

KW Hya ve CC Tau Örtlen Çift Yıldız Sistemlerinin Yer-Uzay Tabanlı Fotometrik Analizi

İrem BEKTAŞ¹, Cenk KAYHAN²

¹Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü
²Kayseri Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü

Giriş ve Amaç

Örtlen çift yıldız sistemleri, yörünge düzlemlerinin gözlem doğrultusuna uygun olması nedeniyle bileşen yıldızların birbirlerinin önünden geçmesi sonucunda düzenli tutulmalar gösteren sistemlerdir. Bu tutulmalar sırasında sistemin gözlenen toplam parlaklığında meydana gelen değişimler, ışık eğrileri aracılığıyla incelenerek yıldızların yörünge hareketleri ve fotometrik özellikleri hakkında önemli bilgiler elde edilmesini sağlamaktadır. Özellikle minimumlarının hassas biçimde belirlenmesi, sistemlerin yörünge dönemlerinin hesaplanması ve dönem davranışlarının zaman içerisindeki değişiminin araştırılması açısından temel bir yöntemdir (**Hilditch, 2001; Southworth, 2012**).

Örtlen çift yıldızların dönem davranışlarının incelenmesinde kullanılan önemli yöntemlerden biri $O - C$ (Observed-Calculated) analizidir. Bu yöntemde gözlenen minimum zamanları ile belirlenen bir ephemeris kullanılarak hesaplanan teorik minimum zamanları arasındaki farklar değerlendirilmekte ve elde edilen değerlerin zamana veya çevrim (cycle) numarasına göre değişimi incelenmektedir. $O - C$ diyagramlarında ortaya çıkan sistematik eğilimler, yörünge dönemindeki değişimlerin yanı sıra kütle aktarımı, açılal momentum kaybı, manyetik etkinlik veya sistemde bulunabilecek üçüncü bir bileşenin ışık-zaman etkisi gibi fiziksel süreçlerin araştırılmasına olanak sağlayabilmektedir (**Sterken, 2005; Applegate, 1992**).

Bu çalışmada, KW Hya ve CC Tau örtlen çift yıldız sistemlerinin güncel fotometrik verileri kullanılarak incelenmesi amaçlanmıştır. Her iki sistem için ışık eğrileri oluşturularak tutulma minimumları belirlenmiş, minimum zamanlarından yararlanılarak yörünge dönemleri yeniden hesaplanmış ve sistemlerin dönem davranışları $O - C$ analizi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar önceki literatür çalışmalarıyla karşılaştırılarak sistemlerin güncel fotometrik ve yörüngesel özelliklerinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, KW Hya ve CC Tau örtlen çift yıldız sistemlerinin güncel fotometrik verileri kullanılarak yörünge dönemlerinin ve minimum zamanlarının yeniden belirlenmesi ve dönem davranışlarının $O - C$ analizi aracılığıyla incelenmesidir. Bu doğrultuda sistemlere ait farklı gözlem dönemlerinden elde edilen fotometrik veriler değerlendirilmiş, ışık eğrileri oluşturulmuş ve tutulma minimumları belirlenmiştir. Elde edilen minimum zamanları kullanılarak sistemlerin yörünge dönemleri yeniden hesaplanmış ve güncel ephemeris değerleri elde edilmiştir. Çalışmanın bir diğer amacı, farklı zamanlarda gerçekleştirilen gözlemlerden elde edilen minimum zamanlarını karşılaştırarak sistemlerin yörünge dönemlerinde meydana gelebilecek olası değişimleri ortaya koymaktır. Bu kapsamda oluşturulan $O - C$ diyagramları üzerinden sistemlerin dönem kararlılıkları değerlendirilmiş ve iki sistemin uzun dönemli davranışlarının birbirinden farklı olup olmadığı araştırılmıştır. Böylece KW Hya ve CC Tau sistemlerinin mevcut gözlem aralığındaki fotometrik ve yörüngesel davranışlarının karşılaştırmalı olarak ortaya konulması amaçlanmıştır.

Yöntem

Çalışmada KW Hya ve CC Tau sistemlerinin fotometrik davranışlarını incelemek amacıyla uzay ve yer tabanlı farklı gözlem kaynaklarından elde edilen veriler birlikte değerlendirilmiştir. Uzay tabanlı gözlemlerin temel kaynağını, yüksek hassasiyetli ve atmosferik etkilerden bağımsız sürekli fotometrik gözlemler sağlayan Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) verileri oluşturmıştır. KW Hya sisteminin uzun zaman ölçeğindeki fotometrik davranışının incelenebilmesi amacıyla TESS verilerine ek olarak Gaia DR3, Pan-STARRS1 (PS1) ve AAVSO veri tabanlarından elde edilen gözlemler de değerlendirilmiştir. Farklı gözlem kaynaklarının birlikte kullanılması, sistemlerin hem kısa hem de daha uzun zaman ölçeklerindeki fotometrik davranışlarının karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır. Fotometrik veriler öncelikle veri temizleme ve normalizasyon işlemlerinden geçirilmiştir. Gözlem sırasında aletsel gürültü, atmosferik koşullar ve ölçüm hataları nedeniyle oluşabilecek hatalı veya eksik veri noktaları belirlenerek veri setlerinden çıkarılmıştır. Ardından farklı gözlem kaynaklarından elde edilen verilerin ortak bir ölçek üzerinde değerlendirilebilmesi amacıyla akı değerleri normalize edilmiştir. Bu işlemlerin ardından gözlem zamanları ile normalize edilmiş parlaklık değerleri kullanılarak sistemlere ait ışık eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan ışık eğrilerinde düzenli olarak tekrarlanan parlaklık düşüşleri tutulma olayları olarak değerlendirilmiş ve en derin parlaklık düşüşü birincil minimum, daha sığ parlaklık düşüşü ise ikincil minimum olarak tanımlanmıştır. Işık eğrilerinin ayrıntılı incelenmesi sonucunda her iki sistem için kullanılabilir minimum zamanları belirlenmiş ve bu zamanlar yörünge dönemlerinin hesaplanmasında temel veri olarak kullanılmıştır.

Çizelge 1: KW Hya ve CC Tau Çift Yıldız Sistemleri İçin TESS'den kullanılan verilerin alındığı sektörlere kullanılan verinin sayısı

Çift yıldız	Sektörler	Toplam veri
KW Hya	8, 35, 61, 99	14.896
CC Tau	5, 32, 98	21.798

Temel Bulgular

KW Hya

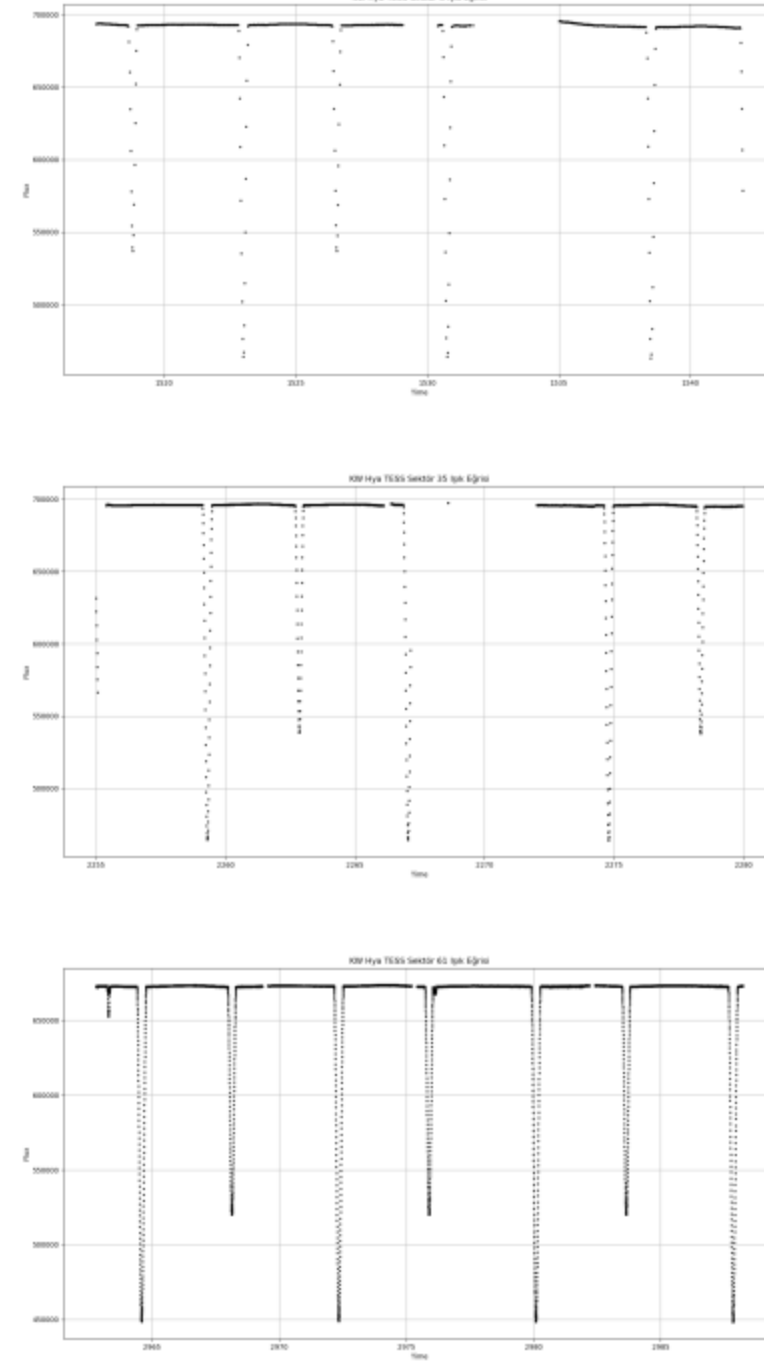
KW Hya sistemine ait TESS ve yer tabanlı fotometrik verilerin incelenmesi sonucunda, sistemin düzenli ve belirgin tutulmalar gösteren bir örtlen çift yıldız yapısına sahip olduğu görülmüştür. Farklı TESS sektörlerinden elde edilen ışık eğrileri karşılaştırıldığında birincil ve ikincil minimumların morfolojilerinin büyük ölçüde korunduğu ve tutulma derinliklerinde belirgin bir değişim meydana gelmediği belirlenmiştir. Bu durum, sistemin incelenen gözlem aralığında fotometrik açıdan oldukça kararlı bir davranış sergilediğini göstermektedir. Işık eğrilerinden belirlenen minimum zamanları kullanılarak KW Hya sisteminin yörünge dönemi yaklaşık 7,75 gün olarak hesaplanmış ve elde edilen değer literatürde verilen dönem değerleriyle uyumlu bulunmuştur. KW Hya için oluşturulan $O - C$ diyagramlarında minimum zamanlarının küçük sapmalar gösterdiği, ancak belirgin bir parabolik eğrilik veya periyodik salınım sergilemediği görülmüştür. Bu sonuç, incelenen gözlem aralığında sistemin yörünge döneminde belirgin bir değişim bulunmadığını göstermektedir.

CC Tau

CC Tau sisteminin ışık eğrileri, yalnızca tutulma anlarında meydana gelen parlaklık düşüşlerinden oluşmayan, yörünge boyunca tamamı boyunca devam eden belirgin bir fotometrik değişim göstermektedir. Bu yapı, sistemin daha kısa yörünge dönemine sahip olması ve bileşenler arasındaki etkileşimlerin fotometrik davranış üzerinde etkili olabileceğini düşündürmektedir. Analiz sonucunda CC Tau sisteminin ortalama yörünge dönemi yaklaşık 0,56052 gün olarak belirlenmiş ve bu değer literatürde verilen dönem değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. CC Tau sistemine ait $O - C$ diyagramında ise zamanla azalan belirgin ve sistematik bir eğilim gözlenmiştir. $O - C$ değerlerinin azalması, gözlenen minimum zamanlarının teorik minimum zamanlarına göre giderek daha erken gerçekleştiğini ve sistemin yörünge döneminde azalma eğilimi bulunabileceğini göstermektedir. Bu davranışın olası fiziksel açıklamaları arasında bileşenler arasındaki kütle aktarımı, açılal momentum kaybı, manyetik etkinlik ve sistemde bulunabilecek üçüncü bir bileşenin ışık-zaman etkisi değerlendirilebilir.

Işık Eğrileri ve Dönem Analizi

Grafik 1: KW Hya Tüm Sektörler Işık Eğrisi

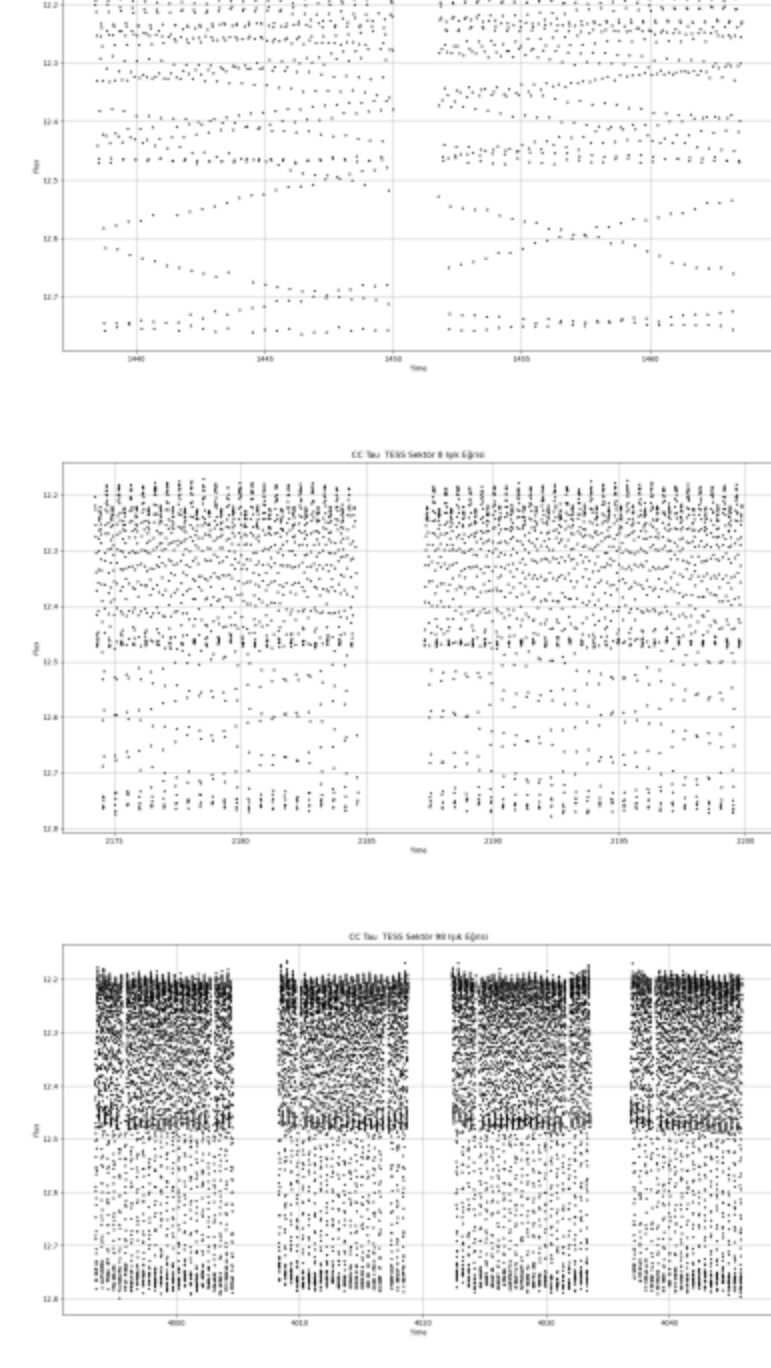


KW Hya

$P \approx 7,75$ gün

Düzenli ve derin tutulmalar; ayrık yapıda kararlı sistem.

Grafik 2: CC Tau Tüm Sektörler Işık Eğrisi



CC Tau

$P \approx 0,56$ gün

Yörünge boyunca sürekli parlaklık değişimi; yakın etkileşimli yapı

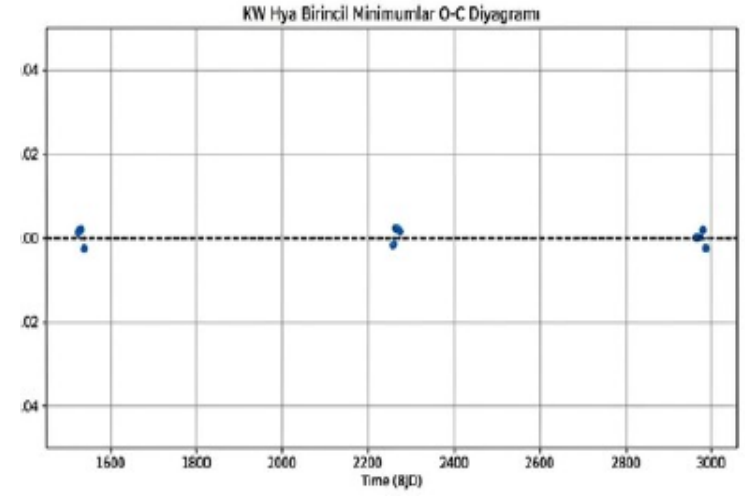
O-C Diyagramları

Gözlenen minimum zamanları ile belirlenen ardışık minimum zamanları arasındaki zaman farklarından yararlanılarak sistemlerin yörünge dönemleri yeniden hesaplanmıştır. Ayrıca farklı gözlem dönemlerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak dönem değerlerinin zaman içerisindeki değişimi değerlendirilmiştir. Sistemlerin farklı zamanlarda elde edilen gözlemlerinin ortak bir yörünge çevrimi üzerinde incelenebilmesi amacıyla faz hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve böylece periyodik fotometrik davranış daha belirgin hâle getirilmiştir. $O - C$ analizinde ise öncelikle referans minimum zamanı ve yörünge dönemi kullanılarak teorik minimum zamanları hesaplanmış, daha sonra gözlenen minimum zamanları ile teorik minimum zamanları arasındaki farklar

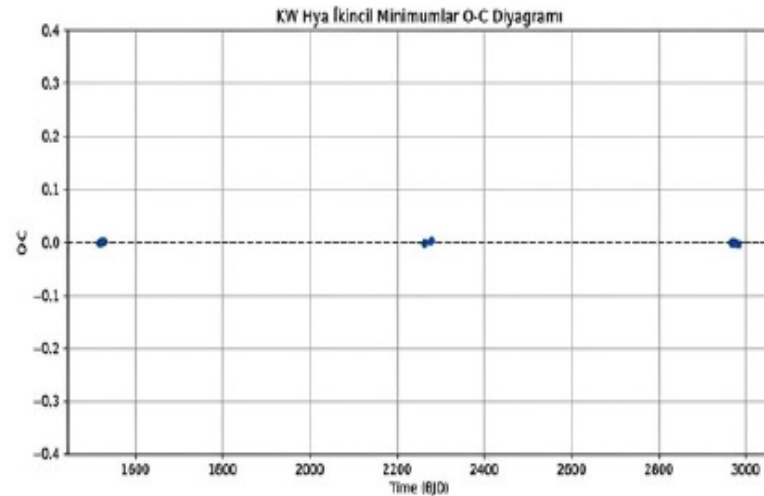
$$O - C = t_{obs} - t_c$$

bağıntısı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen $O - C$ değerleri çevrim numaralarına göre grafiğe aktarılmış ve ortaya çıkan dağılımlar sistemlerin dönem kararlılığı ve olası dönem değişimleri açısından değerlendirilmiştir. KW Hya'da $O - C$ dağılımı kararlı yapı gösterirken, CC Tau'da zamanla azalan belirgin bir eğilim görülmektedir.

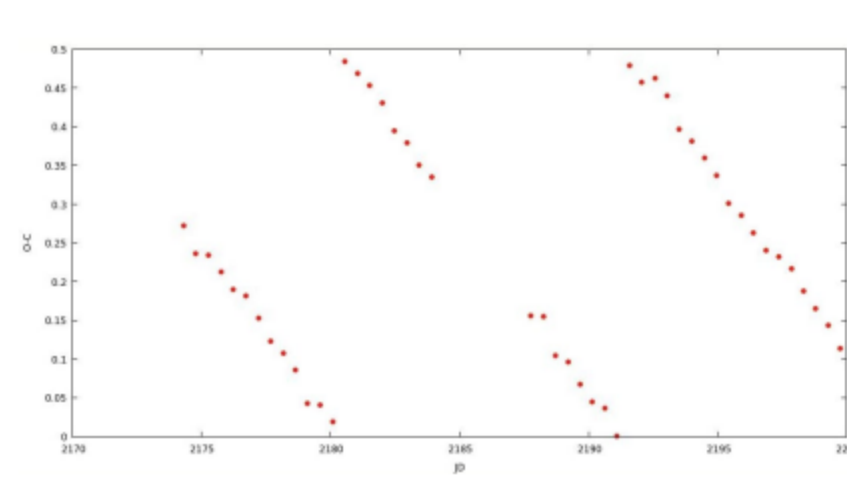
Grafik : KW Hya Birincil Minimumlar için O-C Diyagramı



Grafik 5: KW Hya İkincil Minimumlar için O-C Diyagramı



Grafik 6: CC Tau Tüm Minimumlar için O-C Diyagramı



Sonuç

Bu çalışmada KW Hya ve CC Tau örtlen çift yıldız sistemleri, güncel yer ve uzay tabanlı fotometrik verileri kullanılarak incelenmiş; sistemlere ait ışık eğrileri oluşturulmuş, tutulma minimumları belirlenmiş, yörünge dönemleri yeniden hesaplanmış ve $O - C$ analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, iki sistemin fotometrik ve yörüngesel davranışlarının birbirinden belirgin biçimde farklı olduğunu ortaya koymuştur.

KW Hya sisteminde düzenli ve derin tutulmaların farklı gözlem dönemlerinde büyük ölçüde benzer özelliklerini koruduğu ve yörünge döneminin yaklaşık 7,75 gün olduğu belirlenmiştir. $O - C$ diyagramında belirgin bir dönem değişiminin bulunmaması, sistemin incelenen gözlem aralığında kararlı bir yörünge davranışı sergilediğini göstermektedir. Bununla birlikte, sistemin uzun dönemli evrimsel davranışının daha güvenilir biçimde belirlenebilmesi için daha fazla minimum zamanının analize dahil edilmesi gerekmektedir.

CC Tau sisteminde ise yaklaşık 0,56 günlük kısa yörünge döneminin yanı sıra yörünge boyunca tamamına yayılan sürekli parlaklık değişimleri ve $O - C$ diyagramında zamanla azalan sistematik bir eğilim belirlenmiştir. Bu eğilim, sistemin yörünge döneminde bir azalma olabileceğine işaret etmekte; ancak söz konusu değişimin fiziksel mekanizmasının kesin olarak belirlenebilmesi için daha uzun zaman tabanına ihtiyaç duyulmaktadır. Genel olarak sonuçlar, KW Hya'nın mevcut veriler kapsamında daha kararlı ve ayrık bir sistem, CC Tau'nun ise dönem değişimine açık daha dinamik bir sistem olduğunu göstermektedir.

Teşekkür: Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi ve tez sürecinin tamamlanması boyunca bilgi, deneyim ve değerli görüşleriyle bana rehberlik eden ve akademik katkılarıyla çalışmanın geliştirilmesine destek olan Öğr. Gör. Dr. Cenk Kayhan'a teşekkür ederim. Ayrıca çalışma sürecinde bilgi ve deneyimleriyle katkı sağlayan Erciyes Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü öğretim üyelerine, akademik süreç boyunca desteklerini esirgemeyen arkadaşlarıma ve eğitim hayatım boyunca yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.