekvator üzerindeki bir noktayı da boylam başlangıcı olarak seçer[3].

Başvuru Sistemi: Bir ya da daha çok başvuru çerçevesini kurmak yada kullanmak için gerekli sabitler, modeller ve araçların toplamı. Örneğin FK4 başvuru sistemi Newcomb teorisi ile verilen ekliptik ile belirlenir.Presesyon ve ekliptiğin eğim değerleri de Newcomb teorisine uygunken nutasyon Woolard teorisinden alınmıştır.

1.1 Terminoloji

Değişik başvuru çerçeveleri ve sistemlerinin temel kavramlarını gözden geçirmekle işe başlayalım.

Başvuru çerçevesinin amacı bir başvuru sistemini gerçekleştirmek için bir yol sağlamasıdır; böylece başvuru sistemini, dünya üzerindeki (yersel çerçeve) yada uzaydaki (göksel çerçeve) cisimlerin hareketlerinin ve konumlarının sayısal tanımlaması için kullanabiliriz.Her iki durumda da tanımlar, ideal bir durum yani “*ideal başvuru sistemi*” için yapılırlar[3].Örneğin, ideal yersel başvuru sistemini, yer kabuğunun sadece deformasyona uğradığı, herhangi bir dönme yada öteleme hareketinin olmadığı başvuru sistemi olarak düşünürüz.İdeal göksel başvuru sistemi ise hareket denklemlerinin herhangi bir dönme terimi içermediği bir başvuru sistemidir.Her iki durumda da ideal deyimini sadece “*kavramsal*” bir tanımlamadır ve gerçek sistemlerle uyuşmaz, çünkü başvuru çerçeveleri pratikte erişilebilir olmak zorundadırlar. Pratikte sistemi kurmada, ideal başvuru sistemindeki hareketi tanımlayan fiziksel yapıların (öz hareket, presesyon, nutasyon v.s) seçimi önemlidir.

²Bureau International de l'Heure

Yapıya etki eden araçlar, bir takım parametreler kümesi tarafından modellenir. Bu aşamada sistem koordinatları tamamen tanımlı olmakla birlikte pratikte erişilebilir olmak zorunda değildir. Doğal olarak tek bir seçim yolu yoktur, dünyanın hareketini ve deformasyonlarını modellemenin bir çok yolu vardır. Bu seçimi karakterize etmek için ise “*anlaşmasal*” terimi kullanılır. Başvuru sistemi bir kez seçildikten sonra bu sistemi erişilebilir hale getirmek için başvuru çerçevesi tanımlanır.

Newton’un birinci kanunu “*duran veya sabit bir hızla hareket etmekte olan bir cisim üzerine herhangi bir kuvvet etki etmedikçe, durağanlığını yada sabit hızlı hareketini korur*” der[4]. Yukarıdaki eylemsizlik ilkesinin herhangi bir keyfi başvuru çerçevesinde geçerli olamayacağı açıktır. Bu ilkenin geçerli olduğu özel başvuru çerçeveleri klasik mekanikte “*eylemsiz başvuru çerçeveleri*” olarak isimlendirilir. Böyle çerçeveler, sabit bir yer değiştirme hızıyla, herhangi bir dönme hareketi göstermeden uzay boyunca hareket ederler. Klasik mekanikteki diğer bir çerçeve ise, gene herhangi bir dönme hareketine sahip olmaksızın sabit bir ivmeyle yer değiştiren “*yarı eylemsiz başvuru çerçeveleri*” dir. Örneğin dönmeyen yermerkezli (geocentric) kartezyen koordinat sisteminin başlangıcı (Güneş etrafında dolanan Yer) sabit olmayan bir hız vektörüne sahiptir. Böylece eylemsiz başvuru çerçeveleri hem durağan ve hemde “*mutlak uzay*” a göre lineer bir hareket durumunda olabilir.

Klasik mekaniğin görelilik ilkelerine göre gözden geçirilmesiyle yukarıdaki kavramlar değişir. Özel görelilik ilkesi de böyle özel başvuru çerçevelerine izin verir, fakat burada mutlak uzay kavramının yerini “*uzay-zaman sürekliliği*” alır.

1.2 Başvuru Sistemlerini Kurma Güçlükleri

Galaksiler, kuasarlar, yıldızlar, gezegenler, uydular gibi astronomik nesnelerin yerlerini belirlemek için, bir başvuru sistemine sahip olmak gerekir. Şu anda kullanılmakta olan başvuru çerçevesi, IERS³ tarafından kurulan ve denetlenen, galaksi dışı radyo kaynaklarının konumlarına göre tanımlıdır.

İdeal göksel sistem, hareket denklemlerinin herhangi bir dönme terimi içermediği eylemsiz bir sistem olmalıdır. Şurası unutulmamalıdır ki, ideal göksel bir başvuru sisteminin gerçekleştirilmesi sadece bir yaklaşım olabilir. İdeal başvuru

³ Bkz. sayfa 23

sistemi, elektromanyetik spektrumun bütün frekanslarında ve bütün parlaklık ve şiddetlerinde kullanılabilir bir eylemsizlik çerçevesi sağlar. Böyle bir sistemi gerçekleştirmede bir çok problem ortaya çıkar. İlk problem, bir frekansta belirlenen konumu ile bir başka frekansta belirlenen konumu arasında kesin bir bağıntıya sahip, spektrumun bütün frekanslarında yayın yapan bir nokta kaynağın olmamasıdır. Sonuçta optik, radyo ve X- ışınları frekanslarında farklı farklı başvuru kaynakları vardır. İkinci problem, bütün gözlenebilir sistemlerin sınırlı bir dinamik aralığa sahip olmasıdır. Genellikle herhangi bir görsel teknikle yapılan astronomik gözlemler, optik aralıkta diyelim 5 kadirle sınırlıdır. Böylece parlak yıldızları ve sönük yıldızları gözlemek için kullanılan yöntem ve başvurular farklı olacaktır. Herhangi bir öz hareket göstermeyen ve böylece sanki sabit bir başvuru çerçevesi sağlayan çok uzak galaksi dışı kaynaklar üzerine oturtulmuş bir başvuru çerçevesi tanımlayabiliriz. Fakat parlak yıldızların yada güneş sisteminde bulunan cisimlerin, bu uzak gök cisimlerine göre konumlarını ölçmek imkansızdır. Böylece bütün frekanslarda ve parlaklıklarda gözlenebilir bir başvuru çerçevesi kurma problemi ile karşı karşıya kalırız.

İdeal başvuru sistemini kurmada başka problemler de vardır. Klasik mekanikte, herhangi bir başvuru sistemi mutlak uzaya göre ya durağan yada doğrusal bir hareket içinde olmalıdır. Ne var ki, genel ve özel görelilik teorileri bu kavramda bazı değişikliklerin yapılmasını gerektirirler. Genel görelilik teorisinde Einstein, eylemsizlik çerçevesini, evrendeki maddelerin tümü nedeniyle oluşan yerel çekim alanı gereğince serbestçe düşen bir koordinat sistemi olarak tanımlar[5]. Özel görelilik teorisi ise çekimsel alanların yokluğunda uzay-zaman sürekliliğinde bir eylemsizlik çerçevesi tanımlar ve bu tür eylemsiz sistemler arasındaki dönüşümler "*Lorentz dönüşümleri*" ile verilir[6].

Özel görelilik ilkelerinin hatırı sayılır bir duyarlılıkla geçerli olduğu yarı eylemsiz çerçeveler, yani maddesel parçacıkların seçilen başvuruya göre ivmesiz bir şekilde serbestçe hareket ettiği sonlu bölgeler vardır. Böylece, nispeten zayıf bir çekim alanında, güneş etrafındaki eliptik yörüngede dolanan Yer - Ay sisteminin kütle merkezi düşmesi böyle sonlu bölgenin bir örneğidir. Güneş etrafında dünya ile birlikte hareket eden bir sistem için özel ve genel görelilik etkilerinden dolayı gereken düzeltme terimi 10^{-8} mertebesindedir.

Değişik tipteki yarı eylemsiz başvuru çerçeveleri arasında ayırım yapmak mecburiyetindeyiz. Örneğin, gök cisimlerinin öz hareketleri ve bunların istatistiksel

özellikleri hakkındaki teoremler üzerine kurulu “*Galaktik başvuru çerçevesi*” “*kinematik*” olarak tanımlı bir çerçevedir. Galaksi dışı kaynaklar üzerine oturtulmuş olan başvuru çerçevesi ise galaksilerin hareket denklemlerinde dönme terimi içermemesi yaklaşımını yapar. Değişik olarak, “*dinamik sistem*” üzerine oturtulmuş yarı eylemsiz sistemler de kurabiliriz. Bu başvuru çerçevesi, Güneş sistemindeki cisimlerin hareket teorileri üzerine oturtulmuştur. Bu teoriler hareket denklemlerinde herhangi bir dönme terimi kalmayacak şekilde oluşturulmuşlardır ve hareket denklemlerinde ortaya çıkan zaman terimi de bu sistemde kullanılacak olan zamanı tanımlar[7].



2. TEMEL KAVRAMLAR

Bir koordinat çerçevesi, genellikle başlangıç noktası, temel düzlem ve bu düzleme dik doğrultu ile belirlenen, birbirine dik üç eksen ile temsil edilir. Örneğin xyz koordinat sisteminde temel düzlem xy düzlemi ve buna dik doğrultu z yönüdür. Genelde gözlenen cisim koordinat çerçevesine göre hareket ederken, koordinat çerçevesi de uzayda bir harekete sahiptir. Böylece ister cismin, ister koordinat sisteminin hareketini belirlemek istediğimizde bir zaman terimine ihtiyaç duyarız. Yani üç uzay koordinatının belirlediği zamanla, koordinat çerçevesinde tanımlı zamanı belirlemek zorunludur. Bu iki zaman genellikle aynıdır fakat bazen görelilik etkileri nedeniyle farklı olabilir.

Farklı koordinatlar arasındaki dönüşüm, küresel trigonometri, vektör yada matris cebri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Matris cebri genellikle tercih edilen yol olmakla birlikte bazı dönüşümleri küresel trigonometri kullanarak açıklamak daha kolaydır. Bu açıklamanın yapıldığı ve üzerinde gök cisimlerinin yerleştiği kabul edilen keyfi yarıçaplı hayali küreye de “Gök küresi” denir [8]. Böylelikle küre üzerindeki yaylar, gözlemcinin görüş doğrultuları arasındaki açılara karşılık gelirler. Gök küresi üzerinde, gözlemci düzleminin gök küresi ile kesişim noktaları büyük daireleri tanımlarken, gözlemciye dik doğrultudaki konikler küçük daireleri tanımlarlar.

Bir gök cisminin yerini belirlemek için birçok farklı koordinat sisteminin kullanılabileceğini daha önce söylemiştik. Her sistemin özellikleri, seçilen koordinat çerçevesine ve koordinatları bu çerçeveye göre belirleme yöntemine bağlıdır. Yıldızların görünen hareketleri sırasında izledikleri yollar (gök kutbu, gök ekvatoru gibi), gözlemcinin bulunduğu bölgeye ait bir takım özellikler (ufuk, çekül doğrultusu gibi), yada Güneş’in yıllık ve günlük görünen hareketi sırasında izlediği yol (ekliptik gibi) bu tip çerçeveleri kurmak için iyi bir yol sağlarlar. Böylece koordinat sistemi gözlemci tarafından gözlenebilen ve kabaca yerleri belirlenen doğa olaylarına ve coğrafi konumuna uygun tanımlanabilir. Bu bağlamda, “Gök koordinat çerçevesi” terimi, yer ile (ya da başka bir gezegenle) birlikte dönmeyen başvuru çerçevesi anlamında, “yersel koordinat çerçevesi” ise, yer ile birlikte dönen başvuru çerçevesi anlamında kullanılacaktır. Bu tip koordinat çerçevelerinin başlangıç noktasını belirtmek amacı ile kullanılan tanımlar Çizelge 2-1’de verilmektedir[9].

Çizelge 2-1 Koordinat çerçevelerinin başlangıç noktasını belirlemek için kullanılan tanımlar

Topocentric (yüzey merkezli)	Yer yüzeyinden ölçülen yada bakılan;
Geocentric (Yer merkezli)	Yer merkezinden ölçülen yada bakılan;
Selenocentric (Ay merkezli)	Ayın merkezinden ölçülen yada bakılan;
Planetocentric (Gezegen merkezli)	Bir gezegenin merkezinden ölçülen yada bakılan
Heliocentric (Güneş merkezli)	Güneş'in merkezinden ölçülen yada bakılan
Barycentric (Güneş sistemi kütle merkezli)	Güneş sisteminin kütle merkezinden bakılan yada ölçülen

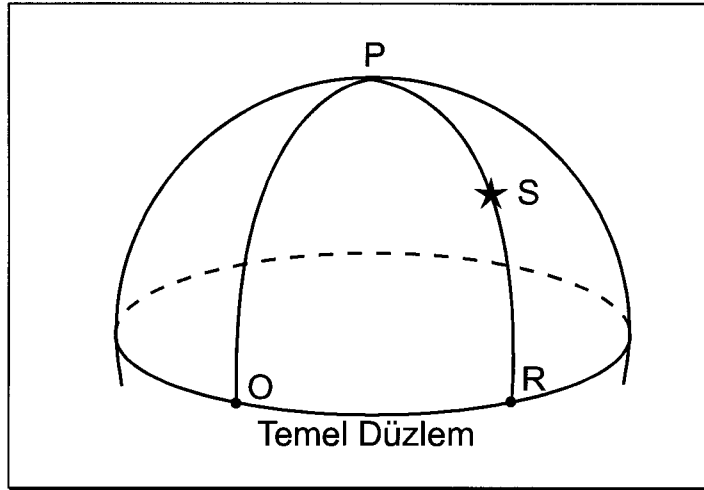
Çizelge 2-1'de verilen uygun başlangıç noktaları için tanımlanan temel düzlemler ise Çizelge 2-2'de verilmiştir[9]. Bu temel düzlemlere dik olan eksen ise istenilen üçüncü koordinatı sağlar.

Çizelge 2-2 Başvuru düzlemleri

Ufuk	Gözlemciden geçen ve yerçekimi ivmesinin yerel yönüne (local vertical) dik olan düzlem
Yerel meridyen	Yerçekimi ivmesinin yerel yönünü ve dünyanın dönme eksenini içeren düzlem
Gök ekvatoru	Yer'in dönme eksenine dik doğrultuda olan ve Yer merkezinden geçen düzlem
Ekliptik (tutulum)	Yer'in güneş etrafındaki hareketi sırasında çizdiği ortalama yörünge ile belirlenen düzlem
Gezegen ufku	Bir gezegen için olan 1 nolu tanım
Gezegen meridyeni	Bir gezegen için olan 2 nolu tanım
Yörünge düzlemi	Herhangi bir cisim etrafında dönen bir cismin yörüngesinin tanımladığı düzlem
Değişmez yada Laplaciën düzlem	Dönme hareketi yapan bir sistemin merkezinden geçen ve sistemin açısal momentum vektörüne dik olan düzlem
Galaktik ekvator	Galaksinin kütle dağılımı ile belirlenen simetri düzlemi

Böylece, küre üzerinde herhangi bir noktanın konumu, temel düzlemden olan açısal dik uzaklık ve temel düzlemi belirleyen daire üzerinde, kabul edilen bir başlangıç noktasından itibaren, cismin konumunun bu düzlem üzerindeki izdüşüm noktasına kadar ölçülen açısal uzaklık ile belirlenebilir(Şekil 2-1). Bu durumda doğal olarak, ölçülen açısal uzaklıklar seçilen temel düzleme ve başlangıç noktasına göre farklı tanımlara sahip olacaklardır. Bu tip tanımlara ilişkin kısa bilgiler de

Çizelge 2-3 'de verilmektedir[10]. Bu tanımlarda genellikle sağ el sistemi seçilmekle birlikte, sol el sistemi de, belirtilme koşuluyla kullanılabilir.



Şekil 2-1 Küre üzerindeki koordinatlar. P, temel düzlemin kutbu;O, temel düzlemi belirleyen daire yayı boyunca seçilmiş bir başlangıç noktası;OP, O'dan geçen yardımcı daire;RP, S'den geçen yardımcı daire.S 'nin koordinatları: RS, temel düzlemden olan açısal dik uzaklık, P kutbuna doğru pozitif, diğer kutba doğru negatif olarak tanımlanmıştır; ve OR, R noktasının O'dan olan uzaklığı ile verilir

Bu işlem aslında, gözlemci tarafından belirlenebilen, seçilmiş bazı yönlere karşı gelen nokta ve daireler sisteminden olan açısal uzaklıkları ölçme işleminden başka birşey değildir.

Zaman ölçme sistemi de benzer şekilde gözlenebilen olaylara dayandırılabilir. Güneş, Ay ve yıldızların görünen hareketleri bu amaçla çok uzun zaman önce kullanılmaya başlamıştı. Gündüz ve gece ile belirlenen gün uzunluğu, Güneş'in günlük hareketine karşılık gelir. Gök küresi üzerinde Ay'ın Güneş'e göre olan hareketi sırasında oluşan Ay fazları da takvim ayını belirler. Yıldızlara göre Güneş'in yıllık hareketi ise mevsimleri ve yıl uzunluğunu belirler.

Ufuk, ekvator ve ekliptiğe dayalı geometrik koordinat sistemleri tanımları ile Güneş ve yıldızların görünen hareketlerine dayalı zaman ölçümleri, doğrudan gözlenebilir doğal olaylara dayalıdır demiştik. Zenit ve ufuk yerel çekül doğrultusu ile belirlenirken, ekvator ve kutuplar, yıldızların görünen günlük hareketleri ile, ekliptik ve ekliptiğin ekvator ile kesişme noktası olan, ilkbahar ılımlık noktası Güneş'in yıllık görünen hareketi ile tanımlanabilir. Bu tür görünen hareketlerin aslında Yer'in hareketini yansıttığını düşünürsek, geometrik tanımları dinamik olarak da yapabiliriz.

Bu durumda hareket denklemlerinde görünen zaman terimi, dinamik zaman ölçeklerini tanımlamada kullanılmaktadır[11].

Dikkat edilirse, gök cisminin doğrudan konumunu ölçecek yerde, bu cismin görünen hareketi ile tanımlanabilen zamanı ölçmek, bizi gene konum bilgilerine ulaştıracaktır. Bu tip zamanların, atom saatleri gibi çok duyarlı saatler ile karşılaştırılması sonucu bir takım düzensizlikler gösterdikleri anlaşılmıştır. Zaman ve koordinatlar arasındaki ilişki sayesinde, zamandaki düzensizlikten gözlenen gök cisminin konumundaki düzensizliğe gidilebilir.

Görünen hareketlerin doğrudan gözlenmesi, gök küresi üzerindeki başvuru dairelerinin gerçek yerlerini belirlemenin tek yoludur. Nokta ve daireler ile belirlenen geometrik sistemin gök küresi üzerinde tanımlanan hatları, doğada hemen belirlenebilen, görülebilir nokta ve çizgiler ile çizili değildir. Sadece gök cisimlerinin kendileri ve küre üzerinde görünen durumları, biri diğerine bağlı olarak yada ufuk ve çekül doğrultusu gibi görülebilir başvuru işaretlerine göre doğrudan elde edilebilir. Bu nedenle, pratikte başvuru sistemlerini gerçekleştirmek ve astronomik gözlemleri yapabilmek için, küre üzerinde başvuru noktaları ve dairelerini belirleyecek işaretler tasarlanmalıdır. Yıldızlar bu tip noktalar olarak kullanılabilir. Yıldızların hareketi yardımıyla da temel düzlemler belirlenebilir. Görünen günlük hareketleri sırasında yıldızlar, gök kutbunu ve ekvatorunu belirleyecek şekilde hareket ederler, böylece küre üzerinde hareket eden diğer cisimlerin ve Güneş'in hareketine referans olacak başvuru noktaları sağlarlar[12].

Sonuçta, gökküresinin her tarafına yayılmış bir takım standart yıldızlar seçerek, bunların arasında temel dairelerin konumları, bu yıldızlara göre Güneş'in görünen hareketi ve kendilerinin günlük hareketi izlenerek bulunabilir. Standart yıldızların birbirlerine göre konumlarını ve dairelerin bunlar içindeki yerleşimini bulabilmek için, bu yıldızların, Güneş'in ve bazı gezegenlerin oldukça uzun bir zaman aralığında yapılmış sistematik gözlemlerine ihtiyaç vardır. Diğer yıldızların yada gök cisimlerinin koordinatlarını belirlemek için, bu cisimlerin başvuru yıldızlarına göre olan konumları ölçülür, dolayısıyla gözlenen koordinatlar doğrudan başvuru dairelerine göre yapılmış gibi olur. Bu başvuru yıldızları sistemi, bir katalog ile temsil edilir ve katalog, içerdiği yıldızlara ait konum, öz hareket gibi bilgiler içerir. Şimdi kataloglar hakkında biraz daha ayrıntılı bilgi verelim.

Çizelge 2-3 Başvuru sistemleri

Sistem	Başvuru Düzlemi		Başvuru Düzleminin itibaren ölçülen parametreler	
	Asal	İkincil	Asal	İkincil
Ufuk	Gök ufku	Gök meridyeni	Yükseklik $-90^{\circ} \leq a \leq +90^{\circ}$ (+ zenite doğru)	Azimut $0^{\circ} \leq A \leq +360^{\circ}$ (+ Kuzeyden Doğuya)
Saat Açısı	Gök ekvatoru	Gözlemcinin zenit'inin saat dairesi (yarısı zeniti içerir)	Dikaçıklık $-90^{\circ} \leq \delta \leq +90^{\circ}$ (+ Kuzey)	Saat açısı $0^h \leq H \leq 24^h$ $0^{\circ} \leq H \leq 360^{\circ}$ (+ Batı)
Sağaçıklık	Gök ekvatoru	Ekinoksal colure* (yarısı ilkbahar ılım noktasını içerir) (*İlim noktalarından geçen büyük daireler)	Dikaçıklık $-90^{\circ} \leq \delta \leq +90^{\circ}$ (+ Kuzey)	Sağaçıklık $0^h \leq \alpha \leq 24^h$ $0^{\circ} \leq \alpha \leq 360^{\circ}$ (+ sağ açıklığın artma yönü)
Ekliptik	Ekliptik	İlkbahar ılım noktasından geçen ekliptikel meridyen (yarısı ilkbahar ılım noktasını içerir)	Tutulum Enlemi $90^{\circ} \leq \beta \leq +90^{\circ}$ (+ Kuzey)	Tutulum Boylamı $0^{\circ} \leq \lambda \leq +360^{\circ}$ (+ Doğu)

2.1 Yıldız Kataloşları

Yıldız kataloğu ismi aslında “*Kesin yıldız konumları kataloğu*” isminin kısaltılmış biçimidir. Daha önceden başvuru sistemleri kısmında bahsedildiği gibi, bir nesnenin bulunduğu noktayı tanımlamak için bir takım koordinatlar gerekmektedir.

Bir kataloğda yıldız konumlarını kayıt etmek için, ortalama güneş merkezli sağaçıklık sistemi herhangi bir T_0 başlangıç anı için seçilir. T_0 , için genellikle Besseliyen yılı başlangıçı seçilmekteyse de son zamanlarda 1900, 1925, 1950 ve 2000 yıllarının başlangıcına karşı gelen Jülien günleri kullanılmaktadır.

Listede bulunan her yıldız için, kataloğ, yıldızın sağ açıklığı ve dik açıklığı ile herhangi bir hareketsiz (ideal) sisteme göre bunların zaman türevlerini (öz hareket) içermelidir. Koordinat sisteminin başlangıç zamanını (epoch) ve hareketlerini hesaplamada kullanılan presesyon sabitini bilmek zorunludur. Tam bir indirgeme için listedeki yıldızların radyal hızları ve uzaklıkları da elde edilebilir olmalıdır. Bunlara ek olarak her kataloğda olmasa da, bazı kataloğlar parlaklık, spektral tip, diğer kataloğlara ait referans v.s. gibi bilgiler de verebilir. Bu verilerden herhangi bir zaman için yıldızın koordinatları ve bunların zaman türevleri hesaplanabilir. Bir epoktan diğerine dönüşüm salt öz hareketler kullanılarak yapılamaz. Presesyon ve Nutasyon da gözönüne alınmalıdır. Bunların herhangi bir yıldızın bilinen koordinatlarına olan etkileri ise bir takım parametrelerin (presesyon sabiti v.s.) kesinliği ölçüsünde hassastır. Bunlardan başka, gözlemleri gökyüzünün sadece belirli bir bölgesine kısıtlamamak için, kataloğda bulunan yıldızlar, mümkün olduğunca gök küresinin tüm bölgelerini tarayacak şekilde seçilmelidir.

2.1.1 Kataloğ Tipleri

Gözlemler yardımı ile bir yıldızın konumunu bulmak için, öncelikle koordinat sisteminin eksenlerini belirleyen yönleri bilmemiz gerekir. Daha sonra bu sisteme göre yıldızın konumunu belirleyen yönler hassas olarak ölçülebilmelidir. Bu durumda koordinat sisteminin yönelimi, ya doğrudan , ya da sisteme göre durumları bilinen yakın yıldız konumlarına göre ölçülür. İlk durumda elde edilen mutlak konumlardır ve bu durumda elde edilen kataloğlar “*mutlak yıldız kataloğları*” olarak isimlendirilir. İkinci durumda elde edilen konumlar bağıldır ve “*bağıl yıldız kataloğları*” olarak isimlendirilir[13].

Öz hareketler, konum gibi anlık elde edilemezler.Öz hareketlerin elde edilebilmesi için farklı zamanlarda yapılmış gözlemlere ihtiyaç vardır.Doğrudan gözlenen konumlar, genellikle gözlenen zamandaki sağaçıklık sisteminde elde edildiğinden, bir zamandan diğerine olan konum değişimi sadece öz hareket sebebiyle olmayıp, presesyon ve nutasyon etkilerini de içerir.Öz hareketi türetmek için kullanılan bütün gözlemler aynı koordinat sistemine indirgenmelidir(Bu öz hareket ile presesyon sabitinin karşılıklı bağılıklarını gösterir). Koordinat sisteminin hareketi sebebiyle değişik zamanlardaki konumlar üzerine olan etki çıkarıldıktan sonra öz hareketler hesaplanır. Bu amaç için yeterince uzun zaman aralığında yapılmış en az iki gözleme ihtiyaç duyarız.Doğal olarak gözlem sayısı çoğaldıkça duyarlılık artar.Genellikle gözlem hatalarını minimize etmek için bağımsız olarak gözlenmiş bütün konumlar kullanılarak en küçük kareler yöntemiyle ayarlamalar yapılır.Böyle bir ayarlamadan sonra elde edilen konumlar ve öz hareketler belirli bir başlangıç zamanını referans alırlar.Kullanılan koordinat sistemi için seçilmiş epok, başlangıç zamanı olarak sıkça kullanılır.

Konumları içeren kataloglar, gözlemlerin (mutlak ya da bağıl) doğrudan doğruya bağımsız sonuçları değildir, çoğu katalog değişik özgün gözlem kataloglarının bilgilerini birleştirerek "*Derleme Kataloglar*"ı oluştururlar. Bazı derlemeler için, seçilmiş yıldızların olabildiğince en iyi öz hareket ve konumlarını elde etmek amacıyla, mutlak gözlemlerin tümü ve bağıl gözlemlerin en iyileri seçilir. Böylece elde edilen kataloglar "*Temel kataloglar*" olarak isimlendirilirler.Diğer derleme kataloglarda, çok sayıda yıldız için sadece iki bağımsız (ve genellikle bağıl) konum ölçümünden hesaplanan konum ve öz hareket bilgileri bulunur.

2.1.2 Özgün Gözlem Katalogları

Mutlak konumların bulunması için ilk olarak sağaçıklık sisteminin eksenlerinin yönleri bulunmalıdır.Daha sonra bu eksenlere göre yıldız konumları bulunur.

2.1.2.1 Mutlak Dikaçıklıkların belirlenmesi

Dikaçıklık, kutup uzaklığının 90° 'ye tümleyeni olduğundan, bir gök cisminin kutup uzaklığını ölçme yeteneğine sahip bir alet mutlak dik açıklığın belirlenmesi için yeterli olacaktır.

Meridyen dürbünü denilen alet bu yeteneğe sahiptir. İdeal olarak aletin optik eksenini aletin dönüş yaptığı düzleme diktir.Dönüş düzlemi, ufuk düzleminde Doğu-Batı yönünde uzanır. Aletin optik eksenini her zaman yerel gök meridyeni

düzlemindedir. Yıldız geçişte iken kutup ve yıldız arasındaki açı uygun bir şekilde ölçülür. Pratikte atmosferik kırılma ve sapınç etkileri yüzünden yıldız olduğundan farklı yerde görünür. Ayrıca gözlem sürecinden doğan sistematik hatalar ve kutup hareketi etkileri de gözönüne alınmalıdır. Bu etkilerin düzeltilmesi gerekir.

Bu gözlemler ile elde edilebilecek tek şey kutup doğrultusu ile yıldız doğrultusu arasındaki açının doğrudan ölçümü değildir. Gözlemcinin boylamının parametre olarak girdiği, yükseklik ile azimut ve saat açısı ile dikaçıklık arasındaki genel bağıntıları kullanan bir çok yöntem geliştirilmiştir. Yıldızların asal meridyenden yada almukantar'dan geçiş zamanlarının, gökyüzünün doğu ve batı yönlerinde gözlenmesiyle elde edilen denklemlerden gözlemci boylamı yok edildiğinde, dikaçıklıklar doğrudan bulunabilir. Bu yöntemlerin başında ise tezimizin konusu olan Danjon astrolabı ile yapılan gözlemler gelir.

2.1.2.2 Mutlak Sağaçıklıkların Belirlenmesi

Mutlak sağaçıklığın belirlenmesi problemi herhalde konum astronomisinin en zor problemlerinden biridir. Bunun için ilkbahar noktasının yönünün bulunması gerekir. Ekliptik tanım olarak Güneş'in gökyüzündeki görünen yörüngesi olduğundan, ekliptiğin yerleşiminin bilinmesi için Güneş gözlemleri yapılması zorunludur.

Ekliptiğin herhangi bir eylemsiz sisteme göre yönelimi iki Euler açısı ile tanımlanır. Gezegen presesyonu nedeniyle bu açılar zamanın fonksiyonudurlar. Bu fonksiyonlar ancak polinom yaklaştırması ile bulunabilmektedir ve tanım olarak ekliptiğin herhangi bir eylemsiz sisteme göre yönelimi salınım'a uğramadığından bu yaklaşım periyodik terim içermez.

Belirli bir T_0 anında ekvatorial sistemin eylemsiz sistem olarak seçildiğini kabul edelim. İlkbahar noktasının doğrultusu bilinmediğinden bu yönü gösteren x ekseninin doğrultusu keyfi olarak seçilir. Bu sistemde ekliptiğin konumu,

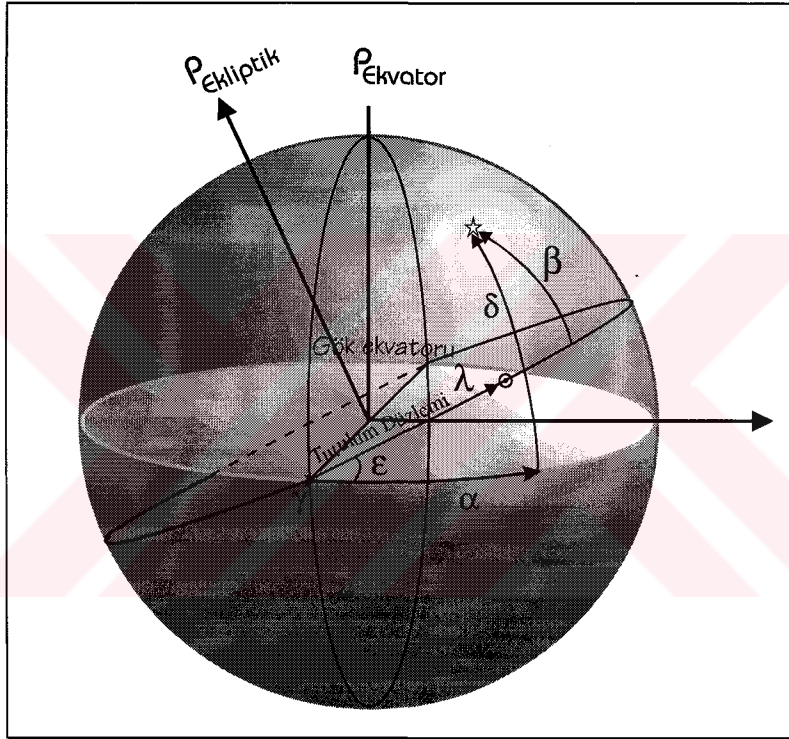
$$\Omega = \Omega_0 + \Omega_1 t + \Omega_2 t^2 + \Omega_3 t^3$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 t + \varepsilon_2 t^2 + \varepsilon_3 t^3$$

parametreleri ile tanımlanır. Burada t , T_0 anından beri geçen zaman; Ω , x eksenini ilkbahar noktası arasındaki açı ve ε ekliptiğin eğimidir. Ekliptik düzlemi, Güneş merkezini, Yer-Ay sisteminin kütle merkezini ve Yer-Ay sisteminin hız vektörünü içeren düzlemden periyodik salınımları uzaklaştırarak elde edilir. Bu periyodik

salınımlar Venüs ve Jüpiter'in etkileri sebebiyledir. Gezegenler sistemindeki cisimlerin hızları ve bağıl yönelimleri biliniyorsa Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 , ε_1 , ε_2 ve ε_3 gök mekaniği kullanılarak hesaplanabilir. Ω_0 ve ε_0 ise doğrudan Güneş gözlemlerinden elde edilebilir. Bunun için en az iki Güneş geçişinin gözlenmesi gereklidir. Güneş, yerel saat açısı sistemine göre gözlenir ve bu sistem ortak z eksenine etrafındaki bir dönme ile eylemsizlik sistemine dönüşebilir. Prensip olarak bu işlem şu şekilde gerçekleştirilir:

Güneş'in görünen ekliptikal enleminin her zaman sıfır olduğu kabul edilirse (ki bu doğru değildir), bu durumda (Şekil 2-2),



Şekil 2-2 Ekliptik sistemi ile ekvator sistemi. Ekvatoral sistemde α sağaçıklığı ve δ dikaçıklığı tanımlanır. Ekliptik sisteminde bunların yerini λ ekliptikal boylamı ve β ekliptikal enlemi alır.

$$\cos \delta_{\odot} \cos \alpha_{\odot} = \cos \lambda_{\odot}$$

$$\sin \delta_{\odot} \sin \alpha_{\odot} = \sin \lambda_{\odot} \cos \varepsilon$$

$$\sin \delta_{\odot} = \sin \lambda_{\odot} \sin \varepsilon$$

Böylece eğer ε biliniyorsa,

$$\sin \alpha_{\odot} = \tan \delta_{\odot} \cot \varepsilon$$

dan α_{\odot} bulunur. Böylece Güneş'in mutlak sağ açıklığının belirlenmesi problemi, güneş'in dik açıklığının belirlenmesi problemine dönüşür. Bu ise daha önce bahsedildiği gibi kolaylıkla ölçülebilir bir niceliktir. Eğer aynı zamanda Güneş'in h_{\odot} saat açısı da hassasiyetle ölçülürse (güneş meridyen üzerindeyken $h_{\odot}=0^h$ veya $h_{\odot}=12^h$ dir), görülen yıldız zamanı,

$$GYZ = \alpha_{\odot} + h_{\odot}$$

den hesaplanır. Bu zaman kullanılan yıldız saatlerini ayarlama da kullanılabilir. Üst geçişte gök cisminin sağ açıklığı yıldız zamanına eşit olduğundan, cismin mutlak sağ açıklığı bulunur. Bu işlemlerin yapılabilmesi için ε 'un bilinmesi gereklidir. Eğer ε bilinmiyorsa gündönümü noktalarındaki gözlemler ile,

$$\alpha_{\odot} = \lambda_{\odot} = 6^h \text{ ya da } 18^h \quad \cos \alpha_{\odot} = \cos \lambda_{\odot} = 0 \text{ ve } \sin \alpha_{\odot} = \sin \lambda_{\odot} = \pm 1$$

kullanılarak

$$\sin \delta_{\odot} = \pm \sin \varepsilon$$

formülünden ε bulunur.

Pratikte bir çok sorunla karşılaşırız. Güneş'in sonlu bir yarıçapa sahip olması, herhangi bir yıldızdan çok daha parlak ve ısı yayıyor olması sistematik hatalara yol açar.

Ekliptiğin uzaydaki yönelimini ölçmek için başvuru cismi olarak sadece Güneş kullanılmaz. Ekliptik sistemine göre hareketi bilinen herhangi bir gök cismi yardımıyla da ekliptik tanımlanabilir. Bir gezegen hatta hareket denklemleri bilinen bir asteroid bile ekliptiğin yönelimini verir.

Sağaçıklık sistemi (yada herhangi bir eylemsiz sistem) sadece istatistik ve kinematik olarak tanımlanmaz, iyi tanımlanmış hareket denklemlerinin integrasyon sonuçlarının gözlemler ile karşılaştırılması sonucu "Dinamik" olarak ta tanımlanabilir.

Mutlak sağaçıklığın tam olarak belirlenmesiyle ilgili zorluklar nedeniyle genellikle mutlak sağaçıklık yerine, mutlak sağaçıklık farklarını bulmaya yarayan bir yöntem izlenir. Prensipde bu iş değişik yıldızların meridyen geçişleri esnasında kaydedilen yıldız zamanı farkları ölçülerek yapılır. Bu ölçümde, ölçüm aletine bağlı saatin duyarlılığı çok önemlidir. İdeal olarak bu saatin gösterdiği zaman, istasyonun bulunduğu yerde Yer'in dönme açısıyla orantılı olmalıdır. Böylece bir yıldızın iki ardışık üst geçişiyle belirlenen iki yıldız zamanı arasındaki fark sadece bir günlük

sağaçıklık değişimi kadar olur. Pratikte sağaçıklıklar (yada farkları) sadece tek bir koordinata bağlı olarak mutlaktır. Örneğin sonuçlar sadece α 'ya bağlı sistematik hatalar içerirken, δ 'ya bağlı hatalar içermeyebilir. Deneyler, mutlak konumların belirlenmesinin, bağlı konumları belirlemeden on kat daha fazla zaman aldığını göstermiştir.

2.2 Temel Yıldız Kataloğları

2.2.1 Yıldız Konumlarını Etkileyen Sistemik Hatalar

Yukarıda değinildiği gibi, ideal bir yıldız kataloğu, sadece yıldızların gözlendiği zaman için değil oldukça uzun bir zaman aralığında (bu zaman aralığı da konum, öz hareket ve presesyon sabitinin hassasiyetine bağlıdır) bir koordinat sistemi tanımlayabilecek konum, öz hareket, uzaklık ve radyal hızları içermelidir. Öz hareket küçük bir zaman diliminde elde edilemeyeceği için, böyle bir kataloğ, derleme bir kataloğ olmalıdır. Temel kataloğlar, bütün gökyüzüne dağılmış seçilmiş sayıda yıldız için elde edilebilen en iyi konum bilgisini sağlamada yardımcı olurlar. Akla hemen şu soru gelebilir: Bu veriler, bir yıldız için belirli bir zamanda sistematik ve bireysel olarak elde edilebilen en kesin konum ve öz hareketler midir ?

Bir yıldızın bağımsız olarak belirlenmiş bütün konum verilerinden hareketle istatistiksel olarak belirli bir zaman için, konum ve öz hareket hesaplanabilir. Bu durumda önümüze biri teorikte biri pratikte olmak üzere iki problem ortaya çıkar. İlk olarak, yayınlanmış yıldız konumlarının sayısı çok fazladır ve bunları bir kataloğ olarak toplamak günümüz bilgisayar teknolojisine rağmen hala çok uzun zaman alan bir iştir; ikinci olarak bir kataloğda bulunan yıldız konumlarının sadece gözlem anındaki kişisel gözlem hatalarını değil, bir takım sistematik hataları da içerdiği unutulmamalıdır. Yukarıda açıklandığı gibi, mutlak yıldız konumlarının belirlenmesi, aynı zamanda başvuru çerçevesinin yönelimini de bulmayı gerektirir. Bu arada zaman tayininde kullanılan saatin dünyanın dönmesiyle tamamen uyumlu olduğu, atmosferik kırılma etkisinin çok iyi bilindiği, aletin sıfır ayarlarının tam olarak yapıldığı gibi ideal şartlar kabul edilir. Bu ideal şartlardan sapma olması kaçınılmazdır ve ham gözlemleri indirgemede kullanılan denklemler ideal durumlar için türetiliyse sonuçlar gerçek durumla uyuşmayacaktır. Bu durumda bulunan konumlar sistematik bir hata taşıyacaktır. Akla gelen ilk şey, denklemlere bu sapma terimlerini eklemektir. Ama bu durumda da sapma terimlerini elde etmek için

kullanılan modelden kaynaklanan hatalar gelecektir. Bu durum özellikle bağıl yıldız konumları için geçerlidir.

Sonuçta, katalogları hazırlarken başlangıç zamanına ait konum ve öz hareketlerdeki sistematik hataları mümkün olduğunca uzaklaştırmaya gayret etmelidir..

2.2.2 Katalog Sisteminin Kurulması

Eğer bütün gözlemcilerin, gözledikleri yıldızların mutlak konumlarını etkileyen sistematik hataları minimize ettiklerini varsayarsak, bütün bu gözlemleri ayarlayarak, yani ortalamalar alarak yıldızların konumları ve öz hareketleri için en iyi değerler elde edilir. Bu adımda özel kataloga herhangi bir bağıl gözlemi katmak yanlış olur çünkü bu tip gözlemler başvuru yıldızlarının sistematik hatalarını taşırlar.

Bundan sonra, özel katalogda verilen konumların, mutlak gözlenen yıldızlara göre ayarlanan ortalama ile arasındaki fark (residual) bulunur. Genellikle bu farklar yıldızın konumu, parlaklığı ve spektral tipiyle bağlantılı sistematik bir gidiş gösterirler.

Bu farklardan faydalanılarak kurulan özel katalog konumlarının ortalamadan olan sistematik farklarını temsil eden formüller yada tablolar oluşturulur. Bu tablolar herhangi bir özel katalogu ortalama katalog sistemine indirgemede kullanılabilir.

Temel bir katalogun inşası, uygun mutlak katalogların seçimiyle başlar. Kural olarak farklı kataloglardan alınan verilere farklı ağırlıklar verilerek ortalama konumlar ve öz hareketler hesaplanır. Seçilmiş bağıl kataloglarda verilen konumlar birleştirilerek, bu konumlar ile mutlak katalog ortalaması arasındaki farklar mümkün olduğunca ayıklanır. Bu yöntemle elde edilen ve mümkün olduğunca homojen bir şekilde gökyüzünün tamamını içine alan konum ve öz hareket listeleri "*Temel katalogları*" oluşturur.

2.2.3 Temel Bir Sistemin Tanımlanması

Temel sistemi, eylemsiz sistemle karıştırmamak gerekir. Temel sistem daha önce tanımını yaptığımız eylemsiz sisteme en iyi yaklaşımı temsil eder.

İki yıldızın üç koordinatı (iki dikaçıklık ve bir sağaçıklık) prensipte böyle bir sistemin ekvatorunu ve bu ekvator üzerinde sıfır sağaçıklık noktasını tanımlamaya yeterlidir. Temel katalogda bu koordinatlar sistematik hatalardan etkilendiği için uzayın bir bölgesinde bulunan yıldız konumları ile tanımlanan koordinat sistemi

eksenleri, bir başka bölgedeki yıldızlar ile tanımlanan eksenler ile çakışmaz. Böylece sistemi tanımlamak için üçten fazla yıldız kullanılarak, yıldızların konumları koordinat sistemine fit edilir. Fakat bu durumda da uygulanan matematiksel modele göre farklı eksenler elde edilir. Seçilen örnek yıldızların çok azı değişse bile, eksen yönleri değişecektir. Böylece, temel katalog sistemi, seçilen kataloga ve uygulanan modele göre tanımlı olacaktır.

Temel katalog ile tanımlı sistem, modelden bağımsız olarak gökyüzünün her noktası için belirliyse bu durumda ideal sisteme sahip olduğumuzu söyleyebiliriz. Doğal olarak bu mümkün değildir. En iyisi, gökyüzündeki her bir nokta için, sistemin koordinat eksenlerinin konumunu belirlemektir. Böylece temel bir sistem, belirli bir zaman için ekvator ve ilkbahar ılım noktası belirlenmiş bir sistem olacaktır.

Temel katalog olarak seçilebilecek iki farklı kaynak vardır. Bunlardan birincisi Alman serisi olarak bilinen, NFK (Neuer Fundamental Katalog, Peters, 1907); FK3 (Fundamental Katalog 3, Fricke and Kopff 1937); FK4 (Fundamental Katalog 4, Fricke and Kopff 1963) ve günümüzde kullanılan FK5 (Fundamental Katalog 5, Fricke 1984). Bu seriler yayımlandıkları tarihteki ideal başvuru sistemine en iyi yaklaşımı temsil etmektedirler. Kabul edildikleri tarihten sonraki gözlemler ile hatalarının bulunması bir sonraki sistemin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Amerikan serisi olarak bilinenler ise şunlardır. Newcomb (1899); Eichelberger (1925); PCG (Lewiss & Boss 1910) GC (General Catalogue, Boss 1937)[14].

Bu teze konu olan başvuru sistemi FK5 olduğundan, sadece FK serisinde FK3 ve FK4'e değinilecek FK5 üzerinde ayrıntılarıyla durulacaktır.

2.2.4 FK Serisi Temel Yıldız Katalogları

1920'li yılların sonuna doğru, Astronomische Gesellschaft Katalog 1, AGK1, katalogunda bulunan yıldızların konumları fotoğrafik olarak belirlenmeye başladı. Bu girişimin sonunda AGK2 katalogu oluştu. AGK2 katalogu oluşturulurken yayınlanan bütün konumların aynı temel sisteme indirgenmiş olması kararlaştırıldı. Bu durum, NFK katalogunun yeniden düzenlenerek yeni bir katalog oluşturulması sürecini başlattı. Sonuçta bugün FK3 olarak isimlendirdiğimiz katalog ortaya çıktı.

NFK katalogundaki yıldız yoğunluğu kutuplara doğru artıyordu. Gökyüzünün bütün bölgelerindeki yıldız yoğunluklarını homojenleştirmek için

Kopff, NFK yıldızlarına ek olarak FK3'e yeni 600 yıldız daha ekledi. Böylece FK3, 1535 yıldızın konum ve öz hareketlerini içeren bir katalog oldu.

FK3'ün oluşturulmasına yol açan benzer nedenler ile FK4 sistemi kurulmuştur. Bu neden, AGK3 katalogunun geliştirilmesi için yapılan planlardı. FK3 sistemi kurulduktan sonra yeni ve nispeten daha modern teknikler kullanılarak yapılan gözlem sonuçlarının fazla olması nedeniyle, AGK3 katalogunun indirgeneceği temel sistemin FK3 'ün son gözlemleri de içeren daha duyarlı hali olmalıydı. Bu yüzden FK4 sistemine geçildi. Sonuçta FK4 katalogu, 1963 yılında Heidelberg'deki Astronomischen Rechen Institut tarafından yayınlandı.

FK3 güneş sistemindeki cisimlerin hareketlerinin dinamik teorileri ve Newcomb'un presesyon teorisine dayalı bir katalog idi. FK4, aslında FK3 katalogundaki yıldızların öz hareket ve konumlarındaki hataların daha azaltılmasından başka değişiklik taşııyordu. Yani her ikisinde aynı sistemlerdi. Herhangi bir ekinoks veya ekvator düzeltmesi yoktu.

Yalnızca böyle katalogların hazırlanması için yapılan çalışmanın büyüklüğü hakkında bir fikir vermek amacıyla şu örneği verelim. FK4 katalogu oluşturulurken, FK3'ün inşası için kullanılan 86 alet katalogunun yanında, FK3'de kullanılmayan 72 katalog analizlenerek kullanılmıştır. Buna ek olarak GC ve N30 kataloglarından da yararlanılmıştır. Bütün bu katalogların analizlenmesi sonucu FK4 katalogunda sadece 1535 temel yıldız vardır. Bu yıldızların yanında konumları diğer yıldızları kadar iyi belirlenmemiş 1967 yıldız daha kataloga ilave edilmiştir. Bu ek liste, FK4 ek listesi olarak isimlendirilir.

FK4 sisteminin oluşturulmasından sonra yapılan yeni gözlemlerin, FK4 sisteminde gözardı edilemeyecek ölçüde sistematik hatalar olduğunu ortaya çıkarmasının ardından, 1973 yılında toplanan IAU kongresinde FK4'ün iyileştirilmesine karar verildi.

1976 yılındaki IAU genel toplantısında, temel başvuru sistemi için aşağıdaki öneriler kabul edildi[15].

- ◆ Presesyon sabiti değerinin yeniden belirlenmesi,
- ◆ J2000.0 tarihini başlangıç kabul eden yeni bir epok standardı,
- ◆ Presesyon ve öz hareket için zaman birimi olarak Jülyen yüzyılıının seçilmesi,

- ◆ Modern gözlemler ışığında, dinamik sisteme mümkün olduğunca yakın olacak FK5 başvuru sisteminin kurulması,
- ◆ FK5 için uyarlanacak ekinoks düzeltmesine dayalı olarak, Greenwich ortalama zaman ifadesinin düzeltilmesi,
- ◆ Yıldızların ortalama konumlarından E-teriminin çıkarılmasını sağlayacak yeni bir sapınç hesaplama yöntemi,
- ◆ Nutasyon için yeni bir başvuru kutbu ve teorisi,
- ◆ Dinamik teoriler ve efemerislerde kullanılmak üzere zaman ölçeklerinin yeniden tanımlanması.

FK5 sisteminin derlenmesinde esas çalışma Astronomisches Rechen Institut tarafından yapılmıştır. Yeni gözlemleri içeren 100 tane katalogun FK4 ile karşılaştırılması sonucu, yıldızların öz hareketlerindeki hassasiyet 2 katı kadar artırılmıştır. Çalışmanın bu kısmı başvuru sisteminden bağımsızdır. Bölgesel hatalar, astrolab ve zaman kataloglarını içeren 90 mutlak yada yarı-mutlak katalog kullanılarak düzeltilmiştir. Sistemin oluşturulmasında IAU'nun yukarıdaki öngörülleri uygulanmıştır. Sistemin ekvator ve ekinoks'u ile yerel durağanlık standardı¹ yeniden belirlenmiştir[16]. Galaktik dönme durumunun da göz önüne alınması nedeniyle FK5 sistemi sadece dinamik bir sistem olmayıp kısmen kinematik bir sistem olarak tanımlanmıştır. 1979 yılındaki genel toplantıda, FK5 başvuru sistemi yeni başvuru sistemi olarak kabul edildi. Buna göre FK4 yıldızlarının sağaçıklıklarında aşağıdaki düzeltmenin yapılması gerektiği hesaplanmıştır[16].

$$E(T)=(0^s.035 \pm 0^s.003) + (0^s.085 \pm 0^s.010) (T-1950)$$

Burada ilk terim, ilkbahar ılımlı noktasındaki kaymayı, ikinci terim ise bunun zamanla değişimini göstermektedir. Bu düzeltme terimi, daha sonra yapılan gözlemler ışığında daha duyarlı hale gelebilir. Zaten bu tezin amacı da, bu terimin iyileştirilmeye ihtiyacı olup olmadığının bulunmasıdır. FK5 'de ortalama duyarlılık konumunda $0''.02$ ve öz harekette $0.8 \text{ mas}^2 / \text{yıl}$ 'dır.

¹Local Standart of Rest

²Milli Angular Second

FK5'in temel yıldızları FK3 ve FK4'ünkilerle aynıdır. Sistemi gökyüzünün herhangi bir dar bölgesini kapsayacak kadar genişletmek için sistemdeki yıldız sayısı yeterli değildir. Bu durumda sistemi, uzayın bütün noktalarını kapsayacak şekilde genişletmek üzere yıldız eklenmelidir. Örneğin, klasik $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 'lik fotoğraf plaklarını kullanarak bir cismin konumunu belirlemeye çalışırsak, görüş alanımızda temel kataloğa ait 10-20 başvuru yıldızı olmalıdır. Böylece bütün uzayı taramak istediğimizde yarım milyon kadar başvuru yıldızı gerekli olur. Öz hareketleri ve konumları iyi belirlenmiş bu sayıda yıldız olmadığından, yarım milyon yıldız içeren temel kataloğ'da yoktur. HIPPARCOS kataloğu 100.000'in üzerinde yıldız içeren bir kataloğ olarak, 3000 yıldızlık FK5'in yerini alacaktır.

2.2.5 HIPPARCOS Projesi

ESA³' astrometrik misyonu olan HIPPARCOS⁴ uydusu, 8 Ağustos 1989 tarihinde uzaya fırlatılmıştır. Bu uydu "mas" duyarlılığında astrometri yapmak için tasarlanmıştır. Uydunun yörüngeye oturtulması sırasında ortaya çıkan bazı güçlükler giderildikten sonra, 27 Kasım 1989 tarihinde uydu çalışmaya başlamıştır. Temmuz 1990'dan itibaren normal gözlemler başlamıştır. Bu aksaklıklar yüzünden uydu verileri beklenenden biraz daha düşük duyarlılıkta olsa bile, hassasiyet yer gözlemlerine nazaran çok çok iyidir. Astrometrik parametreler için elde edilen duyarlılıklar şunlardır. Paralaks ölçümleri için 1.5 mas ve öz hareket bileşenleri için 0.9-1.2 mas/yıl. Bu duyarlılık Yer gözlemlerine nazaran ortalama 1000 kat daha iyidir. Yapılan ölçümlerin değerlendirilmesi tam olarak bittiğinde şu anda mevcut optik başvuru sistemlerinden çok daha hassas, 118 000 yıldız'ın konum ve öz hareketlerini içeren bir başvuru sistemine sahip olabileceğiz. Bununla ilgili olarak, tüm çalışma bittiğinde, 14 ciltlik bir kataloğ'un 1997 yılı başlarında basılması planlanmaktadır. İlk verilerin ışığında, FK5 sisteminin 1418 yıldızı için HIP-FK5 konum farkları hesaplandığında bunların 50-60 mas seviyesinde oldukları belirlenmiştir. Bu fark Güney yarıküre yıldızları için büyük, kuzey yarı küre yıldızları için küçüktür. Bu değerlendirmenin istatistikî bilgileri Çizelge 2-4 'de verilmektedir.

³ European Space Agency

⁴ High Precision Parallaxes Collecting Satellite

Çizelge 2-4 1992 epok'una göre HIPPARCOS sonuçlarının FK5 ile karşılaştırılması[17]

Yıldız Sayısı	N=1418
Ortalama Standart Sapmalar	
$\sigma_\lambda=1.6 \text{ mas}$	$\sigma_\beta=1.4 \text{ mas}$
FK5 sistemine Dönüşüm açıları	
$\phi_x= -7.8 \pm 3.0 \text{ mas}$	
$\phi_y= 2.2 \pm 3.0 \text{ mas}$	
$\phi_z= 61.7 \pm 3.2 \text{ mas}$	

2.3 Anlaşmasal⁵ Başvuru Sistemleri

Yukarıda bahsettiğimiz gibi ideal başvuru sistemi dediğimiz zaman, buradaki ideal terimi, sadece bir kavramdır ve gerçek bir sistemi kurarken çoğu durumda göz ardı edilir. Gerçek bir sistemi kurmak demek, hareketi ideal başvuru sisteminde fiziksel teoriler ile tanımlanabilen, fiziksel bir yapının seçimini yapmak demektir. Böylece seçilen parametrelere bağlı olarak modellenen yapı da değişir. Örneğin, Yer'in deformasyonunu ya da hareketini modellemenin bir çok yolu vardır. Benzer şekilde, dinamik tanım için kullanılacak bir çok gök cismi mevcuttur. Doğal olarak seçimi bilimsel temellere dayandırmak gerekir; böylece, seçimdeki keyfiliğin önüne geçilmiş olur. Yine de bazı düzensizlikler vardır ve yapılan seçimi karakterize etmek için “*anlaşmasal*” terimi kullanılır.

Bu durumda başvuru sistemine son biçimi vermek için aşılması gereken iki basamak daha vardır. İlkinde, temel yapı ve koordinatlar arasındaki bağıntıları ortaya koyan bir model tanımlamalıyız. Bu noktada, tanımlanan koordinatlar erişilebilir olmak zorunda değildir. Böyle bir model “*anlaşmasal başvuru sistemi*” olarak isimlendirilir. Böylece “*sistem*” terimi, koordinatları tanımlamada kullanılan teoriler yanında fiziksel çevrenin tanımını da içermektedir. Örneğin, FK4 (anlaşmasal) başvuru sistemi, Newcomb tarafından verilen, presesyon ve eğim değerleri ve gene Newcomb Güneş teorisi ile belirli ekliptik düzlemi yardımıyla tanımlanır. Bu sistemi tanımlama da kullanılan Nutasyon teorisi ise Woolard'dan alınmıştır[12]. Başvuru sistemi bir kez seçildiğinde, bu sistemi, kullananlar için

⁵Conventional Reference Systems

erişilebilir yapmak zorundayız. Bu amaçla sistem, genellikle bir dizi nokta, cisim yada koordinat ile özdeşleştirilir. Sistemin seçimi yanında üzerinde anlaşmaya varılmış bir takım parametrelere (yıldız konumları, kutup doğrultusu v.s.) ihtiyaç duyarız. Sistemi belirleyen bu parametreler kümesine de “*anlaşmasal başvuru çerçevesi*” denir. Örneğin, FK4 kataloğundaki 1535 yıldızın koordinatları, FK4 sistemini gerçekleştirmek üzere FK4 çerçevesini belirler. Böylece herhangi bir başka gök cisminin konumu bu yıldızların konumlarına göre belirlenmiş olur.

Konunun daha iyi anlaşılması için bir örnek daha verelim. Güneş sistemindeki cisimlerin hareket teorileri ile modellenen “*Dinamik başvuru sistemini*” gözönüne alalım. Bu durumda, hareket teorisi kullanılarak gezegenlerin gözlenen konumlarını hesaplamak amacıyla, gezegen kütleleri, presesyon sabiti gibi bir takım niceliklerin sisteme uydurulması gerekir. Bu niceliklerin değerleri üzerinde anlaşmaya varılmıştır ve bunlar IAU tarafından periyodik olarak güncellenen ve “*Temel Sabitler Sistemi*” olarak isimlendirilen bir bülten ile duyurulmaktadır. Bu sistem ile tanımlanan modeli gerçekleştirmek için, belirli sayıda noktanın koordinatları ve bunların zamanla değişimlerinin gözlemler yoluyla bulunması gereklidir. Gezegenlerin ya da Güneş’in yıldızlara göre konumlarının ölçülmesi ile bu yıldızların aynı anlaşmasal başvuru çerçevesindeki konumları bulunmuş olur. Bu yolla elde edilen öz hareket ve konumlar yardımıyla “*temel kataloglar*” oluşturulur.

Günümüzde kullanılan anlaşmasal başvuru sistemi IERS⁶ tarafından sağlanmaktadır ve şimdi biraz da bu sistemin özellikleri üzerinde duralım.

2.4 IERS

IERS’in amacı, kısa ve uzun dönemli çalışmalar için, yer’in dönmesi ile ilgili duyarlı bilgileri sağlamaktır. Bu amaçla, “*uluslararası yersel (ITRS)*” ve “*uluslararası göksel (ICRS)*” başvuru sistemleri, başlangıç noktaları ve eksen yönleri ile belirlenmiştir.

ICRS’in başlangıcı, Güneş sisteminin kütle merkezidir ve bu sisteme ait göksel başvuru çerçevesinin eksenleri, uzayda düzgün olarak dağılmış ($-86^\circ < \delta < +85^\circ$) 608 galaksi dışı radyo kaynağının ± 10 ms’den daha iyi duyarlılıkla elde edilebilen konumları ile belirlenir. Bu eksenler, ± 80 ms belirsizlikle FK5 çerçevesinin eksenlerine uydurulmuştur. ITRS’inin başlangıç noktası, okyanusları ve

⁶ International Earth Rotation Service

atmosferide içecek şekilde, yerin kütle merkezidir. Uzunluk birimi olarak metre seçilmiştir. Eksen yönelimi 1984 BIH sistemininkine ± 3 ms duyarlılığında uygun düşmektedir[18].

Yer'in dönmesi ile ilgili çalışmalar(kutup hareketi, presesyon ve nutasyon, evrensel zaman UT1) ve yer'in çekimsel ve dinamik deformasyonları oldukça modern gözlem teknikleri yardımı ile yapılmaktadır. Günümüzde kullanılan bu tekniklerin başında, VLBI⁷, LLR⁸ ve GPS⁹, SLR¹⁰,DORIS¹¹ gibi değişik uydu izleme teknikleri gelmektedir. GPS'in halen Malatya'da kullanılması nedeniyle bu teknik üzerinde daha sonra bir miktar ayrıntı verilecektir. Bu çalışmaların tümü dünya üzerine yayılmış 300'den fazla istasyonda yürütülmektedir.

IERS'in Uluslararası Yersel Başvuru sistemi, uluslararası jeodeji ve jeofizik birliği tarafından Uluslararası Yersel Başvuru sistemi olarak kabul edilmiştir. Bu sistem, bir dizi istasyonun bulunduğu yerin koordinatları ve hızlarının gözönüne alınması ile Uluslararası Yersel Başvuru Çerçevesi olarak uygulanmaktadır. Türkiye'de de 4 istasyon (Diyarbakır, Yozgat, Melengiçlik, Yığılca, Ankara) bu tip çalışmalara katkıda bulunmaktadır. 2000 yılına kadar, ana tektonik düzlemlerin herbirinde bulunan en az 4 istasyonun, minimum iki IERS tekniği kullanılarak gözlenmesine çalışılmaktadır. Bu sistemin denetlenmesi IERS tarafından sürdürülmektedir.

IERS tarafından kurulan uluslararası gök başvuru sistemi ise, IAU tarafından FK5 yıldız kataloğu yerine yeni Uluslararası Gök Başvuru sistemi olarak kabul edilmiştir.Galaktik Hipparcos başvuru çerçevesi de, Hipparcos çerçevesinin kendi duyarlılık sınırları içerisinde ICRS'e bağlanmıştır.Yukarıda bahsettiğimiz gibi, bu sistem galaksi dışı radyo kaynaklarının, VLBI tekniği yardımıyla bulunan konumlarını kullanarak Uluslararası Gök Başvuru Çerçevesini oluşturur. Bu başvuru yönlerinin kararlılığı ± 0.01 mas civarındadır.Bu sistemin de denetlenmesi ve diğer başvuru çerçevelerine bağlanması IERS tarafından yürütülmektedir. 2000 yılı için saptanan hedefler ise şunlardır[19].

⁷ Very Long Baseline Radio Interferometry

⁸ Lunar Laser Ranging

⁹ Global Positioning System

¹⁰ Satellite Laser Ranging

¹¹ Doppler Orbit determination and Radiopositioning Integrated on Satellite

- Kutup hareketi ve UT ölçümlerinin 0.1 mas duyarlılığında kullanıcılara günlük olarak dağıtılması
- Beş Yer-yörünge yönelim parametresinin ölçümlerinin sürdürülmesi
- Atmosfer ve Okyanus momentum analizlerinin, okyanusun derinliklerinden Strotosfer'e kadar çok hassas duyarlılıkta yapılması
- IERS cisimlerinin konumlarındaki duyarlılığın 0.1 mas'a (3 mm) yada daha iyiye götürülmesi

Uluslararası zaman servisi aktivitesi de IERS tarafından sürdürülmektedir. Evrensel zaman ve gün uzunluğu, başlıca yerel çekim etkileri, atmosferik sirkülasyon, yerin iç kısmında meydana gelen olaylar ve açısal momentum transferleri nedeniyle değişime uğramaktadır. Bu sayede UTC ile UT1 arasındaki ± 0.9 s'lik artık saniye düzenlemeleri yılın belirli zamanlarında yapılmaktadır.

IERS, Yer'in dönmesi ile ilgili altı farklı bülten yayınlamaktadır.

- **IERS Bulletin A**, Yer'in dönmesi ilgili parametrelerin hızlı bir biçimde bulunan değerleri içerecek şekilde haftalık olarak yayınlanmaktadır.
- **IERS Bulletin B**, ise verilerin daha iyi incelenerek optimize edilmiş değerlerini içerecek şekilde aylık olarak yayınlanmaktadır.
- **Annual Report**, Yer'in dönmesi, Yersel ve Gök başvuru çerçevelerinin birleştirilmiş çözümleri ve analizleri, yıllık olarak yayınlanmaktadır.
- **Special Bulletin C**, UTC'deki atık saniyelerin duyurulması için yayınlanmaktadır.
- **Special Bulletin D**, Zaman sinyalleri ile taşınabilen DUT1 'in değerinin duyurulması için yayınlanmaktadır.
- **Technical Notes**, IERS'in çalışmaları sonucu ortaya çıkan yeni şeyler hakkında tam bir bilgi sağlamak amacı ile yayınlanmaktadır.

Ayrıca bu bilgilerin hepsine, elektronik haberleşme yoluyla, EARN/BITNET yada INTERNET, ulaşılabilir.

3. ASTROLAB

Şimdiye kadar, başvuru dizgeleri, Yer'in yörünge parametreleri üzerinde durduk. Gördüğümüz gibi konum, UT, ...v.s niceliklerinin doğrudan yada dolaylı olarak ölçülmesi gerekir. Bu iş için değişik aletler ve teknikler kullanılmaktadır. İlk zamanlarda Theodolite, sonraları meridyen dürbünü, zenit tüpleri, klasik astrolablar ve günümüzde VLBI, LLR kullanılan alet ve tekniklerden bazılarıdır. Bu aletlerin bazılarının duyarlılıkları Çizelge 3-1'de verilmiştir[20].

Çizelge 3-1 Değişik Gözlem araç ve Teknikleri ile bunların duyarlılıkları

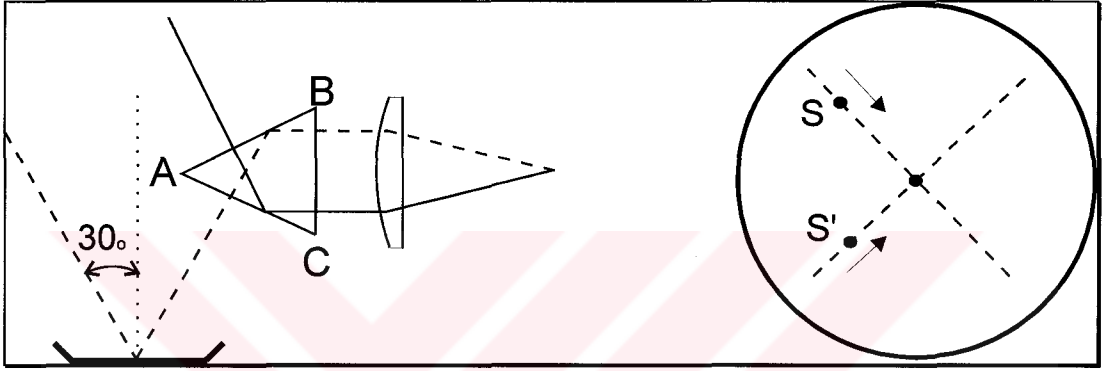
Teknik	Kutup Hareketi (")	Evrensel Zaman (ms)	Ortalama Gözlem Süresi	Ölçüm Şartları
Astrolab	0.06	4	2 saat	1 alet
Fotoğrafik Zenit Tüpü	0.04	4	2 saat	1 alet
Optik Yöntemler	0.01	0.8	5 gün	80 aletlik iletişim ağı
Doppler	0.01		2 gün	1 uydu, 20 istasyon
CEI	0.01	1	3 gün	1
VLBI	0.001	0.05	24 saat	2 istasyon
Uydu Lazer Mesafesi	0.001	0.1	3 gün	20 iletişim ağı
Ay Lazer Mesafesi		0.1	1 gün	1 alet

Görüldüğü gibi VLBI, Ay-lazer mesafe ölçümü tekniklerinin duyarlılıkları oldukça fazladır. Böylece bu teknikler kullanılarak ideal'e çok yakın başvuru sistemleri yada yıldız katalogları kurulabilmektedir. Ne varki ne kadar iyi olursa olsun kullanılmayan bir başvuru sistemi bizim için yararlı değildir. Yeryüzünde bulunan astronomi aletlerinin çoğu optik tekniklerle çalışır ve bu çalışma modern tekniklerden çok daha ucuza mal olur. Alet hataları ve atmosferik sınırlamalar dolayısıyla bu aletler ile elde edilen sonuçlar çok çok iyi olmasa da, bunlar ile değişik gök cisimlerini gözleme avantajına sahip oluruz. Bu tezde kullanılan verilerin astrolab verileri olması yanında ülkemizde biri halen faaliyette, diğeri pek yakında faaliyete geçecek olan iki astrolab bulunması, astrolabı bizim daha önemli

kılmaktadır. İlk astrolab, Claude ve Driencourt tarafından dizayn edilmişse de alet A. Danjon tarafından modifiye edildikten sonra önemli olmuştur[21]. Son yıllarda gelişen teknoloji sayesinde alet önce fotoelektrik hale getirilmiş daha sonraları CCD¹ takılarak duyarlılığı oldukça arttırılmıştır.

3.1 Çalışma Prensibi

Claude ve Driencourt tarafından yapılan ilk dizaynında alet sadece, prizma, civa çanağı, teleskop ve ilkel ayar düzenekleri içeren oldukça basit bir düzenlenime sahipti (Şekil 3-1).



Şekil 3-1 Claude ve Driencourt tarafından yapılan ilk astrolab tasarımı. Prizmaya ve civa çanağına gelen ışın demetleri, prizma ve mercekten geçtikten sonra doğrudan gözlemciye gelmekte idi. Işınlardan retikülde izledikleri yollar sağ taraftaki şekilde gösterilmektedir. Bu durumda daha sonra açıklanacak olan odaklama kusurları oluşuyordu.

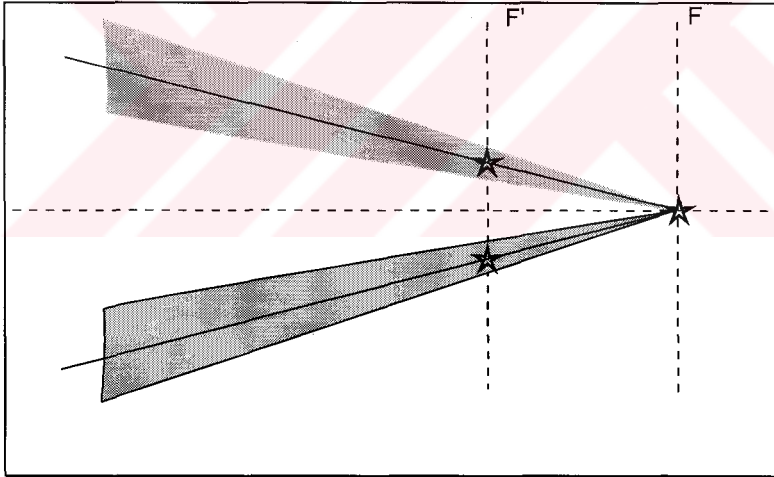
Yıldızdan gelen ışın, prizmaya AB yüzeyinden girer ve AC yüzeyinden yansıtılarak, BC kenarının alt kısmından teleskop merceğine gelir. Bir diğer ışın demeti ise civa çanağından yansıtılarak AC yüzeyine düşer, prizmanın AB kenarından yansıtıldıktan sonra BC kenarının üst kısmından teleskop merceğine gelir. Böylece gözlemci okülerde yıldızın S ve S' ile gösterilen iki görüntüsünü görür.

¹ Charge Coupled Device

Yıldızın zenit uzaklığı, dolayısıyla almukantar'ı değiştikçe bu görüntüler birbirlerine zıt yönlerde hareket ederler.

Bu iki görüntü zenit uzaklığı tam olarak prizma ile belirlenen açıya eşit olduğunda çakışır. Gözlemci yıldızın görüntülerinin çakıştığı anı göz-kulak metoduyla kaydedirdi. Doğal olarak bu da aynı yıldız için gözlemciden gözlemciye değişirdi. Yani alet gözlemci hatalarına bağımlı idi. Bir diğer önemli hata da okülerin konumundan kaynaklanırdı. Gelen ışın demetleri, birbirlerine tam olarak paralel olmayıp, $2^{\circ}, 3^{\circ}$ kadar eğimli olduklarından, okülerin konumu değiştiğinde iki görüntü arasındaki uzaklık değişir. Bu ise sanki prizma açısı değişmiş gibi bir etki yapardı (Şekil 3-2). Okülerin konumundaki 0.1 mm'lik bir değişim, zenit uzaklığını gerçek değerini $1''$ kadar farklı göstermektedir.

Değişik astronomlar bu optik kusurları düzeltmek için uğraşmışlardır. Bunların arasında Dr.Paul Muller'in çift kırıcı prizma ve bir mikrometreden oluşan düzeneği Paris gözlemevi müdürlerinden A. Danjon 'a fikir vermiş ve böylece bugün Danjon astrolabı diye isimlendirdiğimiz klasik astrolab ortaya çıkmıştır.



Şekil 3-2 Eski prizmatik astrolab'da oluşan odaklama hatası. Gerçekte F noktasında çakışma olduğu halde, okülerin konumunda meydana gelen çok küçük bir değişiklik, iki görüntünün arasındaki uzaklığı değiştireceğinden, görüntülerin F' durumundaki gibi görünmesine yol açacaktır. Bu durumda, sanki prizma açısı değişmiş gibi çakışma daha sonraki bir zamanda gözlenecektir. Bu hata Wollaston prizma kullanılarak giderilmektedir.

3.2 Danjon Astrolabı (Model OPL²)

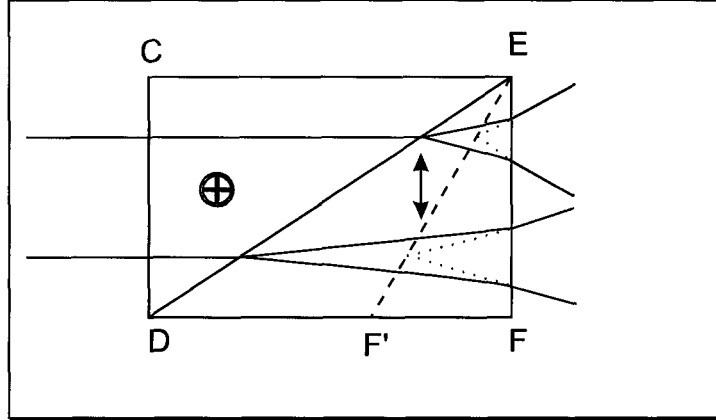
Dr. Muller'in dizaynı doğrultusunda hareket eden Danjon'un yaptığı ilk iş, teleskobun odağına bir Wollaston prizma koymak olmuştur. Bilindiği gibi optik bakımdan izotropik maddelerde kırılma indisi her yönde aynıdır ve bu maddeler içinde ışığın dalga hızı her doğrultuda birbirine eşittir. Bu tip maddelere örnek olarak, küp şeklindeki NaCl kristalleri ile kristal yapıda olmayan cam, plastik, su, hava gibi maddeler sayılabilir. Genel olarak madde içindeki kristal yapı anizotropik ise, elektronlar üzerindeki bağlanma kuvvetleri her yönde farklı olduğundan, kırılma indisleri de her yönde farklı olmaktadır. Böylece optik eksene bakış şekline göre kristal yapı iki farklı görünüştedir. Wollaston prizmanın yapıldığı Kalsit yada Kuvars kristallerinin ise optik eksen adı verilen bir simetri ekseni vardır ve kristalin bu eksene paralel ve dik yönde farklı iki kırılma indisi bulunur. Dalgaboyu 5893 Å olan ışık için kalsit ve kuvars kristallerinin kırılma indisleri sırasıyla, kalsit için $n_o=1.6584$, $n_e=1.4864$ ve kuvars için $n_o=1.5443$, $n_e=1.5534$ tür[22]. Genellikle interferometrelerde kullanılan bu prizmalar, birer polarize ışın bölücüdür. Rochon prizmaları olarak adlandırılan prizmalarda aynı özeliğe sahip olmakla birlikte, Wollaston prizmada, çıkan ışın demetleri arasındaki açı daha büyüktür. Böylece Wollaston prizma, yüzeyine normal doğrultuda gelen, birbirine dik iki polarize dalgadan oluşmuş bir ışın demetini, biri optik eksene dik, diğeri optik eksene paralel iki düzlem-polarize ışın demetine ayırır[23]. Eğer sadece tek prizmadan oluşmuş bir Wollaston prizma kullanılırsa (Şekil 3-3), ışınların kesişim noktası gelme düzlemine göre eğimli bir düzlemde bulunacaktır. Bu prizmanın arkasına bir başka prizma daha konulursa, böyle bir prizmada (Şekil 3-4), yüzeye dik gelen ışının yol açtığı iki polarize ışın demetinin kesişim noktaları, gelen ışın demetinin yüksekliğinden bağımsız olarak bu yüzeye paralel bir düzlemde olacaktır. Değişik α açılı prizmalar kullanılarak, kırılmış dalgalar arasındaki açı değiştirilebilir. Bunun için, I, çıkan ışın demetleri arasındaki açıyı göstermek üzere,

$$\tan \alpha = (\sin I) / [4(n_o - n_e)]$$

formülü kullanılabilir[24]. Sonuçta aynı yıldızın iki görüntüsü arasındaki uzaklık, doğrudan ışının gelme yüksekliğine bağlı olarak değişecektir. Yani okülerin konumundan bağımsız olarak A ve B ışın demetleri birbirlerine doğru yaklaşırlarken,

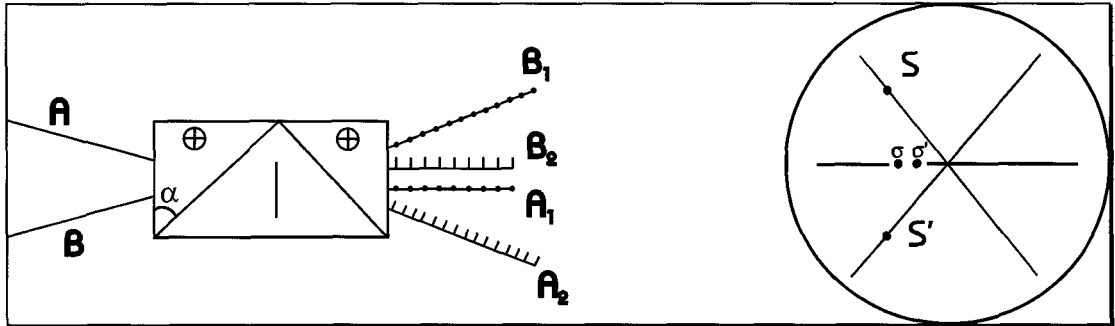
² Société Optique et Précision de Levallois

çıkan A_1 ve B_2 ışın demetleri de Şekil 3-4'de gösterildiği gibi S ve S' yollarını izleyerek birbirlerine yaklaşıacaktır.



Şekil 3-3 Tek Wollaston prizması. Yüze normal olarak gelen ışın demeti, çift kırılmanın olduğu DE köşegeni ile belirtilen ikinci prizmaya gelene kadar optik eksene dik olarak ilerler ve burada iki ışın demetine ayrılır.

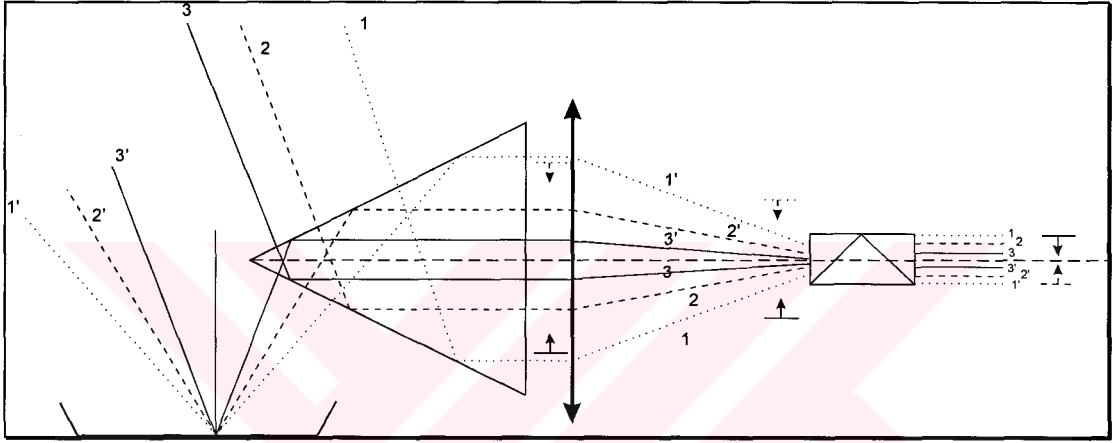
Çift prizmanın ayırma açısı, mercek tarafından yansıtılan ışın demetlerinin A ve B eksenleri arasındaki açıya eşittir. A ışın demeti A_1 ve A_2 , B ışın demeti B_1 ve B_2 ile gösterilen ışınları oluşturur. Görüldüğü gibi A_1 ve B_2 birbirlerine paraleldir ve sonuçta oluşan σ ve σ' görüntüleri arasındaki uzaklık, okülerin ayarından bağımsızdır.



Şekil 3-4 Çift Wollaston Prizma kullanımı. Burada birbirlerine simetrik iki Wollaston prizma kullanılmaktadır. Gelen A ve B ışın demetleri, A_1 , A_2 ve B_1 , B_2 ışınlarına ayrılmaktadır. Sonuçta A ve B demetleri birbirlerine yaklaşıırken, A_1 ve B_2 demetleri de birbirlerine doğru yaklaşırlar. Bu durum okülerin konumundan bağımsız olduğundan, Claude ve Driencort astrolabının oküler hatası düzeltilmiş olur.

olur. Oluşan diğer β_2 ve β_1 ışın demetleri uygun perdeler ile yok edilirler. Böylece yıldız görünüm alanına girdiğinde, okülerde biri yukarıda, diğeri aşağıda olmak üzere iki görüntümüz olur. Yıldızın zenit uzaklığı, prizma ile belirlenen açığa yaklaştıkça bu iki görüntüde birbirlerine doğru hareket ederler (Şekil 3-5). Yıldız tam olarak prizma ile belirlenen zenit uzaklığında olduğunda bu iki görüntü çakışır. İşte bu çakışma anında kronoğraf sayesinde tek bir zaman tayini yapılabilir.

Dikkat edilirse Wollaston prizmanın teleskop eksenine paralel yerdeğiştirmesi ile σ ve σ' görüntülerinin birden daha fazla sayıda çakışması sağlanabilir.

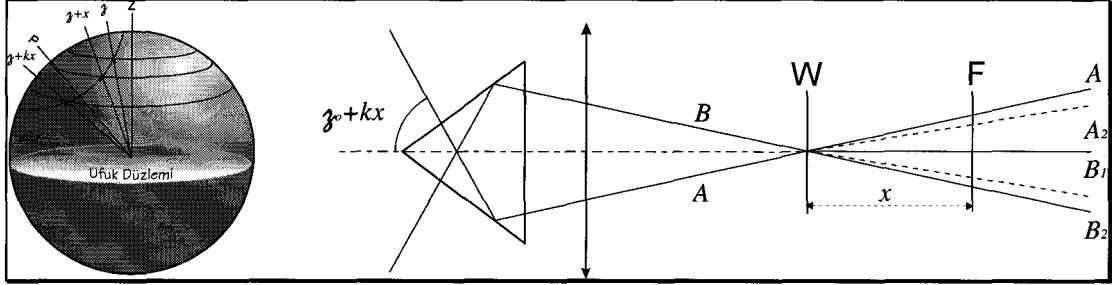


Şekil 3-5 Bir yıldızın prizmadan ve civa çanağından gelen görüntülerinin birbirlerine göre hareketi. Yıldızın zenit uzaklığı, prizmanın taban açısına yaklaştıkça, gözlemci okülerde yıldızın iki görüntüsünün birbirlerine yaklaştığını gözler. Zenit uzaklığı, prizmanın taban açısına eşit olduğu anda, iki görüntü çakışır.

Bunun için, prizmanın gözlemci enleminin kosinüsü ve yıldızın azimutunun sinüsü ile orantılı bir şekilde astrolabın optik eksenine paralel olarak hareket ettirilmesi gereklidir. Çakışma anlarını kaydedebilmek için, prizmayı hareket ettiren mikrometre vidası, kronoğrafa bağlı bir kontak diski taşır. Daha önce söylediğimiz gibi, yıldızın zenit uzaklığı tam olarak prizma ile belirlenen açığa eşit olduğunda bu iki görüntü çakışır. Gerçekte bu çakışma tam olarak görüntülerin üst üste getirilmesi şeklinde değil, iki görüntüyü aydınlatılmış iki retikül arasında aynı yatay çizgi boyunca paralel tutarak yapılır (Şekil 3-4). Bu durumda, gözlemci mikrometreyi, dolayısıyla mikrometreye bağlı kronoğrafı, çalıştırdığında yıldız yüksekliği değişirken prizmada bu değişime zıt yönde hareket ederek yıldız görüntülerinin çakışması sürdürülür (Şekil 3-6). Böylece sadece tek bir almukantar geçişi değil, 24

farklı almukantarat için gözlem yapılmış gibi sonuç elde edilir. Elde edilen geçiş anlarının, ilk iki ve son iki değeri atıldıktan sonra, ortalama alınarak en iyi geçiş anı tespit edilir. Bu durumda gözlemin duyarlılığını oldukça arttırılmış olur.

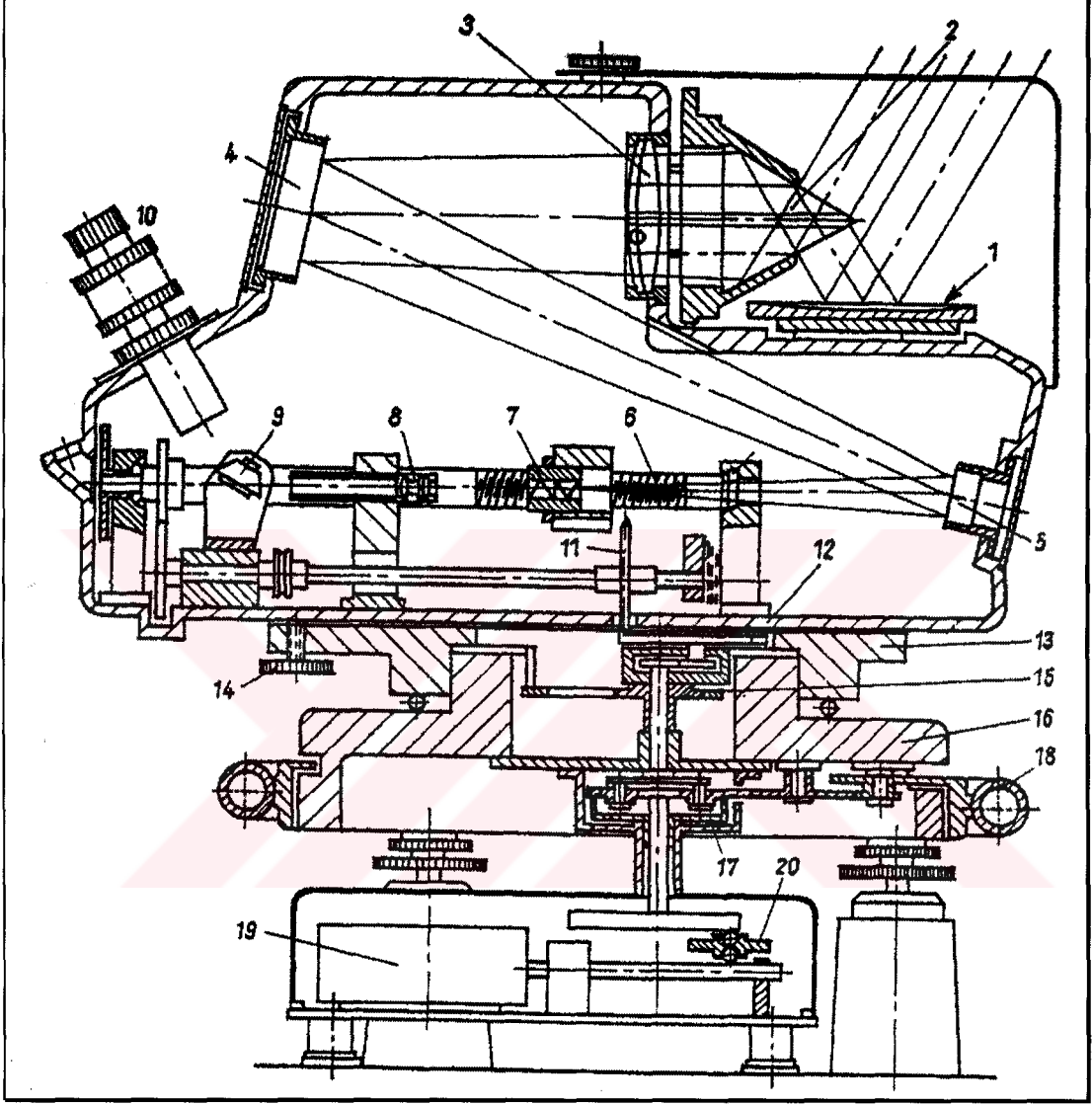
Aletin basit bir çizimi Şekil 3-7 'de verilmiştir. Bu modelin teleskobu, 10 cm çapında ve 1 metre odak uzunluğuna sahiptir. Ay biçiminde iki eşit delik içeren diyafram, eksenleri 3'e 5 oranında dikey olarak uzamış kırınım görüntüleri verir.



Şekil 3-6 Mikrometrenin çalışma ilkesi. Yıldız zenit uzaklığını değiştirdikçe (x), Wollaston prizmasının yeride buna uygun bir hızla değiştirilirse, A_2 ve B_1 ışınları arasındaki uzaklık değişmez. Böylece yıldızın iki görüntüsünün çakışma durumunun devamlılığı sağlanır.

Prizma, 8×10 cm'lik dikdörtgen yüzeylere sahiptir. Mikrometre vidasının boyutları alışılmışın hayli dışındadır. Çapı 25 mm dir ve 5 mm'lik adımlarla ilerler. Eğer yıldız tam olarak doğuda yada batıda gözlenirse, vida 2.61 saniyede tam tur yapar. Mikrometre motorunun hızı, gözlem yerinin enlemine uygun sabit bir hızdadır. Astrolab bir başka yıldızı gözlemek için dikey eksen etrafında döndürüldüğünde, bir hız düşürücü yardımıyla vidanın dönme oranı, azimutun sinüsüyle orantılı bir şekilde değiştirilir. Gözlemci bir çark yardımıyla vidanın dönme hızını, dolayısıyla Wollaston prizmasının hızını elle ayarlayabilir. Eğer astrolab tam olarak doğu'ya veya batı'ya yönlendirilmiş ise, çarkın bir turu azimutta $40''$ lik bir değişime karşı gelir. İlk OPL tipi astrolab'ta oluşan görüntüler doyurucu değildi. Görüntüler mercek'ten eşit uzaklıkta oluşmuyorlar ve hafifçe eğik görünüyordular. Her iki yıldız görüntüsünü aynı düzleme getirmek için birinceye ters olarak yerleştirilmiş ikinci bir Wollaston prizmasının kullanılmasıyla bu sorun kısmen çözülmüş oldu. Daha sonraları ikili simetrik Wollaston prizmaya, gelen ışına göre 45° eğimli eksenlere sahip iki paralel quarz düzlemden oluşmuş düzeltici eklenmiştir. Düzeltici'nin eksenleri yataydır ve boyu yaklaşık Wollaston prizmaninkine eşittir.

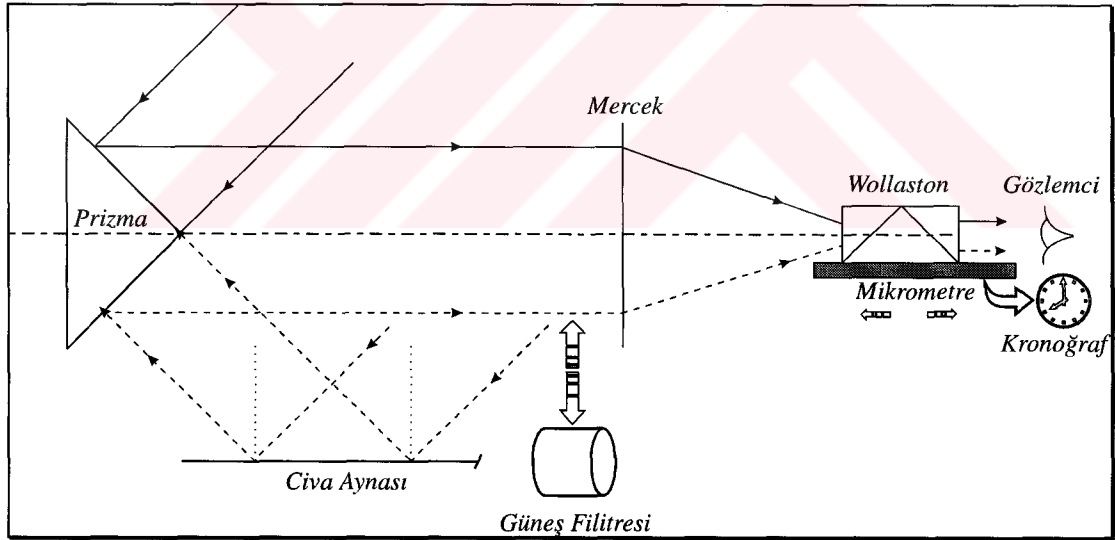
Wollaston prizmanın oluşturduğu dispersiyon ve merceğin oluşturduğu ikincil spektrum etkileri nedeniyle iki görüntü etrafında renkli saçaklar oluşur. Bu saçaklar, spektrumun mavi ve kırmızı ötesi bölgelerini soğuran özel bir filtre yardımıyla giderilir.



Şekil 3-7 Klasik Danjon Astrolabı'nın sistematik görünümü.1- Civa çanağı, 2- Prizma, 3-Objektif, 4- Büyük ayna, 5- Küçük ayna, 6- Mikrometre vidası, 7- Wollaston prizma, 8- Taşıyıcı, 9- Çevirici prizma, 10- Oküler, 11- Tekerlek, 12- Disk, 13- Plato, 14- Ayarlama vidası , 15- Dişli çark, 16- Kaide, 17- Diferansiyel, 18- Diferansiyel volanı, 19- Motor, 20- Hız değıştirici

3.3 Çok amaçlı Danjon astrolabı

1956 yılına kadar, astrolablar başlıca Yer'in dönme parametrelerinin belirlenmesi için kullanılıyordu. 1963 yılının başlarında aletin gözlem alanının geliştirilmesi için bazı önerilerde bulunuldu. Bunlardan ilki aleti gezegen gözlemlerinde de kullanmaktı. İkincisi, ana prizmayı üretmek için Cervit yada zerodur olarak bilinen özel bir seramik kullanılmasıydı. Bu durumda alette bazı düzeltmeler yapılması gerekti. Böylece aletin optik kısmının kararlılığı oldukça geliştirildi. Yapılan düzenlemelerle alet hem yıldız hem gezegen ve hem de Güneş gözlemleri için kullanılabilir hale gelmiştir. Bu çok amaçlı astrolabın klasik astrolabla arasındaki en önemli fark prizmanın yerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 3-8). Dikkat edilirse Danjon'un OPL modelinde kullanılan prizma kırıcı kuvars bir prizmadır ve teleskobun hemen önüne yerleştirilmiştir. Çok amaçlı modelde ise prizma yarı geçirgen, yansıtıcı bir prizmadır ve teleskobun karşısına yerleştirilmiştir. Klasik modelde gözlenen gök cismi gözlemcinin görüş açısında bulunuyorken, bu modelde gözlemcinin arka kısmına düşmektedir. Böylece, kırıcı prizma da ki ısısal kararsızlıklardan dolayı ortaya çıkan hatalar minimize edilmiş olur[25].



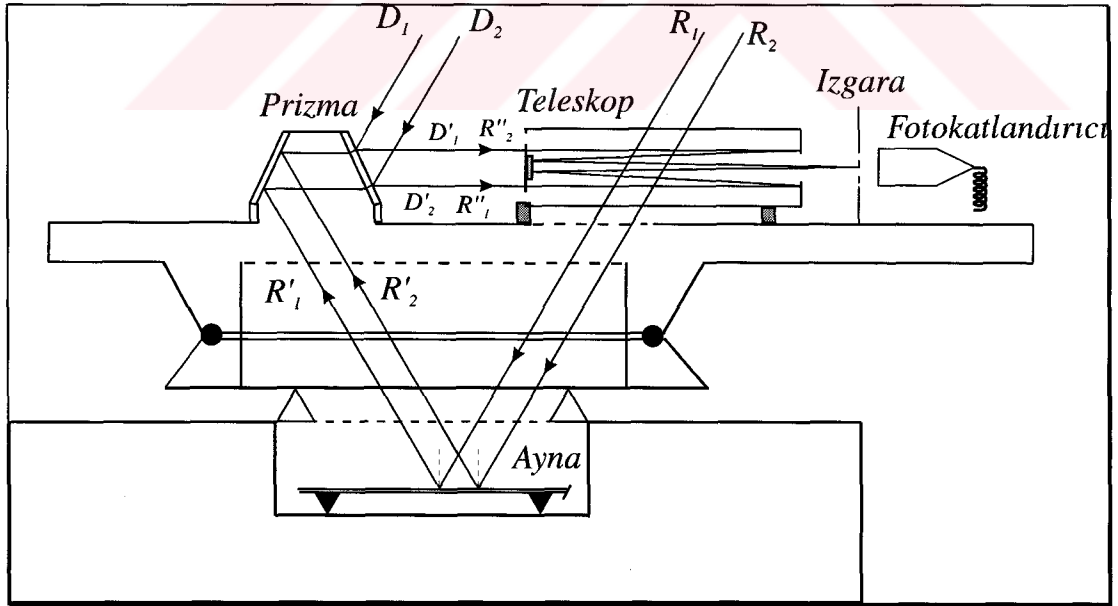
Şekil 3-8 Çok Amaçlı astrolab

3.4 Fotoelektrik Astrolab

Paris gözlemevinde G.Billaud ve ve B.Guinot tarafından başlatılan çalışmalar sonucu ilk fotoelektrik astrolab 1980 yılında CERGA gözlemevine kurularak, yıldız gözlemlerine başlandı[26].

Klasik astrolabdaki okülerin yerine burada bir fotoelektrik katlandırıcı konmuştur; bu durumda iki görüntünün odak düzleminde izledikleri yolun saptanmasına ve aynı yatay çizgi üzerinde bir hizaya gelmiş oldukları anın enterpolasyon yoluyla belirlenmesine çalışılır. Bu amaçla, odak düzlemine düzgün aralıklı bir ızgara, yarıkları yatay olacak şekilde yerleştirilir.

Bir fotokatlandırıcı, aynı anda ızgaradan geçen tüm ışığı toplar ve bir elektron sayıcıda her dt zaman aralığında elde edilen toplam elektron akısı ile orantılı bir sayı verir. Ancak burada modülasyon gösterilmeye çalışılmaz, aksine her görüntünün yarıklardan iyice belirlenmiş geçişleri yakalanmaya çalışılır. Bunun için geniş aralıklı (50") bir kafes seçilmiştir. Saydam yarık alınan yanıtın (gelen ışığın) kuramsal olarak düz bir alan göstermesine yetecek kadar geniştir. Ayrıca, her iki görüntüden alınan yanıtların, karışmasını, birbirine eklenmesini de önlemek gereklidir. Bir görüntü, saydam yarıktan geçerken öteki tamamen örtülü olmalıdır. Bunu sağlamak için, ızgaranın merkezi, iki görüntünün çakışma noktasından ızgara aralığının yaklaşık dörtte biri kadar uzağa konumlandırılır. Bu işlem iki görüntünün hareketlerini önceden tahmine olanak veren iki yıldız algılayıcı ve ızgaranın yerini kendine paralel kalmak üzere- değiştirebilen bir düzenek ile, otomatik hale getirilmiştir. Görüntülerin izlediği yollar Şekil 3-9'da gösterilmiştir.



Şekil 3-9 Fotoelektrik Astrolab

t_0 görüntülerin kesişme anı, x de bir görüntünün en yakın saydam yarığın kenarına göre yerdeğiştirme değeri (yarığın kenarından uzaklığı) olsun; kapalı yarığın (yarıklar arasındaki kapalı kesimin) genişliğine D , saydam yarığına d diyelim. Görüntünün yarıklara dikey hareketinin hızı da v olursa, görüntülerden birinin meydana getirdiği ortalama aydınlanma süreleri, k düzeyinden bir yarık için,

$$t_k = t_0 - (x + d/2).v - k(D + d).v \quad (3-1)$$

olur. Öteki görüntü için de, k' düzeyinden bir yarık ile,

$$t'_k = t_0 + (x + d/2).v + k'(D + d).v \quad (3-2)$$

bulunur. N adet yarık varsa, (4-1) ve (4-2) denklemleri, v , x ve t_0 değerleri bilinmeyen olarak alınmak sureti ile çözülecektir. 12 yarıklı bir ızgara ile, CERGA fotoelektrik astrolabı t_0 anını 8 ms duyarlılıkla saptanmasını sağlamaktadır[27]. Bu değer gökte $0''.1$ lik bir açıya denk gelir.

3.5 Astrolab'ın Duyarlılığı

Gördüğümüz gibi klasik Danjon astrolabı ile birkaç değişik gök cismini gözlemek mümkündür. Bu aletin kararlılık ve performansı Çizelge 3-2'de verilmektedir[28].

Çizelge 3-2 Klasik Astrolabın kapasitesi

Gözlem Tekniği	Görsel / yaklaşık gecede 100 yıldız
Gözlenebilir cisimler	Yıldızlar ve bazı gezegenler
Gökyüzünde Gözlenebilir Bölge	$\cong \varphi - 30^\circ \leq \delta \leq \varphi + 30^\circ$
Parlaklık Sınırı	$\cong 6.5$ kadir
Duyarlılık ve Kararlılık	$\cong 0.2''$
Kullanılabildiği Alanlar	Yer'in dönmesi, bazı gezegenler gözlenmesi ve Katalog düzenlenimi

Çizelge 3-3 Çok amaçlı astrolabın kapasitesi

Gözlem Tekniği	Görsel / yaklaşık gecede 100 yıldız
Gözlenebilir cisimler	Yıldızlar, bazı gezegenler ve Güneş
Gökyüzünde Gözlenebilir Bölge	Değişik zenit uzaklıklarında
Parlaklık Sınırı	$\cong 6.5$ kadir
Duyarlılık ve Kararlılık	$\cong 0.17''$
Kullanılabildiği Alanlar	Kataloglar, gezegen ve yer yörüngesi, güneş yarıçapı, başvuru çerçevesi

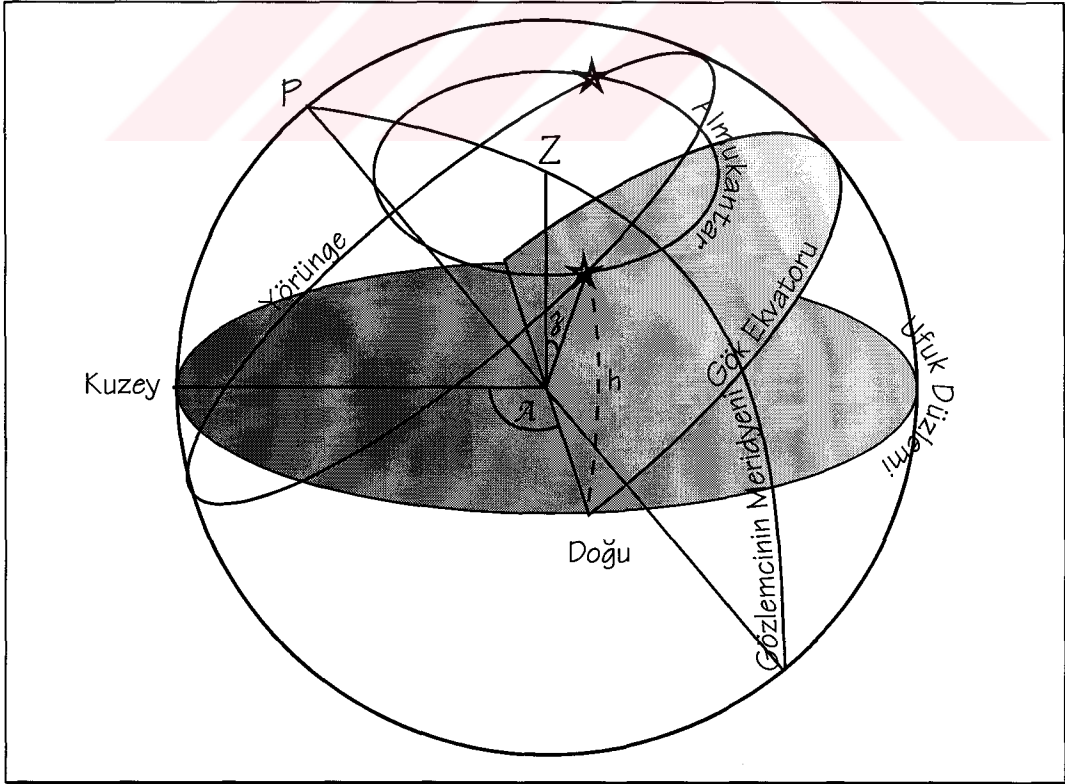
Çok amaçlı astrolab'da hassasiyet biraz daha iyidir. Bu tip astrolabların kararlılığı ise Çizelge 3-3'de verilmiştir.

Birçok alanda bu tür aletlerin kapasiteleri yeterli değildir. Fakat 1973'den beri Fransa ve Brezilya'da çok iyi Güneş, konum ve yarıçap gözlemleri yapılmıştır[25][29][30]. Son yıllarda CERGA gözlemevinin astrolabı, CCD kamera yardımıyla gözlem yapabilecek şekilde modifiye edilmiştir ve gözlemler arası uyumsuzluk 0.1" den daha küçüktür [30]. Özellikle gözlemi zor olan Güneş gibi bir cismin gözlem sonuçlarında elde edilmiş bulunan bu iyileşme, bize astrolabın şu anda erişebileceği maksimum performansı yakaladığını göstermektedir.

İdeal alet şu özelliklere sahip olmalıdır,

- maksimum sayıda cisim gözleyebilir,
- Gökyüzünün büyük bir kesiminde gözlem yapabilir,
- On-Onikinci kadirden hatta daha sönük cisimleri gözlemleyebilir,
- ve duyarlılığı 0.01" den daha küçüktür.

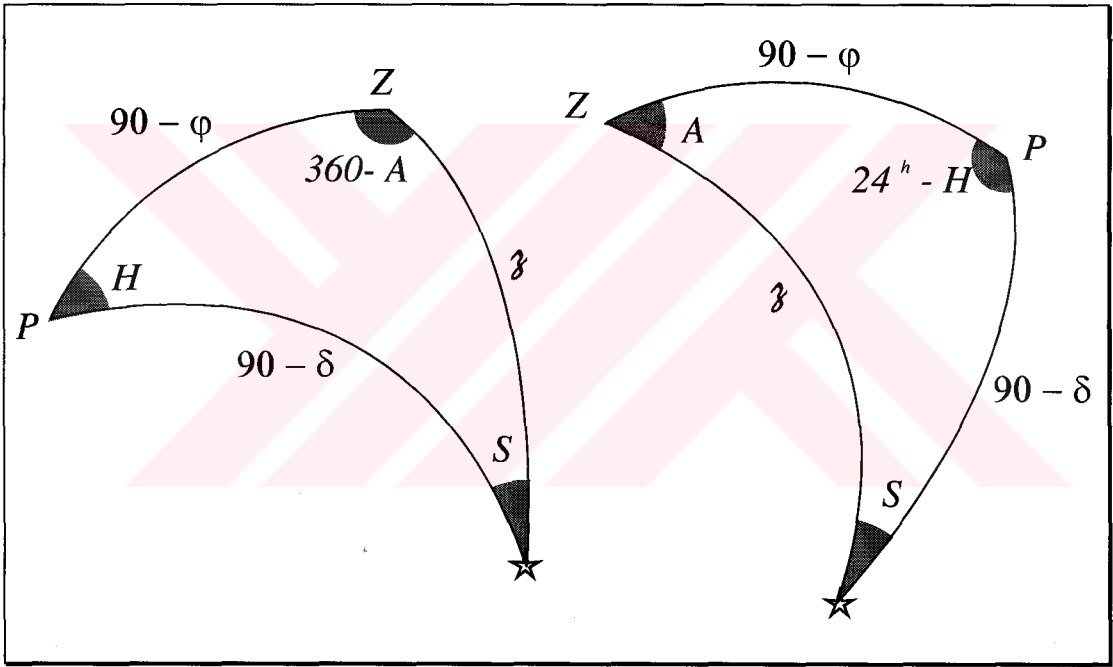
Gene CERGA gözleminde kullanılmakta olan fotoelektrik astrolabı ile yapılan yıldız gözlemlerinde sağ açıklıkta 0".04, deklinasyonda ise 0".05 hassasiyetine erişilmiştir. Bu aletle yapılan grup gözlemlerinin farkları arasındaki dağılım 0".07 mertebesindedir.



Şekil 3-10 Bir gök cisminin almukantardan geçiş durumları

3.6 Gözlemlerin Değerlendirilmesi

Astrolab ile yapılan gözlemlerin indirgenmesi “Eşit Yükseklikler Yöntemi” ne dayanır[31]. Eşit yükseklikler yöntemi, ilk olarak Gauss tarafından 1808 yılında ortaya konmuştur. Bu yöntem Gök cisimlerinin, almukantar denilen ufka paralel küçük dairelerden geçiş anlarının gözlenmesi prensibine dayanır(Şekil 3-10). Burada z zenit uzaklığı esas olarak alet tarafından belirlenir. Yani astrolab gözlemlerinde kullanılan prizma bunu tayin eder. Aletin zenit uzaklığı yaklaşık olarak bilinir. Aletin bulunduğu yerin astrometrik boylamı L , koordine edilmiş evrensel zaman cinsinden gözlem anı ve aletin bulunduğu yerin ϕ enlemi'nin kabul edilen değerleri birer başlangıç verisi olarak alınır.



Şekil 3-11 (a) Gök Cisminin Batı geçişi

(b) Gök cisminin Doğu geçişi

3.6.1 Yıldız Gözlemleri

(Şekil 3-11a) ve (3-11b) 'deki $PZ\star$ küresel üçgenlerini göz önüne alalım. Burada P kuzey kutup doğrultusunu, Z gözlemcinin zenit doğrultusunu gösterebilir. İlk olarak \star işareti ile temsil edilen yıldızın, meridyenin batı kesimindeki geçişini gösteren (a) durumunu ele alalım. Bu durumda A , yıldızın azimutunu, H saat açısını, z zenit uzaklığını ve S paralaktik açısını gösterebilir.

Bilindiği gibi küresel üçgende açığa ait kosinüs teoreminden, herhangi bir kenarın kosinüsü, o kenara komşu kenarların kosinüsleri çarpımı ile o kenarı gören açının kosinüsüyle çarpılmış sinüslerin toplamına eşittir. Buna göre,

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H \quad (3-3)$$

$$\sin \varphi = \cos z \sin \delta + \sin z \cos \delta \cos S \quad (3-4)$$

$$\sin \delta = \cos z \sin \varphi + \sin z \cos \varphi \cos A \quad (3-5)$$

formülleri elde edilir. (3-4) ile (3-3) arasında $\cos z$ 'nin yok edilmesi ile,

$$\sin z \cos S = \sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos H \quad (3-6)$$

ve (3-3) ile (3-4) arasında $\cos z$ 'nin yok edilmesi ile

$$\sin z \cos A = \cos \varphi \sin \delta - \sin \varphi \cos \delta \cos H \quad (3-7)$$

denklemleri elde edilir. Son olarak aynı üçgende sinüs bağıntılarının kullanılmasıyla

$$-\sin z \sin A = \cos \delta \sin H \quad (3-8)$$

bulunur.

Astrolab ile yapılan gözlemlerin amacı, gözlenen gök cisminin belli bir zenit uzaklığından geçiş anının efemeris kullanılarak hesaplanan değeri ile gözlemle bulunan değeri arasındaki farkı bulmaktır. Böylece teori ile gözlemin birbiri ile uyuşup uyuşmadığı denetlenmiş olacaktır. Bunun için bir fark denklemine ihtiyacımız vardır. Bu fark denklemi ise (3-3) denkleminin differansiyeli alınarak bulunur.

$$\begin{aligned} -\sin z dz &= (\cos \varphi \sin \delta - \sin \varphi \cos \delta \cos H) d\varphi \\ &+ (\sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos H) d\delta \\ &- (\cos \varphi \cos \delta \sin H) dH \end{aligned}$$

(3-6), (3-7) ve (3-8) denklemlerinin kullanılması ile buradan,

$$dz = \cos A d\varphi + \cos S d\delta + \cos \varphi \sin A dH \quad (3-9)$$

bulunur. Bu denklemdeki diferansiyelleri, teoriden hesaplananlar ile gözlenen değerler arasındaki farklar olarak kabul ederek, her bir diferansiyel teriminin özdeşini bulmaya çalışalım.

Zenit için, gözlenen zenit uzaklığı

$$z = z_i + r \quad (3-10)$$

ile verilir. Burada z_i gök cisminin prizmadan ve civa çanağından gelen iki görüntüsünün, astrolabın odak düzleminde çakıştığı andaki gözlenen zenit uzaklığıdır. Bu zenit mesafesi gözlemde kullanılan prizmanın taban açısıyla belirlidir. r ise gök cisminden gelen ışınının yer atmosferini geçmesi sırasında maruz kaldığı “atmosferik kırılma” etkisidir. z ise gözlenen gerçek zenit uzaklığıdır. Hesaplanan zenit uzaklığı değerini z_c ile gösterirsek,

$$z_c = z_{i0} + r_c + A + B \quad (3-11)$$

Burada, z_c hesaplanan zenit uzaklığı, z_{i0} , prizmanın yaklaşık olarak değeri bilinen taban açısı, r_c ise hesaplanan kırılmadır. A ve B parametreleri ise, değerleri gözlem sırasında kestirilebilen ve biraz sonra ayrıntılarıyla incelenecek olan, almukantar ve paralel dairesindeki düzeltme terimleridir. (3-10) ve (3-11) arasındaki fark,

$$\Delta z = z - z_c = \underbrace{(z_i + r) - (z_{i0} + r_c)}_{\partial z} - A - B$$

$$\Delta z = \partial z - A - B \quad (3-12)$$

olarak bulunur.

Amaç geçiş anlarını tespit etmek olduğundan, bu denklemlere zaman terimini katacak bir yol bulmalıyız. Bildiğimiz gibi ilkbahar ılımlı noktasının sağ açıklığı ile tanımlanan yıldız zamanı, gök cisminin H saat açısı ile sağ açıklığının toplamına eşittir. Buradan,

$$H = T - \alpha$$

ile verilir. Eğer

$$H_o = T_o - \alpha_o \text{ -----} > \text{Gözlenen saat açısı}$$

$$H_c = T_c - \alpha_c \text{ -----} > \text{Hesaplanan saat açısı ise,}$$

$$\Delta H = H_o - H_c = \underbrace{(T_o - T_c)}_{\Delta T} - \underbrace{(\alpha_o - \alpha_c)}_{\Delta \alpha}$$

bulunur. Gözlemcinin L boylamının Greenwich'in doğusunda olduğunu kabul ederek

t	UTC cinsinden gözlem zamanı
$t + (UT0 - UTC)$	UTO cinsinden gözlem zamanı
$k \{t + (UT0 - UTC)\}$	Yerel yıldız zamanı cinsinden gözlem zamanı
$k \{t + (UT0 - UTC)\} - L_0$	Greenwich yıldız zamanı cinsinden gözlem zamanı
$kUT0 - L_0$	Greenwich yıldız zamanı cinsinden hesaplanan gözlem zamanı

olmak üzere,

$$\Delta T = T_0 - T_c = k \{t - UT0 + (UT0 - UTC)\} - \Delta L$$

bulunur. Burada k yıldız zamanı ile UT arasındaki dönüşüm katsayısı olup, $k=1.002737909350795$ değerine sahiptir[20]. Böylece

$$\Delta H = k \{t - UT0 + (UT0 - UTC)\} - \Delta L - \Delta \alpha \quad (3-13)$$

bulunur. Eğer

$$\Delta \varphi = \varphi_0 - \varphi_c \quad \Delta \delta = \delta_0 - \delta_c \quad (3-14)$$

der ve diferansiyelleri Δ ile değiştirirsek, (12), (13) ve (14) 'ün (9) denkleminde yerlerine konmasıyla şu elde edilir.

$$-\partial_z + A + B = \cos \mathcal{A} \Delta \varphi + \cos S \Delta \delta + \cos \varphi \sin \mathcal{A} [k \{t - UT0 + (UT0 - UTC)\} - \Delta L - \Delta \alpha]$$

ve son olarak zaman cinsinden olan terimleri dereceye çevirmek için 15 ile çarparak

$$\begin{aligned} -\partial_z + A + B &= \cos \mathcal{A} \Delta \varphi + \cos S \Delta \delta \\ &+ 15k \cos \varphi \sin \mathcal{A} \{t - UT0 + (UT0 - UTC)\} \\ &- \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta L - 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta \alpha \end{aligned}$$

bulunur. Bu ifade de A , B , değerlerini bulabilmekteyiz, t gözlem zamanı, φ , \mathcal{A} enlem ve azimut değerleri de bilinmektedir, bunları

$$\partial h = 15 k \cos \varphi \sin \mathcal{A} (t - UT0) - A - B$$

ile gösterirsek, sonuçta bilinenleri bir tarafa, bilinmeyenleri bir tarafa toplayarak,

$$-\partial h = 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \{k (UT0 - UTC) - \Delta \alpha + \Delta L\} + \cos \mathcal{A} \Delta \varphi + \partial_z + \cos S \Delta \delta$$

ve gene

$$x=15 \{ k (UTO - UTC) + \Delta L \} \cos \varphi$$

$$y= \Delta \varphi$$

$$R=-\partial z$$

şeklinde bir notasyon kullanarak[32],

$$-\partial h = x \sin \mathcal{A} + y \cos \mathcal{A} - 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta \alpha + \mathcal{Y} \quad (3-15)$$

bulunur. Burada \mathcal{Y} ,

$$\mathcal{Y} = \partial z + \cos S \Delta \delta \quad (3-16)$$

olarak tanımlanmıştır. ∂z değerini bulmak için hem yansıtıcı hemde kırıcı prizma ile aynı grupların gözlenmesi esasına dayanan bir başka gözlem tekniğinin kullanılması gerektiğinden, (Gözlenen - Hesaplanan) hesabında, ∂z bilinmedikçe, bu iki terim, $\Delta \delta$ ile ∂z , birbirinden ayrılamaz.

Gök cisminin doğu geçişi sırasında ise, Şekil 3-10 (b) 'nin kullanılmasıyla elde edilecek formüller benzerdir. Yalnız bu durumda denklemlerde $(360-\mathcal{A})$ yerine \mathcal{A} , H yerine ise (24^h-H) konularak,

$$-\partial h = -x \sin \mathcal{A} + y \cos \mathcal{A} + 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta \alpha + \mathcal{Y}$$

sonucu bulunur.

Gözlemler yer'in dönmesi tayininde kullanıldığında , UTO-UTC ve anlık enlem ($\Delta \varphi$) için bir ölçü elde etmek gerekebilir. Bu durumda $\Delta \alpha$ ve $\Delta \delta$ terimleri de çok küçük olduklarından ihmal edilebilirler. Geriye kalanları yazarsak,

$$x \sin \mathcal{A} + y \cos \mathcal{A} - R + \partial h = 0 \quad (3-17)$$

bulunur. Malatya'da gözlediğimiz, 28 yıldız içeren bir j grubundan (j=1..11) ∂h değerini hesaplayabildiğimiz böyle 28 tane denklem elde edilir. Bu denklem sistemi en küçük kareler yöntemiyle çözüldüğünde, j grubu için x_j , y_j ve R_j değerleri bulunur.

3.6.1.1 Yıldız Gözlemlerinin Düzeltilmesi

Astrolab ile gözlem yapılırken, gözlenen gök cisminin görünen konumunu etkileyen bir çok etken vardır. Şimdi kısaca bunlar üzerinde duralım. Bu konuda ayrıntılı çalışmalar için kaynaklar ilgili kısımlarda verilmiştir.

Işığın, yer atmosferinden geçerken, yolu üzerindeki hava yoğunluğunun değişmesi nedeniyle yayınım yönünü değiştirmesi olayına “kırılma” diyoruz.. Bunun yanında havadaki toz parçacıklarının ve atmosferdeki gazların etkisiyle saçılma ve seçici bir soğurma mekanizması da mevcuttur.

Havanın yoğunluğunun değişimi, esas olarak sıcaklık ve yükseklik değişmesine bağlanabilir. Bu değişimi tam olarak bulmak çok zor olduğundan belirli atmosferik şartlar için teorik formüller aracılığı ile kırılma tabloları oluşturulmuştur. Bunların içinde en önemlisi “Pulkova Tabloları”dır. Pulkova tabloları, sıcaklık, basınç, nem oranı, enlem, yıldızın rengi için çeşitli düzeltmeler sağlar. Günümüzde hızlı bilgisayar sayesinde bu tablolara ihtiyaç kalmamıştır. Bizde hesaplamalarımızda bilgisayar kullanılmaktadır. Kırılma değeri, düşük duyarlılık gerektiren işlerde doğrudan,

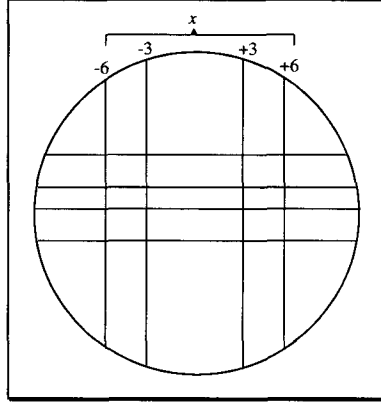
$$R = \left(\frac{0.28P}{T + 273} \right) \frac{0.0167}{\tan\left(\frac{H + 7.31}{H + 4.4}\right)} \quad (3-18)$$

formülünden kolayca hesaplanabilir. Burada T; derece cinsinden hava sıcaklığı, P; milibar cinsinden atmosfer basıncıdır. Bu formül 0.5 duyarlılığında derece olarak kırılma değerini verir. Çok daha duyarlı bir hesap için, nümerik integrasyona gerek vardır ve bu hesap ayrıntıları ile bir çok kitapta verilmiştir.[33]

Diğer bir düzeltme terimi de astrolabın görüş alanındaki merkezi tellerin tam olarak almukantar ve paralel dairelerine karşılık gelmemesinden kaynaklanmaktadır. Bunlar 3-11 ve 3-12 formüllerinde görünen A ve B düzeltmelerine karşılık gelirler. Gözlemci okülerden baktığında şekil 3-12'deki retikül görüntüsünü görür. Gözlenen cisme ait olan ve biri prizmadan yansıyor ve diğeri civa çanağından gelen iki görüntü, en ortadaki iki telin arasında çakıştırılır. Tam bu çakışma anında, kontak çalıştırılarak, çakışma durumu 24 kontak için devam ettirilir. Böylece elimizde 24 zaman sinyali olur. İdeal kavuşma durumunda, 12. kontak tam orta noktada oluşmalıdır. Gerçekte, paralel dairesindeki eğrilik nedeni ile yıldızların hızlarının düşey bileşeni sabit olmadığından, kayıt anlarının ortalaması, v_m ile tanımlanan zenit uzaklığındaki geçiş anına karşılık gelmez. Bu durum B düzeltmesini gerektirir. Bunun değeri, kaydedilen kontakların sayısı ve mikrometre vidasının değeri kullanılarak hesaplanır.

Öte yandan gözlenen yükseklik yatay tele göre değil, optik merkezden geçen aletin almukantarına göredir. Bu yüzden de A düzeltmesine gerek duyulur. Bu A

düzeltilmesi, yalnızca yarı geçişte alandaki görüntülerin konumuna bağlıdır ve merkeze göre yeteri kadar simetrik gözlem yapıldığında sıfır olur[31].



Şekil 3-12 Astrolab'ın retikül görüntüsü. x uzaklığı $43''.2$ kadardır. Yatay tellerin arasındaki uzaklık ise $56''$ kadardır.

Bir diğer düzeltme de, ışık hızının sonlu olmasından ve Yer'in hareketinden kaynaklanan sapınç düzeltmesidir. φ enlemindeki bir yer için sapınç sabiti,

$$k = V_{\varphi} \operatorname{cosec} 1''/c = 0''.320 \cos \varphi \quad (3-19)$$

ile verilir. Burada V_{φ} , batıya yönelmiş gözlemcinin yatay hızı ve c 'de ışık hızıdır[34].

3.6.1.2 Yıldız Gözlemleri ve Kataloğlar

Daha önce söylediğimiz gibi, i yıldız ($i=1..18$) içeren, bir j grubunun ($j=1..11$) x_j, y_j, R_j çözümleri elde edilince, bunların (3-17) denkleminde yerine konmasıyla, her bir i yıldızı için bir tane M_i ayrılık değeri elde edilir.

$$x_j \sin \mathcal{A}_i + y_j \cos \mathcal{A}_i - R_j + \partial h_i = M_i$$

∂h değerini yerine koyarsak,

$$M_i = (x_j - x) \sin \mathcal{A}_i + (y_j - y) \cos \mathcal{A}_i - (R_j - R) + 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A}_i \Delta \alpha - \cos S_i \Delta \delta$$

olur. Burada x, y, z bu bilinmeyenlerin gerçek değerleridir. Bu durumda,

$$\Delta x_j = (x_j - x) \quad ; \quad \Delta y_j = (y_j - y) \quad ; \quad \Delta R_j = (R_j - R)$$

dersek,

$$M_i = -\Delta x_j \sin \mathcal{A}_i - \Delta y_j \cos \mathcal{A}_i + \Delta R_j + 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A}_i \Delta \alpha - \cos S_i \Delta \delta \quad (3-20)$$

Her bir 3-17 denkleminde elde edilen zenit uzaklığı farkı olan M_i , yalnızca sıfırdan farklı bir değer olmakla kalmayıp, aynı zamanda, eğer çeşitli gecelerde aynı grupla gözlem yapmayı sürdürürsek, bunun her bir yıldız için sistematik bir etkidir. Bu fark değerlerindeki sistematik farklılıklar, gözlem hatalarına (alet'e ait yada kişisel hatalar), indirgeme yöntemine (kırılma, astronomik sabitler gibi), yada kullanılan efemerislere (α, δ) dayandırılabilir. Bu konudaki analizler, önceden teorik ve aletsel olarak her olası kaynak düşünülerek yapılmış ve astrolab'ın kullanımı daha da iyiye gitmiştir.

İlk adım olarak bu her bir yıldızla ait farkın önemli bir kısmının, bunların konumlarındaki hatadan kaynaklandığını düşünelim. Bu durumda, grup için elde edilen genel sonucun, gruptaki tüm yıldızların gözlemlendiği durum için başka, bazı yıldızların kaçırıldığı durum için başka olması gerekirdi. Bunu anlamak için, aynı gruba ait birçok gözlem incelenerek, bu farkların ortalaması alınır. Burada mümkün olduğunca eksiksiz gözlemler seçilir. Bu ortalama değer, ilk yaklaşıklıkla katalog hatası olarak kabul edilir. Bundan sonra denklemde herbir yıldız için elde edilen “*iç düzeltmeler*³” yapılır. Bu tür incelemeler, sonuçların, grupta gözlenen yıldız sayısından bağımsız olduğunu göstermektedir. Ayrıca diğer sistematik hatalara bakılırsa, uzun bir gözlem süresini kapsayan farklı gruplara ait x, y ve R değerlerinin karşılaştırılması, kişisel hatayı en aza indirmek için aynı gözlemci tarafından aynı grupların çeşitli geceler gözlenmesi durumunda bile, genel sonuçlarda sistematik hatalar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum tipik ve beklenen bir astronomi problemidir. Örneğin yıldızların parlaklıklarının birbirinden farklı olması kaçınılmazdır. Bu nedenle her bir yıldız hatasını da beraberinde getirmektedir. Bu hatayı azaltmak ve sonuçları eşdeğer hale getirebilmek için “*grup düzeltmeleri*” denilen işlem yapılır. Bu yöntem genellikle zincirleme işlemler halinde yapılır. Bu, “*ortalama grup*” denilen grub referans alınarak bulunan farklar uygulanarak yapılır.

Eğer bir gecede j ve k ile indisleyeceğimiz 2 grup gözlediysek, φ , T ve z değerlerinin sabit kaldığını düşünebiliriz.

$$x_j - x_k = (x - \Delta x_j) - (x - \Delta x_k) = -(\Delta x_j - \Delta x_k) \quad (3-21)$$

olur. Diğer bilinmeyenler için de bağıntılar buna benzerdir. Eğer bütün bir yıl boyunca yeteri kadar farklı “*grup çiftleri*” gözlersek (3-21) tipinde, herbir

³ Aynı gruba ait bir çok gözlemin hassasiyetinin, yıldızların konum çizgilerinden hareketle elde edilmesi

bilinmeyen için (n-1) tane denklem elde ederiz. Böylece bu tiplerin durumlarına uyan bir denklemi, ortalama gruptan hareketle elde ederiz.

$$\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots + \Delta x_n = 0$$

Bu sistem bize bilinmeyenlerin düzeltmelerini (grup düzeltmelerini) bulmamıza izin verir. Başka bir deyişle, iç duruma giriş bizi, bir dx_j bilinmeyeni ile bunun gerçek değeri Δx_j arasındaki farkın bir sabit olduğu sonucuna götürür. Bu durumda,

$$\Delta x_j = dx_j + \Omega$$

$$\Delta y_j = dy_j + \cap$$

$$\Delta R_j = dR_j + \phi$$

yazabiliriz. Ω , \cap , ϕ ifadeleri, kullanılan grupların düzenlenimine ve gözönüne alınan kataloğa bağlı, zamanının doğrusal fonksiyonu olan bilinmeyenlerdir. Bununla birlikte, eğer kullanılan gözlemler yalnızca birkaç yılı kapsıyorsa, bu değerler sabit kabul edilebilir.

Daha önce belirtildiği gibi, dR zenit uzaklığındaki grup düzeltmesi elde edilirken, özel bir işlem yapılır.

Birkez grup düzeltmeleri elde edilince, (3-20) tipindeki denklemler herbir yıldızın $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$ değerlerini hesaplamak için yeniden kullanılabilir.

$$M_i = -(dx_j + \Omega) \sin \mathcal{A}_i - (dy_j + \cap) \cos \mathcal{A}_i + (dR_j + \phi) + 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A}_i \Delta\alpha - \cos S_i \Delta\delta$$

$$dM_i = dx_j \sin \mathcal{A}_i + dy_j \cos \mathcal{A}_i - dR_j$$

değerini yerine koyarsak,

$$M_i + dM_i = 15 \sin \mathcal{A}_i \cos \varphi \Delta\alpha - \cos S_i \Delta\delta + \Omega \sin \mathcal{A}_i - \cap \cos \mathcal{A}_i + \phi$$

denklemini elde ederiz. Eğer herbir yıldız için, doğuda ve batıda elde edilen tüm fark değerleri yeniden gruplarsak,

$$\Delta\alpha = \frac{(M_E - M_w)}{30 |\sin \mathcal{A}| \cos \varphi} + \frac{\Omega}{15 \cos \varphi}$$

$$\Delta\delta = -\frac{M_E + M_w}{2 \cos S} + \frac{\phi - \cap \cos \mathcal{A}}{\cos S}$$

burada M_E ve M_w doğu ve batıda grup düzeltmeleri yapılmış ($M_i + dM_i$) lerin ortalaması, yani yıldızlara ait fark değerlerinin ortalamasıdır.

Bu yöntemin ekinoksun tayini için uygun olmadığı açıktır. Çünkü bütün $\Delta\alpha$ lar bilinmeyen bir miktarda etkilenmişlerdir.

$\Delta\delta$ ya bağlı iki sabitten biri, $\cos S$ 'i sıfıra yakın olan yıldızların geçiş durumunda elimine edilebilir (birincil yıldızlar, burada kastedilen I. Düşey daireden geçtikleri an oluyor. O zaman $S=90^\circ$ olur).

Bu yıldızlar için, gözlenen maksimum ayrılık, \mathcal{A}_m ve $360^\circ - \mathcal{A}_m$ olur.

$$M_E + M_W - 2(\phi - \cap \cos \mathcal{A}_m) = -2\Delta\delta \cos S \approx 0$$

$$M_E + M_W = 2(\phi - \cap \cos \mathcal{A}_m) = 2C$$

$2C$ miktarı yıldızların koordinatlarından bağımsızdır ve sabit olması gerekir. Gerçekten, C , yıldızın spektrumu ve kadirine bağlıdır. Birincil yıldızların artık değerlerini kullanarak, bu değerlerle aralarındaki ilişkiyi çıkarabiliriz.

Pratik olarak C yi bulmak için $|\cos S| \leq 0.2$ olan yıldızların tümü kullanılır. C 'nin deneysel ve global tayininden başka, herbir yıldız için C 'nin hesaplanmasına izin veren fark değerlerini renk-parlaklık bağıntısından kurtaracak bir model, tek tek konumların duyarlılığını artırmak amacıyla, teorik olarak yapıldı[36]. Böylece, bilinmeyen sabitlerden (ϕ ve \cap) yı birbirlerinin fonksiyonu olarak çıkarabilir ve $\Delta\delta$ yi tayin edilemeyen tek bir sabitle hesaplayabiliriz.

$$\begin{aligned} &= \cap \cos \mathcal{A}_m + C \\ \Delta\delta &= -\frac{M_E + M_W - 2C}{2 \cos S} + \frac{\cap (\cos \mathcal{A}_m - \cos \mathcal{A})}{\cos S} \end{aligned}$$

$\cos S = 0$ 'e yakın bölgelerde yöntem çalışmaz ve $\Delta\delta_0$ tipindeki hatalar tayin edilemez kalır. Gerçekten maksimum ayrılık için,

$$\cos \mathcal{A} = (\sin \delta - \sin \varphi \cos \mathcal{Z}) / \cos \varphi \sin \mathcal{Z}$$

$$\cos S = (\sin \varphi - \sin \delta \cos \mathcal{Z}) / \cos \delta \sin \mathcal{Z}$$

\cap 'ın katsayısını da, $\cos \delta / \cos \varphi \cos \mathcal{Z}$ ile değiştirebiliriz. Böylece işlemler yapılırsa, maksimum ayrılık için,

$$\cos \mathcal{A}_m = \tan \varphi \tan \mathcal{Z}$$

buluruz.

Temel gruplara ilişkin, Doğu ve Batıda olmak üzere iki geçişte gözlenen yıldızların kataloğ hatalarını tayin etmek için kullanılan bu yöntem, keza, bu grupların başlarında ya da sonlarında bulunan boşluklara denk gelen gök cisimlerine de uygulanabilir. [35] Zaman ve enlemdeki sistematik hataların tayini için temel grupların yapısını elde etmek gerektiğinde, işlemler bu şekilde yapılır. Buna

karşılık, katalog yıldızlarının düzeltmelerini elde etmek için 3 yıllık bir dönem yeterlidir. Bu dönemden sonra gözlem programında değişiklik yapılabilir.

Bu şekilde, genelde $\Delta\alpha$, $\Delta\alpha_\delta$, $\Delta\delta_\alpha$ şeklinde hatalar içeren ikincil kataloglar düzenlemek mümkündür[37]. Burada $\Delta\delta_\delta$ tipinde bir sabit tayin edilemez kalır. Sonuçlar temel katalogların sistematik hatalarını tayin etmek için kullanılabilir.

3.6.2 Gezegen Gözlemleri

60'lı yılların başında astrolab büyük gezegenlerin gözlemi ve bunların efemerislerindeki hataların tayini için kullanılmaya başlandı. Daha sonra astrograf ve meridyen dürbünü gibi klasik astrometrinin diğer aletlerinin duyarlılığını elde etmek üzere, güneş sisteminin cisimlerini incelemek için uygulama alanı genişletildi.

Gezegenlerin görünen yarıçaplarına göre, bunların astrolabın görüş alanında bir yıldız gibi (Uranüs, küçük gezegenler); az yada çok faz etkisi gösteren bir disk (Mars, Jüpiter) yada Satürn gibi özel ve farklı bir görünümde olabilirler.

Gezegenlerin görünen yarıçaplarının boyutlarından kaynaklanan gözlem güçlükleri, Jüpiter'de olduğu gibi, yıldız görüntülerine çok yakın görüntüler veren Galileo uyduları gözlenerek giderilebilir[38].

Gözlemlerin indirgenmesi için genellikle, başvuru efemerisi olarak "*Astronomical Almanac*" kullanılır. Bu durumda yalnızca paralaks düzeltmesi yapmak yeterli olur.

Bundan sonraki işlemler, yıldız kataloglarında $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$ hatalarını bulmak için kullanılan işlemler gibidir. Her gözlem için ∂T , $\partial\varphi$ ve ∂z değerleri, yıldız gruplarının gözlemlerinde olduğu gibi, gezegenler için de bulunur. Bu şekilde, gezegenin her doğu ve batı geçişine ait zenit uzaklığında bir artık değer bulunur. Bunlar yıldız görünümünde iseler, fark değerleri doğrudan doğruya efemerislerin α ve δ larında , hataların hesabında kullanılır. Geriye kalan gezegenlerde faz etkisinden kaynaklanan düzeltmelerin yapılması gerekir.

Gezegen gözlenebilir bir görünen çapa sahipse, her ne kadar yatay bir çizgiye göre simetrik de olsa, iki görüntünün küresel ve eşit olduğu dış hatlar etkilenir. Normal olarak, astrolab da etki oldukça küçüktür ve gözlemcinin bunu farketmesi oldukça zordur. Aynı zamanda fazın giderek artmasıyla, diskin parlaklık dağılımındaki şekil bozukluğu da kaybolur. Bunun ölçümündeki zorluk, gerçekte başvuru noktası olarak gözlenen noktanın bilinmemesinden kaynaklanır. Bu

nedenle, faz düzeltmesi hesabında, bu referans noktasının gezegenin merkezine uzaklığı temel veri olarak alınır. Eğer gözlemin, görüntünün fotosentrik merkezi üzerinde yapıldığı farzedilirse, bu durumda konum, bir parlaklık dağılımı modelinden hareketle bulunur ve faz etkisi buradan yok edilir[31].

Gözlemlerin ve efemerislerin karşılaştırılması her seferinde daha duyarlı analitik teorilerin ortaya çıkmasını olanaklı kıldı, böylelikle bazı hataların yorumuna açıklık getirildi. Buna paralel olarak, bu aletle ve diğerleriyle de edilen optik sonuçların karşılaştırılması, tekniklerdeki farklılıklara rağmen, bunlar arasında iyi bir uyum olduğunu göstermektedir.

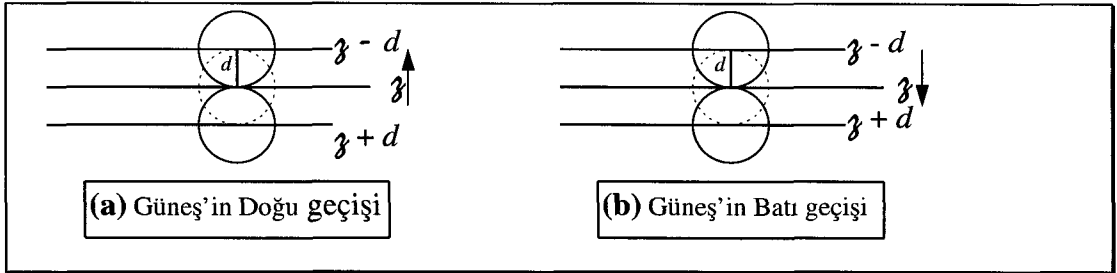
3.7 Güneş Gözlemleri

Güneş gözlemleri, Güneş diskinin tümü aletin görüş alanına girmediğinden Güneşin alt ve üst kenarlarının gözlenerek, bu gözlemlerin Güneş merkezine indirgenmesi esasına dayanır. Bu durumda indirgeme için başvuru noktası, Güneş diskinin gözlem anında yataya teğet olan kısmıdır. Zaman kaydı, bu noktanın aletin almukantarından geçiş anına karşılık gelir. Bu da, teorik olarak, üst kenar yada alt kenarın gözlenmesine göre $\pm d$ şeklinde, Güneş yarıçapının değeri konarak Güneş merkezini gözlemeye karşılık gelir[39]. Güneşin doğu ve batı geçişlerine karşılık gelen şekiller sırasıyla Şekil 3-13 (a) ve (b) 'de gösterilmiştir. Temel denklemler yıldız denklemleri ile aynı biçime sahiptir, yalnızca bunlara Güneş'in bilinen yarıçap değeri olan d_0 'değerini eklemek yeterlidir.

$$z = z_i \pm d + r \quad z_c = z_{i0} \pm d_0 + r_c + A + B$$

ve sonuçta temel denklemler şu şekilde oluşur.

$$-dh = 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} [k(UT0-UTC) - \Delta\alpha + \Delta L] + \cos \mathcal{A} \Delta\varphi + dz \pm \Delta d + \cos S \Delta\delta \quad (3-22)$$



Şekil 3-13 Güneş Geçişleri

Çok iyi gözlem koşullarında her iki kenarın doğuda (D) ve batıda (B) gözlenmesi ile aşağıdaki şekilde 4 fark denklemi elde edilir. Burada R, yıldız gözlemlerinde kullandığımız M, anlamındadır[40].

$$\begin{aligned}
R_{Düst} &= + 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta\alpha + \mathcal{V} + \Delta d \\
R_{Dalt} &= + 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta\alpha + \mathcal{V} - \Delta d \\
R_{Büst} &= -15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta\alpha + \mathcal{V} - \Delta d \\
R_{Balt} &= -15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta\alpha + \mathcal{V} + \Delta d
\end{aligned} \tag{3-23}$$

Yıldız kataloğlarının şekillenmesinde ve gezegen gözlemlerinde olduğu gibi bu denklemleri $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$, ve Δd düzeltmelerini elde etmek için kullanıyoruz. Bunlardan hareketle istasyonun anlık koordinatları bulunabilmektedir.

3.7.1 Güneş Gözlemlerindeki Düzeltmeler

Aydınlanmanın Güneş gözlemlerindeki etkisinin yıldız gözlemlerindekinden çok farklı olacağı açıktır. Gözlemcinin rahatsız olmaması için, bu gözlemlerde etkin dalga boyu $0.55 \mu\text{m}$ olan bir Güneş filtresi kullanılır.

Kırılma hesabı için gerekli meteorolojik verilerin alınması, her kenarın gözleminden önce ve sonra gerçekleştirilir. Böylece, aletin sıcaklığı ve istasyondaki gözlem koşullarının hızlı değişimi, en iyi şekilde kontrol edilebilir.

Paralel ve almukantarat eğrisi için düzeltmeler hesabı, yıldız ve gezegen gözlemlerinininki ile aynıdır.

3.7.2 Güneş'in Yarıçapı

Güneş'in görünen d_0 toposentrik yarıçapı, gözlem anı için astronomik almanak'dan enterpolasyonla bulunan d_g değerine günlük aberasyon etkisi eklenerek bulunur.

$$d_0 = d_g (1 + s \pi \cos \mathcal{Z})$$

burada, π yine almanaklardan bulunan radyan cinsinden ekvatoryal yatay paralaks ; \mathcal{Z} kırılma düzeltmesi yapılmış zenit uzaklığı ve s ekvatoryal yarıçap birim alınarak bulunan istasyonun jeosentrik uzaklığıdır. s 'yi şu bağıntı yardımıyla kolayca elde edebiliriz.

$$s = 0.9983200 + 0.0016835 \cos \varphi - 0.0000035 \cos 4\varphi + h / 6378140$$

Burada h geoid üzerinde metre olarak istasyonun yüksekliğidir.

Pratikte, görünen toposentrik yarıçap değerini elde etmek için tek bir tablo kullanılabilir.

$$\sin \pi = R_T / D \quad \sin d_g = R_S / D$$

burada R_T yer'in ekvatoryal yarıçapı ; R_S Güneş'in yarıçapı, D yer ve Güneş merkezleri arasındaki uzaklıktır. Buradan,

$$\sin d_g = (R_S / R_T) \sin \pi = Q$$

ve sonuç olarak,

$$d_0 = (1 + s \pi \cos \lambda) \arcsin Q$$

bulunur.

3.7.3 Sistemik Hatalar

Astrolabla Güneş gözlemi için gözlem süresince doğrudan ve civa çanağından yansıyan görüntülerin çakışmalarının izlenmesi gerekir. Bunun için, retikülün, prensip olarak yatay iki telini başvuru olarak alıyoruz. Bu şekilde, iki görüntünün merkezi aynı düşey daire üzerinde bulunurlar.

Pratikte her zaman ideal bir kavuşma gerçekleşmez ve kontak başka iki nokta arasında olur (Şekil 3-14). Bu durumda iki görüntünün merkezleri arasında, küçük fakat değişen ve $2E$ ile göstereceğimiz yatay bir uzaklık bulunur. Güneş'in gözlemci tarafından ölçülen d (C_1A) yarıçapının, d_v (C_2A) dan küçük olması durumunda, ya da başka bir deyişle, merkezlerden aletin zenit uzaklığına bir kavuşma yoksa, yıldız ve gezegen gözlemlerinde gördüğümüz gibi, astrolabdaki simetri nedeniyle, bu durum $\Delta\alpha$ 'yı etkilemez.

Şekilden açıkça görüldüğü gibi,

$$d = (d_v^2 - E^2)^{1/2} = d_v (1 - E^2 / d_v^2)^{1/2}$$

$$d \approx d_v (1 - E^2 / 2d_v^2)$$

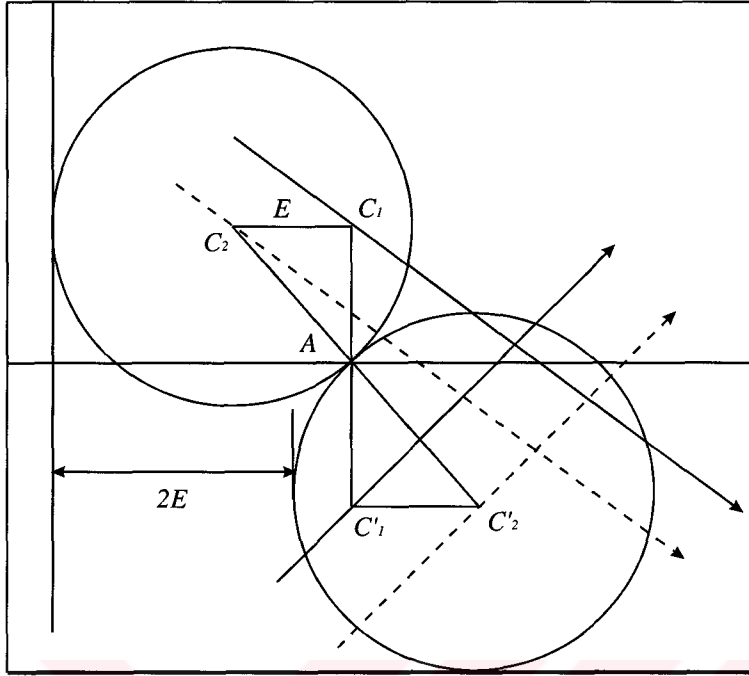
$$d - d_v = -E^2 / 2d_v$$

dir. $2E$ miktarı gözlemci tarafından, yıldız gözlemlerinde olduğu gibi, retikülün absisi cinsinden ölçülebilir. Bunun için görüntüler merkezi yatay teli geçtikleri zaman, görüntülerin merkezdeki kenarları arasındaki ölçüler ya da gözlem süresi boyunca görüntülerin kenarlarına çizilen hayali teğetler arasındaki uzaklıklar, düşey teller yardımıyla ölçülerek yapılır ve bu değer gözlemci tarafından not edilerek, gözlemin değerlendirilmesi esnasında kullanılır.

$2E$ uzaklığının maksimum değerinin 0.5 apsis'den (merkezdeki iki düşey telin $1/12$ 'si) daha fazla olamayacağını anlamak güç değildir. Bu da $15''$ kadar yapmaktadır. bu durumda yarıçap ölçümlerindeki hata,

$$d - d_v < -15^2 / 2 \times 900 \approx -0''.13$$

olur. Bu miktar d_v 'nün tayinindeki hatadan küçüktür, negatiftir ve ölçülmesi kolaydır.



Şekil 3-14 Güneş Gözlemlerinin Düzeltmesi. Normalde görüntülerin, merkezleri aynı düşey doğru üzerinde olacak şekilde, simetrik çakışması gerekirken, bu durumda görüntülerin merkezleri birbirlerine göre bir miktar kaymıştır.

3.7.4 İstasyonun Koordinatları

$k(UT0 - UTC) + \Delta L$ ve $\Delta \varphi$ değerleri 4-1 sistemine iki farklı şekilde dahil edilebilir:

1. Yıldız gruplarının rutin gözlemleriyle; grup düzeltmesi uygulaması yardımıyla, "ortalama gruba" göre bunları değerlendirerek.
2. IERS yersel başvuru çerçevesi ile istasyonun ortalama koordinatları biliniyorsa, yukarıdaki miktarlar kutbun x_p , y_p koordinatları ve UT1- UTC değerleri kullanılarak hesaplanabilir.

Bu son durumda

$$\Delta \varphi = x_p \cos L - y_p \sin L$$

$$\Delta L = - [(x_p \sin L + y_p \cos L) \tan \varphi] / 15$$

$$k(UT0 - UTC) = k(UT1 - UTC) - \Delta L$$

FK5'e göre, ilk işlemlerle elde edilen sonuçlar, yıldızların koordinatları ve grup indirgemelerinde kullanılan astronomik sabitlere ilişkin tüm hataları taşırlar. Yine, kişisel hataları minimuma indirmek için, her iki tip, Güneş ve yıldız gözlemlerinde sürekli olarak aynı gözlem ekibinin görev yapması gerekir. Bu gereklilik yerine getirilse de, yıldız gözlemlerinde Güneş gözlemlerinde kullanılan filtre olmadığı için, alet sabitleri tam olarak aynı kalmaz.

3.7.5 Sistemin Çözümü

İlk yaklaşıklıkla, gözlenen 4 kenarda da aletin zenit uzaklığının aynı olduğunu kabul edersek, $k (UTO - UTC) + \Delta L$ ve $\Delta\varphi$ değerlerini yerine koyduğumuzda 4-2 sistemini 3 bilinmeyenli 4 sistem gibi düşünebiliriz.

S açısının çok az değişmesine karşın, deklinasyondaki değişim, zenit uzaklığından ayrılamaz. Bu nedenle

$$Y = \cos S \Delta\delta + \partial_z$$

olur. Daha önce söylediğimiz gibi Y ifadesindeki ∂_z 'nin bilinmesi gereklidir. Bu ifadenin bulunabilmesi için ise hem yansıtıcı hem de kırıcı prizma ile aynı yıldız gruplarının gözlenmesi ve sonuçta elde edilen denklemlerin çözülerek Δz nin bulunması gereklidir. Böylece sistem,

$$\begin{aligned} R_{Düst} &= + 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta\alpha + Y + \Delta d \\ R_{Dalt} &= + 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta\alpha + Y - \Delta d \\ R_{Büst} &= -15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta\alpha + Y - \Delta d \\ R_{Balt} &= -15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta\alpha + Y + \Delta d \end{aligned} \quad (3-23)$$

biçimindedir. Burada R_{jk} dört kenar için (gözlenen - hesaplanan) farkıdır.

Aynı günde 4 gözlem yapılmışsa, en küçük kareler yöntemiyle çözüm yapılarak Y , $\Delta\alpha$ ve Δd 'nın değerleri bulunur. Matris formunda sistem şu şekilde gösterilebilir,

$$\begin{pmatrix} R_{DÜ} \\ R_{DA} \\ R_{BÜ} \\ R_{BA} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} & 1 & 1 \\ 15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} & 1 & -1 \\ -15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} & 1 & -1 \\ -15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\alpha \\ Y \\ \Delta d \end{pmatrix}$$

Bu sistem yaklaşık olarak, kolay ve doğrudan hesaplanabilir [41].

$$Y = 0.25 (R_{DÜ} + R_{DA} + R_{BÜ} + R_{BA})$$

$$\Delta\alpha = (R_{DÜ} + R_{DA} - R_{BÜ} - R_{BA}) / 4 \times 15 / \sin A / \cos \varphi \quad (3-24)$$

$$\Delta d = 0.25 (R_{DÜ} - R_{DA} - R_{BÜ} + R_{BA})$$

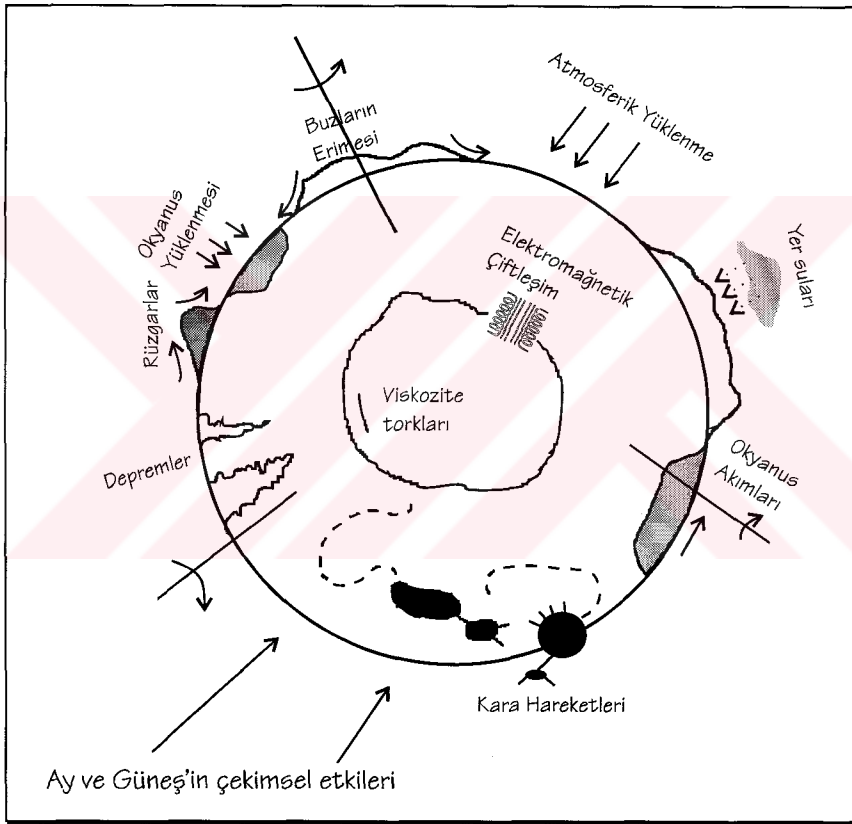
(3-24) denkleminin sonuçları, gözlemciye ölçtüklerindeki kalite hakkında hızlı bir tahmin verir. Bunun için doğuda ve batıda yapılan gözlemlerin tamam olması gereklidir. Daha uzun vadede yapılması gereken şey, bir kampanya süresince yapılan gözlemlerin (eksik gözlemler dahil) yeniden gruplanarak, n artık değerden en küçük kareler yöntemiyle çözüm elde etmektir[41]. Bu durumda gözlemlerin duyarlılığı artmaktadır. $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$ miktarları, yer'in dönme parametrelerinin çıkarıldığı başvuru çerçevesine göre (FK5 yada IERS) Güneş'in ekvatoryal koordinatlarındaki düzeltmedir.

Astrolab gözlemlerindeki simetri nedeniyle, sağ açıklıktaki sonuçlar, zenit uzaklığı ve ölçülen yarıçaptaki sistematik hatalardan etkilenmez.

4. PROBLEM

4.1 Problemin Oluşması

Önceki bölümlerde gördüğümüz başvuru sistemleri arasında, sağıklık ve ekliptik sistemlerinde yıldız koordinatlarının zamanla değişmediği, ufuk sisteminde ise koordinatların sadece yer'in dönmesi sebebiyle periyodik olarak değiştiği varsayılmıştır. Ne var ki, bütün koordinat sistemleri bazı etkenler sebebiyle yavaş ve küçük değişimlere sahiptirler.



Şekil 4-1 Yer'in dönmesini etkileyen olaylar

Dünya'nın hareketi, kütle merkezinin Güneş etrafında yaptığı yörüngesel hareket ile bu kütle merkezinden geçen eksen etrafındaki dönmesel hareketten oluşur. Yörüngesel hareket ve dönmesel hareketin ikisi birlikte temel başvuru sistemlerini oluştururlar. Her iki harekette Güneş sistemindeki diğer cisimlerin gravitasyonel çekimlerinden etkilenir ve birbirlerini tedirgin ederler.

Dönmesel hareket beş bileşene sahiptir[42]:

- şekil eksenini boyunca olan düzenli dönme,
- presesyon,
- Euler hareketi (Chandler hareketi),
- periyodik hareketler (nutasyon),
- düzensiz hareketler

Eğer Yer ekstenel olarak simetrik olsaydı ve diğer gök cisimleri olmasaydı, dönmesel hareket sadece düzenli dönme ve Euler hareketi olacaktı. Diğer cisimler, nedeniyle meydana gelen tork yüzünden presesyon ve nutasyonel hareket oluşur. Dünya'nın katı bir cisim olmaması ise nutasyonun genliğini değiştirir ve dağıtıcı kuvvetler nedeniyle nutasyonun fazı değişir. Yer yüzeyi üzerinde ve içinde oluşan jeofiziksel olaylar nedeniyle de düzensiz ve kestirilemeyen hareketler oluşur. Yer'in dönmesi üzerinde etkisi olan bütün bu olayların sistematik gösterimi Şekil 4-1'de verilmiştir.

Bir başvuru çerçevesi kurulurken, yapılmış teorilerin ve gözlemsel sonuçların elverdiği ölçüde bütün bu etkiler göz önüne alınarak, yıldız koordinatları belirli bir zamana indirgenir. İşte bu yıldız koordinatları ile, katalog başvuru sistemi tanımlanır. Katalog'un başlangıç zamanı dediğimiz bu zamandan daha sonra, bir gök cisminin gözlemek istediğimizde, katalogda verilen bilgiler (özhareket, presesyon, nutasyon v.s) ışığında gözlem anı için başvuru sisteminin durumu bulunup, gök cisminin hareket denklemlerinin integrasyonu ile bu cisme ait efemeris çıkarılır. İşte problem burada başlar, eğer başvuru sistemi ideal bir sistem olsaydı veya kullandığımız matematiksel teoriler tam olarak yer'in dönmesindeki düzensizlikleri kestirebilseydi, hesaplanan koordinatlarda ve zamanda, gök cisminin geçişi gözlenebilecekti. Halbuki pratikte, Yer'in dönmesinde kestirilemeyen düzensizlikler vardır ve eğer zaman ölçüsü olarak, Yer'in kendi eksenini etrafında yapmış olduğu dönme hareketi ile ilgili bir zaman kullanılıyorsa, hesaplanan geçiş anı da bu düzensizliklerden etkilenir. Sonuçta geçiş parametrelerinin hesaplanan ve gözlenen değerleri arasında farklılıklar oluşur. Buradan, kullanılan yıldız katalogunun tanımladığı başvuru sistemi ile dinamik sistemin, birbirlerine göre bağıl bir hareketleri olduğu sonucuna varılır.

Bu iki sistemin birbirlerine göre olan hareketi yıllardır araştırılmış, her yeni gözlem tekniği kullanılarak elde edilen sonuçlar ile, yıldızlar yardımıyla tanımlanan başvuru sistemi iyileştirilmeye çalışılmıştır. İşte bu çalışmaların sonucu ikinci bölümde bahsedilen FK serisi başvuru sistemleri ortaya çıkmıştır. Daha önce

kullanılan FK4 sistemindeki düzensizlikler dolayısıyla FK5 sistemine geçilmiştir. Temel bir başvuru sisteminin iyileştirilmesi, sistemin temel düzleminin konumunun, yani ekvator'unun ve sağaçıklık başlangıç noktası yani ilkbahar ılım noktasının düzeltilmesi işlemlerinden oluşur. Temel kataloglar hazırlanırken, katalog ekvatoru, batmayan yıldızlar'ın gözlenmesi yardımıyla gök kutbunun belirlenmesi sonucu tanımlanabilir, fakat duyarlılığı arttırmak için Güneş veya gezegen gözlemleri yapılmalıdır. İlkbahar ılım noktası tanım olarak, Güneş'in mutlak sağaçıklığı olduğundan, bunun belirlenmesi için yeterince geniş bir zaman aralığında (Güneş'in yıllık yörüngesinin tamamının gözlemlendiği) Güneş gözlemlerinin yapılması zorunludur. Sadece yıldız gözlemlerinden ilkbahar ılım noktası bulunamaz. Sonuçta temel bir sistemin iyileştirilmesi için yıldız, Güneş ve gezegen gözlemlerinin yapılarak, bunların birbirine bağlanması zorunludur. Bu üç gök cisminin optik yöntemlerle gözlenmesi, meridyen dürbünü, zenit tüpü ve astrolab gibi aletler ile gerçekleştirilir. İdeal bir temel sistem, gök yüzünün her bölgesinde tanımlı olmalıdır. Meridyen dürbünü ile sadece gök küresinin belirli bir bölgesindeki yıldızlar gözlenebilir. Ayrıca meridyen dürbünü, sağaçıklık ve dikaçıklık ölçümlerinde farklı birer aletmiş gibi davranır. Bu nedenle, alet temel sistem düzeltmesi için yeterli değildir. Bu durumda sadece zenit tüpü ve astrolab gözlemleri bu amaç için uygundur.

Güneş gözlemlerinin indirgenmesi sonucu, Güneş'in gözlenen ve efemeristen hesaplanan yerleri arasındaki $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta (Y)$ farklarını elde edebileceğimizi gördük. Bu farkların oluşmasının altında yatan sebepler şunlardır[43].

1. Yıldız başvuru sisteminin ilkbahar ılım noktasının yerindeki hata (bu tamamen yıldız sisteminden kaynaklanır, Güneş teorisinde ekinoks hatası yoktur.)
2. Güneş'in konumunu hesaplarırken kullanılan, ekliptiğin eğim açısı ve Güneş'in boylamındaki hatalar,
3. Gözlem sırasında oluşan rastgele hatalar,
4. Yıldız sisteminin ekvatorunun konumundaki hata,

Böylece Astrolab gözlemleri sayesinde elde edebileceğimiz $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta (Y)$ farklarını, bu nedenlere bağlayacak matematiksel bir model geliştirebilirsek, bunların daha sonraki bir zaman için ne kadarlık bir düzeltme gerektireceklerini de

kestirebiliriz. Böylelikle kullandığımız başvuru sisteminin ve presesyon ile nutasyon teorilerinin güvenilirlik seviyeleri de ortaya çıkar.

4.2 Modelleme

Daha önce FK4 sisteminin iyileştirilmesi için yaptıkları çalışmada, Fricke ve arkadaşları [16] $\alpha_{göz} - \alpha_{hes}$ farklarının bütün bir yıl yada yıllar boyunca ki ortalamasının,

$$\langle \alpha_{göz} - \alpha_{hes} \rangle = -E, \quad \langle \delta_{göz} - \delta_{hes} \rangle = -D \quad (4-1)$$

şeklinde E ve D düzeltmeleri vereceğini göstermişlerdir. Dikkat edilirse sonuçta yapılan sadece ilkbahar ılım noktası ve ekvator'un (-E) dönmesi ve (-D) kadar kaydırılmasıdır. Halbuki iki sistemin birbirlerine göre en genel hareketi öteleme ve dönme hareketlerinin toplamından oluşur. Fricke'nin bu çalışmasında FK4 ekvator'unun herhangi bir düzeltme terimine ihtiyaç duymadığı anlaşılmıştır(D=0). Eğer gerçek sistem ile başvuru sisteminin başlangıç noktaları aynı ise(D=0 bunu gerektirir), hareket sadece bu iki sistemin birbirlerine göre dönmesi nedeniyle olacaktır. Bu durumun temsilinde ise E_0 , E_1 ve E_2 ile göstereceğimiz φ, θ, ψ Euler açılarına bağımlı üç parametreye ihtiyaç duyarız. Başvuru sistemi olarak FK5 sistemini ve gök cismi olarakta Güneş'i alırsak, sonuçta, FK5 sisteminin güneş merkezli dinamik sisteme göre olan bağıl düzeltme terimleri yanında Güneş'in yörünge elemanlarını da bulmuş oluruz. Güneş'in görünen hareketi, Yer'in kendi eksenini etrafındaki dönme hareketinin ve Güneş etrafındaki yörüngesel hareketinin sonucu olduğundan bulunan yörünge elemanları aslında Yer'in yörünge elemanları olacaktır.

Şimdi en genel dönme hareketinden başlayarak, bunları Güneş'in yörünge elemanlarına götüreceğiz bir yöntem geliştirmeye çalışalım.

Klasik mekanikten bilindiği üzere iki sistemin birbirlerine göre en genel dönme hareketi Euler açıları cinsinden ifade edilebilir. Böylece yapacağımız ilk iş Euler açıları cinsinde elde edeceğimiz dönme terimlerini, bildiğimiz gök başvuru çerçevesi açılarına bağlamak olacaktır.

Üç boyutlu uzayda tanımlı bir $x_0y_0z_0$ koordinat sistemi düşünelim. Bu koordinat sistemini Oz eksenini etrafında bir φ açısı kadar döndürelim. Bu yeni $x'y'z'$

($z'=z_0$) sisteminde Ox' eksenini etrafında θ açısı kadar döndürerek elde edilen yeni $x''y''z''$ ($x''=x'$) sistemini son olarak tekrar Oz'' eksenini etrafında Ψ açısı kadar döndürünce elde edilen $x'''y'''z'''$ ($z'''=z''$) sistemi ile $x_0y_0z_0$ sistemi arasındaki (Şekil 4-2) dönme matrisi,

$$R(\varphi, \theta, \psi) = \begin{vmatrix} \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \cos \theta \sin \varphi & \cos \psi \sin \varphi + \sin \psi \cos \theta \cos \varphi & \sin \psi \sin \theta \\ -\sin \psi \cos \varphi - \cos \psi \cos \theta \sin \varphi & -\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \theta \cos \varphi & \cos \psi \sin \theta \\ \sin \theta \sin \varphi & -\sin \theta \cos \varphi & \cos \theta \end{vmatrix} \quad (4-2)$$

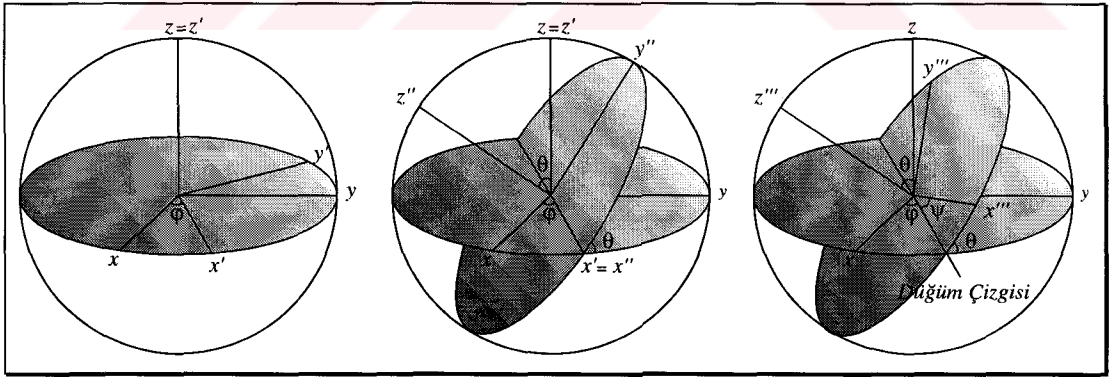
ile verilir.

Yer'in hareketlerindeki düzensiz değişimlerin değerleri çok küçük olduğundan θ ve $\varphi + \psi$ çok küçük alabiliriz, bu durumda,

$$\cos \theta \approx 1 \quad \sin \theta \approx \theta \quad (4-3)$$

yaklaşımı yapılabilir. Böylece, $R(\varphi, \theta, \psi)$ dönme matrisi,

$$R(\varphi, \theta, \psi) = \begin{vmatrix} \cos(\varphi + \psi) & \sin(\varphi + \psi) & \theta \cdot \sin \psi \\ -\sin(\varphi + \psi) & \cos(\varphi + \psi) & \theta \cdot \cos \psi \\ \theta \cdot \sin \varphi & -\theta \cdot \cos \varphi & 1 \end{vmatrix} \quad (4-4)$$



Şekil 4-2 Koordinat eksenlerinin dönmesi

$\xi = \varphi + \psi$ toplamının da çok küçük olması nedeniyle,

$$\cos \xi \approx 1 \quad \sin \xi \approx \xi = \varphi + \psi \quad (4-5)$$

bulunur. $\psi = -\varphi$ kabulünü de yaparak ($\cos \xi = 1 \Rightarrow \varphi + \psi = 0$) sonuçta,

$$R(\varphi, \theta, \psi) = \begin{pmatrix} 1 & \xi & -\theta \cdot \sin \varphi \\ -\xi & 1 & \theta \cdot \cos \varphi \\ \theta \cdot \sin \varphi & -\theta \cdot \cos \varphi & 1 \end{pmatrix} \quad (4-6)$$

dönme matrisini buluruz. x_0, y_0, z_0 sistemini X_0 ile ve $x'''y'''z'''$ sistemini de X' ile gösterirsek, dönüşüm

$$X' = RX_0$$

şeklinde temsil edilebilir. Burada X' , gerçek sistemi, X_0 ise FK5 sistemini göstermektedir. Gözlemler yoluyla elde edeceğimiz sonuçlar $\Delta\alpha = < \alpha_{göz} - \alpha_{hes} >$, $\Delta\delta = < \delta_{göz} - \delta_{hes} >$ şeklinde farklar olacağından, elde ettiğimiz bu dönme matrisini fark matrisi haline getirmemiz gerekir.

$$\begin{pmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \xi & -\theta \cdot \sin \varphi \\ -\xi & 1 & \theta \cdot \cos \varphi \\ \theta \cdot \sin \varphi & -\theta \cdot \cos \varphi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \xi & -\theta \cdot \sin \varphi \\ -\xi & 0 & \theta \cdot \cos \varphi \\ \theta \cdot \sin \varphi & -\theta \cdot \cos \varphi & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x''' - x_0 \\ y''' - y_0 \\ z''' - z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \xi & -\theta \cdot \sin \varphi \\ -\xi & 0 & \theta \cdot \cos \varphi \\ \theta \cdot \sin \varphi & -\theta \cdot \cos \varphi & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix}$$

dir. Buradan,

$$\left. \begin{aligned} dx &= \xi y_0 - \theta \cdot \sin \varphi z_0 \\ dy &= -\xi x_0 + \theta \cdot \cos \varphi z_0 \\ dz &= \theta \cdot \sin \varphi y_0 - \theta \cdot \cos \varphi x_0 \end{aligned} \right\} \quad (4-7)$$

fark denklemlerini buluruz. Bu denklemler kartezyen koordinatlar cinsinden olduğundan bunları gök koordinatları cinsinden ifade etmemiz gerekir. Küresel koordinatlardan bildiğimiz

$$\begin{aligned}
x_0 &= r \cos \delta \cos \alpha \\
y_0 &= r \cos \delta \sin \alpha \\
z_0 &= r \sin \delta
\end{aligned} \tag{4-8}$$

bağıntılarını kullanarak, (4-8) denklemlerini (4-7) denklemlerinde yerlerine koyarsak

$$\begin{aligned}
dx &= r.\xi.\cos \delta \sin \alpha - r.\theta.\sin \varphi \sin \delta \\
dy &= -r.\xi.\cos \delta \cos \alpha + r.\theta.\cos \varphi \sin \delta \\
dz &= r.\theta.\sin \varphi \cos \delta \cos \alpha - r.\theta.\cos \varphi \cos \delta \sin \alpha
\end{aligned} \tag{4-9}$$

elde edilir. Bu denklem (4-8) denklemlerinin differansiyeline eşit olmalıdır. Böylece (4-8) denklemlerinin differansiyellerini alırsak,

$$\begin{aligned}
dx &= \cos \delta \cos \alpha dr - r.\sin \delta \cos \alpha d\delta - r.\cos \delta \sin \alpha d\alpha \\
dy &= \cos \alpha \sin \alpha dr - r.\sin \delta \sin \alpha d\delta + r.\cos \delta \cos \alpha d\alpha \\
dz &= \sin \delta dr + r.\cos \delta d\delta
\end{aligned} \tag{4-10}$$

ve en genel hareket her koordinattaki değişimlerinin yani dx , dy ve dz nin vektörel toplamıdır. Bunun δ doğrultusundaki bileşenini bulalım. Bu bileşeni $(dx+dy+dz)_\delta$ gösterelim. (4-10) denklemlerinin ilkinin $(-\sin \delta \cos \alpha)$ ile, ikincisini $(-\sin \delta \sin \alpha)$ ile ve sonuncusunu $(\cos \delta)$ ile çarparsak sonuçta,

$$\begin{aligned}
(dx+dy+dz)_\delta &= -\cos \delta \sin \delta \cos^2 \alpha dr + r \sin^2 \delta \cos^2 \alpha d\delta + r \cos \delta \sin \delta \sin \alpha \cos \alpha d\alpha \\
&\quad -\cos \delta \sin \delta \sin^2 \alpha dr + r \sin^2 \delta \sin^2 \alpha d\delta - r \cos \delta \sin \delta \cos \alpha \sin \alpha d\alpha \\
&\quad + \sin \delta \cos \delta dr + r \cos^2 \delta d\delta
\end{aligned}$$

$$\boxed{(dx+dy+dz)_\delta = r.d\delta} \tag{4-11}$$

ifadesi bulunur. Bu toplam $(dx+dy+dz)$ hareketinin δ doğrultusundaki bileşenidir. (4-11) 'ye benzer şekilde, (4-10) denklemlerinin ilkinin $(-\cos \delta \sin \alpha)$ ile, ikincisini $(-\cos \delta \cos \alpha)$ ile ve sonuncusunu (0) ile çarparsak sonuçta,

$$\boxed{(dx+dy)_\alpha = r.\cos^2 \delta d\alpha} \tag{4-12}$$

buluruz. Bu da $(dx+dy)$ hareketinin α doğrultusundaki bileşenidir. Şimdi $(dx+dy+dz)_\delta$ ve $(dx+dy)_\alpha$ ifadelerini (4-7) denklemlerinden bulmaya çalışalım. (4-7) denklemlerinin ilkinin $(-\sin \delta \cos \alpha)$ ile, ikincisini $(-\sin \delta \sin \alpha)$ ile ve sonuncusunu

($\cos \delta$) ile çarparsak sonuçta bulunan, (4-10) denklemlerinden bulunan $(dx+dy+dz)_\delta$ ifadesine eşit olacaktır.

$$(dx+dy+dz)_\delta = r.d\delta = r.\theta\{\sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha\}$$

$$\Rightarrow d\delta = \theta.[\sin \varphi \cos \alpha - \cos \varphi \sin \alpha] \quad (4-13)$$

ve benzer şekilde (4-7) denklemlerinin ilkini ($-\cos \delta \sin \alpha$) ile, ikincisini ($-\cos \delta \cos \alpha$) ile ve sonuncusunu (0) ile çarparsak sonuçta bulunan (4-10) denklemlerinden bulunan $(dx+dy)_\alpha$ ifadesine eşit olacaktır.

$$(dx+dy)_\alpha = r.\cos^2 \delta d\alpha = r.\theta.\sin \delta \cos \delta \{\sin \varphi \sin \alpha + \cos \varphi \cos \alpha\} - r.\xi.\cos^2 \delta$$

$$\Rightarrow d\alpha = -\xi + \theta.\tan \delta [\sin \varphi \sin \alpha + \cos \varphi \cos \alpha] \quad (4-14)$$

bulunur.

$$E_o = -(\psi + \varphi) = -\xi \quad E_1 = \theta.\sin \varphi \quad E_2 = -\theta.\cos \varphi$$

tanımlamalarıyla,

$$\begin{aligned} d\alpha &= E_o + \tan \delta [E_1 \sin \alpha - E_2 \cos \alpha] \\ d\delta &= E_1 \cos \alpha + E_2 \sin \alpha \end{aligned} \quad (4-15)$$

ifadelerine ulaşırız. Söz ile anlatmaya çalışırsak, herhangi bir $x_o y_o z_o$ sistemi küçük φ, θ, ψ dönüşümlerine maruz kaldığında, sağaçıklık (α) ve dikaçıklık (δ) daki değişimler (4-15) ifadeleri ile verilir.

Eğer $x_o y_o z_o$ sistemi olarak FK5 sistemini kabul eder ve bu sistemi uzayda sabit sayarsak, Güneş'in koordinatlarındaki gözlenen değişim ($\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$), $x''' y''' z'''$ sisteminin $x_o y_o z_o$ sistemine göre olan hareketi sebebiyle olur. Böylece α ve δ daki $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$ (\mathcal{Y}) değişimleri, izlenen gök cisminin kendi hareketi sebebiyle olan α ve δ daki gerçek değişimler ile $x''' y''' z'''$ sisteminin $x_o y_o z_o$ sistemine göre dönmesi sebebiyle olan değişimlerin toplamıdır. α ve δ daki gerçek değişimler, cismin yörüngesini etkileyeceğinden bunları $\Delta\alpha_{\text{yörünge}}$ ve $\Delta\delta_{\text{yörünge}}$ ile gösterirsek, sonuçta gözlediğimiz toplam değişimi,

$$\Delta\alpha_{\text{gözlenen}} = \Delta\alpha_{\text{yörünge}} + f(E_0, E_1, E_2) \quad (4-16)$$

$$\Delta\delta_{\text{gözlenen}} = \Delta\delta_{\text{yörünge}} + g(E_1, E_2)$$

şeklinde ifade edebiliriz.

Bu bölümün ilk kesimlerinde gösterildiği üzere, Astrolabla yapılan Güneş gözlemlerinde $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$ (\mathcal{Y}) değerleri doğrudan elde edilebilmektedir. Güneş'in görünen yörüngesi de aslında Yer'in kendi eksenini etrafında ve Güneş etrafında yaptığı yörüngesel hareketleri yansıttığından $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$ (\mathcal{Y}) değerlerinin Güneş'in yörünge parametreleri cinsinden ifadesi bizi doğrudan Yer'in yörünge parametrelerine götürecektir. Bu durumda yapacağımız iş $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$ (\mathcal{Y}) 'yi Güneş'in görünen yörünge parametreleri cinsinden ifade etmek olacaktır. Bunun için Şekil 4-3 'ü göz önüne alalım.

Burada S' , Güneş'in gerçek yerini, S ortalama güneş'i göstermek üzere,

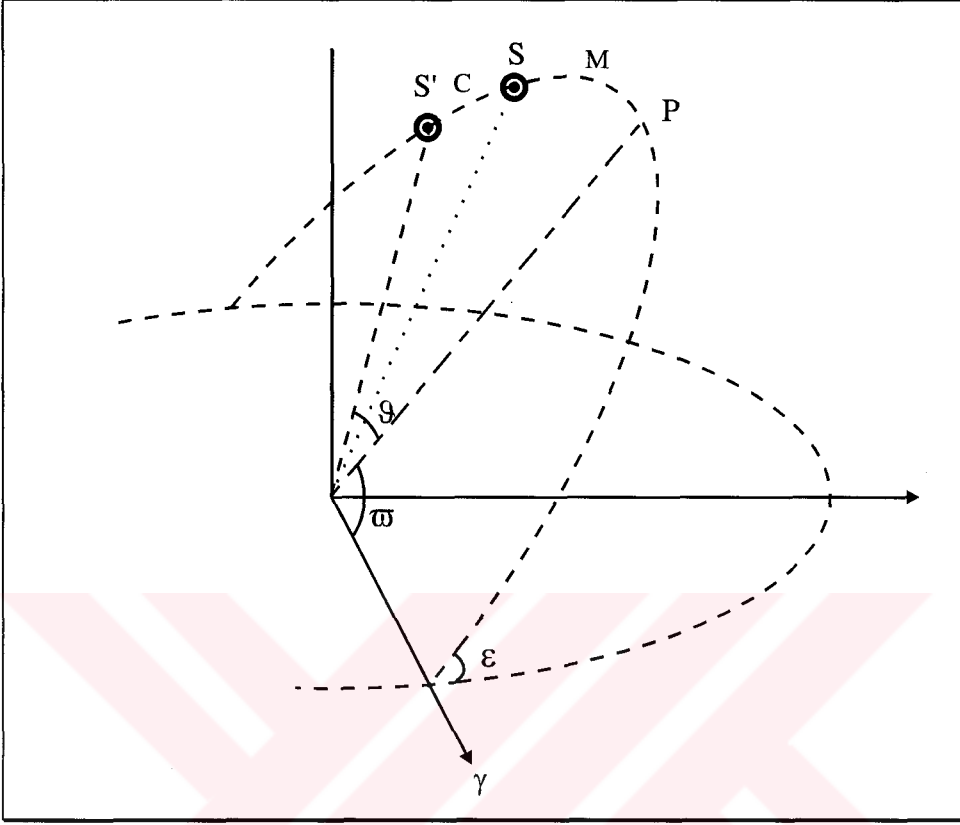
- M :Güneş'in ortalama anamolisi = PS
- C :Merkezin denklemi = SS'
- ϑ : $M+C$: Gerçek anamoli = $M+C$
- \mathcal{L} :Güneş'in gerçek boylamı = $\varpi+M+C = \varpi+\vartheta$
- ε :Ekvator düzlemi ile ekliptik düzlemi arasındaki eğim
- L :Güneş'in ortalama boylamı = γS
- ϖ :Günberi noktasının boylamı = γP

olsun[43].

Burada M (Güneş'in ortalama anamolisi), terimi ile, Yer'in Güneş etrafında, sabit hızla dairesel bir yörüngede ve aynı periyodla dolanması halinde Güneş'in (ortalama Güneş) sahip olacağı anamoli değerini, ϑ (gerçek anamoli) terimi ile gözlem anında sahip olduğu anamoli değerini, C (merkezin denklemi) terimi ile bu iki anamoli değeri arasındaki farkı, L , terimi ile ortalama Güneş'in boylam değerini, \mathcal{L} terimi ile gözlem anında Güneş'in sahip olduğu boylam değerini ve ϖ terimi ile de Yer'in yörüngesel hareketi sırasında Güneş'e en yakın olduğu anda, Güneş'in boylam değerini kastediyoruz.

Tanım gereği,

$$l = \varpi + \vartheta \quad (4-17)$$



Şekil 4-3 Güneş'in yörünge parametreleri. Burada, P günberi noktasını; S ortalama Güneş'in yerini; S' gerçek Güneş'in yerini; γ ilkbahar ılım noktasının doğrultusunu; ε ekliptik ile ekvator düzlemleri arasındaki açıyı; M Güneş'in ortalama anomolisini; C merkezin denklemini; ϖ günberi noktasının boylamını; ϑ Güneş'in gerçek anomolisini göstermektedir.

olduğundan,

$$\Delta l = \Delta \varpi + \Delta \vartheta$$

ve Güneş'in ortalama anomolisi cinsinden ifade edersek, e dışmerkezliliği göstermek üzere,

$$\varpi + \vartheta = \varpi + M + (2e - e^3/4) \sin M + \dots$$

$$\ell = \varpi + \vartheta = L + (2e - e^3/4) \sin(L - \varpi) + \dots$$

ve diferansiyel alınması ile,

$$\Delta\ell = \Delta\varpi + \Delta\vartheta = \Delta L + 2\Delta e \sin(L - \varpi) + (2e - e^3/4) \cos(L - \varpi) (\Delta L - \Delta\varpi) + \dots$$

e dışmerkezliliği'nin değeri (≈ 0.016) küçük olduğundan e^3 lü terimleri ihmal ederek düzenlersek,

$$\Delta\ell = \Delta L [1 + 2e \cos(L - \varpi)] + 2\Delta e \sin(L - \varpi) - 2e\Delta\varpi \cos(L - \varpi)$$

ve

$$h = e \cos \varpi \quad (4-18i)$$

$$k = e \sin \varpi \quad (4-18ii)$$

biçiminde h ve k nicelikleri tanımlarsak, bunların diferansiyelleri

$$\Delta h = \Delta e \cos \varpi - e \Delta \varpi \sin \varpi \quad (4-19i)$$

$$\Delta k = \Delta e \sin \varpi + e \Delta \varpi \cos \varpi \quad (4-19ii)$$

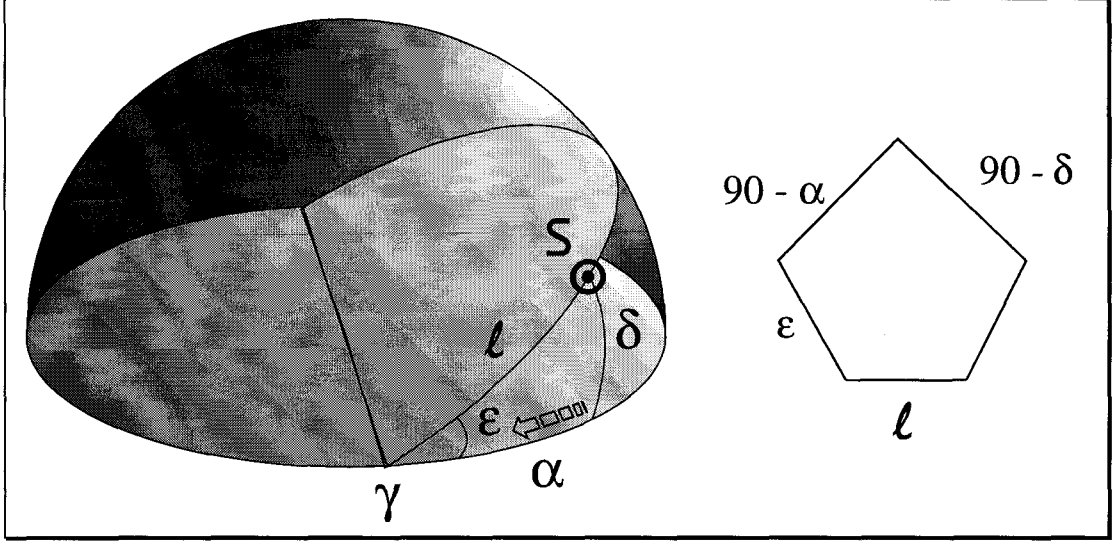
ve bunları $\Delta\ell$ ifadesinde yerine koyarsak, $e\Delta L$ ve $e^2\Delta e$ terimlerini ihmal ederek,

$$\Delta\ell = \Delta L + 2\Delta h \sin \ell - 2\Delta k \cos \ell \quad (4-20)$$

buluruz.

Amacımız, gözlemler yolu ile elde edebileceğimiz α ve δ niceliklerini, Güneş'in yörünge parametreleri cinsinden ifade etmektir. Böylece, gözlemlerin değerlendirilmesi sonucu elde edeceğimiz $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$ niceliklerini, bu parametrelere bağlamış olacağız. Sonuçta bu şekilde elde edeceğimiz bağıntıları çözerek, Güneş'in yörünge parametrelerine ve dinamik sistemin, FK5 sistemine göre olan yönelim parametrelerindeki değişim miktarlarına ulaşmış olacağız. Güneş'in görünen yörüngesel hareketi, aslında Yer'in iki dönme hareketinin sonucu olduğundan, bulacağımız yörünge parametreleri, aslında Yer'in dönme parametreleri olacaktır. Bunun için, Güneş için görünen yörünge üzerindeki şekli uygun Neper beşgeniyle birlikte yeniden çizersek (Şekil 4-4), aşağıdaki denklemleri buluruz. Neper beşgenini kurarken seçilen yön şekilde ok ile gösterilmiştir. Burada Neper beşgeni

için herhangi bir kenarın kosinüs'ünün karşı iki kenarın sinüsleri çarpımına ya da komşu kenarların kotanjantları çarpımına eşit olması ilkesi uygulanmıştır.



Şekil 4-4 Güneş yörüngesi için ve buna karşı gelen Neper beşgeni. Burada l , Güneş'in gerçek boylamını, α ve δ ise sırası ile Güneş'in sağaçıklık ve dikaçıklığını göstermektedir.

$$\cos(90 - \delta) = \sin \varepsilon \sin l$$

$$\cos(90 - \alpha) = \cot(90 - \delta) \cot \varepsilon$$

$$\cos \varepsilon = \cot(90 - \alpha) \cot l$$

$$\cos l = \sin(90 - \alpha) \sin(90 - \delta)$$

ve kosinüs ve sinüs için olan açılım bağıntılarının uygulanması ile,

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \sin l$$

$$\sin \alpha = \cot \varepsilon \tan \delta \quad (4-21)$$

$$\tan \alpha = \cos \varepsilon \tan l$$

$$\cos l = \cos \alpha \cos \delta$$

bunlardan üçüncüsünün differansiyeli alınır,

$$\tan \alpha = \cos \varepsilon \tan l$$

$$\Rightarrow \Delta \alpha \frac{1}{\cos^2 \alpha} = -\sin \varepsilon \tan l \Delta \varepsilon + \cos \varepsilon \frac{1}{\cos^2 l} \Delta l \quad (4-22)$$

$$\Delta\alpha = \cos \varepsilon \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \ell} \Delta\ell - \sin \varepsilon \cos^2 \alpha \tan \ell \Delta\varepsilon$$

$$\cos \ell = \cos \alpha \cos \delta \Rightarrow \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \ell} = \frac{1}{\cos^2 \delta} = (1 + \tan^2 \delta)$$

ve $\tan \ell = \frac{\sin \ell}{\cos \ell}$ kullanılırsa,

$$\Delta\alpha = \cos \varepsilon (1 + \tan^2 \delta) \Delta\ell - \sin \varepsilon \cos \alpha \underbrace{\frac{\cos \alpha}{\cos \ell}}_{1/\cos \delta} \sin \ell \Delta\varepsilon$$

$$\Delta\alpha = \{ \cos \varepsilon + \cos \varepsilon \tan^2 \delta \} \Delta\ell - \cos \alpha \sin \varepsilon \frac{\sin \ell}{\cos \delta} \Delta\varepsilon$$

$$\sin \delta = \sin \ell \sin \varepsilon \quad \text{ve} \quad \tan^2 \delta = \sin^2 \alpha \tan^2 \varepsilon$$

$$\Delta\alpha = [\cos \varepsilon + \cos \varepsilon \sin^2 \alpha (\sin^2 \varepsilon / \cos^2 \varepsilon)] \Delta\ell - \tan \delta \cos \alpha \Delta\varepsilon$$

$$= [\cos \varepsilon + \sin^2 \alpha \sin \varepsilon (\sin \varepsilon / \cos \varepsilon)] \Delta\ell - \tan \delta \cos \alpha \Delta\varepsilon$$

$$= [\cos \varepsilon + \sin^2 \alpha \sin \varepsilon \{ (\sin \delta / \cos \delta) / \sin \alpha \}] \Delta\ell - \tan \delta \cos \alpha \Delta\varepsilon$$

$$\Rightarrow \Delta\alpha = \frac{\Delta\ell}{\cos \delta} [\cos \delta \cos \varepsilon + \sin \alpha \sin \delta \sin \varepsilon] - \tan \delta \cos \alpha \Delta\varepsilon \quad (4-23)$$

bulunur. Benzer şekilde (4-21) denklemlerinin ilkinden formülden,

$$\sin \delta = \sin \varepsilon \sin \ell$$

$$\Rightarrow \cos \delta \Delta\delta = \sin \varepsilon \cos \ell \Delta\ell + \cos \varepsilon \sin \ell \Delta\varepsilon \quad (4-24)$$

$$\Delta\delta = \sin \varepsilon \underbrace{\frac{\cos \ell}{\cos \delta}}_{\frac{\cos \alpha}{\cos \delta}} \Delta\ell + \frac{\cos \varepsilon \sin \ell}{\cos \delta} \Delta\varepsilon$$

$$\Rightarrow \sin \varepsilon \cos \alpha \Delta\ell + \cos \varepsilon \underbrace{\frac{\sin \ell \cos \ell}{\cos \ell \cos \delta}}_{\frac{\tan \ell}{\cos \alpha}} \Delta\varepsilon$$

$$\Rightarrow \sin \varepsilon \cos \alpha \Delta\ell + \underbrace{\cos \varepsilon \tan \ell}_{\tan \alpha} \cos \alpha \Delta\varepsilon$$

$$\Rightarrow \sin \varepsilon \cos \alpha \Delta\ell + \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \cos \alpha \Delta\varepsilon$$

$$\Delta\delta = \sin \varepsilon \cos \alpha \Delta\ell + \sin \alpha \Delta\varepsilon \quad (4-25)$$

elde edilir.

$$\begin{aligned}\Delta h &= \Delta e \cos \varpi - e \Delta \varpi \sin \varpi \\ \Delta k &= \Delta e \sin \varpi + e \Delta \varpi \cos \varpi\end{aligned}\quad (4-19)$$

olmak üzere,

$$\Delta \ell = \Delta L + 2\Delta h \sin \ell - 2\Delta k \cos \ell \quad (4-20)$$

idi. Bunu sırasıyla $\Delta \alpha$ ve $\Delta \delta$ formüllerinde yerine koyarsak,

$$\begin{aligned}\Delta \alpha &= \frac{(\Delta L + 2\Delta h \sin \ell - 2\Delta k \cos \ell)}{\cos \delta} [\cos \delta \cos \varepsilon + \sin \delta \sin \varepsilon \sin \alpha] - \tan \delta \cos \alpha \Delta \varepsilon \\ \frac{\cos \delta \cos \varepsilon + \sin \delta \sin \varepsilon \sin \alpha}{\cos \delta} &= \frac{\cos \delta \cos \varepsilon}{\cos \delta} + \frac{\sin \delta \sin \varepsilon \sin \alpha}{\cos \delta} \\ &= \cos \varepsilon + \tan \delta \sin \varepsilon \cot \varepsilon \tan \delta \\ &= \cos \varepsilon + \tan^2 \delta \sin \varepsilon \frac{\cos \varepsilon}{\sin \varepsilon} \\ &= \cos \varepsilon [1 + \tan^2 \delta] \\ &= \frac{\cos \varepsilon}{\cos^2 \delta}\end{aligned}$$

kullanılmasıyla,

$$\begin{aligned}\Delta \alpha &= [\Delta L + 2\Delta h \sin \ell - 2\Delta k \cos \ell] \frac{\cos \varepsilon}{\cos^2 \delta} - \tan \delta \cos \alpha \Delta \varepsilon \\ \Delta \alpha &= \Delta L \frac{\cos \varepsilon}{\cos^2 \delta} + 2\Delta h \frac{\sin \ell \cos \varepsilon}{\cos^2 \delta} - 2\Delta k \frac{\cos \ell \cos \varepsilon}{\cos^2 \delta} - \tan \delta \cos \alpha \Delta \varepsilon \\ \Rightarrow &= \Delta L \frac{\cos \varepsilon}{\cos^2 \delta} + 2\Delta h \frac{\sin \ell \cos \varepsilon \cos \ell}{\cos \ell \cos \delta \cos \delta} - 2\Delta k \frac{\cos \ell \cos \varepsilon}{\cos \delta \cos \delta} - \tan \delta \cos \alpha \Delta \varepsilon \\ \Rightarrow &= \Delta L \frac{\cos \varepsilon}{\cos^2 \delta} + 2\Delta h \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{\cos \alpha \cos \delta} - 2\Delta k \frac{\cos \varepsilon}{\cos \delta} \cos \alpha - \tan \delta \cos \alpha \Delta \varepsilon\end{aligned}\quad (4-26)$$

$$\boxed{\Delta \alpha = \Delta L \frac{\cos \varepsilon}{\cos^2 \delta} + 2\Delta h \frac{\sin \alpha}{\cos \delta} - 2\Delta k \frac{\cos \varepsilon}{\cos \delta} \cos \alpha - \tan \delta \cos \alpha \Delta \varepsilon} \quad (4-27)$$

ve benzer şekilde,

$$\begin{aligned}\Delta \delta &= (\Delta L + 2\Delta h \sin \ell - 2\Delta k \cos \ell) \sin \varepsilon \cos \alpha + \sin \alpha \Delta \varepsilon \\ &= \Delta L \sin \varepsilon \cos \alpha + 2\Delta h \sin \ell \sin \varepsilon - 2\Delta k \sin \varepsilon \cos \ell \cos \alpha + \sin \alpha \Delta \varepsilon \\ \Delta \delta &= \Delta L \sin \varepsilon \cos \alpha + 2\Delta h \sin \delta \cos \alpha - 2\Delta k \sin \varepsilon \cos \delta \cos^2 \alpha + \sin \alpha \Delta \varepsilon\end{aligned}$$

$$\boxed{\Delta\delta = \Delta L \sin \varepsilon \cos \alpha + \Delta \varepsilon \sin \alpha + 2\Delta h \sin \delta \cos \alpha - 2\Delta h \sin \varepsilon \cos \delta \cos^2 \alpha} \quad (4-28)$$

bulunur.

Gözlemler yoluyla $\Delta\alpha$ 'yı doğrudan elde edebildiğimiz halde, $\Delta\delta$ yerine $\mathcal{V} = \Delta\mathcal{Z}_i + \cos S \Delta\delta$ yı bulabiliyoruz. Bunun değeri ise $\Delta\mathcal{Z}_i$ 'ye yani kullandığımız prizmaya bağlıdır. $\tan \delta = \tan \varepsilon \sin \alpha$ bağıntısıyla α ile δ arasındaki bağıntıyı biliyoruz. Bunu kullanarak her iki bağıntıyı da α cinsinden yazarak, bilinmeyenlerin sayısını azaltabiliriz. Sonuçta bulduğumuz denklemlere

$$\Delta\alpha_{\text{gözlenen}} = \Delta\alpha_{\text{yörünge}} + f(E_0, E_1, E_2)$$

$$\Delta\delta_{\text{gözlenen}} = \Delta\delta_{\text{yörünge}} + g(E_1, E_2)$$

bağıntısı uyarınca

$$d\alpha = E_0 + \tan \delta [E_1 \sin \alpha - E_2 \cos \alpha]$$

$$d\delta = E_1 \cos \alpha + E_2 \sin \alpha$$

ifadelerini de eklersek istediğimiz denklem takımlarına ulaşmış oluruz. Bunun için δ 'nın fonksiyonu olan katsayıları göz önüne alalım.

$\Delta\alpha$ 'da

$$\left(\frac{1}{\cos^2 \delta}\right), (\tan \delta \cos \alpha), \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \delta}\right), \left(\cos \varepsilon \frac{\cos \alpha}{\cos \delta}\right), (\tan \delta \sin \alpha)$$

$$\frac{1}{\cos^2 \delta} = 1 + \tan^2 \delta = 1 + \tan^2 \varepsilon \sin^2 \alpha = +\frac{\tan^2 \varepsilon}{2} - \frac{\tan^2 \varepsilon}{2} \cos 2\alpha$$

$$\tan \delta \cos \alpha = \tan \varepsilon \sin \alpha \cos \alpha = \frac{1}{2} \tan \varepsilon \sin 2\alpha$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \delta} = \sin \alpha (1 + \tan^2 \varepsilon \sin^2 \alpha) = \sin \alpha \left(1 + \frac{\tan^2 \varepsilon}{2} \sin^2 \alpha - \underbrace{\frac{\tan^4 \varepsilon}{8} \sin^4 \alpha}_{\text{ihmal}} \right)$$

$$= \sin \alpha \left[\left(1 + \frac{\tan^2 \varepsilon}{4} \right) - \frac{\tan^2 \varepsilon}{4} \cos 2\alpha \right]$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \delta} = \left(1 + \frac{3}{8} \tan^2 \varepsilon \right) \sin \alpha - \underbrace{\frac{\tan^2 \varepsilon}{8} \sin 3\alpha}_{\text{ihmal}}$$

$$\begin{aligned} \cos \varepsilon \frac{\cos \alpha}{\cos \delta} &= \cos \varepsilon \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan^2 \varepsilon}{8} \right) - \cos \varepsilon \frac{\tan^2 \varepsilon}{8} \cos 3\alpha \\ \tan \delta \sin \alpha &= \tan \varepsilon \sin^2 \alpha = \tan \varepsilon \left\{ \frac{1}{2} (1 - \cos 2\alpha) \right\} \\ &= \frac{1}{2} \tan \varepsilon - \frac{1}{2} \tan \varepsilon \cos 2\alpha \end{aligned}$$

Bu durumda,

$$\begin{aligned} \Delta \alpha &= E_0 + \Delta L \left\{ \left(1 + \frac{\tan^2 \varepsilon}{2} \right) \cos \varepsilon + \cos \alpha \left[-2\Delta k \cos \varepsilon \left(1 + \frac{\tan^2 \varepsilon}{8} \right) \right] \right\} \\ &+ \sin \alpha \left[2\Delta h \left(1 + \frac{3}{8} \tan^2 \varepsilon \right) \right] + \cos 2\alpha \left[-\Delta L \frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon \cos \varepsilon \right] \\ &+ \sin 2\alpha \left[-\Delta \varepsilon \frac{\tan \varepsilon}{2} \right] + \cos 3\alpha \left[2\Delta k \cos \varepsilon \frac{1}{8} \tan^2 \varepsilon \right] \\ &+ \sin 3\alpha \left[-2\Delta h \frac{1}{8} \tan^2 \varepsilon \right] + \left[\frac{1}{2} \tan \varepsilon - \frac{1}{2} \tan \varepsilon \cos 2\alpha \right] E_1 - \left[\frac{1}{2} \tan \varepsilon \sin 2\alpha \right] E_2 \end{aligned} \quad (4-29)$$

ve böylece,

$$\begin{aligned} \Delta \alpha &= E_0 + \left(\frac{1}{2} \tan \varepsilon \right) E_1 + \left[\cos \varepsilon \left(1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon \right) \right] \Delta L \\ &+ \left[-2\Delta k \cos \varepsilon \left(1 + \frac{1}{8} \tan^2 \varepsilon \right) \right] \cos \alpha \\ &+ \left[2\Delta h \left(1 + \frac{3}{8} \tan^2 \varepsilon \right) \right] \sin \alpha \\ &+ \left[-\Delta L \frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon \cos \varepsilon - E_1 \frac{1}{2} \tan \varepsilon \right] \cos 2\alpha \\ &+ \left[-\Delta \varepsilon \frac{1}{2} \tan \varepsilon - E_2 \frac{1}{2} \tan \varepsilon \right] \sin 2\alpha \\ &+ \left[2\Delta k \cos \varepsilon \frac{1}{8} \tan^2 \varepsilon \right] \cos 3\alpha + \left[-2\Delta h \frac{1}{8} \tan^2 \varepsilon \right] \sin 3\alpha \end{aligned} \quad (4-30)$$

$\sin 3\alpha$ ve $\cos 3\alpha$ 'lı terimleri ihmal ederek, denklemleri bir Fourier serisine benzetmek amacıyla, $\cos \alpha$, $\sin \alpha$, $\cos 2\alpha$ $\sin 2\alpha$ terimlerin katsayılarını daha toplu şekilde yazabilme amacıyla, R_α , T_α , U_α , V_α ve W_α ile göstereceğimiz niceliklerini tanımlayalım. Bu durumda,

$$R_\alpha = E_o + E_1 \frac{\tan \varepsilon}{2} + \Delta L \frac{1 + \cos^2 \varepsilon}{2 \cos \varepsilon} \quad (4-31)$$

$$T_\alpha = -2\Delta k \cos \varepsilon \left(1 + \frac{1}{8} \tan^2 \varepsilon\right) \quad (4-32)$$

$$U_\alpha = 2\Delta h \left(1 + \frac{3}{8} \tan^2 \varepsilon\right) \quad (4-33)$$

$$V_\alpha = -\Delta L \cos \varepsilon \left(\frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon\right) - E_1 \left(\frac{\tan \varepsilon}{2}\right) \quad (4-34)$$

$$W_\alpha = -\Delta \varepsilon \left(\frac{1}{2} \tan \varepsilon\right) - E_2 \left(\frac{1}{2} \tan \varepsilon\right) \quad (4-35)$$

dersek,

$$\Delta \alpha = R_\alpha + T_\alpha \cos \alpha + U_\alpha \sin \alpha + V_\alpha \cos 2\alpha + W_\alpha \sin 2\alpha \quad (4-36)$$

elde ederiz. Y hesabı da benzer şekilde yapılabilir, yalnız burada dikkat etmemiz gereken nokta, $Y = \cos S \Delta \delta + \Delta z$ olduğundan, bu ifadede $\Delta \delta$ terimini $\cos S$ katsayısından kurtaracak şekilde düzenleme yapmaktır. Böylece, i alt indisi kullanılan prizmayı yani gözlemin yapıldığı zenit uzaklığını göstermek üzere,

$$\frac{Y_i}{\cos S} = \frac{\Delta z_i}{\cos S} + \Delta \delta$$

ve bir önceki bölümün başında verilen küresel üçgenden,

$$\frac{1}{\cos S} = \frac{\sin z \cos \delta}{\sin \varphi - \cos z \sin \delta}$$

$$\frac{1}{\cos S} = \left(\frac{\sin z}{\sin \varphi} \right) \left(\frac{\cos \delta}{1 - \frac{\cos z}{\sin \varphi} \sin \delta} \right) = \left(\frac{\sin z}{\sin \varphi} \right) \left[\frac{1}{\cos \delta - \frac{\cos z}{\sin \varphi} \tan \delta} \right]$$

$$\tan \delta = \tan \varepsilon \sin \alpha$$

$$\frac{1}{\cos \delta} = (1 + \tan^2 \delta)^{1/2} = 1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon \sin^2 \alpha - \frac{1}{8} \tan^4 \varepsilon \sin^4 \alpha + \dots$$

$$\frac{1}{\cos S} = \left(\frac{\sin \gamma}{\sin \varphi} \right) \left[1 - \frac{\cos \gamma}{\sin \varphi} \tan \varepsilon \sin \alpha + \frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon \sin^2 \alpha - \frac{1}{8} \tan^4 \varepsilon \sin^4 \alpha + \dots \right]^{-1}$$

ve dördüncü mertebeden daha büyük terimleri ihmal ederek,

$$= \frac{\sin \gamma}{\sin \varphi} \left[1 + \frac{\cos \gamma}{\sin \varphi} \tan \varepsilon \sin \alpha + \left(\frac{\cos^2 \gamma}{\sin^2 \varphi} - \frac{1}{2} \right) \tan^2 \varepsilon \sin^2 \alpha + \frac{\cos \gamma}{\sin \varphi} \left(\frac{\cos^2 \gamma}{\sin^2 \varphi} - 1 \right) \tan^3 \varepsilon \sin^2 \alpha \right]$$

$$\frac{1}{\cos S} = \frac{\sin \gamma}{\sin \varphi} \left\{ \left[1 + \left(\frac{\cos^2 \gamma}{\sin^2 \varphi} - \frac{1}{2} \right) \frac{\tan^2 \varepsilon}{2} \right] + \frac{\cos \gamma}{\sin \varphi} \tan \varepsilon \sin \alpha \left[1 + \frac{3}{4} \left(\frac{\cos^2 \gamma}{\sin^2 \varphi} - 1 \right) \tan^2 \varepsilon \right] - \cos 2\alpha \left[\left(\frac{\cos^2 \gamma}{\sin^2 \varphi} - \frac{1}{2} \right) \frac{\tan^2 \varepsilon}{2} \right] - \sin 3\alpha \frac{\tan^2 \varepsilon \cos \gamma}{4 \sin \varphi} \left(\frac{\cos^2 \gamma}{\sin^2 \varphi} - 1 \right) \right\}$$

ve sonuçta $g(E_1, E_2)$ ifadesinin de yerine konmasıyla,

$$\begin{aligned} \frac{Y_i}{\cos S} &= E_1 \cos \alpha + E_2 \sin \alpha + \Delta \gamma_i \frac{\sin \gamma_i}{\sin \varphi} \left[1 + \frac{\tan^2 \varepsilon}{2} \left(\frac{\cos^2 \gamma_i}{\sin^2 \varphi} - \frac{1}{2} \right) \right] \\ &+ \Delta L \sin \varepsilon \cos \alpha + \Delta \varepsilon \sin \alpha + \Delta \gamma_i \tan \varepsilon \frac{\cos \gamma_i}{\sin \varphi} \left[1 + \frac{3}{4} \frac{\tan^2 \varepsilon}{2} \left(\frac{\cos^2 \gamma_i}{\sin^2 \varphi} - 1 \right) \right] \sin \alpha \\ &- \Delta \gamma_i \frac{\tan^2 \varepsilon}{2} \left(\frac{\cos^2 \gamma_i}{\sin^2 \varphi} - \frac{1}{2} \right) \cos 2\alpha + 2 \left[\Delta h \sin \delta \cos \alpha - \Delta k \sin \varepsilon \cos \delta \cos^2 \alpha \right] \end{aligned}$$

bulunur. Bu ifade de $\Delta \alpha$ da yaptığımız işleme benzer şekilde, sinüs ve kosinüslü terimlerin katsayılarını toplu biçimde yazarak,

$$R_{Y_i} = \Delta \gamma_i \frac{\sin \gamma_i}{\cos \varphi_i} \left[1 + \frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon \left(\frac{\cos^2 \gamma_i}{\sin^2 \varphi_i} - \frac{1}{2} \right) \right] = a_i \Delta \gamma_i \quad (4-37)$$

$$T_{y_i} = E_1 + \Delta L \sin \varepsilon \quad (4-38)$$

$$U_{y_i} = E_2 + \Delta \varepsilon + \Delta \gamma_i \tan \varepsilon \frac{\cos \gamma_i}{\sin \varphi} \left[1 + \frac{3}{4} \tan^2 \varepsilon \left(\frac{\cos^2 \gamma_i}{\sin^2 \varphi} - 1 \right) \right] \quad (4-39)$$

$$= E_2 + \Delta \varepsilon + b_i \Delta \gamma_i$$

$$V_{y_i} = -\Delta \gamma_i \frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon \left(\frac{\cos^2 \gamma_i}{\sin^2 \varphi} - \frac{1}{2} \right) = -\Delta k \sin \varepsilon - c_i \Delta \gamma_i \quad (4-40)$$

$$W_{yi} = \Delta h \tan \varepsilon \quad (4-41)$$

olmak üzere

$$\frac{Y_i}{\cos S} = R_{Y_i} + T_{Y_i} \cos \alpha + U_{Y_i} \sin \alpha + V_{Y_i} \cos 2\alpha + W_{Y_i} \sin 2\alpha \quad (4-42)$$

şeklinde yazılabilir. Böylece, astrolab ile yapılmış Güneş gözlemlerinin değerlendirilmesi sonucu büyüklüklerini elde edebileceğimiz, $\Delta\alpha$ ve Y 'leri, Güneş'in yörünge parametreleri ve başvuru sistemleri arasındaki dönme terimleri cinsinden ifade etmiş oluruz. Amacımız bulunan (4-36) ve (4-42) denklemlerini uygun şekilde çözerek, istenen parametrelerin değerlerini bulmaktır.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

5.1 Çözüm

(4-36) ve (4-42) denklemleri, dinamik sistem ile FK5 sisteminin birbirlerine göre dönme hareketlerini görünen Güneş'in yörünge elemanları cinsinden veren denklemlerdir.

Problemimizin çözümü için amacımız şudur: Daha önce söylediğimiz gibi, Astrolab kullanılarak, aynı günde Güneş'in doğu ve batı geçişleri sırasında her iki kenarının gözlenmesi ile elde edilen 4 gözlem değerlendirildiğinde, o geçiş için gözlenen ve hesaplanan ekvatoryal koordinatlar arasındaki farkları bulabilmekteyiz. Bu farklar sayesinde,

$$\Delta\alpha = R_\alpha + T_\alpha \cos \alpha + U_\alpha \sin \alpha + V_\alpha \cos 2\alpha + W_\alpha \cos 2\alpha$$

ve

$$\frac{Y_i}{\cos S} = R_{Y_i} + T_{Y_i} \cos \alpha + U_{Y_i} \sin \alpha + V_{Y_i} \cos 2\alpha + W_{Y_i} \cos 2\alpha$$

denklemlerinin sol tarafları bilinmektedir. Bu iki denklemdeki $R_\alpha, T_\alpha, U_\alpha, V_\alpha, W_\alpha$ ve $R_{Y_i}, T_{Y_i}, U_{Y_i}, V_{Y_i}, W_{Y_i}$ katsayılarının değerlerini bulup, bunları, bağlı oldukları $E_0, E_1, E_2, \Delta L, \Delta \varepsilon, \Delta h$ ve Δk parametreleri için çözebilirsek, istenilen gerçekleştirilmiş olur. Geliştirilen yöntem Şekil 5-1'de şematik olarak gösterilmiştir.

Bu amaçla 1978, 1979, 1980, 1981, 1982 yıllarında CERGA gözlemevi astrolabı kullanılarak Dr. F. Laclare tarafından yapılmış tüm Güneş geçiş gözlem verileri, Fransa Paris gözlemevi tarafından kullanımımıza verilmişti. Bu gözlemler daha önceden sadece Güneş yarıçap değişimi ile Güneş nötrino akısı arasında bir ilişkinin olup olmadığı konusu araştırılırken kullanılmıştı[44][45]. Güneş gözlemlerinde, her bir geçiş, doğrudan gözlem ya da hesap yolu ile bulunabilen 50 farklı parametreye ait bilgiler ihtiva etmektedir. Bu 50 parametre bilgisi, herbiri 12 karakter uzunluğundaki string'lerden oluşmuş Record¹ tipinde, zenit uzaklığına göre

¹ Record : Turbo Pascal dilinde bir veri tanımlama tipi

VERİ DOSYALARI**Cerga_30.sol , Cerga_45.sol , Cerga_60.sol****PASCAL PROGRAMLARI****Stg_Asci.pas**

Stg[12] tipinde yazılmış veri dosyalarını okur, Sadece bir günde tüm geçişler gözlenmiş ise bunları gözönüne alarak, verileri ASCII formatında yazar

Çözüm.Pas

Bu geçiş verilerinden hareketle, en küçük kareler yöntemini kullanarak $\Delta\alpha$, Y_i ve Δd hesabını yapar.

Main.Pas

Kullanılan veri sayısını azaltmak için , Gözlem no, tarih , $\Delta\alpha$, Y_i /cos S ve Δd , $\cos \alpha$, $\sin \alpha$, $\cos 2\alpha$, $\sin 2\alpha$ değerlerini farklı bir dosyaya yazar.

Inverse.Pas

En küçük kareler yöntemini kullanarak

$$\Delta\alpha = R_\alpha + T_\alpha \cos \alpha + U_\alpha \sin \alpha + V_\alpha \cos 2\alpha + W_\alpha \sin 2\alpha$$

$$\text{ve } \forall i \cos S = R_{\gamma_i} + T_{\gamma_i} \cos \alpha + U_{\gamma_i} \sin \alpha + V_{\gamma_i} \cos 2\alpha + W_{\gamma_i} \sin 2\alpha$$

denklemlerinden R_α , T_α , U_α , V_α , W_α

ve R_{γ_i} , T_{γ_i} , U_{γ_i} , V_{γ_i} , W_{γ_i}

değerlerini bulur

Nutasyon.Pas

Gözlemin yapıldığı güne ait ε değerini bulur

Sonuc.Pas

Bütün bu verileri kullanarak Enküçük kareler yöntemi ile

$$E_1 \pm \sigma_{E1}, \Delta L \pm \sigma_{\Delta L}, E_0 \pm \sigma_{E0}, \Delta h \pm \sigma_{\Delta h}, E_2 + \Delta \varepsilon \pm \sigma_{E2 + \Delta \varepsilon},$$

$$b_i \Delta \gamma_i \pm \sigma_{b_i \Delta \gamma_i}, \Delta k \pm \sigma_{\Delta k}, c_i \Delta \gamma_i \pm \sigma_{c_i \Delta \gamma_i}, b_i \Delta \gamma_i \pm \sigma_{b_i \Delta \gamma_i},$$

$$a_i \Delta \gamma_i \pm \sigma_{a_i \Delta \gamma_i}$$

değerlerini bulur.

Şekil 5-1 Kullanılan programların şematik gösterimi

ayrılmış üç farklı dosyada, Cerga_30.Sol, Cerga_45.Sol, Cerga_60.Sol, bulunmaktadır. Bu 50 parametre şunlardır:

Gözlenen Nicelikler	
1	Tarih (Örn:YYYYAAGG=19780510)
2	UT Zamanı (Saat ve Ondalık kısım), gözlem başlangıcında ölçülen
3	Atmosfer Basıncı (mm.Hg), gözlem başlangıcında ölçülen
4	Barometre Sıcaklığı , gözlem başlangıcında ölçülen ölçülen
5	Hava Sıcaklığı ,gözlem başlangıcında ölçülen
6	% Nem (0.6 = 60) ,gözlem başlangıcında ölçülen
7	V_o ,gözlem başlangıcında ölçülen
8	UT Zamanı (2 ile aynı birimde) ,,gözlem sonunda ölçülen
9	Atmosfer basıncı (3 ile aynı birimde), ,gözlem sonunda ölçülen
10	Barometre Sıcaklığı , ,gözlem sonunda ölçülen
11	Hava Sıcaklığı , ,gözlem sonunda ölçülen
12	% Nemlilik, (6 ile aynı) ,gözlem sonunda ölçülen
13	V_o (7 ile aynı) ,gözlem sonunda ölçülen
14	UT Zamanı (2 ve 8 ile aynı) , Güneş gözleminde iki kenar arasında ölçülen
15	Barometre Sıcaklığı , Güneş gözleminde iki kenar arasında ölçülen
16	% Nemlilik, (6 ve 12 ile aynı) ,Güneş gözleminde iki kenar arasında ölçülen
17	Saat düzeltmesi (GPS için =0)
18	Kronograf kartı ile GPS arasındaki zaman farkı
19	UTC - GPS (herzaman = 0)
20	kdVm =kontak sayısının 2 iken, mikrometre vidasının başlangıç konumu ile kontak sayısının 4 iken ki konumu arasındaki fark , " olarak
21	UT başlangıcı (her zaman 24)
22	Referans: FK5(0),BIH(1) Eğer yıldız gözlemleri kullanılıyorsa 0, BIH yada IERS verileri kullanılıyorsa 1
23	UT0 - UTC /* FK5'e göre, UT0 ile UTC arasındaki fark.(21) de 0 girilirse, bunun değeri verilir aksi durumda 0 dır.
24	$\Delta\phi$ /* FK5'e göre, gözlemcinin enlem değişimi,(21) de 0 girilirse, bunun

	değeri de verilir aksi durumda 0 dır.
25	UT0 - UTC /BIH program ² tarafından hesaplanarak buraya konulur
26	$\Delta\varphi$ /BIH program tarafından hesaplanarak buraya konulur
27	Kayıt numarası
28	Gözlenen UT (HHMMSS.SSSS Örn: 115233.4682 değeri 11 ^h 52 ^d 33.4682 ^s ye eşittir. Bu değer kronoğraf tarafından belirlenir
29	Okülerin retikül biriminden A(x) düzeltmesi, Gözlemin ortasında (12. kontakta) Güneş'in (yada yıldızın) apsisini verir (duyarlılık 0.5")
30	Görüntülerin düşey kayması, A(x) ile aynı birimden verilir.Güneş'in kenarı görüldüğünde değeri iki görüntü arasındaki uzaklığın yarısına eşittir.
31	Kullanılan kontak sayısı (2 yada 4)
32	Geçiş (Doğu geçişi için -1 ve Batı geçişi için 1)
33	Gözlenen Kenar (Alt kenar için -1 ve Üst kenar için 1)
34	TAI - UTC (IERS verisi) program da bulabiliyor
35	Zenit uzaklığı (derece)
36	Kullanılan efemeris 1 AE,2 JPL,3 BdL (benim için her zaman 3)
37	Gözlemci kodu (Gözlemler sadece Dr. Laclare tarafından yapıldığından her zaman 1)
38	Vm2, 2 kontak durumunda, mikrometre vidası tam bir tur attığında elde edilen 0. kontak noktasının yerinin değeri
Hesaplanan Nicelikler	
39	Gözlem başlangıcı için program tarafından hesaplanan kırılma değeri (aletsel düzeltmeleride içerir)
40	Gözlem sonu için program tarafından hesaplanan kırılma değeri
41	Gözlem ortası için program tarafından hesaplanan kırılma değeri, eğer hesaplama yapmak için gerekli veriler yoksa UT için interpolasyonla bulunur
42	Fark /* FK5 sistemine göre, hesaplanan ve gözlenen arasındaki fark. Astrolabın konumu yıldız gözlemleri ile bulunuyorsa,bu durumda 21 parametresi'nin değeri 0 dır.
43	Fark /BIH bu durumda 21 parametresinin değeri 1 dir.

²FOND_PLANW.PAS

44	Gözlem için $15 \sin A \cos \varphi$ 'nın sayısal değeri
45	Gözlem için $\cos S$ değeri
46	Efemeris kullanılarak hesaplanan sağaçıklık değeri (zaman saniyesi cinsinden)
47	Efemeris kullanılarak hesaplanan dikaçıklık değeri (açı saniyesi cinsinden)
48	Jülyen günü
49	Zenit uzaklığı düzeltmesi
50	Efemeris kullanılarak hesaplanan Güneş yarıçapı

Astrolab ile ilgili genel bilgilerin verildiği 4. bölümde bahsedildiği üzere, eğer bir gözlem gününde belirli bir zenit uzaklığı için Güneş'in mümkün tüm geçişleri ($R_{DÜ}$, R_{DA} , $R_{BÜ}$, R_{BA}) gözlenirse, bu verilerden hareketle $\Delta\alpha$, Y ve Δd değerleri sıhhatle bulunabiliyordu. İlk iş olarak, string tipinde kaydedilmiş verileri okuyarak bunları ASCII olarak kaydeden bir program yaptık. Bu program aynı zamanda, aynı gözlem gününe ait geçişlerin hepsi tamsa, yani dört geçişte aynı günde gözlenmişse, bunları bir takım olarak dikkate alıp dosyaya kaydediyor, eksik gözlemleri atıyordu. Böylece 1978-79-80-81-82 yıllarına ait olarak, yıl ayrımı yapılmaksızın sadece zenit uzaklıklarına göre gruplanmış tam gözlem takımlarını elde etmiş oldum (Ek - 1). Sonuçta $\varphi = 30^\circ$ için 65, $\varphi = 45^\circ$ için 119 ve $\varphi = 60^\circ$ için 133 gözlem takımına sahip olmuş olduk.

Bu takımları kullanarak, her bir takım için $\Delta\alpha$, $Y_i / \cos S$ ve Δd değerlerini en küçük kareler yöntemi ile bulan bir başka bilgisayar programı yaptık. Y_i deki i indisi kullanılan prizmayı göstermektedir ($30^\circ, 45^\circ$ ve 60°). Program,

$$R_{ij} = A\Delta\alpha + B Y + C\Delta d \quad (i, \text{doğu, batı}; j, \text{alt veya üst kenar}; A = \pm 15 \cos \varphi \sin A; B = 1; C = \pm 1)$$

denklemlerini kullanarak, Σ lar, n gözlem sayısı üzerinden toplamları göstermek üzere, kurulan

$$\begin{vmatrix} \sum (aa) & \sum (ab) & \sum (ac) \\ \sum (ab) & \sum (bb) & \sum (ab) \\ \sum (ac) & \sum (bc) & \sum (cc) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \sum AR_{ij} \\ \sum BR_{ij} \\ \sum CR_{ij} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta\alpha \\ Y \\ \Delta d \end{vmatrix}$$

sisteminden $\Delta\alpha_{lsq}$, Y_{lsq} , Δd_{lsq} , ve bunların denklemde yerine konması ile elde edilen R_{lsq} değeri ile gözlenen R değeri arasında oluşan farka μ dersek,

$$\mu = R - (15 \cos \varphi \sin \mathcal{A} \Delta\alpha_{lsq} + Y_{lsq} + \Delta d_{lsq})$$

ve n gözlem sayısı olmak üzere $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \mu_i^2}{n-3}}$ dersek,

$$\sigma_{\Delta\alpha} = \sigma \Sigma(aa), \quad \sigma_Y = \sigma \Sigma(bb), \quad \sigma_{\Delta d} = \sigma \Sigma(cc)$$

den de hesaplama da ortaya çıkan hata değerini buluyordu. Bu şekilde bulunan $\Delta\alpha$, $Y_i / \cos S$ değerleri Ek-1'de verilmektedir. Bu arada bulunan Δd değerlerini kullanmayacağımdan, bu değeri işlem dışı bıraktım. Bunun neticesinde, herbir gözlem günü için,

$$\Delta\alpha = R_\alpha + T_\alpha \cos \alpha + U_\alpha \sin \alpha + V_\alpha \cos 2\alpha + W_\alpha \sin 2\alpha$$

$$\frac{Y_i}{\cos S} = R_{Y_i} + T_{Y_i} \cos \alpha + U_{Y_i} \sin \alpha + V_{Y_i} \cos 2\alpha + W_{Y_i} \sin 2\alpha$$

denklemlerinin sol taraflarını elde etmiş olduk.

Biraz önce verdiğim 50 parametreyi içeren çizelge dikkatle incelenirse, her bir gözlem için, gözlem anında Güneş'in sahip olduğu sağaçıklık(α) değeri bilinmektedir. Böylelikle, yukarıdaki denklemlerin sağ taraflarında α ya bağlı trigonometrik ifadeler hesaplanabilmektedir. Sonuçta elimde $\Delta\alpha$, $Y_i / \cos S$ değerleri ile $\cos \alpha$, $\sin \alpha$, $\cos 2\alpha$, $\sin 2\alpha$ değerlerini bildiğim Fourier dizisi şeklinde denklem takımlarım oldu. Dizi Fourier dizisine benzeyince, geriye sadece bu dizinin katsayılarını bulan bir program yapmak kaldı. Bu denklemleri kullanarak gene en küçük kareler yöntemi ile R_α , T_α , U_α , V_α , W_α ve R_{Y_i} , T_{Y_i} , U_{Y_i} , V_{Y_i} , W_{Y_i} katsayılarını bulan bir program daha yaparak, bunların sayısal değerlerini elde ettim. Bu değerler Çizelge 5-1'de verilmiştir. Bir önceki bölümde türetilen R_α , T_α , U_α , V_α , W_α ve R_{Y_i} , T_{Y_i} , U_{Y_i} , V_{Y_i} , W_{Y_i} 'nin açık ifadelerine bakılırsa, bunlardan R_α , T_α , U_α , V_α , W_α ve T_{Y_i} , W_{Y_i} 'nin içlerinde $\Delta\alpha_i$ 'ye bağlı terimler ihtiva etmedikleri görülecektir. Yani bu ifadeler gözlem sırasında kullanılan prizma açısından bağımsızdırlar. Böylece, yapılan sayısal işlemlerin daha sağlıklı sonuçlar vermesi için, bunların sayısal

değerlerini elde ederken her üç zenit uzaklığına ait değerlerin tümünü kullandık. Bu şekilde bulunan değerler Çizelge 5-1'de tüm zenit başlıklı kısımda verilmiştir. Sonuçta elde etmek istediğimiz E_0 , ΔL , E_I ve Δh parametrelerini içeren denklemler de kullanılan prizmadan bağımsız olduğundan, bunların hesabında tüm zenit uzaklıklarına ait verilerden hareketle bulunan R_α , T_α , U_α , V_α , W_α ve T_{γ_i} , W_{γ_i} değerleri kullanılmıştır.

Programları yaparken karşılaştığım ana sorun, bu kadar çok veriyi aynı anda hafızada tutarak, bunları işleyebilecek bir derleyici eksikliği idi. Bilindiği üzere eğer bir mainframe ile çalışmıyorsanız, BASIC, FORTRAN gibi derleyiciler bilgisayar hafızası ne olursa olsun, onun sadece 64 kilobaytlık bir bölgesini kullanabilirler. Bu ise yaklaşık üç boyutlu 40 elemanlı bir matrisin depolanmasına ancak yeter. Bu sorunu pointer tipi data ve fazla sayıda Unit kullanarak aştım.

Çizelge 5-1 Bulunan R_α , T_α , U_α , V_α , W_α ve R_{γ_i} , T_{γ_i} , U_{γ_i} , V_{γ_i} , W_{γ_i} değerleri

	<i>Tüm zenit</i>	$\gamma=30^\circ$	$\gamma=45^\circ$	$\gamma=60^\circ$
R_α	-0.02 ± 0.03	0.23 ± 0.42	0.01 ± 0.65	-0.01 ± 0.87
T_α	-0.01 ± 0.02	-0.07 ± 0.17	0.00 ± 0.46	-0.01 ± 0.73
U_α	0.02 ± 0.02	-0.34 ± 0.38	-0.03 ± 0.46	0.05 ± 0.48
V_α	-0.01 ± 0.02	-0.12 ± 0.17	-0.04 ± 0.46	0.00 ± 0.73
W_α	0.01 ± 0.02	0.03 ± 0.29	0.00 ± 0.45	0.02 ± 0.57
R_{γ_i}	0.49 ± 0.52	35.33 ± 8.63	-2.56 ± 12.01	0.77 ± 13.58
T_{γ_i}	0.65 ± 0.37	-4.57 ± 3.51	0.99 ± 8.43	0.49 ± 11.37
U_{γ_i}	-1.38 ± 0.36	-48.42 ± 7.88	0.62 ± 8.55	1.03 ± 7.43
V_{γ_i}	-0.56 ± 0.38	-13.74 ± 6.28	0.53 ± 8.66	0.13 ± 10.27
W_{γ_i}	-0.55 ± 0.35	1.83 ± 5.91	-0.72 ± 8.32	-0.35 ± 8.89

Burada $\gamma=30^\circ$ için özellikle γ_i 'li terimlerde görülen büyük değerlerin verilerin girilmesi sırasında oluşan hataların etkisi ile olduğunu sanmaktayız. Bu verilerin orjinal veri kağıtları halen incelenmekte olup, sonuçlar geldiğinde yeniden işlemlerin

tekrarlanması gerekecektir. R_α , T_α , U_α, V_α , W_α ve R_{γ_i} , T_{γ_i} , U_{γ_i} , V_{γ_i} , W_{γ_i} katsayılarının açık ifadelerine dikkat edilirse (4-31;4-35 ve 4-37;4-41 denklemleri) , bunların içlerinde ε 'a bağlı bir takım trigonometrik fonksiyonlar içerdikleri görülecektir. Burada ε , gözlemin yapıldığı anda ekliptik düzlemi ile ekvator düzlemi arasındaki açıdır. Yer ve Ay'ın yörünge hareketlerine dayalı 1980 IAU nutasyon serilerini ve argümanlarını kullanarak, bu ε değeri hesaplanabilir. Gözlemin yapıldığı an ile, o gözlem günü öğlen 12 ye göre hesaplanmış ε değerleri arasındaki farkın ihmal edilebilir olacağını varsayarak, günlük nutasyon değerlerini ve dolayısıyla gözlem gününe ait gerçek ε değerlerini bulan bir program yaparak, ε ları elde ettik(Ek -1). Bu programda “*Astronomical Almanac*” da verilen günlük $\Delta\varepsilon$ değerlerini elde edebileceğim 106 terimlik 1980 IAU nutasyon serileri ve FK5'e dayalı temel argümanların yanında, son yıllarda yapılan VLBI gözlemleri kullanılarak elde edilen düzeltme terimleri ile 85 gezegen terimini de hesaba kattım[46]. Böylece bu ε 'ları R_α , T_α , U_α, V_α , W_α ve R_{γ_i} , T_{γ_i} , U_{γ_i} , V_{γ_i} , W_{γ_i} ifadelerinde kullanabildik. Bu denklemleri kullanarak E_0 , E_1 , E_2 , ΔL , Δh , Δk ve $\Delta\varepsilon$ hesabı için kullanılan çözüm yöntemi şu şekildedir:

E_1 , ΔL , E_0 hesabı için şu yolu izledik;

$$\begin{aligned} V_\alpha &= -\frac{\tan \varepsilon}{2} E_1 - \frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon \cos \varepsilon \Delta L + 0 E_0 \\ T_{\gamma_i} &= E_1 + \sin \varepsilon \quad \Delta L + 0 E_0 \\ R_\alpha &= \frac{\tan \varepsilon}{2} E_1 + \frac{1 + \cos^2 \varepsilon}{2 \cos \varepsilon} \Delta L + 1 E_0 \end{aligned}$$

denklem sistemini kullanarak, katsayıları

$$\begin{aligned} a_1 &= -\frac{\tan \varepsilon}{2} & b_1 &= -\frac{1}{2} \tan^2 \varepsilon \cos \varepsilon & c_1 &= 0 \\ a_2 &= 1 & b_2 &= \sin \varepsilon & c_2 &= 0 \\ a_3 &= \frac{\tan \varepsilon}{2} & b_3 &= \frac{1 + \cos^2 \varepsilon}{2 \cos \varepsilon} & c_3 &= 1 \\ m_1 &= V_\alpha & m_2 &= T_{\gamma_i} & m_3 &= R_\alpha \end{aligned}$$

ile gösterirsek,

$A = a_1 + a_2 + a_3$; $B = b_1 + b_2 + b_3$; $C = c_1 + c_2 + c_3$ ve $M = m_1 + m_2 + m_3$ olmak üzere,

$$M = AE_1 + B\Delta L + CE_0$$

$$\begin{vmatrix} \sum AE_0 \\ \sum B\Delta L \\ \sum CE_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sum A^2 & \sum AB & \sum AC \\ \sum BA & \sum B^2 & \sum BC \\ \sum CA & \sum CB & \sum C^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta\alpha \\ Y \\ \Delta d \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} \Delta\alpha \\ Y \\ \Delta d \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sum (aa) & \sum (ab) & \sum (ac) \\ \sum (ab) & \sum (bb) & \sum (bc) \\ \sum (ac) & \sum (bc) & \sum (cc) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \sum AE_0 \\ \sum B\Delta L \\ \sum CE_1 \end{vmatrix}$$

denklemini oluşturabiliriz. Böyle ε 'a bağlı gözlem sayısı kadar denklem vardır. Bu denklemden en küçük kareler yöntemi ile E_1 , ΔL ve E_0 değerlerini ve biraz önce anlatılana benzer şekilde, bu değerlerdeki hatayı buluruz. σ değeri,

$$\mu = [M - (AE_1 + B\Delta L + CE_0)]$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \mu^2}{n-3}}$$

kullanılarak bulunur. Bu durumda bunlara karşı gelen hatalar da,

$$\sigma_{E_1} = \sigma \sqrt{(aa)} \quad \sigma_{\Delta L} = \sigma \sqrt{(bb)} \quad \sigma_{E_0} = \sigma \sqrt{(cc)}$$

şeklinde bulunmaktadır.

Δh değerinin bulunması içinse yukarıdakine benzer bir yöntem izlendi;

$$U_\alpha = 2 \left(1 + \frac{3}{8} \tan^2 \varepsilon \right) \Delta h$$

$$W_{y_i} = \tan \varepsilon \Delta h$$

denklemlerinden gene en küçük kareler ile Δh ve buna ait hata bulundu. Fakat denklem sayısı iki olduğundan, katsayılar matrisi

$$e_1 = 2 \left(1 + \frac{3}{8} \tan^2 \varepsilon \right)$$

$$e_2 = \tan \varepsilon$$

$$m_1 = U_\alpha \quad m_2 = W_{y_i}$$

uygun olacak şekilde kurulmuştur. Hata hesabında da parametre sayısı bir'e indiğinden σ ifadesi olarak,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \mu^2}{n-3}} \quad \text{yerine} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \mu^2}{n-1}}$$

kullanılmıştır.

İçerisinde Δz terimini ihtiva eden denklemlere gelince gene aynı yöntemle,

$$W_\alpha = -\frac{\tan \varepsilon}{2} \{E_2 + \Delta \varepsilon\}$$

$$U_{yi} = \{E_2 + \Delta \varepsilon\} + b_i \Delta z$$

$$f_1 = -\frac{\tan \varepsilon}{2} \quad g_1 = 0$$

$$f_2 = 1 \quad g_2 = 1$$

$$m_1 = W_\alpha \quad m_2 = U_{yi}$$

katsayıları ile $E_2 + \Delta \varepsilon$ ve $b_i \Delta z$ değerleri ve bunlardaki hatayı buluruz. Burada $E_2 + \Delta \varepsilon$ terimindeki E_2 ve $\Delta \varepsilon$ birbirlerinden ayıramaz.

$$T_\alpha = -2\Delta k \cos \varepsilon \left(1 + \frac{1}{8} \tan^2 \varepsilon \right)$$

$$V_{yi} = -\Delta k \sin \varepsilon - c_i \Delta z_i$$

denklemlerinden de,

$$h_1 = 2 \cos \varepsilon \left(1 + \frac{1}{8} \tan^2 \varepsilon \right) \quad I_1 = 0$$

$$h_2 = -\sin \varepsilon \quad I_2 = -1$$

$$m_1 = T_\alpha \quad m_2 = V_{yi}$$

katsayıları ile Δk ve $c_i \Delta z_i$ terimleri ve bunlardaki hatayı buluruz.

Son olarakta,

$$R_{yi} = a_i \Delta z_i$$

denkleminde doğrudan $a_i \Delta z_i$ terimini ve bunun hatasını elde ederiz.

Bu çözüm yöntemi izlenerek elde edilen değerler de Çizelge 5-2' de verilmektedir. Dikkat edilirse, çözülmeye çalışılan denklemlerden bazıları birbirlerine lineer bağımlıdır. Bu bağımlılığa dayanan En küçük kareler yöntemi ve devamında analitik bir sürecin uygulandığı başka metot geliştirildiğinde, sonuçların çok tutarsız çıktıkları görülmüştür. Benzer şekilde, tüm denklemler aynı anda

iterasyonla çözülmeye çalışıldığında da, henüz ilk iterasyonlarda terimler ıraksamaya başlamaktadır.

Çizelge 5-2 Elde edilen sonuçlar

	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 45^\circ$	$\varphi = 60^\circ$
E_1	0.28 ± 0.022	0.28 ± 0.022	0.28 ± 0.022
ΔL	-0.02 ± 0.050	-0.02 ± 0.050	-0.02 ± 0.050
E_0	0.24 ± 0.063	0.24 ± 0.063	0.24 ± 0.063
Δh	-0.20 ± 0.000	-0.20 ± 0.000	-0.20 ± 0.000
Δk	4.18 ± 0.020	-0.16 ± 0.000	-0.01 ± 0.000
$c_i \Delta \varphi_i$	4.29 ± 0.047	-0.17 ± 0.000	-0.09 ± 0.001
$a_i \Delta \varphi_i$	29.84 ± 6.803	-2.48 ± 8.526	0.55 ± 9.829
$E_2 + \Delta \varepsilon$	-41.57 ± 0.031	0.28 ± 0.00	0.28 ± 0.000
$b_i \Delta \varphi_i$	-15.84 ± 0.024	0.39 ± 0.00	0.83 ± 0.000

5.2 Tartışma

Bir önceki bölümde modelleme yaparken, sağaçıklık ve dik açıklıkta gözlenen farklılıkların,

$$\Delta \alpha_{\text{gözlenen}} = \Delta \alpha_{\text{yörünge}} + f(E_0, E_1, E_2)$$

$$\Delta \delta_{\text{gözlenen}} = \Delta \delta_{\text{yörünge}} + g(E_1, E_2)$$

şeklinde verilebileceğini söylemiştik. Bu ifadelerde ki $\Delta \alpha_{\text{yörünge}}$ ve $\Delta \delta_{\text{yörünge}}$ terimleri, Yer'in dönmesini açıklamak üzere kurulan teorilerin eksikliklerini temsil etmektedirler. Dolayısı ile bunlar, Yer'in dönme parametreleri için gerekli düzeltme parametrelerini ihtiva etmektedirler. Diğer f ve g fonksiyonları ise, Güneş'in

efemerisini çıkarırken kullandığımız yıldız sisteminin (FK5), dinamik sisteme göre olan hareketini temsil etmektedir. Yani bunlar yıldız sisteminin ilkbahar ılım noktasının yeri ile dinamik sistemin ilkbahar ılım noktasının yeri arasındaki farkı ve yıldız sisteminin ekvatorunun dinamik sistemin ekvatoruna göre olan durumunu temsil etmektedirler(Şekil 5-2). Burada gözönüne alınmayan fakat sonuçlarımızı etkileyecek başka hata kaynakları da mevcuttur. Bunlar kullandığımız alete ve gözlemciye bağlı sistematik hatalardır. Astrolabın, alet hatalarını minimuma indirecek şekilde tasarlanmış olması ve kullandığımız bütün verilerin tek bir gözlemci (F.Laclare) tarafından yapılmış olması nedeniyle, biz burada bu hata terimini ihmal ettik. Eşit yükseklikler yönteminde kullanılan almukantar'da da yerel kırılma düzensizlikleri nedeniyle bozulmaların olabileceği önerilmişse de, bu da ihmal edilebilir büyüklüktedir[48].

Daha önce FK4 başvuru sistemi için yapılan çalışmalarda izlenen yolu Fricke bir dizi makalesinde belirtmiştir[16][49].FK4 ekvator'un olası hataları, Güneş ve gezegen gözlemlerini de içeren temel yıldız gözlemlerin sınanması ile araştırılarak, bulunan sonuçların ışığında, FK4 ekvator'unun herhangi bir düzeltme terimine ihtiyaç duymadığı anlaşılmıştır.Ekinoks düzeltmesi için ise Fricke, üç farklı yaklaşımda bulunmuştur.

İlk yöntem, ekvator düzeltmesinde kullanılan teknik ile aynıdır. 35 Güneş ve gezegen gözlemi incelenerek, ekinoks belirlenmesi yapılmıştır.Fricke, bu çalışmanın sonunda FK4 ekinoksunun $0^s.042$ 'lik bir düzeltmeye ihtiyaç duyduğunu tespit etmiştir. Aynı çalışmanın sonunda, FK4 ekinoksunun dinamik ekinoksa göre yüzyılda $0^s.085$ 'lik bir dönme gösterdiği anlaşılmıştır.

İkinci yöntem, yıldızların ay tarafından örtülmeleri esnasında gözlenmesine dayanır. Bu gözlemlerden, ay efemerisi ve yıldız efemerisi düzeltmeleri yapılabilir. Bu tip gözlemlerin değerlendirilmesi sonucu bulunan ekinoks düzeltme değerleri ise, sırası ile $0^s.052$ ve $0^s.087$ / yüzyıl ' dır.

Üçüncü yöntem, FK4 ün kendi özhareketine dayalı kinematik bir yöntemdir. Bu öz hareket sayesinde, FK4'ün koordinat eksenleri etrafındaki açısal hızının üç bileşenini bulabiliriz. Bu bileşenlerden ikisi, galaktik dönme yada yıldız konumlarını indirgemedde kullanılan presesyon sabitinden kaynaklanır. z eksenini etrafındaki üçüncü bileşen, FK4 ekinoksunun dinamik ekinoksa göre olan bağlı

hareketinin sonucudur. Bu değerlendirme sonucu ise Fricke 0^s.082 /yüzyıl değerini bulmuştur.

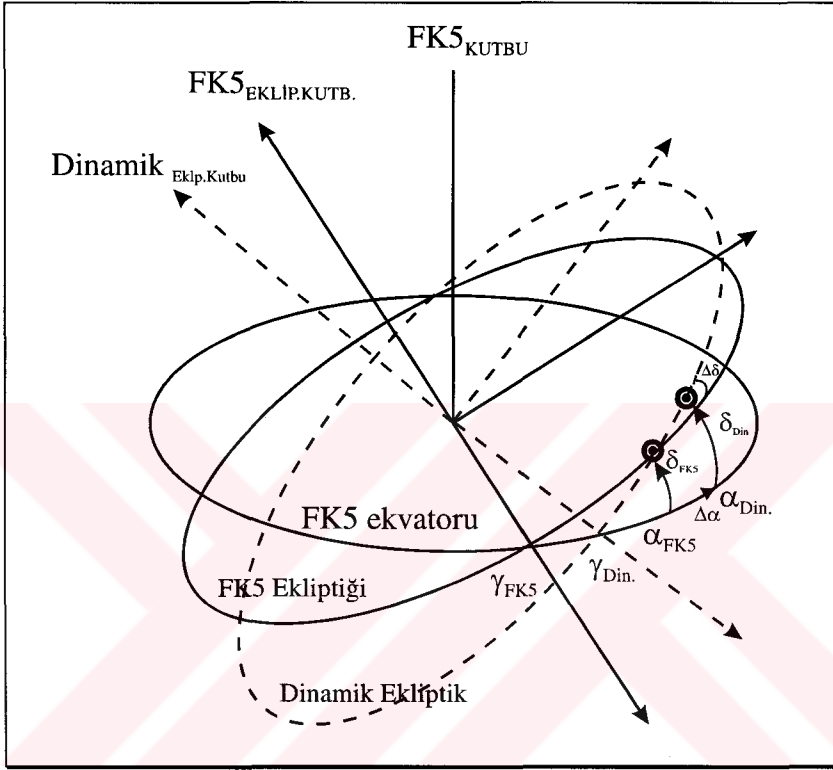
Dikkat edilirse her üç yaklaşımın sonuçlarında birbirlerine çok yakındır. Bizim elimizde yukarıdaki her üç yaklaşımı da yapabilecek veri olmadığından, benzer bir kıyaslama yapamayız. Ancak özellikle ilkbahar ılım noktasının yeri konusundaki çalışmalarda asıl kısmı Güneş gözlemleri oluşturduğundan, bulduğumuz sonuçlar güvenilir olmaktadır.

Çizelge 5-2'de görüldüğü üzere, E_1 , ΔL , E_0 ve Δh parametreleri, kullanılan her prizma ($\beta = 30^\circ$, $\beta = 45^\circ$, $\beta = 60^\circ$) için aynı değerdedir. İçerisinde bu parametreleri içeren eşitliklere baktığımızda görüleceği gibi, bu eşitlikler, kullanılan prizmaların özelliklerine bağlı $\Delta \beta_i$ terimlerini ihtiva etmezler. Dolayısı ile bu eşitlikleri kullanarak bulacağımız değerler, kullanılan prizmadan bağımsız olacaktır. Benzer şekilde Δk , $E_2 + \Delta \varepsilon$, değerlerinin herbir prizma için farklı çıkması, eşitliklerdeki $\Delta \beta_i$ terimleri nedeniyle. Şimdi sonuçlarımızı, kullanılan parametreler ışığında yorumlayalım.

Dikkat edilirse φ açısına karşı gelen dönme, ilkbahar ılım noktasının aynı düzlem içerisinde yer değiştirmesine denktir. θ açısına karşı gelen dönme sonucu, dinamik ekvator'un kutbu, FK5 ekvatorunun kutbuna göre eğimli olur, yani bunun değeri presesyon sabitinin değerinin bir ölçüsüdür. İlginç olan ψ açısına karşılık gelen harekettir. Bu hareket de ilkbahar ılım noktası bulunduğu düzlemi (ekvator) değiştirir. Bu durum ilkbahar noktasının tanımına aykırı olduğuna göre, ψ açısına karşılık gelen etki, dinamik sistemin ekvatorunun FK5 ekvatoruna göre ψ açısı kadar eğimli olması ile açıklanabilir.

Şimdi ilkbahar ılım noktasının hareketini tanımlayan E_0 terimini ele alalım. Her üç prizma içinde bunun değeri 0.24 ± 0.022 yani 0.016^s dir. Böylece ilkbahar noktasının yeri için bu kadarlık bir düzeltme terimine ihtiyaç vardır diyebiliriz. Gerçekten de $E_0 = -(\psi + \varphi)$ ifadesinde, ψ değeri sıfırdan farklı ise, bu yukarıda söylendiği gibi, FK5 ekvatorunun, dinamik ekvator'a göre ψ kadar eğimli olması anlamına gelecektir. Bu durum, mutlak ekvatoryal dikaçıklıklar ile FK5 dik açıklıkları arasında yapılan karşılaştırma da hemen kendini gösterir. Modern mutlak gözlemler, 30° nin üstündeki dikaçıklıklarda, FK5 yıldızları ile kullanılan katalog

yıldızlarının arasında $\pm 0^s.003$ genlikli dalga benzeri bir bozulmanın varlığını göstermektedir[50]. Bulunan değer modern gözlemlerle tam olarak uyuşmasa da Astrolabın duyarlılık sınırları içinde oldukça iyi bir sonuçtur. Ham verilerden hareketle R_{ij} (i=doğu, batı; j=alt,üst) fark değerlerini bulurken, sadece FK5 değil IERS verileri de kullanıldığından, bulduğumuz düzeltme teriminin değeri oldukça güvenilir bir sonuçtur.



Şekil 5-2 FK5 sistemi ile Dinamik sistemin birbirlerine göre olan durumlarının $\Delta\alpha$ ve $\Delta\delta$ farklarını oluşturması

ΔL değeri içinde $-0.02'' \pm 0.05$ sonucunu bulduk. Bu sonuç, efemeristen hesapladığımız ortalama boylam değeri ile gözlenen boylam değeri arasında bu kadarlık bir farkın olması anlamına gelir. Bu durumda, öncelikle efemeris hesabı için kullanılan teorinin bu kadarlık bir terim düzeltmesine ihtiyacı vardır diyebilirsek te, bu değer zaten ortalama bir değer olması ve gerçek boylam değeri ile arasındaki ilişki formüle edilirken, e^3 'den daha büyük terimlerin ihmal edilmiş olması nedeniyle bunun gerçekte ihmal edilebilir bir değer olabileceğini söylebiliriz.

E_1 değeri için de $0.28'' \pm 0.022$ bulduk. Bu değer $\theta \sin \varphi$ çarpımıdır. φ açısı, ilkbahar ılımlarının yerinin ekvator düzleminde kaymasına karşılık geldiği için

bunun θ ile çarpımı, FK5 ekvatorunun dinamik ekvatora göre bu kadarlık bir dönme yaptığı anlamına gelir. Böylece FK5 ekvatorunu dinamik ekvatora izdüştürmek için bu kadarlık bir dönme yapmak gerekecektir.

Şimdi $E_2 + \Delta\varepsilon$ terimine bakalım. Burada E_2 ifadesi, FK5 kutbunun dinamik kutba göre eğikliğini temsil etmektedir. $\Delta\varepsilon$ değeri ise Yer'in dönmesi ile ilgili teoriler kullanılarak elde edilen ε değeri ile, gözlenen ε değeri arasındaki farktır. Teorik olarak yapılan çalışmalarda, J2000 epoku için $\Delta\varepsilon = 0''.039$ olarak öngörülmüştür[51]. Bu ifadeyi hesaplarken formüllere giren $b_i \Delta z_i$ terimindeki belirsizlik, bizi bu değerleri yorumlamada güçlüğü sokmaktadır. $b_i \Delta z_i$ ifadesini bulmak için gerekli gözlemler yapıldığında, bu ifadenin öngörülen değere yakın olacağı kanısındayım.

Güneş'in görünen yörünge parametreleri ile ilgili düzeltme terimleri olan Δh ve Δk ifadelerine bakarsak, bunlardan Δh 'ın da hata sınırlarına göre oldukça güvenilir bir büyüklüğe sahip olduğunu görürüz. Δh günberi boylamının kosinüsünün, eksantrite ile çarpımı olduğundan, bu değere katkı sadece günberi boylamından veya sadece eksantrite büyüklüğündeki değişimden yada her ikisinin hareketinden kaynaklanıyor olabilir. Bu konuda e ile ϖ nin ayrı birer parametre olarak kullanıldığı biraz daha ayrıntılı bir çalışma yapılması bizi kesin sonuca götürecektir.

Δk değerleri, hata sınırlarının üstünde olsa da, bunu bulurken denklemlere giren $c_i \Delta z_i$ parametresindeki belirsizlik nedeni ile bu değerlere güvenemeyiz. Diğer $a_i \Delta z_i$ ve $b_i \Delta z_i$ terimlerinin de bulunması neticesinde, bu parametreleri içeren sonuçlar gerçek yorumlara kavuşabilir.

Yapılan çalışmaya sonuç olarak, FK5 sisteminin dinamik sisteme göre bir dönme hareketi gösterdiği söylenebilir. Ancak bu dönme oldukça küçüktür ve yukarıda bahsettiğim nedenlerden dolayı bir takım belirsizliklere sahiptir. Fakat artık teknoloji sayesinde heran IERS verilerine erişip bunları kullanabileceğimizden dolayı, çok duyarlı gözlem gerekmedikçe FK5 sistemi rahatlıkla kullanılabilir. Yer'in yörünge parametrelerinin bulunmasında da IERS verileri kullanıldığı sürece, şimdiye kadar yapılmış teorilere eklenecek bir terim gerekmemektedir, ve sonuçlar oldukça

duyarlıdır. Astrolabla yapılan 2610 Güneş geçiş gözleminin kullanıldığı bir çalışmada, $\Delta\alpha = -E$ ve $\Delta\delta = -D$ yaklaşımı kullanılmış ve benim bulduğum sonuçların aksine, FK5 sisteminin herhangi bir düzeltme terimi gerektirmediği önerilmişse de benim yaklaşımım sonucu bulunan değerler modern gözlemler ışığında daha doğru gözükmektedir[52][53]. Ortaya koyduğumuz modelleme ile şimdiye kadar yapılan tüm astrolab gözlemlerinin kullanıldığı bir çalışma yapılması planlanmaktadır. Çok daha fazla sayıda gözlem kullanılacağından, çalışma sonucu bulunan değerlerin güvenilirliği de oldukça fazla olacaktır. Kesin sonucun bu çalışma sonucu söylenmesinin daha bilimsel olacağı kanısındayım.



KAYNAKLAR

1. Kovalevsky, J.; Mueller, I.; "Reference Frames", J. Kovalevsky ve ark. (ed.), Reference Frames, 1989, s:1
2. Wilkins, G.A.; "Standarts for Terrestrial and Celestial Reference Systems", 1989, s:447
3. Kovalevsky, J.; Mueller, I.; "Comments on Conventional Terrestrial and Quasi-Inertial Reference Systems", Gaposchin G. ve Kolaczek B. (ed.), Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics, 1981, s:375
4. Kittel, C.; Knight, W.D.; Ruderman, M.A.; "Mekanik", Berkeley Fizik Programı cilt 1, 1975
5. Clarke, C.; "Elementary Genaral Relativity", Edward Arnold Publishers, 1979
6. Goldstein, H.; "Classical Mechanics", Addison-Wesley Publishing Company, 1957
7. Munk, H.W.; Mc Donald, J.F.G.; "The Rotation of the Earth", Cambridge University Press, 1960
8. Smart, W.M.; "Küresel Astronomi", İstanbul Üniversitesi Basımevi, 1984
9. Seidelmann, P.K.; Wilkins, G.A.; "Introduction to Positional Astronomy", Seidelmann, P.K. (ed.), Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, 1992, s:11
10. Mueller, I.I.; Eichorn, H.; "Spherical and Practical Astronomy", Frederick Ungar Publishing Co. 1969
11. Zongyi, C.; Zongyuan, L.; Kaiping, T.; "Suggestion on the Problem of Time", Mueller, I.I.; Kolaczek, B. (ed.), Developments in Astrometry and Their Impacts on Astrophysics and Geodynamics, 1993, s:371
12. Woolard, E.W.; Clemence, G.M.; "Spherical Astronomy", Academic Press, 1966
13. Kovalevsky, J.; "Stellar Reference Frames", Kovalevsky, J. ve ark. (ed.), Reference Frames, 1989, s:15
14. Gliese, W.; "Fundamental Catalogues", Débarbat, S. ve ark. (ed.), Mapping the Sky, 1988, s:95

15. Seidelmann, P.K.; Kaplan, G.H.; Van Flandern, T.C.; "New Celestial Reference Systems", Gaposchkin, E.M. ve Kolaczek, B.(edt.), Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics, 1981, s:305
16. Fricke, W.; " Determination of the Equinox and Equator of the FK5", Astron.Astrophys. **107**, 1982, s:L13
17. Walter, H.G.; Froeschlé, M.; Falin, J.L.; Hering, R.; Kovalevsky, J.; Lenhardt, H.; " Analysis of the HIPPARCOS Measurements:Positions, Proper Motions, Parallaxes", Mueller, I.I ve Kolaczek, B. ,Developments in Astronometry and Their Impacts on Astrophysics and Geodynamics, 1993, s:11
18. "1994 IERS Annual Report", Central Bureau of IERS (hazırlayan), 1995
19. "IERS Mission and Goals for 2000", Central Bureau of IERS (hazırlayan), 1995
20. Seidelmann, P.K.; Guinot, B.;Doggett, L.E.;"Time", Seidelmann, P.K.(edt.), Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, 1992, s:85
21. Danjon, A.;"The Impersonal Astrolabe", Kuiper, G.P. ve Middlehurst, B.M. (edt.), Stars and Stellar Systems, 1969, s:115
22. Genceli, O.F.;"Optik Ölçme Metodları ", Ders notları İ.T.Ü. Makina Fakültesi, 1983, s:74
23. Jenkins, A.;White, H.E.;"Fundamentals of Optics", Mc Graw- Hill inc. 1976
24. Danjon, A.;"L' Astrolabe Impersonnel de L'Observatoire de Paris", Bull.Astron. **18**, 1954 s:73
25. Chollet, F.;"Doktora tezi", Pierre ve Marie Curie üniv. 1981
26. Chauvineau, B.; Journet, A.;Vigouroux, G.;Kovalevsky, J.; Billaud, G.;Boche, R.; Furia, M.;"Cerga Photoelectric Astrolabe-Computational and Instrumental Improvements", Mueller, I.I ve Kolaczek, B. ,Developments in Astronometry and Their Impacts on Astrophysics and Geodynamics, 1993, s:131
27. Billaud, G.;Boche, M.;Furia, G.; Vigouroux, G.;"Presentation Technique de L'Astrolabe Photoelectrique du Cerga", Débarbat, S. ve ark. (edt.),Mapping the Sky, 1988, s:393
28. Chollet, F.;" Astrolabe Projects", IAU commission 8 Report
29. Leister, N.V.; "Doktora Tezi", San Paulo üniv. 1989
30. Laclare, F.;Merlin, G.;"L' Astrolabe Solaire Impersonalisé par l'emploi d'une Caméra C.C.D. Application á la Mesure de Diamètre Solaire", C.R.Acad.Sci. Paris, **313**,1991, s:323

31. Débarbat, S.; Guinot, B.; *"La Méthode Des Hauters Egales en Astronomié"*, Gordon & Breach, 1970
32. Sánchez, M.; *"Doktora Tezi"*, Barselona üniv. 1991
33. Teleki, G.(edt.) *"The Present state and Future of the Astronomical Refraction Investigations"*, Publ.Obsrv.Astron.Belgrad n:18
34. Guinot, B.; *"Astrolabe Impersonnel.Réduction Des Observations.Étude des Résultats"*, Bull.Astron., 1955 s:20
35. Guinot, B.; *"L' Astrolabe Impersonnel, A.Danjon, Modèle O.P.L. de L' Obsevatoire de Paris. Étude des Résultats D'Une Année D'Observations Variation de la Latitude.Catalogue D'Étoiles"*, Bull.Astron., 1958 s:1
36. Clauzet, L.B.F.; *"The First Astrolabe Catalogue at Valinhos"*, Astron.Astrophys. Suppl.Ser. **52**, 1983, s:403
37. Benevides-Soares, P.; *Representation of Catalogue Systematic Errors in right Ascension and "Declination Inferred from Astrolabe Data"*, Astron.Astrophys. **234**, 1988, s:576
38. Chollet, F.; Débarbat, S.; *"Objets Accessibles aux astrolabes de Haute Precision: Étoiles et Radioétoiles Brillantes, Planetes, Soleil"*, Eichhorn, H.K. ve ark.(edt.), Astronomic Techniques, 1986, s:705
39. Laclare, F.; *"Measures du Diamètre Solaire à l'Astrolabe"*, Astron.Astrophys. **125**, 1983, s:200
40. Chollet, F.;Laclare, F.; *"Observations expérimentales du Soleil à l'Astrolabe du CERGA"*, Astron.Astrophys. **56**, 1977, s:207
41. Bougeard, M.; *"Mémoire Observatoire de Paris"*,1982
42. Lambeck, K.; *"The Earth's Variable Rotation: Some Geophysical Causes"*, J.Kovalevsky ve ark.(edt.), Reference Frames, 1989, s:241
43. Vicente, R.O.; *"Reference Systems for Earth Dynamics"*,Szebehely (edt.), Applications of Modern Dynamics to Celestial Mechanics and Astrodynamics, 1982, s:131
44. Danjon, A.; *"Astronomié Générale"*, Paris ,1958
45. Delache, P.;Laclare, F.;Sadsaoud, H.; *"Long Period Oscillations in Solar Diameter Measurements"*, Nature, 1985, **317**, n:6036, s:416

46. Delache, P.; Gavryusev, V.; Gavryusev, E.; Laclare, F.; Régulo, C.; Cortés, T.R.;
“*Time Correlation Between Solar Structural Parameters:p-Mode frequencies, Radius, and Neutrino Flux*”, *Astrophysical Journal*, 1993, **407**, s:801
47. Hohenkerk, C.Y.;Yallop, B.D.; Smith, C.A.;Sinclair, A.T.;"*Celestial Referance Systems*", Seidelmann, P.K.(edt.), *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, 1992, s:109
48. Pešek, I.;"*Almucantar Deformations in the Method of Equal Altitudes*", *Astron.Astrophys.* **262**, 1992, s:621
49. Fricke, W.;"*Definición and Practical Realization of the Reference Frame in the FK5-Role of Planetary Dynamics and Stellar Kinematics in the Definition*", Gaposchkin, E.M. ve Kolaczek, B.(edt.), *Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics*, 1981, s:331
50. Schwan, H.;"*Completion of the FK5 Extension and Preliminary Investigation of the FK5 system*", Mueller, I.I ve Kolaczek, B. ,*Developments in Astronometry and Their Impacts on Astrophysics and Geodynamics*, 1993, s:339
51. Francou, G.; Bergeal, L.; Chapront, J.; Morando, B.;"*Nouvelles Èphémérides du Soleil, de la Lune et des Planètes*", *Astron.Astrophys.* **128**, 1983, s:124
52. Poppe, P.C.R.; "*Anãlise das Observações do Sol no Período de 1988-1992*", Yúksek Lisans Tezi, Sãn Paulo üniv. 1994
53. Leister, N.V.; "*Özel tartışma*"

EKLER

Ek-1

$\delta = 30^\circ$ için tam bir gözlem takımının çözümleri

Yıl	Ay	Gün	JD	$\Delta\alpha$	$Y/\cos S$	$\Delta\epsilon$	ϵ
1978	05	25	2443654.00	0.027	-0.720	-9.709	23 26 21.853
1978	06	05	2443665.00	0.014	-0.525	-9.837	23 26 21.711
1978	06	09	2443669.00	0.037	-0.771	-9.853	23 26 21.689
1978	06	20	2443680.00	-0.022	-0.244	-9.952	23 26 21.577
1978	07	05	2443695.00	-0.034	-0.610	-9.875	23 26 21.635
1978	07	06	2443696.00	0.037	-0.236	-9.847	23 26 21.661
1978	07	14	2443704.00	0.030	0.433	-9.688	23 26 21.810
1978	07	17	2443707.00	0.028	-0.578	-9.752	23 26 21.742
1978	07	18	2443708.00	0.009	0.200	-9.746	23 26 21.747
1978	07	19	2443709.00	-0.007	-0.262	-9.716	23 26 21.775
1979	05	04	2443998.00	-0.031	-0.283	-8.937	23 26 22.184
1979	05	14	2444008.00	-0.241	1.460	-9.188	23 26 21.921
1979	05	15	2444009.00	0.015	0.168	-9.205	23 26 21.902
1979	05	21	2444015.00	-0.028	-0.229	-9.130	23 26 21.969
1979	05	22	2444016.00	0.025	-1.221	-9.155	23 26 21.943
1979	05	30	2444024.00	-0.020	0.033	-9.368	23 26 21.720
1979	05	31	2444025.00	-0.015	-0.051	-9.349	23 26 21.738
1979	06	18	2444043.00	-0.032	0.073	-9.348	23 26 21.715
1979	06	21	2444046.00	-0.161	2.235	-9.436	23 26 21.623
1979	06	25	2444050.00	-0.003	0.267	-9.476	23 26 21.578
1979	07	10	2444065.00	0.005	-0.232	-9.322	23 26 21.713
1980	06	05	2444396.00	0.002	1.728	-7.910	23 26 22.701
1980	06	06	2444397.00	-0.036	1.767	-7.886	23 26 22.724
1980	06	25	2444416.00	0.052	2.506	-7.955	23 26 22.630
1980	06	26	2444417.00	0.030	1.539	-7.978	23 26 22.606
1980	06	30	2444421.00	0.072	1.138	-7.917	23 26 22.662
1980	07	01	2444422.00	0.010	2.050	-7.864	23 26 22.713
1980	07	02	2444423.00	0.070	2.365	-7.810	23 26 22.766
1980	07	03	2444424.00	0.011	1.806	-7.765	23 26 22.810
1980	07	07	2444428.00	-0.012	1.876	-7.764	23 26 22.806
1980	07	09	2444430.00	0.063	1.500	-7.808	23 26 22.760

1980	07	23	2444444.00	-0.038	2.390	-7.529	23 26 23.021
1980	07	24	2444445.00	-0.055	1.606	-7.531	23 26 23.017
1980	07	28	2444449.00	-0.042	1.094	-7.377	23 26 23.167
1980	07	29	2444450.00	-0.073	1.262	-7.309	23 26 23.233
1981	07	06	2444792.00	-0.066	1.928	-5.392	23 26 24.711
1981	07	07	2444793.00	0.013	2.494	-5.356	23 26 24.746
1981	07	08	2444794.00	-0.018	1.939	-5.336	23 26 24.764
1981	07	09	2444795.00	-0.007	2.376	-5.331	23 26 24.768
1981	07	15	2444801.00	-0.026	2.007	-5.378	23 26 24.713
1981	07	20	2444806.00	0.013	2.101	-5.133	23 26 24.953
1981	07	21	2444807.00	-0.005	1.534	-5.080	23 26 25.004
1981	07	30	2444816.00	0.106	2.728	-4.998	23 26 25.075
1981	08	01	2444818.00	0.032	1.927	-4.863	23 26 25.207
1982	05	11	2445101.00	0.009	-1.067	-2.741	23 26 26.966
1982	05	12	2445102.00	0.058	-0.574	-2.755	23 26 26.951
1982	05	13	2445103.00	0.020	-1.444	-2.754	23 26 26.951
1982	05	19	2445109.00	-0.014	-0.320	-2.641	23 26 27.056
1982	05	24	2445114.00	-0.014	-0.697	-2.865	23 26 26.826
1982	05	25	2445115.00	-0.019	-0.601	-2.883	23 26 26.806
1982	05	26	2445116.00	0.010	-0.409	-2.874	23 26 26.815
1982	05	27	2445117.00	0.038	-0.327	-2.842	23 26 26.845
1982	06	07	2445128.00	0.025	0.186	-2.908	23 26 26.765
1982	06	08	2445129.00	0.038	-0.368	-2.916	23 26 26.756
1982	06	14	2445135.00	-0.012	-0.820	-2.738	23 26 26.926
1982	06	15	2445136.00	0.101	0.956	-2.719	23 26 26.943
1982	06	21	2445142.00	0.019	-0.853	-2.874	23 26 26.781
1982	06	22	2445143.00	-0.020	-0.528	-2.860	23 26 26.793
1982	07	01	2445152.00	0.051	-1.231	-2.630	23 26 27.012
1982	07	02	2445153.00	0.039	0.118	-2.654	23 26 26.987
1982	07	06	2445157.00	-0.018	-0.651	-2.656	23 26 26.979
1982	07	08	2445159.00	0.039	-0.154	-2.572	23 26 27.061
1982	07	09	2445160.00	0.014	-0.420	-2.517	23 26 27.115
1982	07	15	2445166.00	0.010	-0.696	-2.364	23 26 27.260
1982	07	21	2445172.00	-0.011	-0.866	-2.298	23 26 27.318

$\delta = 45^\circ$ için tam bir gözlem takımının çözümleri

Yıl	Ay	Gün	JD	$\Delta\alpha$	$Y/\cos S$	$\Delta\epsilon$	ϵ
1978	04	27	2443626.00	-0.012	-3.653	-9.185	23 26 22.413
1978	05	11	2443640.00	-0.014	-2.372	-9.451	23 26 22.129
1978	05	29	2443658.00	-0.029	-2.117	-9.629	23 26 21.928
1978	06	05	2443665.00	0.041	-3.210	-9.837	23 26 21.711
1978	06	09	2443669.00	0.024	-3.502	-9.853	23 26 21.689
1978	06	20	2443680.00	-0.015	-2.967	-9.952	23 26 21.577
1978	06	21	2443681.00	-0.045	-3.453	-9.951	23 26 21.577
1978	06	28	2443688.00	0.007	-2.456	-9.790	23 26 21.729
1978	06	29	2443689.00	0.038	-2.879	-9.812	23 26 21.706
1978	07	05	2443695.00	0.019	-2.398	-9.875	23 26 21.635
1978	07	06	2443696.00	0.027	-2.698	-9.847	23 26 21.661
1978	07	07	2443697.00	0.013	-4.292	-9.811	23 26 21.696
1978	07	18	2443708.00	0.049	-3.835	-9.746	23 26 21.747
1978	07	28	2443718.00	0.029	-3.096	-9.509	23 26 21.971
1978	08	04	2443725.00	0.018	-3.536	-9.358	23 26 22.113
1978	09	13	2443765.00	-0.110	-3.119	-8.771	23 26 22.649
1978	09	14	2443766.00	-0.082	-3.357	-8.723	23 26 22.696
1978	09	15	2443767.00	0.013	-2.892	-8.679	23 26 22.739
1978	09	18	2443770.00	0.050	-2.277	-8.647	23 26 22.767
1979	07	10	2444065.00	-0.014	-2.512	-9.322	23 26 21.713
1979	07	13	2444068.00	-0.049	-2.661	-9.156	23 26 21.875
1979	07	16	2444071.00	0.001	-3.143	-9.106	23 26 21.921
1979	07	18	2444073.00	0.010	-2.776	-9.140	23 26 21.885
1979	07	25	2444080.00	-0.041	-2.678	-9.004	23 26 22.012
1979	08	21	2444107.00	-0.042	-2.900	-8.428	23 26 22.553
1979	08	22	2444108.00	-0.070	-2.389	-8.378	23 26 22.602
1979	08	23	2444109.00	-0.096	-3.068	-8.332	23 26 22.647
1979	08	24	2444110.00	-0.046	-2.980	-8.294	23 26 22.684
1979	08	29	2444115.00	-0.075	-3.422	-8.278	23 26 22.693
1979	08	31	2444117.00	-0.016	-2.963	-8.304	23 26 22.665
1979	09	05	2444122.00	-0.006	-2.290	-8.120	23 26 22.842
1979	09	12	2444129.00	0.041	-2.545	-8.114	23 26 22.839
1979	09	13	2444130.00	-0.032	-2.878	-8.123	23 26 22.829
1980	03	31	2444330.00	-0.013	0.492	-7.176	23 26 23.519
1980	04	01	2444331.00	-0.074	-0.923	-7.193	23 26 23.502
1980	04	02	2444332.00	-0.091	-1.065	-7.221	23 26 23.472
1980	04	04	2444334.00	-0.053	-1.184	-7.295	23 26 23.395

1980	04	10	2444340.00	-0.100	-0.796	-7.318	23 26 23.365
1980	04	24	2444354.00	-0.108	-0.568	-7.435	23 26 23.230
1980	06	02	2444393.00	-0.055	-0.107	-8.009	23 26 22.606
1980	06	03	2444394.00	-0.050	-1.481	-7.981	23 26 22.633
1980	06	06	2444397.00	-0.026	-1.640	-7.886	23 26 22.724
1980	06	16	2444407.00	-0.016	-1.213	-7.995	23 26 22.601
1980	06	20	2444411.00	-0.088	-0.795	-7.877	23 26 22.714
1980	06	27	2444418.00	-0.034	-1.067	-7.989	23 26 22.594
1980	06	30	2444421.00	-0.050	-1.444	-7.917	23 26 22.662
1980	07	01	2444422.00	-0.020	-2.632	-7.864	23 26 22.713
1980	07	02	2444423.00	0.044	-1.217	-7.810	23 26 22.766
1980	07	21	2444442.00	-0.050	-0.571	-7.504	23 26 23.048
1980	07	23	2444444.00	-0.003	-1.328	-7.529	23 26 23.021
1980	07	24	2444445.00	0.019	-2.803	-7.531	23 26 23.017
1980	07	28	2444449.00	0.019	-1.963	-7.377	23 26 23.167
1980	07	29	2444450.00	0.016	-1.802	-7.309	23 26 23.233
1980	07	30	2444451.00	-0.013	-1.435	-7.247	23 26 23.294
1980	07	31	2444452.00	0.022	-0.569	-7.202	23 26 23.338
1980	08	04	2444456.00	0.048	-1.069	-7.203	23 26 23.331
1980	08	06	2444458.00	-0.007	-1.299	-7.214	23 26 23.317
1980	08	07	2444459.00	-0.004	-1.656	-7.197	23 26 23.333
1980	08	11	2444463.00	-0.002	-1.946	-6.997	23 26 23.528
1980	09	12	2444495.00	0.037	-1.624	-6.317	23 26 24.167
1981	04	03	2444698.00	-0.001	-0.428	-5.031	23 26 25.193
1981	04	07	2444702.00	0.003	-1.041	-5.144	23 26 25.075
1981	04	09	2444704.00	0.062	-0.257	-5.223	23 26 24.993
1981	04	10	2444705.00	-0.090	-1.836	-5.234	23 26 24.981
1981	04	13	2444708.00	-0.007	-0.660	-5.173	23 26 25.038
1981	04	14	2444709.00	-0.015	-1.053	-5.144	23 26 25.065
1981	04	22	2444717.00	0.027	-2.004	-5.303	23 26 24.897
1981	04	27	2444722.00	-0.026	-0.469	-5.352	23 26 24.841
1981	04	28	2444723.00	0.024	-0.791	-5.325	23 26 24.867
1981	05	05	2444730.00	0.023	-1.202	-5.452	23 26 24.731
1981	05	06	2444731.00	-0.006	-1.588	-5.499	23 26 24.682
1981	05	07	2444732.00	0.016	-1.017	-5.525	23 26 24.655
1981	06	30	2444786.00	0.447	1.787	-5.633	23 26 24.479
1981	07	06	2444792.00	-0.012	-0.970	-5.392	23 26 24.711
1981	07	07	2444793.00	0.014	-0.189	-5.356	23 26 24.746
1981	07	09	2444795.00	-0.011	-0.381	-5.331	23 26 24.768

1981	07	16	2444802.00	-0.016	-0.819	-5.353	23 26 24.737
1981	07	20	2444806.00	-0.087	-1.685	-5.133	23 26 24.953
1981	07	21	2444807.00	-0.045	-1.188	-5.080	23 26 25.004
1981	08	19	2444836.00	-0.029	-1.206	-4.325	23 26 25.722
1981	08	20	2444837.00	-0.032	-0.295	-4.324	23 26 25.721
1981	08	21	2444838.00	-0.070	-1.254	-4.339	23 26 25.705
1981	08	25	2444842.00	-0.105	-1.359	-4.355	23 26 25.684
1981	08	27	2444844.00	0.039	-2.026	-4.257	23 26 25.780
1981	09	01	2444849.00	-0.025	-2.387	-4.025	23 26 26.006
1981	09	08	2444856.00	-0.101	-1.734	-4.071	23 26 25.950
1982	03	29	2445058.00	-0.135	-2.535	-2.381	23 26 27.381
1982	04	05	2445065.00	-0.029	-2.219	-2.280	23 26 27.474
1982	04	06	2445066.00	0.037	-2.743	-2.256	23 26 27.497
1982	04	08	2445068.00	0.011	-3.010	-2.264	23 26 27.486
1982	04	26	2445086.00	-0.050	-1.847	-2.560	23 26 27.166
1982	04	27	2445087.00	-0.070	-3.161	-2.597	23 26 27.128
1982	04	28	2445088.00	-0.074	-3.426	-2.609	23 26 27.115
1982	05	11	2445101.00	0.016	-3.868	-2.741	23 26 26.966
1982	05	12	2445102.00	0.013	-3.489	-2.755	23 26 26.951
1982	05	13	2445103.00	0.011	-3.079	-2.754	23 26 26.951
1982	05	24	2445114.00	-0.012	-3.209	-2.865	23 26 26.826
1982	05	25	2445115.00	0.063	-3.189	-2.883	23 26 26.806
1982	05	26	2445116.00	-0.017	-2.842	-2.874	23 26 26.815
1982	05	27	2445117.00	-0.046	-2.367	-2.842	23 26 26.845
1982	06	07	2445128.00	0.045	-2.434	-2.908	23 26 26.765
1982	06	14	2445135.00	-0.001	-2.309	-2.738	23 26 26.926
1982	07	01	2445152.00	0.040	-4.058	-2.630	23 26 27.012
1982	07	02	2445153.00	0.059	-3.033	-2.654	23 26 26.987
1982	07	05	2445156.00	0.004	-4.459	-2.677	23 26 26.960
1982	07	06	2445157.00	-0.014	-4.379	-2.656	23 26 26.979
1982	07	08	2445159.00	0.024	-3.775	-2.572	23 26 27.061
1982	07	09	2445160.00	0.003	-3.200	-2.517	23 26 27.115
1982	07	15	2445166.00	0.013	-3.369	-2.364	23 26 27.260
1982	07	19	2445170.00	-0.017	-2.976	-2.409	23 26 27.210
1982	07	20	2445171.00	-0.028	-3.467	-2.365	23 26 27.253
1982	07	21	2445172.00	0.025	-3.802	-2.298	23 26 27.318
1982	09	03	2445216.00	0.040	-3.391	-1.070	23 26 28.490
1982	09	07	2445220.00	-0.111	-1.930	-0.999	23 26 28.556
1982	09	10	2445223.00	-0.027	-3.327	-1.077	23 26 28.474

1982	09	14	2445227.00	0.024	-3.120	-0.969	23 26 28.577
1982	09	15	2445228.00	-0.043	-3.208	-0.904	23 26 28.641
1982	09	16	2445229.00	-0.124	-2.964	-0.845	23 26 28.699
1982	09	17	2445230.00	-0.015	-2.923	-0.802	23 26 28.740

$\lambda = 60^\circ$ için tam bir gözlem takımının çözümleri

Yıl	Ay	Gün	JD	$\Delta\alpha$	$Y/\cos S$	$\Delta\varepsilon$	ε
1978	02	14	2443551.00	-0.113	-0.938	-8.963	23 26 22.731
1978	02	15	2443552.00	0.109	-0.304	-8.968	23 26 22.725
1978	03	07	2443575.00	0.003	0.004	-8.665	23 26 22.998
1978	03	09	2443577.00	0.077	1.631	-8.602	23 26 23.059
1978	03	10	2443578.00	-0.018	0.485	-8.596	23 26 23.063
1978	03	22	2443590.00	0.087	0.575	-8.597	23 26 23.047
1978	03	28	2443596.00	-0.013	2.151	-8.710	23 26 22.927
1978	09	22	2443774.00	-0.013	-0.668	-8.759	23 26 22.649
1978	09	26	2443778.00	-0.052	-0.002	-8.748	23 26 22.655
1978	09	27	2443779.00	0.033	-0.198	-8.722	23 26 22.680
1978	09	29	2443781.00	-0.032	-0.702	-8.668	23 26 22.731
1978	10	09	2443791.00	-0.020	0.509	-8.851	23 26 22.536
1978	10	10	2443792.00	-0.041	0.941	-8.831	23 26 22.554
1978	10	11	2443793.00	-0.079	-0.048	-8.803	23 26 22.581
1978	10	12	2443794.00	-0.091	0.550	-8.775	23 26 22.608
1978	10	19	2443801.00	-0.040	-0.710	-8.954	23 26 22.420
1978	10	23	2443805.00	-0.026	-0.469	-9.021	23 26 22.347
1979	10	08	2444155.00	0.043	1.183	-8.014	23 26 22.906
1979	10	09	2444156.00	-0.034	1.747	-8.057	23 26 22.861
1979	10	18	2444165.00	-0.003	0.955	-8.027	23 26 22.880
1979	10	19	2444166.00	-0.097	0.605	-8.038	23 26 22.867
1980	02	26	2444294.00	-0.050	1.387	-7.644	23 26 23.098
1980	02	27	2444295.00	0.043	1.074	-7.629	23 26 23.111
1980	02	28	2444296.00	-0.062	1.170	-7.601	23 26 23.139
1980	02	29	2444297.00	-0.037	0.670	-7.560	23 26 23.178
1980	03	03	2444302.00	0.059	0.847	-7.355	23 26 23.376
1980	03	10	2444309.00	-0.100	1.162	-7.419	23 26 23.303
1980	03	31	2444330.00	-0.009	2.904	-7.176	23 26 23.519
1980	04	01	2444331.00	0.025	1.091	-7.193	23 26 23.502
1980	04	02	2444332.00	-0.019	0.419	-7.221	23 26 23.472
1980	04	04	2444334.00	-0.028	1.284	-7.295	23 26 23.395

1980	04	21	2444351.00	0.017	2.286	-7.488	23 26 23.181
1980	06	16	2444407.00	0.045	1.710	-7.995	23 26 22.601
1980	06	24	2444415.00	0.042	1.076	-7.928	23 26 22.659
1980	06	27	2444418.00	-0.006	0.859	-7.989	23 26 22.594
1980	07	21	2444442.00	0.105	0.516	-7.504	23 26 23.048
1980	07	23	2444444.00	0.067	0.890	-7.529	23 26 23.021
1980	07	24	2444445.00	0.040	2.811	-7.531	23 26 23.017
1980	07	28	2444449.00	0.052	2.260	-7.377	23 26 23.167
1980	07	29	2444450.00	0.028	2.147	-7.309	23 26 23.233
1980	07	30	2444451.00	0.018	1.721	-7.247	23 26 23.294
1980	07	31	2444452.00	0.067	1.688	-7.202	23 26 23.338
1980	08	06	2444458.00	0.013	2.001	-7.214	23 26 23.317
1980	08	11	2444463.00	-0.035	2.183	-6.997	23 26 23.528
1980	08	12	2444464.00	0.013	1.121	-6.943	23 26 23.581
1980	09	02	2444485.00	0.082	1.652	-6.600	23 26 23.897
1980	09	04	2444487.00	0.061	1.735	-6.569	23 26 23.925
1980	09	11	2444494.00	0.011	-1.058	-6.315	23 26 24.170
1980	09	12	2444495.00	0.039	0.184	-6.317	23 26 24.167
1980	09	23	2444506.00	-0.013	0.202	-6.206	23 26 24.264
1980	09	24	2444507.00	-0.014	0.508	-6.183	23 26 24.286
1980	10	09	2444522.00	0.057	0.928	-6.210	23 26 24.239
1980	10	13	2444526.00	-0.041	-0.564	-6.354	23 26 24.090
1980	10	14	2444527.00	-0.000	-0.293	-6.385	23 26 24.058
1980	10	20	2444533.00	0.028	-0.277	-6.306	23 26 24.130
1980	10	21	2444534.00	0.013	-0.223	-6.289	23 26 24.145
1980	10	23	2444536.00	0.004	-0.113	-6.326	23 26 24.106
1980	10	27	2444540.00	0.008	-0.072	-6.524	23 26 23.902
1980	10	29	2444542.00	0.003	-0.304	-6.539	23 26 23.885
1981	03	04	2444668.00	-0.062	1.963	-5.344	23 26 24.918
1981	03	05	2444669.00	0.047	1.766	-5.283	23 26 24.978
1981	03	13	2444677.00	-0.013	0.860	-5.288	23 26 24.963
1981	03	16	2444680.00	-0.038	2.576	-5.207	23 26 25.040
1981	03	24	2444688.00	0.008	0.724	-5.112	23 26 25.125
1981	04	03	2444698.00	0.011	2.772	-5.031	23 26 25.193
1981	04	09	2444704.00	0.015	2.307	-5.223	23 26 24.993
1981	04	13	2444708.00	0.047	2.438	-5.173	23 26 25.038
1981	04	14	2444709.00	-0.008	1.910	-5.144	23 26 25.065
1981	04	27	2444722.00	-0.023	3.737	-5.352	23 26 24.841
1981	04	28	2444723.00	-0.052	2.961	-5.325	23 26 24.867

1981	05	05	2444730.00	-0.017	3.237	-5.452	23 26 24.731
1981	05	06	2444731.00	0.036	2.072	-5.499	23 26 24.682
1981	05	07	2444732.00	0.028	3.005	-5.525	23 26 24.655
1981	06	30	2444786.00	0.481	7.195	-5.633	23 26 24.479
1981	07	01	2444787.00	0.116	1.910	-5.631	23 26 24.479
1981	07	06	2444792.00	-0.009	1.922	-5.392	23 26 24.711
1981	07	07	2444793.00	0.028	3.666	-5.356	23 26 24.746
1981	07	15	2444801.00	0.004	2.423	-5.378	23 26 24.713
1981	07	16	2444802.00	0.019	2.383	-5.353	23 26 24.737
1981	07	20	2444806.00	-0.020	1.305	-5.133	23 26 24.953
1981	07	21	2444807.00	0.003	2.542	-5.080	23 26 25.004
1981	07	22	2444808.00	0.029	1.971	-5.044	23 26 25.039
1981	07	30	2444816.00	-0.319	5.164	-4.998	23 26 25.075
1981	08	01	2444818.00	-0.034	0.729	-4.863	23 26 25.207
1981	08	19	2444836.00	0.061	2.896	-4.325	23 26 25.722
1981	08	20	2444837.00	-0.058	2.640	-4.324	23 26 25.721
1981	08	21	2444838.00	-0.027	1.968	-4.339	23 26 25.705
1981	08	25	2444842.00	-0.030	1.261	-4.355	23 26 25.684
1981	08	27	2444844.00	0.007	1.221	-4.257	23 26 25.780
1981	09	01	2444849.00	0.010	0.061	-4.025	23 26 26.006
1981	09	02	2444850.00	-0.010	1.105	-4.022	23 26 26.007
1981	09	08	2444856.00	-0.014	0.645	-4.071	23 26 25.950
1982	02	25	2445023.00	-0.338	4.681	-2.831	23 26 26.976
1982	02	26	2445024.00	-0.217	2.058	-2.767	23 26 27.039
1982	03	01	2445030.00	-0.222	1.074	-2.667	23 26 27.131
1982	03	08	2445037.00	-0.192	3.092	-2.498	23 26 27.291
1982	03	11	2445040.00	0.078	-1.159	-2.389	23 26 27.396
1982	03	12	2445041.00	-0.164	1.064	-2.391	23 26 27.393
1982	03	15	2445044.00	0.001	1.043	-2.459	23 26 27.321
1982	03	18	2445047.00	0.034	0.657	-2.492	23 26 27.284
1982	03	29	2445058.00	0.005	1.645	-2.381	23 26 27.381
1982	04	06	2445066.00	0.053	1.508	-2.256	23 26 27.497
1982	04	21	2445081.00	-0.020	0.341	-2.350	23 26 27.383
1982	04	26	2445086.00	-0.032	0.037	-2.560	23 26 27.166
1982	04	27	2445087.00	-0.043	0.766	-2.597	23 26 27.128
1982	04	28	2445088.00	-0.011	0.174	-2.609	23 26 27.115
1982	05	11	2445101.00	0.034	-0.460	-2.741	23 26 26.966
1982	05	12	2445102.00	0.079	1.723	-2.755	23 26 26.951
1982	05	13	2445103.00	0.031	0.474	-2.754	23 26 26.951

1982	05	24	2445114.00	0.004	0.340	-2.865	23 26 26.826
1982	05	25	2445115.00	0.066	0.707	-2.883	23 26 26.806
1982	05	26	2445116.00	0.025	1.450	-2.874	23 26 26.815
1982	05	27	2445117.00	0.011	0.718	-2.842	23 26 26.845
1982	06	14	2445135.00	0.033	0.101	-2.738	23 26 26.926
1982	06	28	2445149.00	0.077	0.111	-2.591	23 26 27.055
1982	07	05	2445156.00	-0.006	0.466	-2.677	23 26 26.960
1982	07	06	2445157.00	0.007	-0.560	-2.656	23 26 26.979
1982	07	08	2445159.00	0.053	0.910	-2.572	23 26 27.061
1982	07	09	2445160.00	0.024	0.190	-2.517	23 26 27.115
1982	07	15	2445166.00	0.019	-0.054	-2.364	23 26 27.260
1982	09	03	2445216.00	0.036	-0.338	-1.070	23 26 28.490
1982	09	08	2445221.00	0.030	-0.744	-1.024	23 26 28.530
1982	09	09	2445222.00	0.004	-0.513	-1.053	23 26 28.499
1982	09	10	2445223.00	0.043	0.378	-1.077	23 26 28.474
1982	09	13	2445226.00	0.067	-0.747	-1.027	23 26 28.520
1982	09	14	2445227.00	-0.005	1.064	-0.969	23 26 28.577
1982	09	15	2445228.00	0.001	-0.256	-0.904	23 26 28.641
1982	09	16	2445229.00	0.028	0.008	-0.845	23 26 28.699
1982	09	17	2445230.00	0.031	0.959	-0.802	23 26 28.740
1982	09	23	2445236.00	0.005	-1.669	-0.892	23 26 28.642
1982	09	27	2445240.00	0.010	0.064	-0.871	23 26 28.658
1982	10	21	2445264.00	0.039	-0.780	-0.927	23 26 28.572
1982	10	25	2445268.00	-0.051	-0.820	-0.931	23 26 28.562

Özgeçmiş

13/03/1964 tarihinde Çorum'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilinden sonra 1987 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümünden Fizik Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl İnönü üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı ve aynı bölüme araştırma görevlisi olarak atandı. 1989 yılında Prof.Dr. Zeki Aslan'ın danışmanlığında "Atmosferik Hava Sönümlemesi" başlıklı tez ile yüksek lisans eğitimini tamamlayarak doktora eğitimine başladı. Evli ve bir çocuk babası olup, halen İnönü üniversitesindeki görevini sürdürmektedir.

