

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KÜÇÜK GEZEGENLERİN FOTOMETRİK VERİLERİNDEN
YARARLANILARAK ŞEKİL VE DÖNME ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Utku DEMİRHAN

ASTRONOMİ ve UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2014**

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

24/02/2014

Utku DEMİRHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÜÇÜK GEZEGENLERİN FOTOMETRİK VERİLERİNDEN YARARLANILARAK ŞEKİL VE DÖNME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Utku DEMİRHAN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR

Bu çalışmada, Ana Kuşak asteroidlerinden seçilmiş olan 8 adet asteroide (Küçük Gezegen) ait (R bandı) ışık eğrileri elde edilerek, üzerlerine Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen vd. (2001) tarafından gerçekleştirilen “ışık eğrisi evirme” tekniği uygulanmıştır. Bunun sonucunda, fotometrik gözlemleri gerçekleştirilmiş olanlardan 4 adet asteroidin (5917 Chibasai, 1346 Gotha, 2741 Valdivia, 4332 Milton) yıldızlı dönme dönemi ve 3-boyutlu yüzey yapısı elde edilmiş, 4 asteroidin (126 Velleda, 1834 Palach, 1656 Suomi, 7881 Schieferdecker) ise yetersiz ışık eğrileri nedeniyle analiz yönteminde tekil çözümlerine ulaşılamamıştır. Çözümleri yapılmış asteroidler, literatürde çözümü ilk defa sunulan asteroidler olmuşlardır.

Şubat 2014, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fotometri, Asteroidler (Ana Kuşak), Işık eğrisi evirme

ABSTRACT

Master Thesis

SHAPE AND ROTATIONAL PROPERTIES OF ASTEROIDS FROM PHOTOMETRIC DATA

Utku DEMİRHAN

Ankara Üniversitesi
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR

In the present thesis, photometric lightcurves of 8 Main Belt asteroids in R filter were analyzed by means of “light curve inversion” method which was developed by Kaasalainen and Torppa (2001) and Kaasalainen et al. (2001). Sideral rotation period and 3-dimensional surface structure were produced for four asteroids (5917 Chibasai, 1346 Gotha, 2741 Valdivia, 4332 Milton). However, four of them (126 Velleda, 1834 Palach, 1656 Suomi, 7881 Schieferdecker) were failed to obtain any unique solution in the parameter space. The presented properties for the four asteroids seem to be the first solutions in the literature.

February 2014, 66 pages

Key Words: Photometry, Asteroids (Main Belt), Light curve inversion

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL ve GÖZLEMSEL TEMELLER.....	4
2.1 Asteroidler.....	4
2.2 Fotometrik Gözlemler.....	7
2.3 Saçılma ve Parlaklık.....	10
2.4 Konveks Evirme Yöntemi.....	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
3.1 Jülyen Gün Düzeltmesi.	15
3.2 Normalize Işık Eğrileri.....	16
3.3 Kartezyen Koordinat Değerleri.....	16
3.4 Analiz Kodları ve Kullanımları.....	16
3.4.1 <i>Period_scan</i> kodu ve girdi dosyaları.....	17
3.4.2 <i>Convexinv</i> kodu ve girdi dosyaları.....	18
3.4.2.1 Eksen etrafında dönme ile ilgili parametreler.....	18
3.4.2.2 Sıfır Zamanı t_0 ve Başlangıç Dönme Açısı Φ_0	18
3.4.2.3 Konvekslik düzenleme ağırlıklandırılması.....	19
3.4.2.4 Laplace seri açılımı l derecesi ve m sırası.....	20
3.4.2.5 Yüzeysel çözünürlük.....	20
3.4.2.6 Saçılma parametreleri.....	21
3.4.2.7 Iterasyonun durma koşulu.....	22
3.4.3 <i>Conjgradinv</i> kodu ve girdi dosyaları.....	22
3.4.4 <i>Minkowski</i> ve <i>standardtri</i> kodları.....	22
3.4.5 <i>Lcgenerator</i> kodu.....	23
3.5 Fotometrik Gözlemler.....	23
3.5.1 PSF yöntemi ile açıklık fotometrisinin karşılaştırılması.....	28
3.6 Birim Uzaklığa İndirgeme ve Arşiv Verileri.....	31
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	33
4.1 Asteroidlerin Şekil Analizi.....	33
4.1.1 (5917) Chibasai asteroidinin şekil analizi.....	35
4.1.2 (1346) Gotha asteroidinin şekil analizi.....	39
4.1.3 (2741) Valdivia asteroidinin şekil analizi.....	42
4.1.4 (4332) Milton asteroidinin şekil analizi.....	45
4.1.5 Analizi yapılamayan asteroidler.....	48
5. SONUÇ.....	50
KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	58
EK 1 1346 Gotha asteroidi'nin örnek girdi dosya içeriği.....	59
EK 2 5917 Chibasai için <i>period_scan</i> kodu içerisindeki girdi ve çıktı dosya	

örnekleri.....	62
EK 3 5917 Chibasai <i>convexinv</i> ve <i>conjgradinv</i> kodları için girdi dosya	
örnekleri.....	63
EK 4 5917 Chibasai için <i>convexinv</i> ve <i>conjgradinv</i> kodları'nın çıktı dosya	
örnekleri.....	64
EK 5 5917 Chibasai <i>minkowski</i> ve <i>standardtri</i> çıktısı ve MeshLab girdi	
dosyası.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER DİZİNİ

α	Evre açısı
λ	Asteroidin dönme ekseninin kuzey doğrultusunun ekliptikel boylamı
β	Asteroidin dönme ekseninin kuzey doğrultusunun ekliptikel enlemi
S	Saçılma fonksiyonu
Y	Dünya'nın yörünge elemanları matrisi
A	Asteroidin yörünge elemanları matrisi
Φ_0	t_0 anında asteroid'in dönme evresi
ω	Açısal dönme hızı
$R_k(\alpha)$	k eksenini üzerinde pozitif doğrultuda α açısı boyunca dönme matrisi
E ve E_0	Birim vektörleri
n	Yüzey birim normali
da	Yüzey elemanı alanı
P	Dönme dönemi
r_{ast}	Asteroidin merkezli koordinat çerçevesi
r_{ecl}	Ekliptik merkezli koordinat çerçevesi
$R_i(\theta)$	Dönme Matrisi
a	Genlik
d	Genişlik
k	Eğim
c	Lambert katsayısı
μ_0	Işığın normale göre geliş açısının kosinüsü
μ	Işığın normale göre yansımış açısının kosinüsü
V	Gözlenen parlaklık
r	Asteroidin Güneşten olan uzaklığı
ϕ	Asteroidin Dünyadan olan uzaklığı

KISALTMALAR

AK	Ana Kuşak
DYGY	Dünyaya Yakın Geçiş Yapan
rms	Root mean square (Kare ortalama karekök)
PSF	Point Spread Function (Nokta yayılım fonksiyonu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Asteroidlerin dönme dönemleri ve çaplarının karşılaştırılması.....	3
Şekil 2.1 Asteroid görüntüleri a) (433) Eros b) (253) Mathilde'nin NEAR Uzay aracı ile alınmış görüntüsü c) (25143) Itokawa'nın Hayabusa Uzay aracı ile alınmış görüntüsü.....	6
Şekil 2.2 (90) Antiope a) Adaptive optik yöntemi ile alınmış görüntü b) Adaptive optik ve ışık eğrisi gözlemlerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş model görüntüler.....	8
Şekil 2.3 a) Farklı taksonomik sınıfları temsil eden 7 asteroid'in evre eğrileri b) (9) Metis'in ışık eğrisi.....	9
Şekil 2.4 (433) a) Eros'un NEAR Uzay aracı ile alınmış görüntüsü b) Konveks evirme yöntemi ile elde edilmiş aynı bakış doğrultusundan görüntüsü.....	13
Şekil 3.1 <i>Convexinv</i> kodunun etkileşimli çalıştırılması ile elde edilen karanlık yüzey miktarı bilgisi.....	20
Şekil 3.2 (5917) Chibasai asteroidi bir yıldızın izdüşüm olarak yakınından geçerken.....	29
Şekil 3.3 (5917) Chibasai asteroidi'nin ışık eğrileri a) Bir yıldızın yakınından geçerken açıklık fotometresi ışık eğrisi b) PSF yöntemi ile ölçülmüş parlaklıklarının ışık eğrisi.....	29
Şekil 3.4 (5917) Chibasai asteroidi'nin ışık eğrileri: a) 2004 yılı literatür ışık eğrisi b) 2012 TUG gözlemi.....	30
Şekil 4.1 <i>Period_scan</i> kodunun ürettiği 5917 Chibasai dönem tarama grafiği.....	36
Şekil 4.2 (5917) Chibasai asteroidinin Stephens tarafından gözlenen 6 adet evrelendirilmiş ışık eğrisi ve uygulanan model ışık eğrileri.....	36
Şekil 4.3 (5917) Chibasai asteroidi'nin 5 adet evrelendirilmiş TUG ışık eğrisi ve uygulanan model ışık eğrileri.....	37
Şekil 4.4 (5917) Chibasai'nin Catalina Sky Survey R ve V bandı gözlemlerinin, Güneş evre açısına bağlı değişimi ve hesaplanan model parlaklıklar.....	38
Şekil 4.5 (5917) Chibasai'nin konveks kabuğu ile temsil edilen çok yüzlü model görüntüsü.....	39
Şekil 4.6 (1346) <i>Period_scan</i> kodunun ürettiği Gotha dönem tarama grafiği.....	40
Şekil 4.7 (1346) Gotha asteroidi'nin TUG ışık eğrileri ve şekil analizi sonrası yapılan modeller.....	40
Şekil 4.8 Catalina Sky Survey ve U.S.N.O gözlemleri'nin Güneş evre açısına bağlı değişimi ve hesaplanan model parlaklıklar.....	41
Şekil 4.9 (1346) Gotha'nın konveks kabuğu ile temsil edilen çok yüzlü model görüntüsü.....	42
Şekil 4.10 (2741) Valdivia asteroidi'nin dönem tarama grafiği.....	43
Şekil 4.11 (2741) Valdivia asteroidinin Pray tarafından gözlenen 4 adet evrelendirilmiş ışık eğrisi ve uygulanan model ışık eğrileri.....	43
Şekil 4.12 2741 Valdivia asteroidinin TUG'da gözlenen 4 adet evrelendirilmiş ışık eğrisi ve Catalina Sky Survey robotik teleskop verileri ile uygulanan model ışık eğrileri.....	44
Şekil 4.13 Catalina Sky Survey gözlemleri'nin Güneş evre açısına bağlı değişimi ve hesaplanan model parlaklıklar.....	44

Şekil 4.14 (2741) Valdivia asteroidi'nin konveks kabuğu ile temsil edilen çok yüzlü model görüntüsü.....	45
Şekil 4.15 4332 <i>Period_scan</i> kodunun ürettiği Milton dönem tarama grafiği.....	46
Şekil 4.16 Oey tarafından gözlenen 4 adet evrelendirilmiş ışık eğrisi ve uygulanan model ışık eğrileri.....	46
Şekil 4.17 4332 Milton asteroidinin TUG'da gözlenen evrelendirilmiş ışık eğrileri.	47
Şekil 4.18 Catalina Sky Survey V bandı gözlemleri'nin Güneş evre açısına bağlı değişimi ve hesaplanan model parlaklıklar.....	47
Şekil 4.19 (4332) Milton asteroidinin konveks kabuğu ile temsil edilen çok yüzlü model görüntüsü.....	48
Şekil 4.20 <i>Period_scan</i> kodunun ürettiği (126) Velleda'nın dönem tarama grafiği...	49
Şekil 4.21 (126) Velleda'nın Ankara Üniversitesi Gözlemevi 2009 yılı gözlemleri...	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1	Çalışılan asteroidlerin gözlemsel bilgileri.....	26
Çizelge 3.2	Gözlenen asteroidlerin yörünge bilgileri.....	27
Çizelge 3.3	Gözlem yıllarına göre 5917 Chibasai'nin gözlemlerinden bulunan farklı yöntemlere ilişkin standart hata miktarları.....	30
Çizelge 4.1	4 asteroidin kutup doğrultusu ve yıldızıl dönem çözümleri ile kullanılan ışık eğrileri ve robotik teleskop veri adedleri.....	51

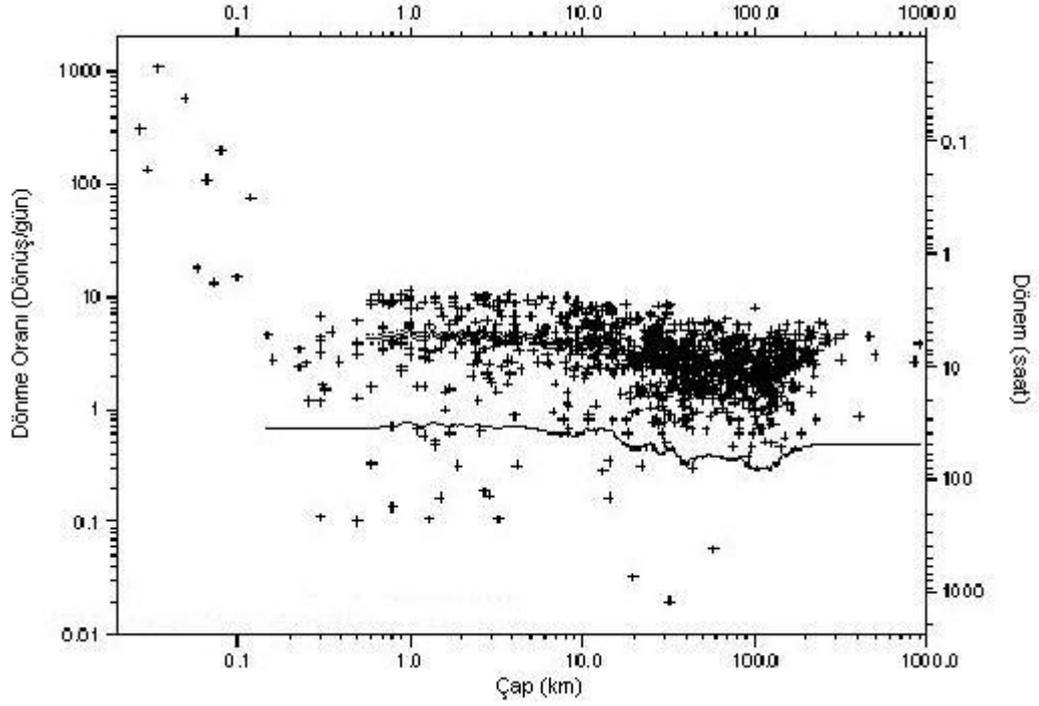
1. GİRİŞ

Güneş Sistemi'nin Küçük Gezegenler sınıfına dahil olan asteroidlere ilişkin dönme dönemi, dönme ekseninin (spin) yönelimi, şekli, boyutu, kütlesi, tayf türü gibi birçok temel fiziksel özellikleri, şu anki asteroid popülasyonu ve geçmişlerini anlama bakımından önemlidir. Uzay araçlarıyla doğrudan görüntülenen birkaç asteroid dışında, asteroidlerin fiziksel özellikleri hakkında ancak uzaktan algılama yöntemleri sayesinde bilgi edinilebilmektedir. Bu amaçla kullanılan en önemli araç, zamana bağlı olarak elde edilmiş fotometrik ışık eğrileridir. Bu yöntem bilinen tüm asteroidler için uygulanabilir. İlk defa Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen vd. (2001) tarafından geliştirilen “ışık eğrisi evirme” (light curve inversion) metodu, gözlenmiş (çoklu) ışık eğrilerinden asteroid şekillerini ve dönme dönemlerini elde etmede, son derece güçlü bir araçtır.

Işık eğrisi evirme metodu ile şimdiye kadar 1000 civarında asteroidin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu modeller çeşitli çalışmalarda yayınlanmıştır. Örneğin: Kaasalainen vd. (2002, 2004), Torppa vd. (2003), Durech vd. (2009) gibi. Kaasalainen vd. (2004) ve Durech vd. (2004) tarafından gösterildiği ve Durech vd. (2009) tarafından da gerçek hedefler üzerinde kanıtlandığı üzere, asteroidlere ilişkin gerçekçi fiziksel modeller, mümkün olduğunca farklı evrelerde elde edilmiş çok sayıda fotometrik ışık eğrilerinden türetilmektedir. Bu tür fotometrik verilerin ileride, Pan-STARSS (Magnier vd. 2013) ya da GAIA (Mignard vd. 2007) gibi gökyüzü tarama gözlemlerinden çok sayıda elde edilmesi mümkündür. Bu nedenle yakın gelecekte modellenmesi yapılmış yeni asteroid sayısının çığ gibi artacağı tahmin edilmektedir.

Işık eğrisi evirme yöntemiyle asteroidlerin modellenmesi ilginç olduğu kadar, yeni fiziksel olayları ortaya çıkarabilmesi bakımından da büyük öneme sahiptir. Örneğin, Koronis ailesi asteroidlerine ait spin yönelimlerinin ortaya çıkarılması (Slivan vd. 2003) ya da YORP etkisinin belirlenmesinde (Kaasalainen vd. 2007) kullanılmış bir yöntemdir.

Asteroidlerin fiziksel özelliklerinin araştırılması ile, Güneş Sistemi'nin evrimine ilişkin daha detaylı bilgiler edinmek mümkündür. Cisimlerin dönme dönemleri ve doğrultuları, şekil ve yörünge bilgisi ile birleştirildiğinde, cisimlerin çarpışma geçmişine ilişkin bilgilere ulaşılabilmektedir. Parametrelerin istatistiksel dağılımının ve farklı özellikler arasındaki korelasyonların çalışılması da asteroid gruplarının kökensel geçmişi hakkında bilgiler verir. Asteroidlerin özelliklerine ilişkin yapılan istatistiksel çalışmalardan birisi, Tedesco ve Zappala'nın (1980) çalışmasıdır. Bu çalışmada dönme dönemi ve boyut, dönem ve genlik, asteroid grupları ile yarı büyük eksen uzunlukları arasında bağıntılar bulunmuştur. Pravec vd. (2002) sonuçları yeni veriler ile tekrar değerlendirmiş ve dönme ile boyut arasındaki bağıntıyı kesin olarak ortaya koymuştur (Şekil 1.1). Şekilden görüldüğü gibi 0.15 km'den daha küçük çaptaki asteroidler 2 saatten daha kısa dönme dönemine sahiptir. Bu tür cisimlerin tek parça (monolitik) cisimler olması gerekir. Çünkü parçalanmış (rubble – pile türü) asteroidler bu denli yüksek dönme hızlarında çekim etkisi ile bir arada bulunamazlar. Alvarez-Candal vd. (2004) Themis, Eos ve Maria ailesi asteroidlerinin, dönme dönemi, ışık eğrisi genlikleri ve boyutlarını çalışmışlardır. Boyut ile dönme (spin) dönemi arasında negatif zayıf bir korelasyon bulmuşlardır. Hartmann vd. (1988) Jupiter ile 1:1 oranında dönme : dolanma kilitlemesine sahip olan Trojanların ve Hilda grubunun, Ana Kuşak (AK) asteroidlerinden daha büyük ışık eğrisi genliği gösterdiğini belirlemiş ve Trojanlar ile Hildaların, AK asteroidlerine nazaran daha ince ve uzun şekillere sahip olabileceğini önermiştir. Gaia (Mignard vd. 2007) uydusunun ve PanSTARRS'ın (Magnier vd. 2013) gelecek gözlemleri ile, daha çok asteroid grubunun istatistiksel çalışmalarının yapılması beklenmektedir.



Şekil 1.1 Asteroidlerin dönme dönemleri ve çaplarının karşılaştırılması (Pravec vd. 2002)

Dünya'ya yakın geçiş yapan (DYG) cisimlerin dönme eksenlerinin yönelimleri, yörüngeleri ve şekillerinin çalışılması da oldukça önemlidir. Bu cisimler Dünya'ya tehdit oluşturan cisimlerdir. Stuart ve Binzel (2004) 200 metre'den daha büyük cisimlerin Dünya'ya çarpma olasılıklarının 35000 ile 65000 yılda bir olduğunu hesaplamışlardır. Asteroidlerin yörüngesinin olabildiğince hassas hesaplanması çarpma ihtimalinin de hesabı demektir. Hassas yörünge hesabı için ise asteroidlerin kütle merkezi düzeltmeleri, bunun için ise asteroidlerin şeklinin iyi bilinmesi gereklidir.

2. KURAMSAL ve GÖZLEMSEL TEMELLER

Güneş Sisteminde, ana cisimler olan gezegenler dışında, daha küçük gök cisimlerinde bulunmaktadır. Bu cisimler arasında kuyruklu yıldızlar, asteroidler ve Neptün ötesi cisimler sayılabilir. Herbir grup, fiziksel ve yörüngesel özellikleri bakımından birbirlerinden ayrılır. Kuyruklu yıldızlar yıldızlı ve galaktik tedirginlik etkileri ile dönemli olarak Güneş'e yakın geçişler gerçekleştiren, genelde Güneş sisteminin dış sınırlarında bulunan, buz yapıda cisimlerdir. Neptün ötesi cisimler ise kuyruklu yıldızlar gibi buz yapıda olan, ancak yörüngeleri gereği, sürekli olarak Güneş Sisteminin dış sınırlarında bulunan cisimlerdir. Daha önce 9. gezegen olarak bilinen Pluto ise "cüce gezegenler" grubunda bulunmaktadır ve şu an Neptün ötesi cisimlerin arasındaki en büyük ikinci cisimdir. Bu tez çalışmasının konusu olan asteroidler ise, kayamsı yapıda gök cisimlerdir ve genellikle Güneş Sistemi'nin iç kesimlerinde bulunurlar. Asteroidler, 1801 yılında Piazzini'nin (1) Ceres'i gözlemesi ile ilk defa keşfedilmişlerdir. Asteroid ('yıldız-benzeri') adı, bu cisimlerin yıldızlara oranla Dünya'ya çok daha yakın olmaları ama yine de bir yıldız gibi nokta kaynak olarak görünmelerinden dolayı, 1802 yılında William Herschel tarafından verilmiştir. Diğer üç asteroid (2) Pallas, (3) Juno ve (4) Vesta'nın keşfi, Ceres'in keşfinden sonraki yedi yıl içerisinde gerçekleşmiştir. Sonraki asteroid (5) Astrea'nın keşfi ise 40 yıl aradan sonra gerçekleşmiştir. Bundan sonraki asteroid keşifleri her yıl giderek artan sayılarda olmuştur. Günümüzde numaralandırılmış ve yörüngeleri iyi tanımlanmış 380000¹ asteroid bulunmaktadır (Kasım 2013 tarihi itibarı ile). ISO (The Infrared Space Observatory)'nun sonuçlarına göre büyüklüğü 1 km ve üstünde olan 1.1 ile 1.9 milyon adet arasında asteroid bulunmaktadır.

2.1 Asteroidler

Asteroidlerin büyük çoğunluğu Mars ve Jüpiter arasında bulunan Ana Kuşak (Main Belt) üzerinde Güneş yörüngesinde dolanmaktadır. Ancak Ana Kuşak (AK) asteroidlerinden bazıları gezegenlerin tedirginlik etkileri nedeniyle daha kararsız, (Mars veya Jüpiter komşuluğundaki) yörüngelere taşınmışlardır. Asteroidlerin küçük bir

¹<http://www.minorplanetcenter.org/iau/lists/ArchiveStatistics.html>

bölümü ise Jüpiter veya Jüpiter dışındaki yörüngelerde dolanırlar. Örneğin, AK asteroidlerinden çok daha az sayıda olan Trojan asteroidleri, Jüpiter ve Güneş ikilisinin oluşturmuş olduğu eşpotansiyel yüzeylerde yer alan L4 ve L5 noktalarında, Jüpiter yörüngesini takip ederler. Bilinen en büyük asteroid 1000 km çapı ile Ceres'tir. Asteroidlerin boyutu açısından belirlenmiş alt bir sınır bulunmamaktadır. Pratikte asteroidler için boyut dağılımı, bin kilometreden, toz parçalarına kadar tanımlıdır. Bununla birlikte en küçük parçacıklar, geleneksel olarak meteoroidler veya tozlar olarak adlandırılırlar.

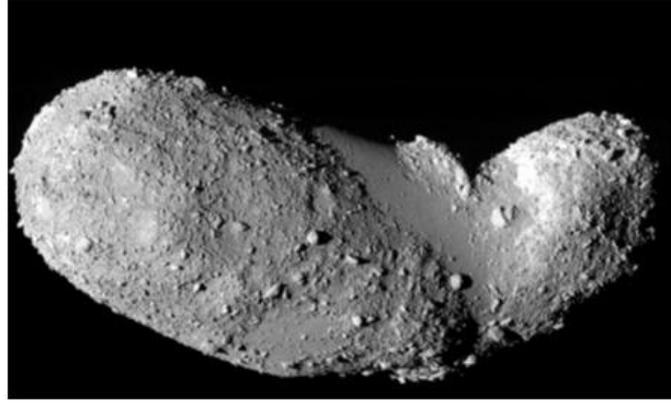
Asteroidlerin Güneş Sistemi evriminin ilk zamanlarından arta kalan kalıntılar olduğu düşünülmektedir. Güneş diski içerisinde bulunan maddenin büyük bölümü gezegenleri oluştururken, geriye kalan madde asteroidleri oluşturmuştur. Asteroidlerin oluşumuna ilişkin varsayımlardan birisi, büyük bir ya da bir kaç küçük ön gezegenin parçalanarak asteroidleri oluşturduğu şeklindedir. Geniş ölçekli kabul gören bir diğer varsayım ise, en büyük gezegenlerin gezegen oluşum süreci sırasında Mars ile Jüpiter arasında bir gezegenimsinin oluşumuna engel olduğu şeklindedir. Bu durumda geriye sadece, küçük parçacıklardan oluşan bir kuşak kalmıştır. Asteroidlerin bazılarının tayfsal özellikler bakımından ilkel maddeye sahip olmaları (hiçbir zaman çok büyümemiş cisimler), bazılarının ise farklılaşmış, başkalaşmış maddeye sahip olmaları (bir zamanlar daha büyük olan bir asteroidin parçalanmış bölümleri olmaları) nedeniyle her iki varsayım da kabul görmektedir. Asteroidler'in en detaylı şekil modelleri uzay uçuşları ile elde edilmiş modellerdir. Bu uçuşlar sırasında elde edilen, görüntülerde asteroidlerin düzensiz şekillere sahip olduğu ve yüzeylerinin kraterlerle dolu olduğu görülmüştür (Şekil 2.1).



(a)



(b)



(c)

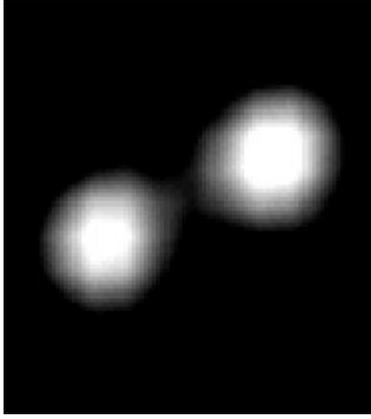
Şekil 2.1 Asteroid görüntüleri: a. (433) Eros (Thomas vd. 2002), b. (253) Mathilde'nin Thomas vd. 1999) NEAR Uzay aracı ile alınmış görüntüsü (NASA), c. (25143) Itokawa'nın (Demura vd. 2006) Hayabusa Uzay aracı ile alınmış görüntüsü (JAXA)

Asteroidlerin dönme eksenlerinin yönelimleri çarpışmalardan ve gravitasyonel tedirginliklerden etkilenirler. Kutup doğrultularının rasgele dağılımları bu durumun sonucu olarak gösterilebilir. Bununla birlikte, asteroidlerin dönme dönemini ve kutup doğrultularını değiştiren başka bir etki daha bulunmaktadır. Bu etki asteroidin homojen olmayan ısısal ışınımı ile ilgilidir. Isısal ışınım gücünün bu heterojen etkisi 19. Yüzyılda Rus mühendis Ivan Osipovich Yarkovsky (1844-1902) tarafından önerilmiştir. Asteroidlerin yörünge yarı büyük eksen uzunluğunu yavaşça değiştiren bu etkiye "Yarkovsky Etkisi" adı verilmiştir. Dönme (spin) hızını arttıran veya azaltan ve dönme ekseninin yönelimini değiştiren etki ise "YORP" (Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-

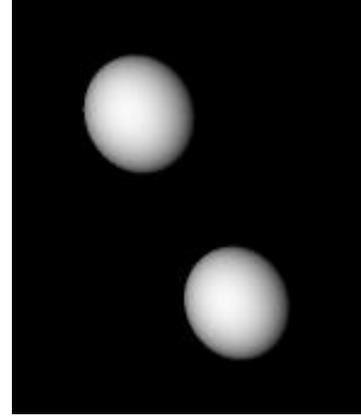
Paddack) etkisi olarak bilinmektedir. Rubincam (2000) YORP etkisinin teorik sınırlarını çizmiş, Vokrouhlicky vd. (2003) YORP etkisinin Koronis ailesi asteroidlerinin dönme eksenlerinin (spin) yönelimlerine etki ettiğini göstermiştir. Asteroid (54509) 2000 PH5 üzerindeki YORP etkisi, Taylor vd. (2007) tarafından gözlemsel yolla doğrudan gösterilmiştir.

2.2 Fotometrik Gözlemler

Asteroidlerin, şekil ve dönme eksenini yönelimlerine ilişkin en önemli bilgi kaynakları, yer tabanlı fotometrik, interferometrik, radar gözlemleri, yıldız örtmeleri ve yapay uydu gözlemleridir. Yer tabanlı radar gözlemleri ile, Dünya'ya yakın konumda bulunan DYG'ler için çok fazla sayıda konveks dışı model üretilmiştir (Magri vd. 2007). Uzay uçuşları ve yakın geçişler ile de, geçtiğimiz yıllarda asteroidlerin fiziksel parametrelerine ilişkin oldukça değerli bilgiler elde edilmiştir (Demura vd. 2006). Ancak bu gözlemler çok nadir elde edilebilen gözlemlerdir ve tüm asteroid kuşağına ilişkin tek başlarına bir kaynak olarak kullanılamazlar. Bahsi geçen gözlem yöntemleri arasında maliyeti en düşük ve yöntem bakımından en kolay olanı, yer tabanlı fotometrik gözlemlerdir. Son yıllarda Dünya'ya yakın geçiş yapan asteroidlerden bazılarının büyük çaplı optik teleskoplar ile birlikte adaptif optik yöntemi kullanılarak görüntüleri elde edilmiştir. Bu yöntem ile elde edilen görüntülerde asteroidlerin boyutları ve çoklu cisim olma ihtimaline ilişkin bilgiler (örn. bkz. Şekil 2.2), doğrudan görüntülenerek elde edilebilmiştir.



a)

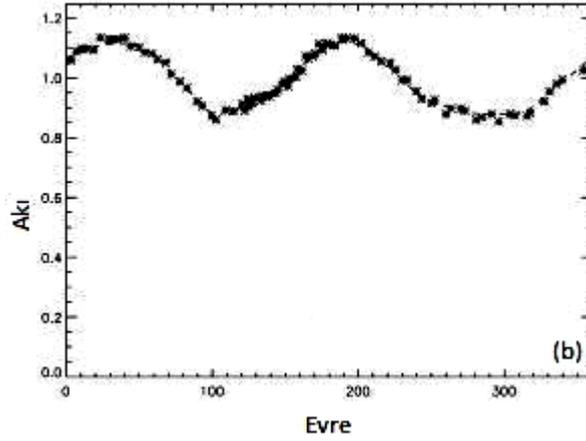
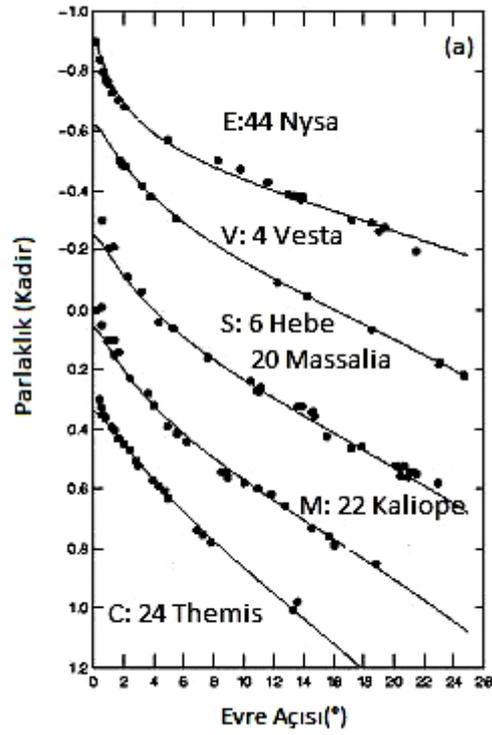


b)

Şekil 2.2 (90) Antiope çift asteroid sistemi (Descamps vd. 2007)

a. Adaptive optik yöntemi ile alınmış görüntüsü b. Adaptive optik ve ışık eğrisi gözlemlerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş model görüntüleri

Asteroidler Dünya'dan olan uzaklıkları ve küçük boyutları nedeniyle, yer tabanlı optik teleskoplar ile yıldızlara benzer şekilde gözlenirler. Asteroidler Güneş'ten yansıttıkları ışık sayesinde görülebilirler. Asteroidler tarafından yansıtılan ışınımın şiddeti, yüzey maddesinin saçıcı özelliklerine ve asteroid'den bakıldığında, Dünya ve Güneş arasındaki açı nedeniyle oluşan yüzeydeki gölgeleme etkilerine bağlıdır (evre açısı). Küçük evre açılarında, büyük evre açılarında olduğundan daha fazla ışık yansıtılır. Özellikle, karşı konum yakınlarında (sıfır evre açısı), yansıyan ışınım miktarı daha yüksektir. Bu olaya karşı konum etkisi adı verilir. Asteroidin dönüş evresi (rotational phase) ise belirli bir zamanda, gözlenen ışınım miktarını etkiler. Asteroidler düzensiz şekillere sahip oldukları için, görünür ve aydınlık olan yüzey oranları asteroid döndükçe değişir. Bu nedenle, gözlemcinin gözlediği, yansıtılan Güneş ışığı miktarı, asteroide kutup doğrultusundan bakılmadığı sürece değişir. Bu dönme süreci içerisinde elde edilen parlaklıkların zamana göre değişimine ışık eğrisi adı verilir. Bazı asteroidler için örnek evre grafiği ve ışık eğrisi şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3.a. Farklı taksonomik sınıfları temsil eden 6 asteroid'in Güneş evre açısına bağlı parlaklık değişimleri (Muinonen vd. 2002), b. (9) Metis'in dönüş evresine göre ışık eğrisi (Torppa vd. 2003)

Farklı evre açılarında elde edilmiş ışık eğrisi sayısı ve ışık eğrilerindeki gözlemsel nokta sayısı arttığı oranda, şekil ve albedo dağılımına ilişkin daha detaylı bilgiler elde edilmektedir. Yer tabanlı optik gözlemlerdeki en önemli kısıtlama, sinyal-gürültü oranını arttırmak için verilmesi gereken uzun poz süresinden kaynaklanır. Bu durum gökyüzündeki hareketi yavaş olan AK asteroidleri için genelde sorun yaratmamaktadır.

Ancak teleskopların görüş alanı içerisinde hızlı hareket eden DYGY asteroidler için, uzun poz süresi kullanılarak gerçekleştirilecek gözlemlerde çeşitli zorluklar bulunur. Bu nedenle çok sönük DYGY asteroidler radar yöntemi ile gözlenirler. Fotometrik gözlemler aynı zamanda hava şartlarından etkilenirken, radar gözlemlerinde böylesine etkiler fazla olmaz.

2.3 Saçılma ve Parlaklık

Asteroidlerden gelen ışığın tamamı saçılmış Güneş ışığıdır. Ne türden bir geometrik cismin, ne türden bir ışık eğrisi üretebileceğini bulmak için, geometriye uygun model parlaklıkların hesaplanması gerekir. Yüzeyden yansıtılan ışınım miktarı, yüzeyin görünen ve aydınlatılmış yüzeyleri boyunca integre edilmiş ışınım gücüdür (Torppa 2007).

$$L_m = F_{\odot} \iint_{A_+} S da \quad (2.1)$$

Burada F_{\odot} Güneşten normal yönde gelen ışığın akı yoğunluğudur, da yüzey elemanının alanı ve S yüzey elemanının saçılma fonksiyonudur. A_+ hem ışık alan hem de görünür olan yüzey bölümünü temsil eder. Diskrite edilmiş çokyüzlü yüzeye karşılık gelen ışınım gücü

$$L_m = F_{\odot} \sum_i S_i a_i \quad (2.2)$$

şeklinde de ifade edilir (Torppa 2007). Burada i aydınlanmış ve görünür olan yüzeylerin sayısını temsil etmektedir.

En büyük boyutlu olanlar hariç asteroidler için albedo değerleri yüzey boyunca sabittir. Buna rağmen asteroidlerin yüzeyinde gözlenen parlaklık değişimlerinin tümünü açıklayabilen bir saçılma yasası bulunmamaktadır. Kullanılan saçılma yasasına ilişkin fiziksel parametrelerin belirlenebilmesi için duyarlı mutlak fotometrik gözlemlerin

yapılması gerekir. Saçılma yasaları için örnek olarak iyi bilinen Lumme-Bowell ve Hapke yasaları gösterilebilir (Lumme ve Howell 1981a,b ve Hapke 1986). Saçılma yasalarının bazı parametreleri yüzeyin yapısı ile bazıları ise evre eğrisinin şekli ile ilgilidir (Şekil 2.3.a). Gerek Lumme-Bowell gerekse Hapke yasası, asteroidlerin yüzeyleri tarafından saçılan ışınımı tam olarak açıklayamamaktadır. Karşı konum etkisi için ise iki adet açıklama bulunmaktadır: Bunlar, yüzeydeki yapıların gölgeleme etkisi ve uyumlu geri yansıtma etkileridir (coherent backscattering).

Fiziksel saçılma yasalarına ek olarak, parametrelerinin doğrudan fiziksel anlamı olmayan yasalar da vardır. Bu tür deneysel fonksiyonlar genel olarak aşağıdaki formda olduğu gibi gösterilirler (Torppa 2007).

$$S = S(\mu, \mu_0, \omega, \alpha) \quad (2.3)$$

Burada $\mu = E \cdot n$ ve $\mu_0 = E_0 \cdot n$, E ve E_0 : sırasıyla asteroid'den bakıldığında gözlemciye ve Güneş'e doğrulmuş birim vektörleri, n ise yüzey birim normalini göstermektedir. ω albedo, α ise evre açısıdır. Saçılma için parametre içermeyen, en basit ifade, geometrik saçılmadır. Geometrik saçılmada yansıtılan ışınım sadece gözlemci doğrultusundaki alana bağlıdır (örneğin $S = \mu$). Geometrik saçılma sıfır evre açısında gözlenen geometriye uygulanabilir. Ayrıca bazı yöntemlerde küçük evre açılara da uygulanmaktadır. Tek parametrelili saçılma yasası örneklerinden birisi, Lommel-Seeliger ve Lambert yasalarının bir birleşimidir (Torppa 2007).

$$S(\mu, \mu_0) = \frac{\mu}{\mu_0} + c \mu \mu_0 \quad (2.4)$$

Burada, ilk terim Lommel-Seeliger ikinci terim ise Lambert yasasına aittir. Lambert türü yasalar genelde parlak yüzeylere uygulanırken, Lommel-Seeliger yasası düşük albedoya sahip cisimler için idealdir. Asteroidler ele alındığında bu iki yasanın birleşiminin, ışık eğrilerinin modellenmesinde başarılı olduğu kanıtlanmıştır

(Kaasalainen vd. 1992a,b). Özellikle küçük evre açılarında farklı saçılma yasaları ile oluşturulan ışık eğrilerinin maksimum ve minimumları, birbirlerinden çok az miktarda farklıdır. Bu nedenle küçük evre açılı gözlemlerden elde edilen asteroidler için yüzey, modelleri, seçilen saçılma yasasına çok bağımlı değildirler. Dolayısıyla 2.4 denklemindeki gibi basit bir modelin, ışık eğrisi evirme yönteminde kullanılması uygundur (Kaasalainen vd. 1992a,b). Eğer asteroidlerin mutlak parlaklıklarına ilişkin gözlemler kullanılıyorsa 2.4 eşitliği, küçük evre açılarında doğru gidildikçe, parlamayı dikkate alan evre fonksiyonu $f(\alpha)$ ile çarpılmalıdır. Işık eğrisi evirme yönteminde, herhangi bir saçılma parametresi, model fitin rms'sini çok az miktarda etkiler.

Belirli bir veri noktasına karşılık gelen model parlaklığı hesaplamak için, gözlenen geometrinin bilinmesi gerekir (E, E_0). Asteroidin sabit bir eksen etrafındaki dönme süresi P ile ifade edildiğinde, herhangi bir t anı için asteroid merkezli koordinat ile (r_{ast}) ekliptik merkezli koordinat (r_{ecl}) arasındaki dönüşüm (Durech vd. 2010):

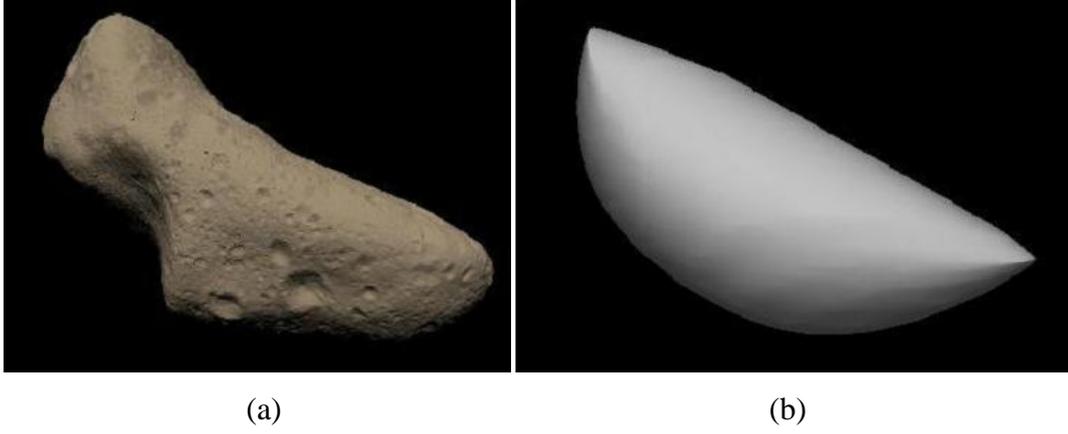
$$r_{ast} = R_z(\Phi_0 + \omega(t - t_0)) R_y(\beta) R_z(\lambda) r_{ecl} \quad (2.5)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanır. Burada λ ve $\beta = 90^\circ - \tilde{\beta}$, sırasıyla dönme ekseninin ekliptik boylam ve enlemini göstermektedir. t gözlem zamanı, Φ_0 , t_0 anında asteroid'in dönme evresi, ω ise açılma hızıdır. $R_k(\alpha)$, k ekseninde pozitif doğrultuda α açısı boyunca dönme matrisidir. Eşitlik 2.5'i kullanarak, asteroid'in kendi dönme düzleminde Güneş ve Dünya doğrultuları belirlenerek, her bir gözlemsel veri noktasının zamanına karşılık gelen, model parlaklıkların hesaplanması mümkündür (Torppa 2007).

2.4 Konveks Evirme Yöntemi

Astronomide ve diğer bazı bilim dallarında, elde edilmek istenilen parametrelere gözlemsel sonuçlardan ulaşılması yöntemlerinin genel adına inversion (evirme) adı verilir. Literatürde bu yöntem kullanılarak çok sayıda asteroid'in ışık eğrisi analizi gerçekleştirilmiş ve cisimlerin geometrik ve fiziksel parametreleri elde edilmiştir (Durech vd. 2007, Michalowski vd. 2004, Michalowski vd. 2006, Kabaş 2012). Bu

çalışmalardan bazıları, uzay teleskopları ve yakın geçişler sayesinde alınmış asteroid görüntüleri sayesinde denetlenebilmiştir (şekil 2.4). Konveks evirme (convex inversion) yöntemi ilk olarak Kaasalainen vd. (1992 a,b) tarafından ortaya konulmuş ve teorik detayları verilmiştir. Daha sonra bu grup tarafından geliştirilen *convexinv* kodu ile çok sayıda asteroidin konveks yapıya dayalı şekilleri modellenmiştir (Torppa vd. 2003).



şekil 2.4 (433) Eros a. NEAR Uzay aracı ile alınmış görüntüsü b. Konveks evirme yöntemi ile elde edilmiş aynı bakış doğrultusundaki görüntüsü (Torppa 2007)

Konveks evirme yönteminde asteroid yüzeyi, polihedron (kapalı çok yüzlü) şekil varsayımına göre üzülür. Cisimlerin konvekslikten sapma gösteren bölgeleri dikkate alınmaz. Asteroidlerin konveks dışı yapılarının zmne ilişkin çalışmalar ise gelişmekte olan bir konudur (Kaasalainen ve Torppa 2001).

Sabit bir eksen etrafında dönen polihedron yüzeyden yansıyan Güneş işığı;

$$L = f(\text{polihedrona ait şekil parametreleri}, S, \beta_0, \lambda_0, P_{yil}, Y, A, t) \quad (2.6)$$

şeklinde bir fonksiyon ile ifade edilir (Kabaş 2012a). Parametreler arasında S , Y , A ve t ölçülen parametrelerdir. S : Işık saçılma fonksiyonu, λ_0 : Asteroidin dönme ekseninin kuzey doğrultusunun ekliptikel boylamı, β_0 : Asteroidin dönme ekseninin kuzey

doğrultusunun ekliptikel enlemi, $P_{yıl}$: Asteroidin yıldızlı dönme dönemi, Y : Dünya'nın yörünge elemanları, A : Asteroidin yörünge elemanları, t : zaman.

Konveks evirme yönteminde, model şekil çözümü için hesaplanan parlaklıklar, gözlemsel parlaklıklar ile karşılaştırılarak, veriye en iyi fiti sağlayan şekil ve dönme doğrultusu aranır. Çözümde elde edilen “polihedrona ait şekil parametreleri”, polihedronun yüzey alanlarını ve normal vektörlerinin koordinatlarını verir. Yüzey alanları ve normal vektörlerinin koordinatlarından Minkowski minimizasyon tekniğine dayalı olarak, yüzeylere ilişkin merkezden olan uzaklıklar elde edilerek 3 boyutlu yapı ortaya çıkarılır (Kaasalainen ve Torppa 2001).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Asteroidlerin şekil analizinde kullanılan Mikko Kaasalinen tarafından Fortran programında geliştirilen ve Joseph Durech tarafından C programlama diline çevrilen *convexinv*, *conjgardinv*, *lcgenerator*, *period scan*, *minkowski* ve *standardtri* kodlarının ilk sürümü Haziran 2006'da yayımlanmıştır. Geliştirilen son sürüm olan 0.2.1 sürümü, Mart 2013 tarihlidir. Analiz sürecinde kullanılan bu kodlar açık kaynak kodlu programlardır. Bu kodlar asteroid modellerinin de bulunduğu DAMIT² web sayfasından alınmıştır.

Asteroidlerin şekil, kutup doğrultuları ve dönemlerinin tespitinde kullanılan *convexinv*, *period_scan* vb. kodlar çalıştırılmadan önce, gözlem verilerini bu programların içeriğine uygun şekilde düzenlemek gerekmektedir. Asteroidlerin şekil analizinde kullanılan *convexinv* ve yardımcı diğer kodların girdi dosya içeriği aynıdır (Ek 1). Işık eğrileri girilirken sırasıyla ışık zaman etkisi düzeltilmiş asteroid merkezli Jülyen gün değerleri, ortalama parlaklığı 1'e normalize edilmiş veya 1 Astronomi birimi uzaklığa indirgenmiş mutlak parlaklık değerleri, Dünya'nın ve Güneş'in asteroid merkezli ekliptik x, y, z kartezyen koordinat değerleri, Ek 1' de gösterildiği şekilde girilir.

3.1 Jülyen Gün Düzeltmesi

Işık eğrilerinin IRAF aphot taskı ile indirgenmesinin ardından, çıktı Jülyen günü değerlerinde ışık zaman etkisi düzeltilmesinin yapılması gerekmektedir. Jülyen günü değerlerinde düzeltme yapılırken, asteroidin Dünya'dan olan uzaklığı kullanılarak ışığın bu yolu ne sürede aldığı hesaplanır. Daha sonra bulunan zaman değeri Jülyen günlerinden çıkarılır ve ışık zaman etkisinden arındırılmış, asteroid merkezli girdi Jülyen günleri hesaplanmış olur.

²<http://astro.troja.mff.cuni.cz/projects/asteroids3D/web.php>

3.2 Normalize Işık Eğrileri

Convexinv ve beraberinde kullanılan kodlar parlaklık girdisi olarak iki seçenek sunmaktadır. Parlaklık değerleri girilirken kullanılan yöntemlerden birisi gözlenen parlaklıkların Dünya'dan 1 Astronomi Birimi uzaklığa (mutlak parlaklık) indirgenmesidir. İkinci yöntem ise diferansiyel fotometri yöntemi ile elde edilmiş parlaklık değerlerinin ortalamasının 1'e normalize edilmesidir. Ortalama parlaklıkları 1'e normalize edilen ışık eğrilerinde de asteroidlerin farklı yüzeylerinin gözlenmesinden kaynaklanan ışık eğrisi genlik değişimleri görülür. Bu tez çalışması için analiz edilen asteroidlerin tümünde ortalaması 1'e normalize edilmiş ışık eğrileri kullanılmıştır.

3.3 Kartezyen Koordinat Değerleri

Convexinv kodu'nun girdi parametreleri arasında Güneş'in ve Dünya'nın asteroid merkezli x, y, z ekliptik kartezyen koordinatları bulunmaktadır (Ek 1). Bu koordinatlar, asteroidin Güneş ve Dünya'dan gözlenen koordinatlarının ters yönde doğrultuları alınarak elde edilmiştir. Herbir asteroid için, bu koordinat değerleri NASA'nın telnet³ isimli sunucusuna bağlanılarak elde edilmiştir. Her bir ışık eğrisi için, uzaklık ve konum bilgileri zamanla değiştiğinden, bu değerler de değişim göstermektedir. Ancak bir gecelik ışık eğrisi için koordinat değerleri büyük bir değişim göstermediğinden, tek bir değer olarak almak mümkündür.

3.4 Analiz Kodları ve Kullanımları

Asteroidlerin şekil analizinde doğru dönemi bulmak en önemli adımdır. Dönme döneminin hesabı için kullanılan program *period_scan* kodudur.

Convexinv kodu şekil çözümü ile ilgili girdi parametreleri içeren koddur. *Convexinv* kodu ile elde edilen şekil, dönme ve saçılma parametreleri *conjgradinv* kodu tarafından

³<http://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>

girdi olarak kullanılır. *Conjgradinv* kodu dönme ve saçılma parametrelerini sabit kabul eder ve şekil üzerinde düzeltmeler yapar.

Convexinv ve *conjgradinv* kodları ile belirlenen şekli, üç boyutlu model olarak tanımlamak için, *minkowski* ve *standardtri* kodları kullanılır. *Minkowski* kodu aracılığı ile *convexinv* çıktı dosyalarından biri olan *out_areas* (EK 4) içerisindeki bilgiler kullanılır ve çok yüzlü konveks yapıda üç boyutlu bir cisim oluşturulur. Daha sonra *standardtri* programı bu çok yüzlü cismin yüzeylerini üçgensel bölgelere ayırır.

Son olarak *lgenerator* kodu ile *minkowski* ve *standardtri* kodlarının oluşturduğu 3 boyutlu model dosyası kullanılarak sentetik ışık eğrileri üretilir. Bu kod içerisinde *convexinv* kodu ile belirlenen karanlık yüzeyler hesaba katılmaz. Bu sebeple *convexinv* kodunun çıktı parlaklıkları ile *lgenerator* kodunun çıktı parlaklıkları arasında bir miktar fark olabilmektedir.

3.4.1 *Period_scan* kodu ve girdi dosyaları

Asteroid ışık eğrileri için bir model oluştururken en önemli adım doğru yıldızıl dönemi bulmaktır. Dönem, parametre uzayında yerel minimumun en küçük ΔP farklarına sahip olduğu

$$\Delta P \approx 0.5 \cdot P^2 / \Delta t \quad (3.1)$$

değer olarak verilmiştir (Kaasalainen vd. 2001). Burada Δt gözlemsel verinin elde edildiği zaman aralığıdır. Bu ifade bir çift - sinüsoidal ışık eğrisinin Δt süresi sonra P ve $P \pm \Delta P$ dönemleri'nin maksimum ve minimumlarının aynı epokta olacağı gerçeğinden elde edilmiştir. Dönemin en uygun olduğu bölgeyi kaçırmamak için, uygun dönemi vermesi olası tüm aralıkların taranması gerekir. Dönem taramasına, kavuşum dönemi ve bu dönemin hata aralığı seçilerek başlanabilir.

Period_scan kodunun girdi parametrelerinin başında başlangıç, bitiş dönemi ve dönem arttırma katsayısı p yer alır (EK 2). Belirlenen aralık p , ΔP adımları ile taranır. *Period_scan* kodunun diğer parametreleri *convexinv* kodunun parametre setinde olanlar ile aynıdır (EK 3).

3.4.2 *Convexinv* kodu ve girdi dosyaları

Convexinv kodu şekil çözümünün parametrelerini içeren koddur. *Period_scan* kodu ile bulunan dönem (EK 3) burada girdi olarak kullanılır.

3.4.2.1 Eksen etrafında dönme ile ilgili parametreler

Dönme doğrultusu ile ilgili olan ekliptik kutup doğrultuları λ , β (derece), ve dönme dönemi P (saat) girilir. Girdi parametre değerlerinin yanına 1 (serbest bırakılmış parametre) veya 0 (sabit parametre) rakamları konularak, serbest ve sabit parametreler belirlenir. λ , β parametrelerinin *convexinv* kodu içerisinde değerleri değiştirilerek en küçük χ^2 değerini veren kutup doğrultuları aranır. Diğer λ ve β çözümlerinden belirgin biçimde küçük hata veren parametreler çözüm olarak kabul edilirler. Bu sebeple programda diğer parametreler sabit tutularak, λ ve β değerlerinde geniş bir aralıkta tarama yapılır. λ , 0° ila 360° , β ise $+90^\circ$ ila -90° arasında değişir.

3.4.2.2 Sıfır zamanı t_0 ve başlangıç dönme açısı Φ_0

Bu parametreler, asteroid ile eş zamanlı dönen koordinat sistem vektörleri r_{ast} ile, ekliptik koordinat sistem vektörleri r_{ecl} arasındaki dönüşümler için gereklidir. Dönüşüm aşağıdaki eşitlik ile verilir (Kaasalainen vd. 2001).

$$r_{ast} = R_z(\Phi_0 + \omega(t - t_0)) R_y(\beta) R_z(\lambda) r_{ecl} \quad (3.2)$$

burada $R_i(\theta)$, i-ekseni boyunca θ açısı ile saat yönünün tersine dönüşe karşılık gelen dönme matrisidir, t zaman, P ise dönme dönemidir. Eğer girdi dosyasında $t_0 \leq 0$ ise, veri setinde JD epok değeri en düşük değere ayarlanır. Bu yüzden kolay seçim $t_0 = 0$ ve $\Phi_0 = 0$ olarak girilir.

3.4.2.3 Konvekslik düzenleme ağırlıklandırılması

Bu parametre asteroidlerin şekil çözümünü konveks yapıda tutmak için kullanılır. Standart değer 0.1 olarak girilir. Ancak zaman zaman bu değerden daha büyük veya daha küçük olabilir. Bir grup yüzey alanını örterek karanlık yapan bir yüzey alanı bulunmaktadır. *Convexinv* kodunun çıktıları arasında bu karanlık yüzey miktarı bilgisi de bulunmaktadır. Bu karanlık yüzey alanı bilgisi, *convexinv*'in etkileşimli olarak çalıştırılması suretiyle görülebilmektedir (bkz. Şekil 3.1). Karanlık yüzey miktarı, konvekslik düzenleme ağırlıklandırma parametresi artırılarak, daima %1'in altında tutulmalıdır. Bu sayede şekil konveks yapıda tutulur. Eğer küçük miktarda karanlık yüzey ile ışık eğrilerine iyi bir fit yapılamıyorsa ve karanlık yüzeyin artırılması ile ışık eğrilerine yapılan fitler daha uygun hale geliyorsa, bu durumda yüzey albedosunda farklılıkların bulunduğu ifade edilir (Kaasalainen vd. 2001).

```
33 chi2 1.173985 dev 0.040380 alambda 0.010000
34 chi2 1.173104 dev 0.040365 alambda 0.001000
35 chi2 1.173104 dev 0.040365 alambda 0.010000
36 chi2 1.172269 dev 0.040350 alambda 0.001000
37 chi2 1.172269 dev 0.040350 alambda 0.010000
38 chi2 1.171476 dev 0.040337 alambda 0.001000
39 chi2 1.171476 dev 0.040337 alambda 0.010000
40 chi2 1.170721 dev 0.040324 alambda 0.001000
41 chi2 1.170721 dev 0.040324 alambda 0.010000
42 chi2 1.170002 dev 0.040311 alambda 0.001000
43 chi2 1.170002 dev 0.040311 alambda 0.010000
44 chi2 1.169317 dev 0.040300 alambda 0.001000
45 chi2 1.169317 dev 0.040300 alambda 0.010000
46 chi2 1.168662 dev 0.040288 alambda 0.001000
47 chi2 1.168662 dev 0.040288 alambda 0.010000
48 chi2 1.168037 dev 0.040277 alambda 0.001000
49 chi2 1.168037 dev 0.040277 alambda 0.010000
50 chi2 1.167441 dev 0.040267 alambda 0.001000
```

```
lambda, beta and period (hrs): 269.000000 -52.000000 4.096679
phase function parameters: 0.500000 0.250000 -0.520000
Lambert coefficient: 0.1
plus a dark facet with area 0.48%
```

Şekil 3.1 *Convexinv* kodunun etkileşimli çalıştırılması ile elde edilen karanlık yüzey miktarı bilgisi

3.4.2.4 Laplace seri açılımı l derecesi ve m sırası

Bu parametreler şekil parametrelerinin sayısını etkiler. Eğer $l=m$ ise, şekil parametreleri $(l+1)^2$ olarak alınır. Göreli ışık eğrileri için ise $(l+1)^2-1$ alınır. Bu parametreler $l= m = 6$ olarak alınması önerilmektedir.

3.4.2.5 Yüzeysel çözünürlük

Konveks evirme yönteminde, asteroidlerin yüzeyleri üçgensel bölgelerden oluşan çok yüzlüler olarak tanımlanırlar. Yüzeysel çözünürlük, her bir çok yüzlü olarak tanımlanan asteroid başına, üçgenleme dizilerinin n sayısıdır. 8 ila 10 arası bir değer alır. Yüzey alanlarının sayısı $8n^2$ olarak verilir.

3.4.2.6 Saçılma parametreleri: Genlik(a), Genişlik(d), Eğim(k) ve Lambert Katsayısı(c)

Genlik(a), genişlik(d), eğim(k) ve Lambert katsayısı(c) girdi parametrelerinin ardından girilen 0 ve 1 rakamları, serbest ve sabit parametreleri göstermek üzere kullanılırlar. Evre fonksiyonunun üstel - lineer formu, aşağıda gösterildiği şekilde *convexinv* kodu içerisinde kullanılmaktadır (Kaasalainen vd. 2001).

$$f(\alpha) = a \exp\left(-\frac{\alpha}{d}\right) + k \alpha + 1 \quad (3.3)$$

Saçılma yasası aşağıdaki formülle tanımlanır:

$$S(\mu, \mu_0, \alpha) = f(\alpha) [S_{LS}(\mu, \mu_0) + c S_L(\mu, \mu_0)] \quad (3.4)$$

burada α Güneş evre açısı, μ_0 ve μ ışığın normale göre geliş ve yansıma açılarının kosinüsüdür. S_L Lambert yasası (Kaasalainen ve Torppa 2001), aşağıdaki şekilde verilir.

$$S_L = \mu \mu_0 \quad (3.5)$$

S_{LS} ise Lommel – Seeliger yasası olup aşağıda verildiği gibidir.

$$S_{LS} = S_L / (\mu + \mu_0) \quad (3.6)$$

Convexinv kodu içerisinde başlangıç olarak $a = 0.5$, $d = 0.1$, $k = -0.5$ alınır. c parametresi çözümde genellikle çok küçük bir etkiye sahiptir. Bu parametre $c = 0.1$ değerine sabitlenebilir.

3.4.2.7 Iterasyonun durma koşulu

Eğer iterasyon durma koşulu birden büyük bir tam sayı olarak girilirse, bu durumda bu sayı, Levenberg - Marquardt döngüsündeki iterasyon adımındır. Yani o sayıda iterasyon tamamlandıktan sonra program durur. Eğer bu değer birden küçük alınır, bu değer iterasyonlar arasındaki en küçük rms değeri olarak kullanılır. Bu kullanım tercih edildiğinde adımlar arasında çok küçük farklar olması durumunda iterasyon işlemi durur.

3.4.3 *Conjgradinv* kodu ve girdi dosyaları

Conjgradinv kodu, *convexinv* kodunun şekil bilgisini içeren çıktı dosyasını (EK 3 ve EK 4) girdi olarak kullanarak, şekil üzerinde düzeltmeler yapan koddur. *Conjgradinv* kodunda dönme ve saçılmaya ilişkin parametreler sabittir. *Convexinv* ile iyi dönme parametreleri elde edilmesi durumunda *conjgradinv* kodu ile şekle ilişkin daha hassas düzeltmeler yapılabilir. *Convexinv* kodu dönme eksenini doğrultusunun ekliptik koordinatlarını (λ , β) girdi parametreleri olarak kullanırken, *conjgradinv* kodunda doğrudan yüzey alanları girdi parametreleri olarak kullanılır. *Conjgradinv*, şekil çözümü konusunda son rötuş programı olarak da belirtilebilir. *Conjgradinv* kodunun girdi (EK 3) parametrelerinden çoğu sabittir. *Convexinv* kodunun girdi seti içerisinde bulunan iterasyon durma koşulu, çözünürlük ve konvekslik düzenleme ağırlıklandırması parametreleri, *conjgradinv* içerisinde bulunan değiştirilebilir parametrelerdir.

3.4.4 *Minkowski* ve *standardtri* kodları

Minkowski kodu *convexinv* ve *conjgradinv* kodlarının verdiği *out_areas* (EK 4) çıktısını girdi olarak kullanır. Şekil modeline ilişkin bilgiler *convexinv* kodunun *out_areas* çıktısı içerisinde tutulur. *out_areas* çıktısı içerisindeki ilk satır, yüzey sayısını verir. Daha sonraki satırlarda yüzey alanları ve dış birim normalleri x, y, z koordinatları yer alır. Karanlık yüzeyin boyutu ve koordinatları dosyanın sonunda bulunur. Toplam yüzey sayısı $8n^2 + 1$ dir. Karanlık yüzey çok küçük miktarda olmalıdır. Karanlık yüzey miktarı konvekslik düzenleme ağırlıklandırılması parametresi ile kontrol edilir.

Minkowski kodunun oluşturduğu çıktı dosyası (EK 5) da *out_areas* çıktı dosyası ile benzerdir. İlk satırda yüzeylerin ve köşelerin sayısı bulunur. Daha sonraki satırda x, y, z koordinatlarının köşeleri yer alır. Son satırlarda ise, herbir yüzey için, köşe sayısı ile, yüzey köşelerinin sıra numarası bulunur (cismin dışından ve saat yönünün tersine).

Standardtri kodu *minkowski* ile elde edilen çok yüzlünün, herbir yüzeyini üçgensel bölgelere bölmek için kullanılır. *Standardtri* kodunun girdi ve çıktı dosyaları (EK 5) *minkowski* kodunun kullandığı format ile aynıdır. Tek fark *standardtri*'de herbir yüzey için köşe sayısı dahil edilmez. Herbir yüzey için 3 olarak alınır. *Convexinv* veya *conjgradinv* kodları, *minkowski* ve *standardtri* kodları ile birlikte kullanılarak 3 boyutlu şekle ilişkin çıktı dosya oluşturulabilir.

3.4.5 *Lcgenerator* kodu

Convexinv kodu ile elde edilen modelleri doğrulamak veya seçilen epoklar için model çıktı dosyasını kullanarak (EK 5) sentetik ışık eğrileri üretmek için kullanılır. *Lcgenerator* kodunun girdi dosyası, *convexinv* kodunun girdi dosya formatı (EK 1) ile aynıdır. Ancak *lcgenerator* kodunda girilen parlaklık değerleri göz önüne alınmaz, daha önce oluşturulan model şeklin seçilen epoklara göre parlaklık değerleri oluşturulur. *Convexinv* ve *lcgenerator* kodlarının verdiği çıktı ışık eğrileri arasında bir miktar fark ortaya çıkar. Bu durum *lcgenerator* kodunun karanlık yüzeyleri hesaba katmamasından ve *minkowski* dönüşümünden kaynaklanır.

3.5 Fotometrik Gözlemler

Bu bölümde, yıldızlı dönem, ekliptik kutup doğrultuları ve şekil çözümleri elde edilen asteroidler (5917 Chibasai, 2741 Valdivia, 4332 Milton, 1346 Gotha) ile yeterli evre açısı aralığını kapsayan ışık eğrileri bulunmadığı için çözümleri elde edilemeyen (126 Velleda, 1834 Palach, 1656 Suomi, 7881 Schieferdecker) asteroidlerin gözlemlerinin teknik detayları verilmiştir.

Bu çalışma içerisinde analizi yapılan asteroidlerin fotometrik gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'nde yapıldı. Literatür ışık eğrileri Minor Planet Web⁴ sitesinin ışık eğrileri veri tabanından, robotik teleskop verileri ise Minor Planet Web⁵ sitesinin robotik teleskop veri tabanından alındı. Robotik teleskop verileri arasından güvenilirliği nedeniyle sadece Catalina ve U.S.N.O verileri seçildi.

TUG'da yapılan gözlemler, ACE 1-m Ritchey-Chrétien teleskobu ile buna bağlı olan 4096 x 4037 15 x 15 mikron piksel özellikli SI 1100 CCD kamerası (2 binning ile) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Literatürden alınan ışık eğrilerinden (5917) Chibasai'nin arşiv gözlemleri, filtresiz olarak (Stephens 2005), 0.35-m SCT f/5.8 teleskopu ile buna bağlı SBIG ST9e CCD kamerası kullanılarak; 2741 Valdivia'nın arşiv gözlemleri, filtresiz olarak (Pray 2004), 0.3 m f/6.9 teleskopu ile buna bağlı SCT SBIG ST9e CCD kamerası kullanılarak; (4332) Milton'un arşiv gözlemleri, filtresiz olarak 60 saniye poz süresiyle (Oey 2009), 0.25 Schmidt-Cassegrain f/5.2 teleskopu ile buna bağlı SBIG ST-402ME CCD kamerası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (1346) Gotha asteroidinin literatürde ışık eğrisi bulunmamaktadır.

Yeterli verisi olmadığından analizi yapılamayan asteroidlerden, (126) Velleda'nın Ankara Üniversitesi Gözleminde yapılan fotometrik gözlemleri, 0.4 m Meade f/10 teleskopu ile buna bağlı Apogee ALTA U47+ CCD kamerası kullanılarak; literatür gözlemleri ise (Pilcher 2011), 0.35m Meade LX200 teleskopu ile buna bağlı, SBIG STL-1001E CCD Kamerası ile gerçekleştirilmiştir. (1656) Suomi'nin literatür ışık eğrileri saçılması çok fazla olduğu için kullanılamamıştır. (1834) Palach ve (7881) Schieferdecker asteroidlerinin literatürde ışık eğrileri bulunmamaktadır.

TUG'da yapılan gözlemler üzerinde IRAF⁶'ın *ccdred* paketi yardımı ile dark, bias ve flat görüntüleri düzeltmeleri yapılmıştır. Yine IRAF programı yardımıyla gözlemsel verilerin hizalanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Asteroidler görüntü içerisinde sabit yıldızlara göre hareket ettiği için hizalama işlemi sırasıyla yıldızlara ve asteroidlere göre

⁴http://www.minorplanetcenter.net/light_curve

⁵http://www.minorplanetcenter.net/db_search

⁶IRAF: Image Reduction and Analysis Facility(<http://iraf.noao.edu/>)

ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Ön indirgemesi tamamlanan görüntülerin bazılarında, IRAF'ın *digiphot/daophot* paketi yardımı ile PSF (point spread function) fotometresi yapılmış ve açıklık fotometresi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Bölüm 3.5.1). İndirgemelerin büyük çoğunluğunda açıklık fotometresi kullanılmıştır. Açıklık fotometresinde IRAF'ın *digiphot/apphot* paketi kullanılarak asteroid parlaklıkları, mukayese olarak seçilen yıldızlara göre hesaplanmıştır. Açıklık fotometresi yönteminde, görüntü üzerinde bulunan cisimlerin yarı yükseklikli tam genişlik (FWHM) değerlerine göre belirlenen açıklıklarının 3.5 katı alınmıştır. Herbir asteroid için farklı gecelerdeki ışık eğrilerinde fotometrik açıklık çapı 10 ila 15 piksel değerleri arasında değişim göstermiştir. Açıklık fotometresi için belirlenen FWHM değerleri, IRAF'ın *imexamine* taskı kullanılarak tüm görüntülerdeki hedef asteroidin değerlerinin ölçümü ve ortalaması alınarak belirlenmiştir. Fark fotometresi için belirlenen mukayese yıldızları, 30'a yakın denet yıldızı ile test edilerek seçilmiştir. En az standart hatayı veren ve herhangi bir değişim göstermeyen mukayese yıldızları fark fotometresinde kullanılmıştır.

Gözlemlere ilişkin bilgiler çizelge 3.1'de verilmiştir. Çizelgede kolonlar sırasıyla; (1) Asteroid ismi, (2) asteroidlerin alternatif isimleri, (3) asteroid merkezine indirgenmiş Jülyen gözlem başlangıç zamanları, (4) gözlem tarihi, (5) gözlem yeri, (6) gözlem bantları, (7) gözlem anında Dünya'ya olan uzaklık, (8) gözlem tarihinde Güneşe olan uzaklık, (9) evre açısı ve (10) poz süresi verilmiştir. Çizelge 3.2'de ise ilgili asteroidlerin yörüngelerine ilişkin geometrik bilgiler sunulmuştur.

Catalina ve U.S.N.O gibi robotik teleskop gözlemleri, asteroidlerin geniş evre açısını (phase angle) kapsayan verilere sahiptir. Ancak robotik teleskop gözlemleri, geniş evrelerde yeterli sayıda gözlem noktasına sahip değildir. Kaasalainen ve Torppa (2001), ışık eğrisi evirme yönteminin doğru sonuçlar verebilmesi için, yeterli gözlem noktasına ve ışık eğrisine ilişkin sınırları belirlemişlerdir. Bir asteroidin çeşitli yüzeylerini içeren yeterli robotik teleskop verileri olması durumunda, sadece bu veriler ile de şekil analizi gerçekleştirilmesi mümkündür (Hanus vd. 2013). Kaasalainen vd. (2001)'e göre 20''nin üzerinde evre açılarına sahip gözlemler ile asteroidlerin yüzey şekillerinin tespiti mümkündür.

Bu çalışmada TUG T100 teleskopunda gözlenen ve literatürden alınan ışık eğrileri farklı filtrelerde elde edilmiştir. Işık eğrisi evirme yönteminde, farklı filtrelerde alınmış gözlemsel verilerin birlikte kullanılması şekil analizinde bir probleme neden olmamaktadır. Saçılma parametrelerinin elde edilmesi için ise aynı filtrede elde edilmiş gözlemlere ihtiyaç duyulur (Kaasalainen vd. 2002).

Çizelge 3.1 Çalışılan asteroidlerin gözlemsel bilgileri

Asteroid Adı (1)	Alternatif Adları (2)	Zaman (JD) +2450000 (3)	Tarih (gg/ay/yıl) (4)	Gözlemevi (5)	Filtre (6)	d (AB) (7)	r (AB) (8)	Güneş Evre Açısı α ($^{\circ}$) (9)	Poz Süresi (s) (10)
5917 Chibasai	1991 NG, 1987 QD ₁₁	3226.75409 3227.76928 3228.77451	09.08.2004	Stephens (2005)	Filtresiz	1.365	2.299	20.6	-
			10.08.2004		Filtresiz	1.363	2.300	20.4	-
			11.08.2004		Filtresiz	1.491	2.274	20.1	-
		6093.43135 6132.30836 6162.25215 6177.26910	14.06.2012	TUG	Filtresiz	1.475	2.269	17.4	30
			23.07.2012		R	1.237	2.243	4.8	60
			22.08.2012		R	1.352	2.235	16.3	45
			06.09.2012		R	1.473	2.234	21.0	60
		2004 2008-2012	Catalina	R	-	-	-	-	-
				V	-	-	-	-	-
		1346 Gotha	1929 CY, 1931 RC1, 1948 PL1, 1952 OC	6131.44344 6161.45274 6175.44016	22.07.2012	TUG	R	1.739	2.504
21.08.2012	R				1.469		2.447	7.9	25
04.09.2012	R				1.413		2.421	1.2	15
2005-2013	Catalina			V				-	
2741 Valdivia	1935 CM, 1952 DJ2, 1953 QS, 1969 EB1, 1969 FC, 1973 FX1, 1975 XG, 1979 UA1			2763.69996 2764.65750 2770.63092 2807.58480	04.05.2003	Pray (2004)	Filtresiz		
		05.05.2003	Filtresiz					14.3	-
		11.05.2003	Filtresiz					12.3	-
		17.06.2003	Filtresiz					13.5	-
		6133.40707 6163.41760 6178.27797	24.07.2012	TUG	R			16.4	75
			23.08.2012		R			4.0	120
			07.09.2012		R			3.3	65
2006-2013	U.S.N.O	V							
4332 Milton	1933 SH1, 1983 RC, 1989 ET4	4710.06832 4711.14765 4716.08567 4719.09726	31.08.2008	Oey (2009)	Filtresiz	0.995	1.776	27.9	
			01.09.2008		Filtresiz	0.989	1.776	27.6	
			06.09.2008		Filtresiz	0.958	1.777	26.1	
			09.09.2008		Filtresiz	0.942	1.777	25.1	
		6132.42860 6161.29503 6175.26023 6177.40100	23.07.2012	TUG	R	1.044	1.902	22.3	30
			21.08.2012		R	0.845	1.840	8.4	40
			04.09.2012		R	0.811	1.816	3.6	10
			06.09.2012		R	0.810	1.813	4.4	10
		2006-2013	Catalina	V				3.1-33	
		126 Velleda	1949 YF, 1950 BD1	5577.69798 5579.68911 5588.66251 5600.62149 5617.56711	16.01.2011	Pilcher(2011)		1.778	2.645
18.01.2011					1.764		2.646	11.5	
27.01.2011					1.713		2.652	7.9	
08.02.2011					1.678		2.659	2.8	
25.02.2011					1.700		2.668	5.6	
5117.18653 5120.21373	12.10.2009			AÜG	R	1.205	2.201	2.1	25
	15.10.2009				R	1.211	2.203	3.7	27
1998-2008	U.S.N.O			V				1.7-27	
2004-2012	Catalina			V				1.8-26	

Çizelge 3.1 Çalışılan asteroidlerin gözlemsel bilgileri(devam)

1834 Palach	1969 QP	5782.44961	08.06.2011	TUG	Filtresiz	2.364	2.867	19.5	25
		6162.45280	22.08.2012		R	2.836	3.150	18.5	40
		6178.49842	07.09.2012		R	2.633	3.159	17.1	20
			1998-2010	U.S.N.O	V			0.6-19	
			2003-2013	Catalina	V			3-20.3	
1656 Suomi	1942 EC, 1955 HL	6131.30056	22.07.2012	TUG	R	1.312	2.109	21.8	100
		6163.26892	23.08.2012		R	1.514	2.106	26.5	100
7881 Schieferdecker	1992 RC7, 1982 SD3, 1990 FU4, 1991 NZ7	6163.41126	23.08.2011	TUG	R	1.666	2.668	3.8	120
			2000-2005	Catalina	R			2.7-18	
			2005-2012		V			8-25.6	

Çizelge 3.2 Gözlenen asteroidlerin yörünge bilgileri

Asteroidin Adı	Mutlak Parlaklığı (*) (V)(m)	<i>i</i> (°) +	<i>e</i> (°) +	<i>P</i> _{yörünge} (yıl) +	<i>P</i> _{dönme} (sa)	Referanslar
5917 Chibasai	12.1	14.281	0.139	4.18	2.65±0.01	(1)
					2.645±0.002	(2)
1346 Gotha	11.25	13.846	0.179	4.26	11.19	(3)
					2.64067±0.00002	(2)
2741 Valdivia	11.8	10.279	0.184	4.21	8.1922±0.0001	(2)
					4.096±0.001	(4)
4332 Milton	12.7	19.154	0.314	4.16	3.2978±0.0003	(5)
126 Velleda	9.27	2.924	0.105	3.81	5.364±	(6)
					5.366±0.001	(7)
					5.3692±0.0004	(2)
					5.3672±0.0001	(8)
					5.364±0.002	(9)
1834 Palach	11.2	9.446	0.0689	5.28	3.139±0.001	(2)
					3.1358±0.0009	(10)
1656 Suomi	12.8	25.066	0.124	2.57	2.42±0.02	(11)
					2.59±0.01	(12)
					2.59±0.01	(13)
					62.16	(2)
					2.5879±0.0002	(14)
7881 Schieferdecker	13.0	2.7923	0.118	5.04		-

*Dünyadan ve Güneşten 1 AB Uzaklıktaki Parlaklık

+JPL. <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi>

(1): Stephens (2005); (2):Behrend; (3): Binzel (1987); (4): Pray(2004); (5): Oey (2009); (6): Dovgopol (1992); (7): Licchelli (2006); (8) Pilcher (2011); (9) Hamanowa; (10) Pligge (2011); (11) Wisniewski (1997); (12) Stephens (2004); (13) Briensfield (2008); (14) Warner (2012)

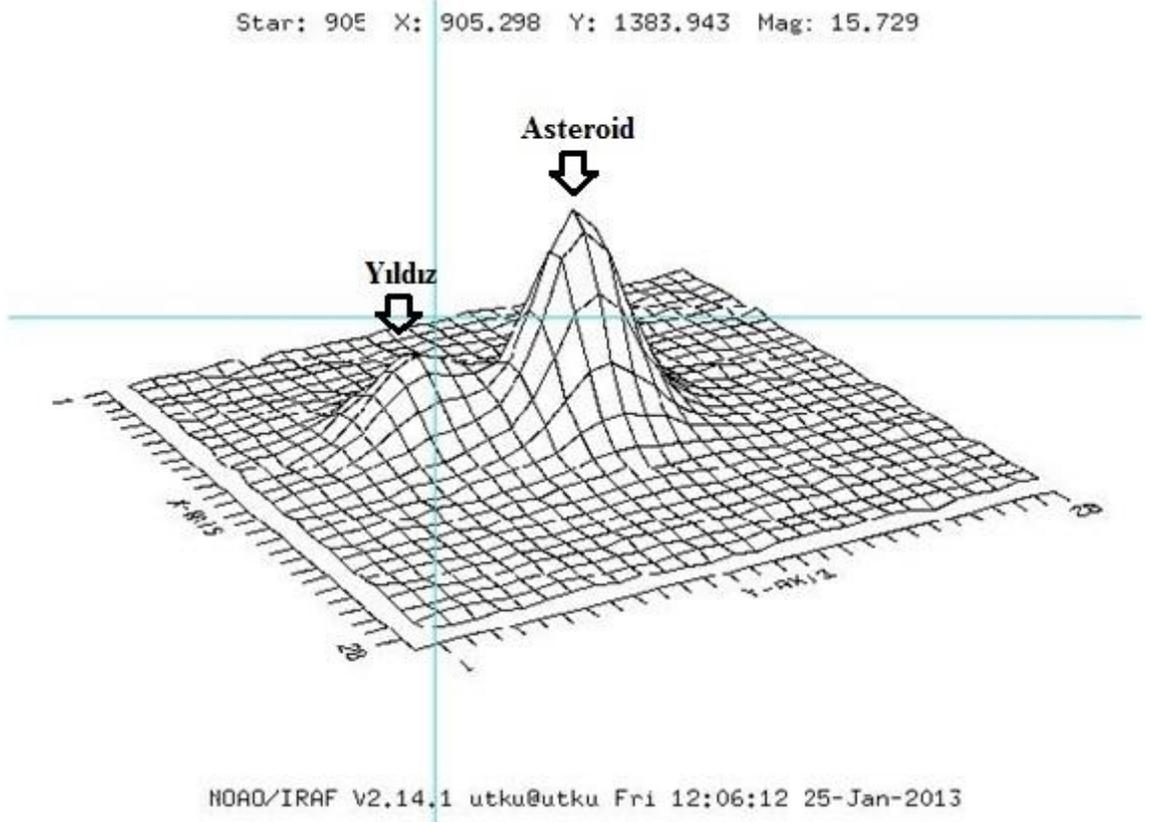
(2) Behrend: http://obswww.unige.ch/~behrend/page_cou.html

(9) Hamanowa:<http://www2.ocn.ne.jp/~hamaten/astlcldata.htm>

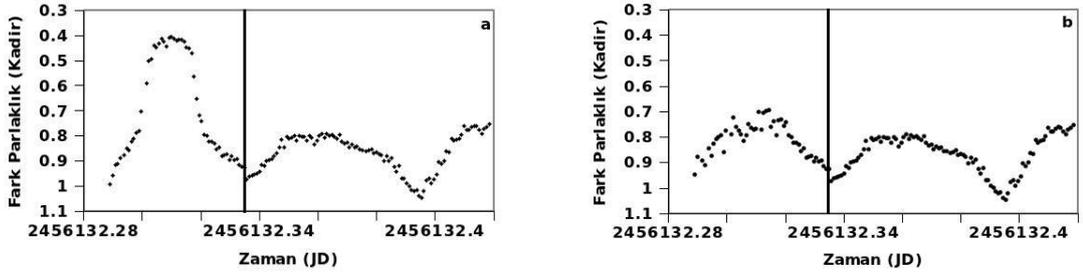
3.5.1 PSF Yöntemi ile açıklık fotometresinin karşılaştırılması

Asteroidler yörüngeleri üzerinde farklı konumlardayken elde edilen ışık eğrilerinin herbiri oldukça önemlidir. Mümkün olduğunca geniş evre aralıklarında fotometrik ışık eğrisi elde edilmeye çalışıldığından dolayı, gözlemler sırasında asteroidler gökyüzünde farklı yıldız dağılımlarının olduğu bölgelerle çakışabilmektedir. Bunun sonucunda gözlemi gerçekleştirilen asteroidler zaman zaman alan yıldızları ile yakın geçiş yapabilmektedir. Bu tür durumun karşılaşıldığı gözlemlerden bir tanesinde (23 Temmuz 2012) veri kaybı olmaması için, uygulanan PSF fotometrik yönteminin veriler üzerinde gösterdiği başarı tartışılmıştır.

Asteroidler, yıldızlara göre gökyüzünde kısa zaman aralıklarında çok daha büyük hareketlerde bulunurlar. Bir ana kuşak asteroidi birkaç saat içerisinde gökyüzünde yay dakikası mertebesinde yer değiştirebilir. Dünya'ya yakın konumda bulunan asteroidler ise bir saat içerisinde gökyüzünde derece mertebesinde yer değiştirebilmektedir. Asteroidler bu hareketlerinden dolayı, gözlem süresi boyunca, bir yıldızın izdüşüm olarak yakınından veya üstünden geçebilmektedir. Açıklık fotometresi görüntü üzerinde seçilen dairesel bir alan içerisine düşen foton miktarını sayar. Asteroid'in yakınlığında bulunan yıldız olması durumunda açıklık fotometrisi bize hem asteroid hem de yıldızla ilişkin gelen fotonların toplamının elde edilmesine yol açar (Şekil 3.2). Gözlemsel veri kaybını engellemek için bu tür durumlarda açıklık fotometresi yerine PSF fotometresi yöntemi kullanılabilir. PSF fotometresi ve açıklık fotometrisine dayalı olarak elde edilmiş örnek ışık eğrileri, şekil 3.3'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.2 (5917) Chibasai asteroidi bir yıldızın izdüşüm olarak yakınından geçerken



Şekil 3.3 (5917) Chibasai asteroidi'nin ışık eğrisi

a) Bir yıldızın yakınından geçerken açıklık fotometresi ile elde edilmiş ışık eğrisi b) PSF yöntemi ile elde edilmiş ışık eğrisi (Bu iki yöntem, sadece dikey çizgiye kadar olan kısımda karşılaştırılmış olup, eğrilerin diğer kısımları açıklık fotometrisine göre elde edilmiştir).

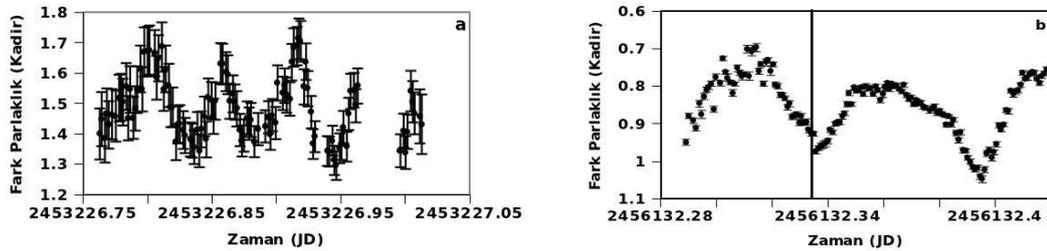
PSF fotometresi yöntemi ile görüntülerdeki cisimlerin pikseller üzerinde oluşturduğu 3 boyutlu şekil modellenir (bkz. Şekil 3.2). CCD türü dedektörler üzerindeki piksellere düşen ışık, her bir yıldız için yapısal olarak benzer profiller üreteceği için (Stetson

1987), CCD görüntüsü üzerinde bulunan yıldızlar kullanılarak sentetik bir ışık dağılım profili oluşturmak mümkündür. PSF fotometresi bu sentetik dağılımı oluşturduktan sonra olması gereken dağılımı göstermeyen (iki cismin ışığının birbirlerinin içine girmesi gibi) cisimlerin o görüntüdeki parlaklığını modele uygun şekilde belirler.

TUBITAK TUG'daki T100 teleskopuna bağlı olan SI 1100 CCD kamerası ile yapılan gözlemlerde PSF fotometresi yöntemi açıklık fotometresi kadar duyarlı sonuç vermemiştir (bkz. Çizelge 3.1 ve Şekil 3.4.b). Ancak, (5917) Chibasai asteroidinin literatürden alınan 2004 yılı ışık eğrilerine (Stephens 2005) göre, PSF fotometresi ile elde edilen parlaklık değerlerinin hatasının çok daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 3.4). Chibasai asteroidinin 2004 yılı gözlemleri için verilen standart hata değerleri, 2012 yılında açıklık ve PSF yöntemlerine göre elde edilen parlaklıkların hatalarından yaklaşık olarak 10 kat daha büyüktür (Çizelge 3.1). Herhangi bir yıldız yaklaşmasının olmadığı diğer tüm indirgemelerde açıklık fotometresi yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 (5917) Chibasai'nin gözlemlerinden bulunan farklı yöntemlere ilişkin standart hata miktarları (köşeli parantez içerisinde verilen sayısal değerler hatanın hesaplanmasında kullanılan gözlem veri sayısını göstermektedir).

Gözlem yılı ve yöntemi	2004 Açıklık Stephens (2005)	2012 Açıklık (TUG)	2012 PSF (TUG)
Hata Miktarı $\sigma[n]$ (standart sapma)	0 ^m .0628 [106]	0 ^m .0062 [96]	0 ^m .0084 [53]



Şekil 3.4 (5917) Chibasai asteroidi'nin ışık eğrileri

- a) 2004 yılı literatür ışık eğrisi (Stephens 2005) b) 2012 TUG T100 gözlemi (dikey çizgiye kadarki bölümde PSF fotometresi, diğer bölümde açıklık fotometresi yöntemi uygulanmıştır).

3.6 Birim Uzaklığa İndirgeme ve Arşiv Verileri

Asteroidlerin analizinde kullanılan fotometrik orijinli verilerden bir kısmında robotik teleskoplardan alınmıştır. Bu tez çalışması içerisinde kullanılan robotik teleskop verileri Catalina Sky Survey ve U.S.N.O verileridir ve Minor Planet Center⁷ web sayfasından temin edilmişlerdir.

Catalina Sky Survey, yeni kuyruklu yıldızları ve asteroidleri, özellikle de Dünya'ya çarpma ihtimali olan cisimleri keşfetmeyi amaçlayan bir projedir. Projede 1.5 m, 0.7 m ve 0.5 m'lik 3 adet teleskop ve bu teleskoplara bağlı 4096 x 4096 CCD kameralar kullanılmaktadır. Catalina Sky Survey (Drake vd. 2009) gözlemleri, filtresiz gerçekleştirilip daha sonra bu gözlem verileri, 2MASS kataloğundan belirlenen standart yıldızlar aracılığıyla J, H, K parlaklıklarında standart sisteme indirgenmektedir. Sonrasında veriler Bessell ve Brett (1988) tarafından belirlenen V parlaklığına Cutri vd.⁸ tarafından gösterilen dönüşüm denklemleri ile dönüştürülür. U.S.N.O. gözlemleri ise, 1.55, 1.3 ve 1 metrelik 3 teleskop ve bu teleskoplara bağlı Textronix 2048 x 2048 CCD kameraları ile gerçekleştirilmektedir. U.S.N.O.'nun amacı fotometrik ve astrometrik gözlemler gerçekleştirmektir. MinorPlanetCenter sayfasından alınan U.S.N.O. gözlem verileri Jonhson V bandı parlaklıkları cinsinden verilmektedir.

Robotik teleskop verileri mutlak fotometre yöntemine göre indirgenmiştir. Bu verilerin Dünya'dan ve Güneş'ten 1 Astronomi Birimi (AB) uzaklığa indirgenmiş parlaklıkları, ışık eğrisi evirme yönteminde kullanılır. Dünyadan ve Güneşten 1 AB uzaklığa indirgenen parlaklıklarda uzaklığa ilişkin etkiler ortadan kaldırılır. Bu parlaklıklar

$$H(\alpha) = V - 5 \log (r\phi) \quad (3.7)$$

⁷http://www.minorplanetcenter.net/db_search

⁸<http://www.ipac.caltech.edu/2mass/releases/allsky/doc/explsup.html>

denklemleri ile hesaplanır. Burada V , gözlenen parlaklık, r , asteroidin Güneşten olan uzaklığı, ϕ , asteroidin Dünyadan olan uzaklığı ve α , evre açısıdır. Bu parlaklıkların evre açısına bağlı değişiminin grafiğine evre grafiği adı verilmektedir (Şekil 2.3a).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, gözlemleri yapılmış olan (5917) Chibasai, (2741) Valdivia, (4332) Milton, (1346) Gotha ve (126) Velleda, (1834) Palach, (1656) Suomi, (7881) Schieferdecker asteroidlerinden, ilk dördüne ilişkin şekil çözümleri verilmiştir. Bu asteroidlerden (5917) Chibasai, (4332) Milton, (1346) Gotha için tekil bir şekil ve kutup doğrultusu çözümü elde edilememiş olduğundan öncül çözümler sunulmuştur. Asteroidlerin şekil analizinde kullanılan *convexinv* ve diğer kodlarda, tekil ve nihai bir çözüme ulaşmak için asteroidlerin oldukça farklı evre açısı geometrilerini içeren çoklu ışık eğrilerine ihtiyaç duyulur.

4.1 Asteroidlerin Şekil Analizi

Asteroidlere uygulanan konveks evirme yöntemi (Kaasalainen ve Torppa 2001 ve Kaasalainen vd. 2001) ile şekil analizi, *convexinv* kodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen vd. (2001)'de belirtildiği üzere, konveks evirme yönteminde ne kadar geniş zaman aralığı içeren veri kullanılırsa, yani asteroid ne kadar geniş evre açısında gözlenirse, elde edilen sonuç da o oranda güvenilir olmaktadır. Bir kaç adet 20°nin üstünde evre açısına sahip ışık eğrisi kullanılması durumunda oldukça güvenilir tekil çözümler elde edilmesi mümkündür. Çünkü geniş evre açılarında yüzeyin gölgeme etkileri daha belirgin olmaktadır. Bu sayede yüzey şekillerine ilişkin daha doğru bilgiler elde edilebilmektedir. Küçük evre açılarında gölgeleme etkileri azaldığından, bu açılarda asteroidlerin sadece genel boyutlarına ilişkin bilgilere ulaşmak mümkündür. Işık eğrileri için döneme göre evrelendirilmiş nokta sayısının yeterli örneklemeye sahip olması durumunda, her biri 50 noktaya sahip 20 ışık eğrisinin kullanılması veya her biri 100 noktaya sahip 10 ışık eğrisinin kullanılması analizde farklılık yaratmaz. Bu nedenle farklı evrelerde gözlemi yapılmış veriler elde etmek amacıyla TUG'da elde edilen ışık eğrileri yanında literatürde bulunan ışık eğrileri ile robotik teleskop verileri de tekil bir çözüm üretmek amacı ile birlikte kullanılmıştır.

Şekil analizinde başlangıç girdi dönme doğrultusu değerleri [λ (0° , 360°) ve β (-90° , $+90^\circ$) yeterli aralık kapsayacak şekilde seçilmiştir. Dönme doğrultusu değerleri dönem ile birlikte, Levenberg – Marquardt iterasyonu ve *convexinv* kodu içerisine model ve girdi ışık eğrileri arasındaki farkı (χ^2) en aza indiren şekil ve dönme doğrultusu sonucunu bulmak üzere girdi olarak verilmiştir.

(1346) Gotha ve (2741) Valdivia asteroidlerinin her ikisi için üretilen iki ayrı çözümün, λ değerleri arasında 180° 'lik fark ortaya çıkmıştır. Torppa vd. (2003)'de gösterildiği üzere, gözlenen asteroidin yörüngesi ekliptik düzlemine yakınsa iki adet şekil çözümü elde edilmesi ve bu çözümlerin birbirlerinin neredeyse ayna simetrisi olması doğaldır (neredeyse aynı enlem ancak 180° farklı boylam değerine sahip iki çözüm).

(5917) Chibasai için, 180° farklı boylam değerlerine sahip ancak büyük oranda farklı enlem değerine sahip iki çözüm elde edilmiştir. Literatürde bu tür çözüm örnekleri de bulunmaktadır (Hanus vd. 2013). (157) Dejanira ve (199) Byblis asteroidleri bu türden çözümlere örnek olarak gösterilebilirler (DAMIT⁹). (4332) Milton asteroidi için ise tek bir çözüm elde edilmiştir. (3) Juno asteroidinin çözümü örnek olarak gösterilebilir (Kaasalainen vd. 2002).

Convexinv kodunun oluşturduğu fitlerde bulunan teorik nokta sayısı, gözlem sırasında elde edilen nokta sayıları ile eşittir. *Lcgenerator* kodu ile istenilen sayıda noktaya fitler gerçekleştirilebilmektedir. Bu kod kullanılırken herbir ışık eğrisi için tüm evre aralığını kapsayacak Jülyen günü değerleri ve koordinat değerleri girdi olarak verilir (EK 1). Literatürden toplanan ışık eğrileri ile TUG gözlem verilerine *lcgenerator* ile tüm evre aralıklarında fitler gerçekleştirilmiş, *convexinv* koduyla üretilen çıktı modelleri⁽¹⁰⁾ ve 3 boyutlu şekil görüntüleri sunulmuştur. 3 boyutlu şekil görüntüsü Linux tabanlı 3 boyutlu çizim programı MeshLab¹¹ ile oluşturulmuştur.

⁹http://astro.troja.mff.cuni.cz/projects/asteroids3D/web.php?page=db_browse

¹⁰Aksi belirtilmediği sürece modeller birincisi esas alınarak (bkz Çizelge 5.1) oluşturulmuştur

¹¹<http://meshlab.sourceforge.net/>

Grafiklerde kesikli çizgi ile gösterilen noktalar *convexinv* kodu ile oluşturulmuş modellerdir. Sürekli çizgi ile modellenmiş noktalar *lgenerator* kodu ile üretilmiştir. Modellerinin birbirlerinden bir miktar farkı olmasının nedeni *convexinv* kodunun oluşturduğu modelde, asteroidin karanlık yüzeylerini hesaba katmasından, *lgenerator* kodunun ise bu yüzeyleri hesaba katmamasından kaynaklanmaktadır. Kutup doğrultularının ve asteroide ilişkin tüm parametrelerin belirlendiği program *convexinv* kodudur. *Lgenerator* kodunda, *convexinv* kodu ile bulunan modele göre fitler, karanlık yüzeyler hesaba katılmadan uygulanır.

Dönme dönemindeki hata, *period_scan* kodunun belirlediği ΔP artımlarının yüzde biri mertebesinde (Kaasalainen vd. 2001). Şekil analizinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için yıldızlı dönemin doğru bir şekilde tespit edilmesi şarttır.

4.1.1 (5917) Chibasai asteroidinin şekil analizi

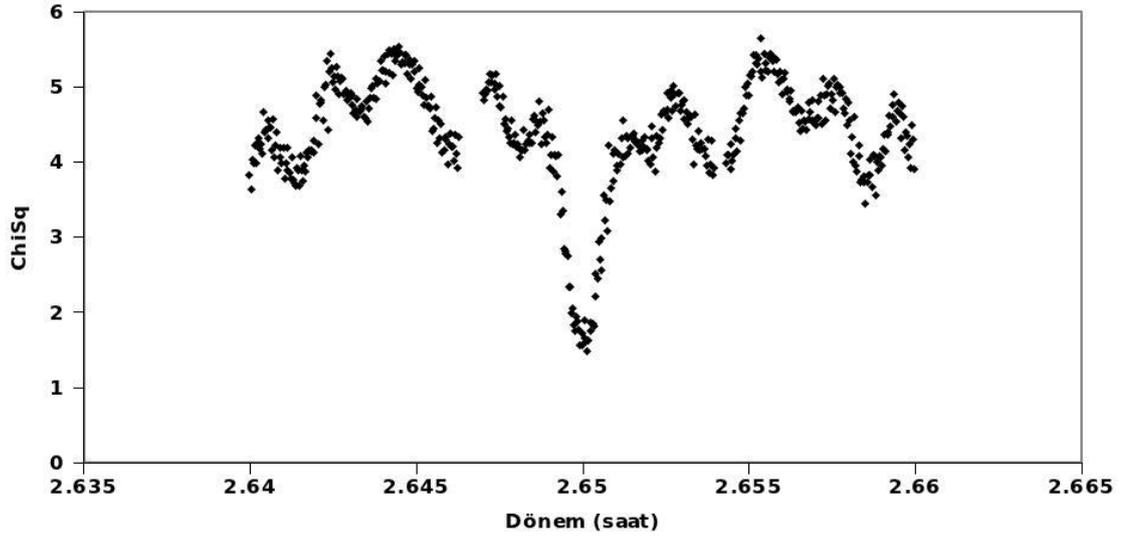
(5917) Chibasai asteroidi için Behrend¹² tarafından verilen 2.645 ± 0.002 saatlik dönme döneminin, TUG gözlemlerinin evrelendirilmesi sonucunda doğru yıldızlı dönem olmadığı görülmüştür. Bu dönemle evrelendirilen ışık eğrileri arasında, önemli miktarda kaymalar görülmüştür. Bu nedenle *period_scan* kodu ile dönem taraması geniş bir aralıkta yapılmıştır (EK 2). 2.64 ile 2.66 saatlik dönem aralığı içerisinde tarama yapılmış ve yıldızlı dönemi 2.649987 ± 0.000003 saat olarak belirlenmiştir. Dönem tarama grafiği şekil 4.1’de sunulmuştur.

Chibasai asteroidinin Stephens (2005) tarafından gözlenen ışık eğrileri (Şekil 4.2) ve TUG’de elde edilen ışık eğrileri (Şekil 4.3) evrelendirilerek çözüm modelleri ile birlikte verilmiştir¹³. Şekil 4.4’de ise Catalina R ve V bandı verilerinin Güneş evre açısına bağlı değişimi, oluşturulan model parlaklıklarla birlikte verilmiştir. Chibasainin 3 boyutlu model görüntüsü şekil 4.5’de sunulmuştur.

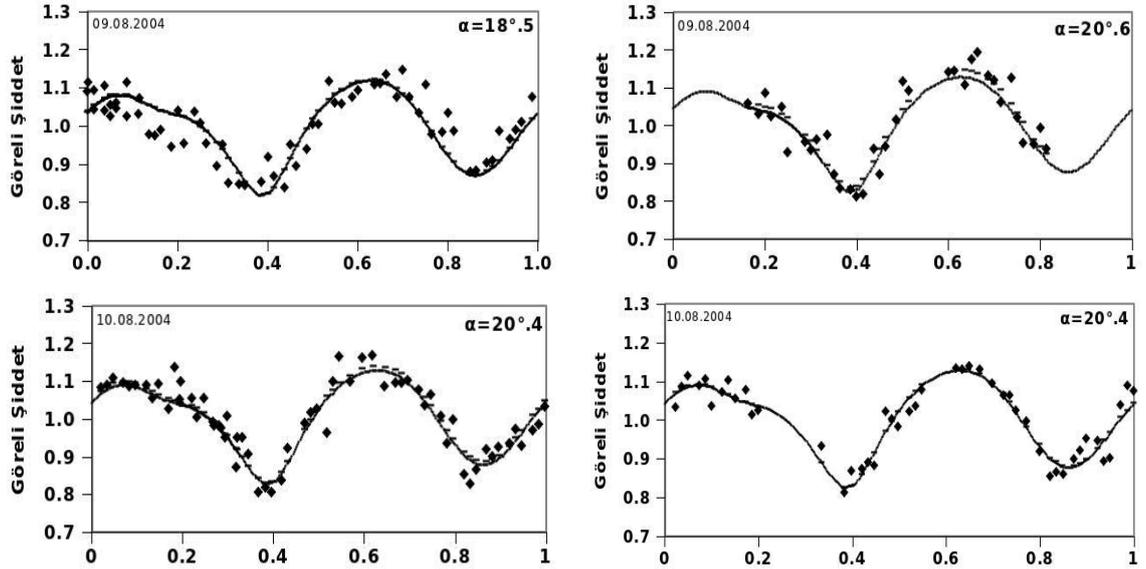
¹²http://obswww.unige.ch/~behrend/page_cou.html (yalnızca internet üzerinden dönem bildirilmiş)

¹³Eğer ikili çözüm var ise, modeller oluşturulurken birinci çözüm tercih edilmiştir (bkz Çizelge 5.1).

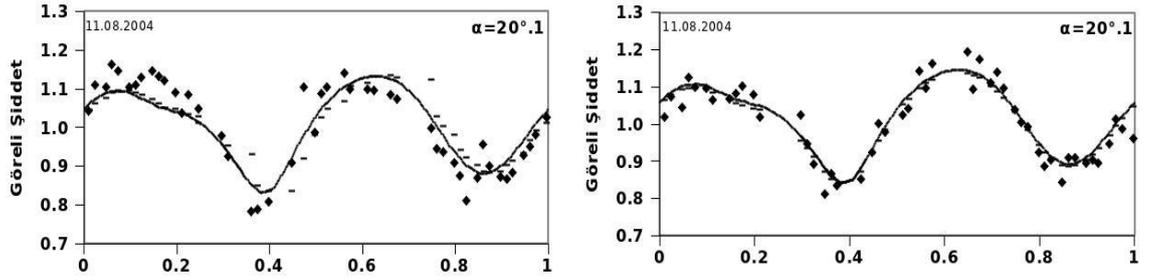
(5917) Chibasai asteroidinin ışık eğrileri $20^{\circ}.6$ ile $4^{\circ}.9$ Güneş evre açısı aralığını taramaktadır.



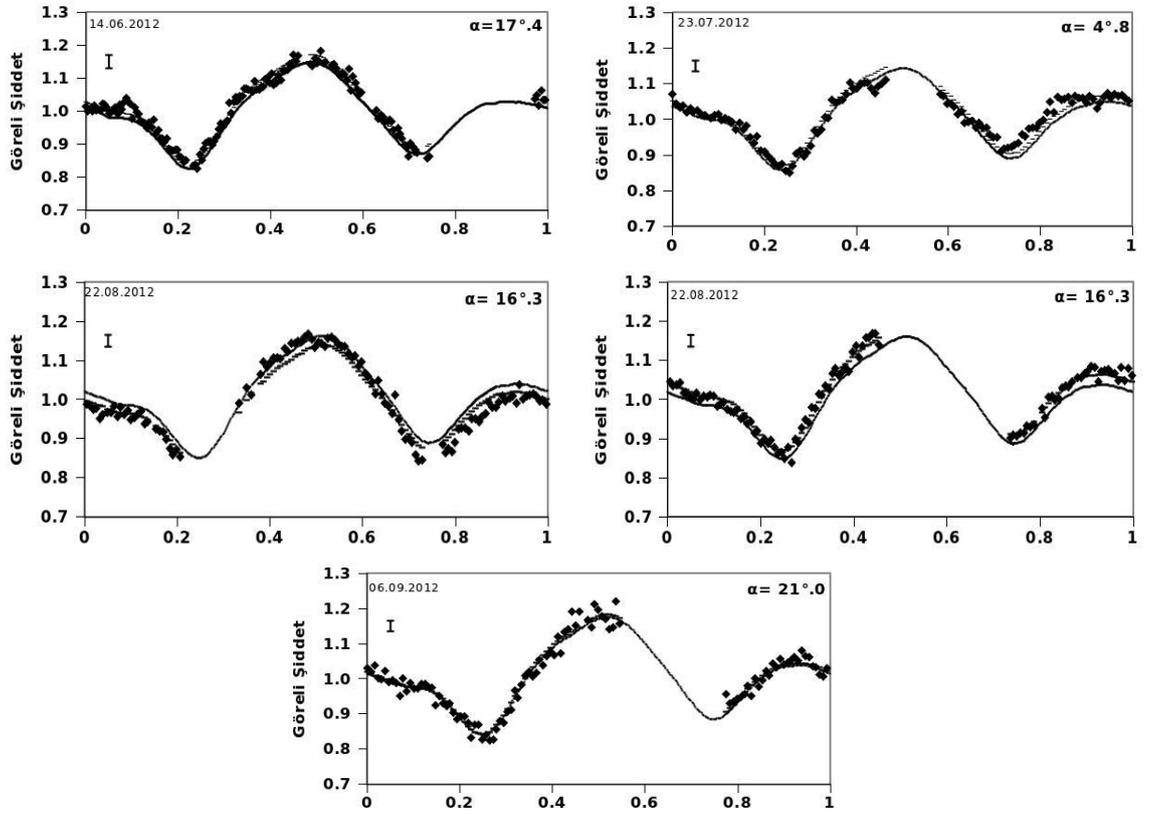
Şekil 4.1 *Period_scan* kodunun ürettiği (5917) Chibasai asteroidinin dönem tarama grafiği



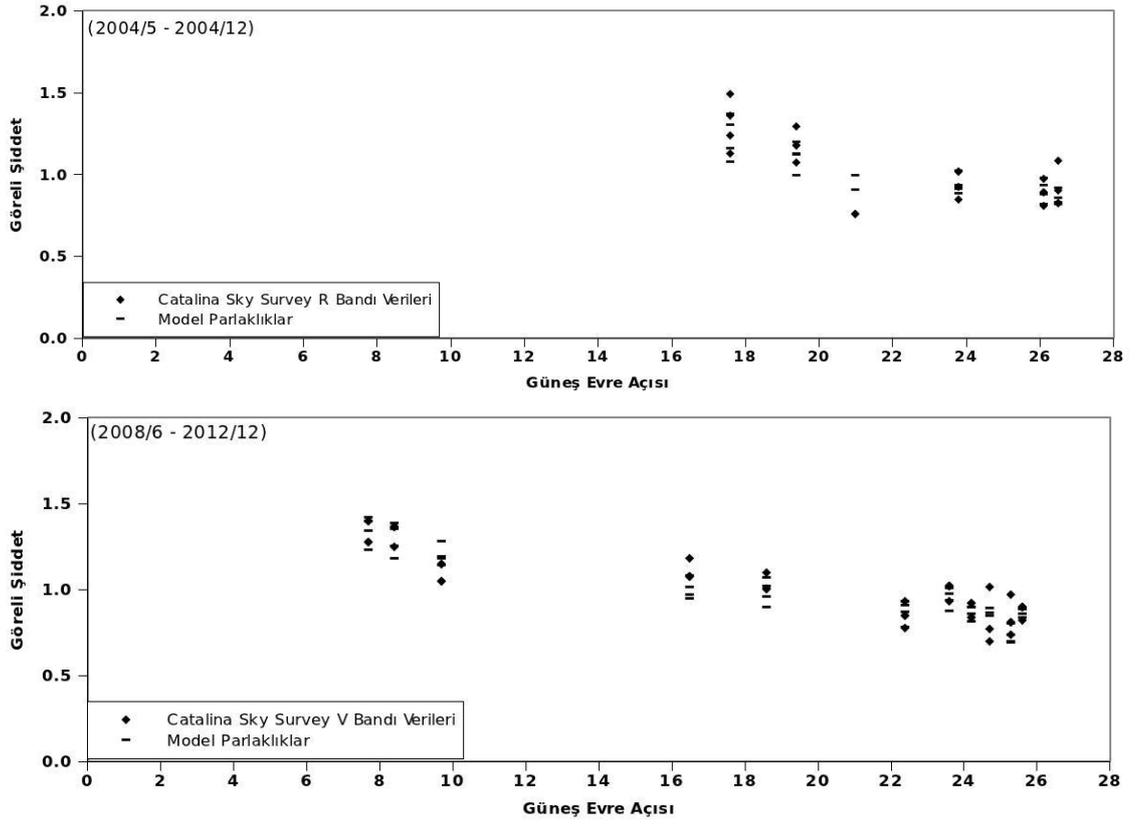
Şekil 4.2 (5917) Chibasai asteroidinin Stephens (2005) tarafından gözlenen 6 adet evrelendirilmiş ışık eğrisi ve uygulanan model ışık eğrileri (kesikli çizgiler *convexinv*, sürekli çizgiler *lgenerator* ile oluşturulmuştur)



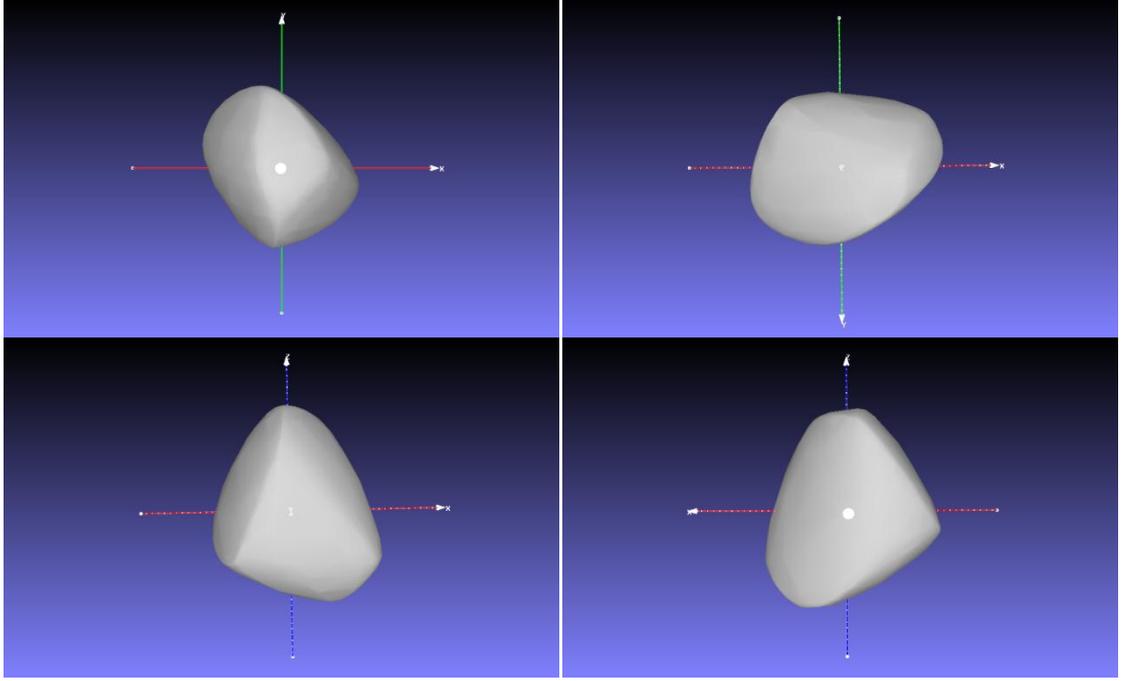
Şekil 4.2 (5917) Chibasai asteroidinin Stephens (2005) tarafından gözlenen 6 adet evrelendirilmiş ışık eğrisi ve uygulanan model ışık eğrileri (kesikli çizgiler *convexinv*, sürekli çizgiler *lgenerator* ile oluşturulmuştur) (devam)



Şekil 4.3 (5917) Chibasai asteroidinin TUG'de elde edilmiş olan 5 adet ışık eğrisi ve uygulanan model ışık eğrileri (kesikli çizgiler *convexinv*, sürekli çizgiler *lgenerator* ile oluşturulmuştur).



Şekil 4.4 (5917) Chibasai'nin Catalina Sky Survey R ve V bandı gözlemlerinin, Güneş evre açısına bağlı değişimi ve hesaplanan model parlaklıklar



Şekil 4.5 (5917) Chibasai asteroidinin konveks kabuk ile temsil edilen, çok yüzlü model görüntüsü.

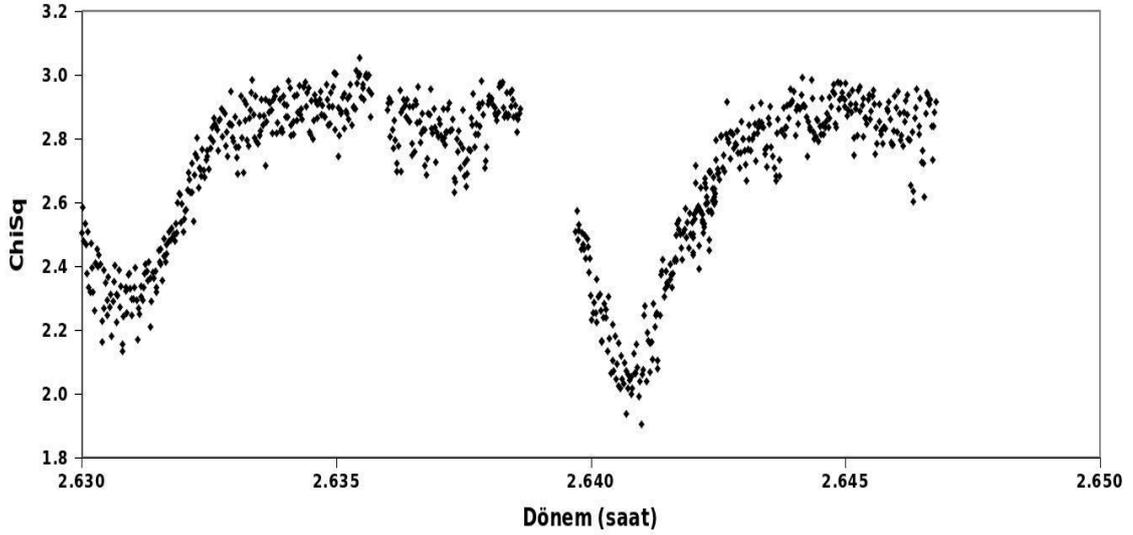
İlk satırda asteroidin kuzey ve güney kutbundan, ikinci satırda ise ekvatorдан 180°'lik farklar ile görünüşleri sunulmuştur.

4.1.2 (1346) Gotha asteroidinin şekil analizi

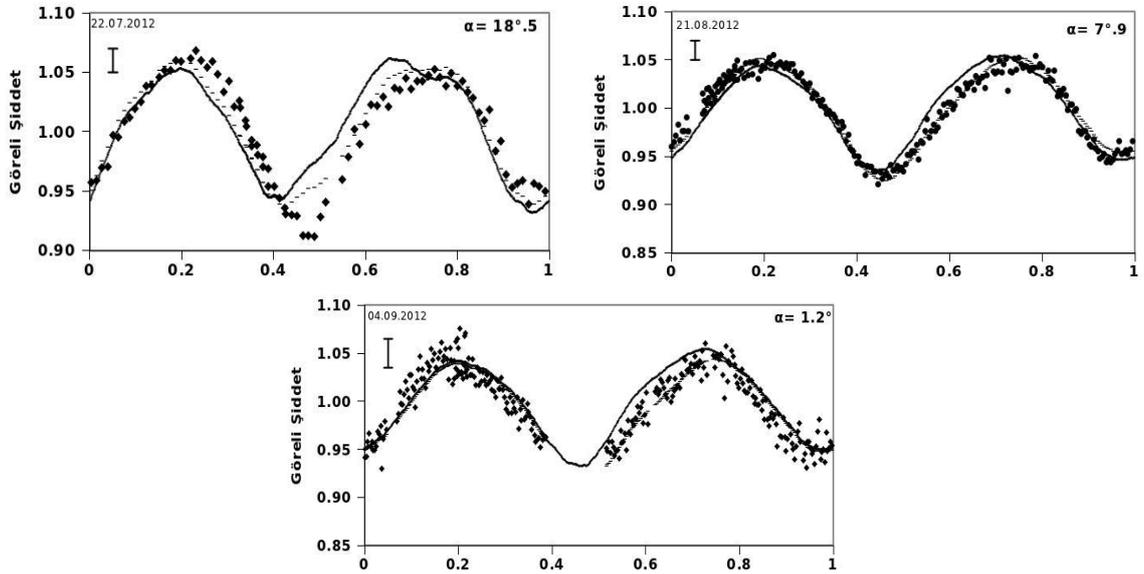
Asteroidin literatürde Behrend¹² tarafından verilen, 2.64067 saatlik dönme döneminin ışık eğrilerinin evrelendirilmesinde uygun kavuşum dönemi olduğu görülmüş ve şekil çözümünde kullanılacak yıldızlı dönem olarak bu dönem etrafında tarama yapılmıştır. *Period_scan* kodu ile yapılan tarama sonucu şekil çözümünün yıldızlı dönemi 2.640794 ± 0.000001 saat olarak belirlenmiştir. Dönem tarama grafiği şekil 4.6'da sunulmuştur. İterasyonda zaman tasarrufu sağlanması için gerekli görülen dönem aralıklarında atlamalar yapılmıştır. Bu nedenle dönem tarama grafiklerinde yer yer kesiklikler oluşmuştur.

TUG'de elde edilen ışık eğrilerine uygulanan en iyi model fit (1 nolu çözüme göre bkz. Çizelge 5.1) şekil 4.7'de görülmektedir. Catalina ve U.S.N.O. V bandı parlaklıklarının Güneş evre açısına bağlı değişimi, oluşturulan model parlaklıklarla birlikte verilmiştir (Şekil 4.8). Şekil 4.9'da ise oluşturulan 3 boyutlu model görülmektedir. (1346)

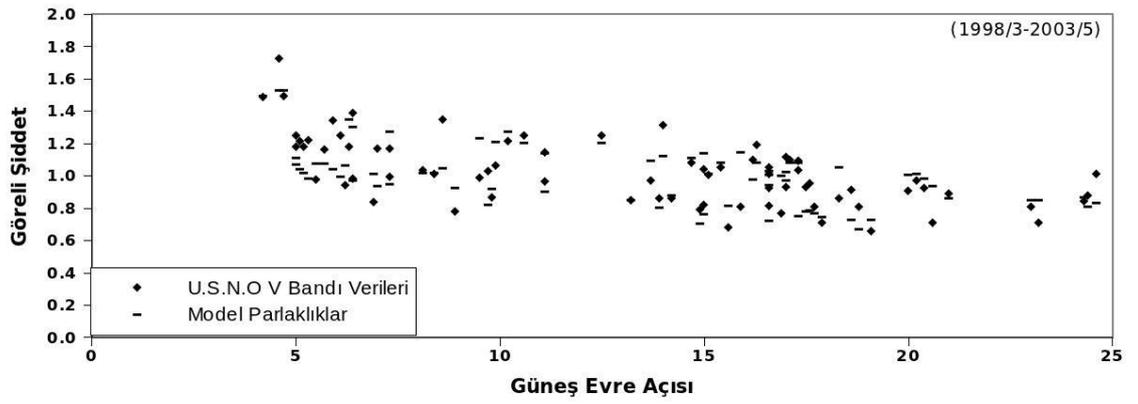
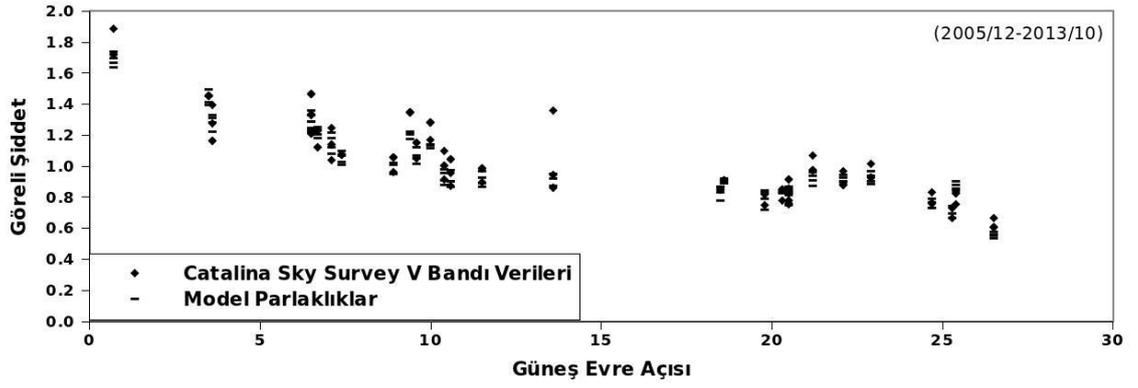
Gotha'nın literatürde ışık eğrisine rastlanmamıştır. (1346) Gotha asteroidinin ışık eğrileri $1^{\circ}.2$ ile $18^{\circ}.5$ Güneş evre açısı aralığını taramaktadır.



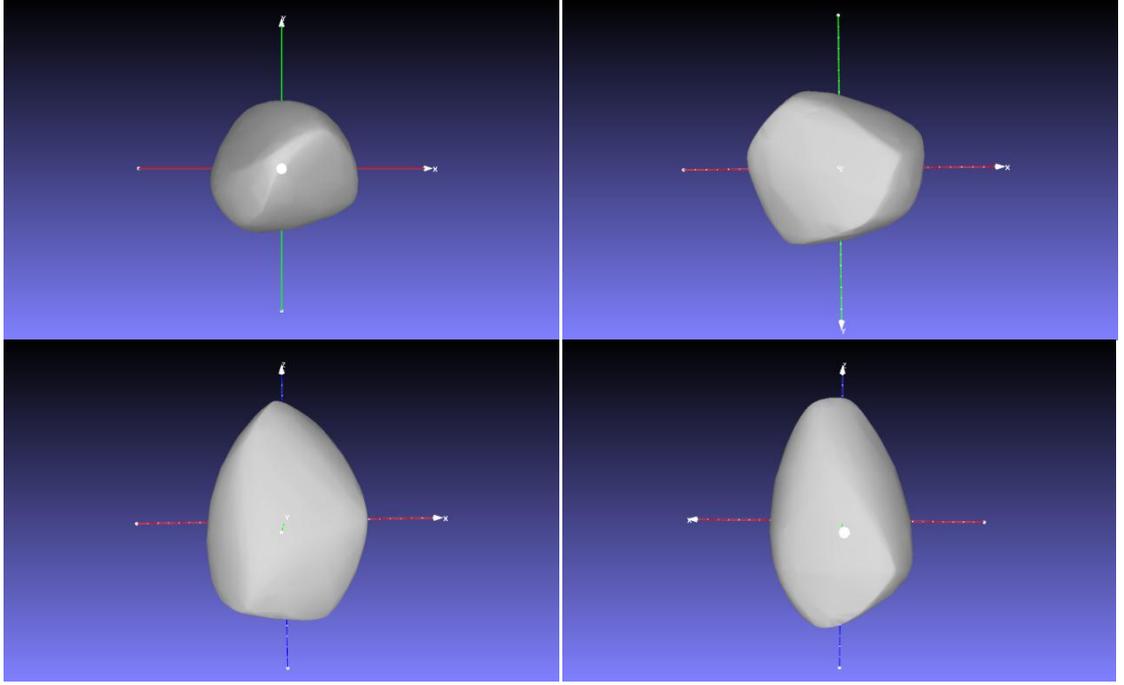
Şekil 4.6 *Period_scan* kodunun ürettiği (1346) Gotha dönem tarama grafiği



Şekil 4.7 (1346) Gotha asteroidi'nin TUG ışık eğrileri ve şekil analizi sonrası yapılan modeller (kesikli çizgiler *convexinv*, sürekli çizgiler *lcgenerator* ile oluşturulmuştur)



Şekil 4.8 (1346) Gotha asteroidine ait Catalina Sky Survey ve U.S.N.O gözlemlerinin Güneş evre açısına bağlı değişimi ve hesaplanan model parlaklıklar



Şekil 4.9 (1346) Gotha'nın konveks kabuk ile temsil edilen çok yüzlü model görüntüsü.

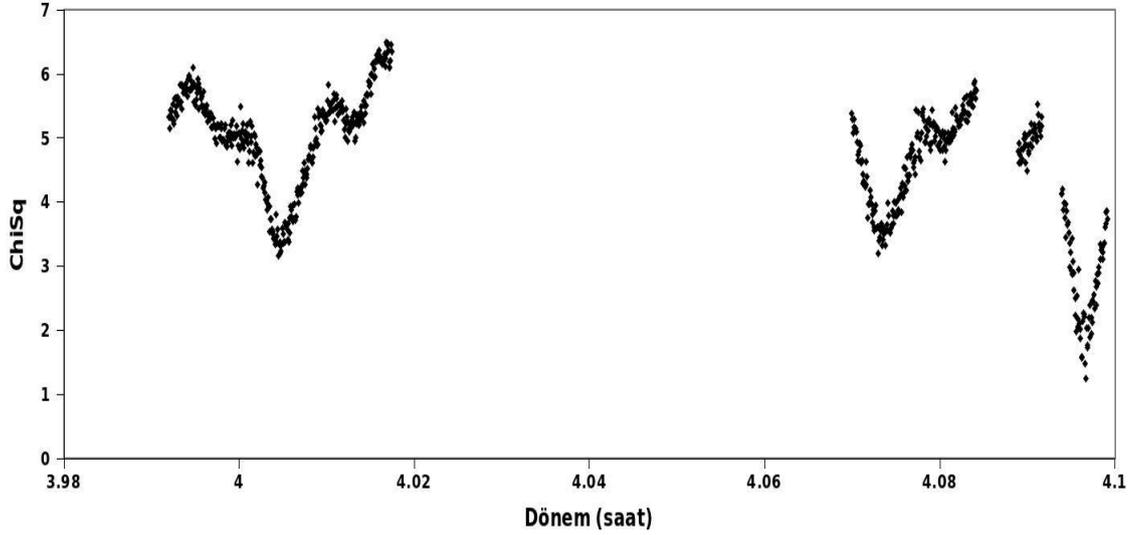
İlk satırda asteroidin kuzey ve güney kutbundan, ikinci satırda ise ekvatorдан 180°'lik farklar ile görüntüleri bulunmaktadır.

4.1.3 (2741) Valdivia asteroidi'nin şekil analizi

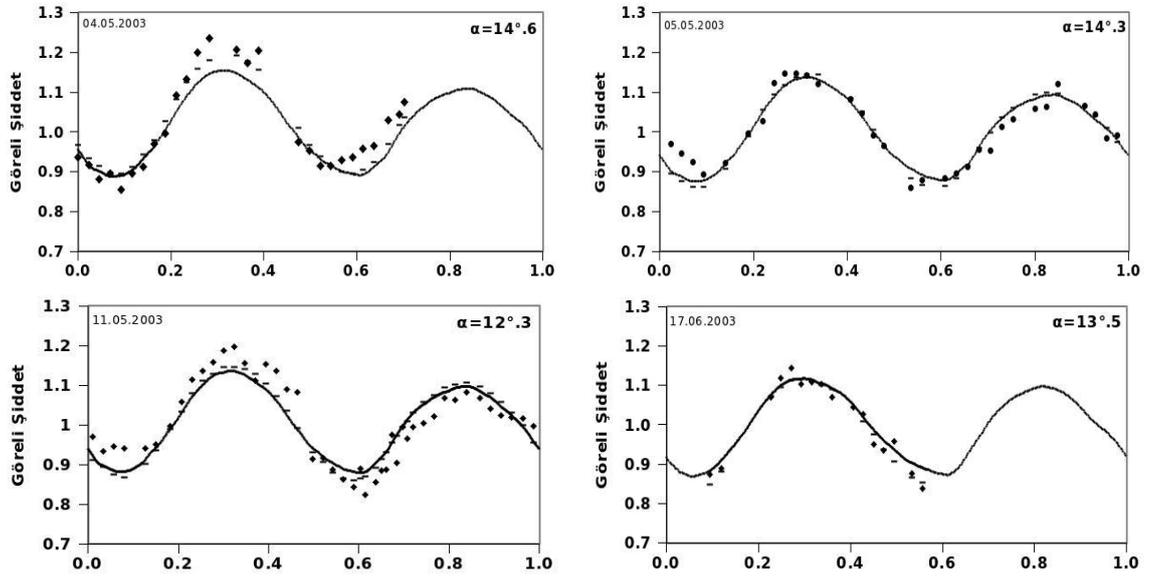
Pray (2004) ve Behrend¹² tarafından verilen dönemler 3.99 saat ile 4.1 saat etrafında yapılan yıldızlı dönem taramasında Pray tarafından verilen dönemin χ^2 değerlerinin Behrend tarafından verilen dönemin verdiği χ^2 değerlerinden daha az olduğu görülmüştür. Valdivia'nın yıldızlı dönemi *period_scan* kodu kullanılarak 4.096678 ± 0.000001 saat olarak hesaplanmıştır (bkz. Şekil 4.10).

Valdivia asteroidi Pray (2004) tarafında filtresiz olarak gözlenmiştir. TUG'de gerçekleştirilen R bandı gözlemleri ile birlikte Pray (2004) tarafından yayınlanan ışık eğrileri eş zamanlı olarak çözüm için *convexinv* koduna sokulmuştur. Çizelge 5.1'de sunulan çözümlerden birincisine göre oluşturulan model ışık eğrileriyle birlikte, gözlemsel eğriler Şekil 4.11-4.12'de verilmiştir. Işık eğrileri $14^\circ.6 - 3^\circ.3$ Güneş evre açısı aralığını taramaktadır. Catalina V bandı verilerinin Güneş evre açısına göre

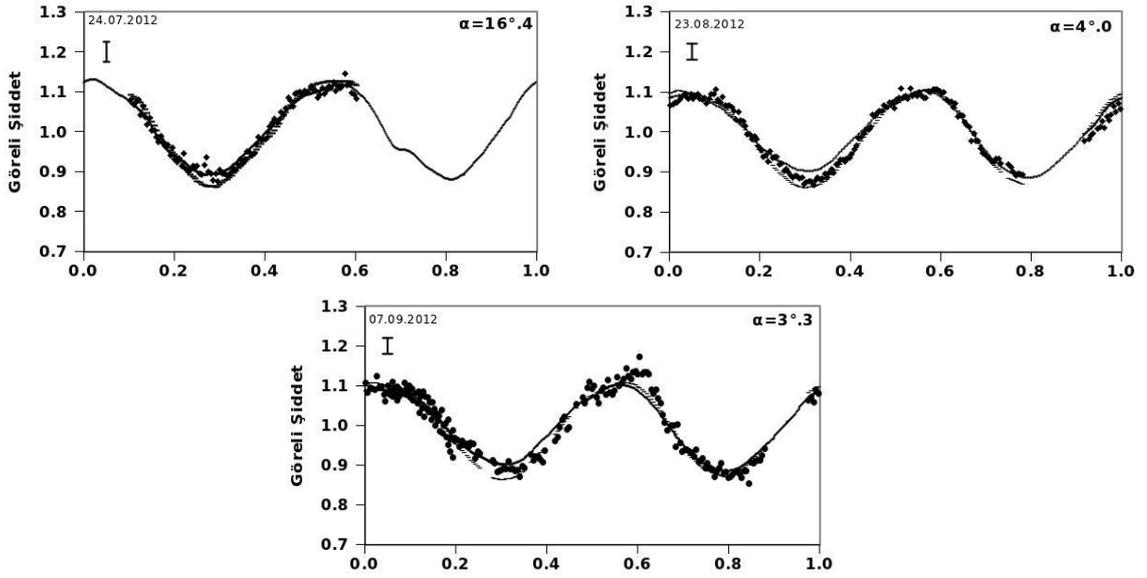
değişimi ve oluşturulan model parlaklıklar şekil 4.13'de gösterilmiştir. Son olarak Şekil 4.15'de Valdivia'nın 3 boyutlu model görüntü sunulmuştur.



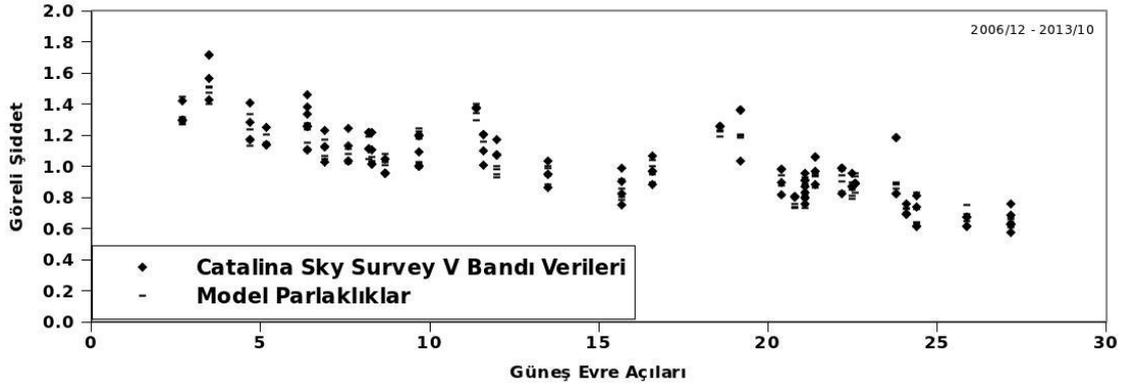
Şekil 4.10 (2741) Valdivia asteroidi'nin dönem tarama grafiği



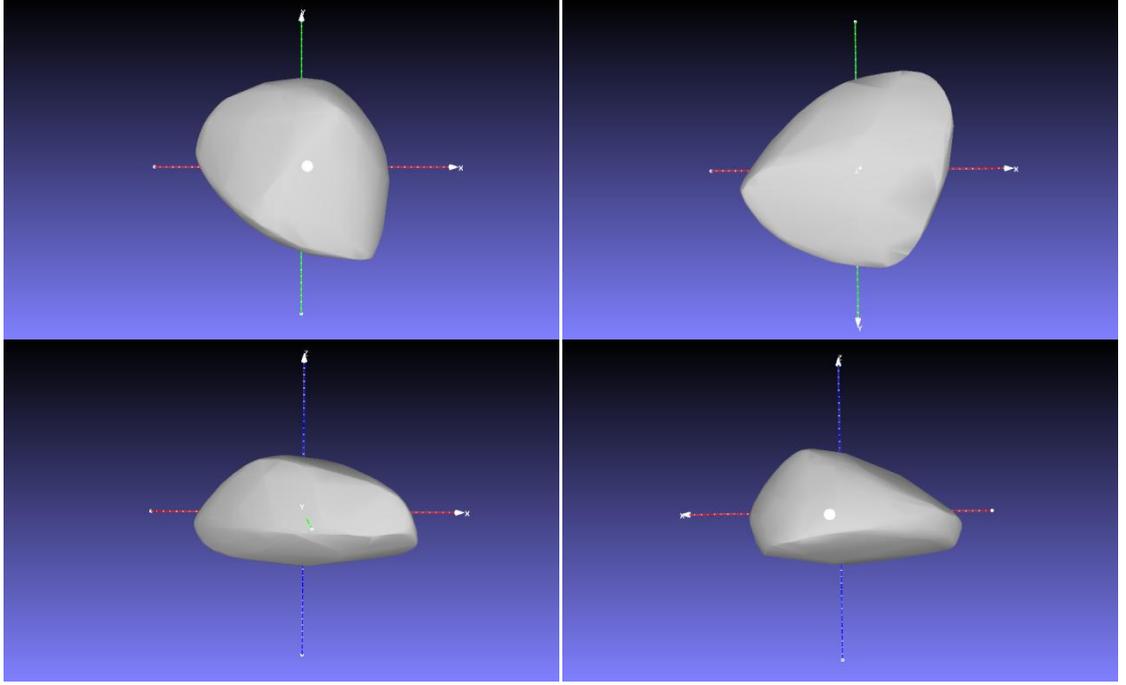
Şekil 4.11 (2741) Valdivia asteroidinin Pray (2004) tarafından 4 farklı evre açısında gözlenen ışık eğrileri elde edilen model ışık eğrileri (kesikli çizgiler *convexiny*, sürekli çizgiler *lcgenerator* ile oluşturulmuştur)



Şekil 4.12 (2741) Valdivia asteroidinin TUG’de gözlenen 3 adet evrelendirilmiş ışık eğrisi (kesikli çizgiler *convexinv*, kesiksiz çizgiler *lcgenerator* ile oluşturulmuştur)



Şekil 4.13 Catalina Sky Survey gözlemlerinin Güneş evre açısına bağlı değişimi, hesaplanan model parlaklıklar ile birlikte görülmekte



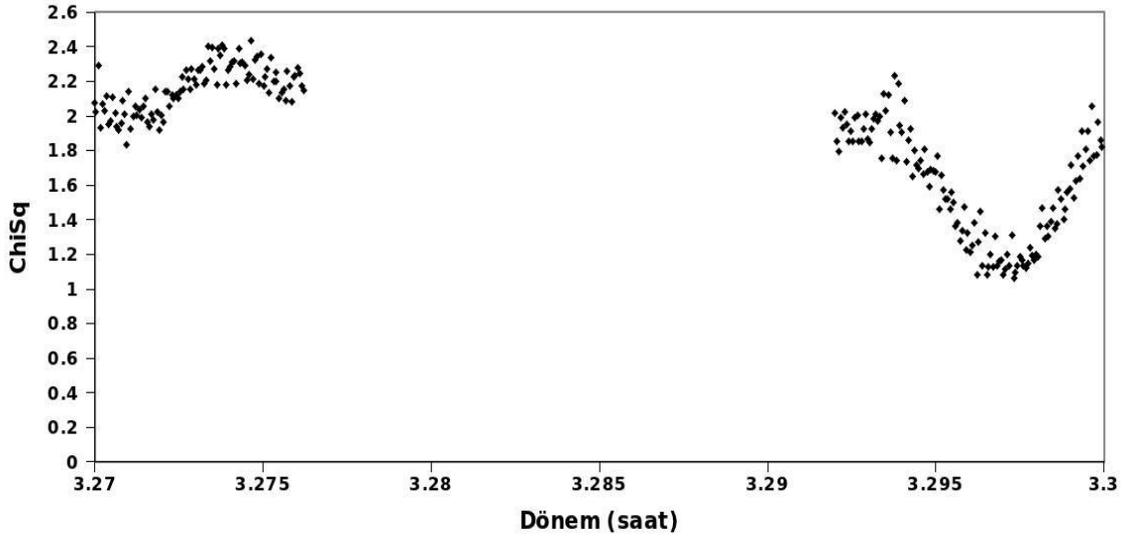
Şekil 4.14 (2741) Valdivia asteroidi'nin konveks kabuk ile temsil edilen çok yüzlü model görüntüsü

İlk satırda asteroidin kuzey ve güney kutbundan, ikinci satır ise ekvatorundan 180°'lik farklarla görüntüleri bulunmaktadır.

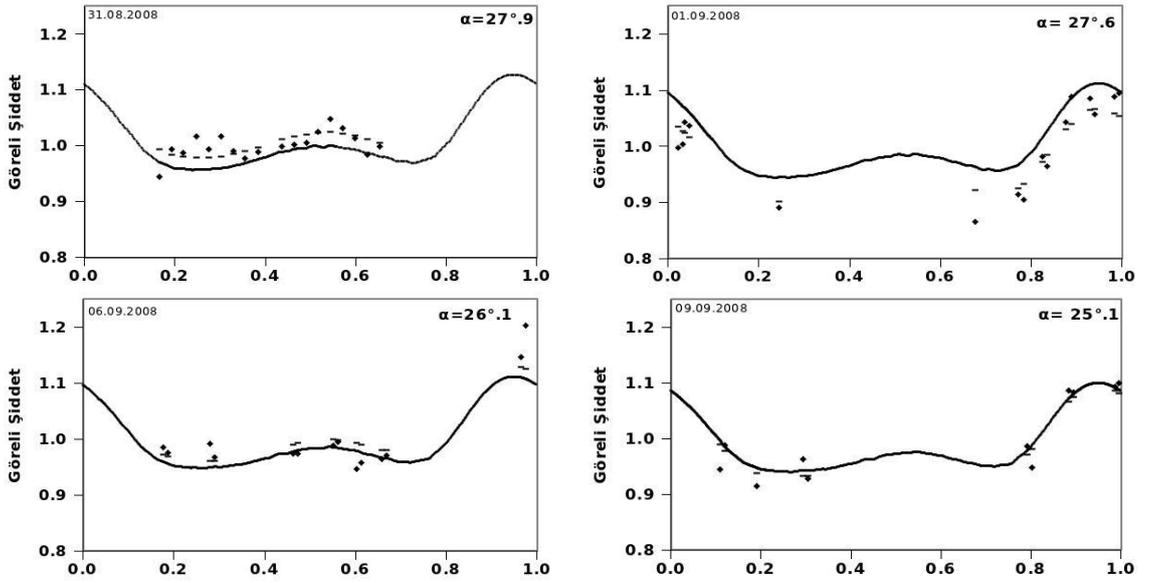
4.1.4 (4332) Milton asteroidinin şekil analizi

(4332) Milton asteroidi için Oey (2009) tarafından verilen 3.2978 ± 0.0003 saatlik dönemin etrafında tarama yapılmıştır. Tarama sonucunda yıldızlı dönem 3.296351 ± 0.000004 saat olarak bulunmuştur (bkz Şekil 4.15).

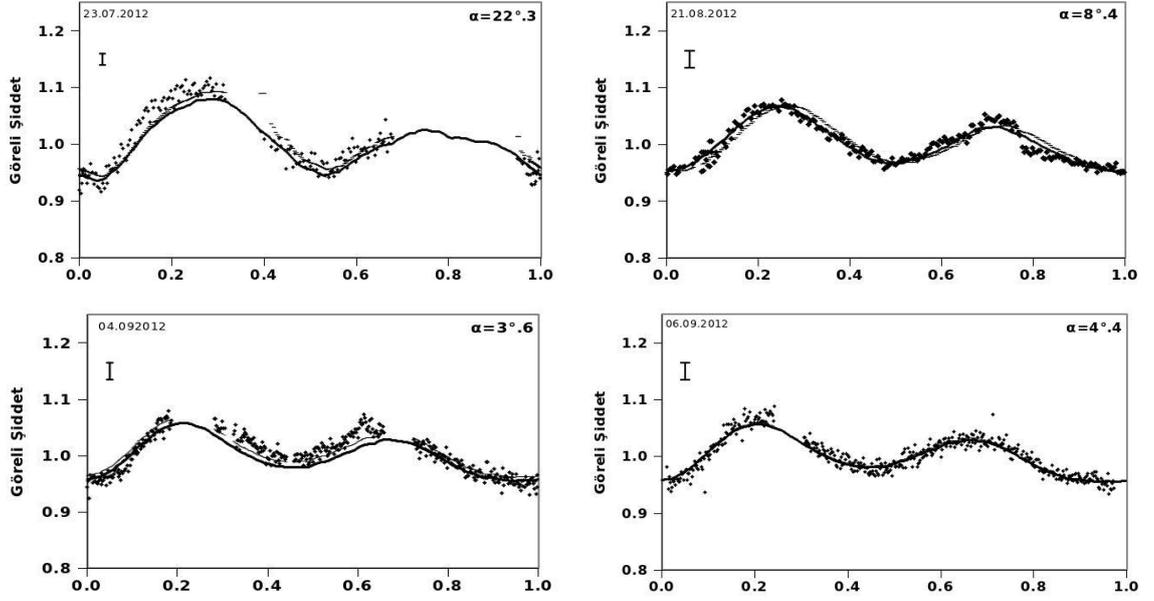
Belirlenen model ışık eğrileri, gözlemsel verilerle birlikte şekil 4.16-4.17'de görülmektedir. Catalina V bandı parlaklıkları kullanılarak Güneş evre açısına göre hesaplanan model parlaklıklar Şekil 4.18'de verilmiştir. Meshlab yazılımıyla oluşturulan Milton asteroidine ait 3 boyutlu konveks model ise şekil 4.19'da görülmektedir.



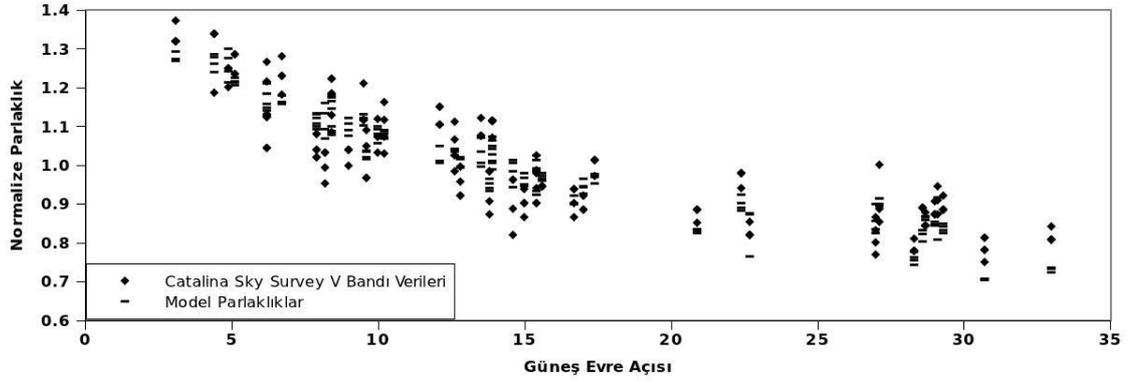
Şekil 4.15 *Period_scan* kodunun ürettiği (4332) Milton dönem tarama grafiği



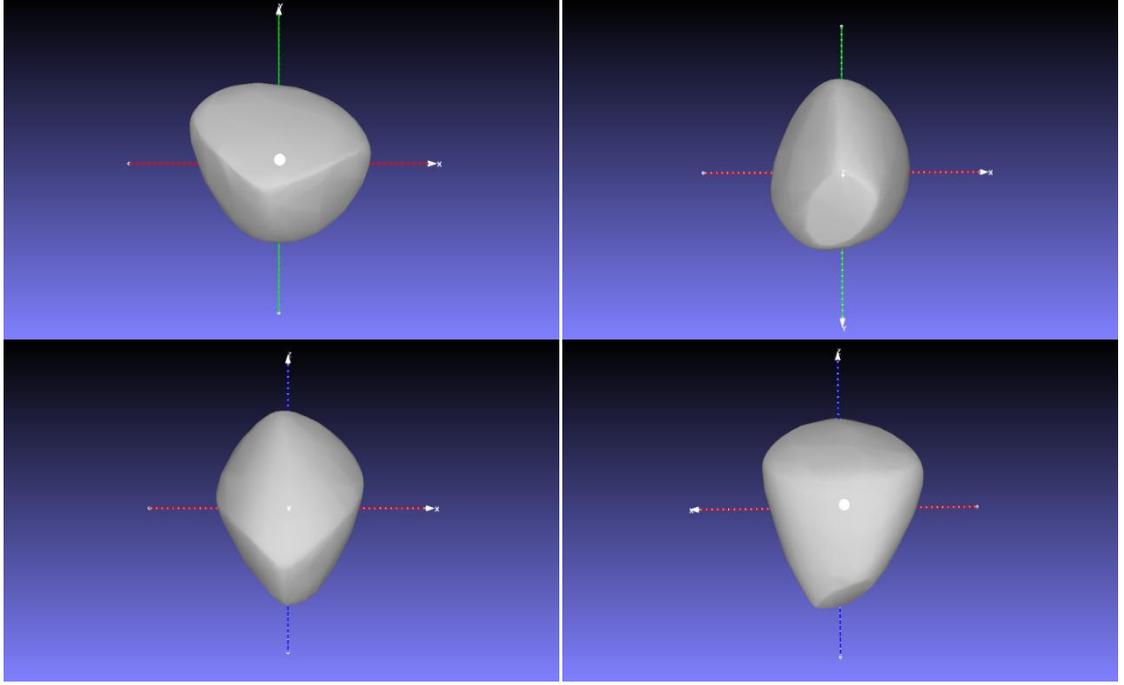
Şekil 4.16 Milton'un Oey (2009) tarafından gözlenen 4 adet evrelendirilmiş ışık eğrisi ve uygulanan model ışık eğrileri (kesikli çizgiler *convxinv*, sürekli çizgiler *lgenerator* ile oluşturulmuştur)



Şekil 4.17 (4332) Milton asteroidinin TUG'da gözlenen evrelendirilmiş ışık eğrileri ve model eğriler (kesikli çizgiler *convexinv*, sürekli çizgiler *lgenerator* ile oluşturulmuştur)



Şekil 4.18 Catalina Sky Survey V bandı gözlemleri'nin Güneş evre açısına bağlı değişimi ve hesaplanan model parlaklıklar

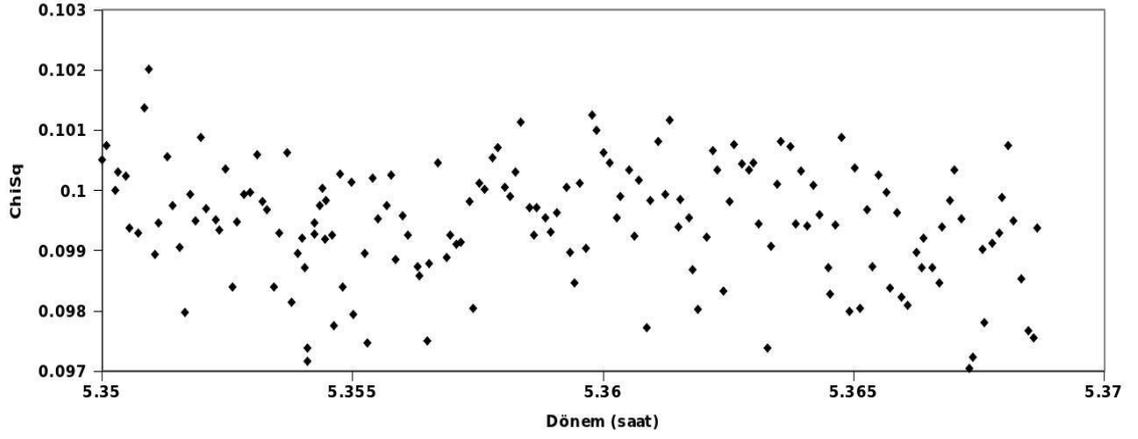


Şekil 4.19 (4332) Milton asteroidi'nin konveks kabuk ile temsil edilen çok yüzlü model görüntüsü

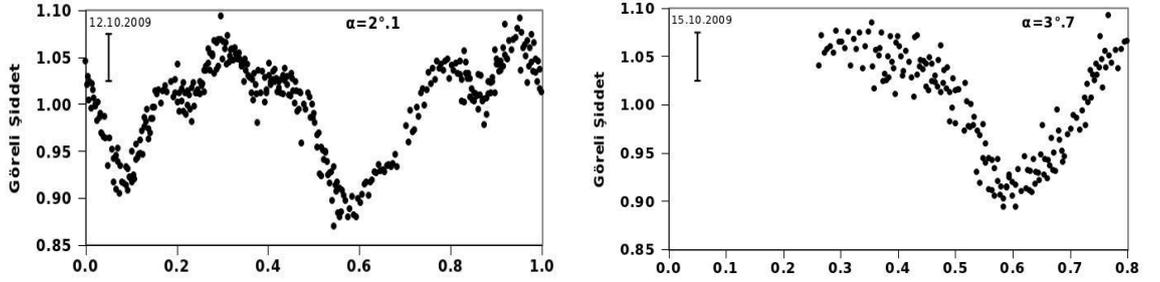
İlk satırda asteroidin kuzey ve güney kutbundan, ikinci satır ise ekvatorundan 180°'lik farklar ile görüntüleri bulunmaktadır.

4.1.5 Analizi yapılamayan asteroidler

Bu çalışmada gözlenen (126) Velleda, (1834) Palach, (1656) Suomi, (7881) Schieferdecker asteroidlerinin yetersiz gözlemsel verisi nedeniyle yıldızlı dönme dönemleri elde edilememiştir. Bu dört asteroidten her biri için *period_scan* kodu, dönem tarama grafiğinde belirgin bir minimum üretememiştir. Bu nedenle, bu asteroidler için, yıldızlı dönem belirlenemediğinden, sonraki analiz aşamaları gerçekleştirilememiştir. (126) Velleda'nın dönem tarama grafiği örnek olarak Şekil 4.20'de gösterilmiştir. Tarama yapılan aralık, literatürde bu asteroid için verilen çeşitli değerlere göre belirlenmiştir (bkz. Çizelge 3.2). (126) Velleda'nın Ankara Üniversitesi Rasathanesi 2009 gözlemleri, Şekil 4.21'de sunulmuştur.



Şekil 4.20 *Period_scan* kodunun ürettiği (126) Velleda'nın dönem tarama grafiği



Şekil 4.21 (126) Velleda'nın Ankara Üniversitesi Gözlemevinde 2009 yılında elde edilmiş olan ışık eğrileri

5. SONUÇ

Bu çalışmada AK asteroidlerinden olan (5917) Chibasai, (1346) Gotha, (2741) Valdivia ve (4332) Milton'un Tübitak Ulusal Gözlemevinde gerçekleştirilen fotometrik gözlemleri kullanılarak, dönme doğrultuları ve 3 boyutlu şekil çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, literatürde bulunan ışık eğrileri ile Catalina ve U.S.N.O. robotik teleskop verileri de birleştirilerek kullanılmıştır. Asteroid yıldız yaklaşmasının olduğu durumlarda asteroid fotometrisinde PSF fotometresinin tercih edilmesi gerektiği gösterilmiştir.

Asteroidlerin şekil analizinde kullanılan *convexinv* kodunun girdi parametreleri için ürettiği çözümlerin hatalarının (χ^2) farkının birbirlerinden bariz bir şekilde büyük olması durumunda tekil bir çözüme ulaşıldığı kabul edilir (*Convexinv* kullanıcı kılavuzu¹⁴). Bu kritere göre analiz edilen asteroidlerden (2741) Valdivia'nın tekil çözüm verdiği, diğerlerinin ise tekil sonuca oldukça yaklaştığı görülmektedir. (5917) Chibasai, (1346) Gotha ve (4332) Milton asteroidleri için bulunan çözümler ön çözüm olarak kabul edilmiştir. Şekil analizi gerçekleştirilen dört adet asteroidin kutup doğrultuları (λ , β), yıldızıl dönme dönemleri ve χ^2 değerleri, analizde kullanılan ışık eğrilerinin sayısı ile birlikte çizelge 5.1'de sunulmuştur. Çizelgede görüldüğü gibi, Chibasai, Gotha ve Valdivia asteroidlerinin iki ayrı kutup çözümü mümkün görülmektedir. Milton için model tekil bir çözümü işaret etmektedir.

¹⁴http://astro.troja.mff.cuni.cz/projects/asteroids3D/web.php?page=download_software

Çizelge 5.1 Dört asteroidin kutup doğrultuları, yıldızlı dönem çözümleri ve çözümde kullanılan robotik teleskop verileri

Asteroidin Adı	Çözüm No	λ (°)	β (°)	$P_{\text{dönme}}$ (saat)	Kullanılan Işık Eğrisi Adedi	Robotik Teleskop Veri Adedi(*)	χ^2 (+)
(5917) Chibasai	1 2	192 355	19 79	2.649987 ± 0.000003	11	22 (R) 43 (V)	1.093335 1.11142
(1346) Gotha	1 2	23 185	-42 -77	2.64079 ± 0.000001	3	256 (V)	0.60754 0.778666
(2741) Valdivia	1 2	268 106	-50 -51	4.096678 ± 0.000001	7	138 (V)	1.21142 1.463036
(4332) Milton	1	181	37	3.296351 ± 0.000004	8	177 (V)	0.965185

*Catalina Sky Survey (Drak vd. 2009) ve U.S.N.O. gözlemleri
+ χ^2 gözlemleri tüm gözlem verilerinin kullanımı sonucu elde edilmiştir

Gözlemleri yapılan (126) Velleda, (1834) Palach, (1656) Suomi ve (7881) Schieferdecker asteroidlerinin, ışık eğrileri yeterli miktarda olmadığından analizleri gerçekleştirilememiştir. Bu asteroidlerin *period_scan* kodu ile yıldızlı dönemleri elde edilememiştir. Gelecekte elde edilecek ışık eğrileri ile bu asteroidlerin yıldızlı dönemlerinin ve şekil çözümlerinin gerçekleştirilmesi mümkündür. Bu çalışmada gözlemleri gerçekleştirilen asteroidlere ait fotometrik verilerin tamamı, diğer araştırmacıların kullanımına sunulmak üzere DAMIT¹⁵ Durech vd. (2010) veri tabanına konulacaktır.

Analiz edilen asteroidlerin, yarıbüyük eksen uzunluğu bakımından ve dönemleri bakımından da birbirlerine yakın olmaları, literatüre bu tür cisimlerin istatistiksel çalışmaları konusunda önemli katkı sağlayacaktır. Gelecekte asteroidlerin şekil analizine katkı sağlayacak çok sayıda tarama gözlemleri ile ışık eğrisi analizi ve istatistiksel çalışmalar yapılabilir. Özellikle PanSTARRS gökyüzü tarama projesinden (Magnier vd. 2013), asteroid ışık eğrilerine ilişkin önemli düzeyde yeni gözlemsel verinin elde edileceği düşünülmektedir.

¹⁵http://astro.troja.mff.cuni.cz/projects/asteroids3D/web.php?page=db_browse

Uygulanan matematiksel yöntemin yapısı gereğince, şekil analizinde sadece konveks yapılar modellenebilmekte, olası konkav yüzeyler henüz modellenememektedir. Gözlenen asteroidlerin tüm fotometrik verisi minor planet center veritabanına eklenecektir.

KAYNAKLAR

- Alvarez-Candal, A., Duffard, R., Angeli, C.A., Lazzaro, D. and Fernandez, S. 2004. Rotational lightcurves of asteroids belonging to families. *Icarus*, Vol.172, 388-401
- Bessell, M.S. and Brett, J.M. 1988. JHKLM Photometry – Standard Systems, Passbands, and Intrinsic Colors. *Publications of Astronomical Society of the Pacific*, Vol.100, 1134-1151
- Binzel, R.P. 1987. A Photoelectric survey of 130 Asteroids. *Icarus*, Vol.72, 135-208.
- Brinsfield, J.W. 2008. The Rotation Periods of 1465 Autonoma, 1656 Suomi, 4483 Petofi, 4853 Marielukac, and (85275) 1994 LY. *The Minor Planet Bulletin*. Vol.35, 23-24
- Demura, H., Kobayashi, S., Nemeto, 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. and Hirata, N. 2006. Pole and Global Shape of 25143 Itokawa. *Science*, Vol.312, 1347-1349
- Descamps, P., Marchis, F., Michalowski, T., Vachier, F., Colas, F., Berthier, J., Assafin, M., Dunkel, P.B., Polinska, M., Pych, W., Hestroffer, D., Miller, K.P.M., Vieira-Martins, R., Birlan, M., Teng-Chuen-Yu, J.P., Peyrot, A., Payet, B., Dorseuil, J., Leonie, Y. and Dijoux, T. 2007. Figure of the Double Asteroid 90 Antiope from Adaptive Optics and Lightcurve Observations. *Icarus*, Vol.187, 482-499
- Dovgopol, A.N., Kruglyi, I.N. and Shevchenko, V.G. 1992. Asteroid 126 Velleda Rotation Period and Magnitude - Phase Curve. *Acta Astronomica*, Vol.42, 67-72
- Drake, A.J., Djorgovski, S.G., Mahabal, A., Beshore, E., Larson, S., Graham, M.J., Williams, R., Christensen, E., Catelan, M., Boattini, A., Gibbs, A., Hill, R. and Kowalski, R. 2009. First Results from the Catalina Real-Time Transient Survey. *The Astrophysical Journal*, Vol.696, 870-884
- Durech, J. and Kaasalainen, M. 2004. Asteroid Shape Models Refined By Stellar Occultation Silhouettes. *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol.36, 1143

- Durech, J., Kaasalainen, M., Marciniak, A., Allen, W.H., Behrend, R., Bembrich, 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., Gonçalves, 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. and Wolf, M. 2007. Physical Models of Ten Asteroids from an Observers' Collaboration Network. *A&A* 465, 331-337
- Durech, J., Kaasalainen, M., Warner, B.D, Fauerbach, M., Marks, S.A., Fauvaud, S., Fauvaud, M., Vugnon, J.M., Pilcher, F., Bernasconi, L. and Behrend, R. 2009. Asteroid Models from Combined Sparse and Dense Photometric Data. *A&A* Vol.493, 291-297
- Durech, J., Sidorin, V. and Kaasalainen, M. 2010. DAMIT: a Database of Asteroid Models. *Astronomy and Astrophysics*, Vol.513, 13
- Hanus, J., Durech, J, Broz, M., Marciniak, A., Warner, B.D., Pilcher, F., Stephens, R., Behrend, R., Carry, B., Antonini, P., Audejean, M., Augustesen, K., Barbotin, E., Baudouin, P., Bayol, A., Bernasconi, L., Borczyk, W., Bosch, J.G., Brochard, E., Brunetto, L., Casulli, S., Cazenave, A., Charbonnel, S., Christophe, B., Colas, F., Coloma, J., Conjat, M., Cooney, W., Correira, H., Cortez, V., Coupier, A., Crippa, R., Cristofanelli, M., Dalmás, Ch., Danavaro, C., Demeautis, C. and Droege, T. 2013. Asteroids' Physical Model from Combined Dense and Sparse Photometry and Scaling of the YORP Effect by the Observed Obliquity Distribution. *Astronomy & Astrophysics*, Vol.551, 16
- Hapke, B. 1986. Bidirectional Reflectance Spectroscopy 4. The Extinction Coefficient and the Opposition Effect. *Icarus*, Vol.67, 264
- Hartmann W.K., Tholen, D.J., Goguen, J., Binzel, R.P. and Cruikshank, D.P. 1988. Trojan and Hilda Asteroid Lightcurves. I- Anomalous Elongated Shapes Among Trojans (and Hildas?), *Icarus* 73, 487
- Kaasalainen, M., Lamberg, L., Lumme, K. and Bowell, E. 1992a. Interpretation of Lightcurves of Atmosphereless Bodies. I. General Theory and New Inversion Schemes. *A&A* 259, 318-332.
- Kaasalainen, M., Lamberg, L. and Lumme, K. 1992b. Interpretation of Lightcurves of Atmosphereless Bodies. II. Practical Aspects of Inversion *A&A* 259, 333-340.
- Kaasalainen, M. and Torppa, J. 2001. Optimization Methods for Lightcurve Inversion. I. Shape Determination. *Icarus* 153, 24-36
- Kaasalainen, M., Torppa, J. and Muinonen, K. 2001. Optimization Methods for Lightcurve Inversion. I. The Complete Inverse Problem. *Icarus* 153, 37-51

- Kaasalainen, M., Torppa, J. and Piironen, J. 2002. Models of Twenty Asteroids from Photometric Data. *Icarus* 159, 369-395
- Kaasalainen, M., Pravec, P., Krugly, N.Y., Sarounova, L., Torppa, J., Viartanen, J., Kaasalainen, S., Erikson, A., Nathues, A., Durech, J., Wolf, M., Lagerros, J.S.V., Lindgren, M., Lagerkvist, C., Lagerkvist, I., Koff, R., Davies, J., Mann, R., Kusnirak, P., Gaftonyuk, N.M., Shevchenko, G.V., Chiorny, V.G. and Belskaya, N.I. 2004. Photometry and Models of Eight Near – Earth Asteroids. *Icarus* 167, 178-196
- Kaasalainen, M., Durech, J., Warner, B.D., Krugly, B., Gaftonyuk, N. and Higgins, D. 2007. Detecting YORP Effect with Photometry: (1862) Apollo. *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol.39, 416
- Kabaş, A. 2012 a. A Convex Inversion Application for Asteroid 201 Penelope's Photometric Observation Data. *Balkan Physics Letters*, Vol.20, 249-254
- Kabaş, A. 2012 b. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi'nde Asteroidlere İlişkin Fotometrik Modelleme Çalışmaları. XVIII. Ulusal Astronomi ve Uzay Bilimleri Kongresi Bildiri Kitabı, ss 9-16
- Licchelli, D.2006. Lightcurve Analysis of Asteroids 78, 126, 522, 565, 714, 1459, 6974. *The Minor Planet Bulletin* Vol.33, 11-13
- Lumme, K. and Bowell, E. 1981a. Radiative Transfer in the Surfaces of Atmosphereless Bodies. I- Theory. II- Interpretation of Phase Curves. *Astronomical Journal*, Vol.86, 1694-1721
- Lumme, K. and Bowell, E. 1981b. Radiative Transfer in the Surfaces of Atmosphereless Bodies. II. Interpretation, *Astronomical Journal*, Vol.86, 1705
- Magnier, E.A., Schlafly, E., Finkbeiner, D., Juric, M., Tonry, J.L., Burgett, W.S., Chambers, K.C., Flewelling, H.A., Kaiser, N., Kudritzki, R.P., Morgan, J.S., Price, P.A., Sweeney, W.E. and Stubbs, C.W. 2013. The Pan-STARRS 1 Photometric Reference Ladder, Release 12.01. *The Astrophysical Journal Supplement*, Vol.205, 20, 13
- Magri, C., Nolan, M.C., Ostro, S.J. and Giorgini, J.D. 2007. A Radar Survey of Main-Belt Asteroids: Arecibo Observations of 55 Objects during 1999 - 2003. *Icarus*, Vol.186, 126-151
- Michalowski, T., Kwiatkowski, T., Kaasalainen, M., Pych, W., Kryszczyńska, P., Dybczynski, P.A., Velichko, F.P., Erikson, A., Denchev, P., Fauvaud, S. and Szabo, Gy. M. 2004. Photometry and Models of Selected Main Belt Asteroids I. 2 Europa, 115 Thyra and 382 Dodona. *A&A* 416, 353-366

- Michalowski, T., Kaasalainen, M., Polinska, M., Marciniak, A., Kwiatkowski, T., Kryszczyńska, A. and Velichko, F.P. 2006. Photometry and Models of Selected Main Belt Asteroids. III. 283 Emma, 665 Sabine and 690 Wratislavia. *A&A* 459, 663-668
- Mignard, F., Cellino, A., Muinonen, K., Tanga, P., Delbo, M., Dell’Oro, A., Granvik, M., Hestroffer, D., Mouret, S., Thuillot, W. and Virtanen, J. 2007. The Gaia Mission. Expected Applications to Asteroid Science. *Earth, Moon and Planets*, Vol.101, 97-125
- Muinonen, K., Piironen, J., Shkuratov, Y., Ovcharenko, A. and Clark, B. 2002. Asteroid Photometric and Polimetric Phase Effects. University of Arizona Press, Tuscon, 123-138
- Oey, J. 2009. Lightcurve Analysis of Asteroids from Leura and Kingsgrove Observatory in the Second Half of 2008. *Minor Planet Bulletin*. Vol.36, 162-164
- Pilcher, F. 2011. Rotation Period Determinations for 28 Bellona, 81 Terpsichore, 126 Velleda, 150 Nuwa, 161 Athor, 419 Aurelia and 632 Pyrrha. *The Minor Planet Bulletin*. Vol.38, 156-158
- Pligge, Z., Monnier, A., Pharo, J., Stolze, K., Yim, A. and Ditteon, R. 2011. Asteroid Lightcurve Analysis at the Oakley Southern Sky Observatory: 2010 May. *The Minor Planet Bulletin* Vol.38, 5-7
- Pravec, P., Harris, A.W. and Michalowski, T. 2002. Asteroid Rotations. University of Arizona Press, Tuscon, 113-122
- Pray, D. 2004. Lightcurve Analysis of Asteroids 1225, 1301, 2134, 2741 and 3974. *Minor Planet Bulletin*. Vol.31, 6-8
- Rubincam, D.P. and Bottke, W.F. The YORP Effect and the Spin of Small Asteroids. 2000. 31 st Annual Lunar and Planetary Science Conference, Abstarct No. 1399.
- Slivan, S.M., Binzel, R.P., Crespo, S., Lucy, D., Kaasalainen, M., Lyndaker, M.M. and Marko, K. 2003. Spin Vectors in the Koronis Family: Comprehensive Results from Two Independent Analyses of 213 Rotation Lightcurves. *Icarus*, Vol.162, 285-307
- Stephens, R. 2004. Photometry of 1196 Sheba, 1341 Edmee, 1656 Suomi, 2577 Litva, 2612 Kathryn. 2004. *The Minor Planet Bulletin*. Vol.31, 95-97
- Stephens, R. 2005. Rotational Periods of 96 Aegle, 386 Siegena, 390 Alma, 544 Jetta, 2771 Polzunov and (5917) 1991 NG. *Minor Planet Bulletin*. Vol.32, 2-3
- Stetson, P. 1987. DAOPHOT - A computer program for crowded-field stellar photometry. *Astronomical Society of the Pacific Publications*. Vol.99, 191-222

- Stuart, J. and Binzel, R. 2004. Bias-Corrected Population, Size Distribution, and Impact Hazard for the Near-Earth Objects, *Icarus*. Vol.170, 295.
- Taylor, P., Margot, J.L., Vokrouhlick, D., Scheeres, D., Pravec, P., Lowry, S., Fitzsimmons, A., Nolan, M., Ostro, S., Benner, L., Giorgini, J. and Magri, C. 2007. Spin Rate of Asteroid (54509) 2000 PH5 Increasing Due to the YORP Effect, *Science*, 316, 274
- Tedesco, E.F. and Zappala, V. 1980. Rotational Properties of Asteroids – Correlations and Selection Effects. *Icarus*. Vol.43, 33-50.
- Thomas, P.C., Veverka, J., Bell, J.F., Clark, B.E., Carcich, B., Joseph, J., Robinson, M., McFadden, F.A., Malin, M.C., Chapman, C.R., Merline, W. and Murchie, S. 1999. *Icarus*, Vol.140, 17-27
- Thomas, P.C., Prockter, L., Robinson, M., Joseph, J. and Veverka, J. 2002. Global Structure of Asteroid 433 Eros. *Geophysical Letters*, Vol.29, 46-1
- Torppa, J. 2007. Lightcurve Inversion for Asteroid Spin and Shapes. *Doktori Tez. Finlandiya Helsinki Üniversitesi. Helsinki.*
- Torppa, J., Kaasalainen, M., Michalowski, T., Kwiatkowski, T., Kryszczyńska, A., Denchev, P. and Kowalski, R. 2003. Shapes and Rotational Properties of Thirty Asteroids from Photometric Data. *Icarus* 164, 346-383
- Vokrouhlicky, D., Nesvorný, D. and Bottke, W.F. 2003. The Vector Alignments of Asteroid Spins by Thermal Torques. *Nature*, Vol.425, 147-151.
- Warner, B.D. 2012. Asteroid Lightcurve Analysis at the Palmer Divide Observatory: 2012 March - June. *The Minor Planet Bulletin*. Vol.39, 245-252
- Wisniewski, W.Z., Michalowski, T.M., Harris, A.W. and McMillan, R.S. 1995. Photoelectric Observations of 125 Asteroids. *Abstracts of the Lunar and Planetary Science Conference*, Vol.26, 1511

EKLER

EK 1 1346 Gotha asteroidi'nin örnek girdi dosya içeriği.....	55
EK 2 5917 Chibasai için <i>period_scan</i> kodu içerisindeki girdi ve çıktı dosya örnekleri.....	58
EK 3 5917 Chibasai <i>convexinv</i> ve <i>conjgradinv</i> kodları için girdi dosya örnekleri.....	59
EK 4 5917 Chibasai için <i>convexinv</i> ve <i>conjgradinv</i> kodları'nın çıktı dosya örnekleri.....	60
EK 5 5917 Chibasai <i>minkowski</i> ve <i>standardtri</i> çıktısı ve MeshLab girdi dosyası.....	61

EK 1 1346 Gotha asteroidi'nin örnek girdi dosya içeriği

3	Toplam Işık Eğrisi Sayısı						
33 0	Işık Eğrisi Nokta Sayısı, Girdi veri türü (Görelî,0 ve Mutlak,1)						
JD	Normalize_Par	X _{güneş}	Y _{güneş}	Z _{güneş}	X _{dünya}	Y _{dünya}	Z _{dünya}
2456131.4434	1.0272	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4448	1.0102	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4462	0.9922	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4476	0.9872	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4489	0.9672	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4503	0.9482	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4517	0.9482	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4530	0.9372	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4544	0.9212	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4558	0.9202	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4572	0.9192	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4585	0.9002	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4599	0.9002	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4613	0.8992	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4627	0.9182	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4641	0.9332	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4681	0.9552	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4695	0.9762	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4708	1.0022	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4722	0.9882	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4736	1.0062	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4750	1.0242	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4763	1.0232	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4777	1.0312	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4791	1.0222	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4805	1.0392	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4818	1.0372	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475
2456131.4832	1.0472	-2.2114	1.1604	-0.1476	-1.6982	0.2836	-0.1475

EK 1 1346 Gotha asteroidi'nin örnek girdi dosya içeriği (devam)

30 0

Işık Eğrisi Nokta Sayısı, Girdi veri türü (Görelî,0 ve Mutlak,1)

JD	Normalize_Par	X_{güneş}	Y_{güneş}	Z_{güneş}	X_{dünya}	Y_{dünya}	Z_{dünya}
2456161.4527	0.9930	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4532	0.9960	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4537	1.0050	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4543	1.0110	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4548	1.0050	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4553	1.0140	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4558	1.0090	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4563	1.0180	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4568	1.0290	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4573	1.0220	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4579	1.0280	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4585	1.0340	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4590	1.0310	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4595	1.0350	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4600	1.0320	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4605	1.0460	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4610	1.0310	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4615	1.0410	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4620	1.0430	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4625	1.0330	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4630	1.0490	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4635	1.0360	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4640	1.0500	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4645	1.0370	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4650	1.0500	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4655	1.0500	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4661	1.0320	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4666	1.0410	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668
2456161.4671	1.0460	-2.2938	0.8434	-0.0668	-1.4259	0.3239	-0.0668

EK 1 1346 Gotha asteroidi'nin örnek girdi dosya içeriği (devam)

25 0

Işık Eğrisi Nokta Sayısı, Girdi veri türü (Görelî,0 ve Mutlak,1)

JD	Normalize_Par	X_{güneş}	Y_{güneş}	Z_{güneş}	X_{dünya}	Y_{dünya}	Z_{dünya}
2456175.4402	1.0244	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4405	1.0364	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4408	1.0274	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4412	1.0334	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4415	1.0314	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4418	1.0324	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4422	1.0244	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4425	1.0394	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4428	1.0324	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4432	1.0264	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4435	1.0474	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4438	1.0284	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4442	1.0294	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4445	1.0464	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4449	1.0264	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4452	1.0174	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4455	1.0374	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4459	1.0174	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4462	1.0334	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4465	1.0214	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4469	1.0324	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4472	1.0224	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4475	1.0174	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4479	1.0294	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287
2456175.4482	1.0194	-2.3182	0.6901	-0.0287	-1.3561	0.3886	-0.0287

EK 2 5917 Chibasai için *period_scan* kodu içerisindeki girdi ve çıktı dosya örnekleri

Girdi dosya: *input_period_scan*

2.64	2.66	0.8	Dönem başlangıç- bitiş-aralık katsayısı.
0.1			Konvekslik düzenleme ağırlıklandırılması
6	6		Laplace seri açılımı derecesi ve m sırası
8			Çözünürlük
0.5	0		a Genlik
0.1	0		d Genişlik
-0.5	0		k Eğim
0.1	0		Lambert c Katsayısı
50			İterasyonun Durma Koşulu
10			En az sayıda iterasyon sayısı (eğer yukarıdaki değer < 1 ise)

Çıktı dosya: *out_periods*

Dönem	rms	chi2	iter	Karanlık bölge %
2.654327	0.065154	3.981826	50	1.2
2.654351	0.065971	4.082295	50	1.7
2.654403	0.065968	4.081938	50	1.5
2.654454	0.064529	3.905777	50	1.8
2.654470	0.067163	4.231170	50	0.9
.....				
.....				
devamı var				

EK 3 5917 Chibasai *convexinv* ve *conjgradinv* kodları için girdi dosya örnekleri

Girdi dosya: *input_par*

198	1	başlangıç lambda [derece] (0/1 - sabit/serbest)
17	1	başlangıç beta [derece] (0/1 - sabit/serbest)
2.649987	1	başlangıç dönem [saat] (0/1 - sabit/serbest)
0		sıfır zamanı [JD]
0		başlangıç dönme açısı[deg]
0.1		Konvekslik düzenleme ağırlıklandırılması
6 6		Laplace seri açılımı derecesi ve m sırası
8		Çözünürlük
0.9	0	evre fonksiyonu parametresi. 'a' (0/1 - sabit/serbest)
0.33	0	evre fonksiyonu parametresi. 'd' (0/1 - sabit/serbest)
-0.59	0	evre fonksiyonu parametresi. 'k' (0/1 - sabit/serbest)
0.1	0	Lambert katsayısı 'c' (0/1 - sabit/serbest)
50		iterasyon durma koşulu

5917 Chibasai *conjgradinv* kodu içerisindeki girdi dosya örnekleri

Girdi dosya:*input_conjgradinv*

0.2	Konvekslik ağırlıklandırılması
8	Çözünürlük
100	iterasyon sayısı

EK 4 5917 Chibasai için *convexinv* ve *conjgradinv* kodları'nın çıktı dosya örnekleri

Çıktı dosyası:*out_par*

198.0 (λ)	+17.0 (β)	2.64998700 (Dönem(saat))
2453149.000000 (t_0)		0 Φ_0
0.9 (a)	0.33 (d)	-0.59 (k)
0.1 (c)		

Çıktı dosyası:*out_areas*

513
3.155989638557e-01
9.754966309535e-02 9.754966309535e-02 9.904383506609e-01
2.254541738704e-05
-9.754966309535e-02 9.754966309535e-02 9.904383506609e-01
3.585708061716e-05
-9.754966309535e-02 - 9.754966309535e-02 9.904383506609e-01
.....
.....
devamı var

Çıktı dosyası:*out_lcs*

1.03686
1.05337
1.07317
1.07989
1.08482
1.08476
1.07534
1.0584
1.05127
1.04284
.....
.....
devamı var

EK 5 5917 Chibasai *minkowski* ve *standardtri* çıktısı ve MeshLab girdi dosyası

Çıktı dosyası: *shape*

987	1970		
-1.0823332824971841	-1.7806937755362120	11.409886368896220	
-2.0641073374602281	-0.79891972057316718	11.409886368896220	
-2.0641073374602281	-0.94839454141700630	11.424608353767690	
-2.0623063654796732	-0.95311095612949714	11.424895499813760	
-1.7126606210240840	-1.5799508900273109	11.452196744534380	
-1.3018597422867080	-1.9907517687646861	11.452196744534380	
-1.0544846201856231	-1.9907517687646870	11.427832421603000	
-2.1928330943772059	-0.28556826800243040	11.346647283470119	
-2.2017740953060381	-0.29450926893126161	11.346647283470119	

.....

.....

devamı var

Meshlab girdi dosya formatı

Girdi dosyası: *shape.obj*

v	-1.0823	-1.7807	11.4099
v	-2.0641	-0.7989	11.4099
v	-2.0641	-0.9484	11.4246
v	-2.0623	-0.9531	11.4249
v	-1.7127	-1.5800	11.4522
f	1	2	3
f	1	3	4
f	1	4	5
f	1	5	6
f	1	6	7
f	8	9	10
f	8	10	3
f	8	3	2

.....

.....

devamı var

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Utku DEMİRHAN

Doğum yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 1985

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kaya Bayazıtöğlu Lisesi (2003)

Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri
Bölümü (2009)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay
Bilimleri Anabilim Dalı (Eylül 2009 – Şubat 2014)

Yayınları

Demircan, Y., Gurol, B., Gokay, G., Terzioglu, Z., Saral, G., Gursoytrak, H., Okan, A.,
Demirhan, U., Coker, D., Derman, E. 2011. Minima Times of Some Eclipsing
Binary Stars. Information Bulletin of Variable Stars, 5965,1

Demircan, Y., Gokay, G., Okan, A., Gursoytrak, H., Terzioglu, Z., Saral, G., Kilic, Y.,
Cerit, S., Semuni, M., Aydin, E.,**Demirhan, U.**, Gurol, B. 2012. Times of
Minima of Some Eclipsing Binary Stars. Information Bulletin of Variable Stars,
6041,1