

SN2004dj SÜPERNOVASI GÖZLEMLERİ

Yasemin KAÇAR¹, Volkan BAKIŞ¹, Mehmet Emin ÖZEL¹

Özet

Süpernova (SN) patlamaları ani ve çok büyük enerji çıktısı ile kendini gösteren yıldız ölümü süreçleridir. Büyük kütleli yıldızlar, kısa süren yaşamları sonunda kendi kütlelerinin altında ezilmeleri sonucu bir patlama ile enerji üretim evresi yaşamlarına son verirler. Her gökadedada yaklaşık 100 yılda bir sıklıkta meydana gelen bu olayların gözlenmesi özel takip ve dikkat gerektirmektedir.

Bu çalışmada, ÇOMÜ Ulupınar Gözlemevi'nde Ağustos 2004'te gerçekleştirilen bir süpernova gözleminin ayrıntıları verilmektedir. Ülkemizde yapılan ilk optik SN gözlemi olduğu düşünülen SN2004dj patlamasının H-çizgilerine sahip Tip II sınıfı bir olay olduğu ve 11 milyon ışık yılı uzaklıktaki NGC2403 gökadasında olduğu anlaşılmaktadır. Olay, yıldız evrimi, süpernova oluşumu ve süpernova sonrası olaylar hakkındaki bilgilerimiz ışığında, literatür verileri de kullanılarak değerlendirilmektedir. İnternet yardımıyla diğer gözlemlerin de bir araya getirilmesi ile elde edilen ışık eğrisi üzerinde durulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Süpernova, SN2004dj, NGC2403, ÇOMU Ulupınar Gözlemevi

ABSTRACT

Supernovae are very energetic and sudden explosions, at the end of evolution of massive stars. Such stars scatter their evolutionary material into interstellar medium enriching it for new generations of stellar systems. Supernova bursts occur approximately once a hundred years for an average galaxy and it needs special attention for proper observations.

In this presentation, we aim to give observational information about SN2004dj event detected at ÇOMÜ Ulupınar Observatory in August 2004. This is probably the first optical SN observation in Turkey. This SN is a Type-II class and occurred in the 11 million light year away galaxy NGC2403. This event is evaluated by the aid of our data and other information from internet. We obtained the optical light curve and give some preliminary evaluation of data.

Keywords: Supernovae, SN2004dj, NGC2403, ÇOMU Ulupınar Observatory

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Terzioğlu Yerleşkesi, 17100 Çanakkale, Tlf: 286-218 00 18-1819, yaseminkacar@comu.edu.tr, vbakis@physics.comu.edu.tr, Tlf: 286-218 00 18-1768, meozel@comu.edu.tr

1. Giriş

Süpernovalar, ani ve çok büyük bir ışık şiddeti artması ile kendini gösteren yıldız patlamalarıdır ve şiddetli gravitasyonel çökmeler yoluyla sıkı cisimleri (NY, KD) yaratabilecek güçtedirler. Büyük kütleli yıldızların evrimlerinin sonunda meydana gelen bu tür bir yıldız patlaması olayları sırasında, yayınlanan toplam ışımaya gücü bazı hallerde yıldızın içinde bulunduğu gökadamın ışımaya gücü mertebesini ($L \sim 10^{10} L_{\odot}$) bulabilirler. Bir süpernova patlamasında yayınlanan enerjinin yaklaşık 1046-50 erg mertebelerinde olduğu gözlemlere dayanarak hesaplanmaktadır. Süpernovaların mutlak parlaklıkları $MSN \approx -16, -20$ kadire kadar yükselir. Süpernovalar tek yıldızların evriminde görülebileceği gibi ikili sistemlerde de meydana gelirler. Patlama sonrasında büyük miktarlarda, madde yıldızdan büyük hızlarda ($V \sim 1-2 \times 10^4$ km/s) dışarı atılır. Dışarı atılan dış kabuk yıldızlararası ortamı zenginleştirir ve radyo, optik ve x-ışın bölgelerinde uzun bir müddet gözlenebilen süpernova kalıntıları oluştururlar.

1.1 Süpernovaların Sınıflandırılması

Süpernovaların sınıflandırılması, büyük çoğunluğu diğer gökadalarda yapılan gözlemlere dayanır.

Kullanılan en genel SN sınıflandırma sistemi, SN'ların görünen optik tayflarında H çizgilerinin olup olmaması ilkesine dayanır. Spektrumlarında H çizgileri görülenler Tip-II olarak adlandırılırken, H çizgisi görülmeyenler Tip-I olarak adlandırılırlar. Bu genel sınıflandırmanın yanı sıra her iki tür de kendi aralarında alt gruplara ayrılır. Tip-I SN'lar Ia, Ib ve Ic olmak üzere üç alt gruba ayrılırken, Tip-II SN'lar da başlıca IIB, IIP ve IIL alt gruplarına ayrılırlar (genel bilgi için, bakınız <http://en.wikipedia.org/wiki/supernova>).

Tip-I süpernovalarının $\sim 80\%$ 'ni Ia'lar oluşturur. Bunlar, birbirine oldukça benzer ışık eğrilerine sahiptirler. Bunların tayflarında CaII, SiII ve HeI'in soğurma çizgileri görülür. Bunlar ayrıca orta ve yaşlı yıldız topluluklarında (populasyon) meydana gelirler. Tip-II SN'ları ise daha büyük bir farklılıklar gösteren ışık eğrilerine sahiptirler. Parlaklık derecesindeki yayılmalar da Tip-I'den daha geniştir. Yıldızların merkezinde enerji üretiminde en son adım Fe üretimidir. Bu süreç tamamlandığında patlama meydana gelir. Yıldızın çöküşü ile büyük miktarda madde ($3-5 M_{\odot}$) dışarıdaki katmanlarla birlikte dışarı atılır.

Tip II SN'ların tayfında H ve HeI'in soğurma çizgileri görülür. Bunlar genç yıldızlarda meydana gelirler ve NY ya da KD kalıntılara yol açan kızıl dev tekli yıldızların evriminin son bölümünü oluşturur.

Daha detayda bakıldığında SN sınıflaması başka detaylarda içerir:

1.1.1. Tip-I Süpernovalar

Hemen hemen her tür galaksidede gözlenebilen I. Tip süpernovalarda ışık şiddetinin artması daha hızlı ve enerji çıkışı daha yüksektir. Genişleyen dış tabakada çok az H bulunur. Çünkü yıldız H'nini tüketmiştir. Bunlara yaşlı yıldız kümelerinde rastlanmaktadır. Işık eğrilerine ve soğurma spektrumlarına göre Ia, Ib ve Ic olmak üzere üç alt gruba ayrılır.

1.1.1.1. Tip-Ia Süpernovalar

Bu tür olaylarda, maksimum parlaklığın yakınlarında tayflarında H ve He çizgileri görülmemesine karşılık karbonun oksijene yanmasıyla meydana gelen orta kütleli elementlerin çizgileri ile güçlü SiII (615nm) çizgileri gözlenir. Bu kaynaşma (fusion) reaksiyonlarının ana ürünü Co, Fe, Ni gibi demir grubu elementlerdir. Bir Tip-Ia süpernovasında yaklaşık $1 M_{\odot}$ kütleli kadar demir yıldızlararası ortama atılır, yani Tip-Ia'lar ardında demir bakımından oldukça zengin süpernova kalıntıları bırakır.

Diğer tür süpernovaların tersine, Tip Ia'lar çok özel bir türdür. Çünkü bunlar bir yakın çift yıldız sistemi içerisinde yer alan güneş benzeri iki normal yıldızın varlığını gerektiren karmaşık bir mekanizmanın ürünüdür. Farklı kütlelere yani farklı evrim sürelerine sahip iki normal yıldız bir ikili sistem oluşturuyorlarsa, evrim süreci tek yıldızla göre farklı bir biçimde gelişir. Önce yıldızlardan büyük kütleli olanı evrimini hızla tamamlayıp bir beyaz cüce olur. Daha sonra ikinci yıldız kırmızı-dev evresine geçip şişmeye ve dış atmosferini beyaz cüce eşinin üzerine dökmeye başlar. Bu dönüş sırasında BC'nin kütlesi, Chandrasekhar limitini aştığında BC dev bir termonükleer bomba gibi patlayıp tümüyle yok olur. Patlama sırasında ortaya çıkan radyoaktif nikel ve kobaltın kararlı demire bozunmasıyla oluşan ışınım, bu olayların spektrumlarında, karakteristik yarı ömür değerleri (77 gün) ile tanınır. Bu olaylar, bu süpernovaya çok büyük bir parlaklık kazandırır. Dolayısıyla Tip Ia SN'lar çok uzaktaki gökadalardan içinde de rahatlıkla görülebilirler. Ve aynı kütleyle erişince, aynı mekanizmayla patladıkları ve bu nedenle de aşağı yukarı aynı mutlak parlaklığa sahip olduklarından, kozmik uzaklıkların belirlenmesinde Tip Ia SN'lardan yararlanır. En şiddetli ve aşağı yukarı aynı parlaklıkta standart kandiller sayılan süpernovalar oldukları için milyarlarca ışık yılı uzaklıktan bile görülebilirler ve bu nedenle de uzak gökadalardan mesafelerinin belirlenmesinde kullanılırlar. Mutlak parlaklık dereceleri aynı olduklarından ($M \sim -20$ kadir), ışıklarının görece parlak ya da soluk oluşu, olayın bize yakın yada uzakta olduğunu gösterir. (Tip Ia SN'lar için alternatif bir oluşum yolu da, birbiri çevresinde dolanan iki BC'nin kütleçekim enerjisi kaybederek birbirlerine giderek yaklaşmaları ve sonunda birleşerek Chandrasekhar limitini aşmalarıdır.)

Bu gruptaki süpernovalar eliptik gökadalardan yaşlı yıldızları arasında, etkin gökada çekirdeklerinde (AGN), eliptik (E), eliptik-spiral (SO), düzensiz (Ir) ve açık sarmal gökadalarda (Sc) gözlenir ve bileşenlerinden en az biri BC olan çift yıldız sistemlerinde meydana gelir, bu nedenle, parlaklıklarında hep aynı mutlak parlaklığa ulaşırlar. Çok şiddetli olan bu süpernova patlamalarında uzaya $\sim 20\,000$ km/s'lik hızla madde atılır ve bu madde çok az veya hiç hidrojen içermez. Bu da, bu olayların kolayca ayırt edilmesini sağlar.

1.1.1.2. Tip Ia Süpernovaların Oluşumu

Yakın çift yıldız sisteminde bulunan bir BC, zaman içinde eşinden çaldığı madde üzerinde biriktirip ve bu çalıntı gazla artan kütlesi Chandrasekhar limitini aştığında, BC, yoz elektron basıncı yardımıyla bulunduğu konumda daha fazla kararlı olarak kalamaz. Kendi üzerine çöker, yarıçapı azalır, yoğunluğu artar ve dolayısıyla iç sıcaklığı da artar. BC'nin merkez bölgesinde artan sıcaklık nedeniyle, karbon yanması başlar ve yüzeye doğru yayılır. Böylece tüm BC'ye yayılan bir zincirleme ısıl-çekirdek (termonükleer) reaksiyon sonunda patlar ve uzaya saçılır. Büyük ölçüde karbon ve oksijenden oluşan BC'nin kütlesi $1,4 M_{\odot}$ 'ni aştığında karbon çekirdekleri birleşerek daha ağır çekirdekler oluşturmaya başlar ve BC'nin yüzeyine doğru hızla yayılan bu süreç sonunda yıldızın tümü atomlarına ayrılarak uzaya dağılır. Bu sürecin son ürünü, nikel-56 radyoaktif izotopudur, 6 günlük yarılanma ömrü olan nikel-56, daha sonra yine radyoaktif element olan ve 77 günlük bir yarılanma ömrüne sahip olan kobalt-56'ya bozunur. Kobalt da sonunda kararlı bir element olan (ve başka bir elemente bozunmayan) demir-56'ya dönüşür. Evrendeki demirin büyük çoğunluğu da bu süreçle ortaya çıkar. BC'nin bir füzyon bombasına dönüşmesi sonucu yıldız tamamen patlar ve uzaya dağıldığında serbest kalan toplam enerji $\sim 10^{44}$ joule (10^{51} erg) civarındadır. Serbest bırakılan enerjiyle yıldızın mutlak parlaklığı $M = -19$ - -20 kadire kadar çıkabilir. Geriye süpernova kalıntısı olarak kalan dış katmanlarının genişleme hızı ~ 104 km/s'dir.

Gökbilimcilerin açıklamakta zorlandıkları bir bilmece, bir BC'nin nasıl olup ta $1,4 M_{\odot}$ kütlesine erişecek kadar madde toplayabilmesidir. Çünkü eş yıldızdan çalınan H, BC'nin üzerine biraz yığılmaya başlayınca, termonükleer tepkimeler sonunda hemen He çekirdekleri oluşturur. Klasik bir 'nova' patlaması şeklinde açığa çıkan enerji, BC üzerinde oluşmaya

başlayan katmanı, alt katmanlardan da bir miktar alarak, ortadan kaldırır. Bu süreç zaman içinde birçok kez tekrarlandığından, uzun bir süre sonunda BC'lerin kütle kazanmak yerine, kütle kaybetmeleri gerekir. Bu soruna bazı kuramcılar şu çözümü öneriyorlar: Tip Ia SN'lar, 'süper yumuşak x-ışın kaynakları diye tanımlanan özel bir grup ikili yıldız sistemi içinde meydana gelirler. Bu tür ikili sistemlerdeki BC öylesine sıcaktır ki ($5 \times 10^5 - 7 \times 10^5$ K derece), bol miktarda düşük enerjili x-ışını yayarlar. Bir BC böylesine ısındığında, üzerine düşen H'i biriktirip anlık bir nova patlaması şeklinde füzyon tepkimesi gerçekleştirmek yerine, H üzerine değer değmez onu He'a dönüştürür. Bu sürekli tepkime de yıldızın x-ışınları yaymasına ve bu nedenle soğumasına yol açar. BC'nin patlama anındaki içeriği de, üzerine düşen toplam maddenin hangi sürede geldiğine bağlı olarak değişir. Bu senaryo, Tip Ia SN'ların bir başka gizemli özelliğini de açıklar. BC'nin üzerine düşen madde büyük ölçüde H olduğu halde, hemen hemen hiçbir Tip Ia süpernovanın tayfında H çizgilerine rastlanmaz.

1.1.1.3. Tip-Ib ve Tip-Ic Süpernovalar

Tip Ib ve Ic süpernovaları Tip-Ia'dan farklıdır ve büyük kütleli yıldızların evrimlerinin sonunda meydana gelirler. Bu bakımdan Tip-II SN'lara benzerler. Bunları oluşturan yıldızların şiddetli yıldız rüzgarlarına sahip olması ve dış katmanlarını bu rüzgarlar nedeniyle zaten kaybetmiş olması spektrumlarında H çizgilerinin görülmemesi sebebinin açıklar. Bu tip olaylar sadece spiral gökadalarda yıldız oluşum bölgelerinde meydana gelirler. Tip Ib süpernovaların tayflarında H ve Si çizgileri olmamasına karşılık güçlü He çizgileri gözlenir. Tip Ic süpernovalarında ise H ve Si çizgileri gözlenmez, buna karşılık zayıf He çizgileri görülür. Tip Ib süpernovalar H katmanını kaybetmiş ve altındaki zengin He katmanı açığa çıkmış yıldızların patlamaları olarak yorumlanabilir. Tip Ic süpernovaları da, H ve He katmanını kaybetmiş ve altındaki zengin karbon katmanı açığa çıkmış olan yıldızların patlamalarıdır.

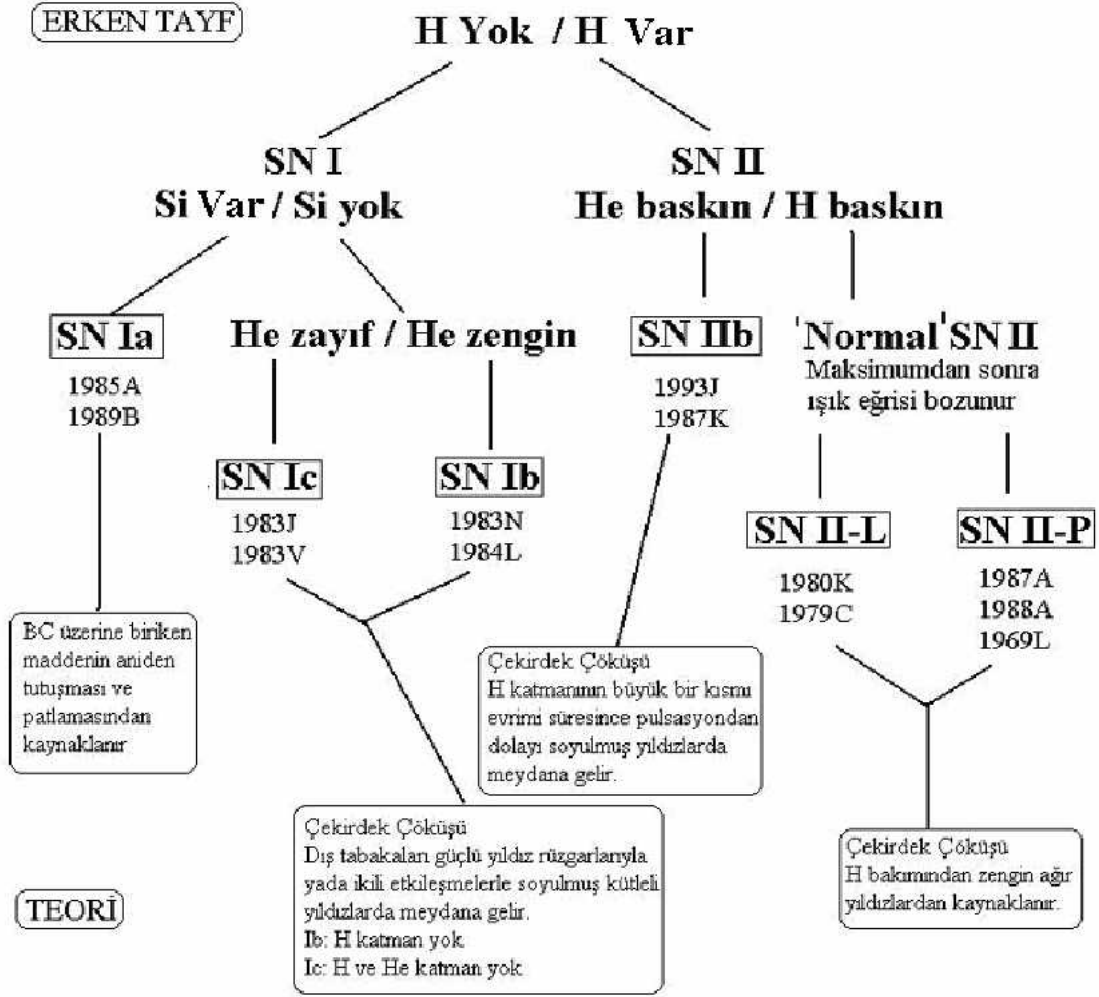
1.1.2 Tip-II Süpernovalar

Yalnızca Sc ve Sb tipi gökadalarda sarmal kolları arasında Topluluk I (genç) yıldızlarında meydana gelen bu tür süpernovalar, ışık eğrilerinin şekline ve tayflarındaki ışımaya çizgilerine göre alt gruplara ayrılır. Büyük kütleli yıldızların kısa süren yaşamlarının sonunda meydana gelirler ve farklı kütleli yıldızların farklı kimyasal kompozisyonu olacağı için, ışık eğrileri çok farklılıklar gösterirler. Bundan dolayı da çok çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Işık eğrilerinin lineer olması yada bir bölgede düzlük göstermesine göre gruplandırılırken, bunun yanında farklı ışımaya çizgilerinin de gruplandırmaya dahil edilmesi durumu karmaşıktır. Çoğu II. Türden süpernova geniş bantlı ışımaya çizgileri gösterirken, bazı süpernovalar, dış katmanlarının etkileşimi sonucu, görece olarak daha dar ışımaya çizgi özelliği gösterebilir. Bu dar (narrow) çizgi özelliği gösteren süpernovalar SN II'n olarak adlandırılır. Diğer bir süpernova türü olan SN IIB'nin özelliği ise, erken tayfında H çizgileri gösterirken ilerleyen zamanlarda güçlü He çizgileri görülmesidir. IIB olarak adlandırılmasının nedeni, Ib türü süpernovaların da göze çarpan özelliği olan güçlü He çizgilerine sahip olması benzerliğine dayanır. Maksimum parlaklıktan sonra bir süre bir düzlük (plateau) ile devam eden ışık eğrisine sahip olanlar SN II-P olarak adlandırılırken, ışık eğrisi lineer yada üstel devam edenler de SN II-L olarak adlandırılır. II-P ve II-L süpernovalarının zarflarındaki H miktarları farklı olabilirler. Tip-I süpernovalarının enerji kaynağı nükleer füzyon reaksiyonları iken, Tip-II süpernovalarının enerji kaynağı serbest kalan gravitasyonel kuvvettir.

1.1.2.1 Tip-II-P Süpernovalar

II-P'nin ışık eğrisinde, patlamadan 1-3 hafta sonra radyoaktif ^{56}Ni ($t_{1/2} = 6.1$ gün)'in bozunmasından dolayı bir düzlük gösterir. Aynı zamanda ^{57}Co ($t_{1/2} = 271$ gün), ^{22}Na ($t_{1/2} = 2.6$ yıl) ve ^{44}Ti ($t_{1/2} = 44$ yıl) radyoaktif bozunmalar da görülür. II-P'ler serbest kalan

enerjiyi yakalayıp düşük enerjili (~1-10MeV) gamma ışınlarında yavaşça bırakan geniş bir hidrojen katmana sahiptir.



Şekil 1 Süpernovaların sınıflandırılmasında kullanılan bazı temel kriterlerin ve örnek olayların sematik gösterimi. (<http://rsd-www.nrl.navy.mil/7212/montes/snetax.html>)

1.1.2.2. Tip-II-L Süpernovalar

II-L'nin ışık eğrisi maksimumdan sonra zamana karşı parlaklık değerine doğrusal (lineer), zamana karşı ışığa gücüne (luminosity) göre ise üstel (logaritmik) bir azalma gösterir. Tip II-L'ler, II-P'lere göre daha ince bir hidrojen katmanına sahiptir ve bu katman içeriden gelen enerjiyi yakalayıp gamma ışınlarından görünür bölgeye kadar olan bir aralıkta ışığa şekline dönüştürür.

1.1.2.3. Tip-II Süpernovalarının Oluşumu

Tip II süpernovaları, büyük kütleli bir yıldız mümkün tüm nükleer yakıtını tükettiği zaman meydana gelir. Düşük kütleli yıldızlar çekirdeklerini, hidrojenenden daha ağır elementlerin oluşabilmesi için, yeterli miktarda sıkıştıramazlar. Bununla birlikte, büyük kütleli yıldızlar öyle yüksek sıcaklıklar ve yoğunluklar oluşturabilirler ki, bir önceki sürecin külleri bir sonraki süreç için yakıt olarak kullanılabilir ve daha ağır elementler meydana gelebilir. 10 ile 12 M_{\odot} ve daha büyük kütleli yıldızlar, karbon ve sırasıyla neon, oksijen, silikon ve nihayet demire kadar oluşumları mümkün kılacak yeterli derecede büyük merkez

sıcaklıkları ve yoğunlukları oluşturabilirler. Birçok farklı nükleer reaksiyon meydana gelmesine rağmen, bu reaksiyonlar çok fazla enerji üretmezler. Yıldız süratli bir şekilde sonuna yaklaşır. Hidrojen (ana kol) evresi yaklaşık 12 milyon yılda, helyum evresi ise bunun yaklaşık onda birinde son bulur. Sonra gelen diğer bütün yakıtlar yıldızın ömrünü birkaç bin veya biraz daha fazla yıl devam ettirirler. Silikon, çekirdek çökmeden önceki son büyük yakıtıdır ve bu yanış yaklaşık sadece bir hafta devam eder.

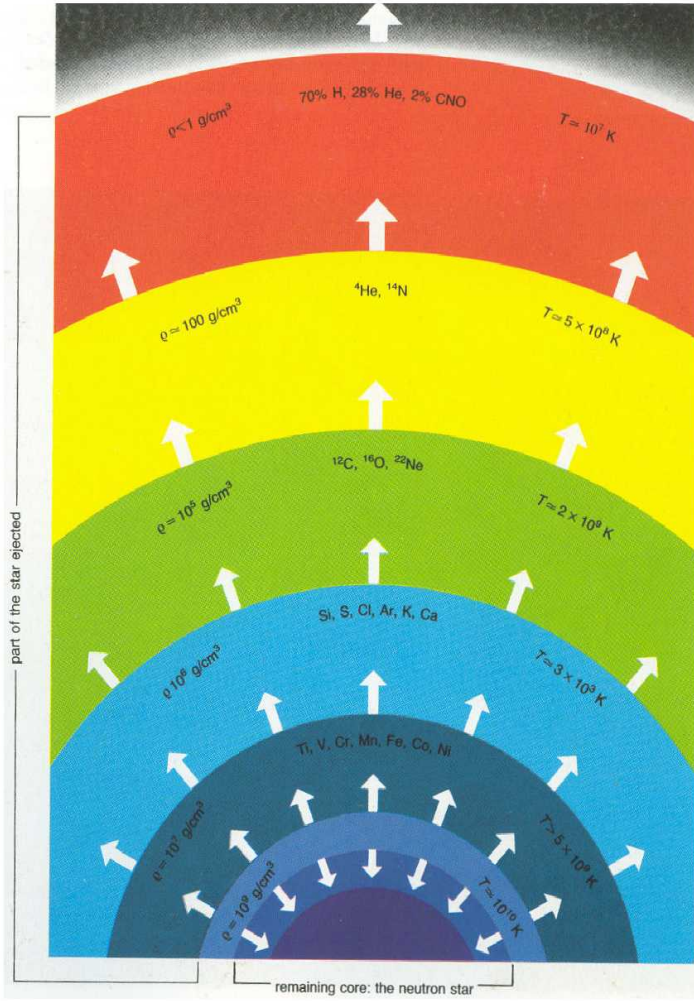
Karbon yanmasının başlamasıyla yıldız, optik ışımdan çok nötrinoların yayınlanmasıyla enerji kaybeder; nötrinolar yıldızın içinden gelen enerjiyi çok süratli olarak uzaklara taşıyarak tüketirler. Zamanla silikon tetiklenerek demire dönüşür ve optik ışımla kaybedilenin yaklaşık milyon katı daha fazla enerji, nötrino yayınlanması ile kaybedilir. Nötrino enerjisi kaybı, yıldızın içinin büzülmesine ve sıcaklığın yükselmesi ile yoğunluğun artmasına neden olur ve nükleer yakıt süratle tükenir.

Demir çekirdeği, bütün çekirdekler içinde en sıkı bağlanma enerjisine sahiptir. Sonuç olarak, demir içeren bir nükleer reaksiyon, ya onu daha hafif çekirdeklere bölerek veya daha ağır bir çekirdek olmak üzere onunla birleşerek, enerji yutar. Demir, enerji üretimi için son adımdır. Çok sıcak ve yoğun yıldız çekirdeği, çevresindeki maddeyi demirle birleşmek üzere hazırlar. Çekirdeğin kendisi enerji üretmemesine rağmen, dejenere elektronların basıncıyla kısa bir süre için beslenir. Bununla birlikte daima etki eden kütle çekimi, hemen basıncı yener ve çekirdeğin büzülüp, daha da sıcak olmasına neden olur. Çekirdek birkaç milyar derece sıcaklığa ulaştığında yüksek enerjili fotonlar (γ -ışınları) demir çekirdekleri ile etkileşir ve onları parçalara ayırır. Elektronlar aynı zamanda çekirdeklerin içine tazyikte bulunur ve onları nötronca zenginleştirir. Bu iki süreç çok büyük miktarda enerjiyi tüketir ve demir çekirdek muazzam bir şekilde çöker. Bir süpernova doğmuştur. 20 Güneş kütleesindeki bir yıldızda, demir kor yaklaşık 1.4 Güneş kütleindedir ve yarıçapı yaklaşık Yer' in yarıçapı kadardır. Ancak, burada durulmaz ve yıldız çöker. Sadece saniyenin birkaç onda birinde bu çekirdek yaklaşık 100 kilometre yarıçapına düşer! Bu sırada çok büyük sayıda nötrino $p + e \rightarrow n + \nu$ reaksiyonu ile üretilir.

Bu çok büyük enerji kaybı çekirdeği soğutur ve böylece süpernova nihai durumuna doğru çökmesini tamamlar ve yaklaşık 10 kilometre yarıçapında bir nötron yıldızı olur. Bu süpernova çökmeleri sürecinin tamamı sadece saniyeler içinde gerçekleştiğinden, modelleme güçtür. Netice olarak birçok durum belirsizdir; örneğin, çekirdeğin dışarıya doğru itilen kısmının kendisini çevreleyen yıldız tahrip etmesi ve kolayca görünen bir süpernova meydana getirmesi tam olarak nasıl olmaktadır? Çekirdekte daima bir nötron yıldız mı meydana gelir, yoksa bazı örneklerde son ürün bir kara delik olabilir mi? Veya bazen, acaba geride bir kalıntının olmaması mümkün müdür? Ne olursa olsun, yıldızın başından geçen bütün bu nükleer yanmanın milyonlarca yıllık yaşam süresinde değil, sadece son birkaç saniye içinde olması ilginçtir.

Tip Ib patlamalarının da çekirdek çökmesi ile oluştuğunu düşünülmektedir, fakat başlangıç kütleleri çok büyük olan bir erken tip yıldızda, bütün dış tabakalardan gelen hidrojen zengin madde, kuvvetli yıldız rüzgarlarıyla uzaklara taşınmaktadır. Geriye sadece yıldızın merkezi kısmı kalır ve yıldızın kalan yakıtı süratle tüketilir. Açıklandığı üzere demir çekirdek hemen çöker. Tip-II patlamalarının aksine, gözlemsel farklılıklardan bir tanesi, fırlatılan maddenin hidrojen içermemesidir.

Tip-II'lerin ardında demirden daha ağır elementleri de içeren yaygın bir süpernova kalıntısı kalır. Buna ek olarak, II. Türden bir süpernovanın merkezinde bir sıkı cisim, yani bir NY veya KD olmalıdır.



Şekil 2 Tip II bir süpernovaya yol açacak olan ağır bir yıldızın merkezinde demirin parçalanması yıldızın dış katmanlarının dağılmasına ve dış katmanların çekirdeğin üzerine çökmesiyle merkezde bir nötron yıldızı oluşturmasına yol açabilir. Bu aşamada yıldız soğan kabuğu gibi katmerli bir yapıya sahiptir (bu, her tür SN'da gözlenen bir yapıdır). Bütün katmanlardaki kimyasal kompozisyon, artan sıcaklık ve yoğunlukla meydana gelen nükleer sentezin bir sonucudur. Her tabaka, burada üretilen elementlerin kimyasal gösterimleri ile izah edilir. Süpernovanın ardından bu elementler yıldızlara arası ortama atılarak ortamın kimyasal kompozisyonunun zenginleşmesini sağlar ve yeni yıldızların doğumu için uygun ortam şartlarının gelişmesine yardımcı olur.

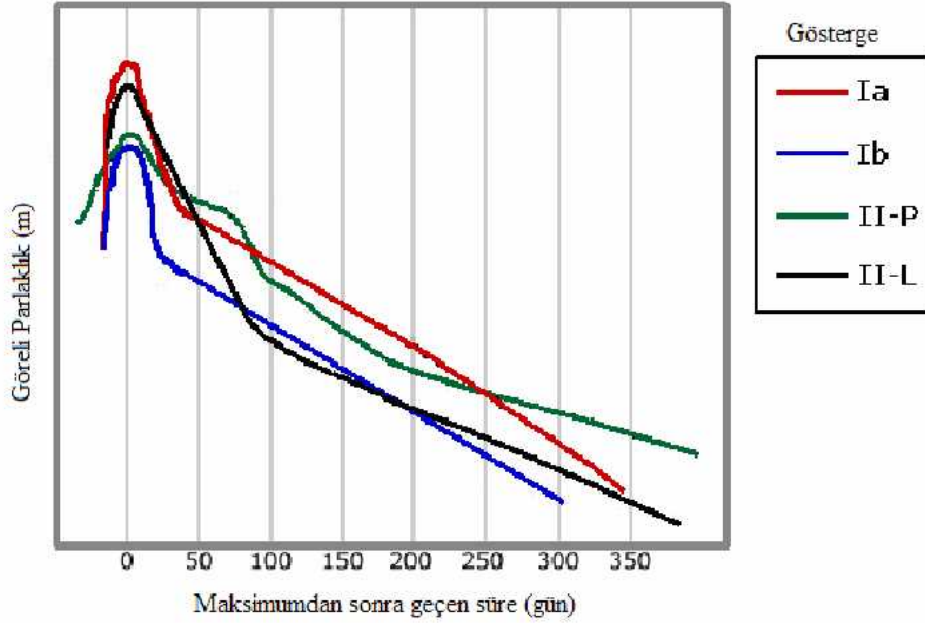
(Audoze ve Israël, 1996)

1.3. Süpernovaların Işık Eğrileri

Süpernovaların farklı türleri, ışık eğrileri bakımından da ayırt edici farklılıklar gösterirler (Şekil 3). I. Tip süpernovalar daha göz alıcıdır, parlaklıkları 20kadir kadar artarak $M = -19$ kadirlik mutlak parlaklığa ulaşabilirler. I. Tür süpernovaların ışık eğrileri oldukça karakteristiktir. Patlayan yıldızın ışığı ilk günlerde hızla artar ve daha sonra da azalır. Bunu takip eden uzun süreli, üstel bir biçimde sabit bir hızla azalma evresi gelir. Bu dönemde parlaklık azalması

$$L_t = L_{\odot} e^{-t/\tau} \quad (\tau \sim 60 \text{ gün}) \quad (1)$$

ile ifade edilebilir. Burada τ , SN'nın içerdiği radyoaktif elemente göre değişen bir yarı ömür değeridir. II. Tip süpernovaların parlaklık artışı biraz daha yavaş, fakat bunu koruma süreleri daha uzundur. Zamana göre parlaklık değişimi düzenli olmadığı için maksimumdan sonrasını, tek bir matematiksel olarak ifade etmek zor olabilir. II. Tür SN'lar büyük kütleli yıldızların evrimleri sonucunda ve farklı kütlelerde meydana geldikleri için ışık eğrileri oldukça farklı göstermektedir.



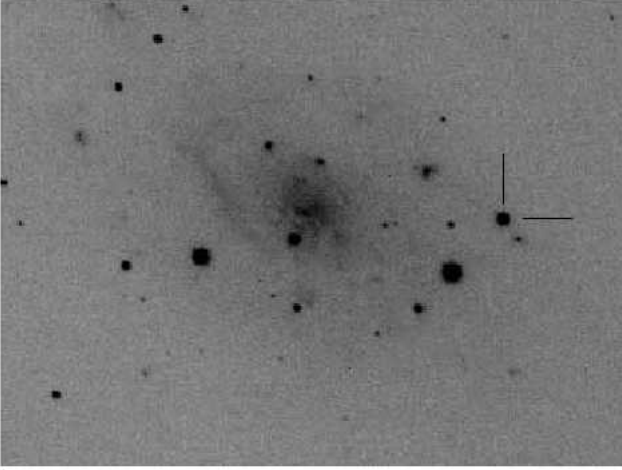
Şekil 3 Şekilde süpernovaların türlerine göre değişiklik gösteren ışık eğrileri

SN2004dj Gözlemleri

ÇAAM olanakları ile bir süpernova gözlemi hedefine bağlı olarak, internetteki SN duyuru siteleri takibe alınmış ve SN2004dj'nin duyulması üzerine 10 Ağustos 2004 gecesi ilk gözlemler yapılmıştır. İlk indirgeme sonunda SN'nın gözlenebilecek kadar parlak olduğu anlaşıl原因arak, gözlemlere devam kararı alınmıştır. Bunu takip eden başarılı bir diğer gözlem 12/08/2004'te yapılmıştır. Daha sonra bu bölge UPG'den gözlenemez duruma gelmiştir.

Gökada'nın NASA'nın Hubble Uzay Teleskopu (HUT)'ndan alınan bir resimde (<http://hubblesite.org/new/2004/23/>), ağır kütleli bir yıldızın patlaması sonucu meydana gelen SN2004dj, Güneş'ten yaklaşık 200 milyon kez daha parlaklığa ulaşmıştır. SN2004dj, Samanyolu (SY)'ndan 11milyon ışık yılı uzaklıktaki NGC 2403 gökadasında meydana gelmiştir.

Bilindiği gibi büyük kütleli yıldızlar Güneş benzeri kütleyle sahip yıldızlardan daha kısa yaşarlar. Bu SN'yı meydana getiren yıldızın kütleli yaklaşık 15 M_{\odot} ve yaşı da yaklaşık olarak sadece 14 milyon yıl olduğu tahmin ediliyor. SN2004dj aslında son 50 yılda NGC2403 gökadasındaki üçüncü süpernova olmaktadır. Bu gökadamda yoğun yıldız kümelerinin çok sayıda olması, gözlenen yüksek süpernova oranını açıklamaktadır.



Şekil 4. SN2004dj'nin ilk kez Japon amatör astronom Koichi Itagaki tarafından 31 Temmuz 2004 tarihinde keşfedildiği görüntü.

(<http://www.rochesterastronomy.org/sn2004/n2403s1.jpg>)

1.4.1. SN2004dj Süpernovası

İlk kez 31 Temmuz 2004'de Koichi Itagaki tarafından keşfedilen (Şekil 4) SN2004dj olayı, NGC2403 gökadası içinde bulunan Sandage96 adlı yoğun yıldız kümesinde meydana gelmiştir. İlk keşfinden sonra yapılan ek gözlemler, olayın hidrojen bakımından zengin ağır kütleli bir yıldızın patlamasına işaret eden II. Tür'den bir süpernova olduğunu gösterdi. Yıldızın demir içeren merkezinin birden çökmesiyle gelişen olaylar sonucu muhtemelen geriye oldukça yoğun bir cisim olan bir NY kalmış olmalıdır. Bu NY ışınma geometrisi uygunsa yakında bir pulsar olarak gözlenebilir. Patlama anında büyük miktarda nötrino (ν) ışınması da gerçekleşmiş olmalıdır. Ancak mesafenin büyüklüğü nedeni ile, SN1987A'dakine benzer bir ν -kayı beklenmemelidir.

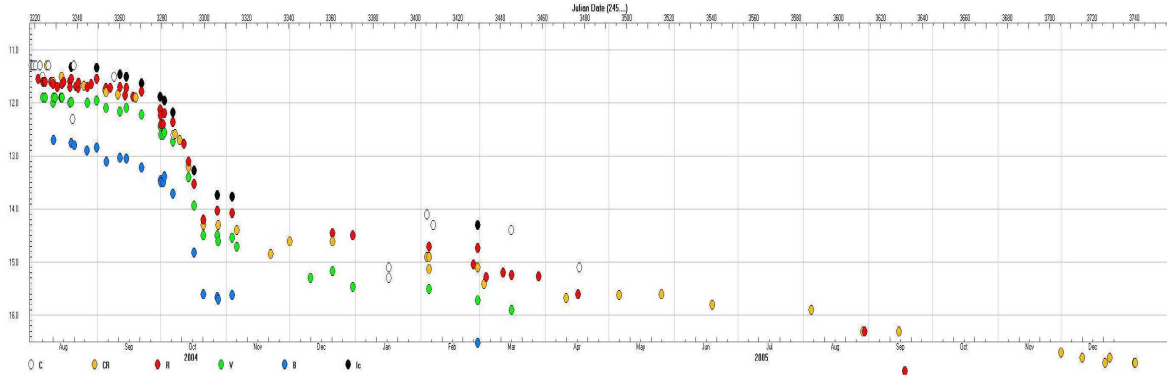
SN patlamaları ile bir yıldızda üretilen ağır elementler uzaya atılmış olmaktadır. II. Tür patlamalar ortama yeni kuşak yıldızlar ve gezegenler için O, C, Fe gibi ağır elementleri ve materyalleri sağlar.



Şekil 5. NGC2403'ün ve SN2004dj'nin Hubble Uzay Teleskopu (HST) tarafından alınmış bir görüntüsü. Gökada merkezindeki pembemsi bölgeler yeni yıldızların oluşum bölgeleridir. Sıcak, genç yıldızlar mavi, daha yaşlı yıldızlar ve yoğun toz tabakaları kırmızı ve gökada merkezindeki yaşlı yıldızlar sarı renkle gösterilmektedir.

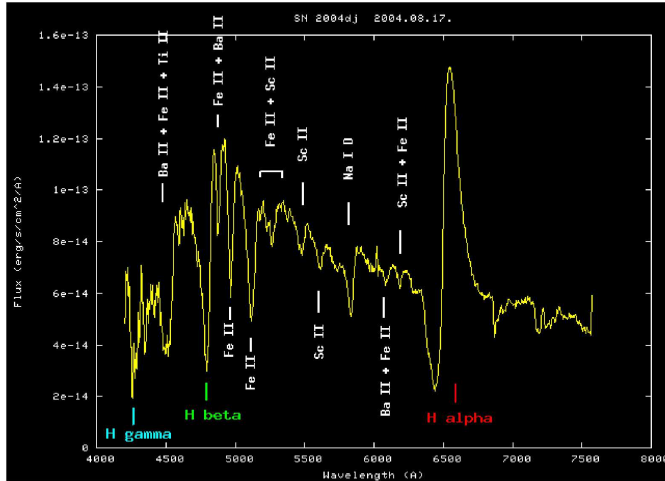
Şekil 5'te verilen HST görüntüsü SN'nın keşfinden 2 hafta sonra 17 Ağustos'ta alınmıştır. Bu renkli görüntü HST'nin Geniş Alan Kamerası (WFC) ile çeşitli filtrelerde alınan görüntülerin birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Görüntüdeki renkli bölgeler gökadamın

önemli özelliklerini vurgulamaktadır. Sıcak, genç yıldızlar mavi, gökadanın merkezinin yakınlarındaki daha yaşlı yıldızlar ve yoğun toz tabakaları kırmızı ve gökada merkezindeki yaşlı yıldızların yoğun konsantrasyonu sarı renkle gösterilmektedir. NGC2403'ün merkezinin etrafına serpilen pembe bölgeler yeni yıldız doğum bölgeleridir.



Şekil 6 SN2004dj'nin internetten elde edilen, yeryüzündeki diğer gözlemlerinin yapmış olduğu gözlemlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan ışık eğrisi görülmektedir. Işık eğrisinin karakteristiğinden SN2004dj'nin II P türünden bir olay olduğu anlaşılmaktadır. II p sınıfına özgü maksimum parlaklıktan sonra gelen 'düzlük' (plateau) rahatça görülmektedir.

SN ışık eğrisinin elde edilmesinin yanı sıra bu SN'nin başka gözlemlerince yapılan tayfsal gözlemleri incelenmiş ve süpernovalar hakkında verilen teorik bilgilerin denetlenmesi yapılmıştır. SN2004dj'nin bir tayfında (Şekil 7) görülen H çizgilerinden, olayın II. Tip bir SN olduğu anlaşılmaktadır. Meydana geldiği tarihten bu yana ölçülen parlaklık değerleriyle oluşturulan ışık eğrisine bakıldığında da, bunun Tip II-P sınıfına girdiği söylenebilir.



Şekil 7. SN2004dj'nin spektrumunda H_{α} , H_{β} , H_{γ} çizgileri açıkça görülmektedir. Fe, Ba, Na, Sc, Ti diğer belirlenebilmiş çizgilerdir.

(http://astro.u-szeged.hu/~sn/html/2004dj/sn_cal.png)

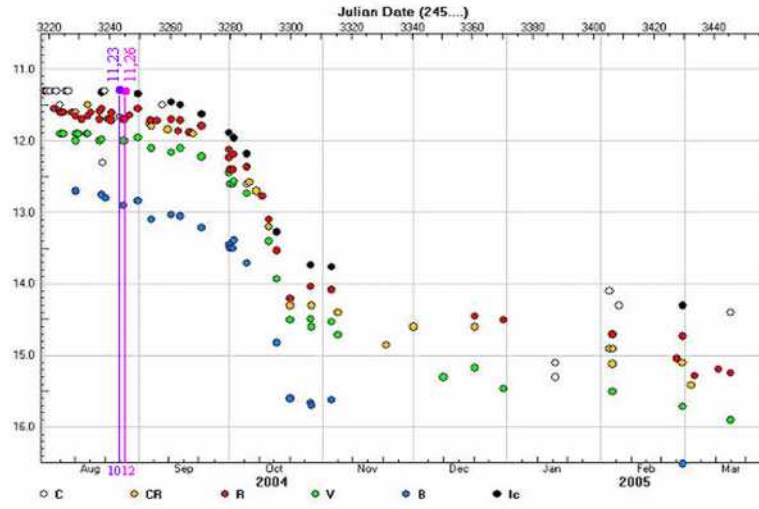
1.4.2. SN2004dj'nin UPG Gözlemleri

Burada analizi yapılan gözlemler, Ağustos 2004 başlarında UPG'de 30cm'lik Schmidt-Cassegrain sınıfı Maade marka teleskopa takılı SBIG-ST237 model CCD kamera ile gerçekleştirilmiştir. Gözlemler esnasında, astronomide yaygın olarak kullanılan bilgisayar yazılımları (MaxImDL, CCDobs) ve bilgisayar hafızasındaki yıldız kataloglarından yararlanılmıştır.

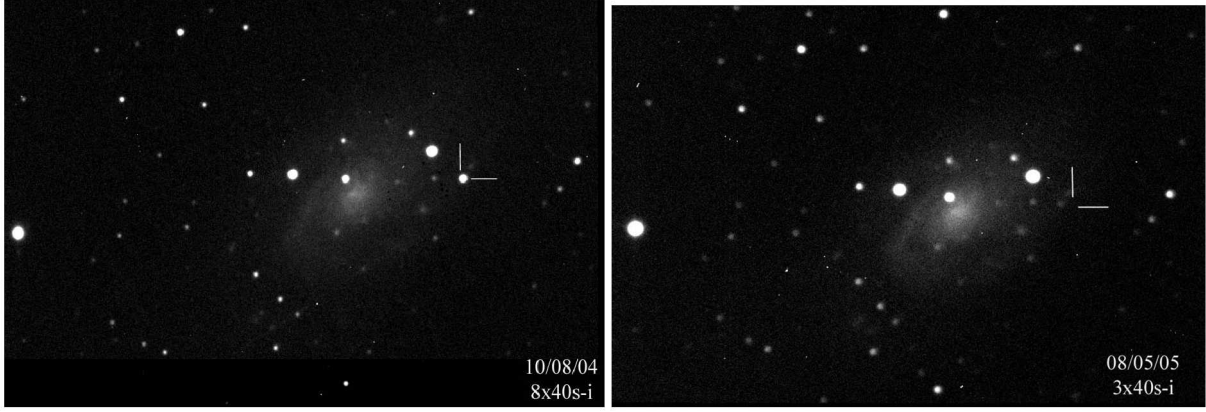
SN2004dj gözlemleri, 10 ve 12 Ağustos 2004 tarihlerinde, UPG'de mevcut I filtresi kullanılarak ve 40s ila 30s poz süresi verilerek gerçekleştirilmiştir. Yapılan gözlemlerde,

SN'nın içinde olduğu NGC2403 gökadası da rahatlıkla görülebilmektedir. Gözlemler sırasında, SN bölgesi 8 adet 40s ve 15 adet 30s süreli pozlar verilerek görüntülenmiştir. Bu görüntüler MaxImDL programı ile indergenmiş ve SN'nın parlaklığı 10 Ağustos gecesi için 11.23 kadir ve 12 Ağustos gecesi için 11.26 kadir olarak ölçülmüştür. Bu ölçümede, teleskop resim alanında parlaklığı bilinen yıldızlarla karşılaştırma yolu kullanılmıştır. Elde edilen bu parlaklık değerleri internetten elde edilen, yeryüzünde çeşitli yerlerde konumlanmış rasathaneler tarafından ölçülen parlaklık değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucu UPG'de bu SN'ya ait elde edilen bulguların farklı gözlemlerinde elde edilen değerlerle uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 8).

Bölgenin ufka oldukça yakın olması nedeniyle SN2004dj gözlemlerimiz başlangıçtan 2 gün sonra sona ermiş, fakat konumu uygun olan rasathanelerin yaptıkları gözlemler internette takibe alınarak SN2004dj verileri biriktirmeye başlanmıştır. İlk gözlemlerden 9 ay kadar sonra,(8 haziran 2005) SN2004dj tekrar UPG ufkuna girmiş ve yeni ölçümler yapılmıştır. Alınan görüntüde SN2004dj hala görünüyor. O dönemdeki parlaklığı yaklaşık $m=15.9$ kadir dir.



Şekil 8 Grafikte SN 2004dj olayının UPG'de ölçülen parlaklıklarının internetten elde edilen, çeşitli gözlemlerinin katkılarıyla oluşturulmuş ışık eğrisinde karşılık geldiği bölüm ve hesapladığımız parlaklık değerleri Ağustos 10-12 2004 tarihlerine karşılık gelen renkli çizgilerle birlikte görülmektedir. Bu değerler Ek-1'de detaylarıyla verilmiştir.



Şekil 9 Soldaki resim ÇAAM’da 10/08/2004 gecesi 40s poz süresiyle alınmış 8 görüntünün üst üste çakıştırılmasıyla elde edilmiştir. Dik çizgiler SN2004dj’yi göstermektedir. Sağdaki resim ise yine ÇAAM’da 08/05/2005 tarihinde (patlamadan 9 ay sonra) alınan 40s’lik 3 görüntünün birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Bu görüntüde SN artık görülemeyecek kadar sönükleşmiş durumdadır.

Elementlerin Yarı Ömür Süreleri ($t_{1/2}$): \pm

$$I_1 / I_2 = 100^{(m_2 - m_1)/5}$$

$$I_1 / (I_1 / 2) = 100^{(m_2 - m_1)/5}$$

$$2 = 100^{(m_2 - m_1)/5}$$

$$\text{Log}2 = [(m_2 - m_1)/5] \cdot \text{log}100$$

$$0.30 = [(m_2 - m_1)/5] \cdot 2$$

$$5(0.30)/2 = m_2 - m_1$$

$$1.5/2 = 0.75 = m_2 - m_1$$

Sonuçlar

ÇOMÜ ÇAAM olanakları ile UPG’de yaptığımız bu ilk SN gözlemi sonunda, internet olanakları da kullanılarak

- (1) ışımaya eğrisinin maksimumunda yaptığımız gözlemlerin diğer gözlemleri parlaklık değerleri ile uyumlu olduğu
- (2) H çizgileri gözlenmesi nedeniyle Tip II türü bir SN ile karşı karşıya olduğumuzu
- (3) 9 ± 2 günlük hızlı düşüşün Ni56 temelli yarı ömür hesaplarını hatırlattığı,
- Platonun varlığı nedeniyle SN2004dj’nin Tip II-P türü bir olay olduğu
- (4) II. Tip süpernovalarda patlamadan sonra ($>1-2$ yıl) genellikle bir PULSAR gözlenmesi bekleniyor. Ancak uzaklık ve nötron yıldızının ışımaya geometrisi gibi nedenlerle, gözlenebilme olanaklarının kısıtlandığı, biliniyor. Zaman olarak ta bu konuda karar vermek için henüz erken olduğu, radyo astronomik gözlemlerin bu cisim

üzerine yoğunlaşmasının beklenen pulsarın ışıma gücü hakkında değerli bilgiler vereceği yapılabilecek öngörüler arasındadır.

Öneriler

- Bu tür kısa-zaman astronomisi çalışmalarında, özellikle gökyüzünün çeşitli bölgelerini giderek daha yakından tanımak, karşılaştırma yıldızlarını doğru şekilde seçmek ve bilinmeyen ‘yıldızın’ (süpernova’nın) parlaklığını hızla belirlemek gereklidir. Bu yoldaki deneyim birikimimiz, ileride ortaya çıkabilecek yeni süpernova, gama ışın patlamaları ardıl ışınmaları ve diğer geçici ve kısa süreli olayları takipte önemli bir avantaj sağlayacaktır. Bu türden çalışmaların diğer gözlemcilerimizde de başlaması ve desteklenmesi beklenmelidir
- Çanakkale Ulupınar Gözlemevinde (UPG) yeni çalışmalarına başlayan kısa zaman astronomisi grubu, çalışma konularını genişletmek ve uluslararası işbirliği olanaklarını değerlendirmek ve UPG’nin çıktı verimini arttırmak için çalışmalarını aralıksız sürdürmektedir.

Kaynaklar

- [1] Kaçar, Y. 2004, ‘Süpernovalar, Özellikleri ve SN2004dj Örneği’, Yüksek Lisans Tezi, ÇOMU Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] Pasachoff, J. M., 1995, ‘Astronomy From The Earth to The Universe’, Cambridge University Pres, Fourth Edition, s-418-488.
- [3] <http://www.rochesterastronomy.org/sn2004/sn2004dj.html>
- [4] http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/science/know_12/supernovae.html
- [5] <http://rsd-www.nrl.navy.mil/7212/montes7snetax.html>
- [6] <http://scienceworld.wolfram.com/astronomy/topics/Novaeandsupernovae.htm>

