

Yıldız Astrofiziği Temel Bağlantıları, Kütle Işınım Gücü ve Diğerleri

Zeki Eker¹  

¹ Akdeniz University, Faculty of Sciences, Department of Space Sciences and Technologies, 07058 Antalya, Türkiye

Accepted: April 14, 2025. Revised: April 14, 2025. Received: February 3, 2025.

Özet

Kütle-mutlak görsel parlaklık bağıntısı, kütle-ışınım (MLR) gücü bağıntısından önce keşfedilmiştir. Eddington, onu temel yasa düzeyine çıkarmak istemiştir. Böylece empirik anakol kütle-ışınım gücü bağıntısı bir temel bağıntı (yasa) mıdır yoksa ortalama değer veren bir istatistik bağıntı mıdır tartışması başlamıştır. MLR gelişim çizgisinde ortaya çıkan kırılmaya kadar farklı türden, kütleden (M) ışınım gücü (L) veya L 'den M hesaplayan çok sayıda bağıntı tekrar tekrar yenilenmiştir. Duyarlılığın ve veri sayısının az olduğu kırılma öncesinde, MLR ve MRR (kütle-yarıçap) bağıntıları görünen, tayfsal veya tutulmalı her çeşitten çift yıldız gözlemlerinden (1) ortalama kütle, ortalama yarıçap veya ortalama ışınım gücü arasındaki ilişkiyi ortaya koymak veya (2) tek yıldızların M ve R 'sini elde etmek amacıyla kalibre edilirdi. Kırılma ve kırılmadan sonra en duyarlı veri sağlayan ayırık örten çift çizgili tayfsal çift yıldız çözümlerinin sayısı ve kalitesi arttı. Böylece yakın, yarı-ayırık ve değen çift yıldızlardan elde edilen veriler kullanılmaz oldu. Fakat, dağılımlarında görülen kimyasal kompozisyon ve yaş etkileri yüzünden MLR ve MRR diyagramları MLR ve MRR fonksiyonlarını belirlemede yetersiz bulundu. Klasik MLR ve MRR bağıntılarından farklı olarak sadece M veya R hesaplamak amacını güden yeni bir trend ortaya çıktı. Böylece birinci amaç baskılanırken, tek yıldızların M ve R 'sini hesaplamak amacı güden yeni trend günün popüler konusu öte gezegen araştırmalarında aktif bir uygulama alanı buldu. MLR ve MRR gelişiminde ortaya çıkan yanlış isimlendirmelere dikkat çekilmiş, hala model yapmakta, samanyolu ve samanyolu ötesi araştırmalarda hatta kozmolojide aktif kullanma alanı olan ortalama değerleri ($\langle M \rangle$, $\langle L \rangle$, $\langle R \rangle$) önceleyen klasik MLR, MRR ve MTR (kütle-etkin sıcaklık) bağıntılarının ihmal edilmemesi gerektiği tartışılmıştır.

Abstract

The empirical mass-absolute visual brightness relation discovered first. It was later upgraded to be the famous mass-luminosity relation by Eddington. Thus, a long-standing debate was initiated over whether the empirical MLR is a fundamental relation or not. Many different forms of MLR, which were useful in computing masses (M) of single stars from their luminosities (L) or vice versa were calibrated and published until a noticeable break occurred on its line of development. Before the break, when reliable data were limited, MLR and MRR (mass-radius relation) were calibrated by the components of all kinds of visual, spectroscopic, and eclipsing for two purposes: (1) to obtain mean mass, mean luminosity, and mean radius, (2) to estimate M and R of single stars. By the time of the break, the quality and the quantity of the reliable solutions of detached double-lined eclipsing binaries giving accurate M and R within a few percent levels are increased. Parameters from close, semi-detached, and contact binaries were excluded for refinement, however, MLR and MRR diagrams were found insufficient to derive MLR and MRR functions because the dispersions are not only due to random observational errors but also due to chemical composition and age differences. Then, a new trend was adopted by replacing classical MLR and MRR with empirical M and R predicting relations. Thus, the purpose one was suppressed also because the new trend found a fruitful application in determining M and R of exoplanet hosting single stars. Corrections on misnames and devising new classical MLR, MRR, and MTR, giving mean values ($\langle M \rangle$, $\langle L \rangle$, $\langle R \rangle$) are encouraged since they are still useful and beneficial to galactic, extragalactic search, even cosmological models.

Anahtar Kelimeler: Stars: fundamental parameters; Stars: luminosity and mass functions; Galaxies: luminosity function and mass functions; Cosmology: miscellaneous; Astrophysics - Solar and Stellar Astrophysics

1 Giriş

Büyük ölçekte yıldızlar ve galaksiler evrenin iki tipik temel yapı taşıdır ki gözlenmiş yıldız parametrelerinin duyarlılığı ve bu parametreler arası bağlantılar sadece yıldız iç yapısı ve evrimi teorilerinin geliştirilmesi için değil; başta temel astrofizik, sonrasında Galaksi ve Galaksi-ötesi çalışmalar ve nihayetinde kozmoloji için de kritik öneme sahiptir. Gözlemler kadar hesaplarda kullanılan bağlantıların duyarlılığı ve amacına

göre kullanılmaları da önemlidir. Astrofizikte kullanılan ilişkiler özünde (1) temel bağlantılar ve (2) istatistik bağlantılar olmak üzere iki ayrılır.

Temel bağlantılar Stefan-Boltzmann ($L=4\pi R^2\sigma T_{\text{eff}}^4$) yasası gibi bir yıldızın ışınım gücü (L), yarıçapı (R) ve etkin sıcaklığı (T_{eff}) arasındaki en temel bağıntıdır ki termal ışınım yayan tüm yıldızlara uygulanabilir veya Planck [$B_\nu(T)$] yasası gibi bağıntılardır ki salınan ışık şiddetinin veya akının sıcaklık (T) ve frekans (ν) ile nasıl değiştiğini gösterir. Temel bağlantılar gözlenen cisimlerden bağımsızdır.

İstatistik bağlantılar ise kinetik sıcaklığın tarifinde kullanılan

* eker@akdeniz.edu.tr

bağıntı gibi

$$\frac{1}{2}m\langle v^2 \rangle = \frac{3}{2}kT \quad (1)$$

bağıntılardır ki geçerli olmaları gerekli istatistik şartların sağlanmasına bağlıdır veya klasik anakol kütle-ışınım gücü bağıntısı ($L \propto M^\alpha$) gibi sadece anakol yıldızları için geçerli, anakol dışındaki yıldızlar için geçerli değildir. Sıcaklık makro alemde santigrat, kelvin veya fahrenheit olarak ölçtüğümüz, mikro alemden haber veren bir büyüklüktür. Yukarıdaki bağıntıya göre sıcaklık; katı, sıvı veya gaz, hangi formda olursa olsun bir cismin bağımsız hareket edebilen mikro parçacıklarının ortalama kinetik enerjisidir. Bağıntıda görünen m , artık bir parçacığın kütlesi değil, o cismin, örneğin bir top veya balon içindeki gazın veya havanın içindeki parçacık (molekül) kütlelerinin toplamının parçacık sayısına bölümüyle elde edilen bir sayıdır ki ortalama parçacık kütlesi demektir. $\langle v^2 \rangle$ söz konusu parçacıkların hızlarının karelerinin ortalaması demektir, v_{rms} olarak da yazılabilir. Bir balonu füzeye koysak ve füzenin hızını arttırsak topun içindeki havanın sıcaklığı değişir mi? Hayır. Çünkü, yukarıdaki bağıntıya göre ortalama hız (v_{rms}), her yöne doğru bağımsız hızların karelerinin ortalamasıdır. Bağımsız olmayan, zorlanmış tek yönlü hızdan bağımsızdır. Bu durumda yukarıdaki istatistik bağıntı bize der ki mikro alemdeki parçacıkların tek tek kinetik enerjileri sıcaklık demek değildir. Yani, sıcaklığı 30 °C olan havadan bir parçacığı (molekülü) tutabilsek ve sıcaklığını ölçmeye kalksak bir sıcaklık değeri ölçemeyiz. Dolayısıyla yukarıdaki bağıntı tek bir parçacık için yazılamaz, yazılırsa anlamsızdır. İstatistik olarak parçacık sayısının yeterli olmadığı durumlarda da yukarıdaki bağıntı geçerli sayılmaz. Bu da parçacıklar dünyasında, mikro alemde sıcaklık diye bir kavram yoktur anlamına gelir.

Empirik, yani deney veya gözlem sonucu elde edilmiş, klasik kütle-ışınım gücü gibi ilişkiler, genelde istatistik bağıntılardır, geçerli olmaları öncelikle istatistik şartların sağlanmasına bağlıdır. İstatistik şartların sağlanmaması halinde amaç dışı kullanımlarda beklenmeyen, nahoş veya hayal kırıklığına sebep sonuçlar da ortaya çıkabilir.

Bu çağrılı konuşmanın amacı, astrofizikte istatistik ve temel bağıntı ayrımının ne kadar önemli olduğunu vurgulayan, klasik kütle-ışınım gücü (MLR), kütle-yarıçap (MRR) ve kütle etkin sıcaklık (MTR) bağıntılarının aslında temel bağıntı olmadıkları, istatistik bağıntı sınıfına dahil olduklarını MLR'nin kısa tarihçesi ile ortaya koyan bir çalışmadır. MLR gelişim çizgisinde çoklarının gözünden kaçmış, ama bilim tarihi açısından incelenmeğe değer bir kırılma vardır. Andersen (1991)'in etkisiyle ortaya çıkan kırılmadan sonra MLR ve MRR anlayışı değişmiş, zaman zaman görülen isimlendirme hataları artmış, kavram kargaşası hissedilir hale gelmiştir. MLR gelişim çizgisinde ortaya çıkan kırılmanın, MRR ve MTR gelişimini de etkilemesi genel değerlendirme makalesinde (Eker ve diğ. 2024) detaylarıyla anlatılmıştır. Bu bildirinin bir amacı da önemine binaen, bu yayının temel astrofizik eğitimi öğretimi ve araştırmaları için önemini vurgulamaktır.

2 Kütle-Işınım Gücü Bağıntısının Tarihçesi

Empirik kütle-ışınım gücü (MLR) bağıntısının, eski ve yeni kaynaklarda, Hertzsprung (1923) ile Russell ve diğ. (1923) tarafından ayrı ayrı ve bağımsız olarak keşfedildiği yazılıdır. Bu kaynaklara Eker ve diğ. (2024) de dahildir. Ne var ki sürekli tekrarlanan bu bilginin tam olarak doğru olmadığı bu çalışmanın sunum hazırlık aşamasında fark edilmiştir. Empirik

olarak keşfedilen aslında kütle-ışınım gücü bağıntısı değil kütle-mutlak parlaklık bağıntısıdır. Bunu da Russell ve diğ. (1923) "It is evident that statistically considered, the mass of a binary system is a function of its absolute magnitude" demesiyle ifade etmiş, Hertzsprung (1923) ise görsel mutlak parlaklık ile yıldızın kütlesi arasındaki ilişkiyi iki farklı bağıntı vererek, formül olarak ortaya koymuştur. Bu açık ifadeleri defalarca görenlerin hâlâ yazılarında empirik olarak keşfedilenin MLR olduğunu söylemesinin başlıca nedeni yanı sıra yönlendiren ifadelerin literatürde defalarca rastlanmasıdır. Bir çeşit şartlanma veya anlık ön yargının etkisiyle, yayınlanmış olgu ve olayları doğru kabul etmenin tarihte olduğu gibi günümüzde de etkin olduğunu görüyoruz. Şartlanan kendisi de olsa önyargısını yenebilmiş, gerçeği ifade edebilen araştırmacıların var olması bilimsellik adına doğru bilginin açığa çıkması bakımından önemlidir.

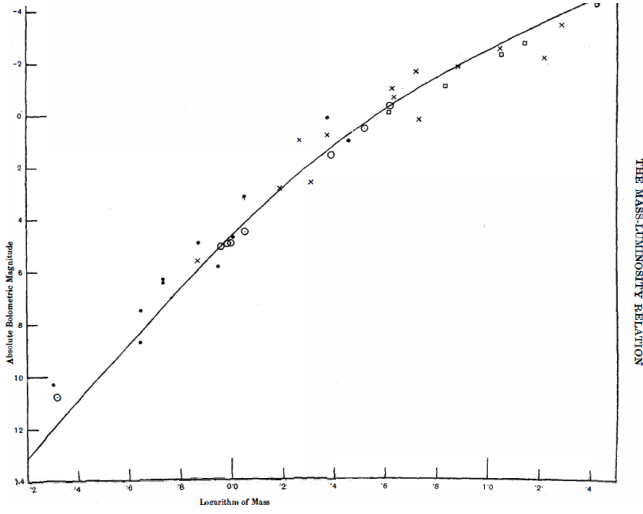
Keşfedilen empirik kütle-mutlak parlaklık bağıntısının Eddington (1926) tarafından kütle-ışınım gücü adı altında temel bağıntı veya fiziksel yasa düzeyine çıkartılması aslında gözden kaçan bir gerçekliktir. Eddington'un bu katkısının kıymetini anlayabilmek için o günlerdeki bilimsel bilgi birikiminin özetlenmesi faydalı olacaktır.

Kütle-mutlak parlaklık ilişkisinin keşfedildiği yıllarda yıldız parlaklıkları üç farklı türden kadir eşeli ile ifade ediliyordu: görsel kadir (m_v), fotoğrafik kadir (m_p) ve bolometrik kadir (m_b). En kıdemli parlaklık ölçüsü şüphesiz Hipparchus (190-120 BC) zamanından beri kullanılan insan gözüne uyarlı görsel parlaklıklardır. Farklı türden bir kadir eşeli daha olduğu fotoğraf plaklarının astronomik gözlemlerde kullanılması sonucunda 19. yüzyılın son yarısında ortaya çıkmış (Miles 2007) ve fotoğrafik kadir adı ile 20. yüzyılın ortalarına kadar kullanılmıştır. *UBV* üç-renk fotometrik sistem Johnson & Morgan (1953) tarafından ilan edildikten sonra, fotoğrafik ve görsel kadirler B ve V olarak devam ederken kadir türleri arasına morötesi parlaklıklarının da eklenmesiyle kadir türlerinin sayısı kısa süreliğine de olsa dört olmuştur. Bu da kısa bir zaman sonra farklı dalgaboyu aralıkları için farklı türden farklı filitreler kullanan farklı fotometrik sistemlerin önerilmesinin yolunu açmıştır. Bolometrik kadirlerin ortaya çıkması ise galvanometrenin Oersted (1820), radyometrenin Crookes (1874), bolometrenin Langley (1880) ve karacisim radyasyonunun da Planck (1900) tarafından keşfedilmesi ve bu aletlerin yıldız ışığı ölçümlerinde kullanılmasından sonradır.

Bolometrik kadir, diğer iki kadirten farklı olarak yıldızın ışıınım gücünü, tüm dalgaboylarında veya frekanslarda eksiksiz temsil eden bir parlaklık ölçüsü olduğundan Eddington (1926) tarafından evrensel kütle ışıınım gücü bağıntısının ifade edilmesinde kullanılmıştır. Henüz yıldızlararası soğurmanın tam olarak bilinmediği (Trumpler 1930), nötronların Chadwick (1933) tarafından keşfedilmediği, bu yüzden karbon-azot-oksijen (CNO) ve proton-proton (p-p) çevrimi nükleer tepkimelerinin yazılamadığı o yıllarda Anton'un özkütle ölçümlerini görür görmez dört hidrojen atomunun bir helyum atomundan binde yedi fazla olduğuna dayalı, yıldızların içinde Hidrojen füzyonunun olması gerektiğini 1920 yılında söyleyen Eddington'dur (Bahcall 2000). Eddington (1926) yıldızların ideal gaz küreleri olduklarını farz etmiş ve bir yıldızın ışıınım gücünün (L) yıldızın kütlesi (M) ile orantılı olmasını

$$L \propto M^{7/5} (1 - \beta)^{3/2} \mu^{4/5} T_{eff}^{4/5} \quad (2)$$

şeklinde kurgulamıştır. Formülde $(1 - \beta)$ radyasyon basıncının toplam basınca oranını, μ gazın kimyasal karışımını, T_{eff} ise



Şekil 1. Denklem 3 ve 4 ile hesaplanmış teorik MLR eğrisinin gözlemler ile doğrulanması. Güneş ve duyarlı görsel çift yıldız gözlemleri (○), görsel çift yıldızlar (●), örten çift yıldızlar (x) ve sefeid değişenleri (□) (Eddington 1926, sayfa 153).

yıldızın etkin sıcaklığını temsil etmektedir. Her iki tarafın logaritmik diferansiyeli alıp -2.5 ile çarparak bolometrik kadir farklarını (Δm)

$$\Delta m = -\frac{7}{2}\Delta \log M - \frac{15}{4}\Delta \log(1 - \beta) - 2\Delta \log T_{\text{eff}} \quad (3)$$

olarak vermiş ve bolometrik kadir farklarını da ışıının gücüne

$$\Delta m = -\frac{5}{2}\Delta \log L \quad (4)$$

olarak bağlamıştır. Böylece, $\mu=2.11$ ve $T_e=5200$ K için Güneş biriminde ifade edilen M ve L 'leri kullanan ilk teorik kütle-ışıının gücü bağıntısını bir grafik üstüne aktarmış, elde ettiği teorik eğriyi de 29 görsel, 13 tutulma gösteren çift yıldızlardan ve beş Sefid yıldızdan elde ettiği kütle ve bolometrik parlaklıklar ile teyit etmiştir (Şekil 1). Füzyon enerjisinin yıldızlarda keşfi yolunda Einstein (1905)'in $E=mc^2$ formülünden sonra en önemli adımı atan Eddington, keşfedilen kütle-görsel mutlak parlaklık bağıntısını görünce bir kez daha heyecanlandı. Evrenin bir başka önemli sırrını daha keşfettiğini düşündü. Henüz nötronun keşfedilmemiş olması nedeniyle p-p zinciri ve CNO çevrimleri hakkında birincide kalem oynatamayan Eddington, ikincide yıldızları sıcak gaz küreleri olduğunu farz ederek bir teorik kütle-ışıının gücü bağıntısını kurgulamakla kalmadı gözlemler ile uyduğunu da gösterdi (Şekil 1). Böylece Eddington (1926), yüzyılı aşkın süre devam edecek bir tartışmanın da fitilini ateşlemiş oldu.

2.1 Empirik MLR bir Temel Bağıntı mıdır?

Empirik olarak keşfedilse de MLR bir temel bağıntıdır (Eddington 1926) iddiasına itiraz hemen geldi, önerinin destek bulması ise zaman aldı. Öneriyi yeniden test etmek için, McLaughlin (1927) örten değişen yıldız sayısını arttırdı ve 41 örten değişen yıldızdan elde ettiği kütle ve ışıının güçlerini kullandı. Verilerin teorik eğriyi tam olarak temsil etmemesi ve saçılmanın büyük olması nedeniyle Eddington'un teorik bağıntısının doğrulanmadığını ilan etti. Ancak, 12 yıl sonra Gabovits (1938), veri sayısı az da olsa (18 nokta), görsel çift

yıldız yörüngesi çözümlerinden elde ettiği bileşen kütleleri ile görünen parlaklık, uzaklık ve bolometrik düzeltmelere dayalı ışıının güçlerinin (L) özellikle anakol yıldızlarının bağıntıya mükemmel uyması yüzünden "We conclude that, as revealed by our selected first class data, the stars (chiefly of the main sequence) probably follow a strict, mass luminosity law" diyerek kütle-ışıının gücü ilişkisinin değil bir temel bağıntı, bir fiziksel yasa bile olabileceğini söylüyordu. Buna mukabil, aynı yıl içinde bir başka araştırma ile görsel çift yıldızları, bazı seçilmiş tayfsal çift yıldızları ve Trumpler'in açık küme yıldızlarından büyük kütleli olanları da içine alan daha geniş bir veri tablosunu kullanan Kuiper (1938) "Bu ortalama bağıntıya herhangi bir fiziksel önem atfedilmesi şüphelidir" diyerek MLR'nin bir temel bağıntı olmasına itiraz ediyordu.

20. yüzyılın son on yılının başlangıcında ortaya çıkan kırılma noktasına kadar MLR hakkında benzer tartışmalar bir yanda devam ederken MLR bağıntısı yeni ve daha duyarlı veriler ile defalarca yenilendi, gözden geçirildi. Petrie (1950a,b) 93 tayfsal çift yıldız ile çalıştı; Strand & Hall (1954) 23 görsel çift yıldız kullanırken, Eggen (1956) 34'ünü inceledi; 40'ı görsel, 35'i tutulmalı olmak üzere, McCluskey & Kondo (1972) 75 sistemin verisini değerlendirirken Cester ve diğ. (1983), 45'i görsel, 40'ı tayfsal çift olan 85 çift yıldız verisini hesaplarına katıyordu. Demircan & Kahraman (1991) ayrık, yarı ayrık ve değen olmak üzere 70 tutulmalı yıldızdan elde edilmiş 140 anakol yıldızın verisini; Karetnikov (1991) ise 303 tutulmalı çift yıldız verisi kullanıyordu. MLR gelişiminin bu ilk döneminde gözlem tekniklerinin ilkel, gözlem imkanlarının sınırlı olması nedeniyle MLR bağıntısının istatistik güvenilirliğinin artırılması adına ayrık, yarı-ayrık, değen olmasına aldırış edilmeden görsel, tayfsal veya tutulmalı her çeşitten çift yıldız verisinin değerlendirildiği göze çarpmaktadır. Ayrıca, MLR'nin tek bir formda değil farklı formlarda önerilmesi, hepsine de kütle ışıının gücü bağıntısı denmesi dönemin bir başka özelliğidir.

Güç yasası formu ($L \propto M^\alpha$) Eggen (1956) tarafından $L = \mu^{3.1}$ şeklinde kullanılırken bu bağıntıdaki μ parametresi, Kepler'in harmonik yasası $\mu = a^3/(p^2 \pi^3)$ çerçevesinde, bir çift yıldız sistemindeki iki yıldızın toplam kütesidir. McCluskey & Kondo (1972), β bir sabit sayı olmak üzere, MLR bağıntısını $M \propto L^\beta$ şeklinde kullanmayı tercih etmiştir. Demircan & Kahraman (1991) gibi birçok yazar $\log M - \log L$ diyagramı üstündeki verilerle kalibre edilmiş farklı derecelerdeki polinomların kullanılmasını uygun görmüşlerdir. Kütle-ışıının gücü bağıntısı adını almayı hak etmese de alt indisli olmayan M kütle, alt indisli M mutlak parlaklık, ξ fotometrik bantlardan biri ve M_ξ o bantta yıldızın mutlak parlaklığı olmak üzere, doğrusal ($\log M = aM_\xi + b$) ve ikinci derece ($\log M = aM_\xi^2 + bM_\xi + c$) formlarında ifade edilmiş MLR bağıntıları da vardır (Henry & McCarthy 1993). Burada, a , b ve c kalibrasyonlar ile belirlenen katsayılardır. Bağıntıların yanlış isimlendirilmeleri gelenek halini almış gibidir. Eddington (1926)'un da kütle-bolometrik mutlak parlaklık bağıntısını kütle ışıının gücü olarak takdim ettiğini hatırlayalım. O dönemlerde, tek yıldızların kütlelerinin elde edilmesi için başka metotların olmadığını düşünürsek; amaç net ve ihtiyaç güçlü olduğundan, isimlendirme hataları gözden kaçmış veya önemsenmemiş görünüyör.

Empirik olarak sadece anakol yıldızları için elde edilen, bu ilk dönem MLR fonksiyonlarının temel bağıntı olma şansı yoktur. İstatistik bağıntı sınıfında oldukları gayet açıktır çünkü Stefan-Boltzmann ve Planck yasaları gibi tüm yıldızlara uygulanmaları söz konusu değildir. Kalibrasyonda kullanılan

yıldız sayısı, cinsi ve gözlem duyarlılığına bağlı kullanım aralığı istatistik olarak belirlenip temel astronomi ve astrofizik uygulamalarında kullanmak için sunulurdu.

Yıldızları sadece sıcak gaz küreleri farz eden Denklem 2, nükleer reaksiyonları dikkate almadığı için günümüz astrofiziğinde tarihsel değeri hariç önemini kaybetmiş olsa da Eddington (1926)'un kütle-ışınım gücü iddiasının temel astrofiziğe katkısının büyüklüğü bugün bile yadsınmaz. Önce her çeşitten çift yıldız, sonrasında ayrıık örten tayfsal çift yıldız (DDEB) gözlemleri sonucunda elde edilen bu bağlantı kırılma noktasına kadar (1991 yılı) etkin şekilde kullanılan, tekil yıldızların kütlelerinden haber veren yegâne (1950 ve öncesinde) veya en önemli bilgi kaynağı idi. Tek yıldızın paralaksı varsa Pogson formülü ($V - M_V = 5 \times \log d - 5$) ile M_V hesaplanır, $M_{\text{Bol}} = M_V + BC_V$ 'den de M_{Bol} bulunur, MLR sayesinde yıldızın hem kütlesi hem de ışıınım gücü elde edilirdi. Trigonometrik paralaks ölçümü yoksa kütlesi veya ışıınım gücü tahmin ediliyorsa (görsel çift yıldızların uzaklığı bilirse, yörünge parametreleri ve Kepler'in üçüncü yasasından her bir bileşenin kütlesi biliniyor) MLR'den M_{Bol} , $M_{\text{Bol}} = M_V + BC_V$ 'den M_V , yıldızlararası soğurma yoksa veya ihmal edilirse, Pogson formülünde V ve M_V 'den yıldızın uzaklığı bulunarak ölçülen yıldız paralakslarının sağlaması dahi MLR sayesinde yapılabiliyordu.

Güç yasası formundaki ($L \propto M^\alpha$) klasik MLR, tayf türü veya etkin sıcaklığı belli anakol yıldızlarının ortalama kütle $\langle M \rangle$ ve ortalama ışıınım gücü $\langle L \rangle$ arasındaki bir bağlantıdır ki bağlantıyı tek tek yıldızlara uygulamak beklenmedik sonuçlar doğurabilir çünkü bağlantının kalibrasyonunda hedeflenen amacın dışına çıkmış olur. Kırılma noktasından önce, özellikle 20. yüzyılın ilk yarısına kadar klasik MLR'nin tek tek yıldızlara uygulanması (M 'den L veya L 'den M hesaplanması) yadırganmadı çünkü bu ilk dönemlerde gözlem teknikleri ilkel, gözlem duyarlılıkları günümüzle kıyaslandığındakine göre çok kötüydü. Kırılma öncesinde dönemde "MLR bağlantısı bir temel bağlantı mıdır?" sorusuna net cevap verilememesinin bir sebebi de anakol yıldızlarının ortalama M ve L 'leri arasındaki ilişkiyi ortaya koyan bu istatistik bağlantının, temel yasalarda olduğu gibi, tek tek yıldızlara uygulanıyor olmasıdır. Tek tek yıldızlara uygulanabilirlik temel yasaların en belirgin özelliğidir.

Stefan-Boltzmann yasası ($L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$) yıldızların ışıınım güçleri ile yarıçapları ($L \propto R^2$) ve/veya ışıınım güçleri ile etkin sıcaklıkları ($L \propto T_{\text{eff}}^4$) arasındaki bağlantıları açıkça ifade etmesine rağmen empirik kütle-yarıçap bağlantısı (MRR) 20. yüzyılın ortalarından sonra (McCrea 1950; Plaut 1953; Huang & Struve 1956; Lacy 1977, 1979; Kopal 1978; Patterson 1984; Gimenez & Zamorano 1985; Harmanec 1988; Demircan & Kahraman 1991), empirik kütle-etkin sıcaklık (MTR) bağlantısı ise 20. yüzyılın son çeyreği ve sonrasında (Stothers 1974; Habets & Heintze 1981; Karetnikov 1991) tartışılır olmuştur. MRR ve MTR'nin gelişim çizgisi MLR'nin gelişim çizgisinden bağımsız değildir (Eker ve diğ. 2024).

2.2 Kırılma Noktası ve Sonrası

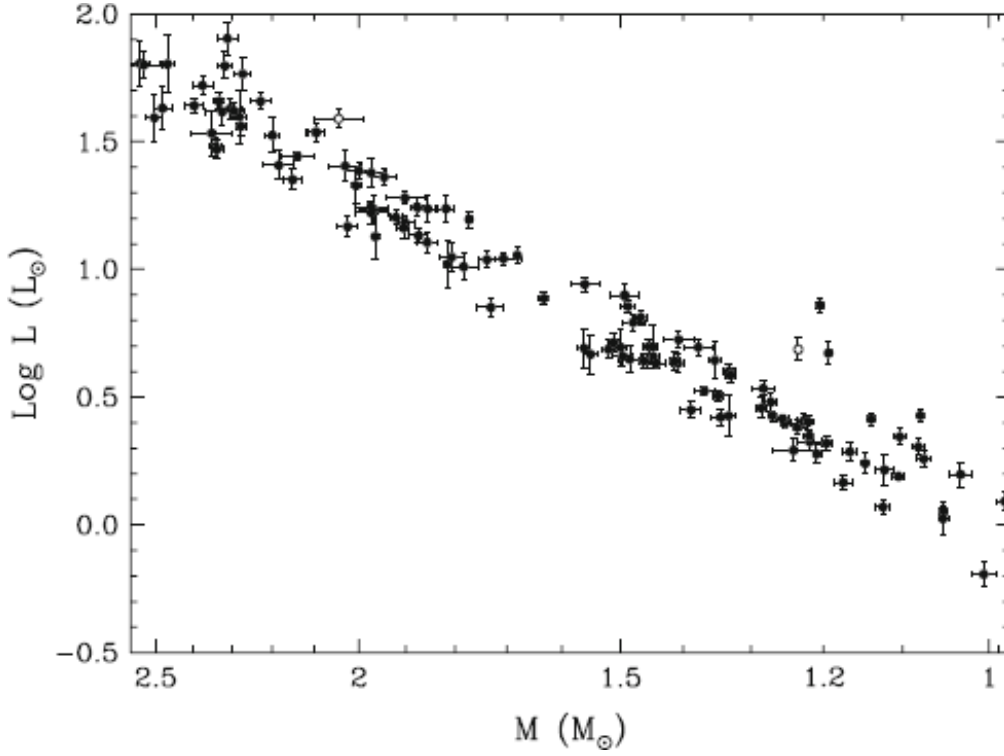
Klasik MLR kavramına ve onun temel yasa gibi kullanılmasına en etkin eleştirinin, zamanın en duyarlı verilerini (M ve R hatası %2 ve daha iyi) seçtiği 45 ayrıık örten çift çizgili tayfsal çift yıldızın (DDEB) radyal hız ve ışık eğrisi çözümlerine dayandırarak Andersen (1991) tarafında yapıldığını görüyoruz. Her çeşitten çift yıldız verisinin kullanıldığı daha önceki dönemde aksine, Andersen'in sadece DDEB yıldızlarını tercih etmesi, bileşenlerin yeterince ayrıık olup tek yıldız gibi evrimleşmeleri

ve en duyarlı yıldız parametrelerinin DDEB yıldızlarından elde ediliyor olmasındandır. Kaynakta saflaşma, yani belli tür çift yıldızlar için MLR bağlantısının yalnız o tür için incelenmesi, klasik MLR gelişim hattında göze çarpan kırılma noktasının en belirgin özelliğidir. Klasik MLR anlayışına en etkin eleştiri yanında, MLR kalibrasyonları için amaçta netleşme (tek bir yıldızın kütlesini veya yarıçapını elde etmek gibi) de kırılma noktasının bir başka belirgin özelliğidir.

$\log M - \log L$ diyagramı üstündeki verilere M ve L dağılımını temsil eden fonksiyonu (veya eğriyi) belirlemeyi Andersen (1991) "İlk bakışta $\log M - \log L$ diyagramı sıkı, yani iyi tanımlı, ama ortalama bir bağlantı gösterir. Dikkat edilir ve tek tek yıldızların gözlem hataları düşünülürse görünen $M - L$ dağılımının gerçek özgün bir bağlantıyı temsil etmekten uzak olduğu görülecektir" diyerek reddetmiştir. Gerçekten, diyagram üstündeki M ve L dağılımını temsil edecek gerçek bir bağlantı yoksa mevcut veriye bir fonksiyon (MLR) fit etmenin bir anlamı olmaz.

Andersen (1991)'in genel değerlendirme makalesi 18 yıl sonra, kendinin de yazarlar içinde yer aldığı, ikinci bir genel değerlendirme makalesi ile ama yeni veriler eklenerek (44 olan DDEB sayısı 94'e çıkmıştır) ve duyarlılık sınırı %2'den %3'e düşürülerek tekrarlanmıştır. Ana fikir ve içerik bakımından Andersen (1991) ve Torres ve diğ. (2010) aynıdır. Andersen'in o meşhur itirazı Torres ve diğ. (2010) makalesinde "Birçok modellemeye kullanılan o meşhur bağlantı burada ilk bakışta çok iyi tanımlıymış gibi görünüyor. Saçılmanın sebebi gözlem hataları değil astrofizik orijin yani yıldızların kimyasal kompozisyon ve yaş farkları nedeniyledir" olarak ifade edilmiştir. Bu yüzden kırılma söz konusu olduğunda bu iki makaleyi farklı değerlendirmek anlamsızdır. Kırılmayı Andersen (1991) o meşhur itirazı ile başlatmış olsa bile Torres ve diğ. (2010) perçinlemiştir.

Söz konusu iddianın temeli, Şekil 2'de görüldüğünün aksine, sol üst köşeden sağ alt köşeye doğru yeterince dar bir bant gibi uzanan dağılımı temsil eden özgün bir fonksiyon yoktur. Şekildeki, $M - L$ dağılımının çok küçük ($1 - 2.5 M_\odot$ arası) bir parçasıdır; gözlem hatalarının bant genişliğine oranını göstermek için bu kısa aralıkta böyle bir gösterim düşünülmüştür. Aslında kütle ışıınım gücü bağlantısının aralığı $0.01 M_\odot$ 'den kabaca $30 M_\odot$ 'e kadar geniştir. Bu geniş aralıkta yeterince dar bir bant şeklindeki $\log M - \log L$ dağılımının varlığından hem Andersen (1991) hem de Torres ve diğ. (2010) farkındadır ancak itirazları bu dağılıma fit ederek bulunan güç yasası formundaki ($L \propto M^\alpha$) klasik MLR bağlantısının Stefan-Boltzmann veya Planck yasası gibi bir temel bağlantı kabul edilmesinedir. Bu yazarlara göre böyle bir bağlantı yoktur ve olamaz çünkü bağlantının bant şeklinde saçılma göstermesi M ve L 'nin gözlem kaynaklı hatalarından kaynaklanmaz, daha çok yıldızların farklı yaşlarda ve farklı kimyasal karışımlar halinde olmasındandır. Stefan-Boltzmann veya Planck yasası söz konusu olsaydı saçılma sadece ve sadece gözlem kaynaklı belirsizliklerinden kaynaklanırdı. Hatalar küçüldükçe bant genişliği (hata genişliği) daralır, nihayetinde sıfır hata için L veya Planck eğrisi (frekans ve sıcaklık dağılımı) belirgin olarak ortaya çıkardı. Oysa burada, klasik MLR bağlantısında hatalar belirli bir limitin ötesinde kalırsa anakol L dağılımının genişliğini arttırırken, hatalar küçülürse belli sınırın altındaki M ve L hataları ne kadar küçülürse küçülsün bant genişliği beklendiği gibi azalmamaktadır. Andersen (1991) ve Torres ve diğ. (2010)'e göre $\log M - \log L$ diyagramında görülen bant şeklindeki dağılımı temsil eden parametreler klasik MLR



Şekil 2. Çift çizgili tayfsal ayırık örten çift yıldızların (DDEB) $\log M - \log L$ diyagramı. Gözlem hataları bant şeklinde dağılımın genişliği yanında çok küçük kalmaktadır (Torres ve diğ. 2010).

bağıntısında yoktur, ama gözlemsel $\log M - \log L$ diyagramı üstünde diğer iki parametrenin (kimyasal kompozisyon ve yaş) etkisi açıkça hissedilmektedir. Çözüm klasik MLR yerine geçebilecek bir başka bağıntı bulmaktır. Andersen (1991) klasik MLR yerine geçmesi gereken bağıntıyı hissetmiş ama önerememiştir. Ancak 18 sene sonra, Torres ve diğ. (2010) ile birlikte klasik MLR yerine geçebilecek bağıntıyı

$$\log M = a_1 + a_2 X + a_3 X^2 + a_4 X^3 + a_5 (\log g)^2 + a_6 (\log g)^3 + a_7 [\text{Fe}/\text{H}] \quad (5)$$

$$\log R = b_1 + b_2 X + b_3 X^2 + b_4 X^3 + b_5 (\log g)^2 + b_6 (\log g)^3 + b_7 [\text{Fe}/\text{H}] \quad (6)$$

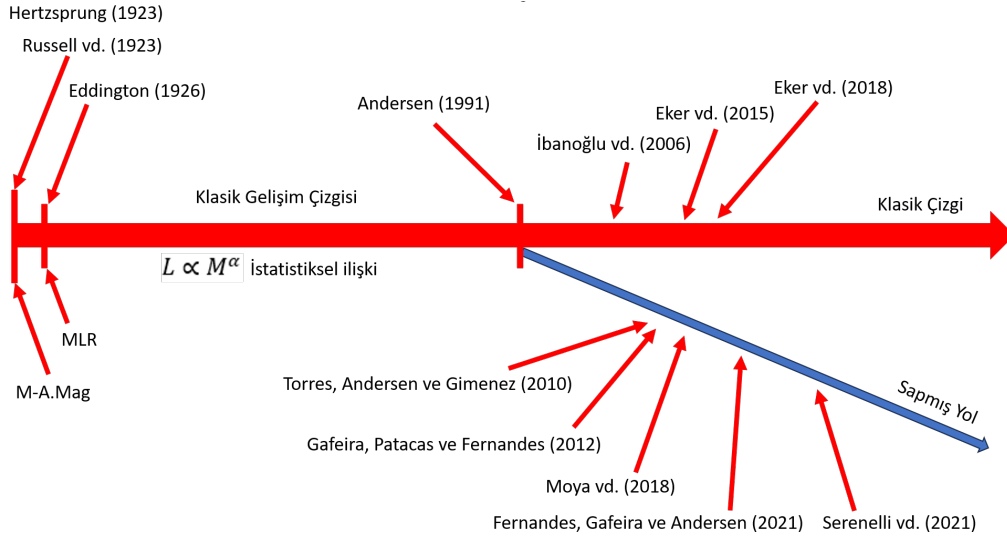
şeklinde yazmayı başarmış görünmektedir. Burada $X \equiv \log T_{\text{eff}} - 4.1$ Stefan-Boltzmann yasasına göre yıldızın ışıyım gücünü temsil eden parametredir. Yıldızın etkin sıcaklığı (T_{eff}), yüzey çekim ivmesi ($\log g$) ve göreceli demir bolluğu ($[\text{Fe}/\text{H}]$) bilindiğinde, kalibre edilmiş $a_1 = 1.5689 \pm 0.058$, $a_2 = 1.3787 \pm 0.029$, $a_3 = 0.4243 \pm 0.029$, $a_4 = 1.139 \pm 0.240$, $a_5 = -0.1425 \pm 0.011$, $a_6 = 0.01969 \pm 0.0019$ ve $a_7 = 0.1010 \pm 0.058$ parametreleri ile bu iki bağıntı sayesinde anakolda olan ve kütlesi $0.6 M_{\odot}$ veya daha büyük olan bir yıldızın kütlesini %6.4 ve yarıçapını %3.2 hata payı içinde hesaplamak mümkündür.

Açıkça görülmektedir ki klasik MLR yerine önerilen bu iki bağıntıyı Şekil 2 üstünde veya herhangi bir $\log M - \log L$ diyagramında temsili bir eğri ile göstermek mümkün değildir. Bu yüzden Andersen (1991) ve Torres ve diğ. (2010)'nin yolunu takip eden diğer araştırmacılar $\log M - \log L$ diyagramlarını sadece işaretlenmiş veriler ile (Malkov 2003, 2007) veya hiç bir $\log M - \log L$ diyagramı vermeden sadece M ve R

hesaplayan denklemleri ve birebir doğrusu üstünde gözlemsel ve hesaplanan verileri sergilemişlerdir (Gafeira ve diğ. 2012; Fernandes ve diğ. 2021). MLR gelişim hattı (Şekil 3) kırılma noktasından sonra yön değiştirmiştir. Bu durumda, yeni bir MLR kavramı gelişmiş gibi görünse de aslında MLR kavramı daraltılmıştır. Bundan böyle, MLR denince Denklem 5'deki gibi tek yıldızlar için kütle hesaplayan, MRR denince de yarıçap öngören bağıntılar akla gelir olmuş ve $L \propto M^{\alpha}$ anlamındaki klasik MLR'nin var olmaması gerektiği varsa bile işe yaramadığı zihinlere yerleşmiştir.

Yıldız kütlesi hesaplama yöntemlerini eksiksiz bir bir inceleyen Serenelli ve diğ. (2021) makalesinde, bu durum açıkça görülmektedir. Serenelli ve diğ. (2021) hangi yöntemin daha doğru, daha duyarlı sonuç verdiğini anlatabilmek için, literatürde mevcut en çok kullanılan (Torres ve diğ. 2010; Gafeira ve diğ. 2012; Malkov 2007; Eker ve diğ. 2018) MLR bağıntılarını, Moya ve diğ. (2018)'deki karşılıkları ile kıyaslayan bir tablo vermiştir. Ayrıca, her bir yöntemin duyarlılığını bir şekil (Serenelli ve diğ. 2021, Şekil 16) ile göstermiştir. Bu tablo ve şekil incelendiğinde açıkça anlaşılmaktadır ki güç yasası formundaki ($L \propto M^{\alpha}$) klasik MLR bağıntısı dahi "MLR kütle hesaplamak içindir" anlayışı içinde değerlendirilmiştir (bkz. Eker ve diğ. 2024). Oysa kıyaslama ancak ve ancak benzer şeyler arasında mümkündür. Bu yüzden amacı sadece anakol yıldızlarının ortalama kütlesi ve ortalama ışıyım güçleri arasındaki ilişkiyi belirtmek olan bir empirik bağıntının (klasik MLR), amacı başka olan (tek bir yıldızın kütlesini hesaplamak) bağıntıyla karşılaştırılması doğru değildir.

Anakol yıldızlarının $\langle M \rangle$ ve $\langle L \rangle$ 'si arasındaki ilişkiyi $L \propto M^{\alpha}$ formunda veren empirik MLR'yi, Planck veya Stefan-Boltzmann yasası gibi bir temel bağıntı farz edip anakolda olsa bile, bir yıldızın L 'sinden M 'sini veya M 'sinden



Şekil 3. Kütle-ışınım gücü bağlantısının gelişim hattı.

L 'sini hesaplamaya kalkmak doğru değildir. $\log M - \log L$ diyagramında apaçık görünen bant şeklindeki değişimi temsil edebilecek özgün bir bağlantı yok demek de doğru değildir. En küçük kareler yöntemi böylesi dağılımları temsil edebilecek özgün fonksiyonları belirlemek için değil midir? Klasik MLR'yi yok farz etmek ve yıldızın gözlenmiş parametrelerinden kütesini (veya yarıçapını) veren, klasik MLR yerine geçebilecek başka bir bağlantı, başka bir formül aramak da hatadır. Bulunduğunda, empirik olarak belirlenmiş böylesi bir istatistik bağlantıya MLR adını vermek de hatadır.

Yeni MLR anlayışı, yani tek yıldızların kütle ve/veya yarıçaplarını elde etmek için kullanılan empirik bağlantılar, zamanın popüler konusu ötegezegen araştırmalarında aktif bir uygulama alanı bulmuştur. Buna karşılık, ortalama $\langle M \rangle$, $\langle R \rangle$ veya $\langle L \rangle$ 'ye ihtiyaç duyan birkaç modelleme dışında, klasik MLR'nin ise pek de işe yaramadığı düşüncesi 21. yüzyıl astrofizikçileri arasında yerleşmiştir. MLR denince M , MRR denince R hesaplamada kullanılan empirik bağlantıları dikte eden, farklı formlardaki MLR bağlantılarını doğru isimlendirme ihtiyacı duymayan bir anlayışın neticesinin böyle olması da doğaldır.

Tüm bu hatalar, hata değil tam aksine olması gereken gerçeklik diye temel astrofiziğin en önde gelen uzmanlarına (Andersen 1991; Torres ve diğ. 2010) tanınmış genel değerlendirme yayınlayan dergilerinde özel istek ile yazdırılması ve yayınlatılması elbette sıradan araştırmacılar da şartlanma ve önyargıya sebep olmuştur. Ancak 23 yıl sonra gerçekler, kendi şartlanmasını kırabilmiş, fikri hür, vicdanı hür, irfanı hür, önyargısını yenebilmiş astrofizikçilerimiz sayesinde dünya'ya ilan edilmiştir (Eker ve diğ. 2024, başlık: "Fundamentals of Stars: A Critical Look at Mass-Luminosity Relations and Beyond"). Yayının önemi anlaşılmış ve şahısmıdan bu çağrılı konuşma istenmiştir. Bu kararı için, 23. Ulusal Astronomi Kongresi Bilim Kuruluna teşekkür ederim.

2.3 Kırılma Sonrası Klasik MLR ve Aralarında Bağımlı MLR, MRR, MTR

Kırılma sonrasında (Şekil 3) güç yasası formundaki ($L \propto M^\alpha$) klasik MLR anlayışının çok daha az sayıda araştırmacı tarafından sürdürüldüğünü görüyoruz (İbanoğlu ve diğ. 2006;

Eker ve diğ. 2015, 2018). Andersen (1991)'in itirazına rağmen klasik MLR ve $\log M - \log L$ diyagramları İbanoğlu ve diğ. (2006) tarafından ayrı ve yarı-ayrık Algol türü tutulma gösteren yıldızların ışınım güçlerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Zaten böylesi bir karşılaştırma için tek yıldızların M veya R 'sini veren bağlantıların anlamı yoktur. Buna karşılık, Eker ve diğ. (2015, 2018), güncel verilerle klasik formda kalibre ettikleri MLR'leri kabul ettirip yayınlayabilmek için ellerindeki çok sayıda MLR ve MRR verisini kullanarak (ör., kabaca yarı M , yarı R hesaplamak için Moya ve diğ. 2018, 38 bağlantıyı empirik vermektedir) klasik formun pek işe yaramayacağı düşüncesine kapılan hakemleri ikna etmek zorunda kalmıştır.

$\log M - \log L$ diyagramı üstünde verilere bakınca $L \propto M^\alpha$ bağlantısı sürekliliği gibi görünse de H-R diyagramının sıcak ve soğuk tarafı veya küçük ve büyük kütle tarafları iki farklı sabit alfa (α) ile gösterilmesi Gabovits (1938) kadar eskidir. Ancak, bu durum genelde H-R diyagramı üstünde incelenen kütle aralığının kaç bölünüp incelenmesi tercihinin görevidir. Aslında kırılma noktaları $\log M - \log L$ diyagramında pek de belirgin değildir. Eker ve diğ. (2015) birim kütle başına düşen ışınım gücünün logaritmasını ($\log L/M$), kütle fonksiyonu olarak çizmesiyle birlikte belli kütle aralıklarında ($0.38-1.05 M_\odot$, $1.05-2.4 M_\odot$, $2.4-7 M_\odot$ ve $7-32 M_\odot$) α güç değerinin sabit olduğunu daha belirgin bir şekilde görmüştür. α değerleri yıldızın enerji üretim mekanizmasını temsil ettiğine göre bu durum aslında nükleer astrofizikçilere sağlanan kıymetli bir veri gibi görünmektedir. İşte bu kırılmaların varlığı, hakem(ler) i ikna etmiş, $\log M - \log L$ diyagramındaki gözlemsel verileri en iyi temsil eden dört parçalı empirik doğrusal MLR'nin yayınlanması uygun bulunmuştur.

Sadece üç yıllık yeni veri içeren, bir bakıma aynı veri setini kullanan Eker ve diğ. (2018), M ve R 'deki duyarlılığı %3'den %15'e düşürerek $\log M - \log L$ diyagramı üstündeki veri sayısını artırmış ve biri belirgin iki kırılma daha olduğunu göstererek, toplam beş kırılmalı, altı farklı α değeri ile altı parçalı, klasik MLR'nin gerekçesine uyan, aralarında bağımlı MLR, MRR ve MTR fonksiyonlarını önermiştir. Yeni kavramda fonksiyonlar arasında bağımlılık şöyle açıklanmaktadır: Anakol yıldızları için ortalama kütle ($\langle M \rangle$), ortalama ışınım gücü ($\langle L \rangle$) ile orantılı ve her bir yıldızın ışınım gücü (L) Stefan-

Boltzmann yasasına göre o yıldızın yarıçapının karesi (R^2) ve etkin sıcaklığının dördüncü kuvveti ile (T_{eff}^4) orantılı olduğuna göre dört bağımsız değişken $\langle M \rangle$, $\langle L \rangle$, $\langle R \rangle$ ve $\langle T_{\text{eff}} \rangle$ istatistik olarak aralarında bağımlı olmalıdır. Aralarında bağımlı bu dört parametreyi üç ayrı fonksiyon ile (MLR, MRR ve MTR) ifade etmek mümkündür. Böylece, sıcaklığı veya tayf türü belli tipik bir anakol yıldızının ortalama kütlesi, ortalama yarıçapı ve ortalama ışınım gücü nedir sorusunun cevabı ortaya çıkacaktır. Eker ve diğ. (2018) böyle bir bilgiye olan ihtiyacın astronomların el kitabında (Cox 2000, "Allen's Astrophysical Quantities", s.388) kayıtlara geçtiğini söyleyerek "bir başka klasik MLR ye ihtiyaç yoktur" diye düşünen hakemleri ikna edebilmiştir.

DDEB'lerde metal bolluğu ölçümü olan sistem sayısının sınırlı olduğu bilinmektedir. Buna karşılık, transit gözlemleri ile tutulmalı çift yıldıza benzeyen, radyal hız ölçümleri ile tayfsal çift gibi olan ötegezegen barındıran yıldız gözlemlerinde sinyal-gürültü ve duyarlılığı yüksek tayflar olması sebebiyle göreceli metal bolluğu bilgisi genellikle vardır. Eker ve diğ. (2018)'nin önerdiği DDEB'lerden elde edilen aralarında bağımlı MLR, MRR ve MTR sonuçlarının hem tek yıldızlar söz konusu olduğunda test edilmesine hem de metal bolluğu bakımından da incelenmesine imkân sağlar diye düşünülmüş ve TÜBİTAK'a "Gezegenli Yıldızların Parametreleri ile Temel Astrofizikte Bazı İstatistik Bağlantılar ve bu Bağlantılardaki Metal Bolluğu Etkisinin Araştırılması" başlıklı bir araştırma projesi verilmiştir. Andersen (1991) ve Torres ve diğ. (2010)'den sonra çıkan yeni MLR anlayışı yüzünden projenin değerlendirilmesinde jüri üyelerini ikna etmek için üç yıl kaybedilmiştir. Jüri üyelerinin içine düştükleri başlıca hatalar şöyle sıralanabilir:

- Çok sayıda yayınlanmış MLR ve MRR var. Zaten MLR ve MRR ile belirlenmiş M ve L 'leri kullanıp tekrar yeni bir MLR, MRR ve MTR elde etmek kısır döngü olmaz mı? Bu klasik MLR ile yeni trend MLR farkını bilmemekten kaynaklı bir problemdir. Aynı zamanda farklı form veya amaç güden MLR'lerin hep aynı isimle dillendirilmesinin sebep olduğu bir başka problemdir.
- Jürinin "Metal bolluğu etkisinin araştırılması" ibaresinden anladığı, Torres ve diğ. (2010), Gafreira ve diğ. (2012) ve Fernandes ve diğ. (2021)'in yaptığı gibi MLR bağlantısına demir ([Fe/H]) veya metal bolluğu ([M/H]) içeren bir başka terimin daha eklenmesidir. Oysa projede amaçlanan, klasik MLR'in kalibrasyonla belirlenen katsayılarının metalce bol ve fakir yıldızlar için nasıl değişeceğini araştırılmasıdır.
- Barınak yıldızları, H-R diyagramı üstünde Güneş benzeri ve daha geç tayf türdeki yıldızlar olarak tanımlanır. Ancak, H-R diyagramında tüm tayf türleri olmadığından eksiktir; böylesi bağlantılar kalibre edilemez. MLR dendiğinde jüri üyelerinin de aklına "M ve R hesaplayan empirik bağlantı" geldiğinden ve klasik MLR akıllarında olmadığından böylesi bir eleştiriyi yapmaktadırlar.

Öncelikle, jüri üyelerine klasik ve yeni trend MLR farkını her yeni başvuru evrağında tekrar tekrar anlatılması zorunlu olmuştur. Sonrasında, "klasik MLR ne işe yarar" sorusunun cevabı olarak da aralarında bağımlı MLR, MRR ve MTR'lerin literatürde sadece temel astrofizik ve yıldız astrofiziği dışında değil astrofizik, kozmoloji, hatta genel rölativite gibi çok değişik bilim dallarında da kullanıldığını ve sadece ötegezegen araştırmalarında kullanılan, M ve R hesaplayan Moya ve diğ. (2018)'nin empirik bağlantıları ile karşılaştırınca dört beş misli fazla atıf alarak aralarında bağımlı MLR, MRR ve MTR'nin daha çok tercih edildiğini

söylediğimizde "Daha önce yapılmış bir projenin başarılı olması bu projenin başarılı olmasını gerektirmez!" cevabını aldık. Üç yılın sonunda, 122R052 nolu TÜBİTAK 1001 projemiz tamamlanmak üzere jürinin tamamını tam ikna edemedi kazara sonuçlandığını düşünüyoruz. Jüri üyelerini ikna için geliştirdiğimiz argümanlar ile Eker ve diğ. (2024) derleme makalemiz şekillenmiştir. Bizleri buna zorlayan jüri üyelerine teşekkür ederiz.

3 Sonuçlar

- Klasik MLR, MRR ve MTR anakol yıldızlarının ortalama $\langle M \rangle$, $\langle L \rangle$, $\langle R \rangle$ ve $\langle T_{\text{eff}} \rangle$ arasındaki ilişkileri ortaya koyan DDEB elde edilmiş istatistik bağlantılardır. Anakol dışındaki ışınım sınıflarında benzer bağlantıların olup olmaması ve bu bağlantılardaki metal bolluğu etkisinin araştırılması 122R052 nolu TÜBİTAK 1001 projemizin hedefleri arasındadır.
- Tek bir yıldızın M ve R 'sini hesaplamakta kullanılan empirik bağlantılar da istatistik bağlantılardır. $M-L/M-R$ (kütle ışınım gücü bağlantısı/kütle yarıçap bağlantısı) diye isimlendirilmeleri doğru değildir.
- Farklı amaçlar için düzenlenmiş farklı amaçlara hizmet eden bağlantılara aynı adı vermek elbette doğru değildir. Okuyucuların yanlış yönlendirilmesine, anlam kargaşasına sebep olurlar.
- İstatistik bağlantılar, önceden belirlenmiş belli bir aralıkta ve belli tür yıldızlar için belli şartlara tabi bağlantılardır. Yasa ve kanun gibi tüm yıldızlara uygulanamazlar.
- Bir bağlantının istatistik bağlantı olması onun değerini eksiltmez.
- Anlam kargaşasına sebep olmamak adına bağlantılar içerik ve/veya amaçları doğrultusunda özgün bir isimle isimlendirilmelidir.
- Problemleri bir isim literatürde var ise bu durum (aynı ismin aynı bağlantı için kullanılması) hatanın devamı için bir bahane sayılmamalıdır.
- Aksi takdirde isim kargaşası problemi çözülmez.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 1001 kodlu 122R053 numaralı projesiyle desteklenmiştir. Çalışmanın yazım aşamasına destek olan Remziye Canbay'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

- Andersen J., 1991, *A&ARv*, 3, 91
Bahcall J. N., 2000, *J. R. Astron. Soc. Canada*, 94, 219
Cester B., Ferluga S., Boehm C., 1983, *Ap&SS*, 96, 125
Chadwick J., 1933, *Proceedings of the Royal Society of London Series A*, 142, 1
Cox A. N., 2000, *Allen's astrophysical quantities*. New York: AIP Press
Crookes W., 1874, *Proceedings of the Physical Society of London*, 1, 35
Demircan O., Kahraman G., 1991, *Ap&SS*, 181, 313
Eddington A. S., 1926, *The Internal Constitution of the Stars*. Cambridge University Press
Eggen O. J., 1956, *AJ*, 61, 361
Einstein A., 1905, *Annalen der Physik*, 322, 891
Eker Z., ve diğ., 2015, *AJ*, 149, 131
Eker Z., ve diğ., 2018, *MNRAS*, 479, 5491
Eker Z., Soyduğan F., Bilir S., 2024, *Physics and Astronomy Reports*, 2, 41
Fernandes J., Gafreira R., Andersen J., 2021, *A&A*, 647, A90

- Gabovits J., 1938, Publications of the Tartu Astrofizica Observatory, 30, A3, [ADS](#)
- Gafeira R., Patacas C., Fernandes J., 2012, [Ap&SS](#), 341, 405
- Gimenez A., Zamorano J., 1985, [Ap&SS](#), 114, 259
- Habets G. M. H. J., Heintze J. R. W., 1981, [A&AS](#), 46, 193, [ADS](#)
- Harmanec P., 1988, Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia, 39, 329, [ADS](#)
- Henry T. J., McCarthy Donald W. J., 1993, [AJ](#), 106, 773
- Hertzsprung E., 1923, Bull. Astron. Inst. Netherlands, 2, 15, [ADS](#)
- Huang S. S., Struve O., 1956, [AJ](#), 61, 300
- Ibanoğlu C., Soyduğan F., Soyduğan E., Dervişoğlu A., 2006, [MNRAS](#), 373, 435
- Johnson H. L., Morgan W. W., 1953, [ApJ](#), 117, 313
- Karetnikov V. G., 1991, [Azh](#), 68, 880, [ADS](#)
- Kopal Z., 1978, Dynamics of close binary systems. Dordrecht: Reidel, doi:10.1007/978-94-009-9780-6
- Kuiper G. P., 1938, [ApJ](#), 88, 472
- Lacy C. H., 1977, [ApJS](#), 34, 479
- Lacy C. H., 1979, [ApJ](#), 228, 817
- Langley S. P., 1880, The Observatory, 3, 501, [ADS](#)
- Malkov O. Y., 2003, [A&A](#), 402, 1055
- Malkov O. Y., 2007, [MNRAS](#), 382, 1073
- McCluskey George E. J., Kondo Y., 1972, [Ap&SS](#), 17, 134
- McCrea W. H., 1950, Physics of the sun and stars.. Hutchinson's University Library
- McLaughlin D. B., 1927, [AJ](#), 38, 21
- Miles R., 2007, Journal of the British Astronomical Association, 117, 172, [ADS](#)
- Moya A., Zuccarino F., Chaplin W. J., Davies G. R., 2018, [ApJS](#), 237, 21
- Oersted H. C., 1820, Experiences sur l'effect du conflict electrique sur l'aiguille aimantee ; Experiences relatives a l'aimantation du fer et de l'acier par l'action du courant voltaique.
- Patterson J., 1984, [ApJS](#), 54, 443
- Petrie R. M., 1950a, Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria, 8, 341, [ADS](#)
- Petrie R. M., 1950b, [AJ](#), 55, 180
- Planck M., 1900, [Annalen der Physik](#), 306, 69
- Plaut L., 1953, Publications of the Kapteyn Astronomical Laboratory Groningen, 55, 1, [ADS](#)
- Russell H. N., Adams W. S., Joy A. H., 1923, [PASP](#), 35, 189
- Serenelli A., ve diğ., 2021, [A&ARv](#), 29, 4
- Stothers R., 1974, [ApJ](#), 194, 651
- Strand K. A., Hall R. G., 1954, [ApJ](#), 120, 322
- Torres G., Andersen J., Giménez A., 2010, [A&ARv](#), 18, 67
- Trumpler R. J., 1930, [Lick Observatory Bulletin](#), 420, 154

Access:

M25-0374: [Turkish J.A&A](#) — Vol.6, Issue 3.