

## Kahverengi Cüceler ve H-R Diyagramı

Berahitdin ALBAYRAK<sup>1</sup>, Cemal AYDIN<sup>1</sup> ve Dursun KOÇER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.Ü. F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü 06100 Tandoğan ANKARA

<sup>2</sup>İ.Ü. F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü 34452 Üniversite İSTANBUL

### I. Giriş

Kahverengi cüceler için en iyi tanımlama, doğmadan ölmüş veya kusurlu doğmuş yıldızlardır. Bir yıldız (örneğin Güneş), çok yoğun ve çok sıcak olan çekirdeğinde gerçekleşen termonükleer reaksiyonlarla enerji üretir. Yıldızın kütlesi  $0.08 M_{\odot}$  den daha küçük olduğu zaman

onun merkezi sıcaklığı hidrojeni helyuma dönüştürmek için yeterli değildir. Kütleleri bu değer altında olan gök cisimleri "Kahverengi Cüceler (kc)" olarak adlandırılır. Çok yakın bir geçmişe kadar kütleleri hidrojen yakma limitinin altında bulunan cisimler olarak bilinenler sadece Güneş Sistemi'nin üyeleri olan gezegenlerdir. En büyük gezegen olan Jüpiter'in kütlesi  $0.001 M_{\odot}$ 'dir. Bir

Jüpiter kütlesi  $M_j=2 \times 10^{27}$  kg olup bu değer yıldızaltı cisimler (yıldız olamamış cisimler) için birim kütle olarak kabul edilir. Böylece, kc en küçük kütleli yıldızlar ile gezegenler arasındaki boşlukta bulunurlar. KC üzerinde yapılan araştırmaların ulaştığı sonuçlar itibarıyla onların yıldızlar ile olan sınırı gezegenlerle olan sınırına göre daha iyi belirlenmiş durumdadır.

Genel bir görüş (beklenti olarak) olarak kc'in yıldız oluşum sürecine benzer bir süreçle oluşmuş olup kütlesi nedeniyle hidrojeni yakamayan cisimler oldukları sanılmaktadır. Diğer taraftan gezegenler, yıldız oluşumu süresince ortaya çıkan kalıntılardan oluşmuş cisimlerdir. Artık Kahverengi cüceler ve Güneş sistemi dışında diğer gezegenlerin var olduğu kesin olarak belirlenmiştir

Kahverengi cücelerle ilgili yapılan araştırmalar çok önemli bilgiler sağlamaktadır. Bir taraftan onların soğuk dış atmosfer katmanları hakkında bilgi sahibi olunurken diğer taraftan tam olarak iç yapılarının nasıl olduğu belirlenmeye çalışılmaktadır. Daha önemlisi kc'in sayıca ne kadar olduklarıdır. Güneş'e göre 10 pc (33 LY) uzaklıkta bulunan bütün yıldızların % 70'i düşük ışınım güçlü ve küçük kütleli M türü cücelerdir. Biz en yakın M türü cüce yıldızların ancak 1/3'ünü keşfedebilmiş olmamız, bir taraftan bu türden keşfedilmeyi bekleyen çok fazla yıldızın olduğunu gösterirken diğer taraftan da sadece Güneş komşuluğunda çok sayıda kahverengi cüce keşfetmeyi beklememizi gerektirmektedir (Henry ve arkd. 1997). Galaksilerin dinamiğine ilişkin yapılan çalışmaların ortaya koyduğu bir sonuç şudur ki galaksiler büyük miktarda gizli madde "karanlık madde" içerirler. Gerçekte bu karanlık madde, galaksilerin ötesinde olup galaksi kümelerinin daha genel bir ifadeyle Evrenin bütünü için bir problemdir. Bir tahmin olarak evrendeki maddenin %98'i belirlenememiş, yani normal madde biçiminde değildir. Kahverengi cüceler, devam eden bir nükleer reaksiyona sahip olamadıklarından zaman içinde (yaşa bağlı olarak) sönmüşlerdir. Öyle ki bir karanlık (gizli) madde deposu haline gelirler. Bu bakımdan da kc'in keşfi galaksilerdeki karanlık madde problemine önemli bir katkı sağlamaktadır

### II. Kahverengi Cücelerinin Oluşumu

Son zamanlarda yapılan bazı araştırmaların sonuçları farklı bulgular ortaya koymakla birlikte kc'in yıldız oluşum sürecine benzer bir süreçle oluştuğu tahmin edilmektedir. Öncelikle yıldızların nasıl oluştuğuna bir bakmak gerekir. Gözlemler, yeni yıldızların yoğun yıldızlararası bulutların bulunduğu bölgelerde oluştuğunu göstermektedir. Böyle bir ortamda kütle çekim kuvveti, bulutu sıkıştırmaya çalışırken gaz basıncı genişletmeye gayret eder. Bu şartlar altındaki bir bulutun çökebilmesi için sahip olması gereken kritik kütle Jean kütlesi olarak isimlendirilir ve  $M_{\text{jeans}}=(5kT/G \rho m_H)^{3/2} (3/4 \rho)^{-1/2}$  bağıntısıyla ifade edilir. Bu bağlantıda T ve  $\rho$ ; bulutun sıcaklık ve yoğunluğu,  $m_H$ ; hidrojen atomunun kütlesi,  $\rho$  ise bulut maddesinin hidrojene göre ortalama atomik ağırlığıdır. Çökmenin olması durumunda eğer bulut açığa çıkan kütle çekim enerjisini salabilirse er veya geç bulutun bir bölgesi daha yüksek bir yoğunluğun etkisiyle daha küçük bir Jean kütlelerini aşabilir. Böylece büyük bulut parçalarına ayrılır ve bu parçalar başka parçalarla da birleşebilir. Bu süreçteki mümkün en küçük parçanın kütlelerinin yaklaşık 10 Mj (bkz. Boss 1991) olabileceği tahmin edilmektedir. Böyle bir parçanın yaydığı ışınım onun çökmesinden daha hızlı olamadığından daha küçük parçalara bölünmesini engeller. Öyleki, büyük bir buluttan bütün kütle değerlerinde yıldızların oluştuğu bir yıldız kümesi doğabilir. Bir başka ifadeyle kısa yaşayan büyük kütleli (dev) yıldızlardan kahverengi cücelere kadar değişik kütleli cisimler oluşabilir.

Teoriye göre, oluşan yıldızlar tek, çift ve çoklu sistemler olabilir. Böylece kahverengi cücelerinin izole edilmiş tek bir cisim olabileceği gibi bir yıldızın bileşeni veya iki kahverengi cücenin oluşturacağı

## B. Albayrak vd: Kahverengi Cüceler ve H-R Diyagramı

kahverengi cüce çift sistemlerinin olabileceğini bekleyebiliriz. Diğer taraftan gezegenlerin yıldızların etrafında oluşabileceği ve kütlelerinin maksimum 15 M<sub>J</sub>'e kadar olabileceği tahmin edilmektedir. Yakın bir zamandır, Güneş ve gezegenlerinin oluşumunu açıklayan bu temel modeli destekleyen gözlemsel bulgulara ulaşılmıştı. İlk gözlemsel sonuç olarak genç bir yıldız olan Beta Pictoris etrafında bulunan toz diskin varlığı verilebilir. Yine diğer genç bir yıldız olan Vega etrafında benzer toz disklerinin varlığı belirlendi. Daha da önemlisi Hubble Uzay Teleskobu (HST) ile Orion bulutsusunda yeni oluşmuş (genç) yıldızların benzer yapıları sahip olduğunun tespitidir. Diğer benzer gözlemsel sonuçlar Kırmızıöte Astronomi Uydusu (Infrared Astronomy Satellite) ile elde edildi (Smith ve Terile 1984). Eğer kütlesi 10 M<sub>J</sub>'den daha küçük bir kahverengi cüce bulunursa, yıldız oluşum teorisinin yeniden gözden geçirilmesi gerekecektir. Bu itibarla, kütlesi 10 M<sub>J</sub>'den daha küçük olup bir yıldız etrafında dolanan bir cisim büyük bir olasılıkla dev bir gezegendir.

### III. Kahverengi Cüceler Evrimi

Bir kahverengi cüce, oluşumundan itibaren gittikçe soğur ve sönükleşir. Bütün kc evrimlerinin kısa bir zaman süresinde döteryum yakarlar. Bu süre yaklaşık 10<sup>7</sup> yıl sürer. En büyük kahverengi cüce belkide kısa bir hidrojen yanması geçirebilir. Fakat kahverengi cüce ile yıldızlar arasındaki en önemli fark şudur ki kahverengi cüceler döteryum yanmasını bitirdikten sonra hiç bir zaman bir sıcaklık ve ışınım gücü dengesine ulaşamazlar. En küçük kütleli yıldızların H-R diyagramında anakola ulaşmış hidrojen yakmaya başlamaları için geçen süre 10<sup>9</sup> yıl olabilmekle birlikte bu yıldızlar sabit bir ışınım gücü ve sıcaklığa ulaşabilmektedirler. Böylece bu çok soğuk yıldızlar büyük kütleli kahverengi cüceler ile karıştırılabilirler (ayrıt edilemezler). Bu nedendir ki kahverengi cüceler araştırılması çok küçük kütleli soğuk yıldızların özelliklerinin belirlenmesi bakımından da önemlidir.

Dev gezegenler ve kahverengi cüceler özelliklerine ilişkin teorik çalışmalar son bir kaç yıldır yoğunluk kazandı. Fakat kc keşfedilmeden önce bu teoriler sadece Jüpiter ve Satürn'e uygulanabilmişti. Bu teoriye göre dev gezegenler ve kahverengi cüceler evrim süresince yıldızlara göre çok önemli bir fiziksel değişikliğe uğramazlar ve bu nedenle her ikisine aynı iç yapı fiziği uygulanabilir. Kahverengi cüceler ile ilgili teori Stevenson (1991)'de geliştirildi. Bu modele göre: Genç bir yıldız gibi bir kahverengi cüce de başlangıçta büzülmüş bir gaz küresidir. Yaklaşık 1 milyon yıl sonra döteryum ile hidrojeni yakabileceği bir sıcaklığa erişir ki buna döteryum yanması (<sup>2</sup>H+<sup>1</sup>H→<sup>3</sup>He) denir. Böylece, kahverengi cücenin büzülmesi durur ve bir süreliğine sabit bir yarıçap ve ışınım gücüne erişir. KC'de <sup>2</sup>H/H=10<sup>-5</sup>/1 olduğundan bu süre öyle çok uzun değildir. Bütün döteryum tüketildiğinde kahverengi cüce tekrar büzülmeye ve soğumaya başlar. Merkezi yoğunluk artar ve Pauli dışarlam ilkesi etkin olur. Cisim dejenere hale gelir ve soğumasını sürdürür fakat yarıçapı hemen hemen sabit kalır.

İç yapı modelleri için gerekli olan sınır değerler bakımından kc'in atmosferleri önemlidir. Ayrıca onları araştırırken görünüş olarak nasıl cisimler olduğunun bilinmesi bakımından da atmosferleri önem arzeder. Bu bakımdan sıcaklık ve ışınım güçlerine göre, fotometrik ve tayfsal özelliklerinin nasıl olduğu bir diğer merak konusudur. Çok küçük kütleli yıldızlar ile kc galakside en bol bulunan gök cisimleri olmalarına karşın onların atmosfer özellikleri son zamanlarda belirlenmeye başlandı.

Çok küçük kütleli yıldızların veya kc özelliklerini doğru olarak belirleyip onları H-R diyagramında doğru yerlere koyabilmek zor bir iştir. Teorik modellerle yapılan karşılaştırmalardan ancak makul kütleler belirlenebilmektedir. Atmosfer sıcaklık ölçümleri için kullanılan modeller henüz tam olarak enerji dağılımlarını temsil edememekle birlikte sıcaklıklarını hesaplayabilmenin en iyi yoludur. Geç kahverengi cüceler yaşlı M cücelerine çok daha fazla benzerler. Teorik modeller hidrojen yakan bir yıldız için en düşük ışınım gücünün 10<sup>-4</sup> L<sub>☉</sub> atmosfer sıcaklığının 1800 K den daha düşük olamayacağını ortaya koymaktadır.

Böylece, aday kahverengi cücenin ışınım gücü veya sıcaklığı ölçülebilirse onun daha soğuk veya daha sönük olmasından dolayı bir kahverengi cüce olabileceğine karar verilebilir. Bu düşük kütleli ve evrimleşmiş kahverengi cüceler için uygun olmakla birlikte genç ve daha büyük kütleli kahverengi cüce için diğer bazı kriterleri de dikkate almak gerekir. Örneğin "lityum testi". Bu yöntem ilk olarak Rebolo ve arkd. (1992) tarafından önerildi. Tayfsal bir test olup lityumun 6707 Å rezonans çizgisi kullanılır. Eğer kahverengi cücenin kütlesi yaklaşık olarak 60 M<sub>J</sub>'den daha küçük ise merkez sıcaklığı onun başlangıçta var olan lityumunu yakacak sıcaklığa (2.5x10<sup>6</sup> K) hiç bir zaman ulaşamaz (<sup>6</sup>Li+<sup>1</sup>H→<sup>3</sup>He+<sup>4</sup>He, <sup>7</sup>Li+<sup>1</sup>H→<sup>2</sup>He). Tam olarak konvektif olan çok küçük kütleli yıldızlar, lityumlarını 10<sup>8</sup> yıl gibi bir zaman aralığında iç kısımlara taşıyarak yakarlar. Bu test uygulanmadan önce cismin yaşı hakkında birşeyler bilinmelidir. Şöyleki, çok küçük kütleli cüce yıldızlardan çok genç olanları henüz lityumlarını tüketmemişlerdir. Belirtmek gerekir ki kütlesi 60 M<sub>J</sub> nin altında olan bir kahverengi cüce hiç bir zaman lityumunu tüketemeyecektir. Daha önemlisi bir anakol yıldızı 100 milyon yıldan daha genç

ise onun atmosferinde hala lityum vardır. Bu testin uygulanabildiği cisimler açık kümelerde bulunanlardır. Çünkü kümenin yaşı biliniyordur. Test Pleiades açık kümesindeki bazı kc için çok başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Ancak, soğuk (özellikle L8 den daha geç olan) kc'in tayfında lityumun bu soğurma çizgisi görülemiyor. Bir başka ifadeyle yaklaşık 1500 K atmosfer sıcaklığından itibaren daha düşük sıcaklıklarda lityumun LiCl, LiOH ve LiF moleküler yapıları mevcut. Ancak gelişen gözlem teknikleri sayesinde bilinen diğer yöntemler uygulanılarak keşfedilmiş yeni bir gökcisminin kahverengi cüce olup olmadığını anlamak artık problem olmaktan çıkmış durumdadır.

#### IV. Kahverengi Cücelerin Tayfsal Sınıflaması

Sınıflama, gök cisimlerinin özelliklerini belirlemedeki en önemli adımdır. Benzer cisimlerin oluşturduğu grupların genel özelliklerini belirlemeye imkan tanımakla birlikte bu özellikleri daha geniş gruplara ve belkide belirlenememiş üyelere genelleştirmeyi de mümkün kılar. Gök cisimlerini sınıflandırmanın temel özelliği gözlemlere dayanmasıdır. Bir başka ifadeyle gök cisimlerinin en temel sınıflaması onların biçimlerine, parlaklıklarına ve yaydıkları enerjinin değişimine göre (tayfsal) yapılıdır.

MKK (Morgan, Keenan ve Killman; 1943) sınıflaması en fazla kabul gören sınıflama şeması olup, yıldızların atmosfer sıcaklıkları ile ışınım güçlerini esas alır. Tayfsal sınıflama yaklaşık 150 yıldır kullanılmaktadır. Sıcaklık sınıflaması ilk kez Henry Draper (HD) Kataloğu'nda (Pickering 1890) kullanılırken, ışınım gücünün tayftaki etkisi ise ilk kez Maury & Pickering (1897) tarafından farkedilmişti. Bu sınıflamada yıldızlar azalan sıcaklık yönünde olmak üzere O, B, A, F, G, K, M harfleriyle gösterilen yedi ana sınıfa ayrılırlar. Son zamanlara kadar en soğuk ve en sönük gök cisimleri olarak M türü cüce yıldızlar biliniyordu. Yüksek duyarlılıklı görsel ve yakın kızılöte dedektörlerin geliştirilmiş olması ve bunlarla gökyüzünün taranmaya başlanması daha soğuk yıldızlar ve kahverengi cücelerin keşfini hızlandırdı. Bu projelerden bazıları, the 2 Micron All Sky Survey (2MASS; Skrutskie ve arkd. 1997), the Sloan Digital Sky Survey (SDSS; York ve arkd. 2000) ve the Deep Near-Infrared Survey of the Southern Sky (DENIS; Epchtein ve arkd. 1997). Sonuç olarak L (Kirkpatrick ve arkd. 1999a, Martin ve arkd. 1999) ve T (Kirkpatrick ve arkd. 1999a, Burgaser ve arkd. 2002) olarak isimlendirilen iki yeni tayf sınıfı oluşturuldu. Bu iki yeni sınıf bir bakıma yıldızlar ile yıldızaltı cisimler arasındaki geçişi resmetmektedir.

L sınıfı, yıldızlar ile kahverengi cücelerin bir karışımını içermekte olup bahsedilen geçişin tam ortasına karşılık gelir. 6300–10100 Å aralığında (görsel bölgenin kırmızı tarafı) M türü cücelerin tayfında en baskın halde görülen TiO ve VO gibi metal oksit soğurma bandları bu yeni sınıf üyelerinde daha zayıf olmakla birlikte FeH, CrH, CaH gibi metal hidritler ile alkali metallere (NaI, KI, CsI, RbI) ait soğurmalar çok şiddetlidir. Yakın kızılöte tayfları (H<sub>2</sub>O ve CO) bakımından M türü cücelere benzer olmakla birlikte, bunlar atmosferlerindeki sıcak toz varlığından dolayı daha kızılıdır. L türü cisimler etkin sıcaklık olarak 2000–2200 K' dan başlayıp 1300–1700 K arasında yer alırlar. Bu türden yaklaşık 100 tane kahverengi cüce keşfedilmiş durumdadır. Bunlar, yıldız kümelerinde, alan cisimleri (izole edilmiş gök cisimleri olarak) ve ayrıca yakın yıldız bileşenleri olarak bulunmuştur.

T sınıfı sadece kahverengi cüce içermekte olup, en belirgin tayfsal olgular 1.0 ve 2.2 µm de gözlenen CH<sub>4</sub> soğurma bandlarıdır. Bu iki bandla birlikte H<sub>2</sub>O'nun geniş soğurma bandları, bunların tayflarını L sınıfına göre çok önemli düzeyde farklılaştırmaktadır. Bu farklılık ilk olarak keşfedilen Gliese 229B' nin tayfının L'ler ile karşılaştırılması sonucunda farkedildiğinden bu yeni sınıfa ihtiyaç görülmüştür. Daha sonra Gliese 229B benzeri bir çok kahverengi cüce gözlenerek T sınıfının alt sınıflarının tayfsal farklılığı da tespit edilebildi (bkz. Burgaser ve arkd., 2002).

#### V. Kahverengi Cücelerin Keşfi ve Araştırılması

Gliese 229B, ilk keşfedilen kahverengi cüce olarak Nakajima ve arkd. (1995) tarafından rapor edildi. Bu araştırmacılar onu, M1 V tayf-ışınım türünden ve 5.8 pc uzaklıktaki bir yıldız olan Gliese 229 (HD42581) ile aynı öz harekete sahip çok soğuk bir cisim olarak duyurdular. Openheimer ve arkd. (1995) ve Geballe ve arkd. (1996) tarafından alınan kızılöte tayfı gösterdi ki Gliese 229B Jupiter gibi çok soğuk bir cisimdir. Bileşeni olan yıldızdan yaklaşık 8" kadar ayrıktır. Yaklaşık değerler olmak üzere atmosfer sıcaklığı 900 K, ışınım gücü  $6 \times 10^{-6} L_{\odot}$  kütlesi 30-50 M<sub>J</sub>, Yaşı 5 milyar yıl ve yörünge dönemi 200 yıl olarak tahmin edilmektedir.

Kahverengi cüceler; yakın yıldızların bileşenleri, yalnız cisimler (field object:alan cisimleri) veya yıldız kümelerinin üyeleri, olarak keşfedilmektedirler. Çekimsel mercekle de kahverengi cücelerin keşfi için kullanılabilir. 10 pc'ten daha yakın olan bir yıldızın konumu, daha uzak (sabit) yıldızlara göre değişim gösterir. Bu öz hareket olarak isimlendirilir ve yaysaniyesi/yıl olarak ölçülür. Eğer bir yıldızın bir bileşeni varsa, bu yıldız çift sistemin kütle merkezi etrafında dolacağından sinüs eğrisi benzeri bir öz harekete sahip olur. Bu tür yıldızlar Astrometrik Çiftler olarak isimlendirilir. Gök

## B. Albayrak vd: Kahverengi Cüceler ve H-R Diyagramı

yüzündeki en parlak yıldız olan Sirius Astrometrik çiftler için iyi bir örnektir. Onun bu durumu, teleskopların bileşen beyaz cüceyi direkt olarak görüntülemeyen çok daha önce biliniyordu.

Ayrıca çift sistemler, bileşenlerin bakış doğrultusundaki hız bileşenlerinin değişimi (Doppler Kayması) kullanılarak belirlenebilir. Bu metod, diğer yıldızların etrafındaki gezegenlerin tespitinde de kullanılır. Gezegenlerden daha büyük kütlelere sahip kahverengi cücelerin keşfi içinde daha elverişlidir. Bir çok kahverengi cüce son zamanlarda bu yolla keşfedildi (bkz. Urby ve ark. 2002). Ancak, sonuçlar istatistiksel bir çalışma için henüz yeterli değildir. Doppler kayması, yüksek hızlı ve kısa periyotlu sistemler için çok uygundur.

Eğer bir kahverengi cüce yeterince ayırık ise direkt gözlemlerle belirlenebilir. Becklin ve Zuckerman (1988), bir beyaz cüce olan GD165'in bileşeni kahverengi cüce GD165B'i (Gliese 229B'nin keşfinde olduğu gibi) fotoğrafik tarama yöntemiyle keşfetti. GD165B'nin sıcaklığı 1800 K kütlesi 80  $M_J$ 'den daha küçük olup beyaz cüceden hareketle hesap edilen yaşı ise 500 milyon yıldır.

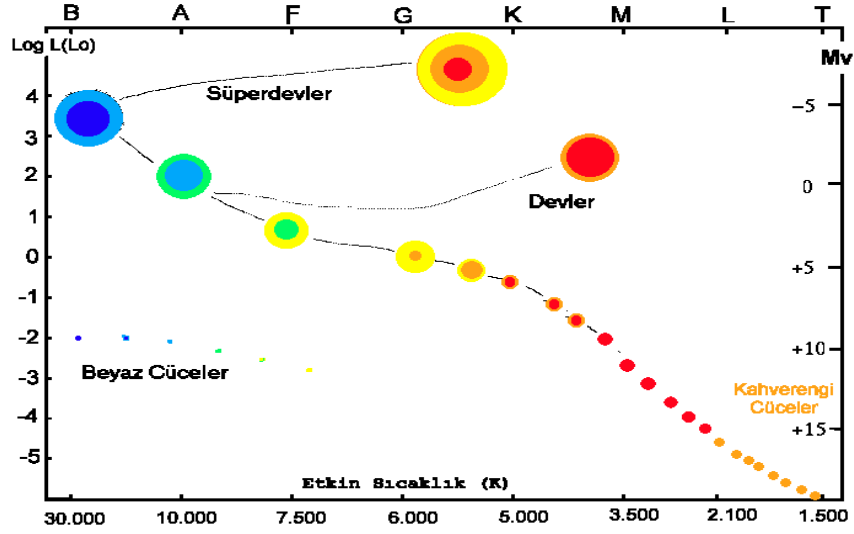
Ayrıca Örtün Çift Yıldızların gösterdiği light-time effect, kahverengi cücelerin keşfi için bir başka imkan olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna bir örnek olarak V471 Tauri örtün çift sistemi verilebilir (bkz. Guinan ve Ribas, 2001).

Gökyüzünü tarayan 2MASS, DENIS, SDSS, vb. araştırmalarla bir çok alan kahverengi cücesi keşfedildi. Bu araştırmalar kapsamında henüz gökyüzünün çok küçük bir kesri taranabilmiş durumdadır. Keşfedilen kahverengi cücelerden hareketle tüm gökyüzüne bir extropole yaparak bu taramalarla 600 civarında (mevcut gözlem araçlarının duyarlılık sınırları içerisinde) kahverengi cücenin bulunabileceği beklenebilir.

## VI. Sonuç

Kahverengi cücelere ilgili yapılan araştırmalar, bir yandan onların ne tür bir gök cisimi olduğunu (kütleleri, atmosfer sıcaklıkları, oluşum ve evrim süreçleri, vb) ortaya koyarken diğer yandan Astrofizikçe önemli gelişmelere katkı sağlamaktadır. Şöyleki:

- 1) Soğuk dış atmosfer katmanlarının anlaşılmasıyla, Harvard Sınıflaması 900 K'ya ulaştı. Böylece gök cisimleri atmosfer sıcaklıklarına göre O, B, A, F, G, K, M, L, T gibi dokuz ana sınıfa ayrılmış oldu (bkz. Şekil 1),
- 2) Evrendeki cisimlerin kütle dağılımında Yıldızlar ile Gezegenler arasındaki büyük ve önemli bir boşluk dolduruldu,
- 3) Evrendeki karanlık (kayıp) madde problemine önemli bir katkı sağlamaktadırlar,
- 4) Çok küçük kütleli ( $M < 0.3M_{\odot}$ ) yıldızların özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadırlar,
- 5) Yıldız oluşum teorisinin testine katkı sağlamaktadırlar,
- 6) Katakizmik değişen yıldızların evrimlerinin son aşamalarına açıklık getirilmektedir (bkz. Howell ve Ciardi, 2001),
- 7) Yakın çift yıldız evriminde bileşen yıldızın, bir yıldızaltı cisme dönüşmesi bakımından H-R Diyagramı'nda Beyaz Cüceler dışında bir başka yıldız mezarlığının varlığı ortaya çıkmıştır. Bunu destekleyen bir başka bulgu ise bir kahverengi cüce bileşene sahip Beyaz cücelerin varlığıdır. Beyaz cüce olan GD 165'in kahverengi cüce (GD 165B) bileşene sahip olduğu bulundu (bkz. Becklin ve Zuckerman, 1988; Kirkpatrick ve ark., 1999b).



Şekil 1. Kahverengi cücelerle birlikte H-R Diyagramı.

**Teşekkür:** Bu çalışma Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA/GEBİP) tarafından desteklenmiştir.

#### Kaynaklar:

- Becklin, E. E., Zuckerman, B., 1988, Nature, 336, 656
- Boss, A. P., 1991, Nature, 351, 298
- Burgasser, A. J., ve arkd. 2002, AJ, 564, 421
- Epchtein, N., ve arkd. 1997, Messenger, 87, 27
- Geballe, T. R., Kulkarni, S. R., Woodward, C. E., Sloan, G. C., 1996, ApJ., 467, L101
- Guinan, E. F., Ribas, I., 2001, ApJ, 546, L43
- Henry, T. J., Ianna, P. A., Kirkpatrick, J. D., Jahreis, H., 1997, AJ, 114, 388
- Howell, S. B., Ciardi, D. R., 2001, ApJ, 550, L57
- Kirkpatrick, D. J., ve ard. 1999a, ApJ, 519, 802
- Kirkpatrick, D. J., ve ard. 1999b, ApJ, 519, 834
- Martin, E. L., ve arkd. 1999, AJ, 118, 2466
- Maury, A. C., Pickering, E. C., 1897, Harvard Coll. Obs. Ann., 28 (I), 1
- Morgan, W. W., Keenan, P. C., Kellman, E., 1943, *An atlas of Stellar Spectra, with an Outline of Spectral Classification* (Chicago: Univ. Chicago Press)
- Nakajima, T., Oppenheimer, B. R., Kulkarni, S. R., Golimowski, D. A., Matthews, K., Durrance, S. T., 1995, Nature, 378, 463
- Nelson, L. A., Rappaport, S., Joss, P. C., 1993, ApJ, 404, 723
- Oppenheimer, B. R., Kulkarni, S. R., Matthews, K., Nakajima, T., 1995, Science, 270, 1478
- Pickering, E. C., 1890, Harvard Coll. Obs. Ann., 27, 1
- Rebolo, R., Martin, E. L., Magazzu, A., 1992, ApJ, 289, L83
- Smith, B. A., Terriile R.J., 1984, Science, 226, 1421
- Stevenson, D. J., 1991, Annu. Rev. Astron. Astrophys, 29, 163
- Skrutskie, M. F., ve arkd. 1997, in The Impact of Large-Scale Near-IR Sky Surveys, ed. F. Garzon (Dordrecht: Kluwer), 25
- Urdu, S., ve arkd. 2002, A&A, 390, 267
- York, D. G., ve arkd. 2000, AJ, 120, 1579