

ASTEROİDLERDE YARKOVSKY YORP ETKİSİ

Bilal Hakan ÖZCAN^{1,2}, Afşar KABAŞ^{1,2}

¹*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Terzioğlu Kampüsü, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü*

²*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi*

Özet

Güneş ışığının asteroidlerin yörünge ve dönme dinamiği üzerinde bir etkiye sahip olma olasılığı her ne kadar 1900'lü yılların başlarından beri düşünülmüş olsa da, bu etkinin kesin varlığı son 20 yıllık çalışmalar içinde gösterilebilmiştir. Aslında oldukça zayıf olan bu etki, uzun zaman dilimlerinde bu dinamikleri belirgin olarak değiştirmekte ve böylece sistemdeki asteroid popülasyonunun evriminde doğrudan bir rol üstlenmektedir.

Bu çalışmada, asteroidler üzerindeki Yarkovsky ve YORP etkisinin mekanizmaları kısaca tanıtılmış ve konuyla ilgili olarak literatürde yer alan birkaç asteroid örnek verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asteroidler, Meteoroidler, Yarkovsky etkisi, YORP etkisi, Isısal ışınım

1. Giriş

Asteroidlerin yörünge ve dönme dinamiğinin evriminde çarpışmalar ve kütle çekimsel kuvvetler kadar önemli rol oynadığına inanılan diğer bir etki de Güneş ışığı etkisidir. Bir Asteroid tarafından soğurulan Güneş ışığı, soğuma sırasında, kızılöte bölgede ısısal ışınım şeklinde anizotropik olarak geri salınır. Salınan fotonların asteroidten momentum alıyor olması nedeniyle, asteroid, yaptığı ısısal salınımın tersi yönde bir itme kuvvetine ya da bir torka maruz kalır. Aslında süreç içinde bu tepki kuvvetinin yanında foton basıncı adı verilen bir ikinci kuvvet daha söz konusudur. Ancak bu kuvvetlerin ikisi de son derece zayıftır ve yörüngeye ve dönmeye olan etkileri, göreceli olarak küçük (1 m – 50 km çap aralığında) asteroidler için ancak uzun zaman ölçeklerinde belirgin olabilmektedir.

Sürecin yörüngeyi etkileyen bileşeni Yarkovsky etkisi, dönme durumunu etkileyen bileşeni ise YORP etkisi olarak bilinmektedir.

2. Yarkovsky ve YORP Etkisi

2.1. Yarkovsky Etkisi

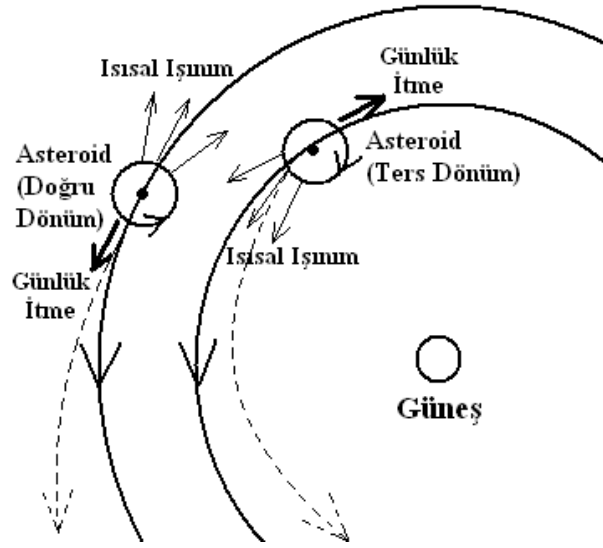
Bu etkinin olası varlığı ilk kez Rus mühendis Ivan Osipovich Yarkovsky tarafından ortaya konmuştur. 1900 yıllarında yazmış olduğu bir kitapta, küçük asteroidlerin yörüngelerinin Güneş ışığı etkisiyle uzun zaman ölçeklerinde belirgin olarak değişebileceğini not etmiştir. Geçmişte Yarkovsky'nin kitabını okuyan astronom Ernst J. Öpik, bu etkinin (Yarkovsky etkisi) asteroidler açısından muhtemel önemini yıllar sonra tartışmaya açmıştır (Öpik, 1951).

Yarkovsky etkisi genel olarak iki bileşenden oluşur: Günlük etki ve Mevsimlik etki.

2.1.1. Günlük Etki

Kendi eksenini etrafında dönmekte olan bir asteroidin öğlen vaktini yaşayan yüzeyi, Dünya'da olana benzer olarak, geceyi yaşayan yüzeyine göre ısınacaktır. Günlük dönme devam ettikçe ısınmış olan bu yüzey akşam kuşağına (gün batımı - gece yarısı öncesi bölge) girerek soğumaya başlayacaktır. Soğuma sürecinde, akşamı yaşayan yüzeyinden uzaya ısısal ışınım yayan asteroid, yaydığı bu ışınımın kaynaklanan zıt yönlü bir tepki kuvvetiyle akşamı yaşayan yüzden sabahı yaşayan yüze doğru bir itilmeye uğrayacaktır (gece yarısı sonrası – gün doğumu arası bölgede yüzeyden uzaya ısısal ışınım yayılmamaktadır).

Eğer asteroid, yörüngesi üzerinde ve kendi eksenini etrafında aynı yöne doğru dönüyorsa, günlük etkiden oluşan kuvvet asteroidin yörünge hareketi yönünde olur ve dolayısıyla asteroid uzun zaman ölçeğinde spiral çizerek Güneş'ten uzaklaşır. Dolanma ve dönme yönlerinin ters olması durumunda ise, bu süreç asteroidin yörüngesini küçültecektir (Şekil 1).

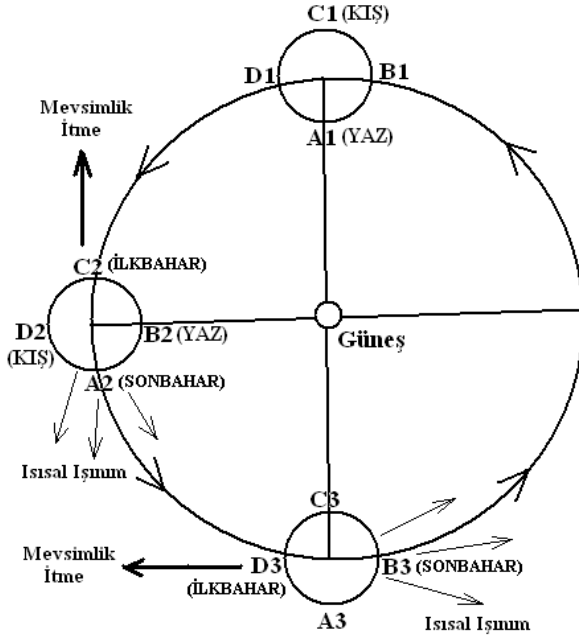


Şekil 1. Yarkovsky etkisinin günlük etkisi. Bu bileşen özellikle 100 m çapın üzerindeki asteroidlerde (100 m – 10 km) baskın durumdur.

2.1.2. Mevsimlik Etki

Güneş etrafında dolanmakta olan bir asteroidin yaz mevsimini yaşayan yüzeyi (Şekil 2, A1 yüzeyi), yine Dünya’da olana benzer olarak, kış mevsimini yaşayan yüzeyine (Şekil 2, C1 yüzeyi) göre ısınacaktır. Yörünge üzerinde dolanma devam ettikçe yaz boyunca ısınmış olan bu yüzey (A1) sonbahar mevsimine girecek ve burada bu yüzey için (A2) soğuma süreci başlayacaktır. Soğuma sürecinde, sonbaharı yaşayan yüzden (A2’den) uzaya ısısal ışınım yayan asteroid, yaydığı bu ışıınımdan kaynaklanan zıt yönlü bir tepki kuvvetiyle sonbaharı yaşayan yüzden ilkbaharı yaşayan yüze (C2’ye) doğru bir itilmeye uğrayacaktır (ilkbaharı yaşayan yüzden uzaya ısısal ışınım yayılmamaktadır). Bu sırada B2’de yaz, D2’de kış yaşanır ve yine üç ay sonra yaz boyunca ısınmış yüzey (B2) sonbahar sürecine girer (B3). Sonbaharı yaşayan yüzden (B3’ten) uzaya ısısal ışınım yayan asteroid, aynı mekanizmayla B3’ten o anda ilkbaharı yaşayan yüze (D3’e) doğru itilecektir ve sürecin bundan sonraki kısmı da benzer şekilde devam edip gidecektir.

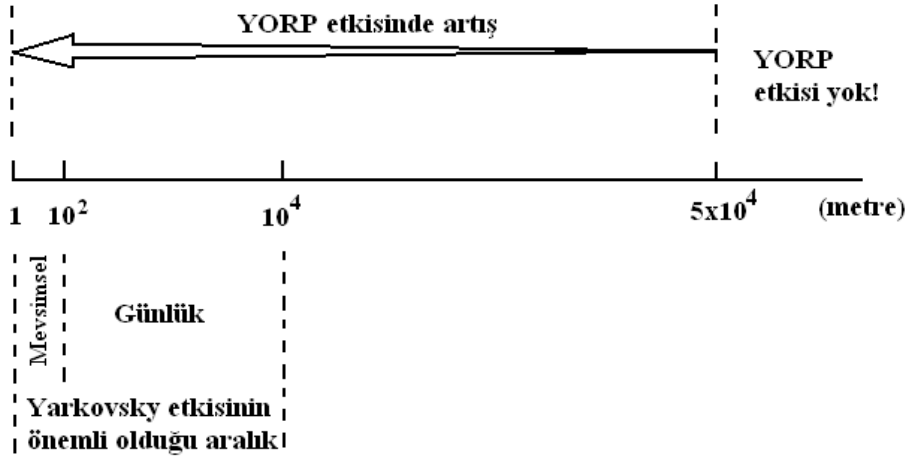
Şekil 2’den de anlaşılacağı üzere mevsimlik etkiden oluşan bu tepki kuvveti, asteroidin yörünge hareketine göre daima ters yönde oluşur. Bu nedenle Yarkovsky etkisinin bu bileşeni, asteroid yörüngelerini uzun zaman ölçeğinde küçültme eğilimindedir.



Şekil 2. Yarkovsky etkisinin mevsimlik etkisi. Bu bileşen özellikle 100 m çapın altındaki asteroidlerde (1 m – 100 m) baskın durumdadır. Hepsi de küçük boyutlu olan Yakın Asteroidlerin şimdiki küçük yörüngelerinde olmalarının ana sebebi, Yarkovsky etkisinin mevsimlik bileşenidir.

2.1.3. Genel Bakış

Aşağıdaki şekil (Şekil 3), Yarkovsky ve YORP etkisinin etkili olduğu boyut aralığını göstermektedir.



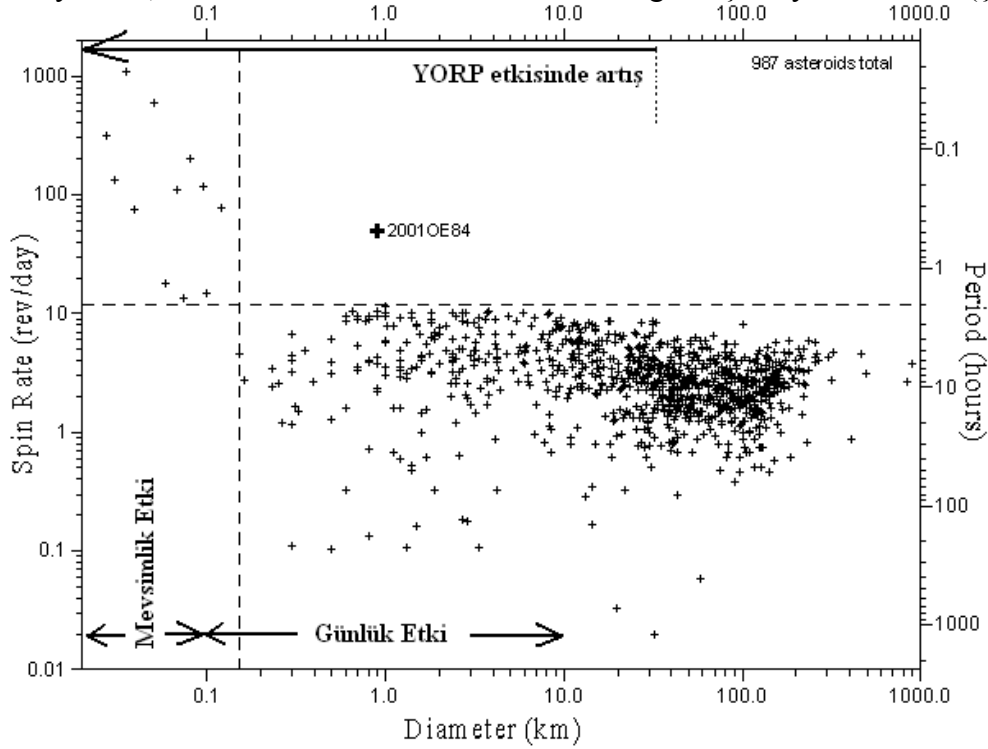
Şekil 3. Yarkovsky ve YORP etkisinin etkili olduğu asteroid boyutları.

Mevsimlik etki, asteroidin eksen eğimi arttıkça artmaktadır; eksen eğimi 0° ya da 180° iken bu bileşen sıfır (bu durumda günlük etki maksimum), 90° iken maksimumdur (bu durumda da günlük etki sıfırdır).

Mevsimlik etkinin baskın olduğu bölgedeki asteroidler, Şekil 3'ten de görüldüğü üzere göreceli olarak küçüktürler. Küçük asteroidlerin yüzeyleri genellikle yalıtkan regolit tabakasıyla kaplı değildir, böylelikle cismin tüm kütlesi hemen hemen eş sıcaklıktadır. Bu

durum, yüzey üzerindeki sıcaklık farkını minimuma indirmekte ve bu sebeple Yarkovsky etkisinin günlük bileşenini zayıflatıp mevsimlik etkiyi baskın hale getirmektedir. Ayrıca küçük boyutlu asteroidler kendi eksenleri etrafında hızlı dönerler (Şekil 4); asteroidin ısınmış yüzeyi soğumak için, soğumuş yüzeyi de ısınmak için yeterince zaman bulamaz ve yüzeydeki sıcaklık bu sebeple yine eş dağılımlı olacağı için günlük etki zayıflayıp mevsimlik etki güçlenir.

Günlük etkinin baskın olduğu bölgedeki asteroidler (Şekil 3), yüzeyleri üzerinde eş sıcaklık dağılımına sahip olamayacak kadar büyük ve daha yavaş dönen asteroidlerdir (Şekil 4). Yarkovsky etkisi, 10 km üstü asteroidlerde etkisini belirgin ölçüde yitirmektedir (Şekil 3).



Şekil 4. Güneş sistemimizdeki asteroid popülasyonunda, dönme oranı – çap ilişkisi. Sağ üstte yer alan dikdörtgen biçimli geniş boşluk, iri boyutlarına göre hızlı dönen asteroidlerin merkezkaç kuvvetinin etkisiyle dağılıp yok olmasının sonucudur (2001 OE84, bilinen en büyük tek parça kaya olma özelliğiyle bu duruma bir istisna oluşturmaktadır) (Pravec ve Harris, 2000).

Uzun zaman ölçeklerinde, çarpışmalar, kütle çekimsel kuvvetler ve YORP etkisi gibi sebeplerle asteroidlerin dönme eksenini eğimi değişebilmektedir. Bu durumda bu cisimler üzerine etkileyen günlük ve mevsimlik Yarkovsky etkisinin şiddeti değişim gösterecektir. Dönme ekseninin 180° değiştiği durumlarda, Asteroid kendi eksenini etrafında ters yönde dönmeye başlayacağından, üzerine etkileyen günlük etki asteroidi bu defa ters yönde etkileyebilecektir.

Pratikte, Yarkovsky etkisinin bir asteroidin yörüngesi üzerindeki tam etkisinin nasıl olacağını kesin olarak söylemek kolay değildir. Çünkü etki, Güneşe olan uzaklık, boyut ve dönme döneminin yanında, asteroidin gerçek şekline, eksen eğimine, albedoya ve albedonun yüzey üzerindeki olası değişimine de bağlıdır.

Yarkovsky etkisi ilk kez 1991-2003 yıllarında 6489 Golevka üzerinde ölçülmüştür. Bu etki sebebiyle Asteroid, 20 yıllık bir zaman aralığı içerisinde, olması gereken konumundan 15 km kadar farklı bir noktada gözlenmektedir (Chesley ve ark., 2003).

Uzak bir zaman sonra Yer'e çarpma ihtimali taşıyan bazı Yakın Asteroidlerin yörüngelerini değiştirip bu tehlikeyi engelleme adına Yarkovsky etkisinden faydalanma

çalışmaları halen daha araştırılmakta olan bir konudur. Yarkovsky etkisinin asteroid üzerindeki şiddetini değiştirmek için üretilen fikirler arasında, asteroidin bir bölgesini farklı bir renge boyamak yoluyla yüzey üzerinde belirgin bir albedo değişimi oluşturmak ya da çeşitli uzay araçlarıyla Güneş ışığını asteroide odaklamak yer almaktadır.

2.2. YORP Etkisi

Terim olarak YORP , Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack'ın bir kısaltmasıdır ve ilk kez Dr. David P. Rubincam tarafından 2000 yılında kullanılmıştır (Rubincam, 2000). Terimin uzun halinde geçen isimler, genel olarak belirtmek gerekirse, ısıl salınım yapmakta olan katı bir cismin dinamik parametrelerindeki değişimleri ilk kez inceleyen araştırmacılara aittir.

Isıl salınım yapmakta olan katı bir cisim, küre ya da elipsoid şekilli değilse (cisim düzensiz bir şekle sahipse), cismin verilen bir yüzey elemanından uzaya saldırdığı fotonlar, bu yüzey elemanına dik olmayan bir tepki kuvveti oluşturacak ve bu durum cisim üzerinde bir tork meydana getirecektir. Cismin dönmesi bu tork altında ya giderek hızlanacak ya da giderek yavaşlayacaktır, ayrıca dönme eksenini doğrultusu da bu süreç içerisinde değişecektir (presesyon yapacaktır).

YORP etkisinin şiddeti, cismin (asteroidin) Güneş'e olan uzaklığına, boyutuna, şekline, albedosuna ve yüzeyi üzerindeki olası albedo değişimine bağlıdır. Bu etkinin, uzun zaman ölçeğinde asteroidlerin dönüşünü hızlandırdığı ve 150 m'den büyük olanların parçalanmalarına sebep olduğu, çift asteroidlerin oluşumunda çarpışmalardan ve kütle çekimsel parçalanmalardan bile önemli bir rol oynadığı ve bazı asteroid ailelerinde benzer dönme durumlarının oluşmasından sorumlu olduğu düşünülmektedir.

Yapılan gözlemlere göre 125 km üstü asteroidlerin dönme hızları Maxwell hız dağılımına uyar (Şekil 4). 125 km'den 50 km'ye doğru gidildikçe asteroidlerin dönme hızlarında minik bir artış gözlenir (Şekil 4). YORP etkisi 50 km altındaki asteroidlerde ortaya çıkmaya başlar (Şekil 4) ve daha küçük boyutlara doğru gittikçe etkinin şiddeti de artar (Şekil 3). 50 km altındaki boyutlarda, asteroidlerin dönme hızları ya belirgin ölçüde hızlı, ya da belirgin ölçüde yavaştır. Bu durum, daha küçük boyutlara doğru daha fazla göze çarpar ancak 150 m'nin altındaki boyutlardaki asteroidlerin hemen hepsi hızlı dönen asteroidlerdir (150 m'nin altında yavaş dönen asteroid gözlenmemiştir) (Şekil 4). Çünkü çok küçük kütleli bir asteroid (bir de özellikle küçük bir yörüngedeysen), YORP etkisiyle yavaşlamaktaysa, yavaşlama – durma ve ters yöne hızlanma sürecini göreceli olarak kısa sürede tamamlar.

YORP etkisi, 2000PH5 ve 1862 Apollo gibi küçük asteroidler üzerinde 2007'de yapılan gözlemler yoluyla direkt olarak doğrulanmıştır (Lowry ve ark., 2007; Taylor ve ark., 2007; Kaasalainen ve ark., 2007). 2000PH5, 600000 yıllık bir zaman aralığında dönme hızını YORP etkisi nedeniyle ikiye katlayacaktır. YORP etkisinin doğrulandığı ilk asteroid olması nedeniyle 2000PH5, sonradan 54509 YORP olarak anılmaya başlanmıştır.

3. Sonuç

Asteroid popülasyonu ile ilgili sahip olmaya çalışılan bilgiler, Güneş sistemimizin erken dönemlerdeki evrimine ışık tutabiliyor olmaları açısından önemlidir. Sistemin evriminde önemli parçalardan biri de asteroidlerin evrimi konusudur. Dolayısıyla bu cisimlerin geçmişte yaşadığı ve halen yaşamakta olduğu süreçleri daha iyi belirleyebilmek adına, eski ve yeni çarpışmaların, kütle çekimsel kuvvetlerin ve Güneş kaynaklı ısıl salınım kuvvetlerinin bu cisimler üzerindeki etkilerini iyi anlamak gerekmektedir. Isıl salınım kuvvetlerinin asteroid popülasyonunun evrimi sürecinde en az çarpışmalar ve kütle çekimsel kuvvetler kadar önemli olduğu gerçeğinden yola çıkılırsa, sadece Yarkovsky ve YORP etkilerinin çalışılmasıyla asteroid evriminin önemli bir kesri anlaşılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Chesley, S. R. ve ark.: 2003. *Science* 302, 1739.

Kaasalainen, M. ve ark.: 2007. *Nature* 446, 420.

Lowry, S. C. ve ark.: 2007. *Science* 316, 272.

Öpik, E. J. 1951.: *Proceedings of the Royal Irish Academy* 54A, 165.

Pravec, P., Harris, A. W.: 2000. *Icarus* 148, 12.

Rubincam, D. P.: 2000. *Icarus* 148, 2.

Taylor, P. A. ve ark.: 2007. *Science* 316, 274.

