

AÇIK KÜMELERDEKİ ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN ÖZELLİKLERİNDEN YILDIZ EVRİMİNE İLİŞKİN ÇIKARIMLAR

Eren Ozan CANPOLAT¹, İhsan DÜNDAR¹, Mutlu YILDIZ¹

Özet

Yıldızların kütle, yarıçap ve ışınım gücü gibi temel parametrelerinin en hassas belirlendiği sistemler örten çift yıldız sistemleridir. Yıldızların yaşının hassas bir şekilde belirlenmesi ise, özel durumlar dışında, küme üyesi yıldızlar için söz konusudur. Farklı yaşlara sahip açık küme üyesi örten çiftler incelenerek yıldızların gözlenen özelliklerinin zamanla bir değişim gösterip göstermediği araştırmaya değer bir konudur. Böylece modellerin ön görümlerini test etme olanağı sağlanmış olur. Biz, bu çalışmada, açık küme üyesi olan 16 örten çift yıldız sistemini inceledik. Bu çift yıldızların temel özellikleri gözlemlerden iyi bir şekilde belirlenmiştir. Literatürden elde edilen veriler kullanılarak, ilk kez, yıldızların ışınım gücü ve yarıçapının zamana göre değişimleri ile ilgili ampirik sonuçlar elde ettik.

Anahtar Kelimeler: Açık kümeler, Örten çift yıldızlar, Yarıçap, Kütle, Işınım gücü

Abstract

Eclipsing binary systems which is determined basic star parameters, like mass, radius and luminosity, carefully. As for determining age of stars with sensitiveness, except peculiar situation, are only mentioned stars which are the members of open clusters. Eclipsing binary stars in open clusters having different age is one of the most popular studies in terms of variations of their observing features with time. So, prescience's of models can be tested. In this work, we investigated 16 eclipsing binary systems in open clusters. Basic features of these binary stars have been resolved well. Obtaining knowledges from literature have been used and obtained ampirik results, first time, on variations of luminosity and radius in stars with time.

Key Words: Open Cluster, Eclipsing binary stars, Radius, Mass, Luminosity

1.Giriş

Evrende bulunan ağır elementlerin büyük çoğunluğunun, yıldızların oluşumu ve evrimi sırasında sentezlenerek dış uzaya dağıtıldığı düşünülmektedir. Evrendeki yıldızların çoğu evrimlerinin farklı evrelerinde olduklarından, bize farklı bilgiler verirler.

Yıldızların yapısını şekillendiren etkenler vardır. Kütle bunlardan en önemlisidir. Yıldızın yarıçapı, kimyasal birleşimi ve dönmesi de diğer faktörler olarak sıralanabilirler. Aynı yaşa ve kimyasal kompozisyona sahip yıldızların kütlelerinin evrime nasıl etki ettiğini ve yıldız yapılarının zamanla nasıl değiştiğini yıldız kümelerinden hareketle bulabiliriz.

Astrofizikçilerin kütlelerini ve diğer önemli parametrelerini en iyi hesapladığı yıldızlar, güneş dışında örten çift yıldızlardır. Toplam parlaklıklarının tutulmalar sonucunda sistematik

¹ Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, erenozan@gmail.com, ihsan3674_dndr@hotmail.com, mutlu.yildiz@ege.edu.tr

bir şekilde azalması ile oluşacak ışık değişimlerinden yola çıkarak örten çift yıldızların yarıçaplarına ve ısıtma oranlarına ilişkin çok duyarlı bilgiler elde edilebilir. Bu yüzden Açık küme üyesi örten çift yıldızlar incelenerek kimyasal kompozisyonu, yaşı, uzaklığı aynı olan yıldızların kütle gibi önemli parametreleri yüksek hassasiyet ile bulunarak yıldızların içyapıları ve evrimleri konusunda önemli bulgulara ulaşabiliriz.

Biz bu çalışmada açık küme üyesi olan örten çift yıldızların özelliklerini araştırdık. Bunun içinde iyi analiz edilmiş 11 tane açık küme üyesi örten çift yıldız üzerinde çalıştık. Sonuçta ışınım gücü ve yarı çapın zamana göre değişimleri ile ilgili amprik sonuçlara vardık.

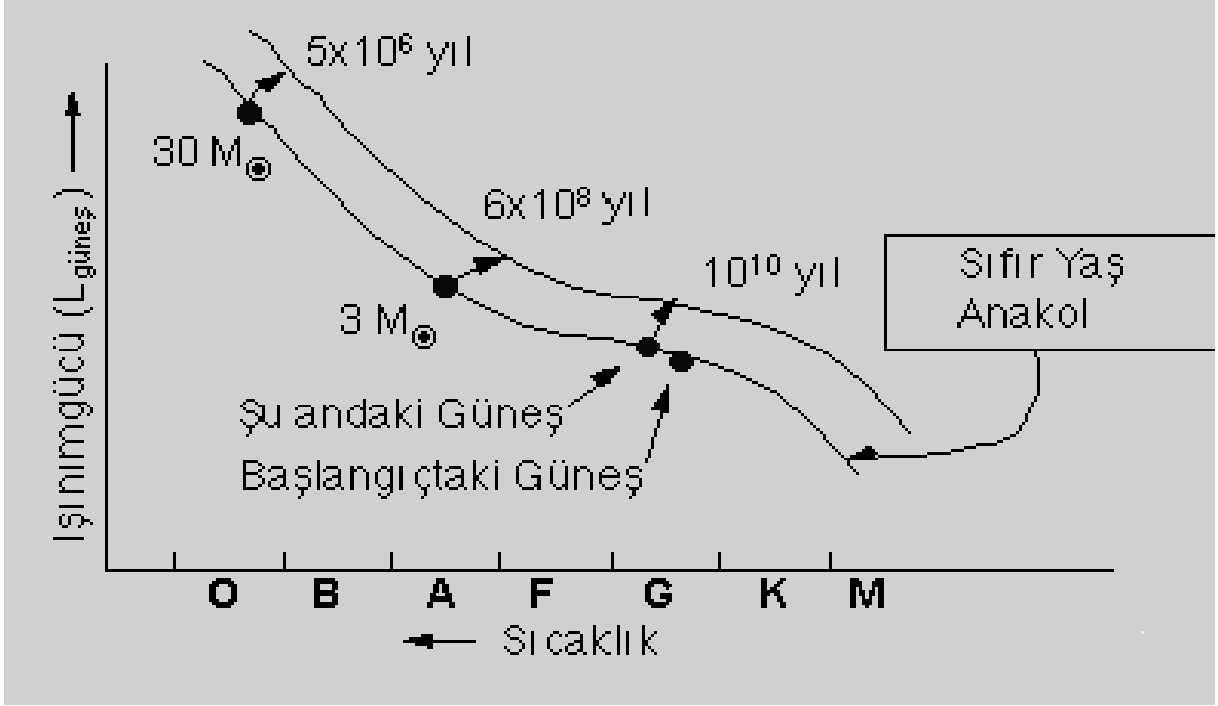
2. Yıldızların Yaşamlarını Etkileyen Temel Parametreler

Yıldızlar, moleküler bulut dediğimiz gaz ve toz parçacıklarından oluşan yıldızlar arası ortamda oluşurlar. Moleküler bulutlar bu ortamdaki herhangi bir tetikleme sonucu çöker veya büzülürler. Tetiklemenin olabilmesi için en azından $10^4 m_{\odot}$ miktarında kütlelerin toplanmış olması gerekir. Buna “Jeans Kararsızlık Kriteri” denir. Biriken madde çekimsel güç ile büzülürken sıkışan gaz parçacıkları birbiri ile çarpışıp hızlanır ve sıcaklığı artırırlar. Maddenin sıcaklığı arttıkça iç basınçta artacaktır. İşte yıldızın yaşamındaki 2 önemli kuvvet ortaya çıkar. Böylece ön yıldız oluşur. Yıldız bu aşamada çekim ve basınç kuvvetlerini dengelemeye çalışır. Geçirdiği büzülme ve çeşitli patlamalar gibi kararsızlıklardan sonra yıldız hidrostatik dengeye ulaşır ve anakol yaşamı başlar.

Bir yıldızın anakoldaki yaşam süresi büyük oranda kütlesi ile ilişkilidir. Büyük kütleli yıldızlar küçük kütleli yıldızlara göre daha hızlı evrimleşerek anakoldan ayrılırlar. Bunun nedeni nükleer tepkimelerin hızıdır. Nükleer tepkimelerin hızı sıcaklığa çok duyarlıdır. Büyük kütleli yıldızlarda yıldız çökerken daha fazla enerji depo eder ve merkezdeki sıcaklıkları çok daha fazladır. Bu yüzden küçük kütleli yıldızlara nazaran daha çabuk ömürlerini tüketirler. Ayrıca büyük kütleli yıldızların ısıtmaları da daha büyük olduğundan anakolun üst kısımlarında yer alırlar. Küçük kütleli yıldızlara doğru gidildikçe ısıtma azalır. Bu demektir ki anakolda aşağılara gidildikçe kütle azalır. Şekil 2.1’de anakola ilişkin bir örnek verilmiştir.

Yıldızların iç yapılarını etkileyen bir diğer parametrede yarıçaptır. Yarıçap büyüdükçe yıldızlarda cm^3 ’e düşen parçacık sayısı azaldığı için, fotonların yıldız maddesi ile etkileşmeden gidebilecekleri, fotonların serbest yolu, artar. Serbest yol arttığında ise enerji daha çabuk yıldızı terk eder ve yıldız ömrünü çabuk yaşar.

Diğer bir faktörde yıldızın yaşı hakkında önemli bilgiler elde edebileceğimiz kimyasal karışımdır. Evriminin ilk basamaklarında merkezindeki Hidrojeni Helyuma çevirip enerji üreten yıldız, yeterli kütlesi kalırsa merkezde Helyum yakıp C,N,O üretir. Yine yeterli kütlesi kalırsa demir grubuna kadar olan ağır elementleri de yakabilir.[1][2]



Şekil 2.1: Şekilde farklı kütlelere sahip yıldızların evrim yolları gösterilmiştir.

3. Veri Kaynağı Olarak Yıldız Kümeleri

Yıldız kümelerinin üyeleri uzayda bir bölgede toplanmış halde bulunan gaz kümelerinden aynı zamanlarda oluşur. Yıldız kümeleri yapıları ve yaşları itibari ile iki ana grupta incelenir:

- Açık yıldız kümeleri (galaktik kümeler)
- Küresel yıldız kümeleri

Görünümleri küresel yapıda ve oldukça düzgün olan içerisinde yüz bin ile bir milyon arasında yıldız bulunduran kümelere küresel yıldız kümeleri diyoruz. Üzerinde duracağımız açık yıldız kümeleri ise birbirine kütle çekimi ile bağlı aynı bulutsudan aynı zamanlarda oluşmuş yıldızlardan meydana gelir. Açık yıldız kümelerinde yıldız sayıları onlardan yüzlere kadar değişebilir. Çoğunlukla yıldızları tek tek ayırt edilebilmektedir. Ayrıca bu yıldızlar kimyasal olarak incelendiğinde ikinci nesil olan öbek-I yıldızları oldukları görülür.

Öz hareket çalışmalarından elde edilen sonuçlar tüm küme elemanlarının bir noktaya göre hareket ettiklerini gösterir. Küme yıldızlarının dikine hız ölçümleri yapılarak bu noktanın yeri birkaç açık kümenin uzaklığının saptanmasını sağlamıştır.

Bilinen açık yıldız kümelerinin sayısı 500 civarındadır. 1kpc yarıçap içinde 187 küme olduğuna göre gökadamızın yarıçapı olan 12kpc içinde 27000 dolayında açık yıldız kümesi olmalıdır.

Bir açık kümedeki yıldızların kökeni ortaktır. Dolayısıyla bu yıldızların kimyasal karışımlarını da ortak kabul etmek yerinde olur. Açık kümelerin yaşları bulunurken küme üyeleri içinde en büyük kütleli yıldızın yaşı kullanılır. Küme üyelerinin yaklaşık aynı zamanda oluştuğu düşünülürse tüm yıldızların yaşları birbirine yakın kabul edilebilir ve farklı özelliklere sahip aynı yaştaki yıldızlar incelenir. Bu yüzden açık kümelerin astrofiziksel araştırmalarda rolü büyüktür. [1][2]

4. Veri Kaynağı Olarak Çift Yıldızlar

Yıldızların yapısına ve evrimine ilişkin ayrıntılı bilgi elde edebilmemiz, yıldızın kütle, yarıçap, ışınım gücü, kimyasal kompozisyon ve yaş gibi temel parametrelerinin duyarlı bir

şekilde belirlenmesine bağlıdır. Güneşten sonra bu parametreleri en iyi belirleyebildiğimiz yıldızlar çift yıldız üyeleridir. Çift Yıldızlar ortak kütle merkezi etrafında Kepler Kanunlarına uygun biçimde dolanım yaparlar. Gözlenme şekillerine göre 3 tür çift yıldız vardır.

- Görsel çift yıldızlar
- Tayfsal çift yıldızlar
- Örten çift yıldızlar

Çift yıldızların her türü için ayrı analiz yöntemleri vardır. Ancak örten çift yıldızlarda ışıma ve yarıçap oranları çok hassas olarak belirlenebildiğinden bu sistemler daha özeldir. Astrofiziksel anlamda güneş dışında en geniş ve doğru bilgiyi örten çift yıldızlardan elde ederiz.

Örten çift yıldızlarda üyelerin periyodik olarak birbirini örtmesi sonucu sistemin toplam parlaklığında azalmalar oluşur. Bir çift sistemin örten çift olabilmesi için i açısı dediğimiz yörünge düzlemi ile gökyüzü düzlemi arasındaki açının en az 75° veya daha büyük olması gerekir. Öte yandan çok yakın yıldız sistemlerinde küçük i değerlerinde de tutulma gözlemlenebilir. Ancak ideal olan i açısının 90° olduğu durumdur.

Çift yıldız üyelerinin kütleleri, ortak kütle merkezi etrafında dairesel dolanma hareketi yapan iki cisim için kullanılan,

$$M_1 \cdot r_1 = M_2 \cdot r_2 \quad (4.1)$$

bağıntısı ile bulunabilir. Bu denklemde M_1, M_2 cisimlerin kütleleri ve r_1, r_2 de kütle merkezinden uzaklıklarıdır. Eliptik yörüngeler için r_1, r_2 kütle merkezinden uzaklıklar yerine bileşenlerinin her birinin eliptik yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğu olan a_1, a_2 kullanılabilir. Bu bağıntı kullanılarak kütleler oranı tespit edilir. Ancak bazı durumlarda kütle merkezinden uzaklıklar veya yarı büyük eksen uzunlukları ölçülemeyebilir bu durumda Doppler formülünden yararlanılarak yıldızların hızları bulunup,

$$M_1 \cdot v_1 = M_2 \cdot v_2 \quad (4.2)$$

Denkleminde yazılarak kütleler oranına ulaşılabilir. Bununla birlikte Kepler'in 3. yasası olarak bilinen

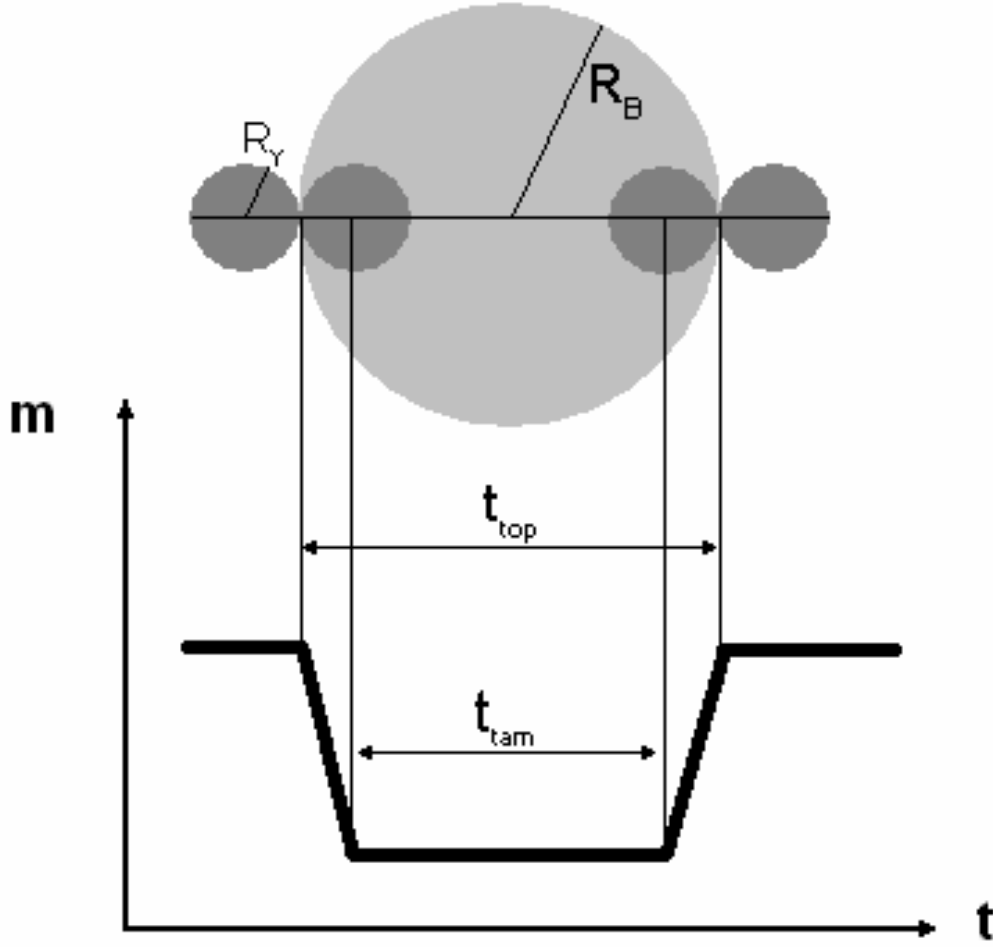
$$M_1 + M_2 = \frac{4\pi^2}{G} \frac{(r_1 + r_2)^3}{P^2} \quad (4.3)$$

Denklemini kullanarak bileşenlerin kütlelerinin toplamı elde edilebilir. Bu denklemde uzaklıklar Astronomi Birimi, kütleler güneş kütlesi cinsinden ve zaman birimini de yıl olarak kullanırsak denklem,

$$M_1 + M_2 = \frac{(r_1 + r_2)^3}{P^2} \quad (4.4)$$

Halini alır. Görsel ve örten çiftlerde gerekli tüm bilgiler elde edildiğinden kütleler hesaplanabilir. Bununla birlikte tayfsal çiftlerde i açısını tespit etmek mümkün olmadığı için kütlelerin i açısına bağlı olarak elde edildiğini söylemekte fayda var.

Bir değişen yıldızın ya da yıldız sisteminin bir dönemlik parlaklık değişimini gösteren eğriye ışık eğrisi diyoruz. Bu eğrilerin incelenmesi ile örten çift üyesi yıldızların yarıçapları ve yüzey parlaklıkları oranı duyarlı bir şekilde hesaplanabilir. Bunu Şekil 4.1'de gösterilen tam tutulma örneğinde B başyıldızı ve onun etrafında dolaşan Y yoldaşı yıldızı ile görebiliriz. [13][14]



Şekil 4.1: Tutulmanın geometrisi ile tutulma süresi boyunca zamanın fonksiyonu olarak ışık eğrisi (çizim ölçekli değildir).

r , Y yıldızının yörünge yarıçapı olmak üzere bu yıldızın yörünge hızının,

$$v = \frac{2\pi r}{P} \quad (4.5)$$

olduğu açıktır. Yıldızın, toplam tutulma süresince iki yıldızın çapları toplamı kadar mesafeyi bu hızda geçeceğini düşünürsek buradan,

$$v = \frac{2(R_Y + R_B)}{t_{top}} \quad (4.6)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu iki bağıntıdan yola çıkarak;

$$\frac{t_{top}}{P} = \frac{2(R_Y + R_B)}{2\pi r} \quad (4.7)$$

bulunur. Burada R_Y ve R_B yıldızların yarıçapları t_{top} ise toplam tutulma süresidir. Benzer şekilde tam tutulma süresi t_{tam} da

$$\frac{t_{tam}}{P} = \frac{2(R_B - R_Y)}{2\pi r} \quad (4.8)$$

şeklinde yazılabilir. Son iki bağıntı kullanılarak sistemdeki yıldızların yarıçaplarını hesaplayabileceğimize,

$$\frac{(t_{top} - t_{tam})}{P} = \frac{4R_Y}{2\pi r} \quad , \quad \frac{(t_{top} + t_{tam})}{P} = \frac{4R_B}{2\pi r} \quad (4.9)$$

bağıntıları elde edilir.

Örten çift yıldızların ışık eğrileri ve yüzey parlaklıkları arasındaki ilişki oldukça basittir. Sıcak yıldız örtüldüğünde oluşan minimum daha derin olacaktır. Buradan yıldızların ışınım yeğinliklerinin toplam ışınım yeğinliğine katkısı,

$$\frac{I_{max} - I_{YB}}{I_{max} - I_{BY}} = \frac{F_Y}{F_B} = \frac{\sigma T_{eY}^4}{\sigma T_{eB}^4} \quad (4.10)$$

şeklinde gösterilir. Burada birinci tutulma sırasındaki minimum yeğinlik I_{BY} ikinci de I_{YB} dir. I_{max} ise iki yıldızın toplam ışınım yeğinliği, T_{eY}, T_{eB} etkin sıcaklıklar olmakla birlikte σ Boltzmann sabitidir.

Örten çift yıldızlar aynı zamanda tayfsal çift yıldızlar olduğundan dikine hız eğrilerinin analizinden kütleleri, ışık eğrilerinin analizinden de yarıçapları ve etkin sıcaklıkları hesaplanır. Böylece bu yıldızların evrimlerini etkileyen temel parametreler hakkında geniş çapta bilgi elde etmiş oluruz. [1][2]

5. Açık Kümelerdeki Gözlemsel Olarak İyi Bilinen Örten Çift Yıldızlar

Astrofizikte yıldız yapısına dair yapılan araştırmalar için hem açık yıldız kümelerinin hem de örten çiftlerin ne denli önemli olduğunu daha önceki bölümlerde belirttik. Açık yıldız kümelerindeki yıldızların uzaklıkları ile kimyasal bileşimlerinin ortak kabul edilmesi ve yaşlarının aynı olması bilimsel çalışmalarda önemli avantajlardır. Çünkü ölçümlerde olabilecek sistematik hatalar yıldızların tamamında aynı olur ve bu nedenle hatanın çalışmaya etkisi en aza iner. Örten çiftler de ise yarıçap ısıtma oranı ve kütleler çok hassas biçimde ölçülebilir. Açık yıldız kümelerinin içinde bulunan örten çift yıldızların kimyasal kompozisyonları ve uzaklıkları iyi biliniyorsa kütleleri, yarıçap oranları ve ısıtma oranları çok yüksek duyarlılıkla ölçülerek yıldızların yaşamları konusunda yorum yapılabilir. Son yıllarda yapılan gözlemlerde açık kümelerdeki örten çiftlerin gözlemlerine yönelik çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Bizim bu çalışmada ki amacımız yıldızların yapısının zamana göre nasıl değiştiğine yani evrimleştiğine ilişkin ortak somut gözlemsel veriler elde etmektir. Tablo 5.1a ve 5.1b'de bu araştırmada incelenen 16 çift yıldız sisteminden temel özellikleri iyi derlenen 11 tanesi sunulmaktadır. Geri kalan 5 çift yıldız sisteminin temel özelliklerini inceleyen kaynaklardan yeterli dataları elde edemediğimiz için elemek zorunda kaldık.

Yıldız İsmi (A-B)	Küme	Yıldız İsmi (A-B)	Küme
V 621 Per A	NGC 884	V 906 Sco A	NGC 6475
V 621 Per B	NGC 884	V 906 Sco B	NGC 6475
V 615 Per A	NGC 869	V 497 Cep A	NGC 7160
V 615 Per B	NGC 869	V 497 Cep B	NGC 7160
V 618 Per A	NGC 869	HD 92024 A	NGC 3293
V 618 Per B	NGC 869	HD 92024 B	NGC 3293
V 453 Cyg A	NGC 6871	V 392 Car A	NGC 2516
V 453 Cyg B	NGC 6871	V 392 Car B	NGC 2516
HD 23642 A	Pleiades	DS AND A	NGC 752
HD 23642 B	Pleiades	DS AND B	NGC 752
V 578 Mon A	NGC 2244		
V 578 Mon B	NGC 2244		

Tablo 5.1.a: Dataları iyi belirlenmiş açık küme üyesi 11 örtün çift yıldız sistemi gösterilmiştir [3][4][5][6][7][8][9][10][11][12][13].

6.Bulgular

Açık kümelerdeki örtün çift yıldızlara ilişkin çalışmalarda, sistemler bir arada incelenerek önemli sonuçlar elde edilebilir. Buradan yola çıkacak olursak bu 11 sisteminin bize verdiği bilgilere bakalım.

Yıldızların zamanla değişimi ve yapılarını iyi anlamak için ışınımgücü–sıcaklık grafiğini çizmek iyi olacaktır. Şekilde 6.1’de görüldüğü gibi sistemlerin üyeleri ya anakol yıldızları ya da anakola çok yakın yıldızlardır. Kıyaslama amacıyla temel özellikleri en iyi bilinen örtün çift yıldızların bileşenleri de bu şekilde sunulmuştur.

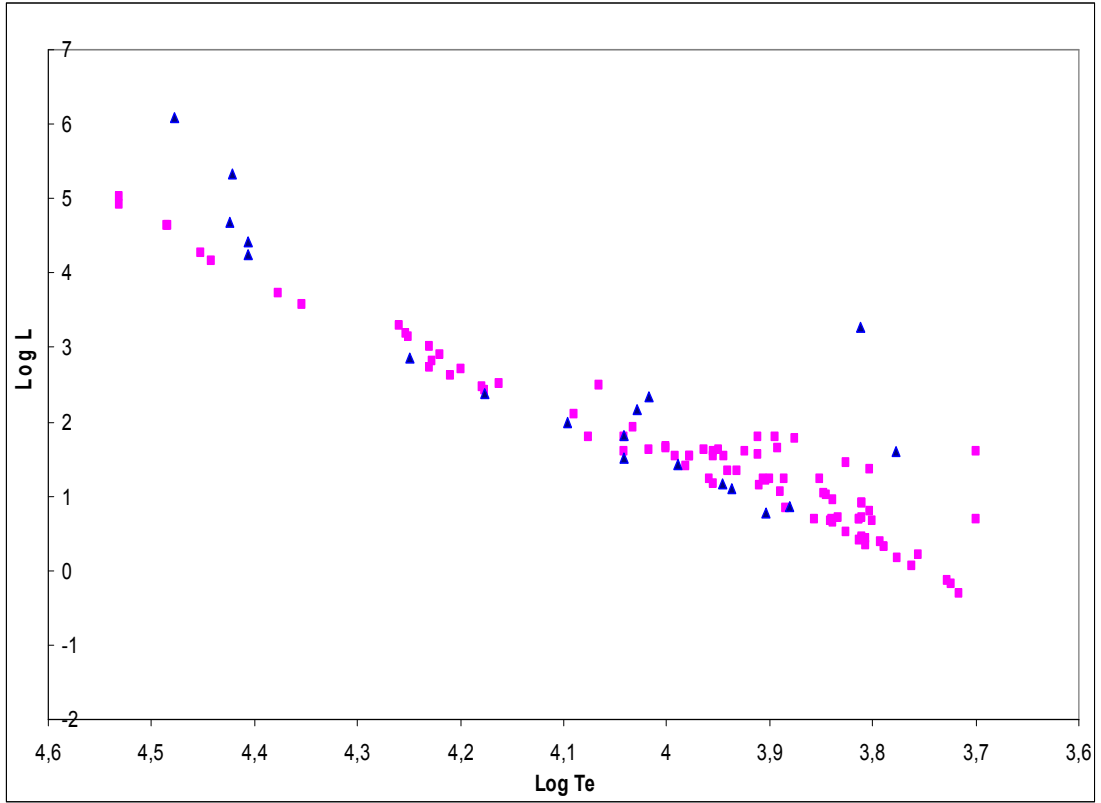
Bu yıldızların kütleleri ile ışınım güçleri arasındaki bağıntının nasıl olduğu Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Yıldızlar anakol ve benzeri olduğundan bu bağıntının

$$L \propto M^{3,4-4,0}$$

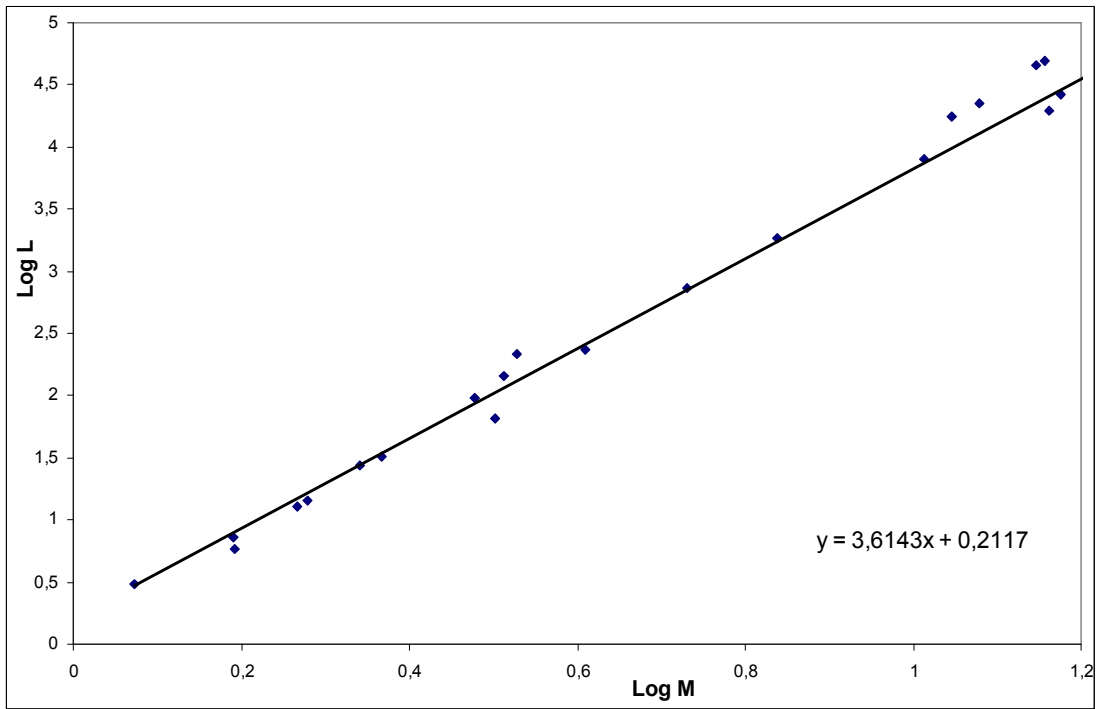
civarında çıkması beklenir. Burada L ısıtma gücü, M ise kütedir. Şekil 6.2’deki eğrinin eğimi bize ısıtma gücünün kütlelerin hangi kuvveti ile değiştiğini gösterir. Bizim grafiğimizde ki doğrunun eğimi 3,61 dir. Bu durumda ısıtma gücü ve kütle arasında ki bağıntının

$$L \propto M^{3,61}$$

olduğu görülür.



Şekil 6.1: Yıldızların ışınım gücü ve etkin sıcaklıkları arasındaki bağıntı. Mavi renkle gösterilen yıldızlar bu çalışmada kullanılan açık küme üyesi çift yıldızların üyesidir. Pembe renkli yıldızlar ise temel özellikleri en iyi bilinen örten çift yıldızların bileşenleridir (Andersen 1991).



Şekil 6.2: Bu çalışmada kullanılan yıldızların kütle ve ışınım güçleri arasındaki ilişki.

Buradan yola çıkarak yıldızların ısıtma güçlerinin zamana göre grafiğini çizelim. Şekil 6.3'te ısıtma güçlerinin zamana göre grafiği gösterilmiştir. Araştırmada kullandığımız

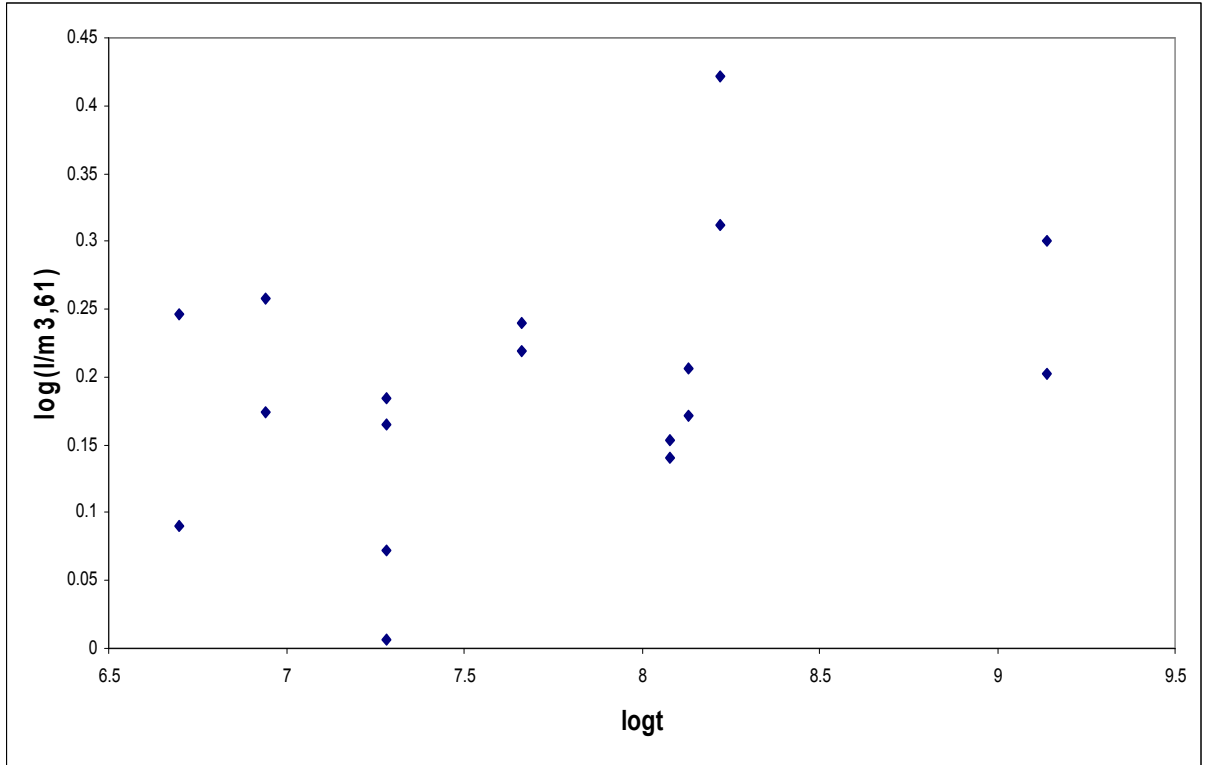
yıldızların ışınlam güçleri birbirinden çok farklı olduklarından ve her birini tek bir grafikte göstermemiz olanaklı olmadığından, doğrudan ışıtmalar yerine bir oran kullanmak daha anlamlı olacaktır.

$$\log(L/M^{3,61})$$

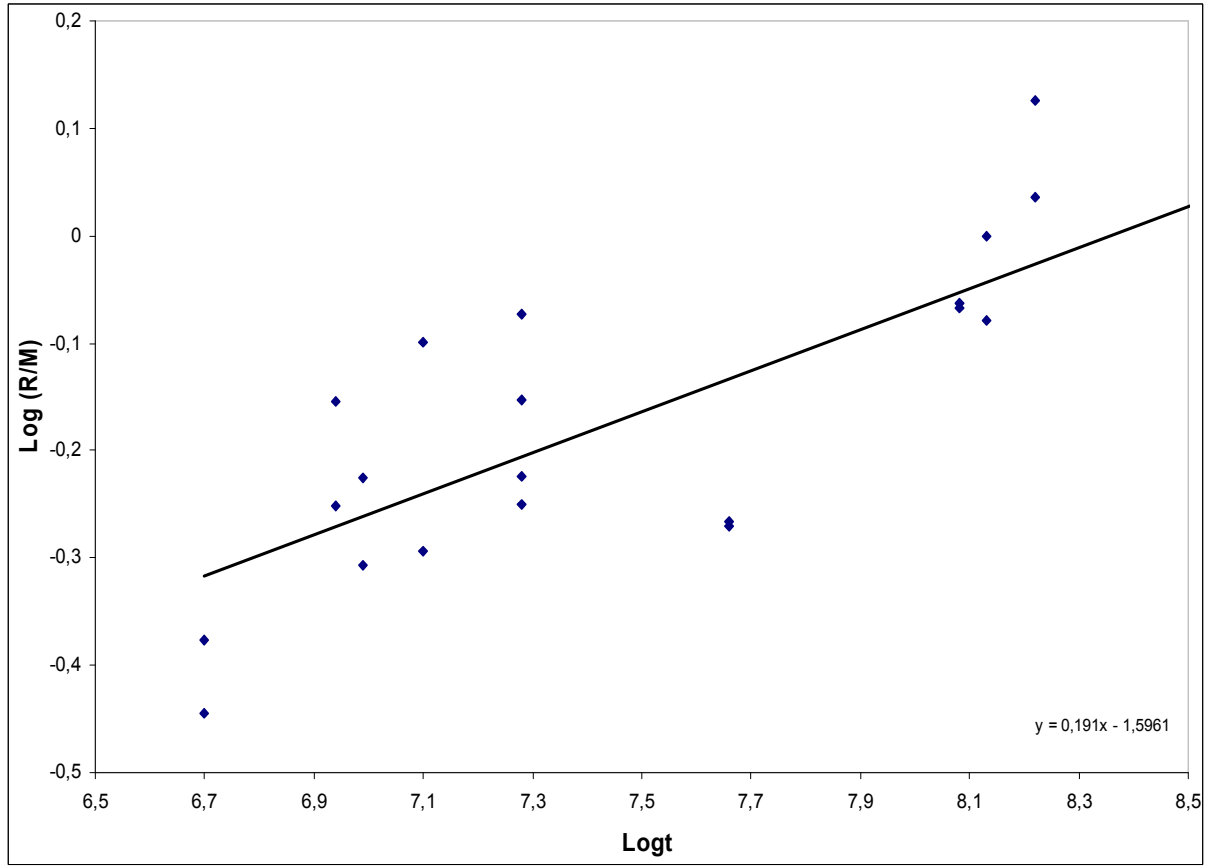
Şekil 6.3'te incelenen yıldızlar için elde edilen bu oran, üyesi olunan açık kümelerin yaşlarına göre çizilmiştir. Açık kümelerin yaşları, *Kharchenko ve ark. (2005)* [14] tarafından eşzaman çizgilerine başvurularak elde edilmiştir. Yaşların tümü özellikle tek bir kaynaktan alınmıştır. Çünkü, bu şekilde eğer sistematik bir hata var ise bu hatanın tüm yıldızlar için geçerli olacağından ışınlam gücü-zaman ilişkisi de nitelikçe değişmez.

Şekil 6.3'ten yıldızların ışıtmalarının zamanla arttığı açıkça görülmektedir. Bu ilişki kütle ışılgücü ilişkisinin zamanla nasıl arttığını belirtmektedir. Gerek ölçümden kaynaklı verilerdeki saçılmalar, gerekse tek tek yıldızların dönme ve kimyasal kompozisyonlarının birbirinden farklı olmasından dolayı, ilişkinin bir bant şeklinde olmasını beklemek gerekir. Önemli olan, tek tek yıldızların modellerine başvurmadan, yıldızların gözlemsel ışınlam gücü ve üyesi olduğu kümenin yaşı arasında ilişki ortaya çıkmasıdır.

Bundan sonraki adım da ise yıldızların yarıçaplarının zamanla nasıl değiştiğine Şekil 6.4'te bakalım. Bunun için yıldızların kütle yarıçap oranını kümelerin yaşlarına karşı noktalayalım.



Şekil 6.3: Zamana karşı ışınlam gücü ilişkisi.



Şekil 6.4: Yıldızların kütle yarıçap oranının zamana göre değişimi.

Buradan da benzer bir ilişki elde ederiz. Yine yarıçap kütle oranının zamanla arttığı görülür. Burada noktaları temsil eden eğriyi çizerek bir denklem ile ifade edersek;

$$\log\left(\frac{R}{M}\right) = 0,191 \log t - 1,5961$$

eşitliğini buluruz. Burada R yarıçap, M kütle ve t ise yaş olarak ifade edilmiştir.

7.Sonuç

Çift yıldızların özellikleri gözlemsel olarak çok iyi belirlenir. Bu yıldızlar özellikle açık küme üyesi olduğunda çok net bilgiler elde edilebilir. Biz de çalışmamızda uzaklıkları ve yaşları iyi belirlenmiş açık kümelerdeki örten çiftleri seçtik. Gözlemlere dayanan çalışmalardan yararlandığımız incelememizde, açık küme üyesi örten çift yıldızların ışınım gücü, yarıçap gibi temel özelliklerinin zamana göre nasıl değiştiğini modele başvurmadan elde ettik. Yıldızların yaşı ise üyesi olduğu açık kümeler için *Kharchenko ve ark.* [14] tarafından eş zaman çizgilerine başvurarak elde edilmiştir.

Elde ettiğimiz bu sonuç, bir bakıma, kütle-ışınım gücü ya da kütle-yarıçap ilişkisinin zamana bağımlılığını ifade etmektedir ve bildiğimiz kadarıyla ilk kez yarı-ampirik böyle sonuçlar elde edilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Böhm-Vitense, E., İbanoğlu, C., (1989), “*Yıldız Astrofiziğine Giriş Cilt 1: Temel Yıldız Gözlemleri ve Verileri*”, Ege Üniversitesi Basım Evi Bornova-İzmir, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları No:154
- [2] Böhm-Vitense, E., İbanoğlu, C., (1992), “*Yıldız Astrofiziğine Giriş Cilt 3: Yıldız Yapısı ve Gelişimi*”, Ege Üniversitesi Basım Evi Bornova-İzmir, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları No:156

- [3] Southworth, J., Zucker, S., Maxted, P.F.L., Smalley, B., (2004), “Eclipsing binaries in open clusters. III. V621 Per in chi Persei”, <http://xxx.lanl.gov/pdf/astro-ph/0409281>
- [4][5] Southworth, J., Maxted, P.F.L., Smalley, B., (2004), “Eclipsing binaries in open clusters. I. V615 Per and V618 Per in h Per”, <http://xxx.lanl.gov/pdf/astro-ph/0312242>
- [6] Southworth, J., Maxted, P.F.L., Smalley, B., (2004), “Eclipsing binaries in open clusters. II. V453 Cyg in NGC 6871”, <http://xxx.lanl.gov/pdf/astro-ph/0403572>
- [7] Southworth, J., Maxted, P.F.L., Smalley, B., (2004), “Accurate fundamental parameters of eclipsing binary stars”, <http://xxx.lanl.gov/pdf/astro-ph/0408227>
- [8] Pavlovski, K., Hensberge, H., (2000), “The Disentangled Component Spectra of V578 Mon”, <http://xxx.lanl.gov/pdf/astro-ph/0504433>
- [9] Vaz, L.P.R., Andersen, J., Clausen, J.V., Helt, B.E., Garcia, J.M., Gimenez, A., Alencar, S.H.P., (1997), “Absolute dimensions of eclipsing binaries. XXI. V906 Scorpii: a triple system member of M 7.”, <http://adsabs.harvard.edu/abs/1997A&A...326..709A>
- [10] Yakut, K., Tarasov, A. E., İbanoğlu, C., Harmanec, P., Kalomeni, B., Holmgren, D. E., Bozic, H., Eenens, P., (2003), “The binary V497 Cep in the young open cluster NGC 7160”, http://www.ster.kuleuven.be/pub/yakut_phd/chapter8.pdf#search=%22V497%20cep%20NGC%207160%22
- [11] Hensberge, H., Sterken, C., Freyhammer, L.M., Pavlovski, K., Ilijic, S., Smette, A., (2004), “High-resolution spectroscopy of the eclipsing beta Cephei star HD92024”, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2004JAD....10....2H>
- [12] Debernardi, Y., North, P., (2001), “Eclipsing binaries with candidate CP stars: II. Parameters of the system V392 Carinae”, <http://aanda.u-strasbg.fr:2002/papers/aa/full/2001/28/aa1383/aa1383.html>
- [13] Schiller, S.J., Milone, E.F., (1988), “Photometric and spectroscopic analysis of the eclipsing binary DS Andromedae - A member of NGC 752”, <http://adsabs.harvard.edu/abs/1988AJ.....95.1466S>
- [14] Kharchenko, N.V., Piskunov, A.E., Roeser, S., Schilbach, E., Scholz, R.-D., (2005), “Catalogue of Open Cluster Data (COCD)”, <http://cdsweb.u-strasbg.fr/cgi-bin/qcat?J/A+A/438/1163>

