

## Aktif Kromosferli Çift Yıldızların Kinematığı

Mehmet TÜYSÜZ<sup>1,2\*</sup>, Selçuk BİLİR<sup>3</sup>, Faruk SOYDUGAN<sup>1,2</sup> ve Zeki EKER<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü, Çanakkale

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik Araştırma Merkezi ve Gözlemevi

<sup>3</sup> İstanbul Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Beyazıt, İstanbul

<sup>4</sup> TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Antalya

<sup>5</sup> Akdeniz Üniversitesi, Fizik Bölümü, Antalya

**Özet** Bu çalışmada Güneş civarında bulunan aktif kromosferli çift yıldızların (CAB) kinematığı araştırılmıştır. Eker ve ark. (2008) tarafından hazırlanan III. CAB kataloğundan 362 CAB yıldızının dikine hız verilerine ulaşılmış, söz konusu sistemlerin astronomik verileri (öz hareket ve trigonometrik paralaks) ise yeni indirgenmiş Hipparcos kataloğundan alınmıştır. Sistemlerin uzay hız bileşenleri diferansiyel dönme etkisinden arındırılmış ve LSR düzeltmesi uygulanmıştır. Uzay hız hataları büyük olan dört sistem istatistik dışı bırakılarak toplam yıldız sayısı 358 olmuştur. Eggen'in hareketli gruplara (MG) üye yıldızların belirlenmesinde kullanılan kriterler 358 CAB yıldızına uygulanarak örnek içinde olası 40 MG üyesi belirlenmiştir. 40 olası MG üyesinin kinematik yaşı 0.79 Gyr, geri kalan 318 alan CAB'ın kinematik yaşı ise 5.10 Gyr olarak hesaplanmıştır. Işıma gücü sınıflarına göre alt gruplara ayrılmış 133 çüce ve 185 evrimleşmiş sistemin kinematik yaşları ise, sırasıyla, 6.30 Gyr ve 4.15 Gyr olarak bulunmuştur.

### 1 Giriş

Aktif Kromosferli Çift Yıldızlar (CAB), F ve daha geri tayf türünden (G, K, M) bir veya iki bileşeni dev, alt-dev veya anakol yıldızı olan ayrık ya da yarı ayrık çift yıldız sistemleridir. CaII H ve K çizgi merkezlerinde ve bazen H $\alpha$  da belirgin olan salma, kromosferik aktivitenin en temel belirteçidir. Yıldız lekelerinden kaynaklanan fotometrik değişimler görülebilir. Söz konusu aktivite, yıldızın manyetik alanı ile kendi eksenini etrafındaki dönüşünden kaynaklanan "dinamo" modeliyle açıklanmaktadır.

Literatürde CAB yıldızlarıyla ilgili ilk iki katalog Strassmeier ve ark. (1988, 1993) tarafından yayınlanmıştır. Katalogun üçüncü sürümü uzun bir aradan sonra Eker ve ark. (2008) tarafından oluşturulmuştur. Bu kataloglar kullanılarak CAB yıldızlarının Güneş civarındaki kinematik özellikleri incelenmiştir. CAB yıldızlarının kinematik çalışmaları Eker (1992), Aslan ve ark. (1999) ve Karataş ve ark. (2004) tarafından yapılmıştır. Eker (1992)'in yapmış olduğu ilk kinematik çalışmada, henüz Hipparcos verileri yayınlanmadığından kullanılmamıştır.

\* mehmettuysuz@comu.edu.tr

Aslan ve ark. (1999) ve Karataş ve ark. (2004) tarafından yapılan kinematik çalışmalarda Hipparcos uydusundan sağlanan astrometrik veriler kullanılmıştır (ESA 1997). Hipparcos uydu verilerinde görülen bazı sistematik hataların yeni algoritmalar kullanılarak yeniden çalışılmasıyla astrometrik veriler güncellenmiştir (van Leeuwen 2007). Yeni bir CAB kataloğunun oluşturulması (Eker ve ark. 2008) ve duyarlı astrometrik verilerin literatüre kazandırılmasıyla Güneş civarındaki CAB yıldızlarının kinematik incelenmesi bu çalışmayla yeniden gündeme gelmiştir.

## 2 Veri

Eker ve ark. (2008)'in yayınlamış olduğu CAB kataloğuyla birlikte 2008 yılından sonra yapılan bilimsel çalışmalar göz önüne alınarak Güneş'e göre uzay hızlarının hesabına olanak sağlayan öz hareket, paralaks ve radyal hız verileri mevcut olan 362 sistem bu çalışmaya dahil edilmiştir.

### 2.1 Paralaks ve Öz hareket Verileri

Yıldızların uzay hızlarının hesaplamasında kullanılan astrometrik verilerin büyük kısmı yeni indirgenmiş Hipparcos kataloğundan alınmıştır (van Leeuwen 2007). 328 CAB yıldızın trigonometrik paralaks verisi yeni indirgenmiş Hipparcos kataloğunda yer alırken, 34'ü bu kataloğta bulunamamıştır. 328 CAB yıldızından dördünün trigonometrik paralaksları sıfırdan küçük ( $\pi < 0$ ), 313'nün görelî paralaks hatası  $0 < \sigma_\pi/\pi \leq 0.50$  aralığında ve geriye kalan 11'inin görelî paralaks hataları ise  $\sigma_\pi/\pi = 0.50$  den büyüktür. Trigonometrik paralaksı bilinmeyen 34 yıldızdan ikisinin yer tabanlı paralaks ölçümleri mevcut olup veriler ARI<sup>6</sup> veri tabanından alınmıştır. Buna göre, görelî paralaks hata değeri  $0 < \sigma_\pi/\pi \leq 0.50$  aralığında bulunan 313 CAB yıldızının paralaksları için yeni indirgenmiş Hipparcos verileri, iki CAB yıldızı için de yer tabanlı paralaks değerleri kullanılmıştır. Geriye kalan 47 sistemin uzaklık verileri tayfsal paralaks yöntemiyle tayin edilmiştir. Öz hareket verileri yeni indirgenmiş Hipparcos kataloğunda bulunamayan sistemler için Zacharias ve ark. (2004) ve Hog ve ark. (1998) çalışmalarından yararlanılmıştır.

### 2.2 Dikine Hızlar

Güneş civarındaki çoğu CAB yıldızının hassas dikine hız verileri Eker ve ark. (2008)'in oluşturmuş olduğu III. CAB kataloğunda yer almaktadır. Kinematik verilerin hesaplanmasında önemli bir parametre olan dikine hız verisi için Eker ve ark. (2008)'in sistemlerinin kütle merkezleri için verdikleri değer alınmıştır. Kataloğtan 362 yıldızın dikine hız verisine ulaşılmıştır.

<sup>6</sup> <http://www.ari.uni-heidelberg.de/datenbanken/aricns/>

### 3 Galaktik Uzay Hız Bileşenleri

CAB yıldızlarının Galaktik uzay hız bileşenleri (U, V, W) ve bu hız bileşenlerine ait hatalar Johnson ve Soderblom (1987)'in algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için yıldızların ekvatorial koordinatları ( $\alpha, \delta$ ), trigonometrik paralaksı ( $\pi$ ), öz hareket bileşenleri ( $\mu_\alpha \cos \delta, \mu_\delta$ ), kütle merkezi hızlarıyla ( $\gamma$ ) bu parametrelere ait hataların duyarlı bir şekilde belirlenmiş olması gerekir. Hız bileşenlerindeki belirsizlikler yukarıda sıralanan parametrelerinin ölçümleri sırasında yapılan hataların yayılımından kaynaklanır (bkz., Johnson ve Soderblom 1987). U, V, W uzay hızları Güneş'e göre bir yıldızın uzay hız vektörünün bileşenlerini oluşturur. Burada U hız bileşeni Galaksi merkezine ( $l=0^\circ, b=0^\circ$ ), V hız bileşeni Galaksinin dönme doğrultusunda ( $l=90^\circ, b=0^\circ$ ) ve W hız bileşeni ise Kuzey Galaktik Kutup ( $b=90^\circ$ ) doğrultusunda ölçülür.

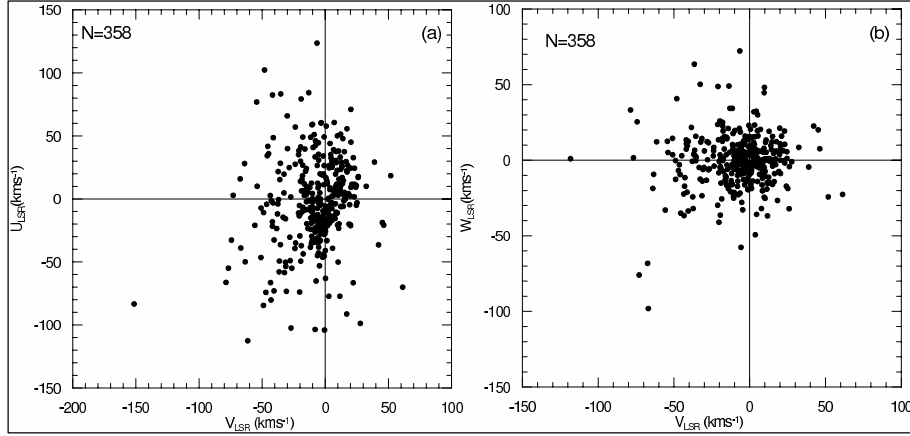
Hesaplanan uzay hızı bileşenlerine "galaktik diferansiyel dönme" düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Galaktik diferansiyel dönme nedeniyle gözlenen dikine hızlar ve ölçülen öz hareketler yıldızın Güneş'e göre uzay hız bileşenlerinde hatalar oluşturur. Galaktik diferansiyel dönmenin etkisi Galaksi düzleminde Güneş'ten itibaren yıldızların uzaklıklarıyla orantılıdır. Galaksi merkezine yakın olan sistemler görel olarak daha hızlı, uzak olanlar ise daha yavaş hareket eder. Galaktik diferansiyel dönme etkisi bir yıldız U ve V hız bileşenlerini etkiler iken W hız bileşenini etkilemez.

Güneş civarındaki gözlemler durağan olmayan Güneş'e göre yapıldığından elde edilen kinematik parametreler Yerel Durağanlık Standardı'na (Local Standard of Rest-LSR) göre düzeltilmelidir. Yerel Durağanlık Standardı Güneş'in konumunda bulunan, Galaksinin çekimsel potansiyelinde dairesel bir yörüngede dolanan bir yıldızın hızının tersi olarak tanımlanmıştır. Çalışmadaki CAB yıldızlarının (U, V, W) hız bileşenleri Mihalas ve Binney (1981)'in LSR noktası için vermiş olduğu (9, 12, 7) km/s'lik değerler kullanılarak düzeltilmiştir.

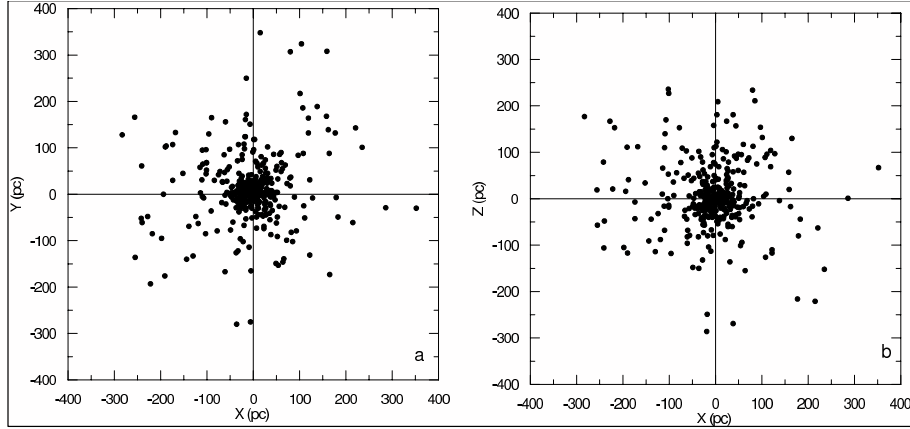
CAB yıldız örneği içinde toplam uzay hız dispersiyonuyla toplam uzay hızı hataları arasındaki ilişki incelenmiştir. Uzay hız hataları büyük olan sistemlerin örnekten çıkartılmasıyla toplam uzay hız dispersiyonunda büyük bir değişim görülmemiştir. Bu nedenle uzay hız hataları 27 km/s büyük olan dört sistem ana örnek içinde belirlenerek istatistik dışı bırakılmıştır. Toplam uzay hız hatası 27 km/s'den küçük 358 CAB yıldızının (V-U) ve (V-W) düzlemlerindeki uzay hız dağılımları Şekil 1'de gösterilmiştir.

#### 3.1 Uzay Dağılımları

358 CAB yıldızın Güneş merkezli Galaktik uzay dağılımları Şekil 2'te gösterilmiştir. Burada X, Y ve Z, sırasıyla, Galaksi merkezi doğrultusunu, Güneş'in Galaksi merkezi etrafındaki dönüş doğrultusunu ve Galaktik düzlemden olan uzaklığını göstermektedir. X, Y ve Z düzlemleri üzerindeki sistemlerin medyan uzaklıkları, sırasıyla, -3, 4 ve 1 pc olup incelenen 358 CAB yıldızın uzaklıkları bakımından büyük bir yanlılık göstermemektedir. Ayrıca Şekil 2b'den de görüleceği gibi sistemler Galaktik disk içinde yer almaktadır.



Şekil 1. Uzay hız bileşenlerine diferansiyel rotasyon hız düzeltmesi yapılmış 358 CAB'ın V-U (a) ve V-W (b) hız diyagramları üzerindeki yerleri.



Şekil 2. Örnekteki CAB yıldızların Güneş merkezli Galaktik uzay dağılımları: (a) X-Y ve (b) X-Z düzlemlerini göstermektedir.

### 3.2 Kinematik Yaş

Yıldızların uzay hız dispersiyonlarının yaş ile arttığı bilinmektedir. Yıldızlarla diğer gök cisimleri arasında gerçekleşen çekimsel karşılaşma, genellikle yıldızın  $v$  hızı arttıkça azalan bir difüzyon katsayısının ortaya çıkmasıyla sonuçlanır (Spitzer ve Schwarzschild 1953, Chandrasekhar 1960, Hénon 1973). Difüzyon katsayısının hesabı, yıldızların hızları saçılan kütlelerinden büyükse, iki cisim karşılaşmalarına dayalı difüzyon sürecinin ana hatlarını belirler. Bu durumu göz

önüne alınarak bir grup yıldızın yaşı, uzay hızı dispersiyonlarıyla ilişkilendirmiştir (Wielen 1977):

$$\sigma_v^3(\tau) = \sigma_{v,\gamma=0}^3 + \frac{3}{2}\alpha_v\delta_2T_\delta[\exp(\frac{\tau}{T_\delta}) - 1] \quad (1)$$

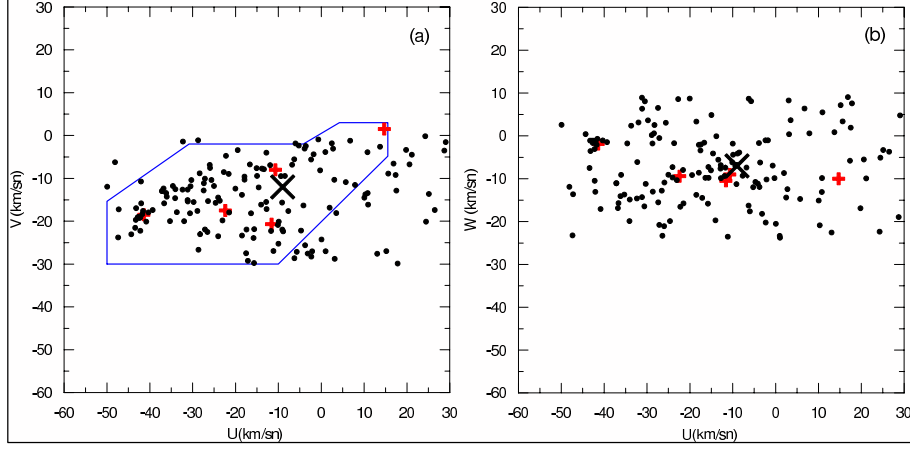
Burada;  $\sigma_{v,\gamma=0}^3$  yıldızın sıfır yaşındaki hızı (10 km/s);  $\alpha_v$  rotasyon eğrisini açıklayan sabit (2.95);  $T_\delta$  zaman ölçeği ( $5 \times 10^9$  yıl);  $\delta_2$  yayılma katsayısı ( $3.7 \times 10^{-6}$  (km/s)<sup>3</sup> yıl);  $\sigma_v(\tau)$  bir grup yıldızın hız dağılımı;  $\tau$  kinematik yaşı gösterir. Denklem (1), zaman içerisinde daha hassas katsayıların belirlenmesiyle güncellenmiştir (Cox 2000). Denklem (1)'in geliştirilmiş ve sabitlerinin yerine konmuş hali şu şekildedir:

$$\sigma_v^3(\tau) = 1000 + 81862.5[\exp(\frac{\tau}{5 \times 10^9}) - 1] \quad (2)$$

Listemizdeki 358 CAB yıldızının kinematik özellikleri incelendiğinde örneğin (U, V, W) uzay hız ortalamalarının (-13.3, -19.6, -8.3) km/s olduğu ve bu nokta civarında (39.5, 24.7, 19.1) km/s'lik bir dispersiyon gösterdiği görülmektedir. Tüm örnek için hesaplanan 50.33 km/s'lik toplam uzay hız dispersiyonu kinematik yaşı  $\tau = 4.67$  Gyr vermiştir.

#### 4 Hareketli Küme Üyelerinin (MG) Belirlenmesi

Galaksi içerisinde aynı kinematığı paylaşan, çekimsel olarak birbirine bağlı olmayan grup yıldızları “süper küme” ve süper kümenin Güneş civarına giren parçası da “hareketli grup” (MG) olarak tanımlanmıştır. Kinematik açıdan birbirine benzeyen MG üyeleri aynı orijinden meydana gelen sistemlerdir. Olası MG üyesi yıldızları belirlenmek için “öz hareket” ve “özel hız” kriterlerini öngörmüştür (Eggen 1958a, b; 1989; 1995). Çalışmada Eggen (1995) tarafından tanımlanan kinematik kriterler yardımıyla CAB örneği içinde olası MG üyeleri belirlenmiştir. Olası üyelerinin uzay hız bileşenleri Leggett (1992)'in genç ince disk yıldızları için vermiş hız aralıklarına uygundur:  $-50 < U < 20$ ,  $-30 < V < 0$ ,  $-25 < W < 10$  km/s. Eggen kriterleri (1995) 358 CAB yıldızının 152'si uygulanmıştır. MG testine tabii tutulan CAB yıldızlarının (V-U) ve (V-W) hız - hız diyagramları Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekilde (+) süper kümeleri, (●) MG testine giren CAB yıldızları ve (X) LSR'nin konumunu göstermektedir. 152 CAB yıldızına MG testleri uygulandıktan sonra 40 CAB sisteminin olası MG adayı olabileceği görülmüştür. Geriye kalan 322 CAB yıldızı ise MG'ler ile ilişkisi bulunmayan alan CAB'larıdır. 40 olası MG üyesi ve 318 alan CAB'ın toplam uzay hız dispersiyonları, sırasıyla, 24.67 ve 52.68 km/s olarak hesaplanmıştır. Bu dispersiyonların Denklem (2)'de verilen bağıntıyla hesaplanmış kinematik yaşları, sırasıyla,  $\tau = 0.79$  Gyr ve  $\tau = 5.10$  Gyr'dır. MG testlerinden sonra alan CAB'ların kinematik yaşının tüm CAB yıldızlarına göre 0.58 Gyr daha yaşlı olduğu görülmüştür.



**Şekil 3.** MG testine giren 158 CAB yıldızı ve bilinen MG'lerin (a) (V-U) (b) (V-W) hız-hız diyagramlarındaki konumları. (+) süper kümeleri, (●) MG testine giren CAB yıldızlarını ve (X) LSR'nin konumunu göstermektedir.

## 5 Tartışma ve Sonuç

Listemizdeki 358 CAB yıldızının kinematik özellikler incelendiğinde örneğin (U, V, W) uzay hız bileşen ortalamalarının (-13.3, -19.6, -8.3) km/s olduğu ve bu nokta civarında (39.5, 24.7, 19.1) km/s'lik bir dispersiyon gösterdiği görüldü. Bu çalışmada 358 CAB yıldızı için hesaplanan (39.5, 24.7, 19.1) km/s'lik toplam uzay dispersiyonu Eker (1992) (37.3, 27, 23) km/s; Aslan ve ark. (1999) (38.8, 22.4, 18.2) km/s ve Karataş ve ark. (2004) (37.3, 26.0, 19.4) km/s değerleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. 358 yıldızdan oluşan örneğin toplam uzay hız dispersiyonu 50.38 km/s olup grubun kinematik yaşı  $\tau = 4.68$  Gyr'dır. Bu sonuç toplam uzay hız dispersiyonun 49.93 km/s olarak hesaplayan Karataş ve ark. (2004)'ın  $\tau = 4.51$  Gyr kinematik yaşıyla uyumlu iken, toplam uzay hız dispersiyonunu 48.35 km/s olarak hesaplayan Aslan ve ark. (1999)'ın  $\tau = 4.31$  Gyr'lık kinematik yaşından biraz büyüktür. Bu çalışmada kullanılan yıldız sayısı daha önceki çalışmalara göre daha fazla ve daha uzak CAB yıldızlarını içerdiğinden elde edilen kinematik sonuçlar daha güvenilir olmalıdır.

Bu çalışmada Eggen kriterleri kullanılarak örnek içerisinde olası 40 MG üyesi belirlenmiş ve kinematik yaşları  $\tau = 0.79$  Gyr olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan  $\tau = 0.79$  Gyr yaş, Karataş ve ark. (2004)'ın örneklerindeki olası MG adayları için hesapladığı 0.95 Gyr'dan biraz küçüktür. İki çalışma arasındaki farklılık yıldız sayılarından kaynaklanmaktadır. Karataş ve ark. (2004) olası MG üyelerini belirlerken her iki Eggen kriterinden yalnız birinin sağlanması koşulunu dikkate almışken, bu çalışmada her iki Eggen kriterinin sağlanmasına önem verilmiştir.

Bir grup yıldızın evrim senaryosunun açıklanması için CAB yıldızlarının tek tek incelenmesi çok zahmetli ve uzun zaman alacak bir çalışmadır. Bu problemin

üstesinden gelebilmek için farklı evrim aşamasında ve temel parametreleri iyi belirlenmiş CAB yıldızları tek yönlü analiziyle yapılabilir. CAB yıldızlarının evrimsel senaryosunun bir bütün olarak incelenmesinde yıldızların uzay dağılımları ve kinematığı kullanılabilir. Literatürde parametreleri iyi bilinen CAB yıldızları, kendi arasında daha homojen alt gruplara ayrılabilir. Bu çalışmada CAB yıldızları ışıma gücü sınıflarına göre sınıflandırılmıştır: “Cüce” (tüm bileşenleri anakol yıldızlarından) ve “evrimleşmiş” (bileşenlerinden en az biri altdev veya devler oluşan sistemler). Çalışmada belirlen olası 40 MG CAB üyesi ana örnekten çıkarıldıktan sonra geriye kalan 318 CAB yıldızı yukarıda açıklanan ışıma gücü kriterlerine göre alt gruplara ayrılmıştır. Buna göre 318 CAB yıldızının 133 tanesi cüce, 185 tanesi ise evrimleşmiş olarak sınıflanmıştır. Cüce ve evrimleşmiş yıldız sistemleri olarak sınıflanmış grubların, sırasıyla, toplam uzay hız dispersiyonları 59.20 ve 47.25 km/s olup bunların kinematik yaşları, sırasıyla, 6.30 ve 4.15 Gyr olarak hesaplanmıştır. Bu yaş farklılığı dikkate alınacak kadar büyüktür ve anlamlıdır. Örnek içinde yer alan yıldızların ışıma gücü sınıfı dışında kütle, dönem, tayf türü, açısal momentum, dönme hızları gibi alt sınıflara ayrılabilir. Benzer özelliklere sahip parametreler aynı alt grup içinde sınıflandırılarak, söz konusu alt grupların kinematik yaşları hesaplanabilir. Temel parametrelerin hesaplanacak kinematik yaşlar ile bir arada incelenmesi, ayrı sistemlerden değil sistemlere evrimin nasıl ilerlediği sorusuna cevap verebilir.

## Kaynaklar

- Aslan, Z., Özdemir, T., Yeşilyaprak, C., İskender, A., TJPh, **23**, 445 (1999)  
Cox, A. N., Allen's Astrophysical Quantities, ed: Cox A. N., Springer, New York, fourth ed., p **720**, (2000)  
Chandrasekhar, S., Principles of stellar Dynamics, New York, Dover, Enlarged ed., p **336**, (1960)  
Eggen, O. J., MNRAS, **118**, 65, (1958a)  
Eggen, O. J., MNRAS, **118**, 154, (1958b)  
Eggen, O. J., PASP, **101**, 366, (1989)  
Eggen, O. J., AJ, **110**, 2862, (1995)  
Eker, Z., ApJS, **79**, 481, (1992)  
Eker, Z., Ak, N., Filiz, Bilir, S., Doğru, D., Tüysüz, M., Soyduğan, E., Bakış, H., Uğraş, B., Soyduğan, F., Erdem, A., Demircan, O., MNRAS, **389**, 1722, (2008)  
ESA, The Hipparcos and Tyco Catalogue **SP-1200**, (1997)  
Henon, M., Collisional Dynamics in Spherical Stellar Systems, Saas-Fee, Sauverny: Geneva Observatory, p **183**, (1973)  
Hog E., Kuzmin A., Bastian U., Fabricius C., Kuimov K., Lindegren L., Makarov V.V., Roeser S., A&A, **335**, 65, (1998)  
Johnson, D. R. H., Soderblom, D. R., AJ, **93**, 864, (1987)  
Karataş, Y., Bilir, S., Eker, Z., Demircan, O., MNRAS, **349**, 1069, (2004)  
Leggett, S. K., ApJS, **82**, 351, (1992)  
Mihalas, D., Binney, J., San Francisco, CA, W. H. Freeman and Co., p **608**, (1981)  
Spitzer, L. J. R., Schwarzschild, M., ApJ, **118**, 106, (1953)  
Strassmeier, K.G., Hall, D.S., Zeilik, M., Nelson, E., Eker, Z., Fekel, F.C., A&AS, **72**, 291, (1988)

- Strassmeier, K.G., Hall, D. S., Fekel, F.C., Scheck, M., A&AS, **100**, 173, (1993)  
Wielen, R. A&A, **60**, 263, (1977)  
van Leeuwen, F., A&A, **474**, 653, (2007)  
Zacharias, N., Monet, D. G., Levine, S. E., Urban, S. E., Gaume, R., Wycoff, G. L.,  
AAS, **205**, 4815, (2004)