

**T.C.**  
**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**DOKTORA TEZİ**

**ASTEROİDLERİN FOTOMETRİK**  
**GÖZLEMLERİNİN ANALİZİ**

**Afşar KABAŞ**

**Fizik Anabilim Dalı**

**Tezin Sunulduğu Tarih: 30.07.2010**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Osman DEMİRCAN**

**ÇANAKKALE**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AFŞAR KABAŞ tarafından **PROF. DR. OSMAN DEMİRCAN** yönetiminde hazırlanan “**ASTEROİDLERİN FOTOMETRİK GÖZLEMLERİNİN ANALİZİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Osman DEMİRCAN

Yönetici

Prof.Dr. Cafer İBANOĞLU

Prof.Dr. Ömer Lütüfi DEĞİRMENCİ

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Ahmet ERDEM

Doç.Dr.Faruk SOYDUGAN

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Sıra No:

Tez Savunma Tarihi: 30/07/2010

Prof.Dr. İsmail TARHAN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bu Doktora tezinde kullanılan verilerin bir bölümü, TÜBİTAK destekli 106T051 no'lu proje çalışmasıyla sağlanmıştır.

## İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

**Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.**

Afşar KABAŞ

## TEŞEKKÜR

Bu alıőma boyunca bana destek olan danıőmanım Prof. Dr. Osman DEMİRCAN'a, tez süresi boyunca önemli görüş ve önerileriyle bu çalışmaya katkıda bulunan tüm tez izleme jüri üyelerine ve bilim ruhunu bana ilk kez tanıtan ortaokul fen bilgisi öğretmenim Mehmet TURGAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Afşar KABAŞ

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

**N:** Işık Eğrisi Setindeki Nokta Sayısı

**N<sub>IE</sub>:** Işık Eğrisindeki Nokta Sayısı

**n:** Polihedrondaki Toplam Yüz Sayısı

**L:** Polihedrondan Yansıyan Işık Miktarı

**P<sub>sid</sub>:** Asteroidin Yıldızlı Dönme Dönemi

**P<sub>sin</sub>:** Asteroidin Sinodik Dönme Dönemi

**( $\lambda_0, \beta_0$ ):** Asteroidin Dönme Eksenine ait Kuzey Uç Doğrultusunun Tutulum Koordinatları

**S:** Işık Saçılım Yasası (Fonksiyonu)

**w:** Albedo

**Y:** Yer'in Yörünge Parametreleri

**A:** Asteroidin Yörünge Parametreleri

**t:** Zaman

**( $\Theta, \Theta_0$ ):** Asteroidin Dönme Eksenine ait Kuzey Uç Doğrultusunun, sırasıyla, Asteroid-Yer ve Asteroid-Güneş Doğrultularıyla Yaptığı Açılar

**$\alpha$ :** Asteroidin evre açısı (Güneş-Asteroid-Yer açısı)

**$\chi^2_{rel}$ :** Relatif Işık Eğrileri için Ki-Kare

**T:** Işık Eğrisi Setinin Kapsadığı Zaman Aralığı

**N<sub>Y</sub>:** Bu Zaman Aralığı Boyunca Asteroidin Farklı Karşı Konumlarına Denk Gelen Yakınlaşmalarının Sayısı (Gözlem Verisi Alınmış Olanlar)

**V:** Görsel Parlaklık

**(<sup>m</sup>):** Parlaklık Birimi (Kadir)

**ÇAAM&UG:** Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi

**TUG:** Türkiye Ulusal Gözlemevi

**NASA:** Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi

**MBAs:** Ana-kuşak Asteroidler

**NEAs:** Yakın Asteroidler

**KBOs:** Kuiper Kuşağı Asteroidleri

**convexinv:** convex inversion yazılımı

**lgenerator:** ışık eğrisi üretme yazılımı

**MPO LCInvert:** Küçük Gezegen Gözlemcisi-Işık Eğrisi Analiz Programı

**EM:** Epok Metodu

**AM:** Genlik-Parlaklık Metodu

**YORP:** Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack Etkisi

**ISO:** Kızılötesi Uzay Gözlemevi

**Nordic NEON:** İskandinav Yakın Asteroid Gözlem Ağı

**PanSTARRS:** Geniş Açılı Gözlem Teleskopu ve Hızlı Tepki Sistemi

**GAIA:** Astrofizik için Global Astrometrik İnterferometre

**KOALA:** Birleştirilmiş Örtülme, Adaptive-optics ve Işık Eğrisi Gözlemleri Analizi

**IE:** Işık Eğrisi

**rms:** Kare Ortalama Karekök

**AB:** Astronomi Birimi

## ÖZET

### ASTEROİDLERİN FOTOMETRİK GÖZLEMLERİNİN ANALİZİ

Afşar KABAŞ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Osman DEMİRCAN

30.07.2010, 57

Bu çalışmada, görelî olarak kısa dönme dönemine sahip ana-kuşaktan dört adet parlak asteroid seçilmiş ve bu asteroidlerin ışık eğrisi şekillerini, yıldızlı dönme dönemlerini ve dönme eksenî doğrultularını Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen ve ark. (2001)'de açıklanan “convex inversion” yöntemiyle yeniden belirlemek için fotometrik gözlemler yapılmıştır.

Gerçekte, seçilmiş bu dört asteroidin (201Penelope, 511Davida, 694Ekard, 776Berbericia) ışık eğrisi şekilleri ve dönme modelleri literatürde bilinmektedir; bununla birlikte güvenilir parametrelere ulaşmak için, uzun zamana yayılmış çok sayıda fotometrik veriye her zaman ihtiyaç duyulmaktadır. Elimizdeki sınırlı veri, “convex inversion” uygulamasının Türkiye'deki ilk örneğini ortaya koymak adına literatürdeki verilerle birlikte göz önüne alınmıştır.

Bu dört asteroidin yeni gözlemleri, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi'nde yapılmıştır. 201Penelope'nin bazı gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde, Mikko Kaasalainen tarafından Fortran'da geliştirilen ve sonra Josef Durech tarafından C'ye dönüştürülen kod ve Warner (2007)'de açıklanan, orijinal kodu esas alan Windows tabanlı bir program olan MPO LCInvert kullanılmıştır. Literatürdekilerle uyumlu sonuçlar bulunmuş ve yeni ışık eğrilerine “convex inversion” yöntemi yoluyla model ışık eğrileri fit edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Asteroidler, fotometri, dönme, şekil, convex inversion

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF THE ASTEROIDS' PHOTOMETRIC OBSERVATIONS

Afşar KABAŞ

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Science and Engineering

Chair for Physics Thesis of Ph.D.

Advisor: Prof. Dr. Osman DEMİRCAN

30.07.2010, 57

In this study, four bright main-belt asteroids which have relatively short rotation period were selected and observed photometrically to redetermine the lightcurve shapes, sidereal rotation periods and pole directions by using the convex inversion method described in Kaasalainen & Torppa (2001) and Kaasalainen et al. (2001).

Actually, the lightcurve shapes and the spin state models of these four selected asteroids (201Penelope, 511Davida, 694Ekard, 776Berbericia) were known in the literature; however, the large photometric data spanned over a long period of time is always needed to obtain reliable parameters. Our limited photometric data were taken into account together with those in the literature to perform the first sample convex inversion application in Turkey.

New observations of these four asteroids were carried out at Canakkale Onsekiz Mart University Astrophysics Research Center & Ulupinar Observatory. Some observations of 201Penelope were performed at TUBITAK National Observatory of Turkey (TUG).

In analyses, the code developed by Mikko Kaasalainen in Fortran and later converted to C by Josef Durech and MPO LCInvert described in Warner (2007), a Windows-based program which is based on the original code, were used. The consistent solutions were found with those in the literature and model lightcurves were fitted to new lightcurves by means of the convex inversion method.

**Keywords:** Asteroids, photometry, rotation, shape, convex inversion

# İÇERİK

	Sayfa
TEZ SINAVI SONUÇ BELGESİ .....	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT .....	vii
<b>BÖLÜM 1 – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Asteroidler (Genel Bakış) .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Fotometri ve Fotometrik Modelleme .....</b>	<b>3</b>
<b>BÖLÜM 2 – ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>7</b>
<b>BÖLÜM 3 – MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1. Asteroidlerde Fotomorfografik Analiz (Genel Açıklama).....</b>	<b>14</b>
<b>3.2. Analizde Kullanılan Veri ve Materyal.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3. Asteroidlerde Fotomorfografik Analize İlişkin Ana Mantık .....</b>	<b>16</b>
<b>BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Yapılan Analizin Sonuçları ve İlgili Literatür Karşılaştırmaları .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1.1 Dönme Durumu Çözümleri .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.2 Elde Edilen Gözlemsel Verilere Uygulanan Sentetik Işık Eğrisi             Fitleri .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1.3 Şekil Çözümleri .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2. Analiz Sonuçlarına İlişkin Genel Açıklamalar ve Tartışmalar .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.1 201Penelope .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.2 511Davida .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.3 694Ekard .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.4 776Berbericia .....</b>	<b>48</b>
<b>BÖLÜM 5 – SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>49</b>



<b>KAYNAKLAR</b> .....	51
<b>Ekler</b> .....	I
<b>Çizelgeler</b> .....	VIII
<b>Şekiller</b> .....	IX
<b>Özgeçmiş</b> .....	XI

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

#### 1.1. Asteroidler (Genel Bakış)

Asteroidler, Güneş Sisteminin şekillenmesinden sonra meydana gelen katı yapılı küçük kalıntılardır. Bu şekillenme sonrası, yığılıp gezegen oluşturamayan materyalin bir bölümü birleşerek asteroid kütlelerini oluşturmuştur. Gezegen oluşumunu sağlayan bu madde yığılmasının, o dönemde yeni oluşmuş Jüpiter ve Satürn gezegenleri civarında, bu gezegenlerin güçlü diferansiyel çekimi nedeniyle engellenmiş olabileceği ihtimali vardır. Asteroid oluşumunda kabul gören diğer bir olasılık, tek bir büyük kütleli ya da çok sayıda küçük kütleli çarpışma ya da çarpışmalar sonucunda parçalanması olasılığıdır. Çarpışma ya da çarpışmalarla parçalanma olasılığına alternatif olarak görülen bir diğer düşünce, yine Jüpiter ve Satürn gezegenlerinin diferansiyel çekimi etkisiyle parçalanma ihtimaline dayanır.

Asteroidlerin büyük çoğunluğu, iç Güneş Sistemi içerisinde yörüngelere sahiptir. İç Güneş Sistemindeki bu yoğunluk, yörünge yarıçaplarına göre iki ana guruba ayrılmıştır: Yakın asteroidler (Near Earth Asteroids, NEAs) ve ana-kuşak asteroidler (Main Belt Asteroids, MBAs). Yakın asteroidler Güneş'ten ortalama 1 AB uzakta yer alırken, ana-kuşak asteroidler Mars ve Jüpiter'in yörüngeleri arasında ortalama 2.5 AB yarıçapında yörüngelere sahiptirler. Geriye kalan belirli bir grup, Neptün gezegeninin ötesindeki Kuiper Kuşağı içerisinde bulunur. Bu asteroidler Kuiper Kuşağı asteroidleri (Kuiper Belt Objects, KBOs) olarak isimlendirilmiştir. Piazzini'nin ilk kez 1801 yılında en büyük ana-kuşak asteroid Ceres'i keşfetmesinden bu yana, gelişen gözlem teknikleri sayesinde çok sayıda asteroid keşfedilmiş ve kaydedilmiştir. Bu gün, yörünge parametreleri net olarak belirlenmiş 150000'in üzerinde kayıtlı asteroid vardır ve bu sayı her geçen gün artmaktadır. ISO (The Infrared Space Observatory) Deep Asteroid Search çalışmasının sonuçlarına göre, Güneş Sistemimizde boyutları 1 km ve 1 km üstü olan cisimlerin toplam sayısı ortalama 1.5 milyon kadardır. Bilinen en büyük asteroid olan Ceres, yaklaşık 1000 km'lik bir çapa sahiptir. Asteroid boyutları için bir alt sınır net olarak tanımlanmış değildir, pratikteki boyut dağılımı 1000 km'den toz tanesi arasında sürekli olarak değişmektedir. Geleneksel olarak en küçük parçacıklar toz, biraz daha büyükleri meteorit olarak isimlendirilmektedir.

Asteroidlere ilişkin dinamik ve fiziksel parametreler, Güneş Sisteminin erken dönemlerdeki evrimine ışık tutacak bilgiler içermektedir. Örnek olarak, yörüngelere ait

parametreler, kendi eksenleri etrafındaki dönme dönemleri, dönme eksenlerinin uzaydaki yönelimleri, dönme yönleri ve sahip oldukları şekiller, asteroidlerin çarpışma geçmişlerini yansıtır. Asteroidlerin farklı özellikleri (şekilleri, boyutları, kendi eksenleri etrafında dönme dönemleri, yörünge boyutları, kimyasal yapıları v.s. gibi) arasındaki ilişkileri Torppa ve ark. (2008)'de yapıldığı gibi istatistiksel yöntemlerle çalışmak, Güneş Sisteminin erken dönemlerine ait olan bu cisimler hakkında oldukça önemli bilgiler sağlamaktadır.

Yer'e çarpma riski taşıyan bazı yakın asteroidler için yörüngelerin çok daha duyarlı hesaplanması bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Hesaplardaki duyarlılık, bir çarpışmanın olup olmayacağını önceden belirlemeye ve olası bir çarpışmayı belki de engelleyebilecek bir önlemin önceden alınabilmesine imkan tanıyacaktır. Duyarlı bir yörünge hesabı, astrometrik gözlemlere kütle merkezi düzeltmesini yapmayı gerektirir. Bu düzeltmenin yapılabilmesi, asteroide ilişkin şekil bilgisine sahip olmakla mümkündür.

Asteroidlerin şekillerine ve dönme durumlarına (yani kendi eksenleri etrafındaki dönme dönemlerine, dönme yönlerine ve dönme eksenlerinin uzaydaki yönelimlerine) ilişkin başlıca bilgi edinme yolları, Yer tabanlı gözlemlerden ve uzay teleskopu ya da uzay uçuşlarıyla yapılan gözlemlerden geçmektedir. Yer tabanlı gözlemler dört temel guruba ayrılmıştır: Optik, interferometrik, radar gözlemleri ve yıldız örtülme gözlemleri. Radar gözlemleri, bazı yakın asteroidler için uygulanmaktadır ve bu gözlemlerle asteroidin içbükey yapılarını ortaya koyan çok sayıda model (radar görüntüsü) elde edilebilmektedir (Magri ve ark., 2007). Son yıllarda, uzay sondalarıyla gerçekleştirilen bazı uzay uçuşları, asteroidlerin önemli özelliklerine ilişkin oldukça değerli bilgiler sağlamıştır (Demura ve ark., 2006). Ancak uzay uçuşları sık gerçekleştirilemediği için, tek başlarına bir bilgi kaynağı olarak düşünülemezler.

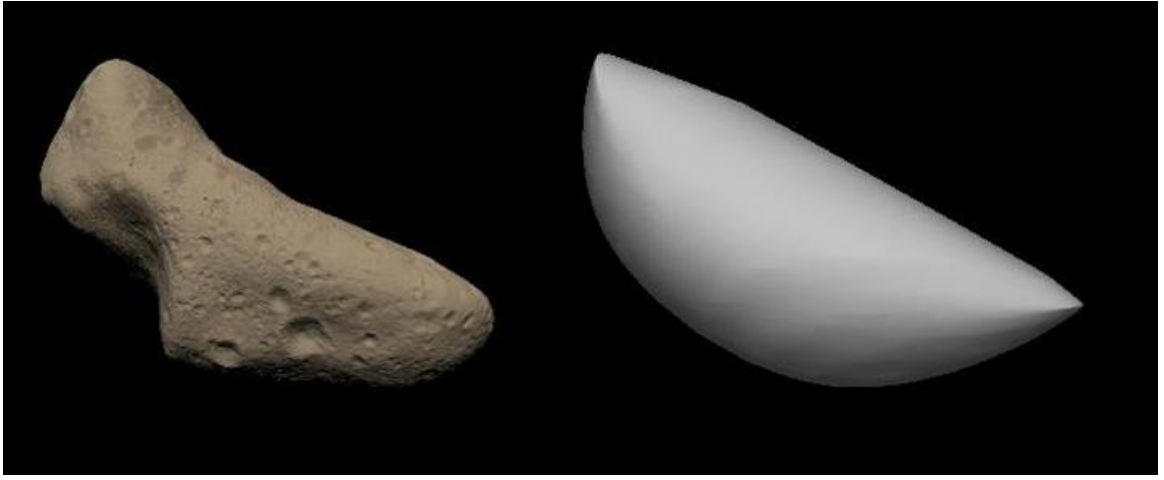
Yukarıda sayılan gözlem tiplerinden mali ve teknik anlamda en az engelle karşılaşanlar Yer tabanlı optik gözlemlerdir. Bir asteroidin Yer'e çok yaklaştığı nadir durumlarda bazen uygulanan ve özellikle bu son yıllarda kullanılan Yer tabanlı yeni bir optik gözlem türü, diğer Yer tabanlı optik gözlemlere göre daha yüksek bir maliyet ve teknik destek gerektirmektedir. "Adaptive optics" ile desteklenen büyük optik teleskoplarla yapılan bu gözlemler sonucunda elde edilen çok yüksek çözünürlüklü CCD görüntüleri, asteroidin kaba biçimini ve özellikle çoklu bir obje olup olmadığını ortaya koyabilmektedir (Marchis ve ark., 2006). Bununla birlikte, küçük boyutları ve genelde Yer'den uzak olmaları nedeniyle asteroidler, Yer tabanlı optik teleskoplar için çoğunlukla yıldız gibi noktasal kaynak olarak görünürler. Zaten, "yıldız-benzeri" anlamını taşıyan "asteroid"

terimi, ilk kez 1802 yılında bu cisimlerin bu özelliklerini vurgulama adına William Herschel tarafından kullanılmıştır.

## 1.2. Fotometri ve Fotometrik Modelleme

Nokta kaynak olarak gözlenen asteroidlerin yansıttığı toplam Güneş ışığı miktarı herhangi bir anda, Yer tabanlı optik teleskoplar ve uygun dedektörler kullanılarak fotometrik gözlem yoluyla ölçülebilmektedir. Asteroidler genellikle düzensiz şekillere sahip oldukları için, kendi eksenleri etrafında dönerlerken, yüzeylerinin “gözlenen ve aydınlanan” alanı sürekli olarak değişecektir. Bu nedenle, eğer gözlemci asteroide dönme eksenini doğrultusundan bakmıyorsa, asteroidten yansıyan toplam ışık miktarının dönmeyle değiştiğini görecektir. Sabit bir eksen etrafında (bu eksen, asteroidin eylemsizlik momentini maksimum kılan ve açılal momentum vektörüyle çakışık olan eksendir) düzgün olarak dönen bir asteroidten gözlemciye yansıyan Güneş ışığı miktarı, asteroidin şekline, boyutuna, yüzeyinin ışık saçma özelliklerine, yüzeydeki ortalama albedo değerine, albedonun yüzey boyunca dağılımına, zamana bağlı olarak değişen dönme evre açısına, geometrik yönelim parametrelerine ve asteroidin Güneş’e ve Yer’e olan uzaklıklarına bağlı olarak değişecektir (Kaasalainen ve ark., 2002a). Asteroidlerin fotometrik (ışık ölçüm) gözlemleri, bu cisimlere ilişkin önemli bazı dinamik ve fiziksel parametrelerin belirlenmesinde en çok kullanılan gözlem türüdür. Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen ve ark. (2001)’de de gösterildiği üzere, geniş bir zaman aralığı içerisinde çok çeşitli gözlem geometrilerinden elde edilmiş çok sayıdaki relatif ışık eğrisinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesi sonucunda, asteroidlerin yıldızıl dönme dönemleri (genellikle 2-30 saat arasında değişmektedir), dönme yönleri, dönme eksenlerinin uzaydaki yönelimleri, yüzeyleri boyunca bir albedo değişiminin olup olmadığı (eğer varsa bu değişim modellenilebiliyor) ve şekil modelleri belirlenebilmektedir. Farklı gözlem geometrilerinden elde edilmiş bu ışık eğrilerinin eş zamanlı analiziyle şeklin ve diğer bazı parametrelerin belirlenmesi, yine aynı kaynaklarda ilk kez önerilen “convex inversion” yöntemiyle mümkün olabilmektedir. Bu yöntem sonunda elde edilen şekil modeli, analizden önce bir ön şekil varsayılmadan elde edilir ve elde edilen bu model gerçek şeklin dışbükey kabuğuna / örtüsüne (convex hull) çok benzer olan kapalı dışbükey bir polihedron (kapalı çokyüzlü) biçimdir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Örnek olarak Şekil 1.2.1’de yer alan soldaki görüntü, asteroid 433Eros’un NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından uzaya gönderilen NEAR (Near-Earth Asteroid Rendezvous) uzay aracı gözlemleri yoluyla oluşturulmuş gerçek modeliyken, sağdaki görüntü aynı

asteroidin ışık eğrilerinden “convex inversion” yöntemi yoluyla elde edilmiş fotometrik dışbükey kabuğudur. Elde edilen bu model, yüzeyi üzerinde herhangi bir içbükey yapı sergilemez ancak olası içbükeyliklerin yüzey üzerindeki konumu hakkında tahmin yürütülmesini sağlar. Bu özelliğiyle “convex inversion”, asteroidlere ilişkin literatürde yer alan diğer fotometrik modelleme yöntemlerine göre belirgin bir üstünlüğe sahiptir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Bununla birlikte, “convex inversion” yoluyla elde edilen birkaç model için (daha çok bazı yakın asteroid modelleri için), olası içbükey yapıları ortaya koymaya yönelik uygulamalar (non-convex inversion) yapılmıştır (Kaasalainen ve ark., 2004).



Şekil 1.2.1. Asteroid 433Eros’un gerçek şekli (solda) ve “convex inversion” yoluyla elde edilmiş modeli (sağda). Nemiroff ve ark. (2001)’de verilen gerçek şekil, NASA’nın NEAR-uzay aracı gözlemleri yoluyla oluşturulmuştur. Işık eğrilerinden “convex inversion” yoluyla elde edilmiş model görüntüsü Torppa (2007)’den alınmıştır.

Uzun zaman aralığı içerisinde farklı gözlem geometrilerinden elde edilen asteroide ilişkin ışık eğrileri relatif değil de, standart bir sisteme kalibre edilmiş ışık eğrileri iseler, az önce sayılan parametrelere ek olarak, yüzeydeki ışık saçma parametreleri ve modelin dönme eksenini üzerindeki net basıklığı da ayrıca belirlenebilmektedir (Kaasalainen ve ark., 2001; Torppa, 2007). Bununla birlikte, özellikle standart fotometrik gözlemler hava şartlarına oldukça duyarlıdır. Bu tip gözlemlerin yapılabilmesi için, gökyüzü, yeterince iyi bir sinyal/gürültü oranına izin verecek ölçüde uygun olmalıdır. Standart fotometrik gözlemlerde filtre kullanımı zorunludur, bu filtreler dedektör üzerine gelen ışınımı ister istemez düşürürler ve bu nedenle gözlenebilir asteroid sayısında bir ölçüye kadar azalma

eğilimi olur. Tüm bunlara ek olarak, asteroide ilişkin standart fotometrinin yapıldığı gözlem gecelerinde standart yıldız gözlemlerinin de yapılması gerekir, bu nedenle mutlak parlaklık ölçümleri genelde zahmetli bir iştir. Dolayısıyla, asteroidlere ilişkin literatürde yer alan mutlak parlaklık gözlemlerinin sayısı, genelde yaygın kullanılamayacak ölçüde azdır. Bu sebeple, yüzeyindeki ışık saçma parametrelerinin ve dönme eksenindeki net basıklığının tam olarak belirlendiği sadece birkaç örnek “convex inversion” sonucu vardır (Durech ve ark., 2008a).

Fotometrik olarak gözlenen asteroidlerin büyük çoğunluğunu ana-kuşak asteroidler oluşturur. Çünkü ana-kuşak asteroidler, yörüngeleri üzerinde yavaş hareket etmeleri, açısız olarak Güneş’ten yeterince ayrılabilmesi ve parlak olmaları sebebiyle Yer tabanlı optik gözlem yapan çoğu teleskop için kolay hedef durumundadırlar. Ayrıca, yıl içerisinde uzun süre gözlenebilirliklerini korudukları için bu asteroidlerin gözlemleri zahmetsizce planlanabilmektedir. Tüm bu kolaylıklar nedeniyle, ana-kuşak asteroidlerin gözlemlerinde büyük profesyonel teleskopların kullanımına genellikle ihtiyaç duyulmamaktadır, zaten bu asteroidler için büyük teleskoplarda gözlem zamanı almak da oldukça zor olmaktadır (Torppa, 2007). Ana-kuşak asteroidler, bilimsel gözlemlerin küçük teleskoplarla yürütülebildiği birkaç astronomik hedeften biri olduğu için, amatör gözlemciler bu asteroidlerin fotometrik gözlemlerine önemli ölçüde katkı sağlayabilmektedir.

Diğer taraftan yakın asteroidler, yörüngeleri üzerinde hızlı hareket ederler, büyük çoğunluğu açısız olarak Güneş’ten yeterince ayrılamaz ve oldukça sönüktürler. Bu sebeple, genelde Güneş’e en uzak olan yakın asteroidlere ilişkin fotometrik gözlemler, büyük teleskoplarda kısa poz süresi kullanılarak nadiren gerçekleştirilebilmektedir (Torppa, 2007). Ayrıca, yakın asteroidlerin yıl içerisindeki gözlenebilirlik süreleri, ana-kuşak asteroidlere göre oldukça kısadır. Dolayısıyla bu asteroidlerin gözlemleri daha dikkatli planlanmaktadır. Önceden de belirtildiği gibi, şekil ve dönme durumu gibi özelliklerin belirlenmesinde ihtiyaç duyulan fotometrik veri çok çeşitli gözlem geometrilerinden elde edilmek zorundadır. Bu nedenle yakın asteroidler için uzun soluklu ya da daha çok yoğunlaştırılmış gözlem programlarına (yıl içerisindeki gözlenebilirlikleri boyunca yoğun olarak gözlenebilen bazı yakın asteroidler, sadece bu gözlemlerle uygun şekilde modellenebilmektedir) genelde ihtiyaç duyulmaktadır. Bu programlardan biri Nordic near-Earth object network (NEON) programıdır. Ancak bu tipten gözlem programlarını büyük profesyonel teleskoplarda kesintisiz olarak organize etmek kolay olmamaktadır (Torppa, 2007). Gözlem güçlükleri nedeniyle yakın asteroidler amatör gözlemciler tarafından da çok

nadir gözlenebilmektedir. Bu nedenlerle, şu an için sadece birkaç adet modellenenmiş yakın asteroid vardır (Kaasalainen ve ark., 2004).

Elde edilen ışık eğrileri içerisindeki noktalar yoğun bir dizilişe sahipse, asteroidin şekline ve yüzeyindeki olası albedo değişimine ilişkin daha detaylı bir bilgi elde edilebilmektedir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Bu tip ışık eğrileri büyük evre açılarından (evre açısı: Güneş-Asteroid-Yer açısı) alındığında ve analizde duyarlı bir ışık saçılım yasası kullanıldığında (gerçi, Kaasalainen ve ark. (2001)'de de belirtildiği gibi, elde çok farklı geometrilerden alınmış çok sayıda uygun veri varsa, gözlemdeki gürültü ve kullanılan ışık saçılım yasası ne olursa olsun, “convex inversion” sonunda elde edilen model “tek” ve “değişmez” olacaktır), şekle ilişkin genel içbükeylik özellikleri tahmin edilebilmekte ve “convex inversion” yöntemi sonucunda elde edilen kapalı dışbükey polihedrona “non-convex inversion” uygulanabilmektedir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Evre açılarının maksimum değeri ortalama 30 dereceyi bulan ana-kuşak asteroidlerden farklı olarak, yakın asteroidler daha büyük evre açılarından gözlemlenebilmektedirler. Bu nedenle, yakın asteroidlere ilişkin elde edilen şekil modellerinin bazıları, üzerlerinde “non-convex inversion” uygulamasının yapılmış olduğu ve bu sayede genel içbükeylik özelliklerini sergileyebilen modellerdir (Kaasalainen ve ark., 2004; Durech ve ark., 2008a).

Gözlenen ana-kuşak asteroidlerden büyük kütleli olanların tamamı sabit bir eksen etrafında düzgün olarak dönse de, şu an için bilinen birkaç yakın asteroid için böyle bir dönme söz konusu değildir. Serbest yalpalama ve YORP etkisi (the Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack effect) genellikle bazı küçük kütleli asteroidlerde gözlenir (Kaasalainen ve ark., 2002a; Torppa, 2007). Yakın asteroidlerin büyük çoğunluğu küçük kütleli olduğu için, Güneş'ten gelen ve asteroid yüzeyine çarpan fotonların meydana getirdiği zayıf itme kuvveti ve yüzeyden anizotropik olarak yansıyan ve salınan enerjinin oluşturduğu tepki kuvveti sonucunda oluşan YORP etkisi nedeniyle, özellikle bazı yakın asteroidlerin dönme durumları zamana bağlı olarak yavaş yavaş değişmektedir.

Fotometrik gözlemler yoluyla dinamik ve fiziksel parametrelere ulaşmada, bazı yakın asteroidler için serbest yalpalamaya ve/veya YORP etkisine ilişkin etkilerin analiz sırasında uygun biçimde hesaba katılması gerekmektedir (Kaasalainen, 2001; Taylor ve ark., 2007).

## BÖLÜM II

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Asteroidleri fotometrik yolla modellemeye çalışan ilk kişi Henry Norris Russell olmuştur. Russell daha önceleri yıldız fotometrisi üzerine çalışmıştı. Yıldızlar, yüzeylerinin her noktasından uzaya ışık yayan gök cisimleri olduklarından, üzerlerinde çokça tecrübe edinmiş olduğu bu cisimlerin bu özelliğine benzeyen bir özellik kazanabilmeleri adına, asteroidleri her zaman karşı konumda (opozisyonda yani minimum evre açısında) gözlemeyi tercih etti. Karşı konumdayken parlaklıkları maksimum olan ve yüzeylerinin görünen her noktasından ışık saçan asteroidler, 20. yüzyılın başlarından bu yana genelde bu pozisyonda gözlenmiş ve analizlerde çoğunlukla karşı konum geometrisi çalışılmıştır. Russell, sağlıklı bir yaklaşım yapmış ve karşı konumdaki bir cismin ışığı geometrik olarak saçtığını varsaymıştır. Bu durumda, asteroidten gelen toplam ışınım miktarı direkt olarak cismin gökyüzü düzlemi üzerindeki izdüşüm alanına bağlı olmaktadır. Russell, sadece karşı konumda elde edilmiş ışık eğrilerinden yola çıkılarak, asteroide ilişkin şekil ve yüzey boyunca olabilecek olası albedo değişiminin kabul edilebilir herhangi bir doğrulukla birbirlerinden ayıramayacağını belirtmiştir (Russell, 1906).

20. yüzyılın ortalarından itibaren önerilen ve asteroidlerin karşı konum ışık eğrilerini yorumlayan yöntemler her ne kadar devamlı bir gelişim içerisinde bulunmuş olsalar da, özellikle bu yöntemlerdeki şekil modelleri genellikle, Russell'ın çıkardığı sonucun belki de olası etkisi nedeniyle, çok basit olarak üç eksenli bir elipsoid biçiminde varsayılmıştır. Russell'dan bu yana, teorik çalışmalar, gözlem aletleri ve bilgisayar tabanlı analizler belirgin ölçüde gelişmiştir. Ancak, ışık eğrileri yoluyla asteroidlerden detaylı bilgi sağlanamayacağına dair var olan genel kanı sebebiyle, analizlerde kullanılan şekil modellerine ilişkin ilk örnekler büyük çoğunlukla böyle basit tasarlanmıştır.

Taylor (1979)'da net olarak açıklanan “fotometrik astrometri yöntemi” (“epoch method” ya da EM), farklı gözlem geometrilerinden elde edilmiş ışık eğrilerini kullanan ve herhangi bir şekil modeli varsaymadan ve bulmadan, asteroide ilişkin sadece dönme durumunu (asteroidin kendi eksenini etrafındaki yıldız dönme dönemini, dönme yönünü ve dönme ekseninin uzaydaki yönelimini) belirleyen bir yöntemdir. Yöntem, ışık eğrilerinde asteroid yüzeyinin özellikli bir bölgesine karşılık gelen karakteristik bir desene (bu, ışık eğrisinde belli bir ekstremum noktası olabilir) odaklanır. Bir asteroidin kendi eksenini etrafındaki sinodik dönme dönemi, asteroide ilişkin dönme durumuna bağlı olduğundan,



söz konusu desenin tüm ışık eğrilerindeki zamanlarından yola çıkılarak, sayısal çözümleme yoluyla dönme durumu elde edilebilmektedir (Taylor, 1979; Taylor ve Tedesco, 1983; Michalowski, 1988).

Kimi zaman “magnitude-aspect” ya da “amplitude-aspect” olarak da isimlendirilen ve genellikle fotometrik astrometri yöntemini tamamlamaya yönelik kullanılan genlik-parlaklık yöntemi (“amplitude-magnitude method” ya da AM), varsayılan model şeklin seçimi açısından ve azalan evre açısı boyunca meydana gelen parlaklık artışını hesaba katış biçimi açısından birkaç farklı çeşide sahiptir. Örnek olarak Zappala (1981)’de, en küçük eksen (birim eksen  $c$ ) etrafında dönen üç eksenli bir elipsoid ( $a > b > c$ ) olduğu varsayılan asteroidin, farklı tarihlerdeki karşı konumlarından elde edilen kalibre edilmiş ışık eğrilerine yarı-analitik bir yöntem uygulanmış, elipsoid modele ilişkin eksen oranları ve dönme ekseninin uzaydaki yönelimi belirlenmiştir. Bu yöntem, karşı konumda gözlenen bir asteroidin ışık eğrisine ilişkin parlaklık değerlerinin ve genliğin sadece görünüş (“aspect”) açısına bağlı olarak değiştiği gerçeğine dayanır. Bu açı, asteroidin dönme eksenine, asteroid – Yer doğrultusu arasında kalan açıdır. Farklı karşı konumlarda görünüş açısı genelde farklı değerler alır, bu nedenle asteroide ilişkin ışık eğrisinin genliği ve aynı dönme evresine karşılık gelen parlaklık değerleri bir karşı konumdan diğer bir karşı konuma değişecektir. Çok sayıda karşı konum gözlemi elde mevcutsa, asteroidin ışık eğrisine ilişkin olası maksimum genlik değeri ve buradan da modelin ( $a / b$ ) eksen oranı bulunabilmektedir. Bu değerler elde edildikten sonra, farklı görünüş açılarından elde edilmiş genlik ve parlaklıkların (bu parlaklıklar aynı dönme evresine karşılık gelmelidir) karşılaştırılması sonucunda da ( $b$ ) değeri belirlenmektedir. Son olarak, asteroide ait konum ve dönme eksenini yönelimi arasında kurulan bir ilişkiden yola çıkılarak, eksenin tutulum düzleminin Kuzeyinde kalan doğrultusuna ilişkin belli aralıkta denenen her tutulum enlemi değerine karşılık, eksenin olası tüm tutulum boylamı değerleri bulunmaktadır. Dönme eksenine ait olası bu tüm çözümler (olası tüm tutulum enlemi ve tutulum boylamı değerleri) enlem ve boylam dağılımını gösteren bir grafiğe noktalandığında, noktaların genellikle iki farklı bölge üzerinde toplandığı görülecektir (Zappala, 1981). Fotometrik astrometri uygulaması yapan Michalowski (1988)’de de bahsedildiği üzere, özellikle düşük yörünge eğimine sahip asteroidler için dönme eksenini yönelimine ilişkin genellikle iki olası çözüm (çözümlerden biri “mirror” çözümdür) elde edilmektedir.

Bununla birlikte, sinüs benzeri ışık eğrileri veren basit üç eksenli bir elipsoidin, asteroidlerin çoğunu modellemede yetersiz kaldığı gerçeğinden yola çıkan Cellino ve ark. (1989), AM ve EM yöntemleri için daha detaylı bir şekil modeli kullanmayı önerdiler.

Önerdikleri bu model, farklı yarı eksen uzunluklarına sahip sekiz adet sekizde birlik elipsoid parçasının birleştirilmesine ve sonuçta kapalı dışbükey genel bir şekil elde edilmesine dayalıydı. Birleştirilen bu parçalar arasında birbirlerine komşu olan parçalar, ortak iki eşit yarı eksene sahip olmaktadır. Bu tip şekil modelleri, asteroidlerin gözlenen ışık eğrilerine gerçekten de çok benzer ışık eğrileri üretmektedir (Cellino ve ark., 1989).

Lumme ve ark. (1990), dönme ekseni doğrultusunu hesaplamak için, cismin şeklinden ve yüzeyindeki olası albedo değişiminden bağımsız olan, genelde farklı yıllarda elde edilmiş ve sıfır evre açısına ekstrapole edilmiş ışık eğrilerini kullanan bir yöntem geliştirdiler. Ekstrapole edilmiş bu ışık eğrilerini, görünüş açısına ve dönme evre açısına bağlı bir seri açılım şeklinde ifade eden bu yöntemin, üç eksenli elipsoid modelini kullanan yöntemlere göre daha duyarlı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Bazı içbükeyliklerin ışık eğrileri üzerindeki etkilerini incelemek üzere, Karttunen (1989) ve Karttunen ve Bowell (1989), elipsoid modeller üzerine küresel kraterler yerleştirdiler ve hesapladıkları sentetik ışık eğrileri arasında karşılaştırmalar yaptılar. Böyle etkilerin pratikte bolca olabileceği, ancak görel olarak sığ olan kraterlerin ışık eğrisi üzerindeki etkilerinin gözlemsel gürültüden ayırt edilemez boyutta kalacağı sonucuna vardılar.

Detal ve ark. (1994), karşı konum gözlemlerinden yola çıkarak, asteroide ilişkin dönme ekseni yönelimini, çoklu ışık saçma parametresini ve elipsoid şekli (ya da çok katmanlı biçimde dışbükey polihedron şekli) veren üç yöntem ortaya koydular. Yöntemlerden biri, şekli değil fakat asteroid üzerindeki genel albedo dağılımını belirlemeye yönelik tasarlandı. Karşı konum etkisini de hesaba katan bu yöntemlerden ikisi orijinal, diğeri ise önceki bazı yöntemlerin geliştirilmiş halidir.

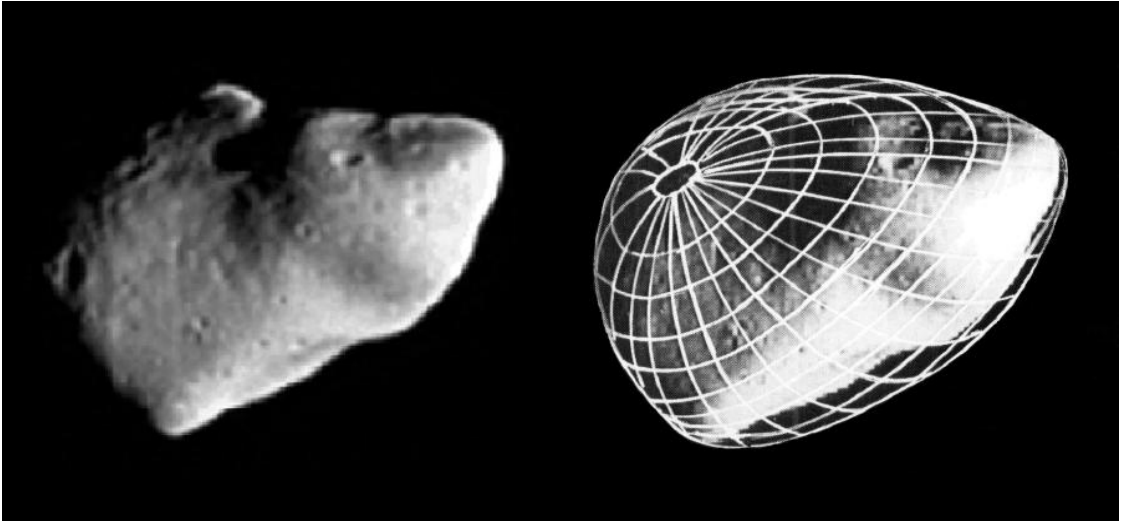
Büyük evre açılarından gözlenmiş yakın asteroid 1620Geographos'un dönme durumunu belirlemek için EM ve AM yöntemlerini kullanan bir çalışma grubu, elde edilen ışık eğrileriyle daha iyi bir uyum gösterdiği gerekçesiyle, bu asteroid için uçları normale göre daha sivri olan bir elipsoid modeli kullandılar. Genlik ve parlaklıkları daha iyi tanımlayabilmek için, AM yöntemlerinde farklı bazı yolları bir araya getirdiler. Ayrıca, asteroid büyük evre açılarından gözlendiği için, hesaplamalarda geometrik olmayan ışık saçılımını ve gözlenen parlaklığa yüzeyin sadece "gözlenen ve aydınlanan" kesrinin katkı veriyor olduğu gerçeğini dikkate aldılar (Magnusson ve ark., 1996).

Kaasalainen ve ark. (1992a, b), dışbükey cisimlerin ışık eğrilerine yönelik analiz yöntemlerini daha çok teorik bir bakış açısı altında çalıştılar. Yeterli sayıda gözlem geometrilerinden elde edilmiş kaliteli fotometrik veriler yoluyla, asteroide ilişkin dönme

durumunun, dışbükey şeklin, yüzeydeki olası albedo değişiminin ve yine yüzeye ilişkin ışık saçma parametrelerinin, herhangi bir ön modele ihtiyaç duyulmadan eş zamanlı olarak bulunabileceğini gösterdiler. Böylece, ışık eğrileri yoluyla asteroidlerden detaylı bilgi sağlanamayacağına dair var olan genel kanının yanlış olduğunu kanıtladılar. Ayrıca, iki asteroide ilişkin fotometrik gözlemlerin analiziyle, bu asteroidlerin şekil modellerini elde ettiler ve pratikte analiz için uygulanması gereken bazı kısıtlamaları tartıştılar.

Barucci ve ark. (1992), Kaasalainen ve ark. (1992a, b)'de anlatılan “fotomorfografik analiz” metodunu, Cellino ve ark. (1989)'da geçen “elipsoid octant” yöntemini, ayrıntıları Fulchignoni ve Barucci (1988)'de verilen ve sentetik ışık eğrilerini gözlemsel ışık eğrilerine benzetinceye kadar, kullanıcıya kapalı bir polihedron üzerinde geniş seçenekli oynamalar yapma imkanı sunan bir algoritmayı (polihedron metodunu) kullanarak, bu üç farklı yöntemden asteroid Gaspra'ya ait üç şekil modeli elde ettiler. Tüm bu modelleri Galileo uzay aracının görüntüleriyle karşılaştırdılar ve söz konusu bu üç yöntemin asteroidin genel şeklini açıklamada oldukça iyi olduğunu gördüler. Bununla birlikte, her bir yöntemin kendine has avantajı ve eksikliği bulunduğunu, bu nedenle herhangi birini diğerlerine tercih etmek için geçerli bir sebebin olmadığını belirttiler.

Şekil 2.1'de yer alan soldaki fotoğraf, asteroid 951Gaspra'nın NASA'ya ait Galileo uzay aracından elde edilmiş görüntüsüdür (Belton ve ark., 1992). Sağdaki resim ise, aynı asteroidin ışık eğrilerine fotomorfografik analiz yapılarak elde edilen model ile asteroide ilişkin gerçek görüntü arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir (Barucci ve ark., 1992).



Şekil 2.1. 951Gaspra'nın gerçek görüntüsü (solda) ve fotomorfografik analizle elde edilmiş modelin gerçek görüntüyle karşılaştırılması (sağda).

Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen ve ark. (2001), Kaasalainen ve ark. (1992a, b)'deki çalışmaları temel alan “convex inversion” yöntemini geliştirdiler. Değişik içbükey modellere ilişkin test ışık eğrilerine ve uzay sondaları ya da radar yoluyla şekilleri bilinen asteroidlerin gerçek gözlemsel ışık eğrilerine bu “convex inversion” yöntemini uyguladılar. Elde edilen tüm modellerin, gerçek şekle ilişkin dışbükey kabuk (convex hull) olduklarını ve eğer elde yeterli geometrilere sağlanmış ışık eğrileri varsa, analiz sonucunun “tek” ve “değişmez” olacağını belirlediler. Basit yapıya dayalı deneysel bir ışık saçılım yasası geliştirdiler ve bu yasayla, yüzeye ilişkin fiziksel özelliklerin ileri analizinde kullanılacak referans ışık eğrilerinin ve evre eğrilerinin hesaplanabileceğini belirttiler (elde kalibre edilmiş gözlemler varsa). Muinonen (1998) ve Muinonen ve Lagerros (1998)'de içbükeyliklere sahip kapalı şekillere ilişkin yapılan çalışmalara bazı düzenlemeler uyguladılar (kendi yöntemlerine uyarlamak için). Bu sayede, dışbükey çözüm üzerindeki olası büyük içbükeyliklere ilişkin “nitelikleri”, düz problem çözümü yaparak belirlemeyi amaçlayan ve aslında “convex inversion” sonucunda elde edilen çözümler kadar kararlı çözümler sunmayan “non-convex inversion” yöntemini geliştirdiler ve bu yönde birkaç uygulama yaptılar. Bununla birlikte, içbükeylik özellikleri gösteren şekiller için bile, “convex inversion” yoluyla elde edilen dışbükey modellerin gerçek şekle ilişkin kaba özellikleri genel olarak ortaya koyabildiğini belirttiler.

Uygulamaya yönelik sonraki çalışmalarda, büyük çoğunluğu ana-kuşaktan olan belirli asteroidlere “convex inversion” yöntemi yoluyla analiz yapıldı. Genellikle daha küçük olan asteroidler arasında oldukça geniş bir şekil çeşitliliği olduğu, bu şekil çeşitliliğinin aslında görece büyük asteroidler arasında da azımsanamayacak ölçüde var olduğu ve genellikle büyük olan bazı asteroidlerin albedo değişimi gösterdiği belirlendi (Kaasalainen ve ark., 2002b; Torppa ve ark., 2003).

Bazı asteroidlerin sabit bir eksen etrafında dönmüyor olabileceği ihtimalini göz önünde bulunduran Sher (1971), serbest (kuvvet etkisiz) yalpalamaya yönelik gerçekleştirilen ilk teorik çalışmalardan birini yapmıştır. Sonraki yıllarda Barsuhn (1983), serbest yalpalayan elipsoid biçimli düz bir model için sentetik ışık eğrileri hesaplamış ve ışık eğrilerinden yola çıkılarak serbest yalpalamanın nasıl teşhis edilebileceğine dair yorumlar yapmıştır. Bu konuyla ilgili uygulamalardan biri, Kryszczyńska ve ark. (1999) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma gurubu, elipsoid bir şekil varsayarak, serbest yalpalayan asteroid 4179 Toutatis'in gözlemsel ışık eğrilerine uyan model ışık eğrileri oluşturmuştur. Kaasalainen (2001), “convex inversion” yöntemine serbest yalpalamaya yönelik parametreleri ekleyerek, yalpalayarak dönen içbükey özelliklere sahip bir modelin test ışık

eğrilerine yenilediği bu yöntemi uygulamış ve yalpalama ömürlerinin uzun olması nedeniyle, yavaş dönen yakın asteroidler için bu tipte dönmelerin daha çok gözlenebileceğini vurgulamıştır.

Güneş ışığının etkisiyle dönme durumları zamanla değişen bazı küçük asteroidlerin dinamik ve fiziksel parametrelerine ışık eğrileri yoluyla ulaşabilmek için, YORP etkisini hesaba katıp çözümlenmeler yapan bazı çalışmalar olmuştur (Taylor ve ark., 2007; Durech ve ark., 2008b).

Günümüzde, asteroidlere ilişkin genel şekil ve dönme durumu dağılımını elde etmeye yönelik çeşitli çalışmalar başlatılmıştır. Gözlemleri yakın gelecekte daha da hızlanacak olan genel gök taramalarının oluşturacağı formattaki yaygın bir veri örneğine, “convex ve non-convex inversion”, istatistiksel bir bakış açısı altında uygulanmış, sonuçlar yorumlanmış ve tartışılmıştır (Torppa ve Muinonen, 2005). Böyle bir veri örneği, yine genel çözüm dağılımını elde etmeyi amaçlayan ve elipsoid model yaklaşımını temel alan başka bir yöntemle de analiz edilmiş, elde edilen sonuçların yeterince makul olduğu ortaya konmuştur (Cellino ve ark., 2006).

Yakın asteroidlere ilişkin, Nordic NEON (Near Earth Object Network) gözlem programı kapsamında elde edilen ilk fotometrik veriler, “convex inversion” yoluyla analiz edilmiştir. Bununla birlikte, sınırlı bir veriden şekil modellerine ve dönme durumlarına ait olası çözüm dağılımını elde etmeye yarayan yeni bir yöntem sunulmuştur (Muinonen ve ark., 2007).

Asteroidlerin dışbükey şekil modellerini az sayıda parametreyle karakterize etmeye yönelik bazı yöntemler sunan Torppa ve ark. (2008), bu yöntemleri, “convex inversion” yönteminden elde edilmiş 87 modele uygulamış ve asteroidlere ilişkin farklı özellikler (şekil, boyut, kimyasal yapı, dönme dönemi gibi) arasında çeşitli korelasyonlar belirlemişlerdir. Bununla birlikte onlar, elde edilen sonuçların güvenilirliğini artırmak adına, özellikle uç örneklerle (yani küçük/büyük ve yavaş/hızlı dönen asteroidler için) ilişkin çok sayıda gözleme ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

Çift yıldız sistemleri kadar fazla olmasa da, asteroidler arasında çift asteroidlerin bulunma oranı yine de az değildir. Genel olarak Yer’den nokta kaynak şeklinde gözlenen çift asteroidlerin bazıları için, “adaptive optics” yoluyla, bileşenlerinin ayrı ayrı seçilebildiği yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir. Kaasalainen ve ark. (2002c), “convex inversion” yoluyla modellenmiş bazı asteroidlerin, bir ucu diğerine göre çok daha küçük olan koni biçimli dışbükey kabukları olduğunu belirtmiş ve bu asteroidlerin senkronize dönme gösteren çift asteroidler olabileceğine dikkat çekmiştir.

Ancak, ana-kuşak asteroidlere ilişkin ışık eğrileri, içbükeyliklere ilişkin yeterli bilgiler içermediklerinden, çift yapıya ilişkin içbükey özellikleri sergileyen daha betimleyici bir modelin ana-kuşaktakiler için çoğunlukla belirlenemeyeceğini öngörmüştür.

Radar ya da “adaptive optics” yoluyla doğrulama yapılamayacak kadar uzak olan bazı asteroidlerin ışık eğrilerindeki tutulma benzeri değişimler, bu asteroidlerin çift olacağı ihtimalini çoğu kez gündeme getirmektedir. Herhangi bir çift asteroid sistemine ilişkin “genel” model, tutulmalardan faydalanılarak çeşitli yöntemlerle elde edilebilmektedir (Mottola ve Lahulla, 2000; Pravec ve ark., 2000; Descamps ve ark., 2007).

Son zamanlarda geliştirilmiş yeni ve güçlü bir analiz yöntemi yoluyla, bazı asteroidlerin şekli, dönme durumu ve boyutu duyarlı bir biçimde elde edilebilmektedir. KOALA (Knitted Occultation, Adaptive-optics, and Lightcurve Analysis) olarak isimlendirilen bu analiz yöntemi, “adaptive optics” yoluyla elde edilmiş yüksek çözünürlüklü görüntüleri, farklı gözlem geometrilerinden elde edilmiş ışık eğrilerini ve yıldız örtülme gözlemlerine ilişkin verileri beraberce değerlendirerek çözümlenmektedir. Ayrıntıları Kaasalainen (2010)’da verilen bu yönteme ilişkin bazı yeni uygulamalar yapılmıştır (Carry ve ark., 2010a; Carry ve ark., 2010b).

## BÖLÜM III

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Asteroidlerde Fotomorfografik Analiz (Genel Açıklama)

Asteroidlere yönelik fotomorfografik analiz yöntemine ilişkin teori ve bazı uygulamalar ilk kez Kaasalainen ve ark. (1992a, b)'de verilmiştir. Kaasalainen, sonraki yıllarda, bu yöntemi temel alan “convex inversion” algoritmasını geliştirmiş ve ilgili teori ve uygulamalar Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen ve ark. (2001)'de açıklanmıştır. Buna göre, geniş bir zaman aralığı içerisinde çeşitli gözlem geometrilerinden elde edilmiş çok sayıda ışık eğrisinin eş zamanlı analiziyle, asteroidlerin dönme durumları (yani kendi eksenleri etrafındaki dönme dönemleri, dönme yönleri ve dönme eksenlerinin uzaydaki yönelimleri), yüzeyleri boyunca bir albedo değişiminin olup olmadığı (eğer varsa bu değişim modellenilebiliyor), yüzeydeki ışık saçma parametreleri ve şekil modelleri belirlenebilmektedir. Bu yöntemle elde edilen şekil modeli, analiz öncesi bir ön şekil varsayılmadan elde edilir ve elde edilen bu model gerçek şeklin dışbükey kabuğuna / örtüsüne (convex hull) çok benzeyen kapalı dışbükey bir polihedron (kapalı çokyüzlü) biçimdir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Model, yüzeyi üzerinde herhangi bir içbükey yapı sergilemez ancak olası içbükeyliklerin yüzey üzerindeki konumu hakkında tahmin yürütülmesini sağlar. Bu özelliğiyle “convex inversion”, asteroidlere ilişkin literatürde yer alan diğer fotometrik modelleme yöntemlerine göre belirgin bir üstünlüğe sahiptir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Bununla birlikte, “convex inversion” yoluyla elde edilen bazı modeller için, olası içbükey yapıları ortaya koymaya yönelik uygulamalar da (non-convex inversion) yapılmıştır (Kaasalainen ve ark., 2004).

Uzun zaman aralığı içerisinde farklı gözlem geometrilerinden elde edilen asteroide ilişkin bu ışık eğrileri relatif ışık eğrileri iseler, yüzeydeki ışık saçma parametreleri belirlenemez (Kaasalainen ve ark., 2001). Ayrıca, relatif ışık eğrileriyle, modelin dönme eksenini üzerindeki net basıklığı bazı ender durumlarda iyi belirlenememektedir (Torppa, 2007).

### 3.2. Analizde Kullanılan Veri ve Materyal

Bu çalışmada, kolay gözlemlenebiliyor olmaları nedeniyle görelî olarak kısa dönme dönemine sahip ana-kuşaktan dört adet parlak asteroid seçilmiş ve bu asteroidlerin dönme durumlarını, şekillerini ve yüzeyleri üzerinde belirgin bir albedo değişimi olup olmadığını Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen ve ark. (2001)'de açıklanan “convex inversion” yöntemiyle yeniden belirlemek için fotometrik gözlemler yapılmış ve bu asteroidlere ilişkin relatif ışık eğrileri elde edilmiştir.

Gerçekte, seçilen bu dört asteroidin (201Penelope, 511Davida, 694Ekard, 776Berbericia) literatürde şekil ve dönme modelleri mevcuttur; bununla birlikte bu bilgilere ulaşmak için, yeterli miktarda gözlem geometrilerinden elde edilen zamana yayılmış çok sayıda fotometrik veriye ihtiyaç duyulduğundan, elimizdeki sınırlı veri, “convex inversion” uygulamasının Türkiye'deki ilk örneğini ortaya koymak adına literatürdeki verilerle birlikte göz önüne alınmıştır.

Çalışmadaki analizlerde, Durech ve ark. (2008a)'da verilen, daha önce Mikko Kaasalainen tarafından Fortran'da geliştirilen ve sonra Josef Durech tarafından C'ye dönüştürülen kod (convexinv ve lcgenerator) ve Warner (2007)'de açıklanan, orijinal kodu esas alan Windows tabanlı bir program olan MPO LCInvert kullanılmıştır.

Yüzey üzerinde albedo değişimi olup olmadığına dair bir fikir sağlayabilseler de, bu yazılım ve program, standart kullanım çerçevesi içerisinde albedo değişimine yönelik bir modelleme yapmamaktadır. Kaasalainen ve Torppa (2001)'de de belirtildiği gibi, asteroidlerin ışık değişimi göstermesine neden olan baskın sebep şekildir. “Convex inversion” yönteminde, albedo değişimi gösteren bir asteroidin şekli, albedo modellemesiyle elde edilmiş olsun ya da olmasın, elde edilen iki şekil arasında genellikle çok belirgin bir fark gözlenmeyecektir. Albedo modellemesine sadece gerekli ve nadir durumlarda başvurulmaktadır (Kaasalainen ve ark., 2002b). Bu nedenle, ilgili yazılım ve program, standart kullanım çerçeveleri dışına çıkılmadan, tüm pratik amaçlar için, albedo değişimi gösteren asteroidlerin analizinde de kullanılmaktadır (Durech ve ark., 2008a).

Özellikle, evre açılarının maksimum değeri ortalama 30 dereceyi bulan ana-kuşak asteroidler için, yüzeydeki içbükeylik ve ışık saçılım özelliklerinin ışık eğrileri üzerindeki etkisi, genellikle gözlemsel gürültü boyutundadır (gerçi büyük içbükeyliklerin etkisi, büyük evre açılarından alınan ışık eğrileri için bile genel olarak zayıftır) (Kaasalainen ve ark., 2001). Bu nedenle, ışık eğrilerinde içbükeyliklere ilişkin genellikle yeterli bilgi



içermeyen ana-kuşak asteroidlerin en makul modelleri, çoğunlukla “non-convex inversion” ile değil, “convex inversion” yoluyla elde edilmektedir (Durech ve ark., 2008a).

Gözlenen ana-kuşak asteroidlerin (büyük kütleli) tamamı sabit bir eksen etrafında düzgün olarak dönmektedir (Kaasalainen ve ark., 2002a; Torppa, 2007). Bu çalışmada seçilen ana-kuşak asteroidler görece büyük oldukları için, serbest yalpalamaya ya da YORP etkisine ilişkin bir uygulama yapılmamıştır.

Relatif ışık eğrileri yoluyla genel çözümlemelere ulaşıldığı için, farklı filtrelerden alınmış veriler, renge bağlı bir değişim göstermiyor olmaları şartıyla, bir arada kullanılabilir (Kaasalainen ve ark., 2002b). Bu çalışma için seçilmiş asteroidler, yüzeylerinde herhangi bir renk değişimi göstermeyen asteroidler olup, analizde kullanılan verilerin büyük çoğunluğu görsel filtrede elde edilmiş verilerdir.

### 3.3. Asteroidlerde Fotomorfografik Analize İlişkin Ana Mantık

Bu bölüm, “convex inversion” yöntemine ilişkin polihedron yaklaşımını, belli bir çerçeve içerisinde ortaya koymaktadır.

Bu yaklaşımda, asteroidin üç boyutlu geometrisi, sabit bir eksen etrafında düzgünce dönen genel kapalı dışbükey bir polihedron olarak varsayılmaktadır. Böyle bir polihedrondan yansıyan ışık (Güneş ışığı), asteroidin Yer’e ve Güneş’e olan uzaklığı 1 AB’ne indirgenmişse (relatif ışık eğrileri için bu şart değildir),

$$L = L [(b_1, \theta_1, \varphi_1; b_2, \theta_2, \varphi_2; \dots; b_n, \theta_n, \varphi_n), S, \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, albedo \text{ de\u0131i\u015fimi}, Y, A, t] \dots (3.3.1)$$

şeklinde çok sayıda parametre ve değişkene bağlı bir fonksiyon olur. Doğal olarak,  $L$  değeri, aynı asteroid için boyut ve yüzeydeki ortalama albedo değerinden bağımsızdır (yüzeydeki ortalama albedo değeri, gerçekte  $S$  saçılım fonksiyonu içinde geçen bir parametredir). (3.3.1) ifadesindeki değişkenler,

$j = 1, 2, \dots, n$  ve  $n$ , kapalı dışbükey polihedron üzerindeki toplam düzlemsel yüzey (yüz ya da facet) sayısı olmak üzere,  $b_j$ ,  $j$ . yüzün alanı,  $(\theta_j, \varphi_j)$  ise kapalı dışbükey polihedronun kendi coğrafi (ekvatorial) koordinat sisteminde tanımlanan ve polihedronun  $j$ . yüzüne ait olan dış normal birim vektörün koordinatlarıdır. Tüm bu ifadeler, polihedrona ilişkin şekil parametreleridirler. Bunun dışında,

$S$ : Fotomorfografik analizde kullanılan uygun bir ışık saçılım yasası (fonksiyonu),

$\lambda_0$ : Asteroidin dönme ekseninin + ucunun tutulum boylamı,

$\beta_0$ : Asteroidin dönme ekseninin + ucunun tutulum enlemi,

$P_{sid}$ : Asteroidin dönme eksenini etrafındaki yıldızın dönme dönemi,

$Y$ : Yer'in yörünge elemanları,

$A$ : Asteroidin yörünge elemanları,

$t$ : Zaman

olarak tanımlanmaktadır.  $(\lambda_0, \beta_0, P_{sid})$  parametreleri, asteroide ilişkin dönme durumunu ifade ederler. Asteroidin dönme ekseninin + ucu, dönme ekseninin Kuzey ucu (asteroide göre) olarak tanımlanır ve tepedeki bir noktadan asteroidin Kuzey kutbuna bakan bir gözlemci için asteroidin pozitif yönde döndüğü kabul edilir. Bu durumda dönme ekseninin + ucu negatif bir tutulum enlemine sahipse, asteroidin kendi eksenini etrafındaki dönmesi negatif yönlü olacaktır.

Polihedronun,  $j$ . yüzüne ilişkin albedo değeri  $w_j$  olmak üzere, albedoya ve alan değerine ilişkin bilgiyi içine hapseden  $g_j$  ifadesi,

$$g_j = w_j b_j \dots\dots\dots(3.3.2)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Kaasalainen ve ark., 2002b). (3.3.1) ifadesinde gösterilen değişkenlerden “*albedo değişimi*”, Kaasalainen ve ark. (2002a)’da, (3.3.2) tanımı kullanılarak şekil parametrelerine dahil edilmiştir. Buna göre, (3.3.1) ifadesi,

$$L = L [(g_1, \theta_1, \varphi_1; g_2, \theta_2, \varphi_2; \dots; g_n, \theta_n, \varphi_n), S, \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, Y, A, t] \dots\dots\dots(3.3.3)$$

biçimini alır.

Kaasalainen ve ark. (2001)’de de belirtildiği gibi, “convex inversion” yönteminde genellikle aşağıdaki gibi deneysel yapıya bir ışık saçılım yasası (fonksiyonu) kullanılmaktadır:

$$S = S(\mu, \mu_0, \alpha) = [a \exp(-\alpha / d) + k\alpha + 1] \mu \mu_0 [(1 / (\mu + \mu_0)) + c] \dots\dots\dots(3.3.4)$$

Formülde geçen  $a$ ,  $d$ ,  $k$  ve  $c$  ( $c$  parametresi asteroidin varsayılan ortalama albedosuna bağlı bir parametredir) parametreleri ışık saçma parametreleri olarak isimlendirilmektedir ve gözlemsel veriye yapılan sentetik ışık eğrisi fitini güçlü biçimde etkilemediklerinden dolayı, relatif ışık eğrileri için belirli ortalama değerlere sabitlenebilmektedirler (Torppa, 2007). Bu ifadede geçen değişkenler,

$\mu$ : Polihedronun (asteroidin) herhangi bir yüzüne ilişkin dışa yönelmiş birim normal vektörün, asteroid – Yer birim vektörüyle yaptığı açının kosinüsü,

$\mu_0$ : Polihedronun (asteroidin) herhangi bir yüzüne ilişkin dışa yönelmiş birim normal vektörün, asteroid – Güneş birim vektörüyle yaptığı açının kosinüsü,

$\alpha$ : Asteroide ilişkin evre açısı (Güneş-Asteroid-Yer açısı)

şeklinde tanımlanmaktadır. Polihedrona ilişkin  $j$ . yüz için  $\mu$  ve  $\mu_0$  değişkenleri,

$$\mu_j = \mu_j [(\theta_j, \varphi_j), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, Y, A, t] \dots\dots\dots(3.3.5)$$

ve

$$\mu_{0j} = \mu_{0j} [(\theta_j, \varphi_j), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, Y, A, t] \dots\dots\dots(3.3.6)$$

biçiminde ifade edilebilen fonksiyonlardır. Polihedron üzerinde herhangi bir yüze bağlı olmayan  $\alpha$  ise,

$$\alpha = \alpha (Y, A, t) \dots\dots\dots(3.3.7)$$

olarak gösterilebilen bir fonksiyondur.

Yer'in ve asteroidin yörünge elemanlarını biliyor olduğumuza göre herhangi bir  $t$  anı (gözlem geometrisi) için,  $j$ . yüze ait ışık saçılım ifadesi ve  $j$ . yüzden gelen ışık miktarı sırasıyla,

$$S_j = S_j [(\theta_j, \varphi_j), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}] \dots\dots\dots(3.3.8)$$

$$L_j = L_j [(g_j, \theta_j, \varphi_j), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}] = L_j (S_j, g_j) \dots\dots\dots(3.3.9)$$

şeklinde fonksiyonlar olurken,  $j$ . yüzden gelen ışık miktarının açık ifadesi,

$$L_j = S_j g_j \dots\dots\dots(3.3.10)$$

biçiminde verilmektedir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Bu durumda  $L$ 'nin herhangi bir  $t$  anı (gözlem geometrisi) için, polihedronun görünen ve aydınlanan ( $\mu, \mu_0 \geq 0$  şartı) yüzleri üzerinden açık ifadesi,

$$L = \sum_{j=1}^n S_j g_j \dots\dots\dots(3.3.11)$$

olur (Kaasalainen ve Torppa, 2001). (3.3.11)'de tanımlanan  $L$  ifadesi herhangi bir ışık eğrisi üzerindeki herhangi bir noktaya (herhangi bir  $t$  anına ya da herhangi bir gözlem geometrisine) ilişkindir. Uzun zaman aralığı içerisinde farklı gözlem geometrilerinden elde edilen ışık eğrisi setindeki tüm noktalar,

$$\mathbf{L} = \mathcal{A} \mathbf{g} \dots\dots\dots(3.3.12)$$

ifadesiyle hesaba katılabilmektedir (Kaasalainen ve Torppa, 2001).  $N$ , ışık eğrisi setindeki toplam nokta sayısı ve  $n$ , kapalı dışbükey polihedron üzerindeki toplam yüz sayısı olmak üzere,  $\mathbf{L}$ ,  $\mathcal{A}$  ve  $\mathbf{g}$  sırasıyla  $(N \times 1)$ ,  $(N \times n)$  ve  $(n \times 1)$  boyutlu matrisler olarak tanımlanmıştır ve  $\mathbf{L}$  ve  $\mathbf{g}$ , tek sütunlu matris yapılarından dolayı vektörel olarak simgelenmiştir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Burada  $\mathcal{A}$  matrisinin elemanları,

$$\mathcal{A}_{ij} = S_j [(\theta_j, \varphi_j), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_i] \dots\dots\dots(3.3.13)$$

biçimindedir. Buradaki  $t_i$  ifadesi,  $i = 1, 2, \dots, N$  olmak üzere, ışık eğrisi setindeki  $i$ . noktaya karşılık gelen  $i$ . zamandır ( $i$ . gözlem geometrisidir). Bu durumda (3.3.12) ifadesinin açık şekli aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
L_1 &= S_1[(\theta_1, \varphi_1), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_1] g_1 + S_2[(\theta_2, \varphi_2), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_1] g_2 + \dots + S_n[(\theta_n, \varphi_n), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_1] g_n \\
L_2 &= S_1[(\theta_1, \varphi_1), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_2] g_1 + S_2[(\theta_2, \varphi_2), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_2] g_2 + \dots + S_n[(\theta_n, \varphi_n), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_2] g_n \\
&\cdot \\
&\cdot \\
&\cdot \\
L_N &= S_1[(\theta_1, \varphi_1), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_N] g_1 + S_2[(\theta_2, \varphi_2), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_N] g_2 + \dots + S_n[(\theta_n, \varphi_n), \lambda_0, \beta_0, P_{sid}, t_N] g_n
\end{aligned}$$

Herhangi bir koordinata sahip bir dış normal birim vektör, kapalı dışbükey bir polihedron üzerinde “yalnızca belli bir yüze” ait olmak zorundadır, dışbükeylik nedeniyle bu vektör, ikinci bir yüze ait olamaz . Bu nedenle, bir küre üzerinde eşit aralıklı ya da dağınık olarak seçilmiş  $n$  adet  $(\theta_j, \varphi_j)$  değeri, kapalı dışbükey polihedron üzerinde, tüm polihedronu oluşturan toplam  $n$  tane farklı yüze karşılık gelecektir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Analiz sonunda elde edilecek şekil çözümünün çözünürlüğü ve değişmezliği, seçilen  $n$  sayısının yükseltilmesiyle artırılabilir ancak elbette çözünürlüğün üst sınırı, ışık eğrilerine ilişkin duyarlılık tarafından belirlenir.

Kaasalainen ve Torppa (2001)’de de belirtildiği üzere, kalibre edilmiş ışık eğrileri için,

$$\chi^2 = \chi^2(\lambda_0, \beta_0, P_{sid}, \text{ışık saçma parametreleri}) = | \mathbf{L} - \mathcal{A} \mathbf{g} |^2 \dots\dots\dots(3.3.14)$$

şeklinde ifade edilen  $\chi^2$  fonksiyonunun minimizasyonu,  $P_{sid}$ ,  $(\beta_0, \lambda_0)$ ,  $g_j$  ve  $S_j$  içindeki ışık saçma parametrelerine ulaşılabilmektedir. Işık saçma parametreleri, daha önce de belirtildiği gibi, gözlemsel veriye yapılan sentetik ışık eğrisi fitini güçlü biçimde etkilemediklerinden dolayı, relatif ışık eğrileri için belirli ortalama değerlere sabitlenebilmektedirler (Torppa, 2007). Ayrıca,  $P_{sid}$ ,  $(\beta_0, \lambda_0)$  ve  $g_j$  parametreleri, ışık eğrisinin sadece biçimini etkileyen parametreler olduklarından, bu parametrelerin belirlenmesi için fotometrik gözlem verisinin parlaklık uzayında olması gerekmez. Relatif ışık eğrilerinden elde edilen çözümler, kalibre edilmiş gözlemlerden elde edilen çözümlerin çoğunu karşılamaktadır (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Bu durumda (3.3.14)’te verilen  $\chi^2$  ifadesi, aşağıda gösterildiği şekilde relatif ışık eğrilerine uyarlanabilir.

$$\chi^2_{rel} = \chi^2_{rel}(\lambda_0, \beta_0, P_{sid}) = \sum_{c=1}^{N_{IE}} | (\mathbf{L}^c_{obs} / \mathcal{L}^c_{obs}) - (\mathbf{L}^c / \mathcal{L}^c) |^2 \dots\dots\dots(3.3.15)$$

Bu ifadede  $c = 1, 2, \dots, N_{IE}$  olmak üzere,  $N_{IE}$ , ışık eğrisi setindeki toplam ışık eğrisi sayısıdır.  $\mathbf{L}^c_{obs}$  ve  $\mathbf{L}^c$ , sırasıyla gözlenen ve modellenen  $c$ . ışık eğrileridir ve bu ışık eğrilerinin ortalama parlaklıkları sırasıyla  $\mathcal{L}^c_{obs}$  ve  $\mathcal{L}^c$  olarak gösterilmiştir. Bu durumda  $(\mathbf{L}^c_{obs} / \mathcal{L}^c_{obs})$  ve  $(\mathbf{L}^c / \mathcal{L}^c)$  ifadeleri, ortalama parlaklıkları üzerinden normalize edilmiş, sırasıyla gözlenen ve modellenen ışık eğrileridirler (Kaasalainen ve ark., 2002a). (3.3.15) ifadesi biraz daha açık olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\chi^2_{rel} = \chi^2_{rel}(\lambda_0, \beta_0, P_{sid}) = \sum_{c=1}^{N_{IE}} | (\mathbf{L}^c_{obs} / \mathcal{L}^c_{obs}) - (\mathcal{A}^c \mathbf{g} / \mathcal{L}^c) |^2 \dots\dots\dots(3.3.16)$$

(3.3.16)'nın minimizasyonunda, belirli bir hata aralığı içerisinde verilen  $P_{sid}$  değeri ve küre üzerine eşit olarak dağıtılmış belli sayıda  $(\beta_0, \lambda_0)$  değerinden ilki başlangıç değerleri olarak başta ele alınır ve bu başlangıç değerleri iterasyona sokularak,  $P_{sid}$ ,  $(\beta_0, \lambda_0)$ ,  $g_j$  ve  $\chi^2_{rel}$  değerlerinin nihai değerleri elde edilir. Bu işlemden sonra, başlangıçta kullanılan  $P_{sid}$  değeri bu sefer de küre üzerindeki  $(\beta_0, \lambda_0)$  değerlerinin ikincisiyle birlikte başlangıç değerleri olarak ele alınır ve iterasyona sokulurlar. Böylece bu ikinci başlangıç değerleri için nihai değerler belirlenir. Bu işlem bu şekilde küre üzerindeki sonuncu  $(\beta_0, \lambda_0)$  değerine kadar yapılır ve gözlemsel ışık eğrileriyle en uyumlu sentetik ışık eğrilerini üreten (yani en küçük  $\chi^2_{rel}$  değerine sahip)  $P_{sid}$ ,  $(\beta_0, \lambda_0)$  ve  $g_j$  değerleri eş zamanlı olarak bu şekilde belirlenir (Warner, 2007).  $g_j$  değerlerine ilişkin çözümlerin hepsini pozitif elde edebilmek için, (3.3.16)'nın minimizasyonu sırasında  $g_j$  ifadesi,

$$g_j = \exp(a_j) \dots\dots\dots(3.3.17)$$

olarak değiştirilir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Bu durumda  $\chi^2_{rel}$  ifadesinin minimizasyonu, işareti kısıtlanmamış  $a_j$  değerleri ve bu sayede de pozitif  $g_j$  değerleri ( $\exp(a_j)$ ) bulunabilmektedir.

Çok sayıda yüze sahip kapalı dışbükey bir polihedron, aşağıda gösterilen ve dışbükeylik şartı olarak bilinen kurala uyar.

$$\sum_{j=1}^n \mathbf{n}_j b_j = \mathbf{0} \dots\dots\dots(3.3.18)$$

Bu ifadede  $\mathbf{n}_j$ ,  $j$ . yüze ilişkin dış normal birim vektör ve  $b_j$  ise bu yüzün alanıdır. Asteroid yüzeyi üzerinde albedo değeri sabitse ( $w_j = w$ ), belirlenen  $g_j$  değerleri için, (3.3.18)'e benzer olarak,

$$\sum_{j=1}^n \mathbf{n}_j g_j = \mathbf{0} \quad \dots\dots\dots(3.3.19)$$

ifadesi elde edilir. Aslında (3.3.19) ifadesinin değeri pratikte tam olarak  $\mathbf{0}$  olmamaktadır, ancak, polihedron yüzey alanının %1'inden küçük değerler için albedonun yüzey boyunca değişmediği kabul edilir. Belirlenen düzenlenmiş  $g_j$  değerleri için (3.3.19)'a ilişkin söz edilen pratik şart sağlanamamışsa, albedo yüzey üzerinde belirgin olarak değişiyor demektir (Kaasalainen ve Torppa, 2001).

(3.3.16)'da verilen  $\chi^2_{rel}$  fonksiyonunun minimizasyonu sonrasında, dönme durumuna ve şekle ilişkin elde edilen parametrelerle üretilen sentetik ışık eğrisi, eldeki gözlemsel ışık eğrisi setinde yer alan tüm eğrileri tek başına en iyi ifade eden eğridir ve “convex inversion” yoluyla belirlenen bu sonuçlar (parametreler), gözlemsel ışık eğrileri eğer yeterli geometrilerden elde edilmişse, “tek” ve “değişmez” olarak bulunacaktır (Kaasalainen ve Torppa, 2001).

Seçilen  $(\theta_j, \varphi_j)$  koordinatlarından ve belirlenen  $g_j$  değerlerinden sonra, polihedronun her bir yüzüne ilişkin tanımlanan  $\mathbf{r}$  yarıçap vektör değerleri, Minkowski minimizasyonu olarak bilinen standart bir yöntem kullanılarak, “convex inversion” algoritması yoluyla belirlenebilmektedir (Lamberg, 1993; Kaasalainen ve Torppa, 2001 ). Bu minimizasyon için, pratikte sağlanmayan (3.3.19) ifadesi, sonuçlar üzerinde olumsuz etkisi olmayan yapay bir yolla sağlanır ve ilgili minimizasyon bu şekilde yapılır (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Yüzeyinde albedo değişimi göstermeyen ya da gösteren her asteroide ilişkin dışbükey polihedron model, albedo değişimi hesaba katılmaksızın bu sayede elde edilebilmektedir.

“Convex inversion” algoritmasında şekil modeli, belirlenen bütün  $\mathbf{r}$  yarıçap vektör uçlarının (vertices) kurallı bir şekilde doğru parçalarıyla birleştirilmesi, böylece dış bükey polihedrona ilişkin iskeletin elde edilmesi ve iskelet üzerinde kapalı düzlemsel şekiller (üçgenler) oluşturan doğru parçalarının içinde kalan üçgensel boşlukların dijital olarak kaplanmasıyla sergilenmektedir (Kaasalainen ve Torppa, 2001; Warner, 2007 ).

Yapılan testlerden anlaşıldığı kadarıyla, “convex inversion” yoluyla elde edilen şekil modelleri, gerçek şekle ilişkin dışbükey kabuğa / örtüye (convex hull) oldukça benzemektedir (Kaasalainen ve Torppa, 2001 ). Herhangi bir cismin dışbükey kabuğu, bir paket kağıdının o cisim üzerine sıkı sıkıya kaplanmasıyla elde edilen şekildir. Orijinal cisim dışbükeyse, elde edilen dışbükey kabuk doğrudan orijinal şekli ifade eder. Ancak orijinal cisim içbükey yüzeylere sahipse, söz konusu dışbükey kabuk ve orijinal şekil tam olarak çakışmaz, bu durumda dışbükey kabuk üzerinde oluşan geniş düzlemsel bölgeler, orijinal şekil üzerindeki içbükeyliklere karşılık gelen yerleri ifade edecektir (Kaasalainen ve Torppa, 2001 ). Asteroidlere ilişkin literatürde yer alan diğer pek çok fotometrik modelleme yönteminin, yüzey üzerindeki olası içbükeyliklerin konumlarına ilişkin fikir veremiyor olduğu göz önünde bulundurulduğunda, dışbükey kabuğu belirleyen “convex inversion” yönteminin bu konuda belirgin bir üstünlüğe sahip olduğu anlaşılmaktadır (Kaasalainen ve Torppa, 2001).

Fotometrik modellemede, özellikle düşük yörünge eğimine sahip asteroidlerin dönme eksenini yönelimine ilişkin iki olası çözüm (çözümlerden biri “mirror” çözümdür) elde edilmektedir. Bu durum, asteroide ilişkin  $\Theta$  görünüş açısının (asteroidin dönme eksenine, asteroid – Yer doğrultusu arasında kalan açı) fotometrik yolla tek anlamlı olarak bulunamıyor olmasından kaynaklanır. Dönme ekseninin + ucuna (asteroide göre Kuzey uç) ait tutulum koordinatları “convex inversion” yoluyla  $(\beta_0, \lambda_0)$  olarak belirlenmişse, ikinci kutup çözümü,  $\sim (\beta_0, \lambda_0 \pm 180)$  biçiminde olacaktır. İki farklı kutup çözümü, çözüm kümesi içerisinde en küçük  $\chi^2$  ya da *rms* değerlerine sahip (makul şekil modellerine ve uygun sentetik ışık eğrisi fitlerine sahip olmak şartıyla), enlemde kabaca aynı ve boylamda kabaca 180 derece farklı iki çözüm demektir.  $\chi^2$  ya da *rms* değeri en küçük olan çözüm “kutup 1”, diğeri ise “kutup 2” çözümü olarak anılır. Belirgin bir kutup 2 çözümü olmadığında ya da iki çözümün  $\chi^2$  veya *rms* değerleri arasında önemli bir fark belirlendiğinde, tek çözüm (tek kutup çözümü) verilebilmektedir. Her ne kadar iki tanesinin literatürde tek kutup çözümü sunulmuş olsa da, bu çalışmada analizleri yapılan dört asteroidin her birine ilişkin iki kutup çözümü de gösterilmiştir (belirlenen *rms* değerleri birbirlerinden çok farklı olmadığı için).

Elde edilen model, mutlak ya da dahili bir ölçek içerisinde yer almayan relatif ışık eğrilerinin analizi sonucunda bulunmuşsa, modele ilişkin boyut belirlenmemektedir. Ayrıca, relatif ışık eğrileri yoluyla farklı asteroidler için elde edilen modeller boyut açısından karşılaştırılabilir değildir. Belirlenen model, mutlak ya da dahili bir ölçeğe



kalibre edilmiş ışık eğrileri yoluyla oluşturulmuşsa, bu durumda farklı asteroidler için elde edilen modeller boyut yönünden karşılaştırılabilir olmaktadır, hatta mutlak fotometrik veri yoluyla, modelin (asteroidin) gerçek boyutu dolaylı yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir. Tek asteroidlere ilişkin ışık eğrilerinin analizinde, boyut belirlemeye yönelik doğrudan bir yöntem doğal olarak yoktur. Asteroide ilişkin mutlak parlaklık ve albedo değerleri, uzun soluklu mutlak fotometrik gözlemlerle tahmin edilebilmektedir (Shevchenko ve ark., 2002). Bu değerlerin bilinmesiyle, asteroide ilişkin ortalama gerçek boyut (çap) kabaca belirlenebilmektedir.

## BÖLÜM IV

## ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

## 4.1. Yapılan Analizin Sonuçları ve İlgili Literatür Karşılaştırmaları

201Penelope üç gece, 511Davida iki gece, 694Ekard ve 776Berbericia ise birer gece boyunca, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi'nde gözlenmiştir. Diğer taraftan 201Penelope, dört gece boyunca da TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) bünyesinde gözlenmiştir. 2005 – 2010 yılları arasına dağılmış tüm bu relatif fotometrik gözlemlere ve modellemede bu verilerle beraber kullanılan literatürdeki diğer tüm relatif fotometrik gözlemlere ilişkin ayrıntılar Ekler'de görülebilir.

İçerisinde yoğun nokta içeren ve ortalama  $0^m.05$  değerinden küçük gözlemsel gürültüye sahip ışık eğrileri, “convex inversion” yöntemi için elverişli birer girdi verisi olarak kabul edilmektedir (Kaasalainen ve ark., 2002b). Kaasalainen ve ark. (2001)'de, yeterli geometrilerden alınmış bu özellikteki test verilerine uygulanan “convex inversion” yöntemi sonucunda elde edilen  $(\beta_0, \lambda_0)$  değerlerine ilişkin, belirlenen deneysel ortalama hata aralığı  $\pm 10$  derece olarak verilirken, yıldızıl dönme dönemi  $P_{sid}$  için belirlenen deneysel hata aralığı maksimum  $\pm 10^{-5}$  saat ve minimum  $\pm 10^{-6}$  saat olarak ifade edilmektedir.

Elde edilen dışbükey polihedron modellerin dönme eksenini, modele ilişkin eylemsizlik momentini maksimum kılan ve modelin açısal momentum vektörüyle çakışık olan eksendir. Modelin kütle merkezi ve kütle merkezinden geçen dönme eksenini, asteroidin homojen bir kütle dağılımı gösterdiği varsayılarak elde edilmektedir (Kaasalainen ve ark., 2002a). Relatif ışık eğrileri yoluyla elde edilen modellerin dönme eksenini üzerindeki basıklıkları nadir durumlarda iyi belirlenmemektedir, basıklığın net olarak belirlenmesi, duyarlı mutlak fotometrik veri yardımıyla sağlanabilmektedir (Torppa, 2007; Warner, 2007).

Bu çalışmada, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi (ÇAAM&UG) ile TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) bünyesinde elde edilen ışık eğrileri ve kullanılan diğer literatür gözlemleri yoluyla, seçilen asteroidlerin dönme durumları ve şekil modelleri “convexinv” yazılımı kullanılarak yeniden çözümlenmiş ve ÇAAM&UG ile TUG'da elde edilen gözlemsel ışık eğrilerine, “Icgenerator” yazılımıyla model ışık eğrileri fit edilmiştir. Bahsedilen yazılımlar Durech ve ark. (2008a)'da yer almaktadır. Şekil modellerinin üç boyutlu görüntülenmesi, Warner

(2007)'de açıklanan, orijinal kodu (convexinv) esas alan ve gerçekte sayısal çözümlemeye yönelik Windows tabanlı bir program olan MPO LCInvert'in grafik özellikleri kullanılarak sağlanmıştır.

Gözlemsel veriye yapılan model fitlerin gösterildiği şekillerin açıklamalarında geçen  $\Theta$ ,  $\Theta_0$  ve  $\alpha$  terimleri, ışık eğrisinin elde edildiği tarihe ilişkin olmak üzere, asteroidin geometrik yönelim parametrelerini ifade etmektedir.  $\alpha$ , asteroide ilişkin evre açısı,  $\Theta$ , asteroide ilişkin görünüş açısı ( bu açı, fotomorfografik analizde asteroidin dönme eksenine ilişkin + uç doğrultusu ile, asteroid – Yer doğrultusu arasında kalan açı olarak tanımlanmaktadır),  $\Theta_0$  ise, asteroidin dönme eksenine ilişkin + uç doğrultusu ile, asteroid – Güneş doğrultusu arasında kalan açı olarak ifade edilmektedir.

Yörünge parametreleri bilinen bir asteroid için, Yer'in ve Güneş'in asteroid merkezli tutulum koordinatları ( $\lambda_{\oplus}$ ,  $\beta_{\oplus}$  ve  $\lambda_{\odot}$ ,  $\beta_{\odot}$ ) belirlenebilmektedir. Bu durumda, asteroide ilişkin verilen bir kutup çözümü ( $\lambda_0$ ,  $\beta_0$ ) için, 0 – 180 derece aralığında değişen  $\Theta$ ,  $\Theta_0$  ve  $\alpha$  terimleri, aşağıda geçen ifadelerden faydalanılarak tek anlamlı olarak hesaplanabilmektedir.

$$\cos\Theta = \sin\beta_0 \sin\beta_{\oplus} + \cos\beta_0 \cos\beta_{\oplus} \cos(\lambda_{\oplus} - \lambda_0) \dots\dots\dots(4.1.1)$$

$$\cos\Theta_0 = \sin\beta_0 \sin\beta_{\odot} + \cos\beta_0 \cos\beta_{\odot} \cos(\lambda_{\odot} - \lambda_0) \dots\dots\dots(4.1.2)$$

$$\cos\alpha = \sin\beta_{\oplus} \sin\beta_{\odot} + \cos\beta_{\oplus} \cos\beta_{\odot} \cos\beta_{\odot} \cos(\lambda_{\odot} - \lambda_{\oplus}) \dots\dots\dots(4.1.3)$$

#### 4.1.1. Dönme Durumu Çözümleri

Çizelge 4.1.1.1, bu çalışmaya yönelik seçilen asteroidlere ilişkin, fotomorfografik analizle literatürde elde edilen dönme durumu çözümlerini, yüzeyde bir albedo değişimi belirlenip belirlenmediğini, sentetik ışık eğrisi fitlerini ifade eden *rms* değerlerini göstermektedir. Sondaki dört sütun ise ayrıntısı Ekler'de yer alan literatür gözlem verisine ilişkin bilgileri içermektedir. Bunlar sırasıyla, verilerin hangi yıllar arasına yayıldığını yyyy-yyyy formatında gösteren yıl aralığı (*T*), bu zaman aralığı boyunca asteroidin farklı karşı konumlarına denk gelen yakınlaşmalarının sayısı (gözlem verisi alınmış olanlar) (*N<sub>Y</sub>*), yine bu zaman aralığı boyunca asteroide ilişkin gözlenmiş evre açılarının değişim aralığı ( $\alpha$ ) ve ışık eğrisi seti içerisindeki ışık eğrisi sayısı (*N<sub>IE</sub>*) şeklinde tanımlanmıştır.

776Berbericia'ya ilişkin literatürde iki farklı kaynakta çözüm sunulmuştur, çizelgedeki 776Berbericia (I)'e ilişkin değerler, tek kutup çözümü veren Durech ve ark. (2007)'de, 776Berbericia (II)'ye ilişkin değerler ise iki kutup çözümü veren Torppa ve ark. (2008)'de geçmektedir. Torppa ve ark. (2008), bu asteroidin analizinde kullandıkları gözlemlerin hangi yıllar arasına yayıldığını belirtmemişler ancak söz konusu gözlemlerin 28 yıllık bir zaman aralığı içerisinde bulunduğunu ifade etmişlerdir. 776Berbericia'ya ilişkin Durech ve ark. (2007)'de verilen çözüm, Torppa ve ark. (2008)'de verilen kutup 1 çözümüyle uyumludur. Torppa ve ark. (2008)'de bu asteroidin kutup 2 çözümüne yönelik şekil modeli gösterilmiştir. Diğer asteroidlere ilişkin çizelgede verilen değerler, 201Penelope için Torppa ve ark. (2003)'ten, 511Davida ve 694Ekard için ise Durech ve ark. (2008a)'dan alınmıştır. Literatürde verilmemiş olan bazı bilgiler, çizelge içerisinde “-” ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.1.1.1. Seçilen asteroidlere ilişkin literatürde yer alan sayısal çözümler ve bu çözümlere ulaşmada kullanılan ışık eğrisi setlerine ait önemli bilgiler

Asteroid	$\beta_0$ (°)	$\lambda_0$ (°)	$P_{sid}$ (saat)	Albedo Değişimi?	rms (mag)	T yyyy-yyyy	$N_Y$	$\alpha$ (°)	$N_{IE}$
201Penelope	-15	84	3.747455	Hayır	0.03	1980-1989	7	1-24	32
	-1	262	3.747453		-				
511Davida	26	297	5.129363	Hayır	-	1952-1986	11	1-21	26
694Ekard	51	266	5.92193	Hayır	-	1983-1991	5	5-21	19
776Berbericia (I)	12	347	7.66701	Hayır	0.012	1977-2006	8	2-19	36
776Berbericia (II)	11	347	7.66701	Hayır	0.013	-	7	-	33
	59	170			0.014				

Çizelge 4.1.1.2, seçilen asteroidlere bu çalışma kapsamında uygulanan fotomorfografik analizin sonuçlarını ve analizde kullanılan ışık eğrisi setlerine (ÇAAM&UG ve TUG'dan elde edilenler ve literatürdekiler) ilişkin önemli bilgileri göstermektedir (Çizelge 4.1.1.1'e paralel olarak). 776Berbericia'ya ilişkin elde edilen kutup 1 çözümü, literatürdeki kutup 2 çözümüne karşılıktır. Analizde ulaşılan  $\chi^2_{rel}$  değerleri, sırasıyla, 201Penelope için, 2.1074 (kutup 1) ve 2.2123 (kutup 2), 511Davida için, 0.1134 (kutup 1) ve 0.1197 (kutup 2), 694Ekard için, 0.3443 (kutup 1) ve 0.3757 (kutup 2) ve 776Berbericia için, 0.2788 (kutup 1) ve 0.2833 (kutup 2) şeklindedir.

Denklem (3.3.16)'da verilen  $\chi^2_{rel}$  ifadesinin minimizasyonu için,  $P_{sid}$  değerini belirli bir hata aralığı içerisinde biliyor olmamız gerekmektedir (Kaasalainen ve ark., 2001).  $P_{sid}$  değerine ilişkin analizde kullanılan uygun başlangıç değerleri Durech ve ark. (2008a)'dan alınmıştır ve sırasıyla, 201Penelope için 3.747455 saat, 511Davida için 5.129363 saat, 694Ekard için 5.92193 saat ve 776Berbericia için 7.66701 saattir.

Çizelge 4.1.1.2. Seçilen asteroidlere uygulanan fotomorfografik analizin sayısal sonuçları ve bu sonuçlara ulaşmada kullanılan ışık eğrisi setlerine ait önemli bilgiler

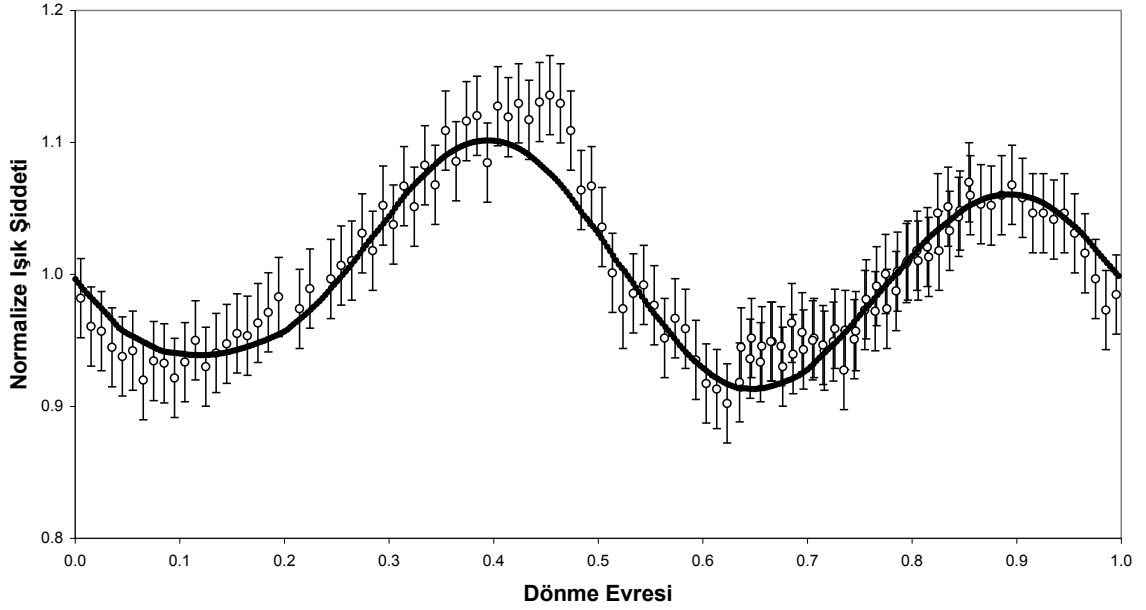
Asteroid	$\beta_0$ (°)	$\lambda_0$ (°)	$P_{sid}$ (saat)	Albedo Değişimi?	rms (mag)	T yyyy-yyyy	$N_Y$	$\alpha$ (°)	$N_{IE}$
201Penelope	-11	81	3.74746	Hayır	0.0301	1980-2006	8	1-24	39
	2	261	3.74746		0.0308				
511Davida	29	100	5.12936	Hayır	0.0120	1952-2007	12	1-21	28
	27	299	5.12936		0.0123				
694Ekard	52	265	5.92193	Hayır	0.0212	1983-2005	6	5-21	20
	18	105	5.92193		0.0221				
776Berbericia	61	171	7.66701	Hayır	0.0117	1977-2010	9	2-19	37
	17	347	7.66701		0.0118				

Analizde kullanılan ışık eğrilerinin (ÇAAM&UG ve TUG'dan elde edilenler ve literatürdekiler), yeterli geometrilerden alındığı ve büyük çoğunluğunun  $0^m.05$  değerinden az gözlemsel gürültüye sahip yoğun noktalı ışık eğrileri olduğu göz önünde bulundurulacak olursa, Kaasalainen ve ark. (2001)'de verilen bilgiye paralel olarak, "convex inversion" yöntemiyle bu çalışmada elde edilen  $(\beta_0, \lambda_0)$  değerlerine ilişkin ortalama hata aralığı  $\pm 10$  derece ve yıldızıl dönme dönemi  $P_{sid}$  için maksimum hata aralığı ise  $\pm 10^{-5}$  saat olarak ele alınmalıdır. Her iki çizelgede yer alan dönme durumu çözümleri, bu hata aralıkları çerçevesinde, birbirleriyle uyumludur.

#### 4.1.2. Elde Edilen Gözlemsel Verilere Uygulanan Sentetik Işık Eğrisi Fitleri

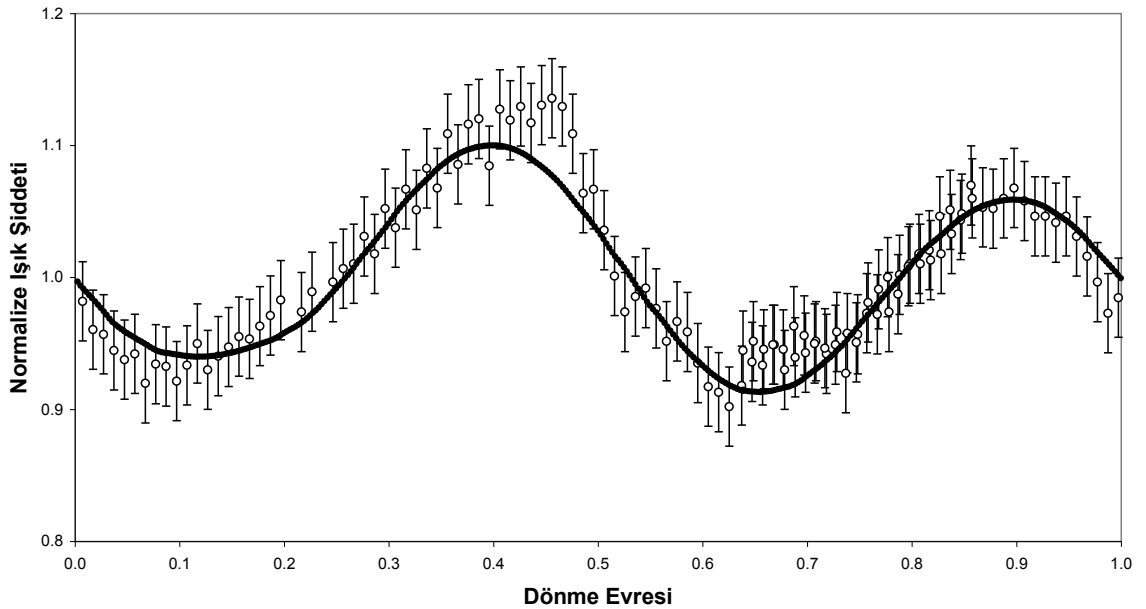
ÇAAM&UG ve TUG'da elde edilen ve ayrıntısı Ekler'de yer alan gözlemsel ışık eğrilerine, Durech ve ark. (2008a)'da verilen "lgenerator" yazılımıyla model ışık eğrileri fit edilmiştir. Elde edilen model ışık eğrileri, gözlemsel veriyle genel olarak iyi bir uyum içerisindedir. Grafiklerdeki dairesel simgeler gözlemsel veriyi, sürekli eğri ise sentetik ışık eğrisini göstermektedir. Yatay eksen,  $P_{sid}$  üzerinden hesaplanan dönme evresi, dişey eksen ise ortalama üzerinden normalize edilmiş relatif ışık şiddetidir. Gözlem hatalarını gösteren barlar,  $0^m.05$  değerinden küçük yarı uzunluklara sahiptir. Şekil açıklamalarında geçen  $\Theta$ ,  $\Theta_0$  ve  $\alpha$  terimleri, daha önce de bahsedildiği üzere, ışık eğrisinin elde edildiği tarihe ilişkin, asteroidin geometrik yönelim parametrelerini ifade etmektedir.

201Penelope - Kutup 1 - 29.07.2006



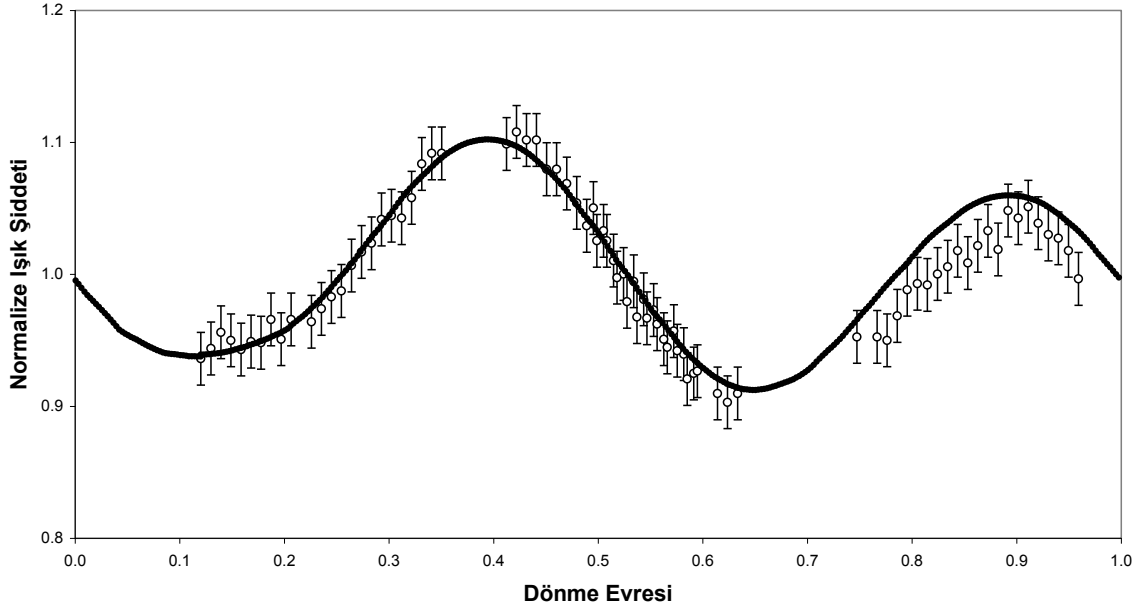
Şekil 4.1.2.1. 201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 43^\circ.6$ ,  $\Theta_0 = 44^\circ.7$  ve  $\alpha = 2^\circ.5$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 2 - 29.07.2006



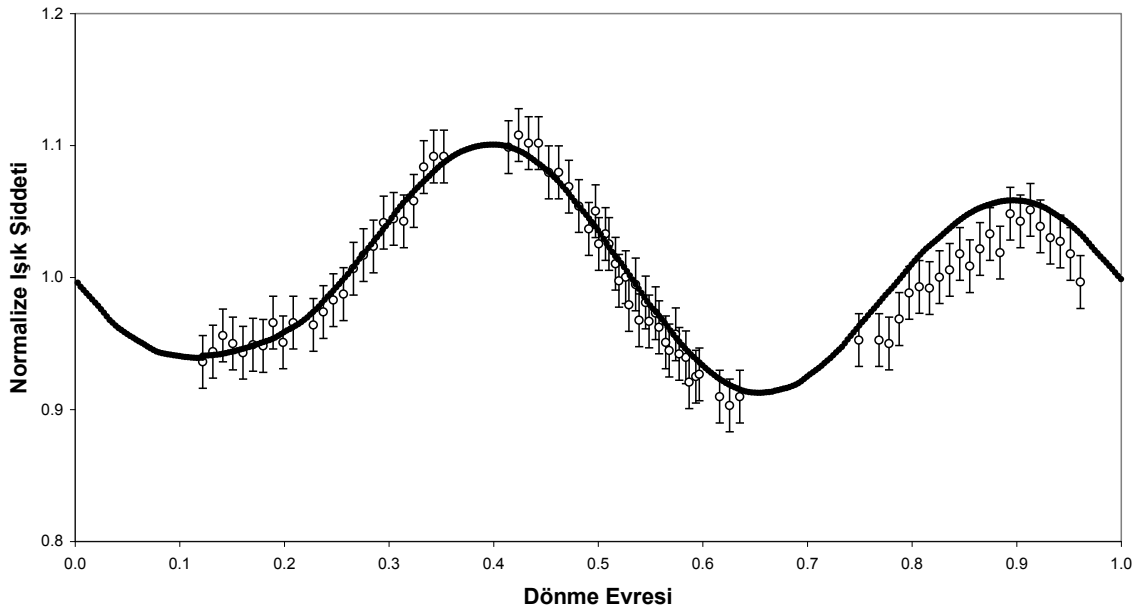
Şekil 4.1.2.2. 201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 136^\circ.1$ ,  $\Theta_0 = 135^\circ.6$  ve  $\alpha = 2^\circ.5$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 1 - 30.07.2006



Şekil 4.1.2.3. 201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 43^\circ.4$ ,  $\Theta_0 = 45^\circ.0$  ve  $\alpha = 2^\circ.7$  olarak hesaplanmıştır.

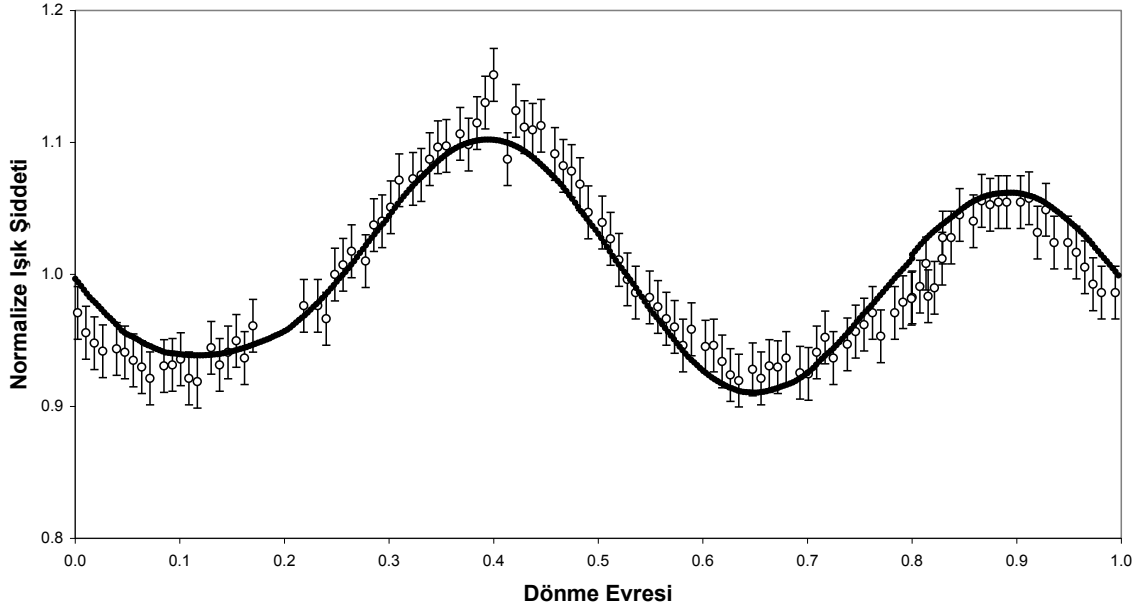
201Penelope - Kutup 2 - 30.07.2006



Şekil 4.1.2.4. 201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 136^\circ.4$ ,  $\Theta_0 = 135^\circ.3$  ve  $\alpha = 2^\circ.7$  olarak hesaplanmıştır.

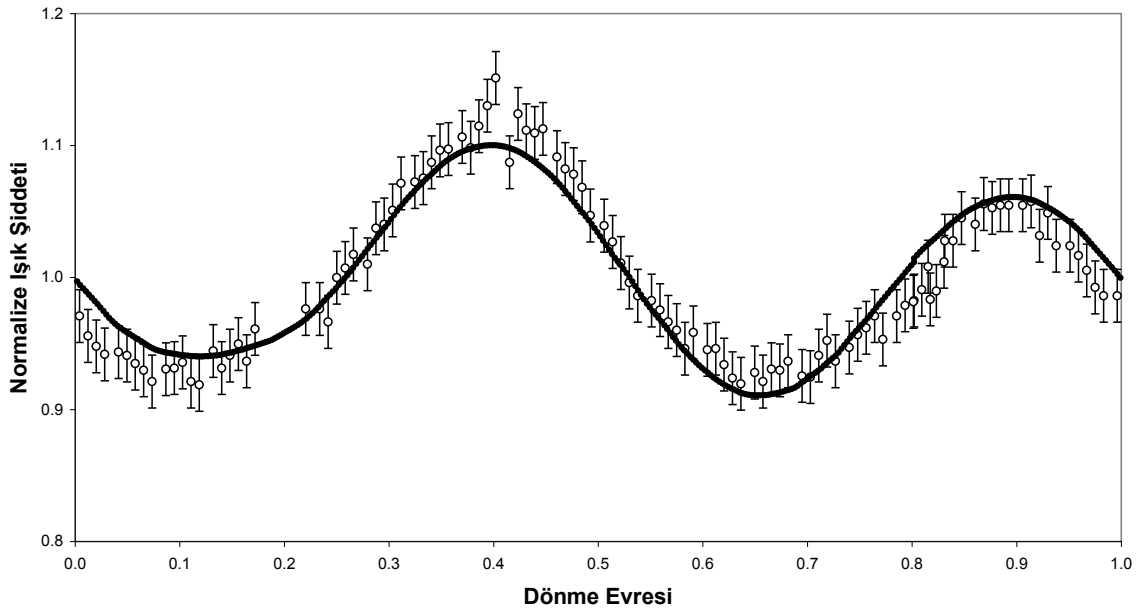


201Penelope - Kutup 1 - 03.08.2006



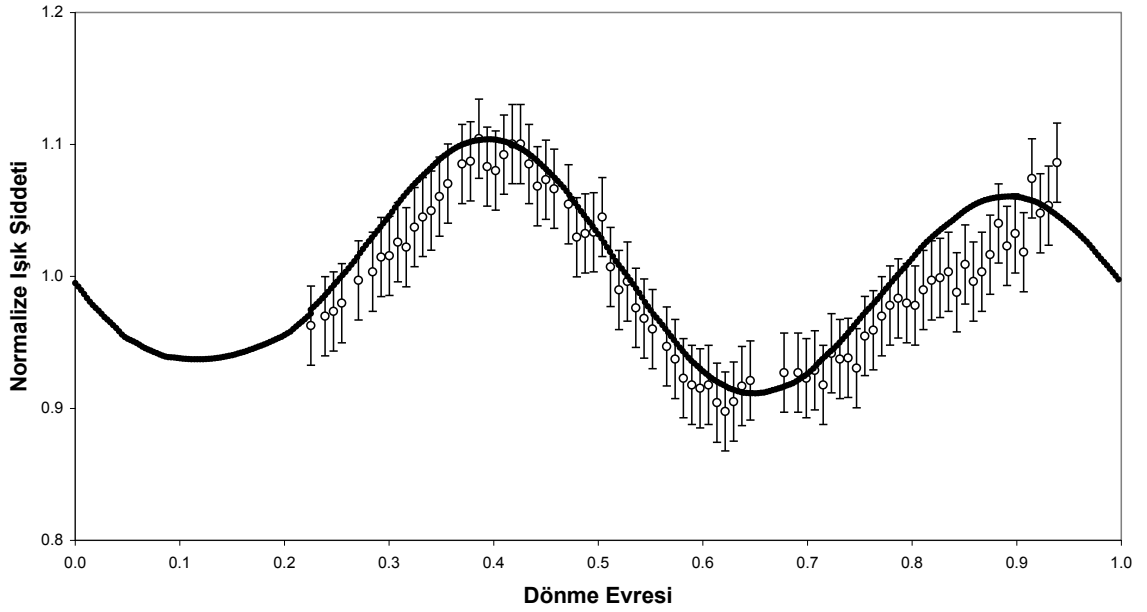
Şekil 4.1.2.5. 201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 42^\circ.6$ ,  $\Theta_0 = 46^\circ.2$  ve  $\alpha = 4^\circ.0$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 2 - 03.08.2006



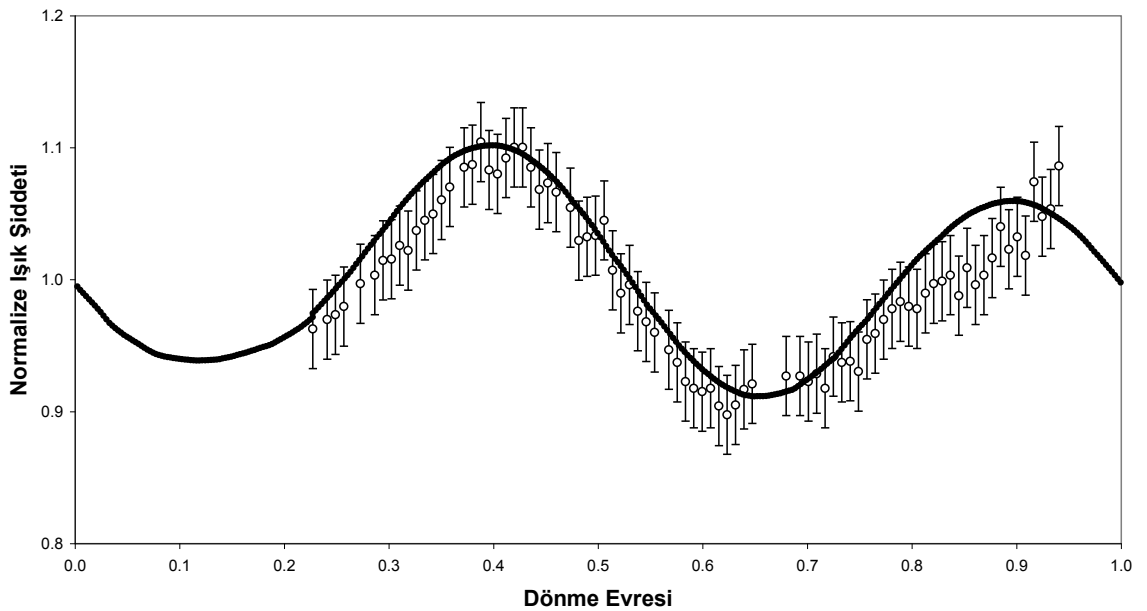
Şekil 4.1.2.6. 201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 137^\circ.2$ ,  $\Theta_0 = 134^\circ.1$  ve  $\alpha = 4^\circ.0$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 1 - 04.08.2006



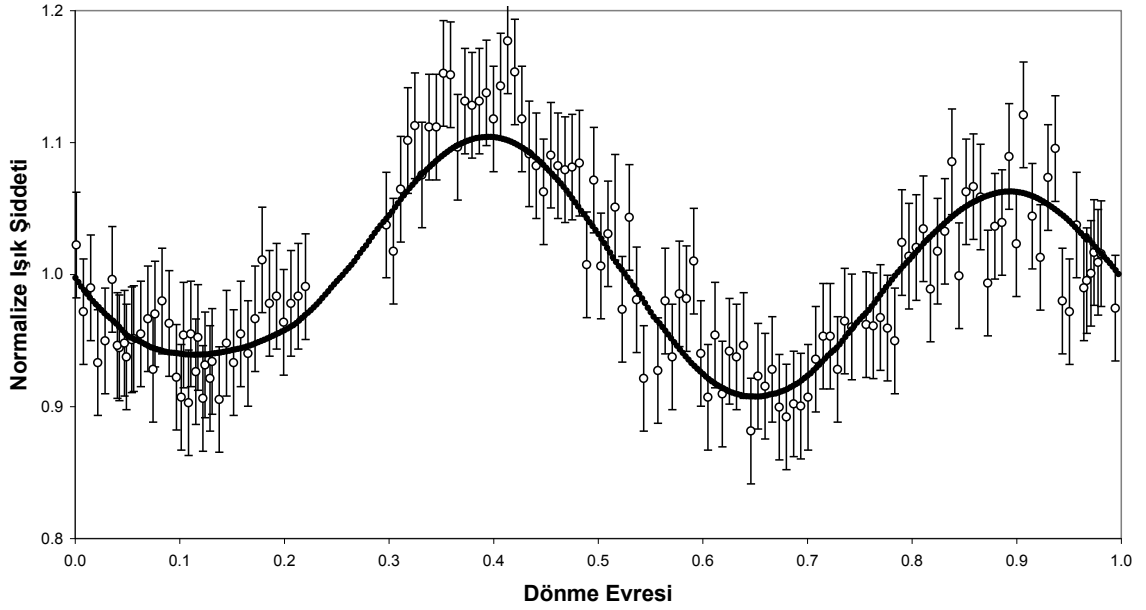
Şekil 4.1.2.7. 201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 42^\circ.4$ ,  $\Theta_0 = 46^\circ.5$  ve  $\alpha = 4^\circ.4$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 2 - 04.08.2006



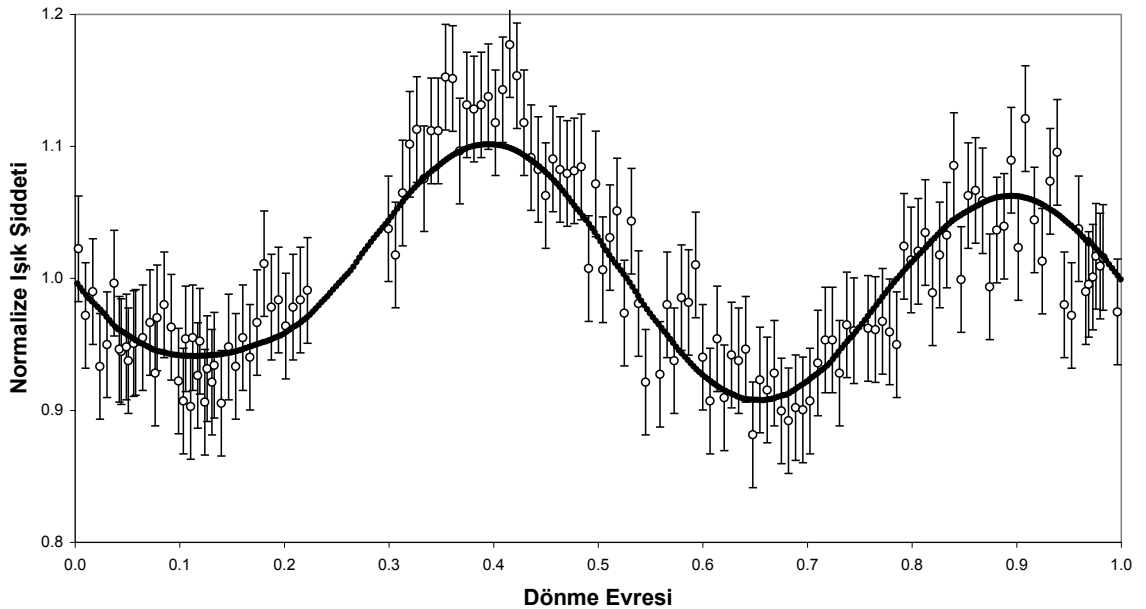
Şekil 4.1.2.8. 201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 137^\circ.4$ ,  $\Theta_0 = 133^\circ.8$  ve  $\alpha = 4^\circ.4$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 1 - 11.08.2006



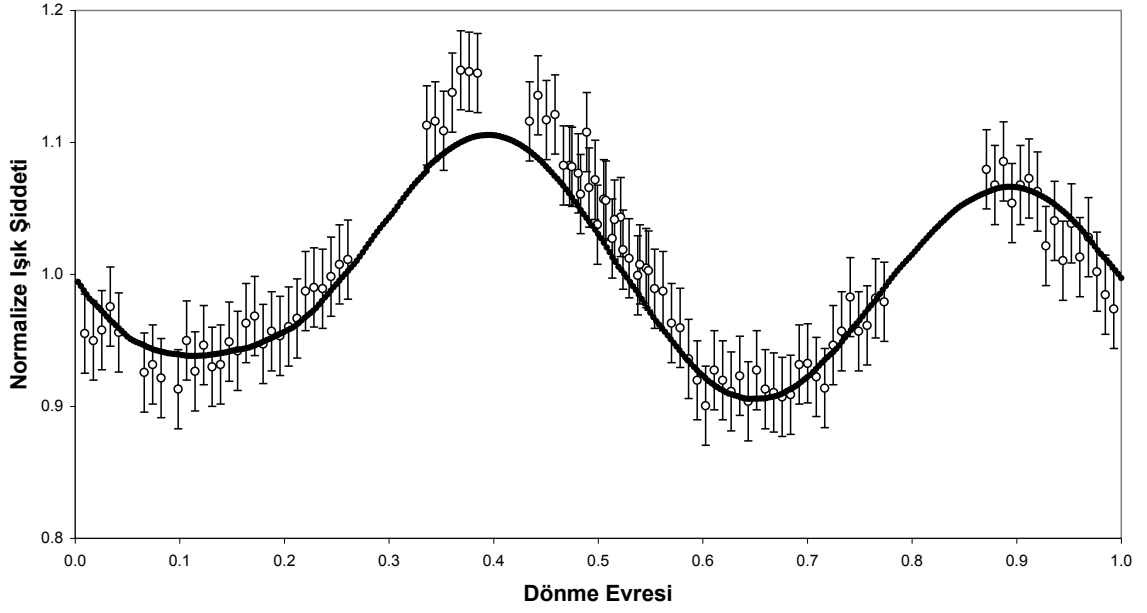
Şekil 4.1.2.9. 201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 41^\circ.1$ ,  $\Theta_0 = 48^\circ.7$  ve  $\alpha = 7^\circ.6$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 2 - 11.08.2006



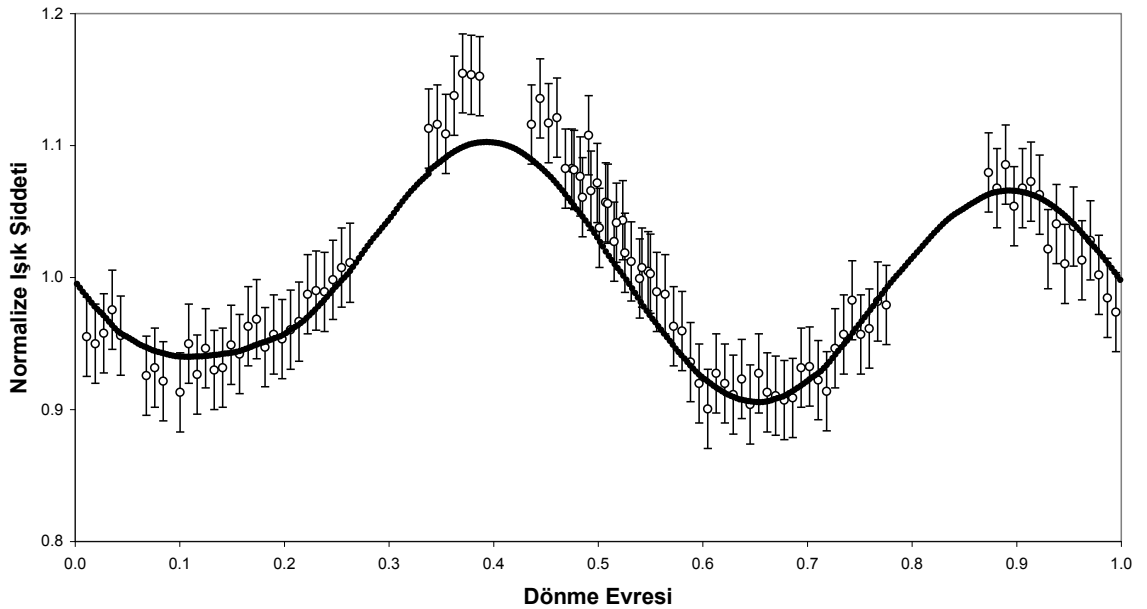
Şekil 4.1.2.10. 201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 138^\circ.9$ ,  $\Theta_0 = 131^\circ.6$  ve  $\alpha = 7^\circ.6$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 1 - 15.08.2006



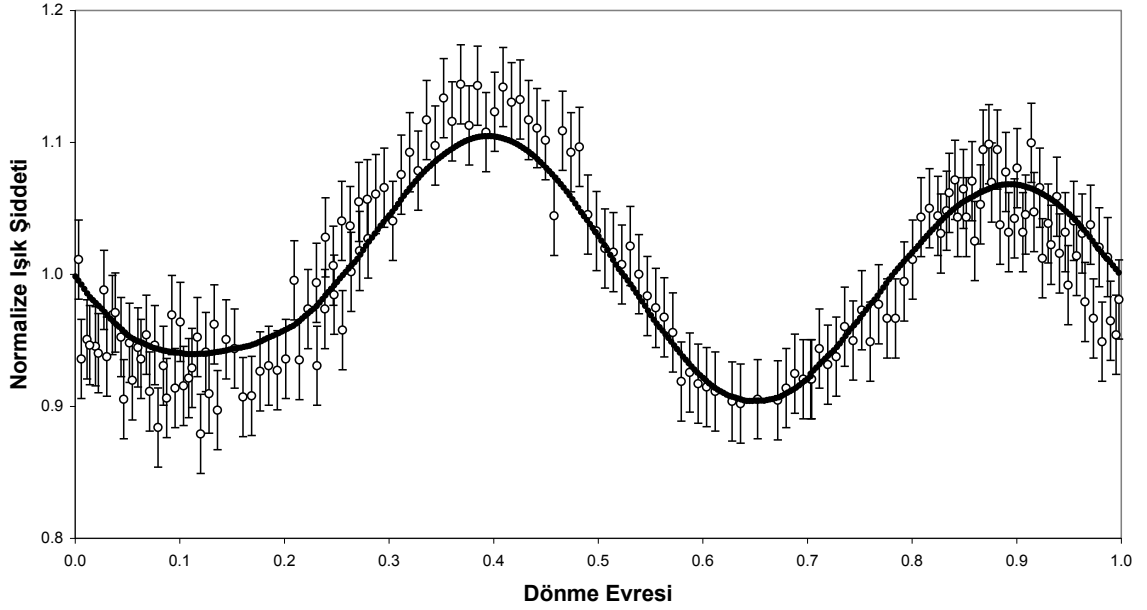
Şekil 4.1.2.11. 201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 40^\circ.5$ ,  $\Theta_0 = 50^\circ.0$  ve  $\alpha = 9^\circ.5$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 2 - 15.08.2006



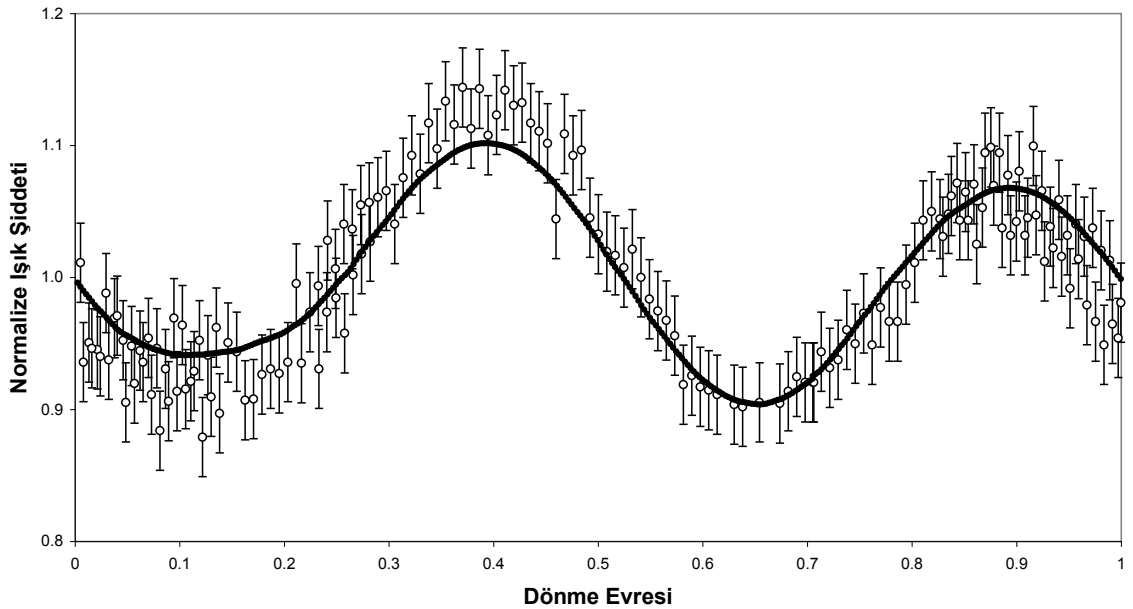
Şekil 4.1.2.12. 201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 139^\circ.6$ ,  $\Theta_0 = 130^\circ.3$  ve  $\alpha = 9^\circ.5$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 1 - 16.08.2006



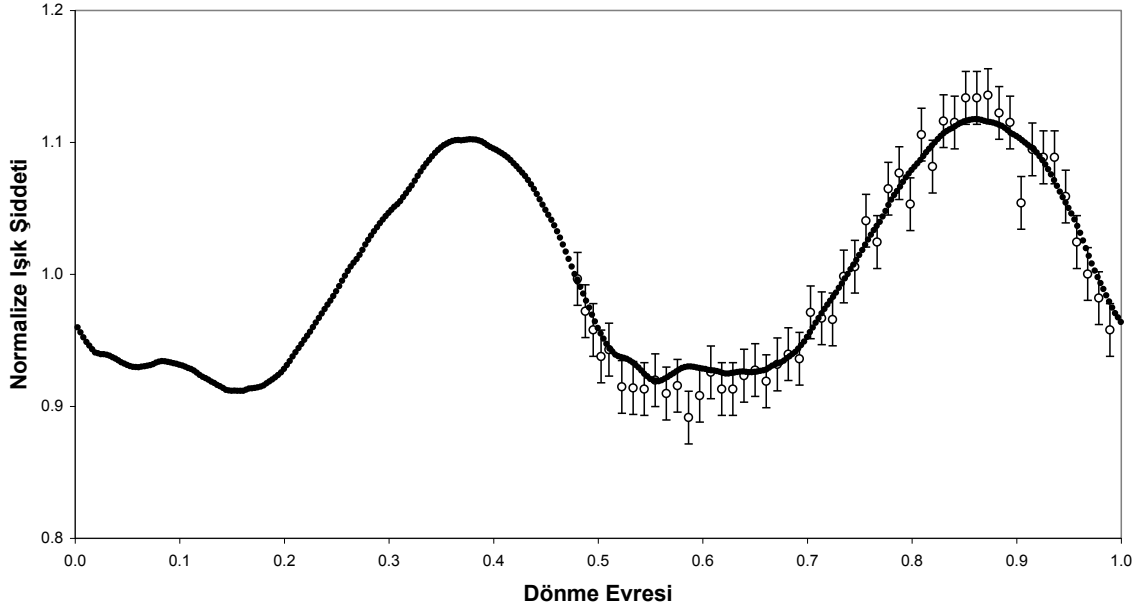
Şekil 4.1.2.13. 201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 40^\circ.3$ ,  $\Theta_0 = 50^\circ.3$  ve  $\alpha = 10^\circ.0$  olarak hesaplanmıştır.

201Penelope - Kutup 2 - 16.08.2006



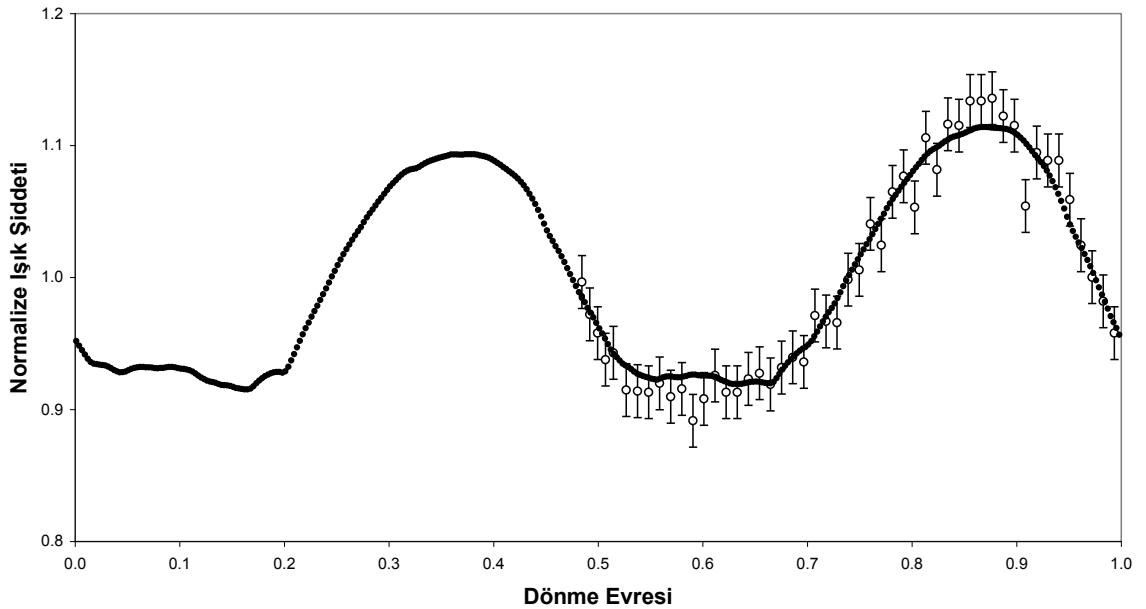
Şekil 4.1.2.14. 201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 139^\circ.7$ ,  $\Theta_0 = 130^\circ.0$  ve  $\alpha = 10^\circ.0$  olarak hesaplanmıştır.

511Davida - Kutup 1 - 08.11.2007



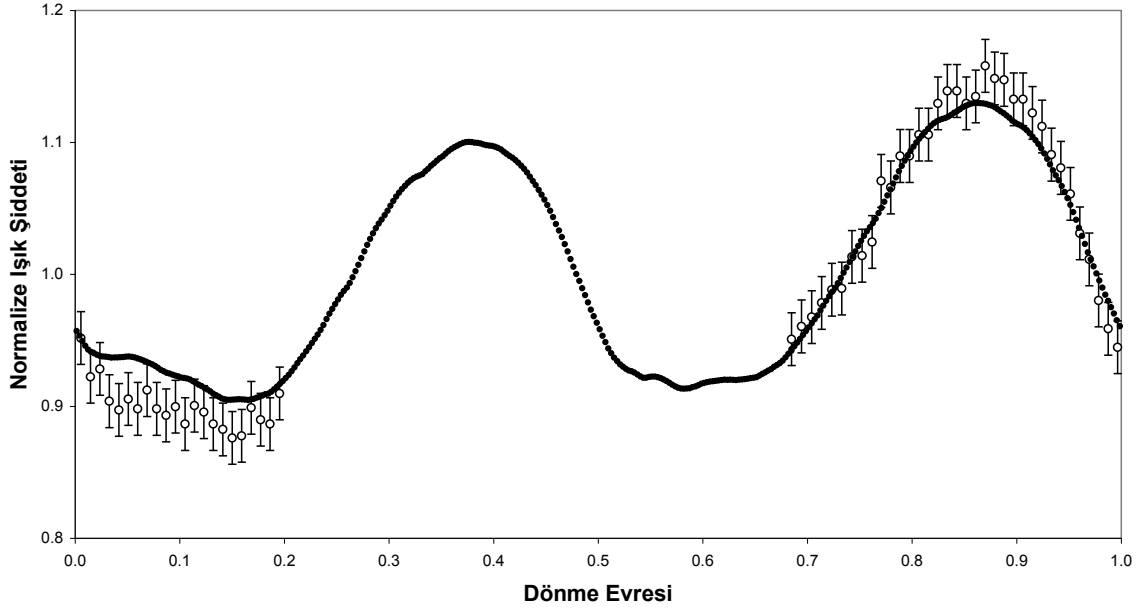
Şekil 4.1.2.15. 511Davida'nın kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 88^\circ.3$ ,  $\Theta_0 = 99^\circ.5$  ve  $\alpha = 11^\circ.3$  olarak hesaplanmıştır.

511Davida - Kutup 2 - 08.11.2007



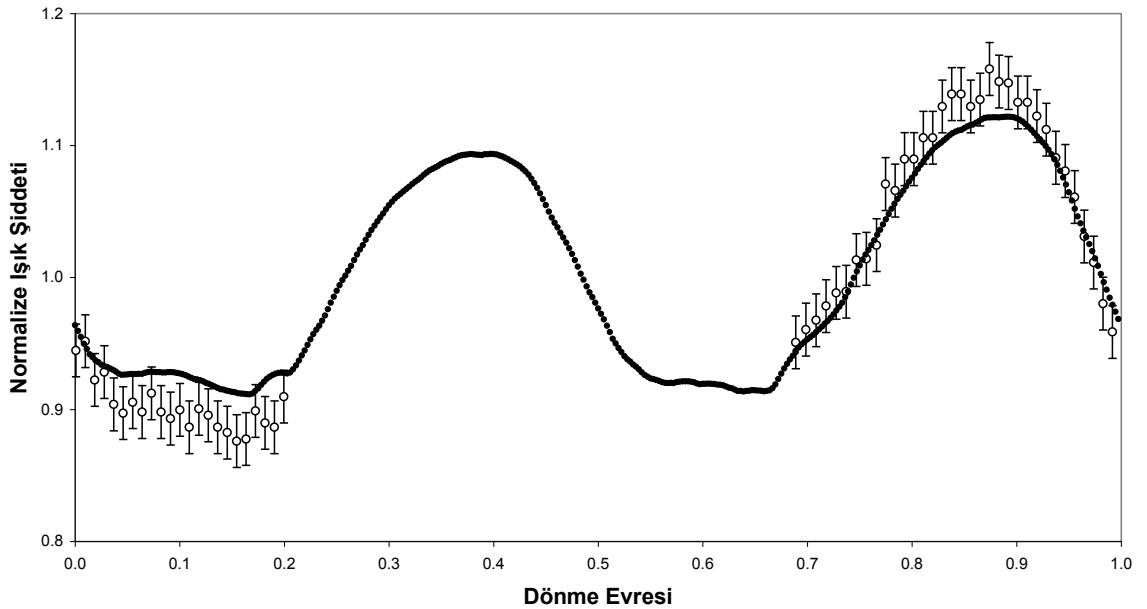
Şekil 4.1.2.16. 511Davida'nın kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 85^\circ.5$ ,  $\Theta_0 = 81^\circ.5$  ve  $\alpha = 11^\circ.3$  olarak hesaplanmıştır.

511Davida - Kutup 1 - 28.11.2007



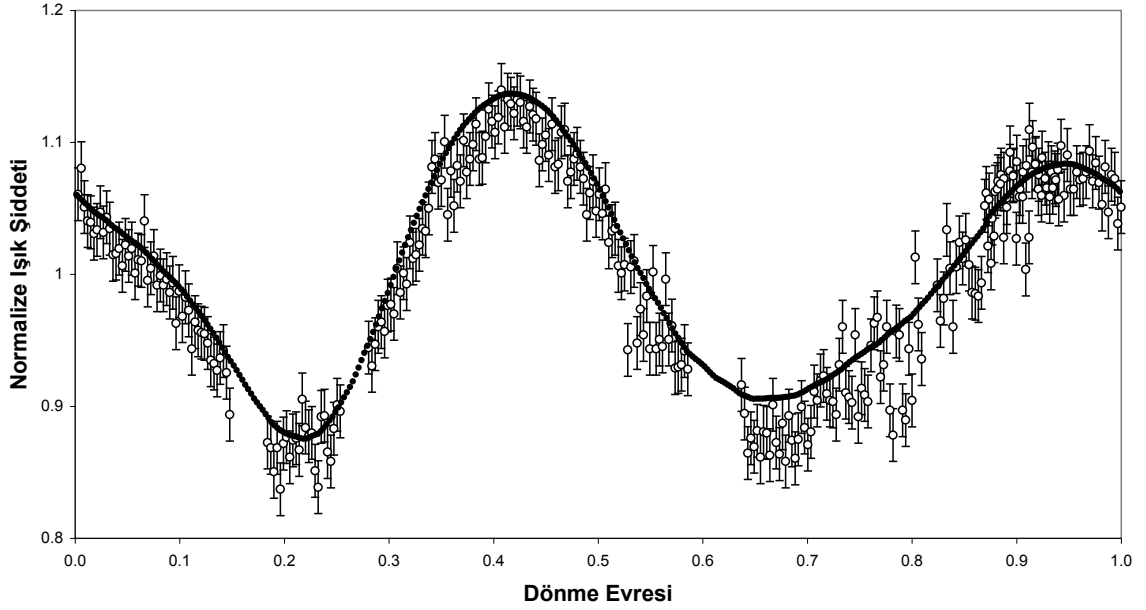
Şekil 4.1.2.17. 511Davida'nın kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 87^\circ.6$ ,  $\Theta_0 = 103^\circ.4$  ve  $\alpha = 16^\circ.1$  olarak hesaplanmıştır.

511Davida - Kutup 2 - 28.11.2007



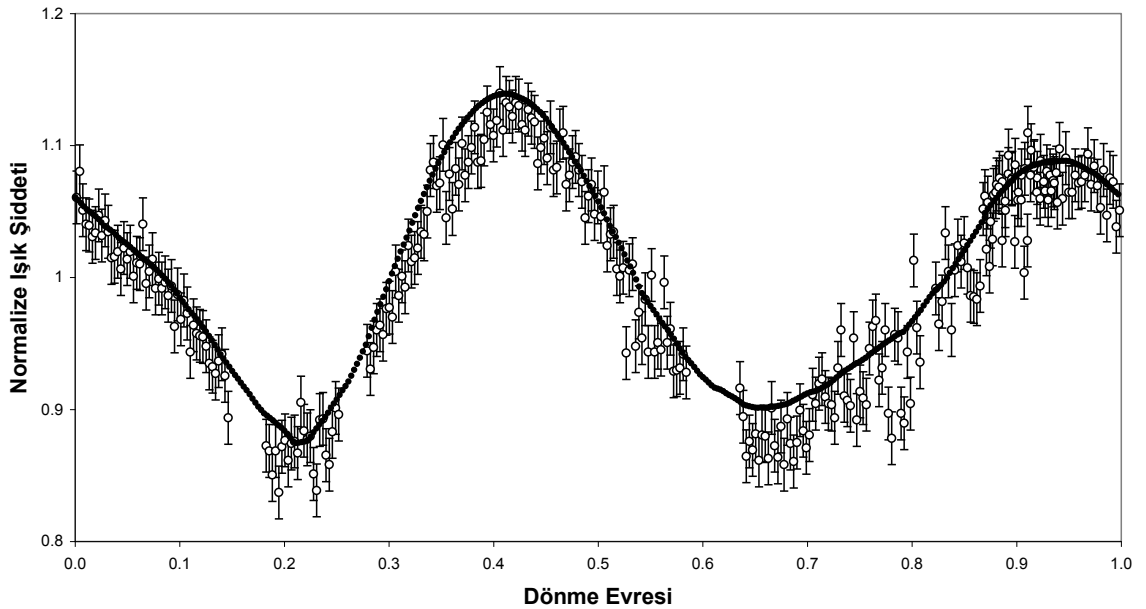
Şekil 4.1.2.18. 511Davida'nın kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 88^\circ.3$ ,  $\Theta_0 = 77^\circ.6$  ve  $\alpha = 16^\circ.1$  olarak hesaplanmıştır.

694Ekard - Kutup 1 - 29.11.2005



Şekil 4.1.2.19. 694Ekard'ın kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 60^\circ.0$ ,  $\Theta_0 = 56^\circ.9$  ve  $\alpha = 9^\circ.9$  olarak hesaplanmıştır.

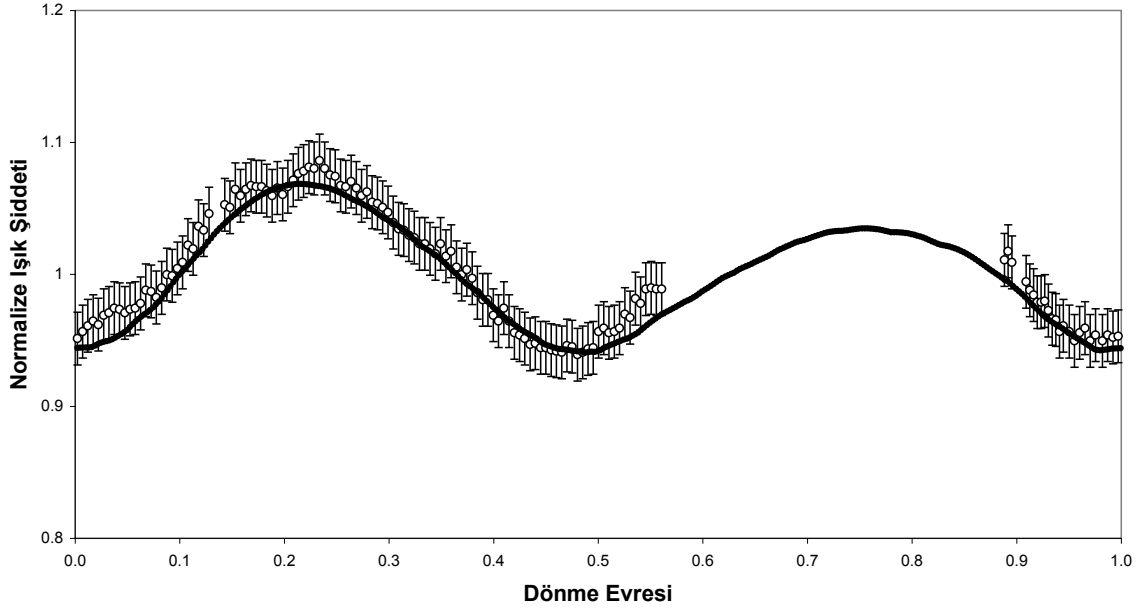
694Ekard - Kutup 2 - 29.11.2005



Şekil 4.1.2.20. 694Ekard'ın kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 117^\circ.4$ ,  $\Theta_0 = 126^\circ.8$  ve  $\alpha = 9^\circ.9$  olarak hesaplanmıştır.

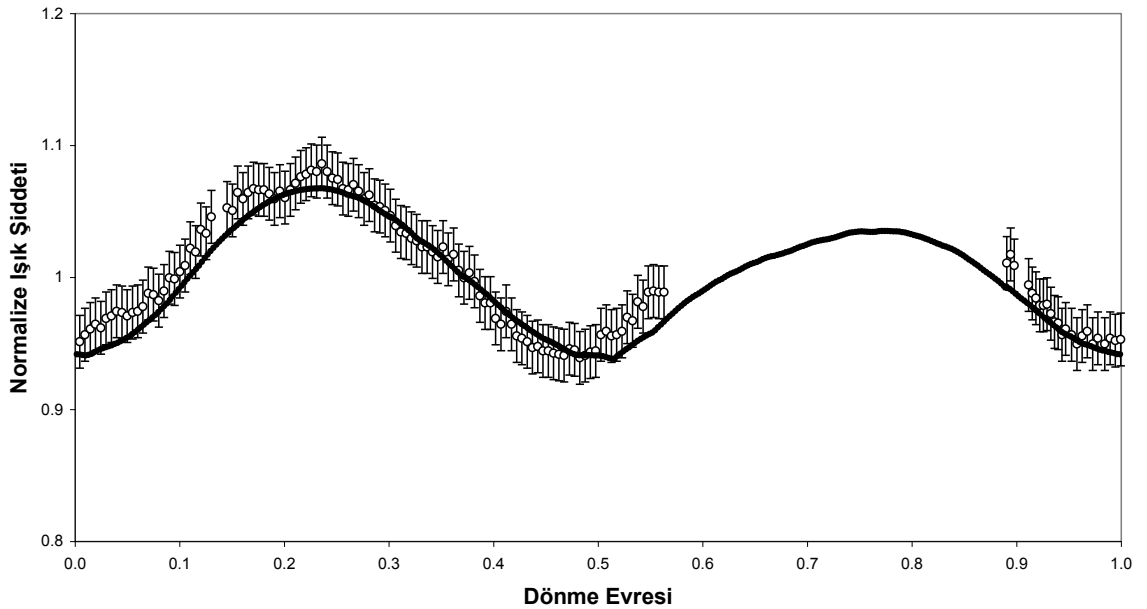


776Berbericia - Kutup 1 - 02.05.2010



Şekil 4.1.2.21. 776Berbericia'nın kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 141^\circ.7$ ,  $\Theta_0 = 136^\circ.1$  ve  $\alpha = 14^\circ.4$  olarak hesaplanmıştır.

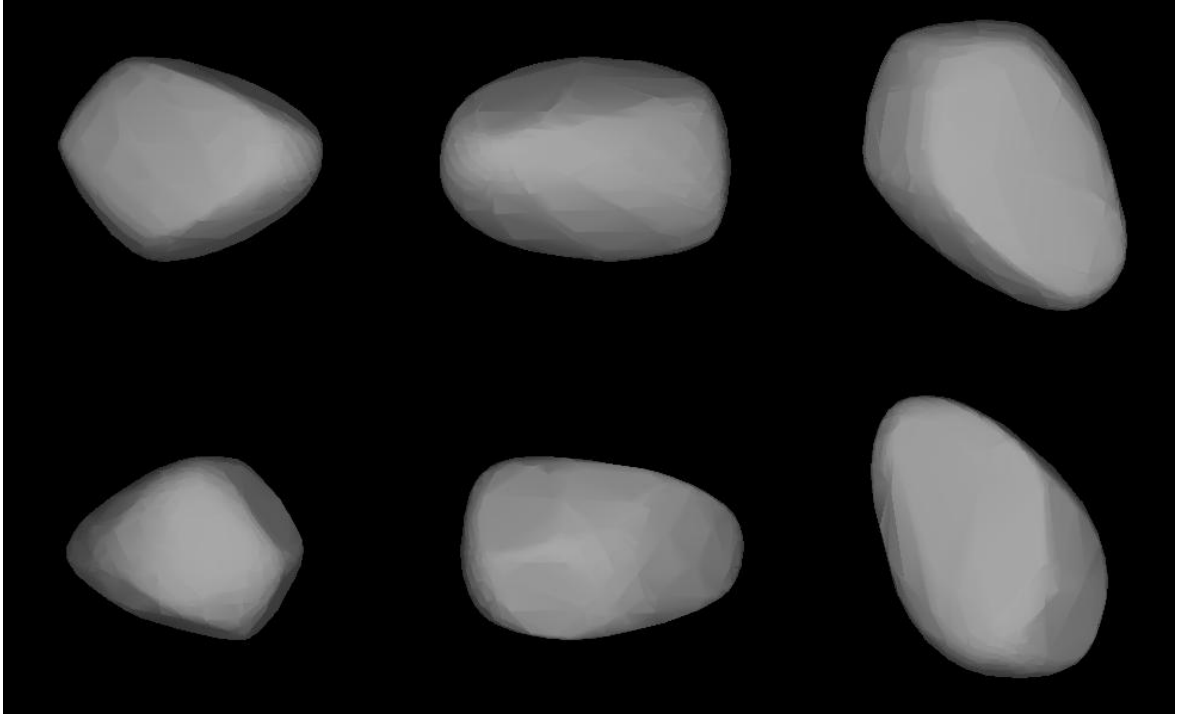
776Berbericia - Kutup 2 - 02.05.2010



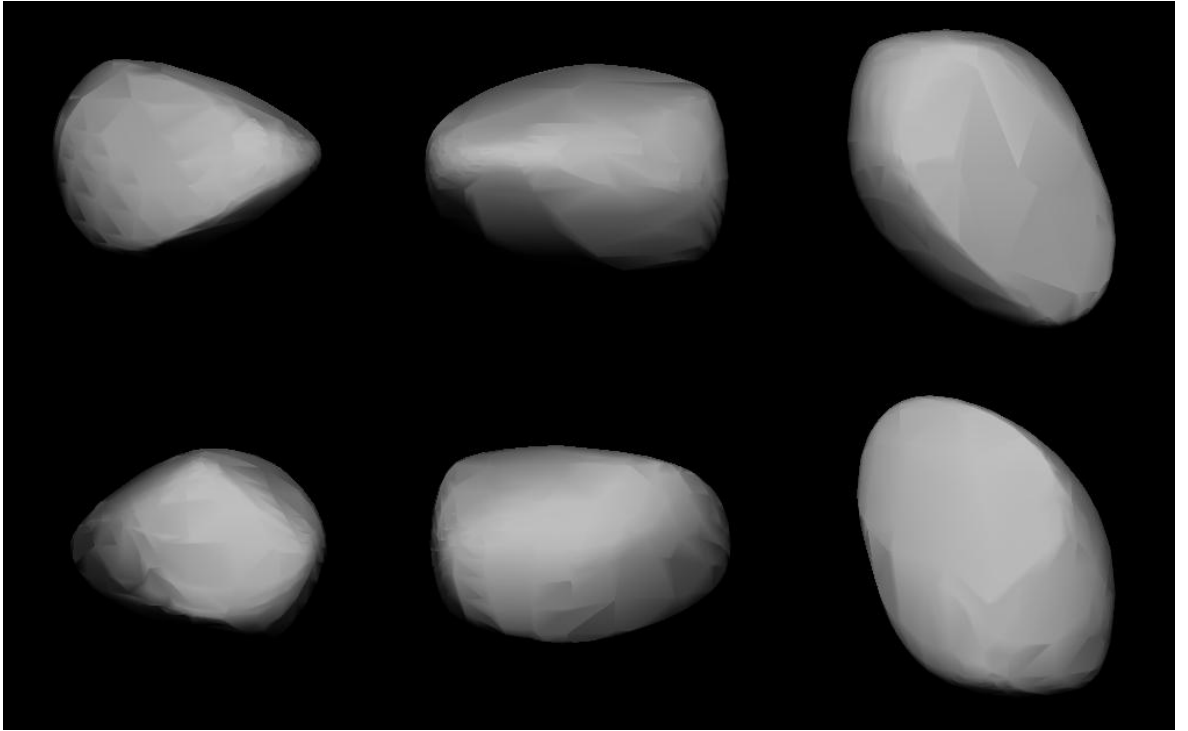
Şekil 4.1.2.22. 776Berbericia'nın kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti. İlgili tarihte gözlem başı için, bu kutup çözümüne ait geometrik yönelim parametreleri,  $\Theta = 39^\circ.9$ ,  $\Theta_0 = 39^\circ.1$  ve  $\alpha = 14^\circ.4$  olarak hesaplanmıştır.

### 4.1.3. Şekil Çözümleri

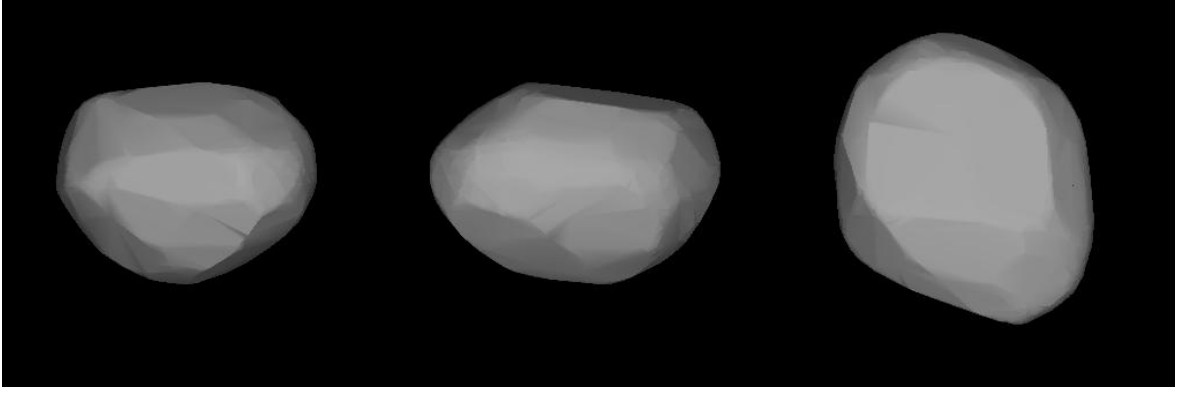
ÇAAM&UG ve TUG'da elde edilen gözlemsel ışık eğrileri, literatürdeki gözlem verileriyle birleştirilmiş ve seçilen asteroidlere (bu asteroidlerin yörünge parametreleri ve bazı fiziksel özellikleri Ekler'de bulunabilir) ilişkin şekil modelleri “convex inversion” algoritmasında yer alan sürekli fonksiyon yaklaşımıyla belirlenmiştir. Elde edilen bu şekil çözümleri literatürdeki çözümlerle karşılaştırılmış ve genel olarak iyi bir uyum sergiliyor oldukları görülmüştür. Şekillerdeki üst sıra, kutup 1 çözümüne, alt sıra ise kutup 2 çözümüne karşılık gelmektedir. Üst ve alt sıra, birbirleriyle ölçekli değildir (farklı asteroidlere ilişkin modeller de birbirleriyle ölçekli değildir). 511Davida ve 694Ekard'ın literatürde tek kutup çözümleri sunulduğu için, bu asteroidlere ilişkin literatür modelleri tek sıradan oluşmaktadır. Her sırada, aynı modelin üç farklı açıdan görünümü sunulmuştur ve bu görünümler, Güneş gözlemcinin tam arkasında var sayılarak elde edilmiştir. İlk iki görünüm, aralarında  $90^\circ$  dönme evre açısı olan ekvatorial görünümüdür (bu görünümde asteroidin dönme ekseninin + ucuna ilişkin doğrultu, dik bir şekilde yukarıyı gösterir). Üçüncü görünümde ise, dönme ekseninin + uç doğrultusu gözlemciden geçmektedir.



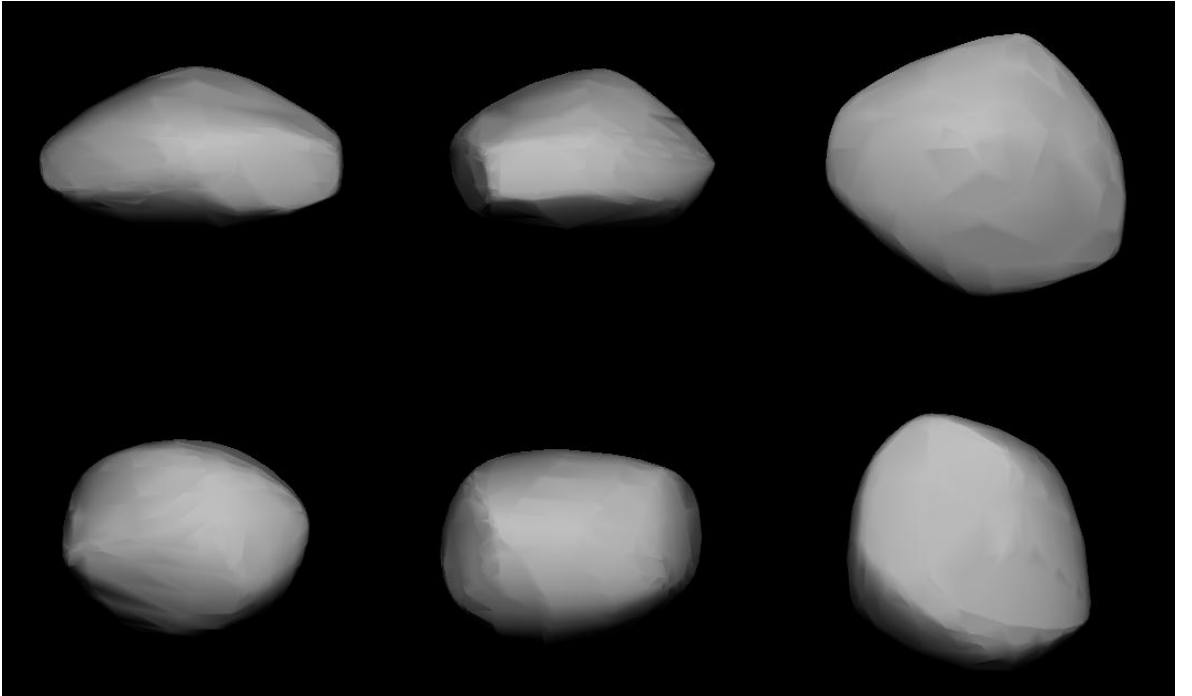
Şekil 4.1.3.1. 201Penelope'ye ilişkin literatür şekil çözümü (Durech ve ark., 2008a).



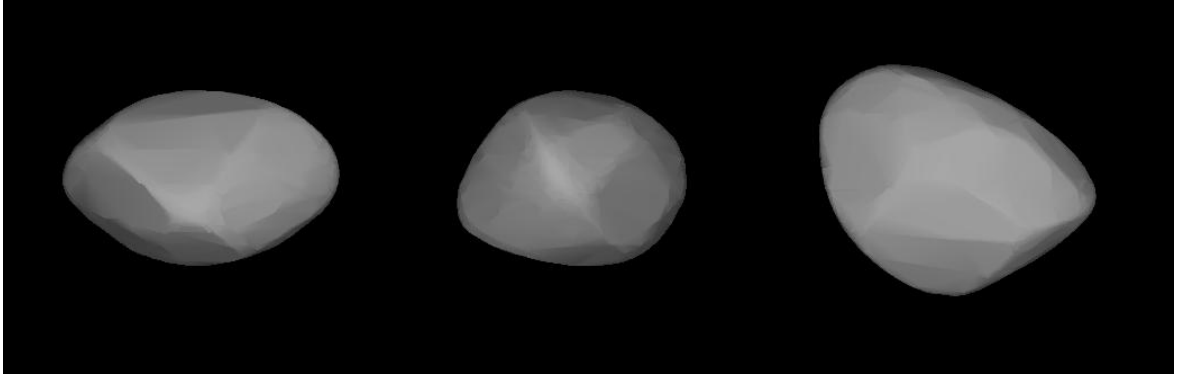
Şekil 4.1.3.2. 201Penelope'ye ilişkin bu çalışmada elde edilen şekil çözümü.



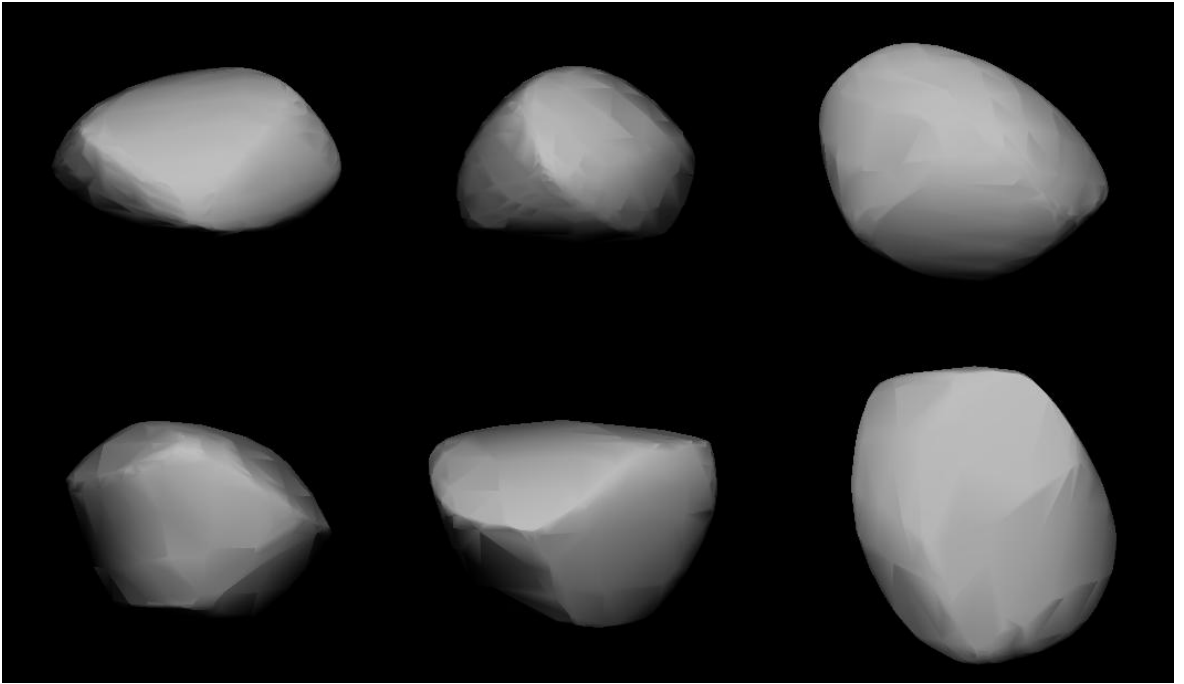
Şekil 4.1.3.3. 511Davida'ya ilişkin literatür şekil çözümü (Durech ve ark., 2008a). Bu çözümün, asteroid için yapılan “adaptive optics” gözlemleriyle uyumlu olduğu belirtilmektedir (Marchis ve ark., 2006).



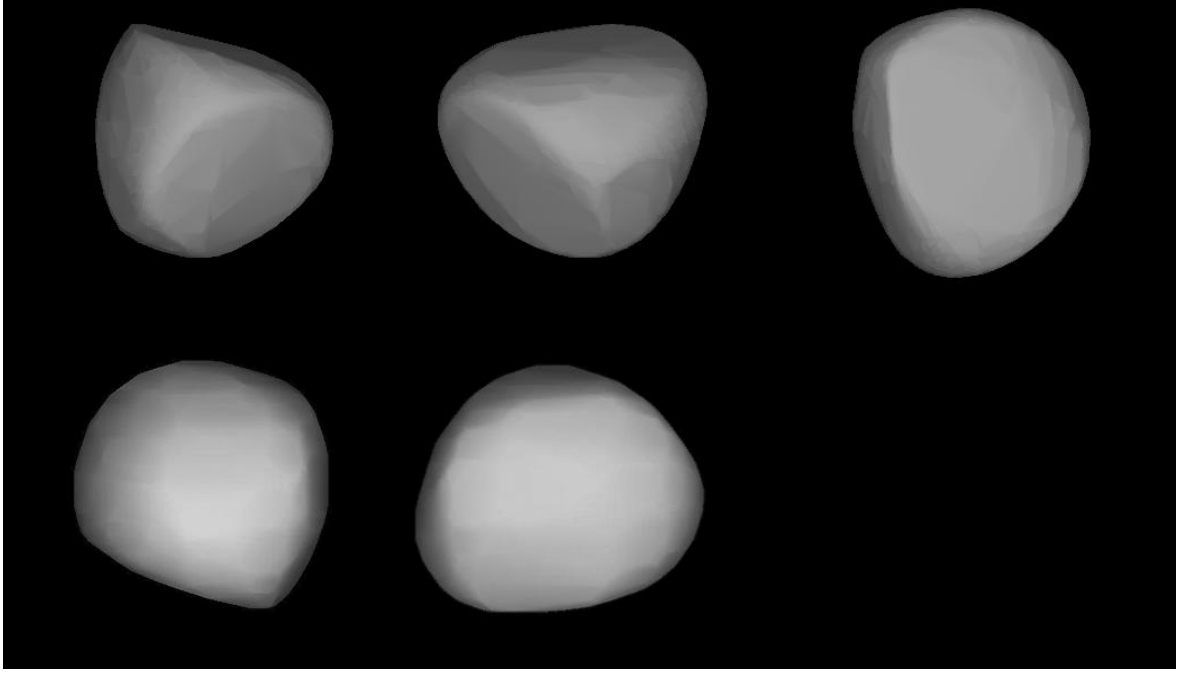
Şekil 4.1.3.4. 511Davida'ya ilişkin bu çalışmada elde edilen şekil çözümü. Burada kutup 2 olarak gösterilen çözüm (alt sıra), literatürdekiyle genel olarak uyşmaktadır.



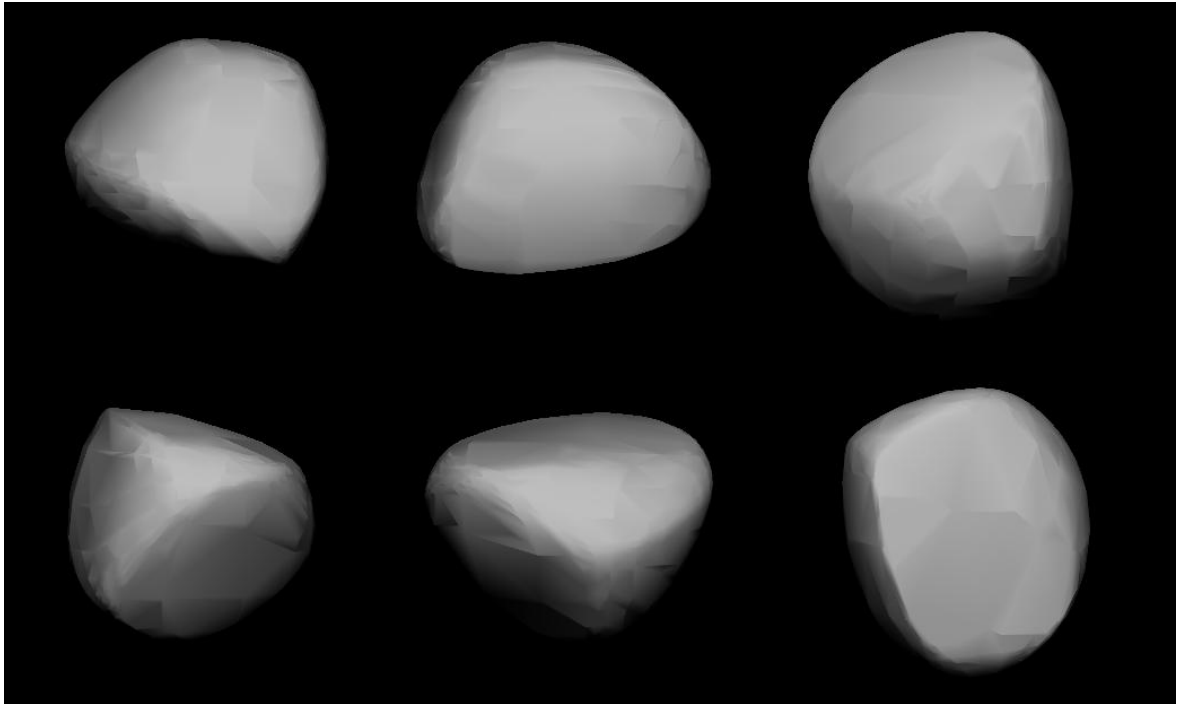
Şekil 4.1.3.5. 694Ekard'a ilişkin literatür şekil çözümü (Durech ve ark., 2008a).



Şekil 4.1.3.6. 694Ekard'a ilişkin bu çalışmada elde edilen şekil çözümü. Burada kutup 1 olarak gösterilen çözüm (üst sıra), literatürdekiyle genel olarak uyumaktadır.



Şekil 4.1.3.7. 776Berbericia'ya ilişkin literatür şekil çözümü. Kutup 1 (üst sıra), Durech ve ark. (2008a)'dan ve kutup 2 (alt sıra), Torppa ve ark. (2008)'den alınmıştır. Kutup 2 çözümüne ilişkin üçüncü görünüm literatürde gösterilmemiştir.



Şekil 4.1.3.8. 776Berbericia'ya ilişkin bu çalışmada elde edilen şekil çözümü. Burada kutup 1 olarak gösterilen çözüm (üst sıra), literatürdeki kutup 2 çözümüyle genel olarak uyuşmaktadır. Kutup 2 olarak elde edilen çözüm (alt sıra) ise, literatürdeki kutup 1 çözümüyle uyuşum içerisindedir.

#### 4.2. Analiz Sonuçlarına İlişkin Genel Açıklamalar ve Tartışmalar

Çizelge 4.1.1.2'den de görüldüğü üzere, asteroidlerin kutup 1 ve kutup 2 çözümlerine ilişkin elde edilen  $\lambda_0$  değerleri birbirlerinden kabaca 180 derece farklıdır. 694Ekard ve 776Berbericia'ya ilişkin  $\beta_0$  değerlerinin, kutup 1 ve kutup 2 için birbirlerinden farklı olarak elde edilmiş olması, bu asteroidlere ilişkin yetersiz duyarlılıktaki çözümlerle ve/veya bu asteroidlerin göreceli olarak yüksek yörünge eğimine sahip olmasıyla açıklanabilir. Bu çalışma için seçilen asteroidlerin ışık eğrisi verileri, uygun duyarlılıkta analiz sonuçları verebilecek nitelikte ve nicelikte olduğundan, 694Ekard ve 776Berbericia'nın kutup 1 ve kutup 2 çözümlerine ilişkin  $\beta_0$  değerlerinin farklılığı, bu asteroidlerin görece yüksek yörünge eğimleriyle açıklanabilir.

Elde edilen gözlemsel ışık eğrilerinden ve bu ışık eğrilerine uygulanan sentetik ışık eğrisi fitlerinden de anlaşılacağı üzere, seçilen asteroidler, diğer çoğu asteroid gibi, bir dönme dönemi boyunca çift tepe ve çift çukur gösteren bozulmuş sinüs benzeri ışık eğrilerine sahiptir. Herhangi bir ışık eğrisi için sunulan sentetik ışık eğrisi fiti, gerçekte, ilgili asteroide ilişkin tüm ışık eğrisi setini en iyi ifade eden kuramsal ana eğrinin söz konusu ışık eğrisine denk gelen bir detaydır. Model fitlerin kimi zaman bazı hata barlarının biraz dışına taşması, "convex inversion" sonucunda elde edilen bu fitlerin, dar zaman aralığındaki detaylardan çok,  $T$  zaman aralığındaki tüm veri setine ilişkin genel resmi ifade etmeye yönelik olmasından ileri gelmektedir.

Fotomorfografik analizde özellikle şekil modellerine ait elde edilen çözümler, analizde kullanılan verinin miktarına ve niteliğine bağlı olarak yorumlanmakta ve özellikle yetersiz verilerle elde edilen şekil modellerine ilişkin detaylı yorumlardan kaçınılmaktadır. Nitelikli verilerin gelecekte artırılmasıyla elde edilecek modeller, fotometrik duyarlılığın izin verdiği ölçüde daha kararlı ve yoruma açık ayrıntılar ortaya koyabilecektir.

Bu çalışmada kullanılan veriler yetersiz değildir, ancak Torppa (2007)'de de belirtildiği gibi, asteroid üzerindeki küçük ölçekli özellikler gözlem gürültüsü içerisinde kaybolduğundan, şekil modellerine ilişkin açıklamalar genel gözlem duyarlılığının izin verdiği ölçüde yapılmıştır. Bu anlamda elde edilen şekil modelleri, kararlı ve karakteristik olduğu düşünülen büyük ölçekli genel özellikleri ortaya koyma adına kısaca açıklanmıştır.

#### 4.2.1. 201Penelope

ÇAAM&UG ve TUG’da yapılan gözlemleri boyunca ortalama 42 derecelik düşük sayılabilecek bir görünüş açısına sahip olmasına rağmen, ışık eğrilerindeki  $0^m.2$  değerinin üzerindeki genlik miktarı, bu asteroidin belirgin bir biçimde uzamış bir şekle sahip olduğunun göstergesidir.

Elde edilen şekil çözümlerinden de görüldüğü üzere, 201Penelope, bir ucu diğerine göre çok daha küçük olan uzunca koni biçimli dışbükey bir kabuğa sahiptir. Kaasalainen ve ark. (2002c), bu tip asteroidlerin senkronize dönme gösteren çift asteroidler olabileceğine dikkat çekmiştir. Ancak, ana-kuşak asteroidlere ilişkin ışık eğrileri içbükeyliklere ilişkin yeterli bilgiler içermediklerinden, ana-kuşak asteroidlerdeki çift yapıya ilişkin içbükeylikleri ortaya koyan daha betimleyici bir model, “convex inversion” yoluyla genellikle belirlenememektedir (Kasalainen ve ark., 2002c).

Asteroide ilişkin elde edilen kutup 1 ve kutup 2 şekilleri, birbirlerine oldukça benzemektedir (büyük yaklaşıkla birbirlerinin “mirror” görüntüleridirler). Bu nedenle, 201Penelope’nin kutup 1 ve kutup 2 çözümlerine ilişkin model fitler çok benzer bir yapı sergilemektedir.

#### 4.2.2. 511Davida

Bu asteroid, ÇAAM&UG’nde, yaklaşık 90 derecelik bir görünüş açısından gözlenmiştir. 511Davida’ya ilişkin elde edilen model fitlerin minik değişimleri de sergileyebiliyor olmasının ana nedeni, görünüş açısının bu yüksek değerine bağlanabilir.

Elde edilen şekle ilişkin özellikle kutup 2 çözümü, yüzeyinde genellikle keskin özellikler göstermeyen bir modele işaret etmektedir. Kutup 1 çözümü, kutup 2 çözümüne göre biraz daha basık elde edilmiştir. Ekvatorial görünümler açısından farklı olan kutup 1 ve kutup 2 çözümleri, tepeden bakışta daha benzer bir görünüm sergilemektedir.

#### 4.2.3. 694Ekard

Bu asteroide ilişkin belirlenen kutup 1 çözümü, kutup 2 çözümüne göre daha yumuşak hatlara sahiptir ve kutup 2 çözümü, kutup 1’e göre belirgin düzlemsel yüzeylere sahiptir.



**4.2.4. 776Berbericia**

Basık olmayan bir şekle sahip olması ve gözlendiği tarihte düşük sayılabilecek bir görünüş açısında bulunması sebebiyle bu asteroidin elde edilen ışık eğrisi, görece düşük bir genlik değerine sahiptir.

776Berbericia'ya ilişkin elde edilen şekil çözümleri, kimi yerde keskin özellikler gösteren asimetrik biçimlerdir. İki kutup çözümü de, belki de olası bir içbükeylik işareti olarak, belirli bölgelerde geniş düzlemsel yüzeyler sergilemektedir.

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma için seçilen asteroidlerin fotomorfografik analiz yoluyla elde edilen şekil modelleri, asteroidler görece büyük boyutlu olmasına rağmen, genel olarak belirgin ve büyük ölçekli yüzey özellikleri sergileyen modellerdir. Bununla birlikte, ilgili asteroidlerin yüzeyleri boyunca anlamlı bir albedo değişimi belirlenmemiştir. Elde edilen tüm bu bulgular, Kaasalainen ve ark. (2002b)'de ve Torppa ve ark. (2003)'te asteroidlere yönelik varılan genel yargıya paralellik göstermektedir.

Belirlenen  $\beta_0$  tutulum enlemleri arasında düşük ya da negatif değerli olanlar, ilgili asteroidlerin ya birer çarpışma ürünü olduklarına ya da geçmişte çarpışma(lar) yaşamış olabileceğine ihtimal verir. Düşük  $\beta_0$  değerlerine neden olabilecek diğer bir olasılık, özellikle küçük asteroidler için YORP etkisidir. Dört adet asteroidin fotomorfografik analizi sonucunda bile küçük  $\beta_0$  değerlerinin elde edildiği göz önünde bulundurulacak olursa, diğer çok sayıda asteroid için geçmişte ve hatta şimdi, bu türden olası etkilerin önemli bir rol oynadığı düşünülebilir. Bu konunun daha somut araştırılması, çok sayıda asteroidin fotomorfografik analiz ya da diğer fotometrik modelleme yöntemleriyle incelenmesini gerektirmektedir.

Fotomorfografik analiz yoluyla, literatürde bugüne kadar elde edilen çözümler, çoğu asteroidin gerçekten de basit elipsoid modellerle temsil edilemeyecek kadar düzensiz şekilli olduğunu ve asteroide ilişkin herhangi bir ön şekil varsayılmadan yeterli geometrilere alınmış fotometrik verilerle dönme durumu, şekil ve yüzey özellikleriyle ilgili önemli bilgilere ulaşılabildiğini göstermiştir.

Fotomorfografik analiz çözümlerindeki şekil modelleri, radar gözlemleriyle elde edilenler kadar duyarlı değildir. Bununla birlikte radar gözlem tekniği, sınırlı sayıda yakın asteroid için uygulanabilmektedir, fotometrik gözlemlerde ise böyle bir sınırlama söz konusu değildir. Bu nedenle fotometrik gözlemler, asteroidlerin genelini tanımada halen ana bilgi kaynağı durumundadır ve gelecekte de bu özelliğini koruyacaktır.

Çalışmaları yakın gelecekte hızlanacak olan genel gök tarama programları (PanSTARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System) ve GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) gibi), asteroidlere uygulanan fotometrik analiz yöntemleri için yaygın ve duyarlı veri sağlayacak ve bu sayede bu cisimlerin dönme durumları, şekilleri ve yüzey özellikleri daha esaslı bir çerçevede

istatistiksel olarak incelenebilecektir. Bu parametrelerin fotometrik analiz yöntemleriyle çözülmesi ve elde edilen çözümlere ilişkin dağılımların istatistiksel olarak çalışılmasıyla, asteroidlerin farklı özellikleri arasındaki olası bağlantılar belirlenebilecektir. Böyle bir çalışmanın ilk örneklerinden biri Torppa ve ark. (2008)'de verilmiştir ancak ilgili korelasyonların daha güvenilir belirlenebilmesi için çok sayıda asteroide ilişkin çok sayıda gözleme ihtiyaç vardır. Çalışma programlarının genellikle belirli bir yüzdesinde asteroid gözleyecek olan genel gök tarama programları, her ne kadar asteroid fotometrisine önemli bir destek sağlayacak olsa da, yoğun ya da yaygın veri elde etmede gösterilen kişisel çabalara (profesyonel ya da amatör olarak) bu alanda halen daha büyük bir ihtiyaç vardır.

Sağlıklı istatistiksel incelemeler için, küçük ve büyük boyutlu asteroidlerin fotometrik gözlemlerine olduğu kadar, yavaş ve hızlı dönen asteroidlerin fotometrik gözlemlerine de gereksinim duyulmaktadır. Daha duyarlı ışık saçılım fonksiyonlarının geliştirilmesi ve eğer relatif değillerse eldeki ışık eğrilerinin ortak (mutlak) bir sisteme kalibre edilmesi (fotometrik veri yoluyla mümkün olduğunca çok sayıda duyarlı çözüm elde edebilmek adına) önemli diğer ihtiyaçlar arasında yer almaktadır.

İyi planlanmış fotometrik gözlemlerden elde edilen veriler, fotomorfografik analiz gibi güncel ışık eğrisi analiz yöntemlerinde kullanıldığında, asteroidlerin bireysel özelliklerine ilişkin değerli bilgilere ulaşılabilmekte ve çok sayıdaki asteroidin bireysel bilgilerinden, asteroidlerin çarpışma geçmişleri ve evrimleri gibi asteroid popülasyonuna ilişkin önemli bazı bilgilere istatistiksel bir pencereden bakılabilmekte ve sonuçta Güneş Sisteminin oluşumuna ilişkin çok değerli bilgiler edinilebilmektedir.

Türkiye'de asteroid fotometrisi üzerine yapılan gözlemsel ya da teorik çalışmalar şu an için oldukça yetersizdir. Güneş Sistemi astrofiziği kapsamında sahip olunan bu açığın kapatılmasına yönelik gelecekte yapılacak çalışmalar, ülkenin bilimsel platformdaki çeşitliliğini artırma adına önemli görülmesi ve desteklenmelidir. Literatürden, ÇAAM&UG'den ve TUG'dan elde edilen verilere güncel bir analizin uygulandığı, çözümlerin elde edildiği ve Türkiye'de elde edilen fotometrik verilere bu analiz yöntemi uyarınca model ışık eğrilerinin fit edildiği bu tez çalışmasındaki örnek uygulamaların, söz konusu açığın onarılmasına yönelik yakın gelecekte atılacak ilk adımlar için bir itki kaynağı olarak görülmesi umut edilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Barsuhn J., 1983. The Light Curves of a Freely Precessing Spheroidal Minor Planet. *Astronomy and Astrophysics*, 122: 237-240.
- Barucci A., Cellino A., Fulchignoni M., Lumme K., Zappala V. ve Magnusson, P., 1992. Ground-based Gaspra Modelling: Comparison with the First Galileo Image. *Astronomy and Astrophysics*, 266: 385-394.
- Belton M. J. S., Veverka J., Thomas P., Helfenstein P., Simonelli D., Chapman C., Davies M. E., Greeley R., Greenberg R., Head J., Murchie S., Klaasen K., Johnson T. V., McEwen A., Morrison D., Neukum G., Fanale F., Anger C., Carr M. ve Pilcher C., 1992. Galileo Encounter with 951 Gaspra: First Pictures of an Asteroid. *Science*, 257: 1647-1652.
- Carry B., Dumas C., Kaasalainen M., Berthier J., Merline W. J., Erard S., Conrad A., Drummond J. D., Hestroffer D., Fulchignoni M. ve Fusco T., 2010a. Physical properties of (2) Pallas. *Icarus*, 205: 460-472.
- Carry B., Kaasalainen M., Leyrat C., Merline W. J., Drummond J. D., Conrad A., Weaver H. A., Tamblyn P. M., Chapman C. R., Dumas C., Colas F., Christou J. C., Dotto E., Perna D., Fornasier S., Bernasconi L., Behrend R., Vachier F., Kryszczyńska A., Polinska M., Fulchignoni M., Roy R., Naves R., Poncy R. ve Wiggins P., 2010b. Physical properties of ESA Rosetta target asteroid (21) Lutetia: Shape and flyby geometry. *Astronomy and Astrophysics*, baskıda (in press).
- Cellino A., Zappala V. ve Farinella P., 1989. Asteroid Shapes and Lightcurve Morphology. *Icarus*, 78: 298-310.
- Cellino A., Delbo M., Zappala V., Dell’Oro A. ve Tanga P., 2006. Rotational properties of asteroids from Gaia disk-integrated photometry: A genetic algorithm. *Adv. in Space Res.*, 38 (9): 2000-2005.
- Chang Y. C. ve Chang C. S., 1963. Photometric Investigations of Variable Asteroids. II. *Acta Astronomica Sinica*, 11: 139-148.
- Debehogne H., de Sanctis G. ve Zappala V., 1983. Photoelectric photometry of asteroids 45, 120, 776, 804, 814, and 1982DV. *Icarus*, 55: 236-244.
- Demura H., Kobayashi S., Nemoto E., Matsumoto N., Furuya M., Yukishita A., Muranaka N., Morita H., Shirakawa K., Maruya M., Ohyama H., Uo M., Kubota T.,

- Hashimoto T., Kawaguchi J., Fujiwara A., Saito J., Sasaki S., Miyamoto H. ve Hirata N., 2006. Pole and global shape of 25143 Itokawa. *Science*, 312: 1347-1349.
- Descamps P., Marchis F., Michalowski T., Colas F., Berthier J., Vachier F., Teng-Chuen-Yu J.-P., Peyrot A., Payet B., Dorseuil J., Leonie Y., Dijoux T., Berrouachdi H., Chion Hock C. ve Benard F., 2007. Nature of the small main belt Asteroid 3169 Ostro. *Icarus*, 189: 362-369.
- Detal A., Hainaut O., Pospieszalska-Surdej A., Schils P., Schober H. J. ve Surdej J., 1994. Pole, albedo and shape of the minor planets 624 Hektor and 43 Ariadne: two tests for comparing four different pole determination methods. *Astronomy and Astrophysics*, 281: 269-280.
- di Martino M., Zappala V., de Campos J. A., Debehogne H. ve Lagerkvist C.-I., 1987a. Rotational properties and lightcurves of the minor planets 94, 107, 197, 201, 360, 451, 511 and 702. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 67: 95-101.
- di Martino M., Zappala V., de Sanctis G. ve Cacciatori S., 1987b. Photoelectric photometry of 17 asteroids. *Icarus*, 69: 338-353.
- Durech J., Kaasalainen M., Marciniak A., Allen W. H., Behrend R., Bembrick C., Bennett T., Bernasconi L., Berthier J., Bolt G., Boroumand S., Crespo da Silva L., Crippa R., Crow M., Durkee R., Dymock R., Fagas M., Fauerbach M., Fauvaud S., Frey M., Goncalves R., Hirsch R., Jardine D., Kaminski K., Koff R., Kwiatkowski T., Lopez A., Manzini F., Michalowski T., Pacheco R., Pan M., Pilcher F., Poncy R., Pray D., Pych W., Roy R., Santacana G., Slivan S., Sposetti S., Stephens R., Warner B. ve Wolf M., 2007. Physical models of ten asteroids from an observers' collaboration network. *Astronomy and Astrophysics*, 465: 331-337.
- Durech J., Kaasalainen M. ve Sidorin V., 2008a. *Database of Asteroid Models from Inversion Techniques (DAMIT)*. Retrieved June 29, 2010, from <http://astro.troja.mff.cuni.cz/projects/asteroids3D/web.php>
- Durech J., Vokrouhlicky D., Kaasalainen M., Higgins D., Krugly Yu. N., Gaftonyuk N. M., Shevchenko V. G., Chiorny V. G., Hamanowa H., Hamanowa H., Reddy V. ve Dyvig R. R., 2008b. Detection of the YORP effect in asteroid (1620) Geographos. *Astronomy and Astrophysics*, 489: L25-L28.
- Fulchignoni M. ve Barucci A., 1988. Numerical Algorithms Modeling Asteroids. *BAAS*, 20: 866.
- Gehrels T. ve Owings D., 1962. Photometric Studies of Asteroids. IX. Additional Light-Curves. *Astrophysical Journal*, 135: 906-924.

- Groeneveld I. ve Kuiper G. P., 1954. Photometric Studies of Asteroids. I. *Astrophysical Journal*, 120: 200-220.
- Hainaut-Rouelle M.-C., Hainaut O. R. ve Detal A., 1995. Lightcurves of selected minor planets. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 112: 125-142.
- Harris A. W. ve Young J. W., 1989. Asteroid lightcurve observations from 1979-1981. *Icarus*, 81: 314-364.
- Harris A. W., Young J. W., Dockweiler T., Gibson J., Poutanen M. ve Bowell E., 1992. Asteroid lightcurve observations from 1981. *Icarus*, 95: 115-147.
- Kaasalainen M., Lamberg L., Lumme K. ve Bowell E., 1992a. Interpretation of Lightcurves of Atmosphereless Bodies: I. General Theory and New Inversion Schemes. *Astronomy and Astrophysics*, 259: 318-332.
- Kaasalainen M., Lamberg L. ve Lumme K., 1992b. Interpretation of Lightcurves of Atmosphereless Bodies: II. Practical Aspects of Inversion. *Astronomy and Astrophysics*, 259: 333-340.
- Kaasalainen M. ve Torppa J., 2001. Optimization Methods for Asteroid Lightcurve Inversion: I. Shape Determination. *Icarus*, 153: 24-36.
- Kaasalainen M., Torppa J. ve Muinonen K., 2001. Optimization Methods for Asteroid Lightcurve Inversion: II. The Complete Inverse Problem. *Icarus*, 153: 37-51.
- Kaasalainen M., 2001. Interpretation of lightcurves of precessing asteroids. *Astronomy and Astrophysics*, 376: 302-309.
- Kaasalainen M., Mottola S. ve Fulchignoni M., 2002a. Asteroid Models from Disk-integrated Data. In: Bottke Jr. W. F., Cellino A., Paolicchi P. ve Binzel R. P., Eds. *Asteroids III*. University of Arizona Press. 139-150.
- Kaasalainen M., Torppa J. ve Piironen J., 2002b. Models of Twenty Asteroids from Photometric Data. *Icarus*, 159: 369-395.
- Kaasalainen M., Torppa J. ve Piironen J., 2002c. Binary Structures Among Large Asteroids. *Astronomy and Astrophysics*, 383: L19-L22.
- Kaasalainen M., Pravec P., Krugly Yu. N., Sarounova L., Torppa J., Virtanen J., Kaasalainen S., Erikson A., Nathues A., Durech J., Wolf M., Lagerros J. S. V., Lindgren M., Lagerkvist C.-I., Koff R., Davies J., Mann R., Kusnirak P., Gaftonyuk N. M., Shevchenko V. G., Chiorny V. G. ve Belskaya I. N., 2004. Photometry and models of eight near-Earth asteroids. *Icarus*, 167: 178-196.
- Kaasalainen M., 2010. Inverse Problems and Imaging. *ArXiv e-prints*, baskıda (in press).

- Karttunen H., 1989. Modelling asteroid brightness variations. I. Numerical methods. *Astronomy and Astrophysics*, 208: 314-319.
- Karttunen H. ve Howell E., 1989. Modelling asteroid brightness variations. II. The uninterpretability of light curves and phase curves. *Astronomy and Astrophysics*, 208: 320-326.
- Kryszczyńska A., Kwiatkowski T., Breiter S. ve Michalowski T., 1999. Relation between rotation and lightcurve of 4179 Toutatis. *Astronomy and Astrophysics*, 345: 643-645.
- Lagerkvist C.-I., Rickman H., Scaltriti F. ve Zappala V., 1981. Physical Studies of Asteroids. VI. Asteroid 201Penelope, a Fast Rotator. *Astronomy and Astrophysics*, 104: 148-149.
- Lamberg L., 1993. On the Minkowski Problem and the Lightcurve Operator. *Academia Scientiarum Fennica, Series A, I. Mathematica dissertationes 87*, University of Helsinki.
- Lumme K., Karttunen H. ve Howell E., 1990. A Spherical Harmonics Method for Asteroid Pole Determination. *Astronomy and Astrophysics*, 229: 228-239.
- Magnusson P., Dahlgren M., Barucci M. A., Jorda L., Binzel R. P., Slivan S. M., Blanco C., Riccioli D., Buratti B. J., Colas F., Berthier J., de Angelis G., di Martino M., Dotto E., Drummond J. D., Fink U., Hicks M., Grundy W., Wisniewski W., Gaftonyuk N. M., Geyer E. H., Bauer T., Hoffmann M., Ivanova V., Komitov B., Donchev Z., Denchev P., Krugly Yu. N., Velichko F. P., Chiorny V. G., Lupishko D. F., Shevchenko V. G., Kwiatkowski T., Kryszczyńska A., Lahulla J. F., Licandro J., Mendez O., Mottola S., Erikson A., Ostro S. J., Pravec P., Pych W., Tholen D. J., Whiteley R., Wild W. J., Wolf M. ve Sarounova L., 1996. Photometric observations and modeling of asteroid 1620 Geographos. *Icarus*, 123: 227-244.
- Magri C., Ostro S., Scheeres D., Nolan M., Giorgini J., Benner L. ve Margot J.-L., 2007. Radar observations and a physical model of Asteroid 1580 Betulia. *Icarus*, 186: 152-177.
- Marchis F., Kaasalainen M., Hom E. F. Y., Berthier J., Enriquez J., Hestroffer D., Le Mignant D. ve de Pater I., 2006. Shape, size and multiplicity of main-belt asteroids. I. Keck Adaptive Optics survey. *Icarus*, 185: 39-63.
- Michalowski T., 1988. Photometric Astrometry Applied to Asteroids: 6, 15, 43, and 624. *Acta Astronomica*, 38: 455-468.

- Mottola S. ve Lahulla F., 2000. Mutual eclipse events in asteroidal binary system 1996 FG3: Observations and a numerical model. *Icarus*, 146: 556-567.
- Muironen K., 1998. Introducing the Gaussian shape hypothesis for asteroids and comets. *Astronomy and Astrophysics*, 332: 1087-1098.
- Muironen K. ve Lagerros J., 1998. Inversion of shape statistics for small solar system bodies. *Astronomy and Astrophysics*, 333: 753-761.
- Muironen K., Torppa J., Virtanen J., Naranen J., Niemela J., Granvik M., Laakso T., Parviainen H., Aksnes K., Dai Z., Lagerkvist C.-I., Rickman H., Karlsson O., Hahn G., Michelsen R., Grav T., Pravec P. ve Jorgensen U. G., 2007. Spins, shapes, and orbits for potentially hazardous near-Earth objects by NEON, *In Proceedings of IAU Symposium No 236, Near-Earth Objects, our Celestial Neighbors: Opportunity and Risk* (Milani A., Valsecchi G. ve Vokrouhlicky D., Eds.), p. 309.
- Nemiroff R., Bonnell J. ve Norris J., 2001. *Astronomy Picture of the Day (APOD)*. Retrieved August 28, 2010, from <http://apod.nasa.gov/apod/ap010605.html>
- Pfleiderer J., Pfleiderer M. ve Hanslmeier A., 1987. Photoelectric five-colour photometry of the asteroids 16 Psyche, 201 Penelope and 702 Alauda. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 69: 117-122.
- Pravec P., Sarounova L., Rabinowitz D. L., Hicks M. D., Wolf M., Krugly Yu. N., Velichko F. P., Shevchenko V. G., Chiorny V. G., Gaftonyuk N. M. ve Genevier G., 2000. Two-period lightcurves of 1996 FG3, 1998 PG, and (5407) 1992 AX: One probable and two possible binary asteroids. *Icarus*, 146: 190-203.
- Russell H. N., 1906. On the light-variations of asteroids and satellites. *Astrophysical Journal*, 24: 1-18.
- Schober H. J., 1979. 387 Aquitania and 776 Berbericia - Two slow spinning asteroids with rotation periods of nearly one day. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 38: 91-99.
- Sher D., 1971. On the Variation in Light of Tumbling Bodies. *Astrophys. Space Sci.*, 11: 222-231.
- Shevchenko V. G., Belskaya I. N., Krugly Yu. N., Chiomy V. G. ve Gaftonyuk N. M., 2002. Asteroid Observations at Low Phase Angles. *Icarus*, 155: 365-374.
- Surdej J., Louis B., Cramer N., Rufener F., Waelkens C., Barbier R. ve Birch P. V., 1983. Photoelectric lightcurves and rotation period of the minor planet 201 Penelope. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 54: 371-378.



- Taylor R. C., 1979. Pole orientations of asteroids. In: Gehrels T., Ed. *Asteroids*. University of Arizona Press. 480-493.
- Taylor R. C. ve Tedesco E. F., 1983. Pole orientation of asteroid 44 NYSA via photometric astrometry, including a discussion of the method's application and its limitations. *Icarus*, 54: 13-22.
- Taylor P., Margot J-L., Vokrouhlick D., Scheeres D., Pravec P., Lowry S., Fitzsimmons A., Nolan M., Ostro S., Benner L., Giorgini J. ve Magri C., 2007. Spin Rate of Asteroid (54509) 2000 PH5 Increasing Due to the YORP Effect. *Science*, 316: 274-277.
- Torppa J., Kaasalainen M., Michalowski T., Kwiatkowski T., Kryszczyńska A., Denchev P. ve Kowalski R., 2003. Shapes and rotational properties of thirty asteroids from photometric data. *Icarus*, 164: 346-383.
- Torppa J. ve Muinonen K., 2005. Statistical Inversion of Gaia Photometry for Asteroid Spins and Shapes, *In Proceedings of the Gaia Symposium The Three-Dimensional Universe with Gaia (ESA SP-576)* (Turon C., O'Flaherty K. S. ve Perryman M. A. C., Eds.), p. 321, Held at the Observatoire de Paris-Meudon, 4-7 October 2004.
- Torppa J., 2007. Lightcurve Inversion for Asteroid Spins and Shapes. PhD Dissertation (Doktora Tezi). Faculty of Science of the University of Helsinki, Department of Astronomy, Finland.
- Torppa J., Hentunen V.-P., Pääkkönen P., Kehusmaa P. ve Muinonen K., 2008. Asteroid shape and spin statistics from convex models. *Icarus*, 198: 91-107.
- Vesely C. D. ve Taylor R. C., 1985. Photometric lightcurves of 21 asteroids. *Icarus*, 64: 37-52.
- Warner B.D., 2007. Initial Efforts at Asteroid Lightcurve Inversion, *In Proceedings for the 26<sup>th</sup> Annual Conference of the Society for Astronomical Sciences, Symposium on Telescope Science* (Warner B. D., Foote J., Kenyon D. A. ve Mais D., Eds.), p. 79, Northwoods Resort, Big Bear Lake, CA-USA, 22-24 May 2007.
- Weidenschilling S. J., Chapman C. R., Davis D. R., Greenberg R., Levy D. H. ve Vail S., 1987. Photometric geodesy of main-belt asteroids. I - Lightcurves of 26 large, rapid rotators. *Icarus*, 70: 191-245.
- Weidenschilling S. J., Chapman C. R., Davis D. R., Greenberg R. ve Levy D. H., 1990. Photometric geodesy of main-belt asteroids. III - Additional lightcurves. *Icarus*, 86: 402-447.

- Zappala V., 1981. A Semi-Analytic Method for Pole Determination of Asteroids. *The Moon and the Planets*, 24: 319-325.
- Zeigler K. W. ve Florence W. B., 1985. Photoelectric photometry of asteroids 9 Metis, 18 Melpomene, 60 Echo, 116 Sirona, 230 Athamantis, 694 Ekard, and 1984 KD. *Icarus*, 62: 512-517.

## EK-1 Bu Çalışma İçin Analizde Kullanılan Fotometrik Veriler

Ek-1'deki çizelgelerde, seçilen asteroidlerin analizinde kullanılan fotometrik verilere (ışık eğrilerine) ilişkin genel bilgiler yer almaktadır. Listenin sonlarında yer alan ışık eğrisi numaralarından bazıları koyu olarak gösterilmiştir, bu ışık eğrileri (ÇAAM&UG) veya (TUG)'dan elde edilen ışık eğrileridirler. Listedeki diğer veriler, çizelgede gösterilen kaynaklara ait olup, bu veriler toplu olarak Durech ve ark. (2008a)'dan alınmıştır. Çizelgelerdeki  $\alpha$ , evre açısıdır. Herhangi bir ışık eğrisine ilişkin gözlem süresi, ışık eğrisinin sinodik dönemi cinsinden verilmiştir. Işık eğrilerinin büyük çoğunluğu görsel filtrede alınmıştır.

Çizelge 1. 201Penelope için analizde kullanılan fotometrik veriler

No	Kaynak / Gözlemci	Gözlem Başı (UT) gg.g/aa/yy	$\alpha$ (°)	Gözlem Süresi ( $xP_{sin}$ )	Işık eğrisi nokta sayısı
1	(Harris ve Young, 1989)	20.3/09/80	2.1	1.30	7
2	(Surdej ve ark., 1983)	06.0/10/80	7.5	1.98	74
3	(Surdej ve ark., 1983)	08.1/10/80	8.5	1.05	76
4	(Surdej ve ark., 1983)	11.1/10/80	10.0	1.50	60
5	(Surdej ve ark., 1983)	14.0/10/80	11.3	1.36	93
6	(Surdej ve ark., 1983)	17.0/10/80	12.6	0.77	51
7	(Lagerkvist ve ark., 1981)	27.7/10/80	16.8	1.53	173
8	(Lagerkvist ve ark., 1981)	27.7/10/80	18.2	1.40	31
9	(Lagerkvist ve ark., 1981)	27.7/10/80	16.8	1.53	163
10	(Lagerkvist ve ark., 1981)	27.7/10/80	18.0	1.56	43
11	(Lagerkvist ve ark., 1981)	27.8/10/80	18.7	1.51	64
12	(Lagerkvist ve ark., 1981)	27.8/10/80	18.6	1.00	11
13	(Surdej ve ark., 1983)	29.5/10/80	17.4	0.80	91
14	(Surdej ve ark., 1983)	30.0/10/80	17.6	1.08	54
15	(Surdej ve ark., 1983)	30.6/10/80	17.7	1.01	101
16	(Surdej ve ark., 1983)	07.5/11/80	20.0	1.37	95
17	(Weidenschilling ve ark., 1987)	16.4/12/82	17.7	0.56	10
18	(Weidenschilling ve ark., 1987)	16.5/12/82	17.7	0.37	8
19	(Weidenschilling ve ark., 1987)	18.3/02/83	12.9	0.90	20
20	(Weidenschilling ve ark., 1987)	18.4/02/83	12.9	0.95	12
21	(Weidenschilling ve ark., 1987)	27.2/03/83	1.4	0.98	24
22	(Weidenschilling ve ark., 1987)	10.4/04/84	24.1	0.30	9
23	(Weidenschilling ve ark., 1987)	10.5/04/84	24.2	0.27	10
24	(Pfleiderer ve ark., 1987)	25.7/07/84	6.3	0.96	78
25	(Pfleiderer ve ark., 1987)	25.7/07/84	6.3	0.96	76
26	(Weidenschilling ve ark., 1987)	20.4/10/85	19.9	0.31	5
27	(Weidenschilling ve ark., 1987)	20.5/10/85	19.9	0.97	17
28	(Weidenschilling ve ark., 1990)	05.3/02/87	8.7	0.98	14
29	(Weidenschilling ve ark., 1990)	05.5/02/87	8.7	0.10	4
30	(Weidenschilling ve ark., 1990)	23.4/04/88	12.1	0.74	10
31	(Weidenschilling ve ark., 1990)	23.5/04/88	12.1	0.95	12
32	(Weidenschilling ve ark., 1990)	19.1/11/89	10.2	0.96	28
33	Afşar Kabaş, Tamer Akın (TUG)	29.8/07/06	2.5	1.22	121

34	Afşar Kabaş, Tamer Akın (TUG)	30.8/07/06	2.7	1.51	80
35	Afşar Kabaş, S.Serkan Doğru (ÇOMÜG – T30b)	03.8/08/06	4.0	1.03	110
36	S.Serkan Doğru (ÇOMÜG – T30b)	04.8/08/06	4.4	0.71	82
37	Afşar Kabaş, S.Serkan Doğru (ÇOMÜG – T30b)	11.8/08/06	7.6	1.16	144
38	Afşar Kabaş (TUG)	15.8/08/06	9.5	1.21	104
39	Afşar Kabaş (TUG)	16.8/08/06	10	1.58	167

Çizelge 2. 511 Davida için analizde kullanılan fotometrik veriler

No	Kaynak / Gözlemci	Gözlem Başı (UT) gg.g/aa/yy	$\alpha$ (°)	Gözlem Süresi ( $xP_{sin}$ )	Işık eğrisi nokta sayısı
1	(Groeneveld ve Kuiper, 1954)	26.1/01/52	5.0	1.43	65
2	(Groeneveld ve Kuiper, 1954)	08.2/04/53	6.4	1.15	118
3	(Gehrels ve Owings, 1962)	26.2/01/58	8.1	1.19	99
4	(Chang ve Chang, 1963)	05.5/12/62	6.9	1.36	70
5	(Vesely ve Taylor, 1985)	29.2/12/68	1.8	1.70	27
6	(Vesely ve Taylor, 1985)	30.3/12/68	1.5	1.40	30
7	(Vesely ve Taylor, 1985)	21.3/03/70	7.8	0.95	35
8	(Vesely ve Taylor, 1985)	07.4/08/72	3.8	0.73	31
9	(Weidenschilling ve ark., 1987)	15.1/04/81	14.6	0.90	16
10	(Weidenschilling ve ark., 1987)	16.2/06/81	18.0	0.30	9
11	(Weidenschilling ve ark., 1987)	09.5/01/82	13.9	0.28	7
12	(Weidenschilling ve ark., 1987)	17.4/02/82	16.3	0.40	11
13	(Weidenschilling ve ark., 1987)	17.6/02/82	16.3	0.97	10
14	(Weidenschilling ve ark., 1987)	20.4/05/82	5.0	0.60	11
15	(Weidenschilling ve ark., 1987)	14.2/07/82	14.4	0.15	5
16	(Weidenschilling ve ark., 1987)	07.1/08/82	15.9	0.31	10
17	(Weidenschilling ve ark., 1987)	21.3/05/83	12.8	0.44	13
18	(Weidenschilling ve ark., 1987)	02.2/07/83	5.3	0.76	13
19	(Weidenschilling ve ark., 1987)	14.1/09/83	15.1	0.35	10
20	(Weidenschilling ve ark., 1987)	11.2/10/83	16.0	0.26	5
21	(Weidenschilling ve ark., 1987)	07.6/06/84	17.9	0.11	5
22	(Di_Martino ve ark., 1987a)	23.2/09/84	7.8	0.16	7
23	(Di_Martino ve ark., 1987a)	24.2/09/84	8.0	0.16	15
24	(Weidenschilling ve ark., 1987)	22.4/10/85	21.1	0.15	8
25	(Weidenschilling ve ark., 1987)	23.4/10/85	21.0	0.49	17
26	(Weidenschilling ve ark., 1987)	20.1/01/86	10.6	0.96	33
27	Afşar Kabaş (ÇOMÜG – T40)	08.9/11/07	11.3	0.51	50
28	Afşar Kabaş (ÇOMÜG – T40)	28.8/11/07	16.1	0.51	57

Çizelge 3. 694 Ekard için analizde kullanılan fotometrik veriler

No	Kaynak / Gözlemci	Gözlem Başı (UT) gg.g/aa/yy	$\alpha$ (°)	Gözlem Süresi ( $xP_{sin}$ )	Işık eğrisi nokta sayısı
1	(Weidenschilling ve ark., 1987)	13.3/09/83	18.4	0.48	19
2	(Weidenschilling ve ark., 1987)	14.1/09/83	18.1	0.95	22
3	(Zeigler ve Florence, 1985)	14.2/10/83	11.3	0.97	24

4	(Zeigler ve Florence, 1985)	14.2/10/83	11.3	0.97	30
5	(Zeigler ve Florence, 1985)	14.2/10/83	11.3	0.78	20
6	(Zeigler ve Florence, 1985)	14.2/10/83	11.3	0.31	12
7	(Zeigler ve Florence, 1985)	14.2/10/83	11.3	0.23	9
8	(Weidenschilling ve ark., 1987)	15.3/10/83	11.4	0.60	16
9	(Weidenschilling ve ark., 1987)	16.2/10/83	11.6	0.97	31
10	(Weidenschilling ve ark., 1987)	11.2/11/83	19.9	0.40	25
11	(Weidenschilling ve ark., 1987)	12.2/11/83	20.2	0.95	22
12	(Weidenschilling ve ark., 1987)	13.2/11/83	20.6	0.40	8
13	(Weidenschilling ve ark., 1987)	11.3/02/85	7.9	0.66	19
14	(Weidenschilling ve ark., 1987)	12.2/02/85	8.1	0.63	20
15	(Weidenschilling ve ark., 1990)	16.2/06/87	8.1	0.88	33
16	(Weidenschilling ve ark., 1990)	17.2/06/87	8.1	0.96	20
17	(Weidenschilling ve ark., 1990)	21.2/12/88	8.1	1.09	35
18	(Hainaut-Rouelle ve ark., 1995)	22.0/04/91	5.9	1.30	43
19	(Hainaut-Rouelle ve ark., 1995)	24.0/04/91	5.1	1.34	45
20	Afşar Kabaş, S.Serkan Doğru (ÇOMÜG – T30a)	29.8/11/05	9.9	1.07	316

Çizelge 4. 776Berbericia için analizde kullanılan fotometrik veriler

No	Kaynak / Gözlemci	Gözlem Başı (UT) gg.g/aa/yy	$\alpha$ (°)	Gözlem Süresi ( $\times P_{sin}$ )	Işık eğrisi nokta sayısı
1	(Schober, 1979)	05.0/09/77	11.1	1.08	119
2	(Schober, 1979)	06.0/09/77	11.1	1.16	134
3	(Schober, 1979)	07.0/09/77	11.1	1.20	152
4	(Harris ve ark., 1992)	30.2/05/81	1.7	0.70	6
5	(Harris ve ark., 1992)	03.3/06/81	2.3	0.50	5
6	(Harris ve ark., 1992)	04.3/06/81	2.5	0.40	7
7	(Harris ve ark., 1992)	29.2/06/81	10.4	0.55	5
8	(Harris ve ark., 1992)	30.2/06/81	10.7	0.52	5
9	(Harris ve ark., 1992)	01.2/07/81	11.0	0.54	4
10	(Harris ve ark., 1992)	08.2/07/81	12.8	0.44	6
11	(Debehogne ve ark., 1983)	09.2/09/82	11.5	2.00	25
12	(Debehogne ve ark., 1983)	10.0/09/82	11.6	1.07	26
13	(Debehogne ve ark., 1983)	13.2/09/82	12.0	0.66	16
14	(Debehogne ve ark., 1983)	14.0/09/82	12.2	1.18	59
15	(Debehogne ve ark., 1983)	15.0/09/82	12.3	1.25	43
16	(di Martino ve ark., 1987b)	06.8/01/84	4.4	1.17	85
17	(Hainaut-Rouelle ve ark., 1995)	21.2/09/92	14.5	0.63	21
18	(Hainaut-Rouelle ve ark., 1995)	01.1/10/92	16.8	0.63	49
19	(Durech ve ark., 2007)	10.8/02/04	16.1	0.16	36
20	(Durech ve ark., 2007)	12.8/02/04	16.6	0.34	76
21	(Durech ve ark., 2007)	13.8/02/04	16.8	0.22	46
22	(Durech ve ark., 2007)	15.8/02/04	17.2	0.42	96
23	(Durech ve ark., 2007)	19.9/02/04	17.9	0.23	51
24	(Durech ve ark., 2007)	23.9/02/04	18.5	0.17	30
25	(Durech ve ark., 2007)	28.9/02/04	19.1	0.17	37
26	(Durech ve ark., 2007)	15.0/02/05	12.0	0.63	61
27	(Durech ve ark., 2007)	18.9/02/05	11.2	0.66	59
28	(Durech ve ark., 2007)	11.8/03/05	7.7	0.63	26
29	(Durech ve ark., 2007)	12.8/03/05	7.6	0.98	47

30	(Durech ve ark., 2007)	09.8/05/05	15.1	0.37	21
31	(Durech ve ark., 2007)	14.2/06/06	7.9	0.38	71
32	(Durech ve ark., 2007)	15.2/06/06	8.2	0.51	107
33	(Durech ve ark., 2007)	16.2/06/06	8.5	0.51	105
34	(Durech ve ark., 2007)	18.2/06/06	9.1	0.51	88
35	(Durech ve ark., 2007)	19.2/06/06	9.4	0.45	81
36	(Durech ve ark., 2007)	20.2/06/06	9.7	0.46	89
<b>37</b>	Afşar Kabaş (ÇOMÜG – T122)	02.7/05/10	14.4	0.67	134

## EK-2 ÇAAM&UG ve TUG Gözlemlerine İlişkin Genel Bilgiler

Çizelgede yer alan Johnson-Cousin filtrelerindeki görsel parlaklık (V) ve (B-V) değerlerinin büyük çoğunluğu Guide 7.0 programının veri tabanından alınmıştır. 694Ekard'ın gözlemi filtresizdir, diğer asteroidler ise görsel filtre kullanılarak gözlenmiştir. Çizelgenin altında, belirtilen gözlem yerinde kullanılan gözlem donanımı açıklanmıştır.

Çizelge 1. ÇAAM&UG ve TUG Gözlemlerine İlişkin Genel Bilgiler

<b>201Penelope (B-V = 0.71)</b>					
<b>Gözlem Tarihi gg/aa/yy</b>	<b>Gözlem Yeri</b>	<b>V</b>	<b>Mukayese Yıldızı</b>		
			<b>GSC No</b>	<b>V</b>	<b>B-V</b>
29/07/06	TUG	10 <sup>m</sup> .9	5753 767	10 <sup>m</sup> .7	0.82
30/07/06	TUG	10 <sup>m</sup> .9	5753 767	10 <sup>m</sup> .7	0.82
03/08/06	ÇAAM&UG <sup>1</sup>	11 <sup>m</sup> .0	5753 1934	10 <sup>m</sup> .4	0.62
04/08/06	ÇAAM&UG <sup>1</sup>	11 <sup>m</sup> .0	5753 1934	10 <sup>m</sup> .4	0.62
11/08/06	ÇAAM&UG <sup>1</sup>	11 <sup>m</sup> .2	5752 1323	8 <sup>m</sup> .2	0.53
15/08/06	TUG	11 <sup>m</sup> .2	6315 331	9 <sup>m</sup> .5	0.83
16/08/06	TUG	11 <sup>m</sup> .3	6315 649	9 <sup>m</sup> .5	0.54
<b>511Davida (B-V = 0.72)</b>					
08/11/07	ÇAAM&UG <sup>2</sup>	10 <sup>m</sup> .5	5280 347	11 <sup>m</sup> .9	0.38
28/11/07	ÇAAM&UG <sup>2</sup>	10 <sup>m</sup> .8	5279 172	10 <sup>m</sup> .8	0.58
<b>694Ekard (B-V = 0.72)</b>					
29/11/05	ÇAAM&UG <sup>3</sup>	12 <sup>m</sup> .0	647 810	9 <sup>m</sup> .5	1.09
<b>776Berbericia (B-V = 0.70)</b>					
02/05/10	ÇAAM&UG <sup>4</sup>	13 <sup>m</sup> .1	1985 255	13 <sup>m</sup> .3	0.70

ÇAAM&UG<sup>1</sup>: 30 cm'lik Meade LX200 Schmidt-Cassegrain tipi teleskop (odak uzaklığı: 3048mm, f/10) ve SBIG marka STL1001E model CCD kamera (görüş alanı: 29' x 29') kullanılmıştır. Gözlemler T-30b kubbesinde gerçekleştirilmiştir.

ÇAAM&UG<sup>2</sup>: 40 cm'lik Meade LX200 Schmidt-Cassegrain tipi teleskop (odak uzaklığı: 4096mm, f/10) ve SBIG marka STL1001E model CCD kamera (görüş alanı: 22' x 22') kullanılmıştır. Gözlemler T-40 kubbesinde gerçekleştirilmiştir.

ÇAAM&UG<sup>3</sup>: 30 cm'lik Meade LX200 Schmidt-Cassegrain tipi teleskop (odak uzaklığı: 3048mm, f/10) ve SBIG marka ST10XME model CCD kamera (görüş alanı: 12' x 14') kullanılmıştır. Gözlem T-30a kubbesinde gerçekleştirilmiştir.

ÇAAM&UG<sup>4</sup>: 122 cm'lik Astelco T1200-1108 Cassegrain-Nasmyth tipi teleskop (f/10) ve Apogee marka U42 model CCD kamera (görüş alanı: 7'.5 x 7'.5) kullanılmıştır. Gözlem T-122 kubbesinde gerçekleştirilmiştir.

TUG: 40 cm'lik Meade LX200GPS Schmidt-Cassegrain tipi teleskop (odak uzaklığı: 4096mm, f/10) ve SBIG marka ST-8E model CCD kamera kullanılmıştır. Gözlemler YT-40 teleskopu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



### EK-3 Bu Çalışma İçin Seçilen Asteroidlere İlişkin Yörünge Parametreleri ve Genel Fiziksel Parametreler

Çizelgedeki parametreler Guide 7.0 programının veri tabanından alınmıştır. Çizelge, seçilen asteroidlere ilişkin, sırasıyla, yörünge dönemini, perihel ve afel uzaklıklarını, yörünge yarı büyük eksen uzunluğunu, yörünge dışmerkezliğini, yörünge eğimini, perihelin argümanını, çıkış düğümünün tutulum boylamını, çap, ortalama albedo, dönme dönemi, kimyasal sınıf, mutlak parlaklık, eğim parametresi (evre eğrisine ait bir parametre) ve Johnson-Cousin B-V renk değerlerini göstermektedir.

Çizelge 1. Bu çalışmada seçilen asteroidlere ait yörünge parametreleri ve genel fiziksel parametreler

	<b>201Penelope</b>	<b>511Davida</b>	<b>694Ekard</b>	<b>776Berbericia</b>
<b><math>P_{yör}</math> (yıl)</b>	4.38	5.64	4.36	5.03
<b>Perihel Uzaklığı (AB)</b>	2.20	2.58	1.80	2.46
<b>Afel Uzaklığı (AB)</b>	3.16	3.76	3.54	3.41
<b><math>a</math> (AB)</b>	2.68	3.17	2.67	2.93
<b><math>e</math></b>	0.18	0.19	0.32	0.16
<b><math>i</math> (°)</b>	5.76	15.94	15.84	18.24
<b><math>w</math> (°)</b>	181.24	338.42	110.92	307.06
<b><math>\Omega</math> (°)</b>	157.12	107.67	230.42	79.84
<b>Çap (km)</b>	70	337	93	192
<b>Ortalama Albedo</b>	0.140	0.053	0.051	0.065
<b>Dönme Dönemi (saat)</b>	3.747	5.130	5.925	7.672
<b>Kimyasal Sınıf</b>	M	C	C	C
<b>Mutlak Parlaklık (<math>m</math>)</b>	8.43	6.22	9.17	7.68
<b>Eğim Parametresi</b>	0.24	0.16	0.15	0.34
<b>B-V</b>	0.71	0.72	0.72	0.70

## Çizelgeler

- Çizelge 4.1.1.1 Seçilen asteroidlere ilişkin literatürde yer alan sayısal çözümler ve bu çözümlere ulaşmada kullanılan ışık eğrisi setlerine ait önemli bilgiler 27
- Çizelge 4.1.1.2 Seçilen asteroidlere uygulanan fotomorfografik analizin sayısal sonuçları ve bu sonuçlara ulaşmada kullanılan ışık eğrisi setlerine ait önemli bilgiler 28

## Şekiller

Şekil 1.2.1	433Eros'un gerçek şekli (Nemiroff ve ark., 2001) ve "convex inversion" ile elde edilmiş modeli (Torppa, 2007).	4
Şekil 2.1	951Gaspra'nın gerçek görüntüsü (Belton ve ark., 1992) ve fotomorfografik analizle elde edilmiş modelin gerçek görüntüyle karşılaştırılması (Barucci ve ark., 1992).	10
Şekil 4.1.2.1	201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (29.07.2006).	30
Şekil 4.1.2.2	201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (29.07.2006).	30
Şekil 4.1.2.3	201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (30.07.2006).	31
Şekil 4.1.2.4	201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (30.07.2006).	31
Şekil 4.1.2.5	201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (03.08.2006).	32
Şekil 4.1.2.6	201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (03.08.2006).	32
Şekil 4.1.2.7	201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (04.08.2006).	33
Şekil 4.1.2.8	201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (04.08.2006).	33
Şekil 4.1.2.9	201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (11.08.2006).	34
Şekil 4.1.2.10	201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (11.08.2006).	34
Şekil 4.1.2.11	201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (15.08.2006).	35
Şekil 4.1.2.12	201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (15.08.2006).	35
Şekil 4.1.2.13	201Penelope'nin kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (16.08.2006).	36

Şekil 4.1.2.14	201Penelope'nin kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (16.08.2006).	36
Şekil 4.1.2.15	511Davida'nın kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (08.11.2007).	37
Şekil 4.1.2.16	511Davida'nın kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (08.11.2007).	37
Şekil 4.1.2.17	511Davida'nın kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (28.11.2007).	38
Şekil 4.1.2.18	511Davida'nın kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (28.11.2007).	38
Şekil 4.1.2.19	694Ekard'ın kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (29.11.2005).	39
Şekil 4.1.2.20	694Ekard'ın kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (29.11.2005).	39
Şekil 4.1.2.21	776Berbericia'nın kutup 1 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (02.05.2010).	40
Şekil 4.1.2.22	776Berbericia'nın kutup 2 çözümüne karşılık gelen sentetik ışık eğrisi fiti (02.05.2010).	40
Şekil 4.1.3.1	201Penelope'ye ilişkin literatür şekil çözümü (Durech ve ark., 2008a).	42
Şekil 4.1.3.2	201Penelope'ye ilişkin bu çalışmada elde edilen şekil çözümü.	42
Şekil 4.1.3.3	511Davida'ya ilişkin literatür şekil çözümü (Durech ve ark., 2008a).	43
Şekil 4.1.3.4	511Davida'ya ilişkin bu çalışmada elde edilen şekil çözümü.	43
Şekil 4.1.3.5	694Ekard'a ilişkin literatür şekil çözümü (Durech ve ark., 2008a).	44
Şekil 4.1.3.6	694Ekard'a ilişkin bu çalışmada elde edilen şekil çözümü.	44
Şekil 4.1.3.7	776Berbericia'ya ilişkin literatür şekil çözümü (Durech ve ark., 2008a; Torppa ve ark., 2008)	45
Şekil 4.1.3.8	776Berbericia'ya ilişkin bu çalışmada elde edilen şekil çözümü.	45

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Afşar Kabaş

Doğum Yeri : İstanbul

Doğum Tarihi : 04.08.1975

### EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Ankara Üniversitesi – Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi – Fizik Bölümü

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### BİLİMSEL FAALİYETLERİ

#### a) Yayınlar -SCI –Diğer

1) Bakis V., Tuysuz M., Zejda M., Soydugan F., Soydugan E., Kabas A., Dogru S. S., Erdem A., Budding E., Demircan O., Özdemir S., Çiçek C. ve Bulut, A., 2003. New Times of Minima of Eclipsing Binary Systems. *IBVS* 5399.

2) Demircan O., Erdem A., Ozdemir S., Cicek C., Bulut I., Soydugan F., Soydugan E., Bakis V., Kabas A., Bulut A., Tüysüz M., Zejda M. ve Budding E., 2003. The First Eclipsing Binary Observations at the Ulupinar Astrophysics Observatory, *IBVS* 5364.

#### b) Bildiriler -Uluslararası –Ulusal

1) Demircan O. ve Kabaş A., 2003. *Güneş Saatlerinin Mantığı ve Matematiği*, İstanbul Kültür Üniversitesince Düzenlenen Matematik ve Mantık Konulu Sempozyum, Assos-Çanakkale, 26-28 Eylül 2003.

2) Kabaş A., 2006. *Asteroidlerin Fotometrik Gözlemlerinden Belirlenebilen Bulgular ve ÇOMÜ Gözlemevinde Bazı Asteroidlerin Fotometrik Gözlemleri*, XV.Ulusal Astronomi Toplantısı, İstanbul Kültür Üniversitesi-İstanbul, 28 Ağustos - 01 Eylül 2006.

3) Kabaş A., Bulut İ., Doğru S.S. ve Akın T., 2008. *Bazı Ana Kuşak Asteroidlerin Işık Eğrileri ve Yorumları*, XVI.Ulusal Astronomi Kongresi ve V.Ulusal Öğrenci Astronomi Kongresi Bildiri Kitabı Cilt II, s. 1188, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi-Çanakkale, 08-12 Eylül 2008.

4) Kabaş A., Demircan O. ve Bayındır A., 2009. *Astronomi ve Astrofiziğin Bilim Eğitimindeki Yeri ve Bir Proje Örneği*, I. Uluslararası Türkiye Eğitim Araştırmaları Kongresi (Eğitim Araştırmaları Birliği Derneği), Çanakkale, 01-03 Mayıs 2009.

5) Kabaş A. ve Demircan O., 2010. *A Convex Inversion Application for 201 Penelope's Photometric Observation Data Obtained From CARC & UPO, TUG and Literature*, Methods and Instruments in Astronomy: From Galileo Telescopes to Space Projects, International Workshop NAO2010, Nikolaev Astronomical Observatory-Ukraine, 17-20 May 2010.

#### c) Katıldığı Projeler

1) ÇOMÜ Ulupınar Gözlemevinde Eğitim Çalışmaları (ÇOMÜ BAP), Yer: ÇOMÜ Ulupınar Gözlemevi, 2005-2006 (eğitmen).

2) İlköğretim Öğrencileri İçin Yaz Bilim Okulu (TÜBİTAK), Yer: ÇOMÜ Dardanos Yerleşkesi, 2007 (eğitmen).

3) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevinde Bazı Asteroidlerin Fotometrik Gözlemleri (TÜBİTAK), Yer: ÇOMÜ Ulupınar Gözlemevi, 2006-2008 (araştırmacı).

4) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Büyük Teleskop Projesi (DPT), Yer: ÇOMÜ Ulupınar Gözlemevi, 2007-2010 (yardımcı araştırmacı).

5) İlköğretim Öğrencileri İçin Yaz Bilim Okulu (TÜBİTAK), Yer: ÇOMÜ Dardanos Yerleşkesi, 2008 (eğitmen).

6) Uzay Atölyesi / Space Studio (DPT - AB Gençlik), Yer: ÇOMÜ Ulupınar Gözlemevi, 2008 (proje sorumlusu).

7) İlköğretim Öğrencileri İçin Yaz Bilim Okulu (TÜBİTAK), Yer: ÇOMÜ Eğitim Fakültesi, 2009 (eğitmen).

8) İlköğretim Öğrencileri İçin Yaz Bilim Okulu (TÜBİTAK), Yer: ÇOMÜ Eğitim Fakültesi, 2010 (eğitmen).

9) AstroÇOMÜ Astronomi Yaz Bilim Kampı (TÜBİTAK), Yer: ÇOMÜ Ulupınar Gözlemevi ve Çanakkale Anadolu Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi Uygulama Oteli, 2010 (eğitmen).

## **İŞ DENEYİMİ**

Çalıştığı Kurumlar ve Yılları :

2002- Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü –  
Araştırma Görevlisi

## **İLETİŞİM**

E-posta Adresi : akabas@comu.edu.tr