

RV Tau Türü Yıldızların WISE Görünümü

İlknur Gezer^{1,2,*}, Hans Van Winckel², Zeynep Bozkurt¹

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye

²KU Leuven Astronomi Enstitüsü, Leuven, Belçika

Özet

Bu çalışmada Değişen Yıldızlar Kataloğu'nda (GCVS) verilen gökadamızdaki RV Tau yıldızlarının kızılöte ışıkölçümlerine dayanan ayrıntılı bir inceleme sunulmuştur. RV Tau yıldızları ışık eğrilerinde birbirini izleyen sığ ve derin minimumlara sahip olan, tayf türleri F ve K arasında değişen yüksek ışıtmalı Pop II türü Cepheid değişenleridir. Bu yıldızların asimtotik dev kolundan (AGB) beyaz cüceye doğru evrimleşen ve bu sırada HR diyagramında kararsızlık kuşağından geçmekte olan asimtotik dev kolu sonrası (Post-AGB) yıldızlar oldukları düşünülmektedir. Sınırlı sayıda RV Tau yıldızı, büyük kızılöte ışınım artıkları gösterdikleri için IRAS (Infrared Astronomical Satellite, 1983) tarafından keşfedilmiştir. Bu yıldızlar IRAS [12]-[25], [25]-[60] renk-renk diyagramında özel bir bölgede kümelenmiştir. Çalışmamızda, WISE (Wide field Infrared Survey Explorer) ışıkölçümlerini kullanarak IRAS renklerine dayalı bu çalışmayı genişlettik. RV Tau yıldızlarının kızılöte özelliklerini literatürde iyi tanımlanmış, RV Tau türü değişim göstermeyen post-AGB yıldızlarıyla karşılaştırdık. Buna ek olarak, RV Tau yıldızları ile post-AGB yıldızlarının, çift olma durumları ve tükenmişlik (depletion) olarak bilinen yüzey kimyasal bolluk anormalliği gibi gözlemsel özelliklerini de karşılaştırdık.

Anahtar Kelimeler: (stars:) circumstellar matter, Kırmızıöte Astronomisi

1 Giriş

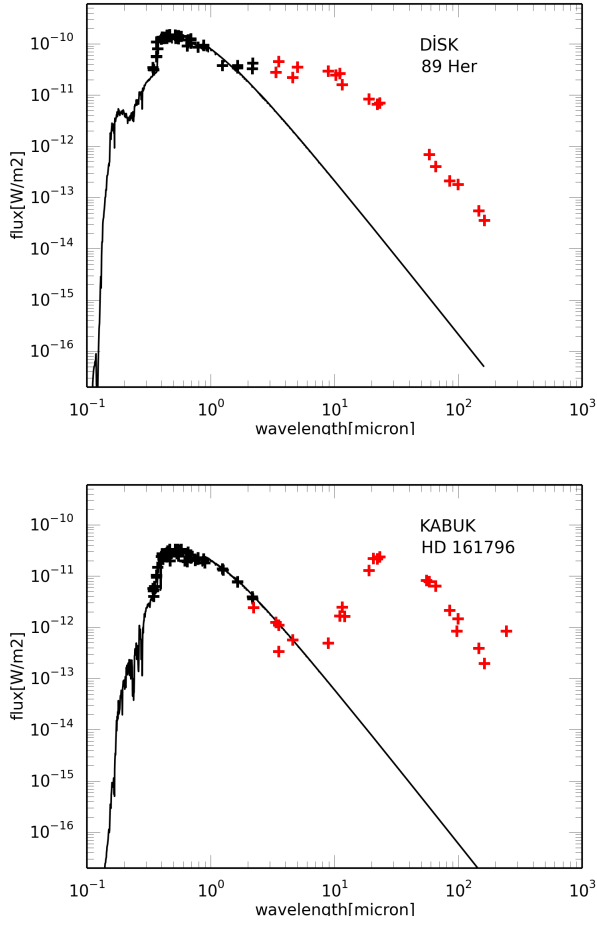
Değişen Yıldız Kataloğu'na göre gökadamızda bilinen 171 RV Tau yıldızı vardır. Büyük Macellan ve Küçük Macellan bulutlarında da pek çok RV Tau yıldızı keşfedilmiştir. RV Tau yıldızları kendi içinde iki fotometrik alt sınıfa ayrılır, RVA ve RVb (Kukarkin 1958). RVA yıldızlarının ortalama parlaklıkları sabitken, RVb yıldızlarının ortalama parlaklıkları 600 ile 1500 gün dönemli değişimler göstermektedir. RV Tau yıldızları tayfsal olarak da üç alt sınıfa ayrılmaktadır (Preston et al. 1963). Tayfsal sınıflar RVA, RVB ve RVC olmak üzere büyük A, B ve C harfleri ile gösterilir. RVA türü yıldızlar G-K tayf türlerinde görülür, güçlü soğurma çizgileri vardır ve normal CN ve CH bantları ile bazen fotometrik minimum sırasında TiO bantları gösterirler. RVB yıldızları genel olarak daha sıcak yıldızlardır, karbonca zengin olduklarını gösteren güçlü CN ve CH bantları sergilerler. RVC sınıfı yıldızlar genellikle küme üyesi RV Tau yıldızlarıdır. RV Tau yıldızlarında gözlenen büyük kızılöte ışınım artığına, yıldız etrafındaki tozun ısıl salmasının neden olduğu düşünülmüştür ve ilk defa, Jura (1986) tarafından post-AGB yıldızları olarak sınıflandırılmışlardır. Bu yıldızlar, çevrelerinde bulunan uzun ömürlü, sıcak ve oldukça kararlı disk yüzünden IRAS [12]-[25], [25]-[60] renk-renk diyagramında belirli bir bölgede kümelenme gösterirler. Lloyd Evans (1985) IRAS renk-renk diyagramındaki bu bölgeyi RV Tau kutusu olarak tanımlamıştır. Ancak IRAS renkleri sadece 18 RV Tau yıldızı için kullanılabilir durumdadır. Çalışmamızda, daha yeni ve hassas bir kızılöte uydusu olan WISE uydusunun ışıkölçümleri kullanılmıştır. WISE uydusu 2009 yılında gönderilmiş ve tüm gökyüzünü 3.4, 4.6, 12 ve 22 μ bantlarında taramıştır (Wright et al. 2010). WISE'in en büyük avantajı gökadamızdaki bilinen tüm RV Tau yıldızlarını görebiliyor olmasıdır. WISE ışıkölçüm bantları IRAS bantları ile aynı değildir. Bu nedenle bu çalışmada yeni renk ölçekleri belirlenerek, [3.4]-[4.6] ve [12]-[22] renkleri tanımlanmıştır. Burada [3.4]-[4.6] rengi yakın-kızılöte

ışınım artığı için iyi bir belirteçken, [12]-[22] rengi daha soğuk bir tozun göstergesidir. RV Tau yıldızları post-AGB yıldızlarının bir alt sınıfı olduğu için gökadamızdaki RV Tau yıldızlarını yine gökadamızda bulunan ve RV Tau türü değişim göstermeyen post-AGB yıldızları ile karşılaştırdık. Bunun için, RV Tau türü değişim göstermeyen ve literatürde iyi tanımlanmış post-AGB yıldızlardan oluşan bir karşılaştırma grubu oluşturduk.

2 WISE renk-renk diyagramı

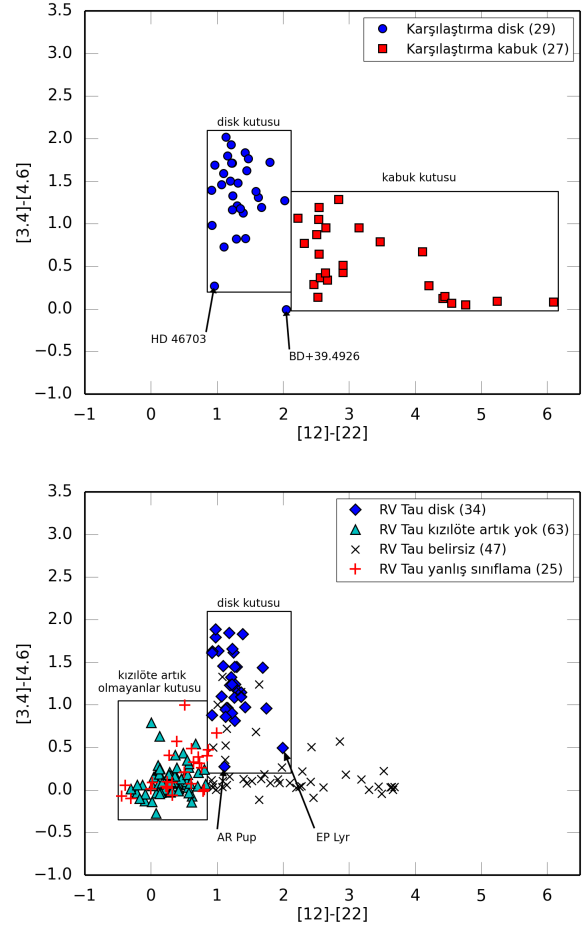
Kızılöte ışınım artığı post-AGB yıldızlarının en belirgin özelliğidir. Görsel olarak parlak post-AGB yıldızları tipik olarak iki çeşit tayfsal enerji dağılımı (TED) gösterirler: iki tepeli TED ve geniş kızılöte artığı gösteren TED. Şekil 1'in üst panelinde görülen iki tepeli tayfsal enerji dağılımına sahip yıldızda, görsel bölgedeki ilk tepe fotosferden kaynaklanan akıya karşılık gelirken kızılöte bölgedeki ikinci tepe serbestçe genişleyen toz kabuğun (zarf) ısıl salmasını temsil etmektedir. İki tepeli TED sergileyen yıldızların genellikle tek yıldız oldukları düşünülmektedir. Şekil 1'in alt panelinde görülen yıldızda ise yakın-kızılöte bölgede başlayan ışınım artığı, yıldız yakınlarında hala toz olduğunu göstermektedir. Bu da yıldızın çevresinde bulunan bir disk yapıya işaret etmektedir. Geniş kızılöte ışınım artığı gösteren bu yıldızlar genellikle çift sistemlerle ilişkilendirilmektedir. Karşılaştırma grubu 33 diskli ve 27 kabuklu olmak üzere toplam 60 yıldızdan oluşmaktadır. Karşılaştırma grubu yıldızları için WISE renk-renk diyagramı çizildiğinde diskli ve kabuklu yıldızların diyagramda farklı bölgelerde kümelendikleri görülmüştür (Şekil 2 üst panel). Diyagramda diskli yıldızların kümelendiği bölgeyi disk kutusu, kabuklu yıldızların kümelendiği bölgeyi ise kabuk kutusu olarak tanımladık. 60 karşılaştırma grubu yıldızı için Vizier veri tabanını kullanarak TED ve literatürde verilen atmosfer parametreleri (Teff, logg ve [Fe/H]) için Krucz atmosfer modellerini elde ettik. Böylece WISE renk-renk diyagramında disk kutusunda kümelenen yıldızların diskli TED gösterdiklerini, kabuk kutusunda kümelenen yıldızların ise çift tepeli, kabuklu TED gösterdiklerini doğrulamış olduk. RV Tau yıldızları için de aynı yolu

* zeynep.bozkurt@ege.edu.tr



Şekil 1. Üst panel: Diskli bir yıldız olan 89 Her'in tayfsal enerji dağılımı (TED). Alt panel: Kabuklu bir yıldız olan HD 161796 için TED.

izledik. Zonklama dönemleri ve tayf türlerini inceleyerek değişen yıldızlar kataloğunda verilen 171 RV Tau yıldızından 25 tanesinin büyük olasılıkla yanlış sınıflandırılmış cisimler olduklarını tespit ettik (Zsoldos 1991). Bu nedenle, analizlere 146 RV Tau yıldızı ile devam ettik. 146 RV Tau yıldızı için WISE renk-renk diyagramını çizdiğimizde bu yıldızların kızlöte özelliklerine göre üç farklı bölgede kümelendiklerini gördük (Şekil 2 alt panel). Bu kümelenmeyi kontrol etmek için 146 RV Tau yıldızı için Vizier veri tabanını kullanarak TED ve literatürde atmosfer parametreleri verilen bazı RV Tau yıldızları için Krucz atmosfer modellerini elde ettik. RV Tau yıldızları için çizilen WISE renk-renk diyagramında ilk göze çarpan kümelenme daha önce karşılaştırma grubu yıldızları için tanımladığımız disk kutusu içinde görülmektedir. Bu kutu 45 RV Tau yıldızını içermektedir ve bunların 34 tanesi TED'lerinde belirgin bir disk yapı göstermektedir. Geriye kalan 11 yıldızın TED'leri büyük genlikli zonklamalar ve yetersiz veri nedeniyle belirsizdir. Diyagramda diğer bir dikkat çekici kümelenme sıfır noktası civarında görülmektedir. Toplam 65 RV Tau yıldızı bu bölgede toplanmıştır ve beklendiği gibi bu yıldızlar TED'lerinde kızlöte ışınım artışı göstermemektedir. Son olarak bazı RV Tau yıldızlarının, daha önce karşılaştırma grubu yıldızları için tanımladığımız kabuk kutusu içinde yer aldığı görülmektedir. Bu yıldızlar kabuklu kaynaklar gibi küçük [3.4]-

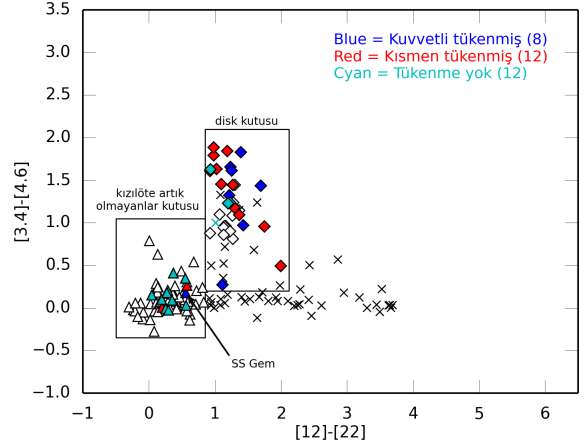
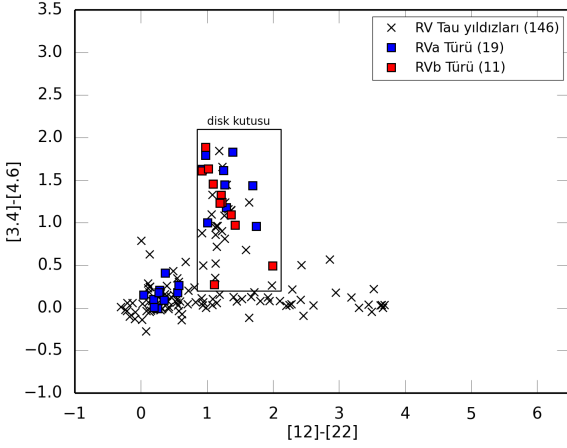
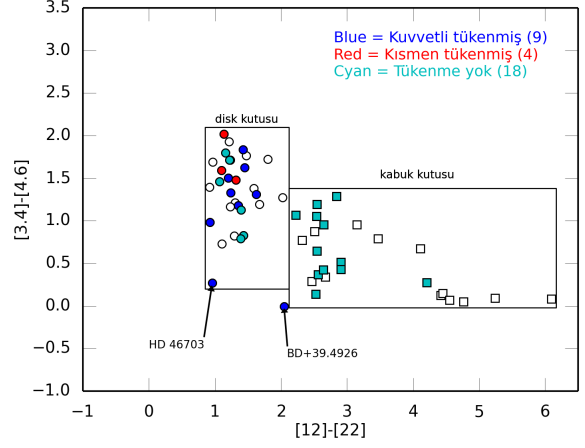
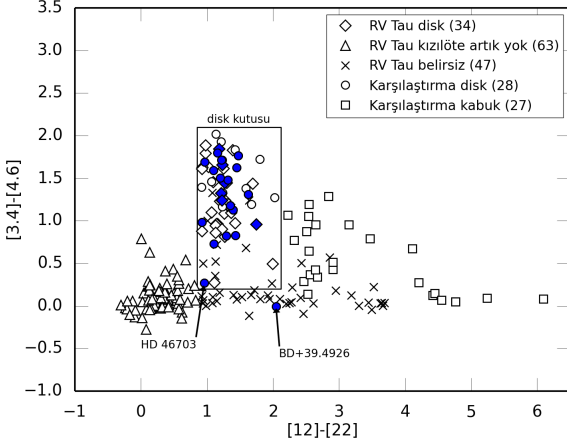


Şekil 2. Üst panel: 60 post-AGB yıldızından oluşan karşılaştırma grubu için WISE renk-renk diyagramı. Alt panel: Gökadamızdaki 171 RV Tau yıldızı için WISE renk-renk diyagramı.

[4.6] renk artışı ile 2.2 ile 3.7 arasında değişen [12]-[22] renk artışı göstermektedirler, ancak bu yıldızlar kabuklu yıldızlar gibi belirgin çift tepeli TED'ler sergilemezler. Bu yıldızlar kabuklu kaynaklar olabilirler ancak kızlöte ışıkölçümleri ve kabuk kinematikleri ile ilgili yetersiz bilgi nedeniyle bu yıldızları belirsiz olarak tanımlamayı tercih ettik. Böylece, WISE ışıkölçümü ve TED analizi ile RV Tau yıldızlarını kızlöte özelliklerine göre üç sınıfa ayırdık; diskli kaynaklar, kızlöte ışınım artışı göstermeyenler ve belirsizler.

2.1 Diskli Sistemler ve Çift Sistemler

Gökadamızdaki RV Tau yıldızları ve karşılaştırma grubu yıldızları arasında çift oldukları ispatlanmış yıldızların hepsinin diskli yıldızlar olduklarını tespit ettik (Şekil 3 üst panel). Dolayısıyla uzun zamandır bilinen diskli olma ve çift olma durumu arasındaki ilişkiyi bir kez daha göstermiş olduk. Ayrıca, RV Tau fotometrik sınıfı olan RVa ve RVb yıldızlarının WISE renk-renk diyagramında dağılımlarını inceledik (Şekil 3 alt panel). RVb sınıfı yıldızlar zonklama dönemlerinin yanında, zonklama dönemlerinden daha uzun dönemli değişimler de göstermektedirler. Van Winckel et al. (1999) RVb olgusunu şöyle açıklamaktadır: çift sistem etrafında disk (circumbinary dusty disc) olduğunu varsayarsak, diske bakış



Şekil 3. Üst panel: 60 post-AGB yıldızı ve Gökadamızdaki RV Tau yıldızları için WISE renk-renk diyagramı. Bu diyagram üzerinde bugüne kadar çift oldukları kanıtlanmış olan 17 post-AGB yıldızı mavi dairelerle, 7 RV Tau yıldızı mavi dörtgenlerle temsil edilmiştir. Alt panel: RV Tau yıldızları için WISE renk-renk diyagramı. Bu diyagram üzerinde RVa ve RVb türü yıldızların dağılımı gösterilmiştir.

Şekil 4. Üst panel: 60 post-AGB yıldızı için WISE renk-renk diyagramı. Bu diyagram üzerinde farklı derecelerde tükenmişlik gösteren yıldızlar farklı renklerle temsil edilmiştir. Alt panel: 146 RV Tau yıldızı için WISE renk-renk diyagramı üzerinde farklı derecelerde tükenmişlik gösteren yıldızlar farklı renklerle gösterilmiştir.

açımız fotometrik sınıfı belirler. Eğer sisteme büyük bir eğim açısı altında bakıyorsak yörünge hareketi sırasında sistem etrafındaki tozlu diskin değişen soğurması (circumstellar extinction) yüzünden uzun dönemli değişim görüyoruz olabiliriz. Bu varsayım altında uzun dönemli bu değişim aynı zamanda yörünge dönemi olacaktır. Sisteme kutuplarından bakıyorsak bakış açısı doğrultusunda hiçbir soğurma göremeyeceğimizden uzun dönemli bir değişim görmeyeceğiz. WISE renk-renk diyagramında RVa ve RVb yıldızlarının dağılımlarına baktığımızda RVb yıldızlarının hepsinin disk bölgesinde toplandığı görülmektedir. RVa ve RVb yıldızlarının hepsi büyük ihtimalle çift sistemler olabilirler ancak bugüne kadar RVa yıldızlarından iki tanesi (AC Her, RU Cen) ve RVb yıldızlarından da iki tanesi (U Mon, SX Cen) için yörünge parametreleri tespit edilmiştir. Hem RVa hem de RVb yıldızlarının çift olup olmadıklarını test etmek için daha fazla dikine hız gözlemlerine ihtiyaç vardır. Böylelikle çift olma durumunun RV Tau yıldızlarında yaygın bir durum olabileceği söylenebilir.

2.2 Diskli Sistemler ve Tükenmiş Sistemler

RV Tau yıldızlarının post-AGB evresindeki zonklayan yıldız olduklarını kabul edersek bu yıldızların karbon ve yavaş nötron yakalama işlemleriyle (y -işlem) üretilen elementlerce zengin olmalarını bekleriz. Düşük ve orta kütleli yıldızlar için Asimtotik Dev Kolu (AGB) evresi en zengin nükleosentezin gerçekleştiği evredir. Bu evrede C, N ve y -işlem süreciyle Fe'e kadar pek çok element üretilir. Üretilen bu elementler tırmıklama ve karıştırma süreçleriyle yıldız yüzeyine taşınır. Gökadamızdaki RV Tau yıldızlarının kimyasal bollukları literatürde geniş ölçüde çalışılmıştır (Giridhar et al. 1994, 1998, 2000; Gonzalez et al. 1997b,a; Van Winckel et al. 1998; Maas et al. 2002, 2005; Deroo et al. 2005). Bu çalışmalar göstermiştir ki beklenen aksine gökadamızdaki RV Tau yıldızları (V453 Oph dışında, bkz. Deroo et al. (2005)) C ve y -işlem elementlerince zengin değildir. Ayrıca Büyük Macellan Bulutu'nda bulunan RV Tau yıldızlarında da (MACHO 47.2496.8 dışında, bkz. Reyniers et al. (2007)) C ve y -işlem elementlerine rastlanmamıştır (Reyniers & Van Winckel 2007; Reyniers et al. 2007). RV Tau yıldızları beklenen post-AGB bolluklarını göstermezler, onun yerine tükenme (depletion) olarak adlandırılan tuhaf kimya-

sal bolluklar sergilerler. Tükenmiş (depleted) fotosferde yüksek yoğunlaşma sıcaklığına sahip (Fe, Ti, Sc gibi) dayanıklı elementlerin bollukları az, düşük yoğunlaşma sıcaklığına sahip (C, O, S, Zn gibi) uçucu elementlerin bollukları neredeyse Güneş bollukları ile aynı ya da biraz daha büyük değerlerde görülmektedir. Tükenmiş fotosferin en tipik özelliği yüksek $[Zn/Fe]$, $[Zn/Ti]$ ve $[S/Ti]$ oranlarıdır. [Waters et al. \(1992\)](#) tükenmiş fotosferin ancak çift yıldız sistemlerinde, tozun yıldız çevresindeki diskte tuzaklanmasıyla ortaya çıkabileceğini önermiştir. Bu çalışmada amaçlarımızdan birisi de kızılöte ışınım özellikleri ile tükenmişlik arasında bir ilişki olup olmadığını araştırmaktır. $[Zn/Ti]$ ve $[S/Ti]$ oranları tükenmiş atmosfer için iyi birer belirteç oldukları için bu oranları tükenmişlik ölçüğü olarak kullandık ve şöyle bir ölçeklendirme yaptık: $[Zn/Ti]$ ve ya $[S/Ti] > 1.5$ ise kuvvetli tükenmiş (strongly depleted), $1.5 > [Zn/Ti]$ ve ya $[S/Ti] > 0.5$ ise kısmen tükenmiş (mildly depleted), $[Zn/Ti]$ ve ya $[S/Ti] < 0.5$ ise tükenme yok (non-depleted). Şekil 4'de karşılaştırma grubu yıldızları ve RV Tau yıldızları WISE renk-renk diyagramında tükenmişlik derecelerine göre farklı renklerde gösterilmiştir. Hem post-AGB hem de RV Tau yıldızları için tükenmişlik dereceleri ile kızılöte ışınım özellikleri arasındaki ilişkinin karmaşık olduğunu görürüz. Her ikisinde de kuvvetli ve kısmen tükenmiş post-AGB yıldızlarının çoğu disk kutusunda toplanmıştır. Ancak beklendiği gibi bütün disk kaynakları tükenmiş değildir. Hatta çift olduğu kanıtlanmış bazı disk kaynaklarında bile tükenme gözlenmemiştir. Ayrıca hiç kızılöte ışınım artışı göstermeyen tükenmişlik gösteren yıldızlar da bulunmaktadır. Tükenmişlik diskte belli bir zaman ölçeğinde gerçekleşir, dolayısıyla disk çoktan dağılmış olabilir ve biz yıldızın fotosferinde halen tükenmişliğe ilişkin izler görüyor olabiliriz. Böyle bir yıldızla örnek olarak BD+39 4926 verilebilir. Dolayısıyla, yıldızın kızılöte ışınım özelliklerinin sadece yıldızın evrimine bağlı değil aynı zamanda diskin evrimine de bağlı olduğunu sonucuna vardık. Sonuç olarak diskin varlığının tükenmişlik durumu için gerekli bir ön koşul olduğu ancak yeterli olmadığı söylenebilir. Bu çalışmaya ilişkin daha ayrıntılı bilgi [Gezer et al. \(2015\)](#)'de bulunabilir.

Kaynaklar

- Deroo P., Reyniers M., Van Winckel H., Goriely S., Siess L., 2005, [aap](#), 438, 987
- Gezer I., Van Winckel H., Bozkurt Z., De Smedt K., Kamath D., Hillen M., Manick R., 2015, preprint ([arXiv:1507.04175](#))
- Giridhar S., Rao N. K., Lambert D. L., 1994, [apj](#), 437, 476
- Giridhar S., Lambert D. L., Gonzalez G., 1998, [apj](#), 509, 366
- Giridhar S., Lambert D. L., Gonzalez G., 2000, [apj](#), 531, 521
- Gonzalez G., Lambert D. L., Giridhar S., 1997a, [apj](#), 479, 427
- Gonzalez G., Lambert D. L., Giridhar S., 1997b, [apj](#), 481, 452
- Jura M., 1986, [apj](#), 309, 732
- Kukarkin B. V., 1958, in Roman N. G., ed., IAU Symposium Vol. 5, Comparison of the Large-Scale Structure of the Galactic System with that of Other Stellar Systems. p. 49
- Lloyd Evans T., 1985, [mn](#), 217, 493
- Maas T., Van Winckel H., Waelkens C., 2002, [aa](#), 386, 504
- Maas T., Van Winckel H., Lloyd Evans T., 2005, [aa](#), 429, 297
- Preston G. W., Krzeminski W., Smak J., Williams J. A., 1963, [apj](#), 137, 401
- Reyniers M., Van Winckel H., 2007, [aap](#), 463, L1
- Reyniers M., Abia C., Van Winckel H., Lloyd Evans T., Decin L., Eriksson K., Pollard K. R., 2007, [aap](#), 461, 641
- Van Winckel H., Waelkens C., Waters L. B. F. M., Molster F. J., Udry S., Bakker E. J., 1998, [aap](#), 336, L17
- Van Winckel H., Waelkens C., Fernie J. D., Waters L. B. F. M., 1999, [aap](#), 343, 202

Waters L. B. F. M., Trams N. R., Waelkens C., 1992, [aap](#), 262, L37

Wright E. L., Eisenhardt P. R. M., Mainzer A. K., et al. 2010, [aj](#), 140, 1868

Zsoldos E., 1991, Information Bulletin on Variable Stars, 3557, 1

Erişim:

O22-1230: [UAK-2015 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).