

GÜNEŞ SİSTEMİ DIŞI GEZEĞENLERİN UÇLAŞMAÖLÇÜMÜ

Cenk KAYHAN, Serdar EVREN

Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova – İZMİR
e-posta: cenkkayhan@gmail.com; serdar.evren@ege.edu.tr

Özet: Günümüzde Güneş Dizgesi dışı gezegenler, gökbilimde en çok çalışılan konular arasında yer almaktadır. Her geçen gün yeni bir gezegenin keşfedildiği bu alanda, gezegenlerin saptanması ve özelliklerinin anlaşılması büyük bir önem taşımaktadır. Bu nedenle son çalışmalar gezegen gözlem tekniklerinin geliştirilmesi ve saptanan gezegenlerin özelliklerinin ayrıntılı çalışmalarından meydana gelmektedir. Atmosfer dışı gezegen gözlemlerinin büyük bütçeler gerektirmesi, sınırlı çalışma ortamı sağlaması ve çeşitli zorlukları açısından yeryüzünden yapılan gözlemlere son dönemde daha da çok ihtiyaç duyularak bu alana ağırlık verilmektedir.

Uçlaşmaölçüm (polarimetry), uzun yıllardan beri çeşitli gök cisimlerinin gözlemleri üzerine çalışılan bir gözlem yöntemi olup gözlenen gök cisimi için diğer yöntemlerden elde edilemeyen değerli bilgiler sunmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte son yıllarda, uçlaşmaölçüm çalışmalarındaki kimi zorluklar ortadan kaldırılarak artık daha yaygın ve etkin kullanılmaktadır. Gelecekte yapılacak birçok önemli gözlem çalışmalarında uçlaşmaölçüm önemli bir yer almaktadır.

Bu çalışmada Güneş Dizgesi dışı gezegenlerin uçlaşmaölçüm ile yapılmış literatür çalışmaları derlenerek gelecekte oldukça önemli bir hale gelmesi beklenen bu konunun kilometre taşları ve önemli noktaları sunulacaktır.

1. Giriş

Işığın *uçlaşması* (polarization) olayını gözleyerek ölçme yöntemine *uçlaşmaölçüm* (polarimetry) denir. Gökbilimde uzun yıllardır kullanılan bu yöntem gökadalardan yıldızlara ve hatta Güneş Dizgesi içerisindeki tüm gök cisimlerini incelemektedir. İncelediği gök cisimleri hakkında diğer yöntemlerle elde edilemeyen çok değerli bilgiler türetilmektedir. Son yıllarda gözlem araç ve tekniklerinin gelişmesiyle bu alana sürekli artan bir ilgi mevcuttur. Yalnızca 2008-2011 (Ekim) yılları arasında ADS¹ üzerinden 14,000’den fazla uçlaşmaölçümle ilgili tarama yapılmıştır (Milone ve ark. 2009).

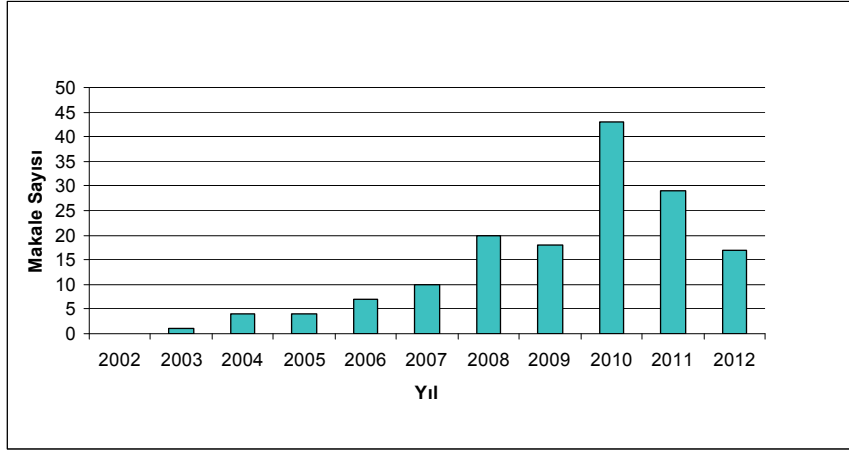
Gelişen teknoloji ve bilinen gözlem yöntemlerinin gelişmesi son yıllarda gökbilimde yeni bir alan daha ortaya çıkarmıştır; “*Güneş Dizgesi dışı gezegenler (exoplanet)*”. Günümüzde bu alanda yapılan çalışmalar hem gökbilim hem de diğer bilim alanları açısından oldukça önemli olarak görülmektedir. Yalnızca son on yıl içinde yüzlerce Güneş Dizgesi dışı gezegen keşfedilmiş ve bir bu kadarı da gezegen adayları olarak belirlenmiştir. Bugüne kadar çeşitli yöntemlerle keşfedilen 777² gezegen bulunmaktadır.

Günümüzde Güneş Dizgesi dışı gezegenlerin uçlaşmaölçümüne bilim dünyasının ilgisi büyüktür. Son on yılda Güneş Dizgesi dışı gezegenlerin uçlaşmaölçümü ile ilgili yayımlanan makale sayısı 150’yi geçmiştir. Şekil 1’de son on yılda yayımlanan makale sayılarının yıllara göre dağılımı gösterilmektedir. Şekil 1’de son beş yılda bu alanda yayımlanan makalelerin arttığı görülmektedir. Her ne kadar 2012 yılında yayımlanan makale sayısının düştüğü görülse de bu sayının yalnızca Ağustos ayına kadar olan çalışmaları içerdiği dikkate alınmalıdır. Çalışmaların içeriğine ayrıntılı olarak bakıldığında aletsel ve kuramsal çalışmaların ön planda olduğu görülmektedir. Son üç yılda yayımlanan çalışmalar ise daha çok gözlemsel çalışmalardır.

Bu çalışmada uçlaşmaölçüm yönteminin kendine ait gözlem tekniği ve özellikleri kullanılarak günümüzde en çok çalışılan ve en çok bilgi edinilmeye çalışılan Güneş Dizgesi dışı gezegenler konusu üzerine yapılan çalışmalar yer almaktadır.

¹ ADS: Astrophysic Data System (<http://www.adsabs.harvard.edu/>)

² 30.07.2012 tarihi itibarıyla exoplanet.eu internet sayfasından alınan değerdir.



Şekil-1. Güneş Dizgesi dışı gezegenlerin uçuşmaölçümü üzerine yayımlanan makale sayılarının son on yıl içerisindeki yıllara göre dağılımı.

2. Gezegenlerin Uçuşmaölçümü

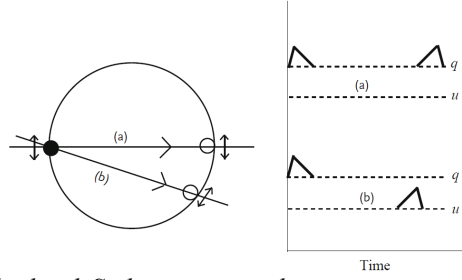
Yıldızından çıkan ışık gezegenin yüzeyinden (atmosferindeki toz parçacıklara, aerosollere ve gaz moleküllerine çarparak) yansır ve saçılır. Saçılan ve yansıyan ışık uçuşur. Eğer bu uçuşan ışık tespit edilebilirse gezegenin atmosferi hakkında oldukça iyi bir bilgi de edinilmiş olur (Clarke 2010).

Gezegenin uçuşma değeri atmosferinin yapısına ve boyutuna bağlı olarak değişme göstermektedir. Günümüzde yapılan kuramsal çalışmalarla 10-6 - 10-7 arası uçuşma değerinden daha düşük uçuşma derecesine sahip Güneş Sistemi dışı gezegenlerin gözlenebileceği kuramsal olarak hesaplanmıştır (Hough ve ark. 2006). Gözlemsel sınır ise birtakım aletsel kısıtlamalardan dolayı günümüzde 10-6 olarak belirtilmektedir.

3. Uçuşmaölçüm Gözlemleri

Günümüzde sıkça kullanılan gezegen bulma yöntemlerinden biri gezegenin geçiş (transit) yaparken ışıkölçüm yoluyla saptanmasıdır. Bu yöntem kolay bir şekilde uçuşmaölçüme uyarlanabilmektedir. Uçuşmaölçüm yönteminin fark ışıkölçüm yöntemine benzer niteliğinden dolayı toplam uçuşan ışık akısından yıldızın uçuşma değeri çıkartılarak gezegenin uçuşma değeri elde edilir (Seager ve ark. 2000). Herhangi bir örtme sistemde örtülme gerçekleşirken kenar uçuşması gerçekleşir, buradan da yıldızın uçuşma değeri elde edilir. Bu durum gezegenli sistemlerde gezegen, yıldızın önünden geçiş yaparken, özellikle yıldızın önünden ilk değme (ingress) ve son değme (egress) anlarında kenar uçuşması şeklinde görülür. Ayrıca ilk değme ve son değme arasında ölçülecek Stokes parametrelerinin (I, Q, U ve V'den oluşan uçuşmayı tanımlayan dört temel parametredir) değerlerindeki asimetric davranış gezegenin yörünge eğikliğini (i açısı) de hesaplamaya olanak verir (Şekil 2) (Clarke 2010). Örtme uçuşmasının i açısına oldukça bağlı olduğu ve i açısına göre akı eğrisinin değiştiği buradan da i açısının daha iyi hesaplandığı bilinmektedir (Carciofi & Magalhães 2005). Bu durum uçuşmaölçüm ile gözlemlerde gezegenin geçiş yapması zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır. Diğer bir deyişle örtme göstermeyen dizgeler de uçuşmaölçüm yöntemiyle gözlenebilir (Wiktorowicz 2009).

Gezegenin uçuşma değerinden gezegenin atmosfer yapısı, yarıçapı, sıcaklığı ve yansıtma değeri (albedo) elde edilirken, yörünge eğikliği kullanılarak kütlesi de hesaplanabilir. Ayrıca atmosfer benzetimi yapılarak atmosferinin kimyasal yapısı ve termodinamiği açığa çıkartılabilir.



Şekil 2. Yörünge eğikliğine bağlı olarak Stokes parametrelerinin zamana göre değişimi. (a) Yörünge eğikliği 90° olan gezegeni (b) Yörünge eğikliği farklı, çap boyunca hareket etmeyen gezegeni temsil etmektedir.

4. Uçlaşmaölçüm ile Gözlenmiş Güneş Sistemi Dışı Gezegenler

Günümüze kadar uçlaşmaölçüm ile gözlenen dört gezegen vardır. Bu gezegenlerin ve yıldızlarının özellikleri Çizelge 2’de yer almaktadır. Günümüz uçlaşmaölçerleri yıldıza çok yakın ($\leq 0.05AB$) dev gaz gezegenler büyüklüğündeki gezegenleri gözleyebildiğinden Çizelge 2’de yer alan gezegenlerden 55 Cnc b’nin yörüngesi 0.05AB’den daha büyük olduğu için hakkında sağlıklı veri elde edilememiştir (Lucas ve ark. 2009). Gözlenebilen diğer üç gezegen gözlenme özellikleri açısından birbirine benzemektedir. Yalnızca tek fark HD 189733 b ve τ Boo b Jüpiter boyutlarında iken 55 Cnc e Neptün boyutlarındadır. Ayrıca bunlara ek olarak τ Boo yıldızının manyetik aktif bir yıldız olduğu ve ayrıca yıldıza ait uçlaşmaölçüm gözlemlerinin mevcut olduğu bilinmektedir (Catala ve ark. 2007).

Çizelge-2. Uçlaşmaölçüm yöntemi ile gözlenen Güneş Sistemi dışı gezegenlerin özellikleri

Gezegenin İsmi	Kütle (M_j)	Yarıçap (R_j)	Dönem (gün)	a (AB)	e	i (derece)	Yıldızın Adı	m_V (Kadir)	Uzaklık (pc)	Tayf Türü
55 Cnc b	0.824	—	14.651262	0.1148	0.02	—				
55 Cnc e	0.027	0.194	0.7365449	0.0156	0.06	81	55 Cnc	5.95	12.34	K0IV-V
HD 189733 b	1.138	1.138	2.21857312	0.03142	0.0041	85.51	HD 189733	7.67	19.3	K1-K2
τ Boo b	5.95	—	3.3135	0.046	0.023	44.5	τ Boo	4.5	15.6	F7 V

Gezegenlerin uçlaşmaölçümleri farklı teleskop ve uçlaşmaölçerle yapılmıştır. Kullanılan teleskoplar ve uçlaşmaölçerler ile gezegenlerin uçlaşma değerleri Çizelge 3’de yer almaktadır.

Uçlaşmaölçümü yapılan ilk Güneş Dizgesi dışı gezegen HD 189733 b’dir. Gezegenin gözlemleri DIPol uçlaşmaölçeri ile B süzgecinde 2006-2007 yılları arasında yapılmıştır. Bu gözlem sonucunda gezegenin uçlaşma değeri elde edilmiş buradan yörünge eğikliği (i açısı) $\sim 98^\circ$, basıklığı (e değeri) ise ~ 0 olarak belirlenmiştir (Berdyugina ve ark. 2008). Daha sonra Triaud ve ark. (2010) tarafından ışıkölçüm ve dikine hız yöntemi kullanılarak e değeri 0.0041, i açısı ise 85.51° olarak elde edilmiştir.

Çizelge-3. Uçlaşmaölçüm ile gözlenmiş Güneş Dizgesi dışı gezegenlerin uçlaşma değerleri ve gözlem araçları.

Gezegenin İsmi	Uçlaşma Derecesi	Teleskop	Uçlaşmaölçer	Kaynak
HD 189733 b	$\sim 2 \times 10^{-4}$	KVA (0.6 m)	DIPol	Berdyugina ve ark. (2008)
55 Cnc e	2.2×10^{-6}	William Herschel Teleskobu (4.2m)	PlanetPol	Lucas ve ark. (2009)
τ Boo b	5.1×10^{-6}	William Herschel Teleskobu (4.2m)	PlanetPol	Lucas ve ark. (2009)
55 Cnc b	-	William Herschel Teleskobu (4.2m)	PlanetPol	Lucas ve ark. (2009)
HD 189733 b	-	Hale Teleskobu (5 m)	POLISH	Wiktorowicz (2009)
HD 189733 b	$\sim 2 \times 10^{-4}$	Nordic Optical Teleskobu (2.5 m)	TurPol	Berdyugina ve ark. (2011)

Uçlaşmaölçüm ile gözlenen diğer Güneş Sistemi dışı gezegenler ise 55 Cnc e ve τ Boo b'dir. Gezegenlerin gözlemleri sonucunda gezegenlere ait uçlaşma değerleri elde edilmiştir. Uçlaşma verilerinden 55 Cnc e gezegeninin albedosu ve gezegenin çapı ortaya çıkartılmıştır. τ Boo b'nin ise albedosu ile ilgili bilgiler türetilmiş ayrıca gezegenin yörünge eğikliği $\sim 40^\circ$ bulunmuştur (Lucas ve ark. 2009). Brogi ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada bu değeri $44^\circ.5$ olarak güncellemişlerdir.

5. Sonuç

Her gün yeni bir Güneş Sistemi dışı gezegen keşfedilirken bir yandan da bu gezegenlere ait duyarlı gözlemlerin yapılması ve özelliklerinin saptanması da oldukça önemli hale gelmektedir. Bu açıdan bakıldığında uçlaşmaölçüm bu alana büyük katkılar sağlamakta ve gelecekte de önemli keşiflere imza atacağı beklenmektedir.

Günden güne yeni uçlaşmaölçerler tasarlanmakta ve bu alanda hem gözlemsel hem de kuramsal birçok çalışma yayınlanmaktadır. Özellikle son beş yıl içerisindeki gelişmeler bu alanın gelecekteki önemini bizlere vurgulamaktadır. Bu gelişmelerden geri kalmamak için ülkemizdeki gökbilimcilerin de bu alana eğilmesi, ortak çalışmalar yapması, çalıştaylar düzenlemesi ve bu alanda öğrenciler yetiştirmesi gerekmektedir. Birkaç yıl içerisinde yapılacak öncü atılımlarla ülkemiz de bu alanda yerini alabilir ve bilim dünyasına önemli katkılarda bulunabilir.

6. Kaynaklar

- Berdyugina, S. V., Berdyugin, A. V., Fluri, D. M., Piirola, V., 2008, ApJ, 673, 83
- Berdyugina, S. V., Berdyugin, A. V., Fluri, D. M., Piirola, V., 2011, ApJ, 728, 6
- Brogi, M., Snellen, I., de Kok, R., Albrecht, S., Birkby, J., de Mooij, E., 2012, Nature, 486, 502
- Carciofi, A. C., Magalhães, A. M., 2005, ApJ, 635, 570
- Catala, C., Donati, J. F., Shkolnik, E., Bohlender, D., Alecian, E., 2007, MNRAS, 374, 42
- Clarke, D., 2010, Stellar Polarimetry, Wiley Press, 357
- Hough, J. H., Lucas, P. W., Bailey, J. A., Tamura, M., Hirst, E., Harrison, D., Bartholomew-Biggs, M., 2006, PASP, 118, 1302
- Lucas, P. W., Hough, J. H., Bailey, J. A., Tamura, M., Hirst, E., Harrison, D., 2009, MNRAS, 393, 229
- Milone ve ark., 2009, IAU Division IX Commission 25 Stellar Photometry & Polarimetry Report of Commission 25 at XXVII IAU General Assembly, Rio de Janeiro
- Seager, S., Whitney, B. A., Sasselov, D. D., 2000, ApJ, 540, 504
- Triaud, A., Colier, C. A., Queloz, D., Anderson, D., Gillon, M., Hebb, L., Hellier, C., Loeillet, B., Maxted, P. F. L., Mayor, M., Pepe, F., Pollacco, D., Ségransan, D., Smalley, B., Udry, S., West, R. G., Wheatley, P. J., 2010, A&A, 524, 25
- Wiktorowicz, S. J., 2009, ApJ, 696, 1116