

AYRIK ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN KİNEMATİĞİ VE YÖRÜNGE EVRİMİ

Selçuk BİLİR¹, Faruk SOYDUGAN², Esin SOYDUGAN², Esmâ YAZ¹, Zeki EKER^{3,4}

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü,
Beyazıt, 34119, İstanbul - Türkiye
{sbilir; esmayaz}@istanbul.edu.tr

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Terzioğlu Yerleşkesi, 17100,
Çanakkale – Türkiye
{fsoydugan; esoydugan}@comu.edu.tr

³Akdeniz Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü,
Dumlupınar Bulvarı 07058 Kampus, Antalya – Türkiye

⁴TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Akdeniz Üniversitesi Yerleşkesi, 07058, Antalya – Türkiye
eker@tug.tubitak.gov.tr

Özet: Ayrık örten çift yıldız sistemlerinin listesi yeniden gözden geçirilmiş, düzenlenmiş ve güncelleştirilmiştir. Uzay hızlarının hesaplanmasında gerekli olan koordinat, paralaks, radyal hız ve öz hareket bileşenlerinin yanısıra yıldız sistemlerinin yörüngelerine ait fiziksel parametreleri de güncelleştirilmiştir. Ayrıca tayfsal ve fotometrik gözlemlerini yaptığımız beş yeni yıldız sistemi listeye eklenmiştir. Yeni sistemlerin ilavesiyle listedeki yıldız sayısı 178’e ulaşmıştır. Paralaks, uzay hızı hesabında belirsizliğe en çok katkıda bulunan parametredir. Bu nedenle, anakol yıldızlarından paralaks hatası büyük olan sistemlerin paralakslarını daha iyi belirlemek için yeni bir renk - ışımaya gücü bağıntısı elde edilmiş ve uygulanmıştır. Yeni renk-ışımaya gücü bağıntısının paralaksı olmayan veya rölatif paralaks hatası büyük sistemlere uygulanmasıyla listemizdeki örten çift yıldızların uzay hızı bileşenleri hesaplanabilmektedir. Uzay hızlarının duyarlılığı, uzay hızı hesabında kullanılan parametrelerin belirsizliklerinin uzay hızı bileşenlerine yansımaları hesaplanarak elde edilmiştir. Uzay hızlarında galaktik diferansiyel dönme düzeltmesi ve popülasyon tipi araştırması yapılmıştır. Sistemlerin fiziksel parametrelerine ve alt gruplara göre ayrılmış parametreler için uzay hız dispersiyonları ve kinematik özellikleri araştırılmıştır. Listedeki tüm yıldızlar dikkate alındığında hız dispersiyonlarının küçük bulunması ayrık örten çift yıldızların genç olduklarını göstermiştir. Ancak, erken tayf türündeki sistemlerin dispersiyonlarının beklenenden büyük bulunması ve teorik anakol ömürleriyle hesaplanan kinematik yaşların tutarsızlığı çözülmesi gereken bir problem olarak ortaya çıkmıştır. Ortalama kinematik yaşların küçük bulunması, yörünge dinamik evrimlerinin incelenmesine imkân vermemiştir. Bununla birlikte, çalışmamızda ayrık örten çift yıldızların duyarlı fiziksel parametreleri dikkate alınarak sistemlerin yörüngesel açısal momentumları hesaplanmış ve Log J - Log M diyagramı üzerinde dağılımları incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çift yıldızlar, Temel parametreler, Kinematik, Dinamik Evrim

1. GİRİŞ

Yıldızların yapısını ve evrimini anlayabilmek ve birçok astrofizik teoriyi test etmek için kullanılan en güvenilir fiziksel parametreler (kütle, yarıçap, ışımaya gücü, etkin sıcaklık vb.), anakol bileşenli ayrık örten çift yıldızların gözlemlerinden hesaplanır. Günümüzde çift sistemlerin ışık ve radyal hız eğrilerinden bileşenlerin kütle ve yarıçapları %1’den daha iyi duyarlılıkla belirlenebilmektedir (Andersen 1991; Southworth ve diğ. 2005). Duyarlı parametrelere sahip sistemlerin galaktik koordinatlardaki ve Güneş komşuluğundaki uzay dağılımları, kinematiki ve dinamik etkileşimlerinin dikkate alınmasıyla sistemlerin yıldız evrimi içindeki rolleri daha iyi belirlenebilir. Ayrıca, çift yıldız yörünge parametrelerinin istatistiksel analiziyle yörüngelerinin dinamik evrimleri hakkında yeni bilgiler ortaya çıkartılabilir.

Ayrık ve yarı-ayrık sistemlerinin genel özelliklerini ve açısal momentum dağılımlarını karşılaştıran güncel bir çalışma da İbanoğlu ve diğ. (2006) tarafından yapılmıştır. Bu

çalışmada, 72 ayrı sistem temel parametreleri derlenmiştir. Burada, sistemlerin kütle oranının ($q=M_2/M_1$) ortalama değerinin 0.88 civarında olduğu görülmektedir. Ayrı sistemlerin birinci ve ikinci bileşenlerinin ortalama kütle ve yarıçapları, sırasıyla, $3.6M_{\odot}$, $3.1M_{\odot}$ ve $2.8R_{\odot}$, $2.4R_{\odot}$ olarak verilmektedir. İbanoğlu ve diğ. (2006), ayrı sistemler için kütle – ışımaya gücü bağıntısını $L \propto M^{3.9}$ olarak bulmuşlardır. Ayrıca, bu çalışmada ayrı sistemlerin yörünge açısal momentumlarının yarı-ayrı sistemlerinkine göre yaklaşık üç kat büyük olduğu bulunmuştur.

Andersen (1991) duyarlı mutlak parametreleri hesaplanan ayrı örten çift sistemler listelenmiş ve son olarak Torres ve diğ. (2010) tarafından liste yenilenmiştir. Literatürde mutlak parametresi belirlenmiş çok sayıda ayrı örten sistemin bulunmasına karşın, Torres ve diğ. (2010) bu sistemler içinde mutlak parametreleri $\pm\%3$ duyarlılığa sahip sistemlerin dikkate alınmasıyla gözlemsel sonuçların kuramsal modellerin testlerinde önemli olacağını vurgulamışlardır. Ancak çalışmalarında, sistemlerin kütle ve yarıçapları öncelikli olmak üzere mutlak parametreleri $\pm\%10$ 'dan daha duyarlı olan sistemleri kullanmışlardır (Torres ve diğ., 2010). Bu nedenle, daha fazla sistemin derlenmesi grup özelliklerinin daha ayrıntılı çalışılması açısından önemli olacaktır. Ayrı yıldızlara ilişkin ayrıntılı bir katalogun oluşturulması yanında, bugüne kadar yapılmayan, özellikle bu tür sistemlerin kinematik olarak incelenmesi çalışmanın ana amaçlarından birisi olmuştur.

2. VERİ

2.1. Ayrı Örten Çift Sistemlerin Fotometrik, Tayfsal, Astrometrik ve Temel Parametreleri

Literatürde farklı çalışmalara konu olan ayrı örten çift sistemlerin bir araya getirilmesi birinci öncelikli adım olmuş ve ayrı örten çift sistemlerin yeni bir listesi hazırlanmıştır. Bu listedeki sistemlerin 2000 epöğündeki ekvatorial ve galaktik koordinatları, öz hareket ve paralaks gibi astrometrik verileri ile (B-V) renkleri SIMBAD veri tabanından, Hipparcos ve Tycho kataloglarından tamamlanmıştır (ESA, 1997). Hipparcos ve Tycho katalogunda (B-V) rengi bulunamayan sistemlerin (B-V) renkleri Zacharias ve diğ.'nin (2005) katalogundan alınmıştır.

Tek yıldızların uzay hızı hesabından farklı olarak, çift yıldız sistemlerinin uzay hızı hesabında bileşen yıldızların radyal hızları değil, çift sistemin kütle merkezinin radyal hızının kullanılması gerekir. Bir çift yıldızın radyal hızının duyarlı belirlenebilmesi için yörünge periyodunun farklı evrelerinde, yeterli sayıda ve duyarlılıkta alınmış tayflara ve bu tayflardan ölçülmüş bileşen yıldızların radyal hızlarına ihtiyaç vardır. Farklı evrelerdeki radyal hızlardan radyal hız eğrisi, radyal hız eğrisinin analizinden çift yıldız sisteminin kütle merkezine ait radyal hız ve yörünge parametreleri elde edilir. Öte yandan, bileşenlerin duyarlı temel fiziksel parametrelerinin elde edilebilmesi, ışık eğrisi ve radyal hız eğrisinin eş zamanlı çözümüyle mümkün olmaktadır. Bu nedenle ayrı örten çift sistemlerden elde edilen kütle ve yarıçap, gözlem ve ölçüm sonucunda belirlenebilen en duyarlı astrofiziksel parametrelerdir. Örtme göstermeyen sistemlerde ise yıldız çapları doğrudan ölçülemediği gibi, radyal hız eğrisinden de yörünge eğiminin hesaplanamaması sistemdeki bileşenlerin kütlelerinin belirlenmesini zorlaştırır. Örtme göstermeyen sistemlerin ancak kütle oranları doğru bir şekilde belirlenebilir. Örten çift yıldız sistemlerinin fotometrik ve tayfsal gözlemleri ve bu gözlemlerin eş zamanlı analizi en doğru ve en duyarlı yörünge ve yıldız parametrelerinin bulunmasını sağlar.

Çalışmamızda, uzay hızı hesabından sonra, yörünge özellikleri ve bileşen yıldızların özelliklerine göre oluşturulacak alt grupların kinematik özelliklerinin analizi hedeflenmiştir. Bunun için, ayırık örten çift yıldızların kütle merkezlerinin radyal hızlarıyla birlikte yörünge parametreleri ve yıldızlara ait temel fiziksel büyüklükler ilgili makalelerden tek tek incelenerek referansları ile birlikte veri tabanımıza kaydedilmiştir. Çalışmamızda ayırık örten çift sistemler için kullanılan temel parametreler, sırasıyla, bileşenlerin kütleleri (M_1 , M_2), yarıçapları (R_1 , R_2), ışımaya güçleri ($\text{Log } L_1$, $\text{Log } L_2$), yüzey sıcaklıkları (T_1 , T_2), yüzey çekim ivmeleri ($\text{Log } g_1$, $\text{Log } g_2$) ve tayf türleridir.

Trigonometrik paralaksı bilinmeyen veya rölatif paralaks hataları büyük olan sistemler için uzaklık tayininde genellikle fotometrik veya tayfsal paralaks yöntemi kullanılır. Yıldızların tayf türleri ve ışımaya gücü sınıfları bilinmiyorsa fotometrik paralaks yöntemi tercih edilir. Fotometrik paralaks tayininde yıldızların parlaklıkları ve renkleri kullanılır. Bu durumda yıldızın renk artışı dikkate alınarak parlaklıklar ve renkleri kızarmadan arındırılır. Literatürdeki geniş band çalışmalarına ait fotometrik verilerin kızarmadan arındırılmasında E(B-V) renk artışı kullanılır. Çalışmadaki yıldızlar geniş bir tayf aralığında yer aldığı için özellikle erken ve orta tayf türündeki yıldızların fotometrik incelenmesi Strömgren fotometrisiyle yapılabilir. Bu çalışmadaki listemizde yer alan bazı yıldızların Strömgren fotometresiyle hesaplanmış E(b-y) renk artışı değeri UBV fotometrik sistemine E(B-V)=1.35×E(b-y) bağıntısı kullanılarak çevrilmiştir.

2.2. Ayırık Örten Çift Sistemlerin Tayf Türleri ve Uzaklıkları

Çalışmamızdaki 178 ayırık örten çift sistemden yedi tanesinin en az bir bileşeninin dev olduğu, geriye kalan sistemler arasında en az bir bileşeni alt dev olan 10 tane ayırık örten çift yıldız sistemi belirlenmiştir. Sistemlerin büyük bir çoğunluğunun (161 sistemin) her iki bileşeninin de anakol yıldızı olduğu anlaşılmıştır.

Dev - altdev ayrımı yapmadan, örneğimizdeki çift yıldız bileşenlerinin tayf türlerine göre dağılımları Tablo 1’de listelenmiş ve Şekil 1’de gösterilmiştir. Şekil 1a’da sistemlerin baş bileşenlerinin tayf türleri, Şekil 1b’de ise sistemlerin yoldaş bileşenlerinin tayf türlerine ait frekans dağılımı gösterilmiştir. Tablo 1’in son satırı tayf türü belirlenememiş bileşen sayısını ifade etmektedir. Tablo 1’den baş bileşenlerin hepsi için mutlaka bir tayf türü belirlenmiş olduğu açıkça görülmektedir. Ancak, yoldaş yıldızlar için aynı şey söylenememektedir. Listemizde, yoldaş bileşeni hakkında tayf türü bilgisi olmayan yedi sistem vardır.

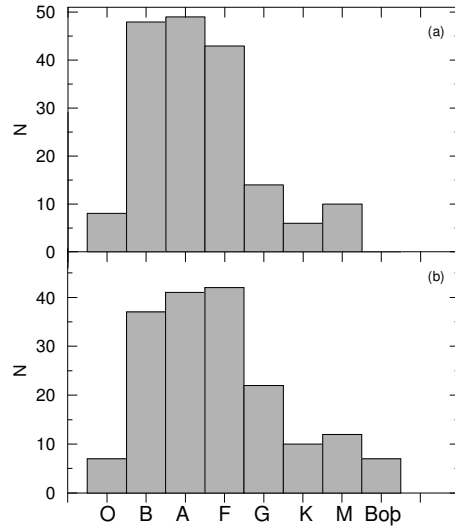
B, A, F tayf türleri hem baş hem de yoldaş yıldızlar arasında en çok rastlanan tayf türleridir (bkz. Tablo 1). B-A tayf türleri baş bileşenlerde, A-F tayf türleri de yoldaş bileşenlerde baskındır. Bu sonuçla ilgili bir genelleme yapılırsa, listelediğimiz örten çift yıldızlar içinde ön tayf türlerinde ve her iki bileşeni birbirine benzeyen sistemlerin çok sayıda olduğu söylenebilir. Bu durumun seçim etkisinden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Çünkü her iki bileşeni çok farklı tayf türünde olan sistemlerin bileşenler arasındaki parlaklık farkı gözlenebilirliği olumsuz etkiler.

Tablo 1. 178 yıldızın baş ve yoldaş bileşenlerinin tayf türlerine göre dağılımları.

Tayf Türü	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
O	8	7
B	48	37
A	49	41
F	43	42
G	14	22
K	6	10
M	10	12
Boş	0	7
Toplam	178	178

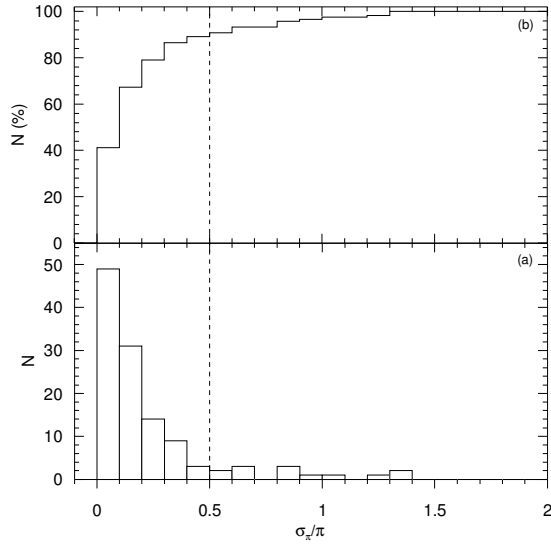
Örneğimizdeki 178 yıldızdan 123 tanesinin öz hareket bileşenlerinin ölçümleri yeni indirgenmiş Hipparcos kataloğundan (van Leeuwen 2007) ve 55 tanesi ise Zacharias ve diğ.’den (2005) alınmıştır. Sistemlerin Güneş’e olan uzaklıklarının hesabında en temel kaynak, Hipparcos uydusunun trigonometrik paralakslarıdır. Örneğimizdeki 123 sistemin yeni indirgenmiş Hipparcos trigonometrik paralaksları ve üç yıldız sisteminin de yer tabanlı trigonometrik paralaks verisi vardır. Paralaksları bilinen 126 sistem içinde negatif paralaksı ($\pi < 0$ mas) olanların sayısı altıdır. Paralaks değerleri pozitif ($\pi > 0$ mas) olan 120 sistemin rölatif paralaks hatalarının dağılımı Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekil 2a’da sistemlerin rölatif paralaks hatalarının dağılımı, Şekil 2b’de ise sistemlerin birikimli dağılımları verilmiştir. Şekil 2b’den görüleceği gibi, rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi \leq 0.50$ olan sistemler, paralaksı bilinen sistemlerin %89’a karşılık gelmekte olup bu sistemlerin sayısı 106’dır. Çalışmamızın amaçlarından biri de duyarlı uzay hızları elde edebilmek olduğundan, paralaks hatalarının doğrudan uzay hız bileşenlerine yansması sebebiyle sistemlerin paralaks değerlerinin yeterince duyarlı olması gerekmektedir. Çalışmamızda rölatif paralaks hatası istenildiği gibi küçük yani $\sigma_\pi/\pi \leq 0.50$ olan sistemler için yeni indirgenmiş Hipparcos paralaksları kullanılmıştır. Rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi > 0.50$ olan sistemler için de bu çalışma için ürettiğimiz aşağıdaki renk - ışınma gücü bağıntısı kullanılmıştır (Bilir ve diğ., 2008):

$$M_J = 5.228 (J - H)_0 + 6.185 (H - K_s)_0 + 0.608 \quad (1)$$

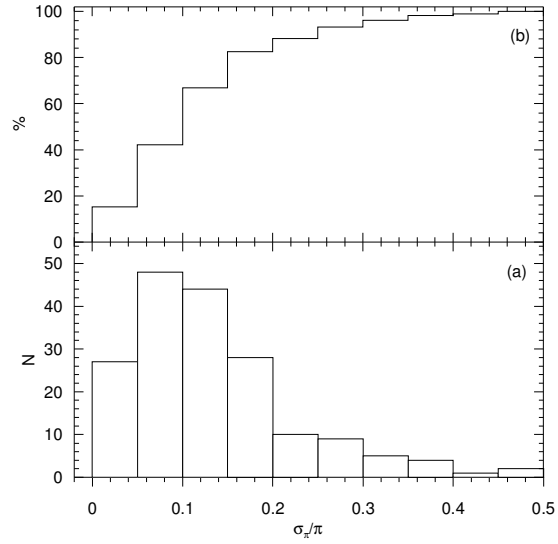


Şekil 1. 178 yıldızın baş (a) ve yoldaş (b) bileşenlerinin tayf türlerinin dağılımı.

Bu bağıntı $0 < M_J < 4$ mutlak parlaklık aralığında B4-K7 tayf türü aralığındaki anakol bileşenli sistemler için geçerlidir. Renk - ışımaya gücü bağıntısının geçerli olduğu renk ve mutlak parlaklık aralığında, paralaksı olmayan veya rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi > 0.50$ olan 47 sistem kullanılmıştır. Çalışmamızdaki yıldızların uzaklık tayini için seçtiğimiz üçüncü yöntem de trigonometrik paralaksı bilinmeyen ve renk - ışımaya gücü bağıntısı uygulanamayan (ya sistem anakolda olmayan bileşen içermekte veya geçerlilik sınırları dışında) fakat salt parametreleri iyi bilinen sistemler için literatürde verilen fotometrik uzaklıklar kullanılmıştır. Listemizde bu duruma uygun olan 29 sistem vardır. Ayrıca yukarıdaki üç kritere de uymayan, üç yıldız sisteminin uzaklık hesabında tayfsal paralaks yöntemi kullanılmıştır: V478 Cyg, DI Her ve DV Psc. Sistemlerin tayfsal paralaks yöntemiyle mutlak parlaklıklarının belirlenmesinde baş bileşenin tayf türü ve bileşenlerin ışınım oranları dikkate alınmıştır. Bu yıldızların tayf türüne karşılık gelen mutlak parlaklıkları Pickles’ın (1998) sentetik yıldız veri tabanından alınmış ve mutlak parlaklıklarındaki hata 0.5 kadir kabul edilmiştir. Listemizdeki sistemlerin rölatif paralaks hatalarıyla birikimli dağılımları Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 2. Paralaksı $\pi > 0$ mas olan 120 ayırık örten çift yıldızın rölatif paralaks hataları (a) ve sistemlerin birikimli dağılımları (b). Kesikli çizgi rölatif paralaks hatası $\sigma_\pi/\pi = 0.50$ değerini gösteriyor.



Şekil 3. Farklı yöntemler ile uzaklıkları hesaplanmış 178 ayırık örten çift yıldızın rölatif paralaks hataları (a) ve sistemlerin birikimli dağılımları (b).

3.BULGULAR

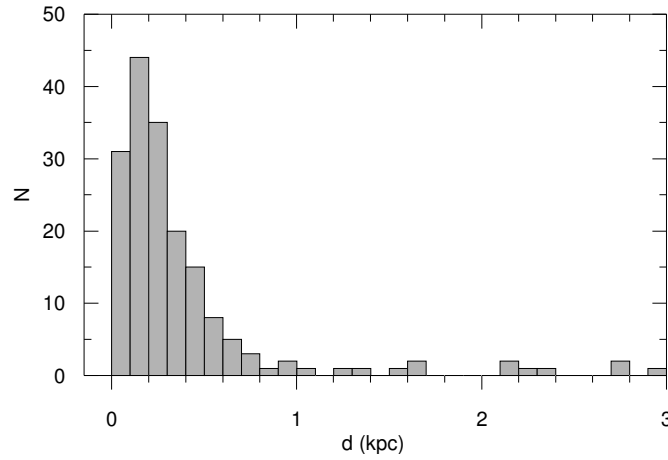
3.1. Ayırık Örten Çift Yıldızların Uzay Dağılımları

Yıldızların kinematik incelemesi yapılmadan önce Güneş civarındaki uzaysal dağılımlarının araştırılmasında fayda vardır. Örneğimizdeki ayırık örten çift yıldızların Güneş’e olan uzaklıklarının frekans dağılımları Şekil 4’te gösterilmiştir. Dağılımının medyan uzaklığı 227 pc’dir. Örneğimizdeki yıldızların büyük kısmı (%92) $d \leq 1$ kpc uzaklık aralığında bulunmaktadır.

Medyan uzaklığı $d=227$ pc olarak hesaplanan ayırık örten çift yıldızlar, daha önce incelediğimiz kromosferik aktif çift yıldızlar ($d=98$ pc) ile W UMa türü örten çift yıldızların ($d=137$ pc) medyan uzaklıklarından en az iki kat daha büyüktür. Ayırık örten çift yıldızların,

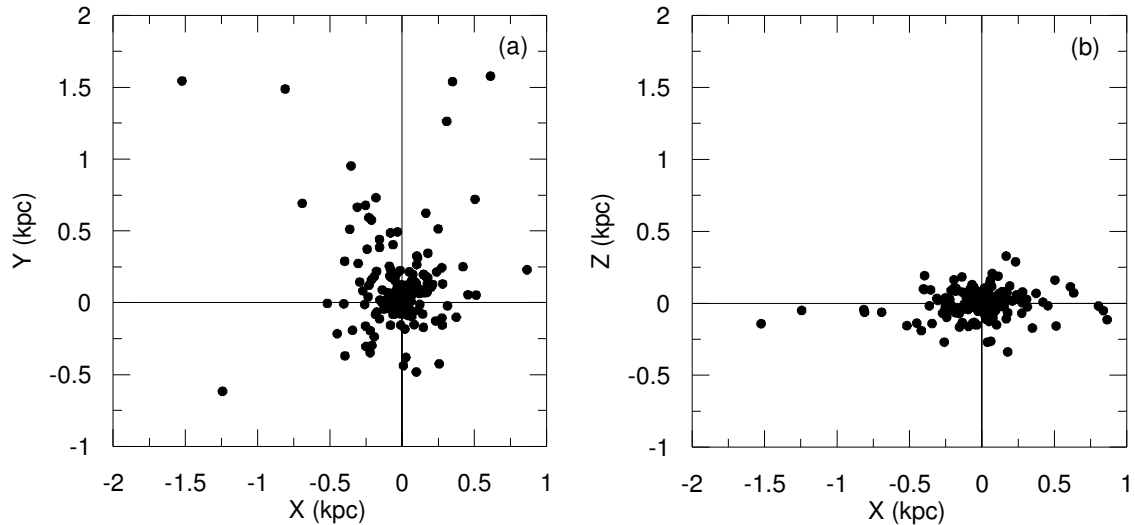
diğer iki gruptaki yıldız sistemlerine göre daha büyük medyan uzaklığa sahip olmasının nedeni, az sayıda ön tayf türünden yıldızların bulunması olarak yorumlanabilir. Mutlak parlaklıktaki seçim etkisi kendini bu çalışmada göstermiş ve grubun medyan uzaklığının daha büyük bulunmasına neden olmuştur.

178 ayrık örten çift yıldızın Güneş merkezli galaktik uzay dağılımları Şekil 5’te gösterilmiştir. Burada X, Y ve Z, sırasıyla, Galaksi merkezi doğrultusunu, Güneş’in Galaksi merkezi etrafındaki dönüş doğrultusunu ve galaktik düzlemden olan dik uzaklığını göstermektedir. X, Y ve Z düzlemleri üzerindeki sistemlerin medyan uzaklıkları, sırasıyla, -20, 57 ve 6 pc olup incelenen 178 yıldızın uzaklıkları bakımından büyük bir yanlılık göstermediği anlamına gelmektedir. Yıldızlar X-Y düzlemi (Şekil 5a) üzerinde 500 parsek uzaklığa kadar homojen dağılım gösterirken, yer yer (1.5, 2) kpc uzaklık aralığında da yıldızlara rastlanmaktadır.



Şekil 4. Ayrıık örten çift sistemlerin uzaklık dağılımı.

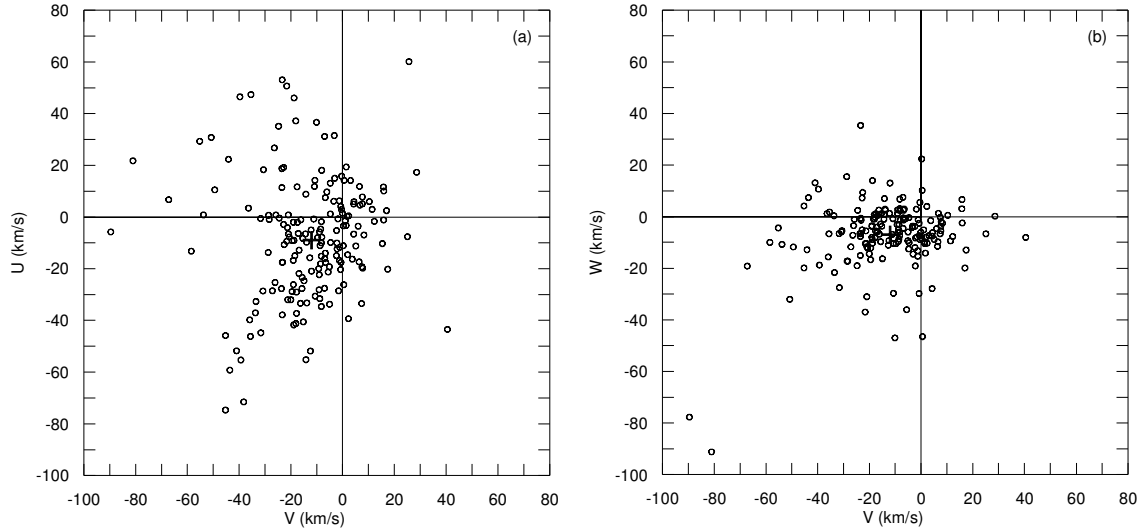
Öte yandan, X-Z düzlemindeki dağılıma bakıldığında (Şekil 5b), 178 yıldızın, galaktik düzlemden çok uzaklaşmadıkları, ± 300 pc içinde kaldıkları görülmektedir. Galaktik düzleme en yakın, genç bir popülasyon olan ince disk yıldızlarının dağılımını hatırlatmaktadır.



Şekil 5. Yıldızların Güneş merkezli galaktik uzay dağılımları: (a) X-Y ve (b) X-Z düzlemlerini göstermektedir.

3.2. Ayırık Örten Çift Yıldızların Uzay Hız Dağılımları ve Popülasyon Türleri

Çalışmamızda yıldızların uzay hızları ve hataları Johnson ve Soderblom’un (1987) algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. 178 ayırık örten çift yıldızın U-V ve W-V hız uzaylarındaki konumları Şekil 6’da gösterilmiştir. Şekilde LSR noktaları (+) sembolleriyle işaretlenmiştir. Bu diyagramlardan örneğimizdeki yıldızların Güneş civarındaki ince disk popülasyonuna uygun bir kinematik davranış gösterdiği anlaşılmaktadır. Özellikle Şekil 6a’da, $V > 0$ km/s yıldızların bulunması çok genç yıldızların varlığını gösterir. Bu sonuç, Şekil 1’de ifade edildiği gibi, örneğimizi oluşturan genç ön tayf türündeki yıldızların sayılarıyla ilişkili olduğunu hatırlatmaktadır. Örneğimizdeki genç yıldızların varlığı ve sayıca fazlalığı, Şekil 6b’den daha net görülebilmektedir. W-V diyagramı üzerinde listemizdeki ayırık örten çift yıldızlar örneği $|W| < 20$ km/s aralığında bulunmaktadır. Bu bulgu, Leggett’nin (1992) genç ince disk yıldızları için vermiş olduğu $-25 < W < 10$ km/s’lik değer aralığı ile uyum içerisindedir. Şekil 6b’de dikkat çeken başka bir durum ise uzay hızları $V < -70$ km/s olan iki yıldızın ana örnekten farklı bir dağılım göstermiş olmasıdır. Bu yıldızlar CM Dra ve Y Cyg’dır ve toplam uzay hız hataları, sırasıyla, 0.08 ve 8.94 km/s’dir. Bu değerler yukarıda bahsedildiği gibi yıldızların U-V diyagramlarında büyük dispersiyon göstermeleri uzay hız hatalarından kaynaklanmadığının kanıtını göstermektedir. Bu gerçek dispersiyon değeriyle iki sistemin ana örnekten farklı kinematik özellik taşıdığı söylenebilir. W-V hız diyagramı üzerinde $V < -80$ ve $W \leq -80$ km/s aralığında bulunan yıldız sistemleri, Galaksimizdeki halo yıldızlarının disk içindeki varlığına işaret etmektedir. Bu durumda, üç yıldız halo popülasyonuna ait olmalı ve ana örnekten ayrı incelenmelidir.

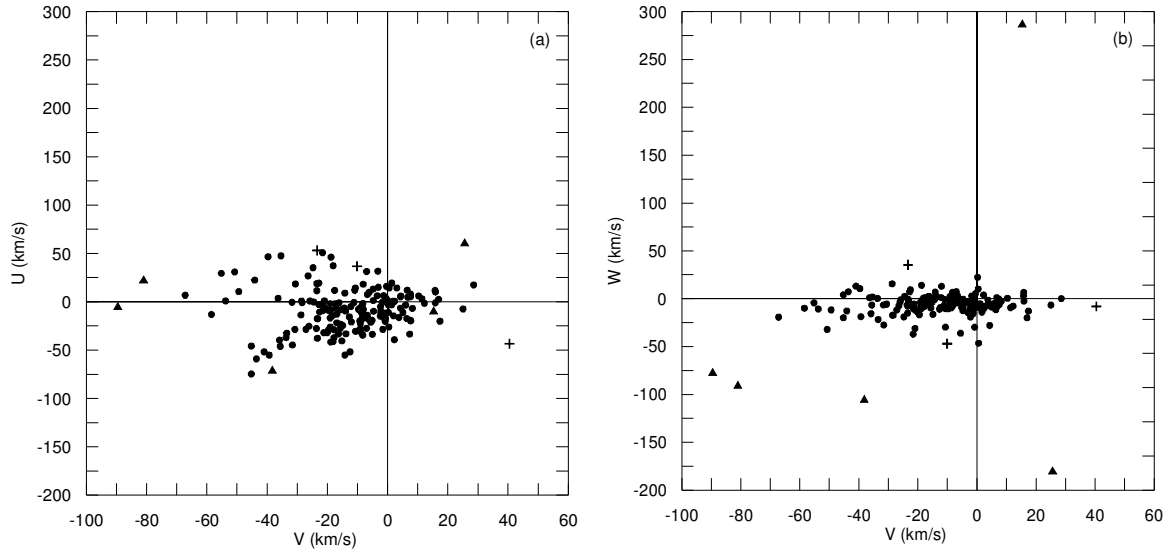


Şekil 6. Uzay hız bileşenlerine diferansiyel dönme hız düzeltmesi uygulanmış 178 ayırık örten çift yıldızın U-V (a) ve W-V (b) hız diyagramları üzerindeki yerleri. (+) sembolü LSR’nin U-V ve W-V hız diyagramlarındaki konumunu göstermektedir.

Güneş civarındaki örten çift yıldızların popülasyon tiplerini (ince, kalın disk veya halo) tayin etmek için iki yol vardır: kinematik yaklaşım ve kinematik, metal bolluğu ve yaşın bir kombinasyonu (Bensby ve diğ., 2003). Bu çalışmada ayırık örten çift yıldızların popülasyon tiplerinin belirlenmesinde kinematik yaklaşım tercih edilmiştir. Burada ince disk, kalın disk ve halonun Güneş civarındaki yoğunluk değerleri, sırasıyla, 0.9385, 0.06 ve 0.0015 olarak kabul edilmiştir (Buser ve diğ., 1999).

Bensby ve diğ.’nin (2005) kinematik kriterleri örneğimizdeki yıldızlara uygulanmış, mevcut sistemler kinematik olasılığa göre popülasyon ayırımına tabi tutulmuştur. Hız uzayında farklı popülasyon türleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekil 7’deki gösterimde yıldızların uzay hızlarına Mihalas ve Binney’in (1982) (9, 12, 7) km/s’lik LSR düzeltmesi uygulanmıştır. Tablo 2’de örneğimizdeki yıldızlara Bensby ve diğ.’nin (2005) popülasyon kriterleri uygulandıktan sonra farklı popülasyonların U-V ve W-V hız uzaylarındaki etkinlik sınırları verilmiştir.

Örneğimizdeki yıldızlar, Bensby ve diğ.’nin (2005) kriterlerine göre incelendiğinde yüksek olasılıklı ince disk yıldızların ($TD/D \leq 0.1$) sayısının 170, düşük olasılıklı ince disk yıldızlarının ($0.1 < TD/D \leq 1$) sayısının da üç olduğu görülmüştür. Düşük olasılıklı ince disk yıldızları MU Cas, BG Ind ve SDSS-MEB-1’dir. Örneğimiz içinde $1 < TD/D \leq 10$ aralığında düşük olasılıklı kalın disk yıldızları bulunmamakta iken $TD/D > 10$ değerini sağlayan yüksek olasılıklı kalın disk ve halo popülasyonuna ait beş yıldız sistemi vardır. Söz konusu yıldızlar ve baş bileşenlerinin tayf türleri (parantez içinde) şu şekildedir: Y Cyg (O), CM Dra (M), V615 Per (B), V618 Per (A) ve DW Car (B). Yıldızların tayf türleri dikkate alındığında bu beş yıldız sisteminden yalnız CM Dra, ölçümlerinde hata olmaması durumunda, yüksek olasılıklı kalın disk veya halo popülasyonuna ait olabilir. Erken tayf türünleri içinde yer alan Y Cyg, V615 Per, V618 Per ve DW Car, büyük kütleli, erken tayf türü bileşenler içermesi sebebiyle yüksek olasılıklı kalın disk popülasyonuna ait olmaları beklenemez.



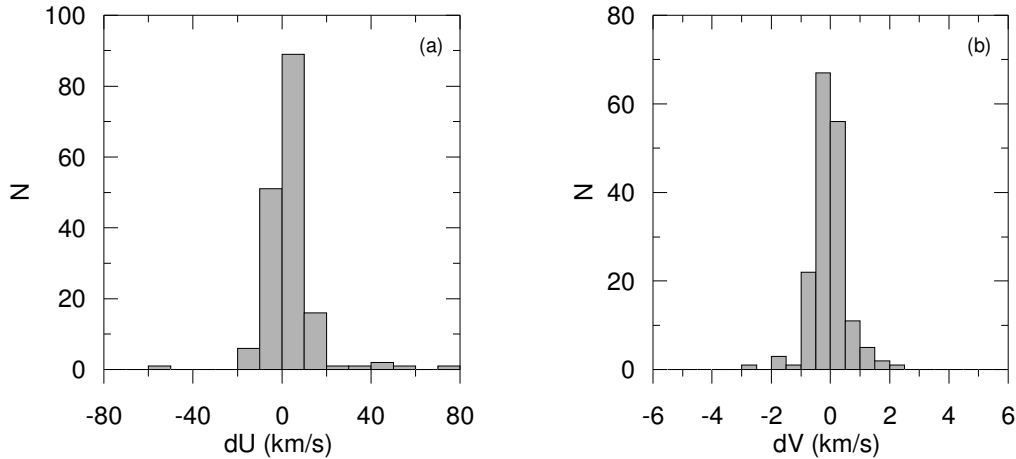
Şekil 7. Bensby ve diğ. (2005)’nin kriterlerine göre yıldız sistemlerinin U-V (a) ve W-V (b) hız uzaylarındaki dağılımı. Semboller: Yüksek olasılıklı ince disk yıldızları (●), düşük olasılıklı ince disk yıldızları (+) ve yüksek olasılıklı kalın disk ve halo yıldızları (▲).

Tablo 2. 173 ayrıklı örten çift sistemin, Bensby ve diğ.’nin (2005) kinematik kriterlerine göre yüksek ($TD/D \leq 0.1$) ve düşük olasılıklı ($0.1 < TD/D \leq 1$) ince disk ile yüksek olasılıklı ($TD/D > 1$) kalın disk ve halo yıldızlarının hız diyagramlarındaki dağılımları.

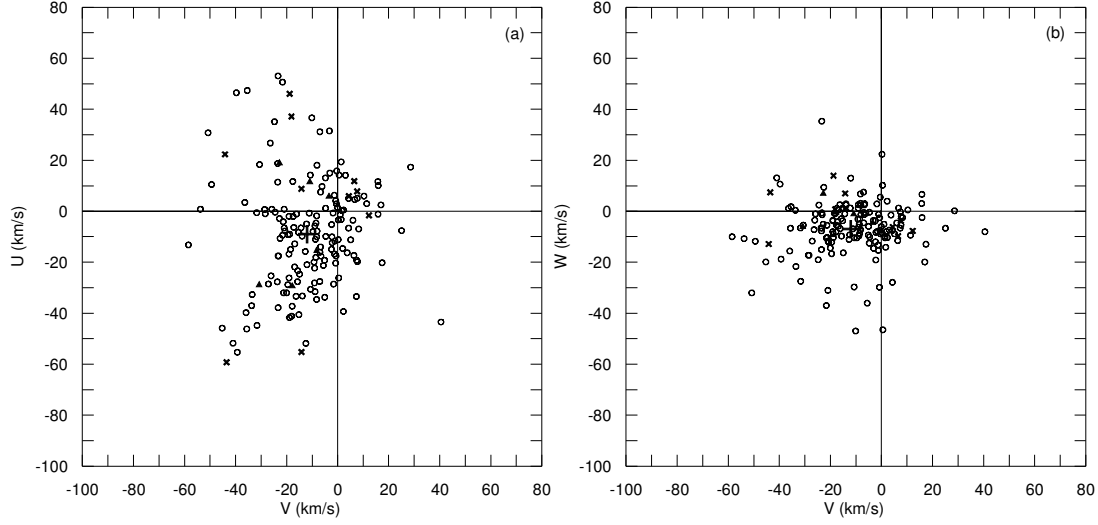
Bensby ve diğ.’nin (2005) kriterleri	U (km/s)	V (km/s)	W (km/s)
$TD/D \leq 0.1$	$-44 < U < +54$	$-24 < V < +41$	$-47 < W < +36$
$0.1 < TD/D \leq 1$	$-75 < U < +51$	$-68 < V < +29$	$-47 < W < +23$
$10 > TD/D$	$-72 < U < +61$	$-90 < V < +26$	$-181 < W < +287$

169 yıldızın galaktik diferansiyel dönme düzeltme miktarları Şekil 8’de gösterilmiştir. U ve V doğrultularında medyan diferansiyel dönme hız düzeltmeleri, sırasıyla, 1.64 ve -0.05 km/s’dir. Şekil 8a’da U bileşenine uygulanan diferansiyel dönme düzeltmesi (dU) gösterilmiştir. U hız bileşeni doğrultusunda diferansiyel dönme etkisinin V bileşenine göre daha büyük olduğu histogramın minimum ve maksimum değerleri arasındaki dağılımından anlaşılmaktadır. $|dU|=20$ km/s’den daha büyük hız düzeltmesi yapılan sistemlerin sayısı sekiz olup bu sistemlerin tayf türleri O ve B’dir. Bu sekiz sistemin uzaklıklarına bakıldığında 1 kpc’in ötesinde olduğu görülmüştür. V hız bileşeni doğrultusunda hesaplanan diferansiyel dönme düzeltmesi, U doğrultusunda hesaplanan diferansiyel dönme düzeltmesinden daha küçüktür. Örnekteki çoğu sistemin V hız bileşenine uygulanan diferansiyel dönme düzeltmesi $|dV|=2$ km/s aralığında bulunmaktadır. Diferansiyel dönme düzeltmelerinin uzay hızı hatalarıyla karşılaştırılmasından U hız bileşeni için; $|dU|-U_{hata}>0$ ve $|dU|-U_{hata}\leq 0$, sırasıyla, 124 ve 45 sistem, V hız bileşeni için $|dV|-V_{hata}>0$ ve $|dV|-V_{hata}\leq 0$, sırasıyla, 3 ve 166 sistem bulunmaktadır. Yani, örneğimizdeki 124 sistem için düzeltme terimi uzay hızı hatalarından büyüktür ve galaktik diferansiyel dönme düzeltmesi kaçınılmazdır. Düzeltme miktarı hatasından küçük olan sistemler için düzeltme yapılması gerekmez, ama yapılırsa da bir sorun oluşturmaz. Düzeltmenin bazı sistemlere uygulanıp, bazılarında uygulanmamasının gerekçesi olmadığı için ve uygulamanın sistematik olması açısından örneğimizdeki tüm yıldızlara diferansiyel dönme düzeltmesi uygulanmıştır.

Uzay hız bileşenlerine diferansiyel dönme düzeltmesi uygulanmış ve uzay hız hatası 23 km/s’den küçük 169 örtlen çift yıldız sisteminin U-V ve W-V uzay hız diyagramları Şekil 9’da gösterilmiştir. Şekil üzerindeki yıldızlar çift yıldız sistemindeki baş bileşenin ışığa gücü sınıflarına göre işaretlenmiştir: (○) anakol, (×) altdev ve (▲) dev yıldızlar. Sayıları anakol sistemlerine göre az olan evrimleşmiş bileşen içeren sistemlerin, hız diyagramlarında kolay fark edilememesi bağıl dispersiyonların tahmin edilmesini zorlaştırır. Ancak dispersiyon hesabı yapıldığında, altdev bileşen içeren sistemler U-V diyagramı üzerinde her iki bileşeni anakol olan sistemlerle benzer bir dispersiyon gösterirken, dev bileşenli sistemlerin, diğer iki sınıfa göre, daha küçük dispersiyon gösterdikleri ortaya çıkmaktadır. W-V diyagramında ise bu durum biraz farklıdır (Şekil 9b). Altdev ve dev bileşen içeren sistemler benzer bir dispersiyon gösterirken, her iki bileşeni anakol olan sistemler daha büyük dispersiyon göstermektedir.



Şekil 8. 169 yıldızının U (a) ve V (b) hız bileşenleri için hesaplanmış galaktik diferansiyel dönme düzeltmelerine ait değerlerin dağılımları. U uzay hızındaki adım genişliği 5 km/s (a), V uzay hızındaki adım genişliği 0.5 km/s (b), galaktik diferansiyel dönmenin U uzay hız bileşeninde daha etkin olduğu açıkça görünmektedir.



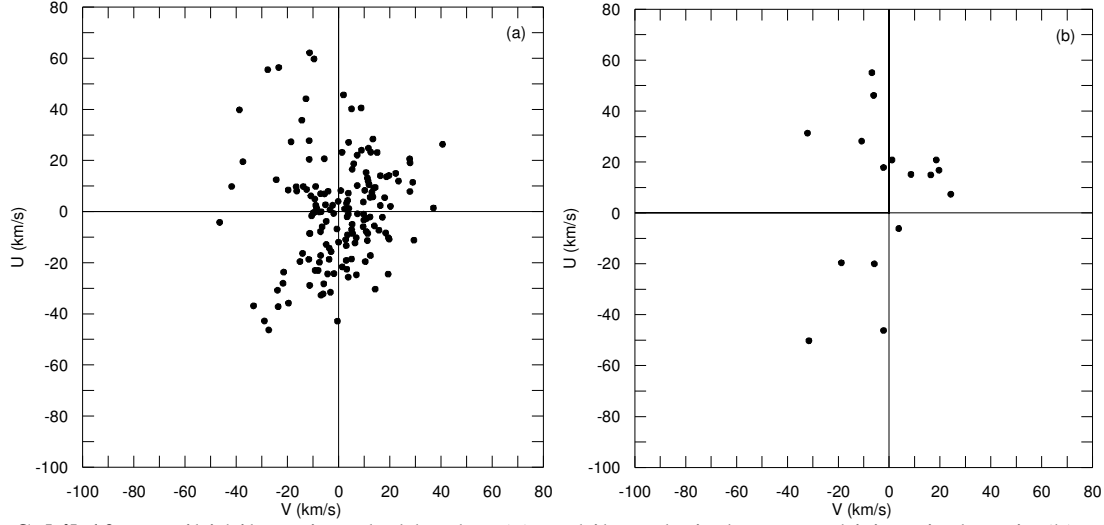
Şekil 9. Uzak hız bileşenlerine diferansiyel dönme hız düzeltmesi yapılmış ve uzak hız hatası $S_{\text{hata}}=23$ km/s'den küçük 169 ayrıık örten çift yıldızın U-V (a) ve W-V (b) hız diyagramları üzerindeki yerleri. (+) sembolü LSR'in U-V ve W-V hız diyagramlarındaki konumunu göstermektedir. Semboller metin içinde açıklanmıştır.

3.3. Uzak Hızı İncelemesinde Alt Gruplar

Farklı kinematik özellik gösteren alt grupların veya kinematik olarak homojen özellik gösteren grupların belirlenmesi bu çalışmanın temel amaçlarından biridir. Ancak, U-V veya V-W diyagramlarının gözle incelenmesi bu işlemde yeterli olmayabilir. Genelde uygulanan yöntem, belli kriterlere göre oluşturulmuş alt grupların kinematik özelliklerini incelemektir.

3.3.1. Işıma gücü sınıfına göre

Örneğin daha duyarlı olması açısından uzak hızı hatası 23 km/s'den büyük ve ince disk popülasyonu dışındaki sistemlerin örnekten çıkarılmasıyla toplam yıldız sayısı 169 olmuştur. 169 yıldız içeren bu örneği anakol ve evrimleşmiş bileşen içeren sistemler olarak iki alt gruba ayırmak ve bu grupların kinematik özelliklerini incelemek bu bölümdeki çalışmanın ilk adımındır. Her iki bileşeni anakolda olan sistemlerin sayısı evrimleşmiş bileşen içeren sistemlere oranla oldukça fazladır: 153 anakol bileşenli sistem yanında 16 tane evrimleşmiş bileşeni olan sistem vardır. Her iki bileşeni anakolda bulunan ve bileşenlerinden en az biri evrimleşmiş çift yıldız sistemi olarak ikiye ayırdığımız alt gruplar için U-V uzak hız diyagramları Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekilden evrimleşmiş bileşene sahip sistemlerin bileşenleri henüz anakol evrimini tamamlamamış sistemlere göre daha büyük bir dispersiyon gösterdiği görülmektedir. 169 yıldızdan oluşan ayrıık örten çift yıldız örneği ışım gücü sınıfına göre ayrımı dikkate alındığında uzak dispersiyonları, sırasıyla, $\sigma_S=28.40$ ve $\sigma_S=35.35$ km/s'dir. Bu dispersiyonlara karşılık gelen kinematik yaşlar ise, sırasıyla, 1.19 ve 2.12 Gyr'dır.



Şekil 10. Her iki bileşeni anakolda olan (a) ve bileşenlerinden en az biri evrimleşmiş (b) olan ayrıık örten çift sistemlerin U-V diyagramları.

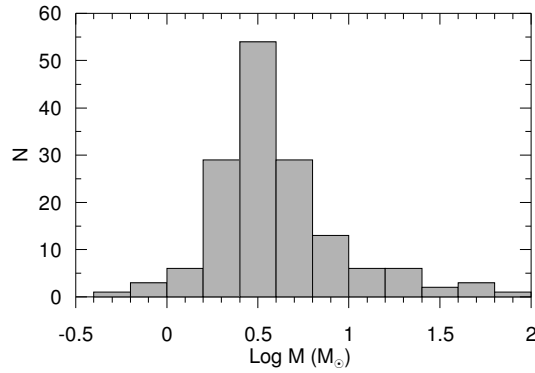
3.3.2. Kütleyle göre sınıflama

Yıldız içyapısını ve evrimini belirleyen iki serbest parametreden biri yıldızın kütlesidir. Kütle - ışımaya gücü bağıntısı, teorik içyapı ve evrim hesapları büyük kütleli yıldızların evriminin daha hızlı olduğunu öngörmektedir. Bu nedenle kütleyle göre sınıflamak farklı kinematik özellik gösteren alt sınıfların belirlenmesinde farklı bir anahtar olabilir. Nitekim, aktif kromosferli çift yıldızların (CAB'lar) (Eker 1992; Karataş ve diğ., 2004) ve W UMa türü degen sistemlerin (Bilir ve diğ., 2005) kinematik alt gruplarının araştırılmasında da benzer şekilde kütleyle göre sınıflama yapılmış ve kinematik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada da benzer bir işlem uygulanmıştır. Evrimleşmiş bileşen içeren sistemler, istatistiksel bakımdan az sayıda yıldız içerdiğinden daha küçük alt gruplara ayrılması anlamlı bulunmamıştır. Bu nedenle, evrimleşmiş bileşen içeren sistemler bu bölümde tartışılan kütleyle göre sınıflamada dikkate alınmamıştır.

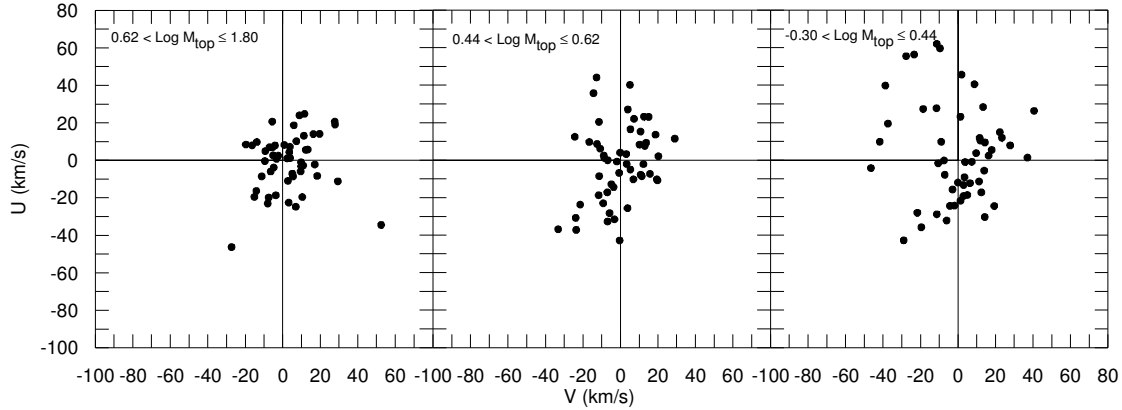
Örneğimizdeki 153 anakol bileşenli ayrıık örten çift sistemin logaritmik ölçekte kütle (Log M) dağılımları Şekil 11'de gösterilmiştir. Anakol bileşenli sistemler, yıldız sayıları eşit olacak şekilde önce üç alt gruba ayrılarak her bir grup için ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, toplam uzay hız dispersiyonları ve bu dispersiyonlara karşılık gelen kinematik yaşlar hesaplanmıştır (Tablo 3). Yıldız sayıları dikkate alındığında ve örnek üç alt gruba bölüldüğünde her bir alt gruba 51 yıldız düşmektedir. Örnekteki yıldızların toplam kütleleri küçükten büyüğe doğru dizildiğinde üç alt gruba ait ortalama Log M değerleri 0.44, 0.62, 1.80 olup, sırasıyla, 2.75, 4.17, 63 M_{\odot} 'e karşılık gelir. Cox'un (2000) anakol yıldızları için oluşturmuş olduğu kütle sıralamasında bu değerler, sırasıyla, baş yıldızın A2, B7 ve O5 tayf türünde olmasını gerektirmektedir. Kütleyle göre düzenlenmiş bu üç alt grubun U-V uzay hız diyagramları ise Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekilden küçük kütleli sistemlerin dispersiyonlarının büyük olduğu açıkça görülmektedir. Öyle ki, büyük kütle aralığındaki alt gruptan kütle aralığı küçük olana doğru hız dispersiyonu artmaktadır. Dispersiyonun artması ortalama yaşların daha büyük olmasını gerektirir ki, bu da yıldız kinematığı öngörülleri ile açıklanabilir bir durumdur. Anakol sistemlerinin yaşları yıldız öncesi evrim (oluşum ve anakola geliş) ihmal edilirse baş yıldızın anakolda geçirdiği zamana bağlıdır. Bu da zamanla orantılı olarak dispersiyonların artmasını gerektirir; çünkü daha

küçük kütleli sistemlerin anakol ömürleri çok daha uzundur. Dispersiyonlardan hesaplanan kinematik yaş grubun tamamını temsil eden ortalama bir değerdir.

Tablo 3'e göre en küçük kütleli alt grubun uzay hız bileşenleri ve toplam uzay hız dispersiyonları, sırasıyla, $\sigma_U=26.16$, $\sigma_V=19.04$, $\sigma_W=15.12$ ve $\sigma_S=35.71$ km/s'dir. Grubun toplam uzay hız dispersiyonuna karşılık gelen kinematik yaşı 2.17 Gyr'dır. En büyük kütleli grubun uzay hız bileşenleri ve toplam uzay hız dispersiyonları, sırasıyla, $\sigma_U=14.98$, $\sigma_V=14.41$, $\sigma_W=5.57$ ve $\sigma_S=21.52$ km/s'dir. Grubun toplam uzay hız dispersiyonuna karşılık gelen kinematik yaşı 0.52 Gyr'dır. Orta kütleli alt grup için ise uzay hız bileşenleri ve toplam uzay hız dispersiyonları, sırasıyla, $\sigma_U=20.19$, $\sigma_V=13.48$, $\sigma_W=9.54$ ve $\sigma_S=26.08$ km/s'dir. Grubun toplam uzay hız dispersiyonuna karşılık gelen kinematik yaşı 0.93 Gyr'dır.



Şekil 11. Anakol bileşenli 153 ayrıık örten çift sistemin Log M - N dağılımları.



Şekil 12. Sistemlerin toplam kütlelerine göre ayrılmış üç alt grubun U-V uzay hız diyagramları.

3.3.3. Tayf türlerine göre sınıflama

Işıma gücü veya evrimleşme düzeyi ve kütleyle yapılan gruplamalardan sonra akla gelen bir başka sınıflama yöntemi de yıldızların tayf türlerine göre yapılan sınıflamadır. Anakoldaki yıldızların kütle-ışınma gücü bağıntısı göz önünde bulundurulduğunda tayf türlerine göre olan bu sınıflama, kütleyle olan sınıflamadan bağımsız bir sınıflama olmadığı düşünülebilir. Bu çalışmada, hem kütleyle göre sınıflamanın sonuçlarını bir kez daha denetleme, hem de tayf türlerine göre daha homojen bir grup oluşturabilmek için tayf türlerine dayalı kinematik bir araştırma yapmak önemli olacaktır. Tayf türü veya tayf türüne uygun kütle aralıklarının incelenmesinde, kütleyle göre olan ayırımı çift yıldız sistemlerinin toplam kütleleriyle beraber baş yıldızın tayf türü dikkate alınmıştır. Bunun anlamı, yoldaş yıldızın yani daha

küçük kütleli veya daha soğuk bileşenin dikkate alınmadığıdır. Çünkü nükleer evrim büyük kütleli yıldızın evrimine göre ilerler. Çift yıldız sisteminin iki bileşenin de aynı evrim sürecinde oluştuğu kabul edildiğinde, anakol öncesi evrim ihmal edilirse, her iki bileşen aynı yaş ve kimyasal kompozisyonda olmak durumundadır. Bu nedenle baş bileşenin tayf türü ve kütlesi bu sınıflamanın ana parametreleri olarak kabul edilmiştir.

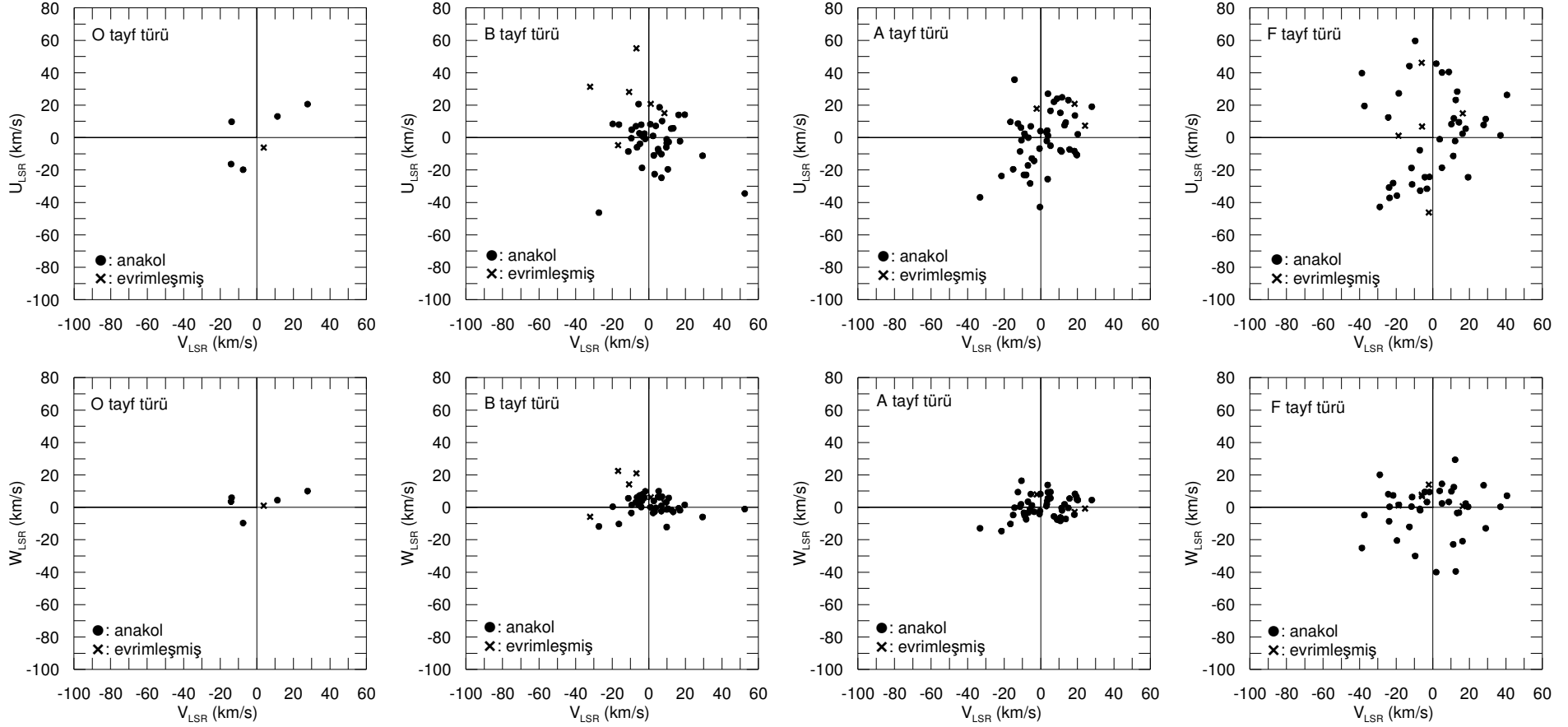
Ayrık örten çift yıldızlarda baş bileşenin tayf sınıfına göre kinematik incelenmesi Şekil 13-14’de ve Tablo 3’te özetlenmektedir. Tayf türü sınıflaması erken (O, B, A ve F) ve geç (G, K ve M) tayf türü için U-V ve V-W diyagramları iki ayrı grup olarak, sırasıyla, Şekil 13 ve Şekil 14’de gösterilmiştir. Şekiller üzerinde her iki bileşeni anakolda olan sistemlerin yanında, ek olarak, evrimleşmiş bileşeni olan sistemler de farklı semboller ile gösterilmiştir. Her bir tayf türündeki yıldız örneklerinin ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin uzay hız dispersiyonu ve toplam uzay hız dispersiyon değerleriyle bu değerlere karşılık gelen kinematik yaşlar Tablo 3’te listelenmiştir. Tabloda ayrık örten çift sistemlerin tümü için hesaplanmış toplam uzay hız dispersiyonu $\sigma_S = 29.12$ km/s ve hesaplanan kinematik yaş $\tau = 1.27$ Gyr’dır.

U-V diyagramı üzerindeki yıldızların uzay hız dağılımları dikkate alındığında O tayf türünden ($\sigma=22.4$ km/s) F tayf türüne ($\sigma=36.97$ km/s) doğru uzay hız dispersiyonlarında bir artış olduğu görülmektedir. Buna karşılık, W-V diyagramındaki yıldızların dağılımında da benzer bir artışın olduğu görülüyor. Buna rağmen, O-A tayf türlerinde W uzay hız bileşenin mutlak değer olarak 20 km/s den küçük ($|W| < 20$ km/s) olması açıkça dikkat çekmektedir. V doğrultusundaki uzay hız dispersiyonlarının W uzay hız dispersiyonlarından yaklaşık iki kat daha büyük olduğu diyagramlardan görülmektedir. W-V diyagramındaki F tayf türündeki yıldızlar erken tayf türündeki yıldızlara göre daha büyük ve daha homojen bir uzay hız dispersiyonu göstermektedirler. Bu bulgular özellikle O, B ve A tayf türündeki yıldızların galaktik düzlemden çok ayrılmadıklarının bir kanıtıdır. F tayf türündeki yıldızların W uzay hız bileşenlerindeki dispersiyon artışı yıldız sistemlerinin daha yaşlı olduğunun bir göstergesidir.

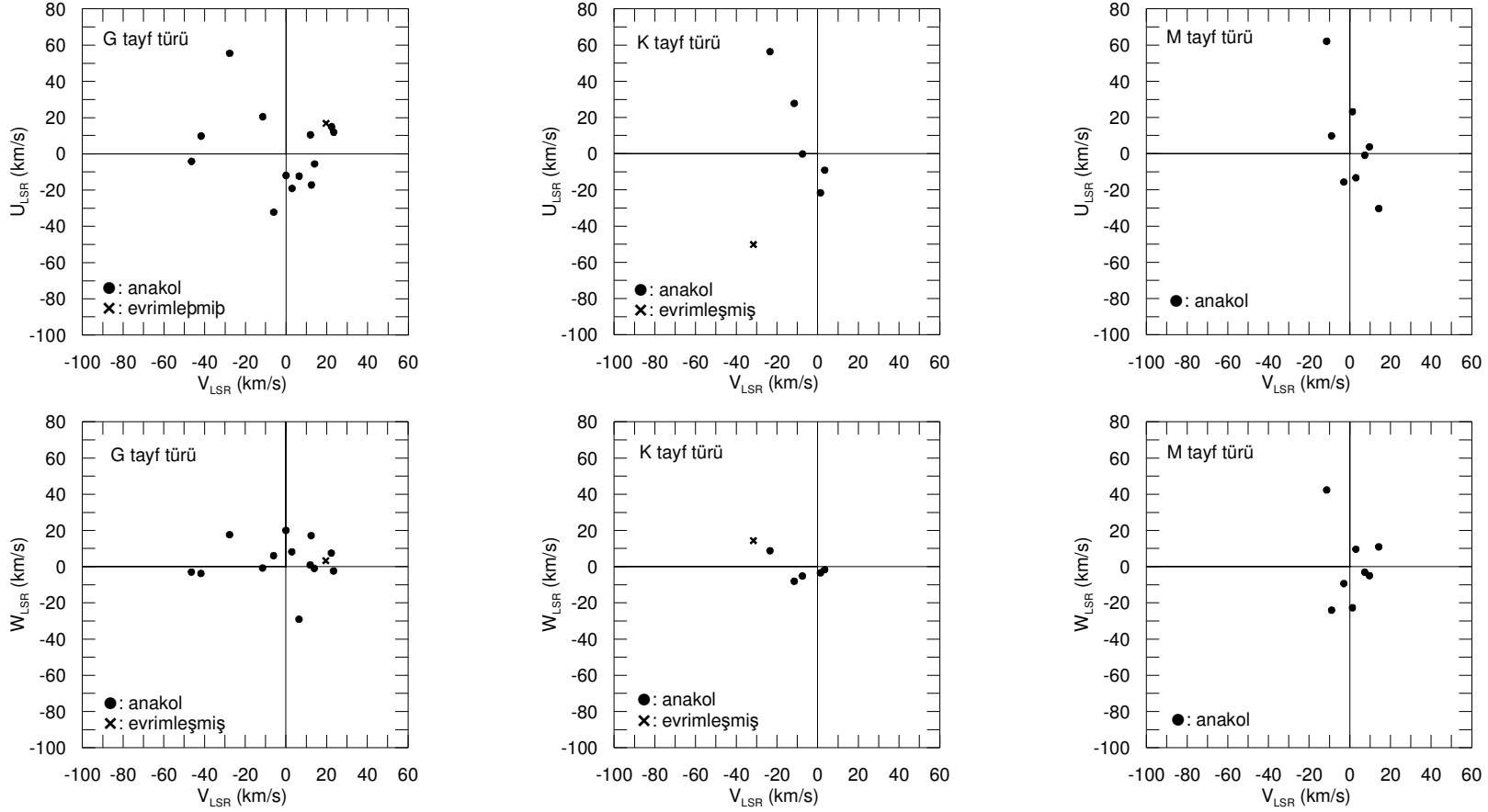
O tayf türünden F tayf türüne doğru gidildikçe görülen uzay hız dispersiyonundaki kararlı ve düzenli artış G, K ve M tayf türündeki sistemlerde görülmemektedir. Bu sistemlerin hız dispersiyonları istatistik bakımdan anlamlı kabul edilmese de, geç tayf türü sistemlerin hız dispersiyonları erken tayf türü sistemlerden daha büyüktür. Ancak, yine de Galaksimizin yaşına oranla bu dispersiyonların ifade ettiği kinematik yaşlar diğer aynı tür tek yıldızlara ve CAB’lara göre çok daha genç olduklarını ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Farklı alt gruplara karşılık gelen ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, toplam uzay hız dispersiyonları ve bu dispersiyona karşılık gelen kinematik yaşlar.

Parametre	N	$\langle U_{LSR} \rangle$ (km/s)	$\langle V_{LSR} \rangle$ (km/s)	$\langle W_{LSR} \rangle$ (km/s)	σ_U (km/s)	σ_V (km/s)	σ_W (km/s)	σ_S (km/s)	τ (Gyr)
Tüm Yıldızlar	169	0.94	0.52	0.68	21.96	15.88	10.66	29.12	1.27
Anakol	153	0.17	0.73	0.15	20.95	15.83	10.81	28.40	1.19
Evrimleşmiş	16	8.26	-1.51	5.75	29.99	16.38	9.07	35.35	2.12
-0.30 < Log $M_{top} \leq 0.44$	51	3.30	-0.69	-0.18	26.16	19.04	15.12	35.71	2.17
0.44 < Log $M_{top} \leq 0.62$	51	-1.73	-0.40	-0.19	20.19	13.48	9.54	26.08	0.93
0.62 < Log $M_{top} \leq 1.80$	51	-1.05	3.29	0.83	14.98	14.41	5.57	21.52	0.52
-0.52 < Log $P \leq 0.31$	51	4.11	3.02	1.08	22.84	16.06	12.59	30.63	1.46
0.31 < Log $P \leq 0.59$	51	-1.41	-1.89	-0.99	21.09	13.84	11.59	27.76	1.11
0.59 < Log $P \leq 2.00$	51	-2.19	1.06	0.37	18.70	17.38	7.61	26.64	0.99
O tayf	6	0.20	1.22	2.55	15.23	15.04	6.62	22.40	0.59
Anakol	5	1.47	0.72	2.85	16.45	16.39	7.24	24.32	0.76
Evrimleşmiş	1	-6.16	3.75	1.04	---	---	---	---	---
B tayf	44	1.11	1.89	1.77	17.23	14.20	6.49	23.25	0.66
Anakol	39	-2.60	3.16	1.01	13.95	13.97	5.38	20.46	0.44
Evrimleşmiş	5	30.09	-8.01	7.67	33.07	15.93	12.02	38.62	2.63
A tayf	49	-0.21	2.02	0.44	17.19	13.14	6.67	22.64	0.61
Anakol	46	-1.23	1.27	0.37	17.24	12.79	6.77	22.51	0.60
Evrimleşmiş	3	15.33	13.51	1.49	---	---	---	---	---
F tayf	42	0.95	-0.58	-1.04	28.18	18.77	14.84	36.97	2.37
Anakol	37	1.75	-0.21	-2.00	27.54	19.53	15.55	37.17	2.40
Evrimleşmiş	5	-4.95	-3.30	6.08	32.48	11.80	7.79	35.42	2.13
G tayf	14	2.67	-1.48	2.92	21.36	22.06	12.11	33.01	1.78
Anakol	13	1.58	-3.10	2.89	21.67	22.23	12.53	33.48	1.84
Evrimleşmiş	1	16.77	19.62	3.28	---	---	---	---	---
K tayf	6	0.50	-11.53	0.81	34.20	17.07	8.06	39.06	2.70
Anakol	5	10.64	-7.52	-1.90	29.98	12.26	6.06	32.95	1.77
Evrimleşmiş	1	-50.22	-31.57	14.37	---	---	---	---	---
M tayf	8	4.83	1.53	-0.15	27.03	8.51	20.06	34.72	2.02
Anakol	8	4.83	1.53	-0.15	27.03	8.51	20.06	34.72	2.02
Evrimleşmiş	0	---	---	---	---	---	---	---	---



Şekil 13. Erken tayf (O, B, A ve F) türündeki ayırık örten çift yıldızların U-V ve W-V uzay hız diyagramları.



Şekil 14. Geç tayf (G, K ve M) türündeki ayrıık örten çift yıldızların U-V ve W-V uzay hız diyagramları.

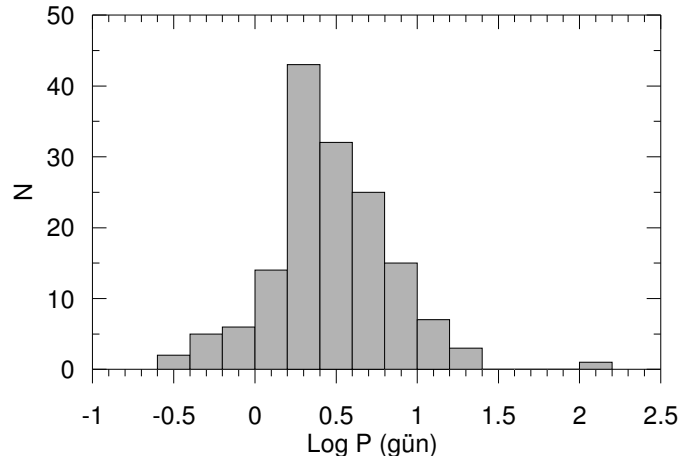
Kinematik yaş belirlemede yıldızların toplam uzay hız dispersiyonunun kinematik yaşları ifade etmede anlamlı olabilmesi için yıldız sayısının istatistik açıdan yeterli olması gereklidir. İstatistik bakımdan anlamlılık sınırı 30 civarında olmasına rağmen pek anlamlı olmayan gruplar, sadece fikir vermesi açısından oluşturulmuştur, ancak beş yıldızdan daha az yıldız içeren alt gruplar için toplam uzay hız dispersiyonu ve kinematik yaş tayini yapılmamıştır.

3.3.4. Yörünge periyotlarına göre sınıflama

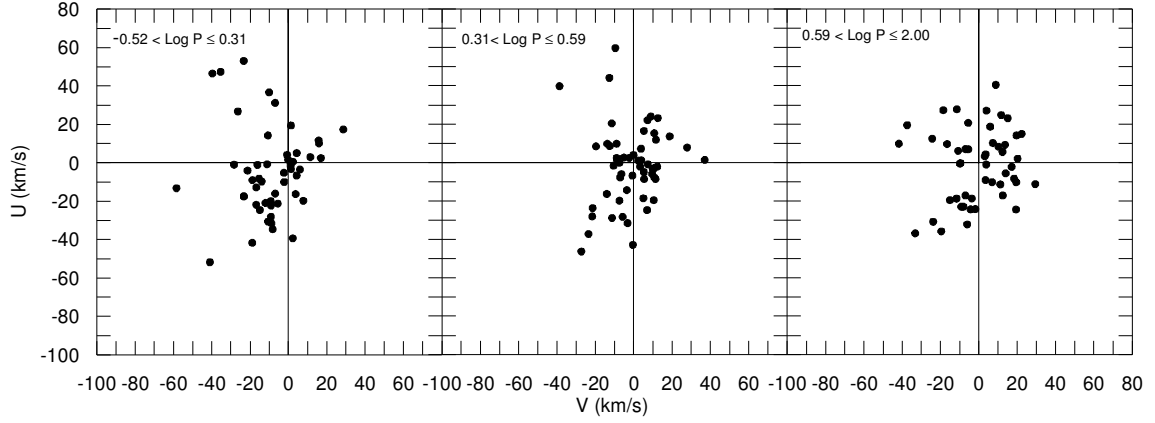
Kinematik olarak homojen özellik gösteren grupların araştırılmasında unutulmaması gereken bir başka sınıflama da yörünge periyoduna göre olmalıdır. Özellikle dikkat edilmesi ve araştırılması gereken bir sınıflama türüdür; çünkü CAB yıldızlarının yörünge periyotlarına göre oluşturulan grupların kinematik inceleme sonuçları, manyetik aktivite gösteren bu sistemlerde yörünge açısal momentum kaybıyla yörüngelerin küçülmesi yönünde dinamik evrimin kanıtını ortaya koymuştur (Karataş ve diğ., 2004; Demircan ve diğ., 2006; Eker ve diğ., 2006).

153 anakol yıldızının yörünge periyotlarına göre oluşturulmuş frekans dağılımı Şekil 15’de gösterilmiştir. Yörünge periyotlarına göre oluşturulmuş alt gruplarının kinematik incelemesini yapabilmek için örnek eşit sayıda yıldız olacak şekilde üç gruba bölünmüştür (Şekil 16). Alt grupların periyot aralıkları $-0.52 < \text{Log } P \leq 0.31$, $0.31 < \text{Log } P \leq 0.59$ ve $0.59 < \text{Log } P \leq 2.00$ gün olarak belirlenmiştir. Her bir alt grup için ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, toplam uzay hız dispersiyonları ve bu dispersiyonlara karşılık gelen kinematik yaşlar hesaplanmıştır (Tablo 3). Tüm örnek yıldız sayıları bakımından üç eşit gruba ayrıldığında, küçük yörüngelerden büyük yörüngelere gidildikçe hız dispersiyonlarının azaldığı görülmektedir (Tablo 3). Fakat Şekil 16’daki U-V hız diyagramlarında bu azalma göz ile farkedilememektedir. Dispersiyon değerlerinin birbirlerine bu denli yakın olması, hata sınırları içinde bu üç grubun aynı dispersiyon ve aynı kinematik yaşta olması şeklinde yorumlanabilir.

U-V uzay hız diyagramlarında küçük periyotlu sistemlerin büyük periyotlu sistemlere göre daha büyük dispersiyonlara sahip olması yörünge dinamik evriminin öngördüğü bir beklentidir. Ancak bu sonucu görebilmenin ön şartı, bileşen kütleleri açısından yörünge evrimini gösterecek kadar geniş yaş aralığına sahip homojen alt grupların bulunmasını gerektirir.



Şekil 15. Anakol bileşenli 153 ayırık örten çift sistemin Log P - N dağılımları.



Şekil 16. Sistemlerin yörünge periyotlarına göre bölünmüş üç alt grubunun U-V uzay hız diyagramları.

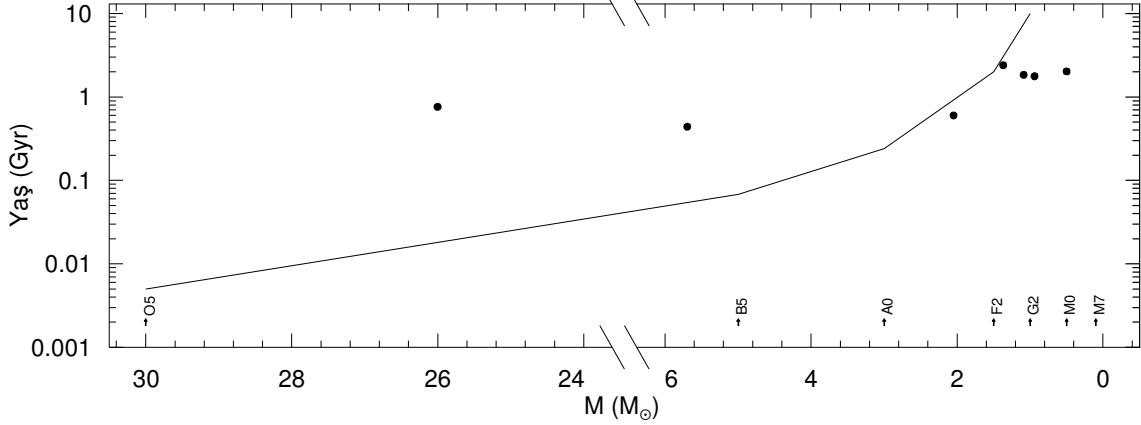
4.TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1. Kinematik Yaşların Anakol Ömürleri ile Karşılaştırılması

Yıldızların teorik anakolda kalma süresiyle kinematik yaşların karşılaştırılması Tablo 4’de verilmiştir. Tablonun ilk dört sütununda örneğimize ait tayf türü, tayf türlerine göre baş bileşenlerin ortalama kütleleri, bu çalışmada hesaplanan toplam uzay hız dispersiyonu ve bu dispersiyona karşılık gelen kinematik yaşlar verilmiştir. Tablonun 5-7 sütunlarında ise sırasıyla yıldızların tayf türleri, tayf türlerine karşılık gelen Güneş kütlesi cinsinden kütleleri ve teorik anakolda kalma süreleri bulunmaktadır (Karttunen ve diğ., 2007). Kinematik yaşlar ile teorik yaşların yıldız kütlesine göre karşılaştırılması Şekil 17’de gösterilmiştir.

Tablo 4. Anakol bileşenli ayırık örten çift yıldızların tayf türleri, örnek içinde bu tayf türlerine karşılık gelen baş bileşenlerin ortalama kütleleri, uzay hız dispersiyonları ve kinematik yaşları (1-4 sütun). Tayf türü, kütle ve anakolda kalma süresi (5-7 sütun).

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Tayf türü	M (M_{\odot})	σ (km/s)	τ (Gyr)	Tayf türü	M (M_{\odot})	Anakolda Kalma Süresi (Gyr)
O	26	24.4	0.76	O5	30	0.005
B	5.70	20.5	0.44	B0	15	0.010
A	2.05	22.5	0.60	B2	9	0.022
F	1.37	37.2	2.40	B5	5	0.068
G	1.09	35.4	1.84	A0	3	0.240
K	0.94	33.0	1.77	F2	1.5	2
M	0.50	34.7	2.02	G2	1	10
				M0	0.5	30
				M7	0.1	10000



Şekil 17. Tayf türlerine göre ayrılmış gruplar için hesaplanan kinematik yaşlar (•) ve teorik anakolda kalma süreleri (çizgi).

Şekil 17 incelendiğinde erken tayf türündeki sistemlerin kinematik yaşlarının anakolda kalma sürelerinden daha büyük bulunması beklenmedik bir durumdur. Teorik anakolda kalma süresiyle dispersiyonlardan hesaplanan kinematik yaşlar arasındaki farkın B tayf türüne doğru azaldığı, A ve F tayf türlerinde ise sifıra yaklaştığı Şekil 17'den açıkça görülmektedir. A ve F tayf türlerinin kinematik yaşları teorik anakol ömürlerinden küçük olmakla beraber hemen hemen bu değere yakın olması da beklenen bir durum değildir. Çünkü anakoldaki bir grup yıldız için bulunması gereken kinematik yaş, gruptaki yıldızların anakolda kalma sürelerinin ortalaması olabilir. Kinematik yaş, bir grup yıldız için hesaplanır ve söz konusu grubunun ortalama yaşını temsil eder. Galaksi içinde yıldız oluşum oranlarının zamanla sabit olduğu ve anakol öncesi evrim süresinin de ihmal edildiği durum dikkate alındığında Galaksinin oluşumundan bugüne kadar hesaplanacak kinematik yaşların anakol ömrünün yarısı kadar olması beklenir.

G, K ve M tayf türleri için hesaplanan kinematik yaşlar, yukarıda sözedilen durumun tam tersi, anakolda kalma süresiyle karşılaştırılmayacak kadar küçüktür. Küçük kütleli yıldızların anakolda kalma sürelerinin teorik hesapları, bu zaman ölçeğinin Galaksimizin yaşından büyük, Evrenin yaşı mertebesinde olduğu sonucunu vermektedir (bakınız Tablo 4; 7. sütun). Ancak, yapılan son çalışmalar Galaksimizin 12.7 Gyr yaşında olduğunu göstermektedir (Hansen ve diğ., 2002). Teorik anakolda kalma süreleri Galaksinin yaşından büyük olan yıldızlar için (örneğin G, K ve M tayf türleri için), eğer Galaksinin oluşumundan bugüne kadar yıldızların oluşum oranı değişmediyse, olası kinematik yaşları Galaksimizin yaşının yarısı kadar olması beklenir (bkz. Mihalas ve Binney, 1981). Halbuki, Şekil 17 bu beklentiyi doğrulamamaktadır.

G, K ve M tayf türündeki yıldızlar için hesaplanan kinematik yaşların (2.17 Gyr) Galaksimizin ortalama yaşından ($12.7 / 2 = 6.35$ Gyr) üç kat daha az olduğu görülmektedir. Örneğimizdeki geri tayf türündeki yıldızlar, Bensby ve diğ.'nin (2003) kinematik yöntemine göre, galaktik diskteki genç ince disk yıldızlarını temsil etmektedir.

4.2. Tayf Sınıflarına göre Periyot Histogramları

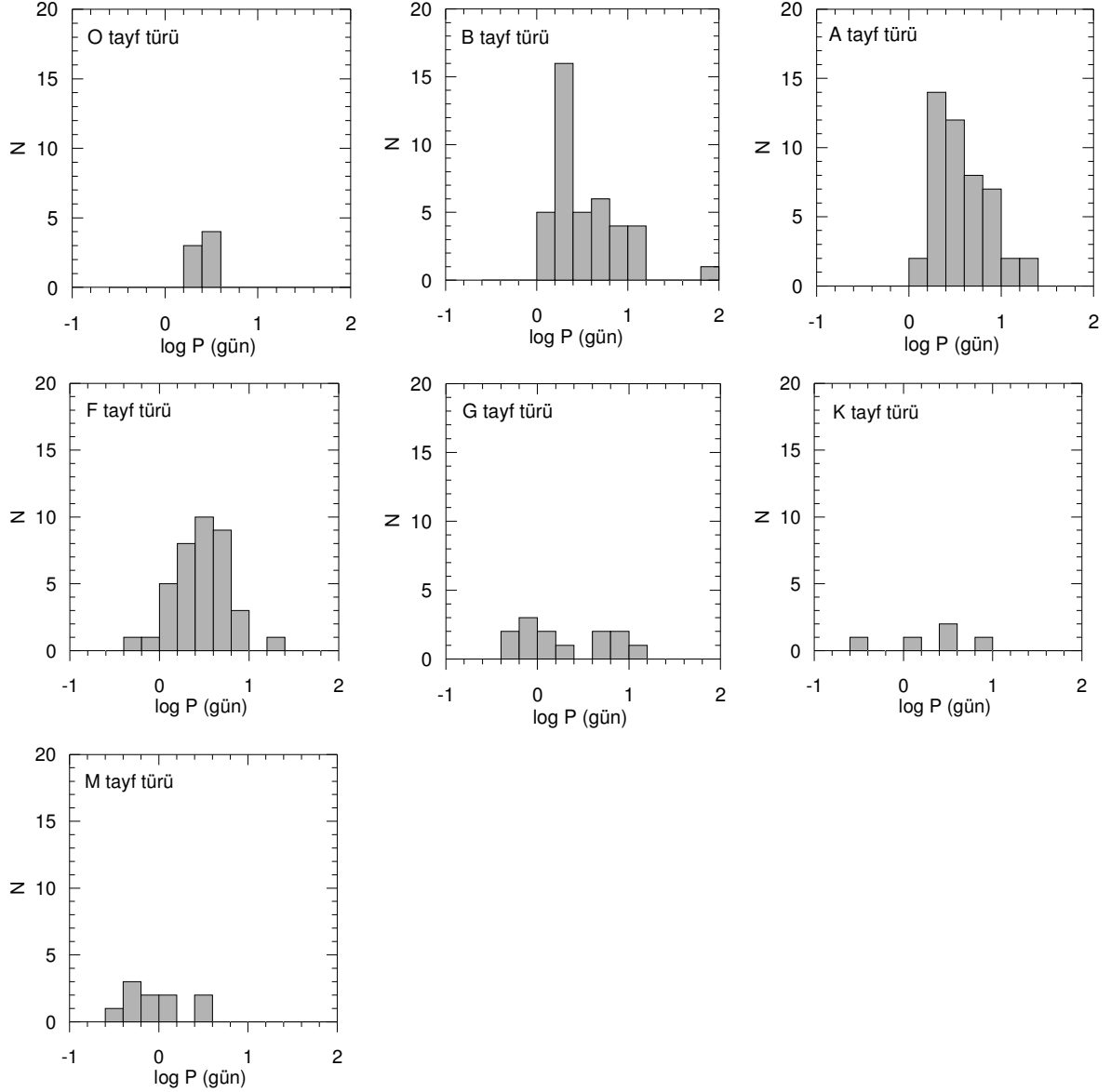
Örten çift yıldız sistemlerinin farklı tayf türlerindeki periyot histogramları Şekil 18'de görülmektedir. Histogramların oluşturulmasında her bir sistemin baş bileşeni (kütleli olan bileşen) dikkate alınmıştır. Histogramların yatay eksenindeki yörünge periyodu logaritmik

ölçekte ifade edilmiştir. Şekil 18’den, O, G, K ve M tayf türündeki sistemleri anlamlı şekilde yorumlamaya yetecek kadar yıldız bulunmamaktadır. Bu durum, yani sayıca azlık, O türü sistemler için de geçerlidir. Ancak, baş bileşeni O tayf türündeki sistemlerin B, A ve F tayf türündekilere göre sayıca az olması, bu gruptaki yıldızların oluşumundan kaynaklanabilir. Yıldız oluşum olasılığının yanında nükleer evrim hızı, yani anakolda kalma süresinin etkin olacağı da unutulmamalıdır. Yani, mutlak parlaklığı yüzünden B, A ve F tayf türlerine göre daha uzaktan görülebilmelerine rağmen O tayf türündeki yıldızların sayıca diyagramlarda az görülmesi Güneş civarında gözlenebilir uzayda bu sistemlerin gerçekten az olmasına işaret etmektedir. Sonuçta, sayısal azlık nedeniyle histogramın şekli ve dağılımı hakkında bir yorum yapabilmek mümkün görülmemektedir.

B tayf türündeki çift sistemlerin yörünge periyotlarının $P > 1$ ve genellikle $1 < P \leq 10$ gün arasında değiştiği, çok uzun yörünge periyotlu sistemleri temsilen ($P \approx 100$ gün) yalnız tek bir sistemin olduğu görülmektedir. Dağılımın yörünge periyodunun $P = 2$ ($\text{Log } P = 0.3$) gün değerinde bir maksimum yaptığı göze çarpmaktadır. Uzun yörünge periyotlarına doğru çift sistem sayılarının azalması, büyük yörüngelerdeki tutulma ihtimalinin küçük olmasıyla orantılıdır. Yörünge periyodu $P < 1$ gün sistemlerin B ve A tayf türünde görülmemesinin nedeni bu sistemlerin daha küçük yörünge periyotlarında fiziksel olarak oluşmasının imkânsız olmasıyla açıklanabilir. Kepler yasasına göre, yörünge periyodunun küçülmesi, yörünge dolayısıyla yıldızlar arasındaki uzaklığın küçülmesini gerektirmektedir. Ayrık sistemlerin $R_1 + R_2 < 0.75a$ (burada a yarı-büyük eksen büyüklüğünü, R_1 ve R_2 de yıldız çaplarını ifade ediyor) bağıntısına uyma zorunluluğu vardır. Çünkü teorik değme sınırı $R_1 + R_2 = 0.75a$ olarak bilinmektedir (Kopal, 1978).

Anakol yıldızlarının kütle ve yarıçapları temel alınarak (Cox, 2000), kütle oranı $q = 1$ ve her iki bileşenin aynı yarıçapta olduğu varsayılarak değme sınırında ($R_1 + R_2 = 0.75a$) Kepler’in üçüncü yasasına göre yörünge periyotları hesaplanmıştır (Tablo 5). Kütle ve yörünge periyodu bilindiğine göre sistemin yörünge açısal momentumunu da hesaplamak mümkündür. Değme sınırında hesaplanan periyotlar, Şekil 18’deki histogramların küçük periyotlara doğru yıldız olmamasını desteklemektedir. Örneğin, Şekil 18’de B tayf türü için oluşturulmuş yörünge periyodu histogramında yörünge periyodu $P=1$ günden küçük ayrık öten çift yıldız sistemi yoktur. Tablo 5’e göre eğer her iki bileşenin kütleleri eşit ve yarıçapları aynı ise B0 tayf türü için en küçük yörünge periyodu $P=2.22$ gündür. Ancak A0 tayf türüne kadar ki aralıktaki bütün yıldızlar B tayf türünden sayıldığına göre bileşenleri B0 ve B9 olan değme sınırındaki yıldızların yörünge periyodu $P=1.03$ günden biraz daha büyük olmalıdır. B tayf türü için oluşturulmuş yörünge periyot histogramında en küçük yörünge periyodun $P=1$ günün altında olma olasılığı yoktur. Bileşenleri B tayf türü olup yörünge periyodu $P=1$ günün altında olanlar ise değen sistem olmak durumundadır.

B ve A tayf türündeki sistemlerin periyot histogramlarında uzun periyotlara doğru yıldız sayısındaki azalma eğiliminin benzerlik gösterdiği söylenebilir. Aynı eğilim F tayf türündeki sistemler için de belirgindir. Fakat F tayf türünde uzun yörünge periyotlu sistemlerden kısa yörünge periyotlu sistemlere doğru görülen azalma, B ve A tayf türlerine göre daha yavaş ve yumuşaktır. Bu durum; B ve A tayf türündeki ayrık sistemlerin, dinamik evrimlerinin sonucu, hızla değen sistemlere dönüşürken dinamik evrimin F tayf türlerinde daha yavaş olduğunun bir işareti olabilir.



Şekil 18. Ayırık örten çift yıldızların tayf türüne göre yörünge periyotlarının değişimi.

G, K ve M tayf türündeki sistemlerin histogramlarına bakıldığında yörünge periyodu olarak $P = 10$ günden büyük sistemlerin bulunmaması yörüngelerin yıldız çaplarına göre daha büyük hale gelmesi ve bunun sonucunda da tutulma olasılığının azalması ile açıklanabilir. Küçülen yıldız çapları nedeniyle değme sınırı daha küçük yörünge periyotlarına kaymış olduğu da kolayca göze çarpmaktadır. Histogramlarındaki sayı azlığı G, K ve M tayf türündeki sistemlerin yörünge periyot dağılımlarının daha ileri düzeyde ve detaylı yorumlanmasına olanak vermemektedir.

Tablo 5. Her iki bileşeni aynı kütle ve çapta olan hipotetik çift yıldızın değme konumundaki limit yörünge periyotları.

Tayf Türü	M (M_{\odot})	R (R_{\odot})	Değme Sınırında Yörünge Periyodu (gün)	Log P (gün)	Log (M_1+M_2) (M_{\odot})	Log J (cgs)
O5	39.811	17.783	5.51	0.741	1.901	54.91
B0	17.783	7.413	2.22	0.346	1.551	54.19
B5	6.457	3.802	1.35	0.131	1.111	53.39
A0	3.236	2.512	1.03	0.011	0.811	52.85
A5	2.089	1.738	0.73	-0.134	0.621	52.48
F0	1.698	1.349	0.56	-0.254	0.531	52.29
F5	1.288	1.202	0.54	-0.269	0.411	52.09
G0	1.096	1.047	0.47	-0.324	0.341	51.95
G5	0.933	0.933	0.43	-0.364	0.271	51.82
K0	0.776	0.851	0.41	-0.384	0.191	51.68
K5	0.692	0.741	0.36	-0.449	0.141	51.58
M0	0.468	0.631	0.34	-0.469	-0.029	51.29
M2	0.389	0.501	0.26	-0.579	-0.109	51.12
M5	0.214	0.316	0.18	-0.749	-0.369	50.63
M8	0.100	0.126	0.07	-1.184	-0.699	49.93

4.3. Ayrık Örten Çift Sistemlerin Yörünge Açısız Momentum İncelenmesi

Ayrık örten çift yıldızlar kütle, yarıçap gibi fiziksel parametreleri en iyi belirlenmiş sistemler olduğu gibi, yörünge periyodu, yörünge elemanları, kütle oranı da en iyi hesaplanmış sistemlerdir. Bu durum göz önünde tutulduğunda, ayrık örten çift yıldızların yörünge açısız momentumlarının Log J - Log M diyagramındaki dağılımlarının gözden geçirilmesi, çift yıldız evriminde yörünge dinamiğinin incelenmesi bakımından önemlidir. CAB ve W UMa sistemlerine göre çok daha genç oldukları anlaşılan (kinematik yaş $\tau = 1.27$ Gyr) ayrık örten çift yıldız sistemleri için dinamik evrimin izlerini yani zamanla yörüngelerin küçülmesinin kanıtlarını aramak doğru olmaz. Böyle bir evrimin izlerini aramak ancak geniş bir yaş dağılımı ve yeterli sayıda yıldız içeren örnek ile mümkün olabilir. Örneğimiz, sayıca (N=169) yeterli gibi görünse de, öncelikle yaş ortalaması yörünge evrimini izlemeye uygun değildir. Özellikle manyetik frenleme mekanizmasının çalıştığı G, K ve M türü sistemlerin sayıca azlığı, manyetik frenlemeyle ilgili yörünge dinamiği ve evriminin mevcut verilerden çıkarılamayacağı izlenimini bizde oluşturmuştur.

Log J - Log M diyagramında dinamik evrimin izleri araştırılmazsa bile, ayrık örten çift yıldızların bu diyagram üzerinde dağılımların incelenmesi genel olarak bu konu ile uğraşan araştırmacıların ilgisini çekecektir.

Eker ve diğ. (2006), çift yıldız yörüngelerinin dinamik evriminin en iyi Log J - Log M diyagramında takip edilebileceğini ortaya koymuşlardır. Bu nedenle ayrık örten çift yıldızların yörünge açısız momentumları denklem (2) ile hesaplanmıştır. Çalışmanın bu kısmı, kinematik kriterlere bağlı değildir ve her bir sistemin toplam kütlesi, kütle oranı ve yörünge periyodunun bilinmesini gerektirir. Yıldız sistemleri içinde yörüngesel açısız momentumu (J) en duyarlı hesaplanan sistemler ayrık örten çift yıldızlardır. Listemizdeki tüm örnek (178 sistem) için yörünge açısız momentumu hesaplanmıştır. Hesaplanan yörünge açısız momentumları Log J - Log M diyagramı üzerinde işaretlenmiş ve Şekil

19’da gösterilmiştir. Ayrıca şekil üzerinde her iki bileşeni anakolda olan ve en az biri evrimleşmiş bileşen içeren sistemler, sırasıyla, (○) ve (●) sembolleriyle gösterilmiştir. Ayırık öten çift sistemler içinde anakol bileşenli sistemler $-0.5 < \text{Log } M < 2.0$ geniş bir kütle aralığında bulunurken, evrimleşmiş bileşene sahip olanlar $0.4 < \text{Log } M < 1.6$ gibi nispeten daha dar bir aralıkta bulunduğu şekilden anlaşılmaktadır. Sistemlerin ışığa gücü sınıfına göre ayrımı $\text{Log } J - \text{Log } M$ diyagramında bir farklılık ortaya koymamakta ve anakol bileşenliler ile evrimleşmiş sistemlerin aynı dağılım içinde kaldığı da görülmektedir (Şekil 19).

$$J = \left(\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \right) a^2 \Omega = \left(\frac{q}{(1+q)^2} \right) M a^2 \Omega, \quad (2)$$

Eker ve diğ.’nin (2006, 2007) yörünge açısal momentum formüllerinde yörünge açısal momentumunun çift sistemin toplam kütlelerinin $5/3$ kuvvetiyle orantılı olduğu açıkça görülmektedir. Ancak, Şekil 19’dan görüldüğü gibi dağılıma uygulanan en küçük kareler fiti bunu doğrulamamaktadır. $\text{Log } J - \text{Log } M$ diyagramlarındaki çift sistemlerin dağılımdan bulunan doğrusal fitin eğimi (kesikli çizgi) teoriden beklenenden daha dik bulunmuştur. Şekilde kesikli çizgiyle gösterilen doğrunun eğimi 1.74 olup $5/3$ değerinden daha büyüktür.

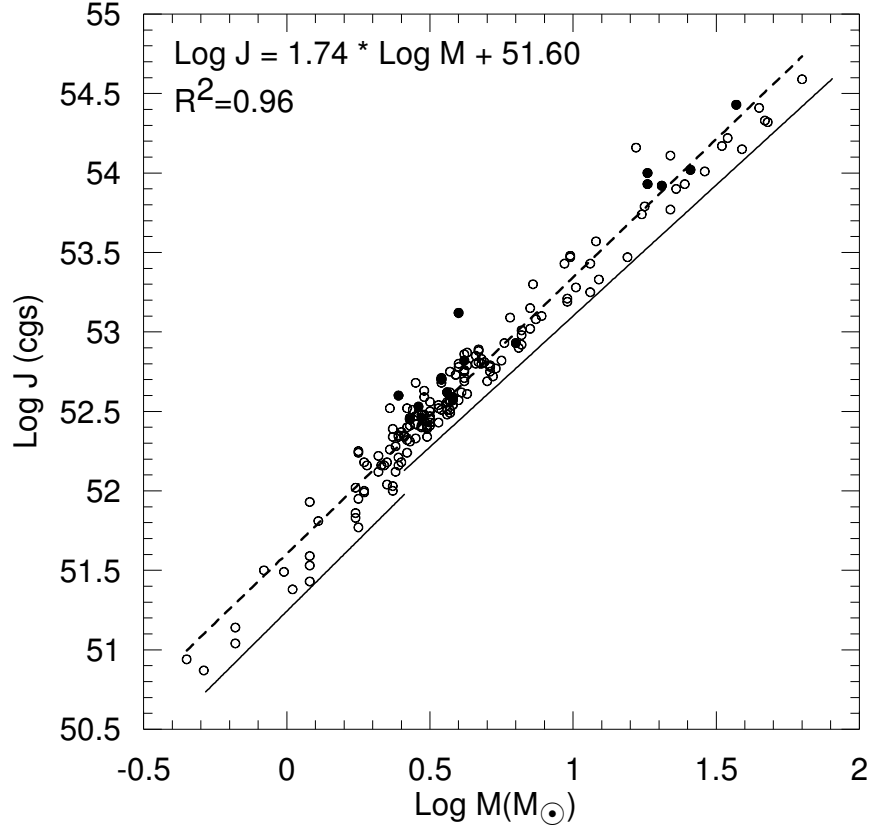
Dağılımın henüz anlaşılmayan yanlarından biri de örnekteki yıldızların alt sınırlarının iki farklı kütle aralığı için eğik doğrusal fitler şeklinde ifade edilebiliyor olmasıdır:

$$\text{Log } J = 1.79 \text{Log } M + 51.24 \quad (\text{Log } M < 0.5) \quad (3)$$

$$\text{Log } J = 1.65 \text{Log } M + 51.45 \quad (\text{Log } M > 0.5) \quad (4)$$

Dağılımın farklı toplam kütle bölgeleri için bulunmuş fit sonuçlarından birinin, yörünge açısal momentumu (J) ile sistemlerin toplam kütleleri (M) arasındaki ilişkinin üstel katsayısının (3. denklem) 1.65’lik değeri $5/3 \cong 1.67$ ’e yakın olması bakımından çok ilginçtir. Toplam kütleleri büyük olan çift sistemler için hesaplanan bu değer (1.65) küçük kütlelilere (1.79) göre daha küçük olmasının nedeni belli değildir. Belki de, bu durum çift yıldız sistemlerinin oluşumunun önemli ipuçları taşımaktadır. Çünkü sistemin kütleleri ve mevcut yörünge açısal momentumu iki serbest parametre olup oluşan çift sistemin yörünge büyüklüğünü ve dolayısıyla yörünge periyodunu belirler. Yıldız oluşturan bulutun açısal momentumu yoksa çökme sonrasında oluşacak yıldızın dönmeyen küresel bir yıldız oluşturacağı temel fizik yasasıdır. Fakat uygulamada bu mümkün değildir; çünkü galaktik boşlukta çok büyük bir uzay hacmi kaplayan yıldızlararası maddeden oluşan yıldızlar için Galaksi’nin diferansiyel dönmesi veya bulutlar içerisindeki diferansiyel kütle hareketleri, oluşacak tek veya çift yıldız sisteminin açısal momentumun kaynağı haline gelir. Sistem içindeki toplam açısal momentum ilkel yıldızın büzülmesi sırasında korunur. Bazı materyaller diski oluştururken, çöken maddenin ana kısmını merkezde dönen cisim oluşturur. Merkezdeki cismin sahip olduğu açısal momentumun miktarı merkezdeki cismin ya tek bir yıldız ya da bir çift sistemin oluşmasına sebep olur. Sistemin bir çift yıldız sistemi olabilmesi için merkezi cisimde kalan açısal momentum miktarının belli bir alt limitin üstünde olması gerekir. Bu alt limit öyle bir değer ki, bu değer üstündeki açısal momentum değeri, sistemin tek yıldız olmasına izin vermez. Çünkü tek yıldız olması durumunda dönme hızı o kadar büyük olur ki, ilkel yıldız bu

dönmeye dayanamaz ve merkezci kuvvet ilkel yıldızı parçalar. Sonunda sistem iki yıldızdan oluşan çift yıldız olmak durumundadır. Başlangıç koşullarından dolayı yıldızda kalan açısal momentum, sistemi çift yıldız olmaya zorlarsa sistemin değen çift mi ayrık çift mi olduğuna yine mevcut açısal momentum miktarı karar verir. Ayrık kromosferik aktif çiftler ile değen sistemler (W UMa türü sistemler) arasında belirgin bir sınır olduğu Eker ve diğ. (2008) tarafından gösterilmiştir. Bu sistemlerin toplam kütleleri birbirine yakın olduğu halde ayrık aktif çiftler, değen çiftlere göre daha büyük yörüngesel açısal momentuma sahiptir.



Şekil 19. Anakol (○) ve evrimleşmiş (●) bileşenli 178 ayrık örten çift sistemin Log J-Log M diyagramı. Çizgiler değme sınırlarını, kesikli çizgiler ayrık örten çift yıldız sistemlerinin Log J-Log M değerleri arasındaki lineer ilişkiyi ve R^2 ise bu ilişkinin korelasyon katsayısını göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada örten ayrık çift yıldız sistemlerin literatür taraması yapılmış ve güncel listesi oluşturulmuştur. 178 yıldızdan oluşan örnek içerisinde uzay hızları yeterince duyarlı ve popülasyon ayırımı yapılmış 169 yıldız sistemin toplam kütle, yörünge periyodu ve tayf türüne göre kinematik incelenmesi yapılmıştır. Kinematik analizlerden ayrık örten çift yıldızların, kinematik yaşının 1.27 Gyr olduğu görülmüştür. Ayrık örten çift yıldızlar için hesaplanan kinematik yaşların küçük bulunması yörünge dinamik evrimlerinin incelenmesine olanak vermemiştir.

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 106T688 numaralı projeye desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- Andersen, J., 1991, A&ARv, 3, 91
- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., 2003, A&A, 410, 527
- Bensby, T., Feltzing, S., Lundström, I., Ilyin, I., 2005, A&A, 433, 185
- Bilir, S., Karataş, Y., Demircan, O., Eker, Z., 2005, MNRAS, 357, 497
- Bilir, S., Ak, T., Soyduğan, E., Soyduğan, F., Yaz, E., Filiz Ak, N., Eker, Z., Demircan, O., Helvacı, M., 2008, AN, 329, 835
- Buser, R., Rong, J., Karaali, S., 1999, A&A, 348, 98
- Cox, A. N., 2000, Allen's Astrophysical Quantities, ed: Cox A. N., Springer, New York, fourth ed., p. 720.
- Demircan, O., Eker, Z., Karataş, Y., Bilir, S., 2006, MNRAS, 366, 1511
- Eker, Z., 1992, ApJS, 79, 481
- Eker, Z., Demircan, O., Bilir, S., Karataş, Y., 2006, MNRAS, 373, 1483
- Eker, Z., Demircan, O., Bilir, S., Karataş, Y., 2007, Solar and Stellar Physics Through Eclipses ASP Conference Series, Vol. 370, proceedings of the conference held 27-29 March, 2006 at Ankara University, ÖRSEM Campus, Side, Antalya, Turkey. Edited by O. Demircan, S. O. Selam, and B. Albayrak. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2007, p.151
- Eker, Z., Demircan, O., Bilir, S., 2008, MNRAS, 386, 1756
- ESA, 1997, ESA, VizieR On-line Data Catalog: I/239
- Hansen, B. M. S., Brewer, J., Fahlman, G. G., Gibson, B. K., Ibata, R., Limongi, M., Rich, R. M., Richer, H. B., Shara, M. M., Stetson, P. B., 2002, ApJ, 574L, 155
- İbanoğlu, C., Soyduğan, F., Soyduğan, E., Dervişoğlu, A., 2006, MNRAS, 373, 435
- Johnson, D. R. H., Soderblom, D. R., 1987, AJ, 93, 864
- Karataş, Y., Bilir, S., Eker, Z., Demircan, O., 2004, MNRAS, 349, 1069
- Karttunen, H., Krüger, P., Oja, H., Poutanen, M., Donner, K. J., Fundamental Astronomy, Edited by H. Karttunen, P. Krüger, H. Oja, M. Poutanen, and K. J. Donner, 2007, Berlin: Springer
- Kopal Z., 1978, in Kopal Z., ed., Dynamics of Close Binary Systems, Reidel, Dordrecht, p. 332
- Leggett, S. K., 1982, ApJS, 82, 351
- Mihalas, D., Binney, J., 1981, Galactic Astronomy: Structure and Kinematics, ed: Freeman W. H., W. H. Freeman and Co., San Francisco, 2nd edition, p: 608
- Pickles, A. J., 1998, PASP, 110, 863
- Southworth, J., Smalley, B., Maxted, P. F. L., Claret, A., Etzel, P. B., 2005, MNRAS, 363, 529
- Torres, G., Andersen, J., Giménez, A., 2010, A&ARv, 18, 67
- van Leeuwen, F., 2007, A&A, 474, 653
- Zacharias, N., Monet, D. G., Levine, S. E., Urban, S. E., Gaume, R., Wycoff, G. L., 2005, VizieR On-Line Data Catalog: I/297

