

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ GÖZLEMEVİ'NDE ASTEROİDLERE İLİŞKİN FOTOMETRİK MODELLEME ÇALIŞMALARI

Afşar KABAŞ^{1,2}

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Terzioğlu Kampüsü, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 17100 Çanakkale, akabas@comu.edu.tr

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Astrofizik Araştırma Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi, Ulupınar Köyü Mevkii, 17000 Çanakkale, akabas@comu.edu.tr

Özet

Bir asteroidin şeklini, yıldızıl dönme dönemini ve dönme eksenini doğrultusunu konveks analiz (convex inversion) yöntemiyle belirlemenin yolları basitçe açıklanmış ve bu konuyla ilgili olarak Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi'nde yapılan bazı örnek uygulamaların sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Asteroidler, fotometri, dönme, şekil, konveks analiz

1. Giriş

Nokta kaynak olarak gözlenen asteroidlerin yansıttığı toplam Güneş ışığı miktarı herhangi bir anda, Yer tabanlı optik teleskoplar ve uygun dedektörler kullanılarak fotometrik gözlem yoluyla ölçülebilmektedir. Asteroidler genellikle düzensiz şekillere sahip oldukları için, kendi eksenleri etrafında dönerlerken, yüzeylerinin “gözlenen ve aydınlanan” alanı sürekli olarak değişecektir. Bu nedenle, eğer gözlemci asteroide dönme eksenini doğrultusundan bakmıyorsa, asteroidten yansıyan toplam ışık miktarının dönmeyle değiştiğini görecektir.

Asteroidlere yönelik konveks analiz yöntemine ilişkin teori ve bazı uygulamalar ilk kez Kaasalainen ve ark. (1992a, b)'de verilmiştir. Çalışma gurubu sonraki yıllarda bu yöntemi temel alan ilgili algoritmayı (convexinv kodu) geliştirmiş ve söz konusu teori ve uygulamalar – bu sefer pratik esaslar da dikkate alınarak – ilk kez Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen ve ark. (2001)'de açıklanmıştır.

Buna göre, geniş bir zaman aralığı içerisinde farklı gözlem geometrilerinden elde edilmiş çok sayıda relatif ışık eğrisinin eş zamanlı analiziyle, asteroidlere ilişkin dönme durumları (yani kendi eksenleri etrafındaki yıldızıl dönme dönemleri, dönme yönleri ve dönme eksenlerinin uzaydaki yönelimleri), yüzeyleri boyunca bir albedo değişiminin olup olmadığı ve şekil modelleri tek ve değişmez olarak belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada kolay gözlemlenebiliyor olması nedeniyle, görel olarak kısa dönme dönemine sahip, ana-kuşak içinden parlak dört adet asteroid seçilmiş ve bu asteroidlerin şekillerini, dönme durumlarını ve yüzeyleri üzerinde olası bir albedo değişimi olup olmadığını Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen ve ark. (2001)'de açıklanan konveks analiz yöntemiyle belirlemek için Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) bünyesinde fotometrik gözlemler yapılmıştır.

Gerçekte, seçilen bu asteroidlerin (201 Penelope, 511 Davida, 694 Ekard, 776 Berbericia) literatürde şekil ve dönme modeli mevcuttur; bununla birlikte bu bilgilere ulaşmak için, yeterli miktarda gözlem geometrilerinden elde edilen zamana yayılmış çok sayıda fotometrik veriye ihtiyaç duyulduğundan, elimizdeki sınırlı veri, konveks analiz

yöntemi üzerinde tecrübe oluşturmak, yöntemi denetlemek, ilgili asteroidlere ilişkin literatür sonuçlarını iyileştirmek ve bu uygulamanın Türkiye’deki ilk örneğini ortaya koymak adına literatür verileriyle birlikte göz önüne alınmıştır.

Literatürdekilerle uyumlu sonuçlar bulunmuş ve elde ettiğimiz gözlemsel ışık eğrilerine konveks analiz yöntemi yoluyla model ışık eğrileri fit edilmiştir.

2. Asteroidlerde Konveks Analiz

Konveks analiz yöntemindeki polihedron yaklaşımına göre asteroid, uzayda sabit bir eksen etrafında düzgünce dönen genel kapalı dışbükey bir polihedron (kapalı çokyüzlü) olarak varsayılmaktadır. Böyle bir polihedronun yansıyan Güneş ışığı, asteroidin Yer’e ve Güneş’e olan uzaklığı 1 AB’ne indirgenmişse,

$$\underline{L} = L [(\text{polihedrona ilişkin şekil parametreleri}), \underline{S}, (\beta_0, \lambda_0, P_{\text{sid}}), \underline{Y}, \underline{A}, t] \dots\dots\dots(1)$$

şeklinde bir fonksiyon olur (değerleri bilinenler altı çizili olarak gösterilmiştir).

Burada,

- S: Konveks analizde kullanılan deneysel bir yüzey ışık saçılım fonksiyonu,
- λ_0 : Asteroidin dönme ekseninin Kuzey doğrultusunun tutulum (ekliptik) boylamı,
- β_0 : Asteroidin dönme ekseninin Kuzey doğrultusunun tutulum enlemi,
- P_{sid} : Asteroidin dönme eksenini etrafındaki yıldız (sideral) dönme dönemi,
- Y: Yer’in yörünge elemanları,
- A: Asteroidin yörünge elemanları,
- t: Zaman

olarak tanımlanmıştır.

Polihedrona ilişkin şekil parametreleri, konveks polihedronu oluşturan her bir düzlemsel yüzün alan değerleri ve yine her bir yüze ilişkin dış normal birim vektör koordinatlarıdır. Şekil parametrelerine ilişkin sayı ve dış normal birim vektör koordinatları kullanıcı tarafından önceden belirlenebilmektedir (Kaasalainen ve Torppa, 2001). Bu durumda polihedrona ilişkin şekil parametreleri, polihedronu oluşturan her bir düzlemsel yüzün alan değerleridir.

$(\beta_0, \lambda_0, P_{\text{sid}})$ parametreleri, asteroide ilişkin dönme durumunu ifade ederler. Dönme eksenini üzerinden asteroide bakan bir gözlemci eğer asteroidi pozitif yönde dönüyor görüyorsa, gözlemcinin bulunduğu yön dönme ekseninin Kuzey yönü olarak kabul edilir. Bu durumda β_0 değeri negatifse, asteroidin kendi eksenini etrafında dönmesi ters yönlü olacaktır.

Kaasalainen ve ark. (2001)’de de belirtildiği gibi, konveks analiz yönteminde genellikle deneysel yapıya bir yüzey ışık saçılım fonksiyonu (yasası) kullanılmaktadır. Bu fonksiyon (S) içinde geçen dört parametre, gözlemsel veriye yapılan model ışık eğrisi fitini güçlü biçimde etkilemediğinden, relatif ışık eğrileri için belirli ortalama değerlere sabitlenebilmektedirler (Torppa, 2007).

Gözlemsel relatif veriyle kuramsal veri arasındaki farkı (χ^2_{rel}) en küçük yapan, $(\beta_0, \lambda_0, P_{\text{sid}})$ ve şekil parametreleri aranan çözümler olacaktır. Bu parametreler ışık eğrisinin sadece biçimini etkileyen parametreler olduklarından, bunların belirlenmesi için fotometrik gözlem verisinin parlaklık uzayında olması gerekmez. Relatif ışık eğrilerinden elde edilen

çözümler, kalibre edilmiş gözlemlerden elde edilen çözümlerin çoğunu karşılamaktadır (Kaasalainen ve Torppa, 2001).

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

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

(2)'nin minimizasyonunda, belirli bir hata aralığı içerisinde verilen P_{sid} değeri ve küre üzerine eşit olarak dağıtılmış belli sayıda (β_0, λ_0) değerinden ilki başlangıç değerleri olarak başta ele alınır ve bu başlangıç değerleri iterasyona sokularak, P_{sid} , (β_0, λ_0) ve şekil parametrelerinin nihai değerleri elde edilir. Bu işlemden sonra, başlangıçta kullanılan P_{sid} değeri bu sefer de küre üzerindeki (β_0, λ_0) değerlerinin ikincisiyle birlikte başlangıç değerleri olarak ele alınır ve iterasyona sokulurlar. Böylece bu ikinci başlangıç değerleri için nihai değerler belirlenir. Bu işlem bu şekilde küre üzerindeki sonuncu (β_0, λ_0) değerine kadar yapılır ve gözlemsel ışık eğrileriyle en uyumlu model ışık eğrilerini üreten (yani en küçük χ^2_{rel} değerine sahip) P_{sid} , (β_0, λ_0) ve şekil parametreleri eş zamanlı olarak bu şekilde belirlenir (Warner, 2007).

χ^2_{rel} değerinin minimizasyonu sonrasında, dönme durumuna ve şekle ilişkin elde edilen parametrelerle üretilen model ışık eğrisi, eldeki gözlemsel ışık eğrisi setinde yer alan tüm eğrileri tek başına en iyi ifade eden tek eğridir ve konveks analiz yoluyla belirlenen bu parametreler, dönme periyodu sürecince alınmış gözlemsel ışık eğrileri eğer yeterli geometrilerden elde edilmişse ve gözlemdeki gürültü 0.05 mag değerinden büyük değilse, “tek” ve “değişmez” olarak bulunacaktır (Kaasalainen ve Torppa, 2001).

Seçilen dış normal birim vektör koordinatlarından ve belirlenen alan değerlerinden sonra, polihedronun her bir yüzüne ilişkin tanımlanan \mathbf{r} yarıçap vektör değerleri, Minkowski minimizasyonu olarak bilinen standart bir yöntem kullanılarak, konveks analiz yoluyla belirlenebilmekte ve bu sayede üç boyutlu model elde edilebilmektedir (Lamberg, 1993; Kaasalainen ve Torppa, 2001).

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

3. Gözlemler ve Kullanılan Veri

Konveks analiz çalışması için seçtiğimiz dört asteroid; 201 Penelope, 511 Davida, 694 Ekard ve 776 Berbericia'dır. 201 Penelope üç gece, 511 Davida iki gece, 694 Ekard ve 776 Berbericia ise birer gece boyunca Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi'nde gözlenmiştir. Diğer taraftan 201 Penelope, dört gece boyunca da TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) bünyesinde gözlenmiştir. 2005 – 2010 yılları arasına dağılmış tüm bu relatif fotometrik gözlemlere ve modellemede bu verilerle beraber kullanılan literatürdeki diğer tüm relatif fotometrik gözlemlere ilişkin ayrıntılar ve analizde kullanılan materyallere yönelik detaylar Kabaş (2010)'da görülebilir.

4. Analiz Sonuçları

4.1. Seçilen Asteroidlerin Dönme Durumu Çözümleri

Seçilen asteroidlere ilişkin dönme durumu sonuçları ve bu sonuçların literatürdekilerle karşılaştırmaları Tablo 1'de görülmektedir. Analizde kullanılan tüm ışık eğrilerinin (kendi elde ettiklerimiz ve literatürden kullandıklarımız) analiz için gereken nitelikleri büyük ölçüde karşıladığı bilindiğine göre, (β_0, λ_0) değerlerine ilişkin ortalama hata aralığı $\pm 10^\circ$ ve yıldızıl dönme dönemi P_{sid} için maksimum hata aralığı ise $\pm 10^{-5}$ saat olarak ele alınmalıdır. Kaasalainen ve ark. (2001)'de de belirtildiği üzere bu hata değerleri yönteme ilişkin değerler olup deneysel yollarla belirlenmiştir. Elde ettiğimiz dönme durumu çözümleri, bu hata aralıkları çerçevesinde literatürdekilerle uyumludur.

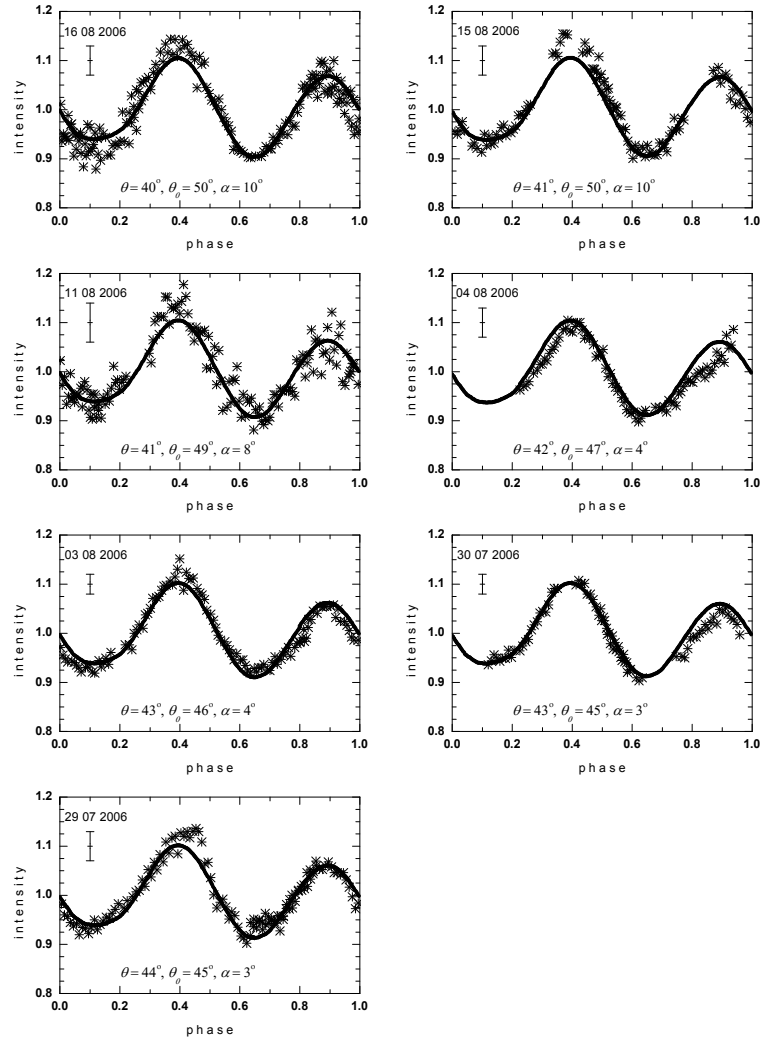
Tablo 1. Seçilen dört asteroidin dönme durumu sonuçları ve bu sonuçların literatürdekilerle karşılaştırılmaları.

Asteroid	Literatür				Sonuçlarımız			
	β_0 (°)	λ_0 (°)	P_{sid} (saat)	Kaynak	β_0 (°)	λ_0 (°)	P_{sid} (saat)	Kaynak
201 Penelope	-15	84	3.747455	(Torppa ve ark., 2003)	-11	81	3.74746	(Kabaş, 2010) (Kabaş ve Demircan, 2012)
511 Davida	26	297	5.129363	(Durech ve ark., 2008)	27	299	5.12936	(Kabaş, 2010)
694 Ekard	51	266	5.92193	(Durech ve ark., 2008)	52	265	5.92193	(Kabaş, 2010)
776 Berbericia	59	170	7.66701	(Torppa ve ark., 2008)	61	171	7.66701	(Kabaş, 2010)

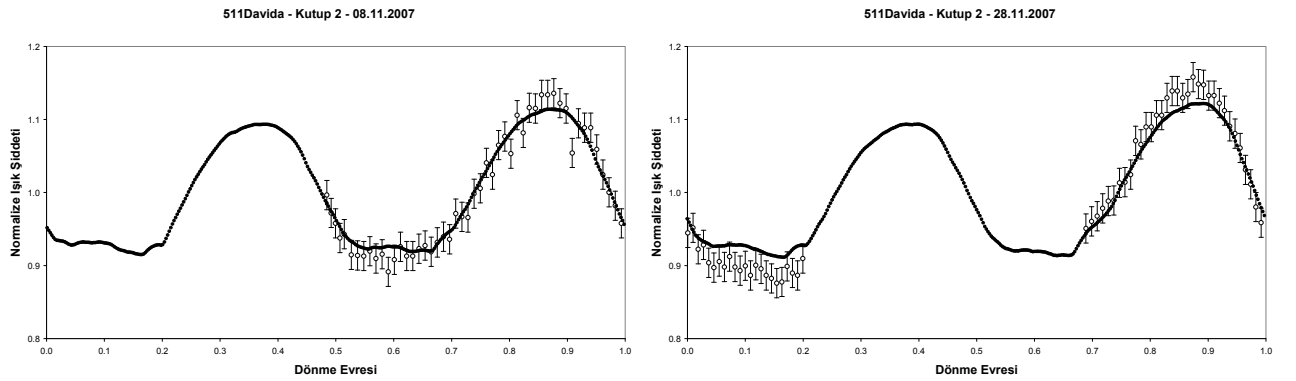
4.2. Gözlemlerimize Uygulanan Model Işık Eğrisi Fitleri

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) bünyesinde elde edilen ışık eğrilerine, konveks analiz yoluyla model ışık eğrileri fit edilmiştir (grafiklerdeki sürekli eğri). Yatay eksen, P_{sid} üzerinden hesaplanan dönme evresi, dikey eksen ise ortalama üzerinden normalize edilmiş relatif ışık şiddetidir. Gözlem hatalarını gösteren barlar, $0^{m}.05$ değerinden küçük yarı uzunluklara sahiptir. Asteroidin dönme ekseninin Kuzey yönüyle asteroid-Yer doğrultusu arasında kalan açı θ , eksenin Kuzey yönüyle asteroid-Güneş doğrultusu arasındaki açı θ_0 ve Güneş-asteroid-Yer arası açı α , asteroide ilişkin geometrik yönelim parametrelerini ifade etmektedir. Burada verilen geometrik yönelim parametreleri, (β_0, λ_0) ve Yer'in ve Güneş'in tutulum koordinatları kullanılarak ışık eğrilerinin elde edildiği her bir tarihe ilişkin ayrı ayrı hesaplanmıştır.

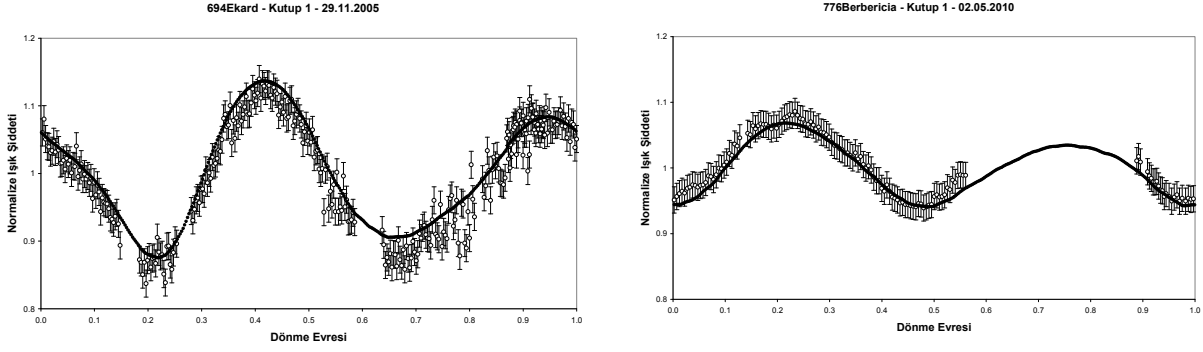
Elde edilen model ışık eğrileri, gözlemsel veriyle genel olarak iyi bir uyum içerisindedir.



Şekil 1. 201 Penelope'nin elde ettiğimiz ışık eğrilerine konveks analiz yoluyla uygulanan model ışık eğrisi fitleri.



Şekil 2. 511 Davida için uygulanan model fitler. Geometrik yönelim parametreleri (θ , θ_0 , α) sırasıyla $(85^\circ, 81^\circ, 11^\circ)$ ve $(88^\circ, 78^\circ, 16^\circ)$ biçimindedir.



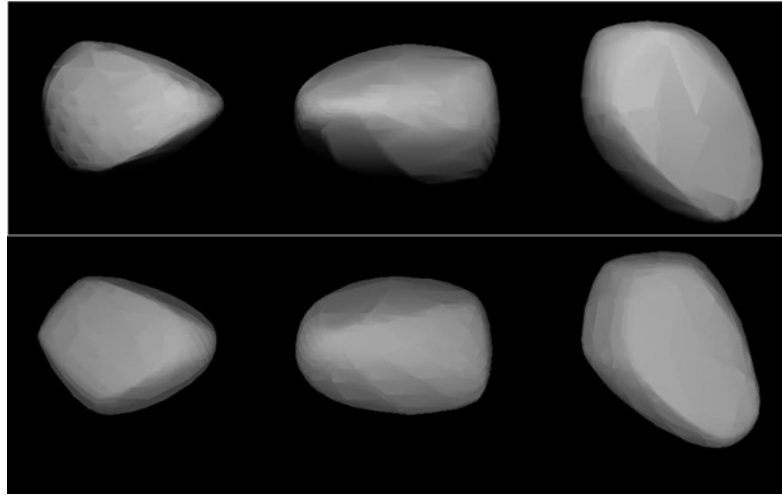
Şekil 3. 694 Ekard (solda) ve 776 Berbericia (sağda) için uygulanan model fitler. Geometrik yönelim parametreleri $(\theta, \theta_0, \alpha)$ sırasıyla $(60^\circ, 57^\circ, 10^\circ)$ ve $(142^\circ, 136^\circ, 14^\circ)$ biçimindedir.

4.3. Şekil Çözümleri

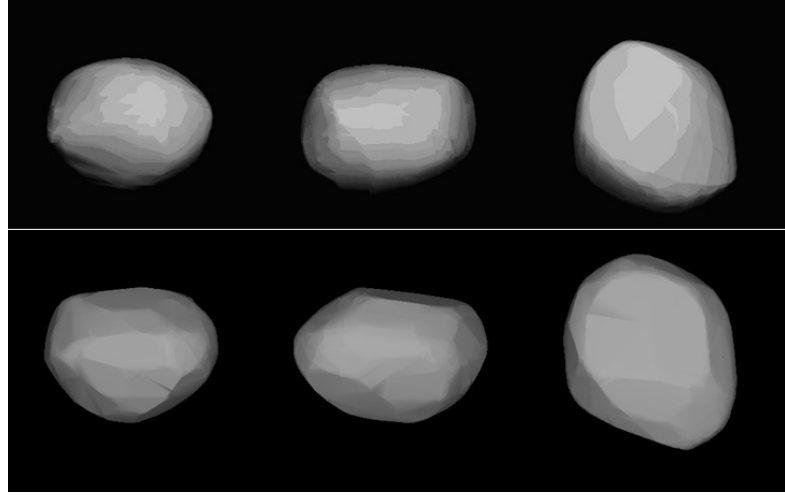
Seçilen asteroidlere ilişkin elde ettiğimiz ışık eğrileri literatürdekilerle birlikte konveks analizde kullanılmış ve bu asteroidlerin şekil modelleri belirlenmiştir. Elde ettiğimiz bu modeller literatürdekilerle karşılaştırılmış ve genel olarak birbirleriyle iyi bir uyum sergiliyor oldukları görülmüştür.

Şekillerdeki üst sıra kendi çözümümüzü, alt sıra ise literatür çözümünü göstermektedir. Her sırada, aynı modelin üç farklı açıdan görünümü sunulmuştur ve bu görünüm, Güneş gözlemcinin tam arkasında var sayılarak elde edilmiştir. İlk iki görünüm, aralarında 90° dönme evre açısı olan ekvatorial görünümüdür (bu görünümde asteroidin dönme ekseninin Kuzey yönü, dik bir şekilde yukarıyı gösterir). Üçüncü görünümde ise, dönme ekseninin Kuzey yönü gözlemciden geçmektedir.

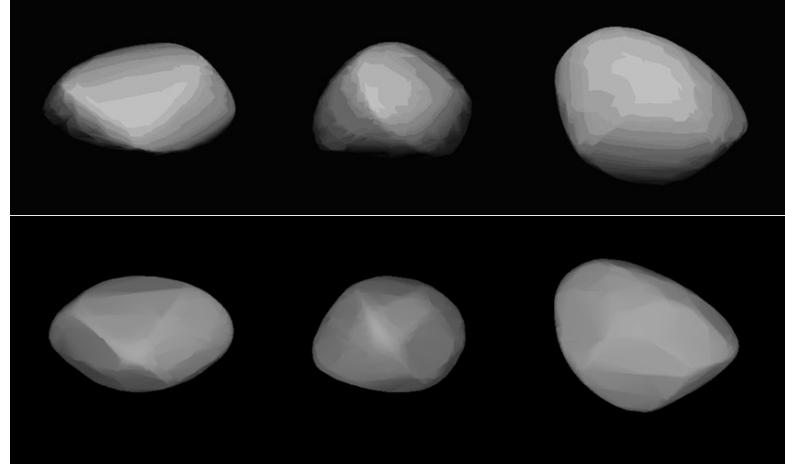
Kaasalainen ve Torppa (2001) ve Kaasalainen ve ark. (2002b)'de tanımlanan artık vektörün boyu, model şeklin toplam alanının %1'inden küçük olduğundan, seçilen asteroidlerin hiçbiri için yüzey üzerinde belirgin bir albedo değişimine analizde rastlanılmamıştır.



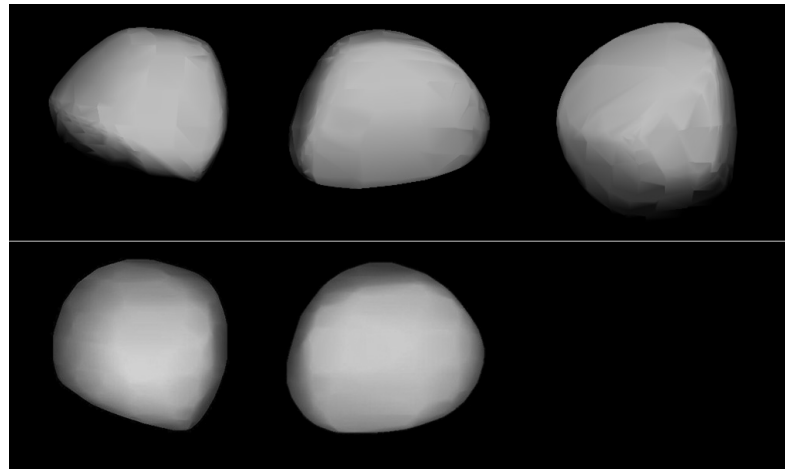
Şekil 4. 201 Penelope için şekil çözümleri. Üst sıradaki kendi çözümlerimiz Kabaş (2010) ve Kabaş ve Demircan (2012)'den, literatür çözümü olan alt sıra ise Durech ve ark. (2008)'den alınmıştır.



Şekil 5. 511 Davida için şekil çözümleri. Üst sıradaki çözümlerimiz Kabaş (2010)'dan, literatür çözümünü gösteren alt sıra Durech ve ark. (2008)'den alınmıştır.



Şekil 6. 694 Ekard için şekil çözümleri. Üst sıra çözümleri Kabaş (2010)'dan, literatür çözümünü olan alt sıra çözümleri Durech ve ark. (2008)'den alınmıştır.



Şekil 7. 776 Berbericia için şekil çözümleri. Üst sıra Kabaş (2010)'dan, alt sıra Torppa ve ark. (2008)'den alınmıştır (üçüncü görünüm literatürde gösterilmemiştir).

5. Konuya İlişkin Genel Önem

Konveks analiz yoluyla, asteroide ilişkin herhangi bir ön şekil varsayılmadan, yeterli geometrilerden alınmış uygun duyarlılıktaki fotometrik verilerle dönme durumu, şekil ve yüzey özellikleriyle ilgili önemli bilgilere ulaşılabilmektedir.

Konveks analiz çözümlerindeki şekil modelleri, radar gözlemleriyle elde edilenler kadar duyarlı değildir. Ancak radar gözlem tekniği, sınırlı sayıda asteroide (bazı yakın asteroidler) uygulanabilmektedir, fotometrik gözlemlerde ise böyle bir sınırlama söz konusu değildir. Bu nedenle fotometrik gözlemler, asteroidlerin genelini tanımada halen ana bilgi kaynağı durumundadır ve gelecekte de bu özelliğini koruyacaktır.

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

Bu parametrelerin konveks analiz yöntemleriyle çözülmesi ve elde edilen çözümlere yönelik dağılımların istatistiksel olarak çalışılmasıyla, asteroidlerin çarpışma geçmişlerini, evrimlerini ve Güneş Sisteminin oluşumuna ilişkin çok değerli bilgileri ortaya koyan, asteroidlere ilişkin farklı özellikler arasındaki olası bağlantılar belirlenebilecektir.

** Bu çalışma, doktora tezi Kabaş (2010)'dan bir bölümdür ve burada kullanılan fotometrik verilerin bir bölümü, TÜBİTAK destekli 106T051 no'lu proje çalışmasıyla sağlanmıştır.*

KAYNAKLAR

- Durech J., Kaasalainen M. ve Sidorin V., 2008. Retrieved June 29, 2010, from <http://astro.troja.mff.cuni.cz/projects/asteroids3D/web.php>
- Kaasalainen M., Lamberg L., Lumme K. ve Bowell E., 1992a. *Astronomy and Astrophysics*, 259: 318-332.
- Kaasalainen M., Lamberg L. ve Lumme K., 1992b. *Astronomy and Astrophysics*, 259: 333-340.
- Kaasalainen M. ve Torppa J., 2001. *Icarus*, 153: 24-36.
- Kaasalainen M., Torppa J. ve Muinonen K., 2001. *Icarus*, 153: 37-51.
- Kaasalainen M., Mottola S. ve Fulchignoni M., 2002a. In: Bottke Jr. W. F., Cellino A., Paolicchi P. ve Binzel R. P., Eds. *Asteroids III*. University of Arizona Press. 139-150.
- Kaasalainen M., Torppa J. ve Piironen J., 2002b. *Icarus*, 159: 369-395.
- Kabaş A., 2010. *Asteroidlerin Fotometrik Gözlemlerinin Analizi (Doktora Tezi)*. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Çanakkale-Türkiye.
- Kabaş A. ve Demircan O., 2012. *Balkan Physics Letters*, 20: 249-254.
- Lamberg L., 1993. *Academia Scientiarum Fennica, Series A, I. Mathematica dissertationes* 87, University of Helsinki.
- Torppa J., Kaasalainen M., Michalowski T., Kwiatkowski T., Kryszczyńska A., Denchev P. ve Kowalski R., 2003. *Icarus*, 164: 346-383.
- Torppa J., 2007. *Lightcurve Inversion for Asteroid Spins and Shapes (Doktora Tezi)*. Faculty of Science of the University of Helsinki, Department of Astronomy, Finland.
- Torppa J., Hentunen V.-P., Pääkkönen P., Kehusmaa P. ve Muinonen K., 2008. *Icarus*, 198: 91-107.
- Warner B.D., 2007. In *Proceedings for the 26th Annual Conference of the Society for Astronomical Sciences, Symposium on Telescope Science* (Warner B. D., Foote J., Kenyon D. A. ve Mais D., Eds.), p. 79, Northwoods Resort, Big Bear Lake, CA-USA, 22-24 May 2007.