

Galaktik Novalar için Yeni Bir Sınıflama Metodu

Hasan H. ESENOĞLU¹, M. Türker ÖZKAN², A. BIANCHINI³

¹İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

²İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Araştırma ve Uygulama Merkezi

³Dipartimento di Astronomia, Università di Padova, Vicolo dell' Osservatorio 5, 35122 Padova, Italy
e-mail: ozkant@istanbul.edu.tr

ÖZET: Bu çalışma esas olarak maksimumdaki görünen mutlak parlaklık ile iniş oranı arasındaki ilişkiye (MMRD) dayanır. En güvenilir ölçümlere sahip 24 galaktik novaya göre, novaların iki grubu MMRD ilişkisinden bulunmuştur: bunlar “çok hızlı ve hızlı novalar” ile “orta seviyede hızlı ve yavaş novalar” şeklindedir. Gruplar birbirlerinden Eddington luminözitesinden itibaren ayrılırlar.

1. Giriş

Katakлизмik değişen yıldızların bir alt grubu olan novalar, gökyüzünde parlaklığını aniden 10^6 faktörü kadar arttıran yıldızlar olarak tanımlanırlar. Yaklaşık %35'lik bir oranla katakлизмikler değişenler içindeki cüce novalardan sonra gelen en kalabalık sınıfı teşkil ederler (Downes ve ark. 1997). Nova keşfi araştırmalarında bir galaksiyi sadece bir fotoğraf plağına sığdırmak mümkün olduğundan, novalara ilişkin, özellikle istatistik çalışmalar ilk olarak Samanyolu dışındaki diğer galaksilerde bulunan novalar üzerinde yapılmıştır. Örneğin, mutlak parlaklık ve iniş hızı ilişkisi (bundan sonra, “ $M_v - t_3$ ” ilişkisi veya “MMRD” olarak verilecek) özellikle M31 galaksisi ile Büyük ve Küçük Macellan Bulutları'nda keşfedilmiş çok sayıda novalardan bulunmuştur. Ayrıca, diğer galaksilerdeki novalar, büyük galaktik ölçekte (10 Mpc) uzaklıkların tayin edilmesine imkan verir (Jacoby ve ark. 1992). Patlamadan sonra, sakin evreye iniş zamanlarına bakıldığında novadan novaya büyük farklılıkların olduğu görülmüştür. Payne-Gaposckin (1957), bu özelliği kullanarak “nova hız sınıfı” tanımını yapmıştır. Bu tanıma göre, Samanyolu'ndaki ve diğer galaksilerdeki tüm novalar beş ayrı sınıfa ayrılmıştır. Bugün de bu sınıflama yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmamızda da novaların hız sınıflaması temel alınmıştır. Galaksimizdeki novalara ilişkin yeni bir sınıflamanın önerildiği bu çalışma dışında bu konu ile doğrudan ilgili dikkate değer bir çalışma Duerbeck (1981) tarafından yapılmıştır. Duerbeck, galaktik novaların ışık eğrilerini, mutlak parlaklıklarını ve fizik özelliklerini incelemiştir. Bu makalede, 31 galaktik novanın uzaklıkları, mutlak parlaklıkları ve yıldızlararası ortama ait sönmemeleri farklı metodlarla belirlenmiştir. Galaktik novalar için

farklı bir $M_v - t_3$ ilişkisi verilmiştir. Duerbeck, ışık eğrilerinin şekillerini temel alarak novaları iki gruba ayırmıştır. İlk gruptaki novalar ışık eğrilerine göre A, A_o, A_r sembolleri ile gösterilmiştir ve patlamada yayınladıkları luminözite Eddington limitinin üstünde olduğundan “Eddington limitini aşan novalar” şeklinde isimlendirilmiştir. İkinci gruptakiler ise B, C, D ile gösteriliyor ve yine maksimumda yayınladıkları ışım güçlerinden dolayı da “Eddington novalar” olarak adlandırılmıştır. Diğer bir çalışma, Williams ve ark.'nın (1991;1994), patlama sonrasında nova spektrumlarının evrimi ve sınıflamasına ilişkin araştırmasıdır. “Tololo Nova Spektrel Sınıflama Sistemi” olarak ünlenen bu yeni sınıflamada her bir optik spektrum C (Coronal), P (Permitted), A (Auroral) ve N (Nebular) şeklinde içerdikleri özelliklerine göre, 4 evrede ve alt grupları biçiminde kabul edilmiştir. Shara (1981), klasik novalar için $M_B - t_3$ ilişkisinin teorik bir açıklamasını yapmıştır. Buna göre, çok hızlı novalar ağır kütleli beyaz cücelerde meydana gelir ve ışım güçleri bazen süper-Eddington değerine ulaşır. Bu büyük kütleli beyaz cüceler, düşük kütleli zarfları ile termonükleer olayları (TNR=Termonuclear Runaway) meydana getirirler. Hızlı novaların zarfları büyük hızlarla atılmasından dolayı optik parlaklığındaki yükselişi aniden kesilir. Böylece, parlak novalarda optik ışınım hızla azalır. Benzer olarak sönmek novalarda parlaklık azalması ise yavaş olur. Novaların ne zaman patlayacağı belli olmadığından, tam patlama anlarının gözlenmeleri en az bir veya iki gece eksik olabilir. Bu durum, özellikle en parlak novalar için verilen uzaklık bulma formüllerinde büyük hatalara sebep olabilir. Çünkü, bu hızlı novaların görünen parlaklıkları maksimum civarında çabuk değişir.

Bu çalışmada, klasik novaların $H\alpha$ spektrumlarına bakıldığında, bu çizginin şiddeti ve kontinyum akısına göre bir sınıflama yapılabileceği konusu üzerine çalışılmıştır.

2. Nova Sınıflamasına İlişkin Parametrelerin Tanımı

Çalışmamızda, galaktik novalar için ileri sürülen yeni sınıflamanın dayanağı şu olmuştur: novaların bilinen $M_v - t_3$ ilişkisi, “çok hızlı novalar”, “hızlı novalar”, “orta seviyede hızlı novalar” ve “yavaş novalar” şeklindeki (Payne-Gaposckin 1957) her bir hız sınıfı için, ayrı ayrı ele alınmış ve bu sınıflar arasında bir gruplaşma görülmüştür. Dolayısıyla, bu yeni sınıflama MMRD ilişkisine dayandığından, iniş sürelerinin (t_3) ve maksimumdaki mutlak parlaklıkların (M_v) bilinmesi gereklidir. MMRD ilişkisinin güvenilir olması tamamen mutlak parlaklık verilerinin iyi olmasına bağlıdır. Bu yüzden, M_v değerleri en güvenilir yöntem olan “nebular genişleme paralaksı” ile bulunmalıdır (Cohen 1985). Bu yöntemin uygulanabilmesi için de nova zarflarının genişleme hızları (V_{exp}), zarf çapları, maksimum parlaklıklar (m_v) ve yıldızlararası absorpsiyon bilinmelidir.

Bir nova, patlamasıyla birlikte parlaklığında 10-15 kadirlik ani bir artış meydana gelir ve daha sonra zamanla bu parlaklık artışı azalır ve nova patlamadan önceki parlaklığına ulaşır, yani sakin evreye geçer. İşte parlaklığındaki bu azalma “iniş hızı (t_3 , t_2 veya V_d)” olarak tanımlanır. t_3 ve t_2 sırasıyla patlamadan sonra parlaklığın 3^m ve 2^m azalması için geçen sürelerdir. t_3 ve t_2 iniş süreleri, patlama maksimumundan itibaren novanın ışık eğrisinden gün olarak ölçülür. V_d , iniş hızı parametresi olup, $V_d = 2/t_2$ veya $V_d = 3/t_3$ (kadir/gün) şeklinde tanımlanır. Gerçekte, her üç parametre de novaların fotometrik sınıflandırılmasında kullanılmaktadır.

Cecilia Payne-Gaposchkin (1957) tarafından tanımlanan ve literatürde yaygın olarak kullanılan t_3 , t_2 ve V_d 'ye göre novaların sınıflanması Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. İniş hızı tanımına göre novaların sınıflandırılması.

Hız sınıfı	t_2 (gün)	t_3 (gün)	V_d (m/gün)
Çok hızlı novalar	≤ 10	≤ 15	≥ 0.20
Hızlı novalar	11 – 25	16 – 42	0.18 - 0.08
Orta seviyede Hızlı novalar	26 – 80	43 – 120	0.07 - 0.025
Yavaş novalar	81 – 150	121 – 230	0.024 - 0.013
Çok yavaş novalar	≥ 151	≥ 231	≤ 0.012

Çalışmamızda nebular genişleme paralaksı için genişleme hız değerleri çoğunlukla literatürden alınmıştır. Ayrıca üç novanın, Nova

Aql 1995, V1974 Cyg ve FH Ser'in yapılan tayf gözlemlerinden genişleme hızları da bulunmuştur.

3. Gözlemler ve İndirgemeler

Galaktik novalarda zarflarının ortaya çıkartılabilmesi ve mutlak parlaklıklarının bulunabilmesi için, $H\alpha$ 'daki direkt görüntü (image) gözlemlerinden yararlanır. Bu amaçla, $H\alpha$ 'da ve $H\alpha$ -dışındaki filtrelerle novaların görüntü gözlemleri için CCD ile 1.82 metre açıklıklı Cassegrain teleskop kullanılmıştır. Zarfların genişleme hızlarını belirlemek amacıyla yapılan spektroskopik gözlemler için de yine CCD ile 1.82 ve 1.22 metrelik teleskoplar kullanılmıştır. Görüntü gözlemlerimizin işlenmesi (image processing) ve seeing değerlerinin hesabı IRAF paket programında yapılmıştır; spektrumların indirgenmesinde ise, hem IRAF ve hem de MIDAS programları kullanılmıştır.

3.1. Görüntü ve tayf verileri

Nova zarfının açısal çapını veren görüntü verileri, 1.82 m'lik teleskop (Cassegrain odak, f/9; görüş alanı $6.4^\circ \times 6.4^\circ$) ve buna bağlı CCD kamera ve dar bant filtreleri kullanılarak alınmıştır: $H\alpha$ için 6563 filtresi, $H\alpha$ dışında ise 6185, 6610 ve 6670 filtreleri ve bunların bant genişlikleri de sırasıyla 45.0, 50.0, 57.0 ve 49.0 Å'dur (Claudi ve Cremonese 1993a). Kullanılan kameranın ölçeği 0.3375 "/pixel, buna takılı CCD dedektörü Tektronix TK512M Thick, formatı 512x512 pixel², pixel boyutu 27x27 mikron² ve alınabilecek görüntünün boyutu ise 13.8x13.8 mm² olur, bu da ~3'x3' lık bir alana karşılık gelir. Nova zarfının genişleme hızını belirlemek için optik spektrumlar, özellikle de $H\alpha$ bölgesi 1.82 ve 1.22 m'lik teleskoplar ve CCD dedektörleri ile alınmıştır. Bu iş için büyük teleskopa bağlı Boller ve Chivens spektrografi (B&C) ile çeşitli dispersiyon ve spektrel bölgelerde 150 ve 1200 çizgi/mm şebekeler (grating) kullanılmıştır. Dispersiyon sırasıyla 522 ve 42 Å/mm veya 12 ve 1.0 Å/pixel (23 mikron boyutlu pixele göre) olup 3400-7500 ve 6250-6850 Å spektrel bölgelerini içermektedir (Claudi ve Cremonese 1993b). Ayrıca, bu şebekelere karşılık gelen ayırma güçleri ise sırasıyla 24 ve 1.9 Å'dur. B&C spektrograf sisteminin ölçeği 1.23 "/pixel olup bununla irtibatlı CCD dedektörü ise Thomson TH7882 Thick UV-Coated, formatı 580x388 pixel², pixel boyutu 23x23 mikron² dir. 1.22 m'lik teleskopa (Cassegrain odak, f/16; görüş alanı $3.7^\circ \times 3.7^\circ$) optik prizmalı spektrograf

sabitlenmiştir; bir kamera (Kamera VI) ve CCD dedektörüyle novaların spektrumları alınmıştır. Prizmalı spektrograf ile dispersiyon $H\beta$ 'da $\sim 100 \text{ \AA/mm}$ veya 2.3 \AA/pixel ; $H\gamma$ 'da 65 \AA/mm veya 1.5 \AA/pixel 'dir (Tomov ve Munari 1995). Bu dispersiyonlara karşılık gelen ayırma güçleri de sırasıyla 4.6 ve 3.3 \AA 'dur. Cassegrain odağa konulan bir TK512 CB1-1 CCD dedektörü, formatı $512 \times 562 \text{ pixel}^2$, pixel boyutu $23 \times 23 \text{ mikron}^2$ 'dir. Spektrumların dalgaboyu kalibrasyonu için, 1.82 ve 1.22 m 'lik teleskoplara takılı sırasıyla Demir-Argon (Fe-Ar) ve Demir-Neon (Fe-Ne) lambaları kullanılarak laboratuvar spektrumları alınmıştır. Akı kalibrasyonu için ise Kopff 27, Hiltner 102 ve $BD+40^\circ 40' 32''$ standart yıldızları gözlenmiştir. Ayrıca, novaların görüntü ve spektrumlarının indirgeme işlemlerinde kullanılmak üzere CCD dedektörünün elektronik görüntüsünü içeren bias ile düz alan (flat field dome) verileri de gözlem sırasında alınmıştır.

Novaların zarf yarıçaplarını ve zarfların yıllık genişleme oranlarını belirlemek amacıyla, yedi novanın $H\alpha$ ve diğer filtrelerle alınan direkt görüntü gözlemleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Zarfların genişleme hızlarını (V_{exp}) belirlemek amacıyla yapılan üç adet novanın spektroskopik gözlemlerini içeren bilgiler Çizelge 3'de verilmiştir. Örnek gösterimi için bir görüntü gözlemi Şekil 1'de ve bir spektrum örneği de Şekil 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Zarf yarıçaplarını ve genişleme oranlarını belirlemek üzere yedi novanın CCD ile alınmış görüntü gözlemleri.

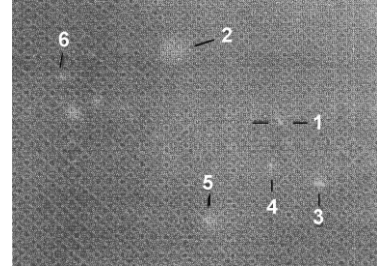
Nova	Tarih	UT	Poz	Yıl ^a	Filtre	Seeing
QU Vul	08.07.1994	01 ^h 46 ^m	2400	9.6	$H\alpha$	2.4
QU Vul	08.07.1994	02 30	600	9.6	6610	3.0
FH Ser	10.07.1994	23 01	2400	24.4	$H\alpha$	2.3
FH Ser	10.07.1994	23 45	600	24.4	6610	3.3
QU Vul	11.07.1994	00 01	2819	9.6	$H\alpha$	2.2
QU Vul	11.07.1994	00 50	600	9.6	6610	3.5
XX Tau	30.01.1995	21 14	180	68	$H\alpha$	2.3
XX Tau	30.01.1995	21 37	1800	68	$H\alpha$	2.3
XX Tau	30.01.1995	22 24	633	68	6185	2.7
QZ Aur	01.02.1995	19 45	120	31.1	$H\alpha$	2.2
QZ Aur	01.02.1995	19 51	3600	31.1	$H\alpha$	2.6
QZ Aur	01.02.1995	20 54	3600	31.1	6185	2.5
N Leo 1612	02.02.1995	01 52	1200	383	$H\alpha$	1.8
N Leo 1612	02.02.1995	02 15	1800	383	6185	1.8
RW UMi	05.03.1995	00 21	3600	39.2	$H\alpha$	3.0
RW UMi	05.03.1995	01 25	1200	39.2	6670	2.8
RW UMi	05.03.1995	01 46	2400	39.2	6670	2.8
V1974 Cyg	05.03.1995	03 30	1368	3.1	$H\alpha$	2.6

^a Novanın patlamasından itibaren gözlemin yapıldığı tarihe kadar geçen zaman.

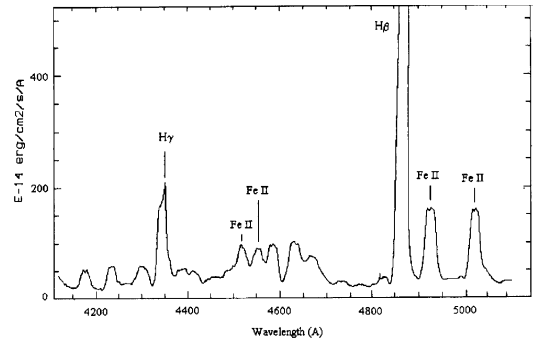
Çizelge 3. Genişleme parametresini belirlemek üzere CCD ile alınan nova spektrumları.

Nova	Tarih	UT (başlangıç)	Poz (s)	Gün ^a	Spektrograf - Şebeke	Spektral Aralık (\AA)	Dispersiyon (\AA/mm)
V1974 Cyg	17.07.1994	00 ^h 50 ^m	900	874	B&C - 150	3400 - 7500	522
FH Ser	16.10.1994	19 41	3600	8979	B&C - 1200	6250 - 6850	42
N Aql 1995	10.02.1995	05 16	60	2	Prizmatik	4100 - 5100	87
N Aql 1995	10.02.1995	05 18	300	2	Prizmatik	4100 - 5100	87
N Aql 1995	15.02.1995	04 54	900	7	Prizmatik	4100 - 5100	87
N Aql 1995	15.02.1995	05 24	300	7	Prizmatik	4100 - 5100	87

^a Novanın patlamasından itibaren gözlemin yapıldığı tarihe kadar geçen zaman.



Şekil 1. RW UMi'nin 15 Mart 1995'de $H\alpha$ filtresi ile 1 saat poz süresi verilerek alınmış bir görüntüsü. 1 numara ile RW UMi gösterilmiştir, diğer numaralar ile işaretli cisimler ise komşu yıldızlardır. Resimde Kuzey yukarıya Doğu ise sol taraftır.



Şekil 2. Nova Aql 1995'in 10 Şubat 1995'de prizmatik spektrograf ile alınmış bir spektrum örneği. Bazı belirgin çizgiler işaretlenmiştir.

3.2. Literatürden toplanan veriler

Her ne kadar, galaktik novaların gruplanmasını ortaya koymak için, en güvenilir metot olan nebular genişleme paralaksı yöntemi için nova gözlemleri yapıldı ise de bu yeterli değildir. Söz konusu teleskoplardan gözlem zamanı almanın kısıtlı olması, hava şartlarının olumsuzluğu ve çalışılan novaların çok sönük cisimler olmalarından dolayı gözlenmelerinin zorluğu gibi nedenlerle gözlenen nova sayısı sınırlı olmuştur. Bu yüzden, yeterince veri ile çalışabilmek için, novaların yine aynı yöntemle bulunmuş bazı parametreleri literatürden alınmıştır.

Galaktik novaların, MMRD ilişkisinde kullanılacak t_3 'lerden sonra diğer önemli parametre, bir novanın patladığında ulaştığı maksimum mutlak parlaklığıdır (M_v). Nebular genişleme paralaksı metodu için kullanılacak nova zarflarının genişleme hızları (V_{exp}), zarfların

açısal yarıçapları ve genişleme oranları, novaların uzaklıkları (d), patlamada ulaşılan maksimum parlaklıklar (m_v), nova doğrultusundaki varsa bulut veya yıldızlararası maddenin absorplama miktarı (A_v) ve maksimumdaki mutlak parlaklıklar (M_v) Çizelge 4’de verilmiştir. Ayrıca, bu parametrelerin alındığı kaynaklar parantez içinde belirtilmiştir. Görüntü gözlemlerinden nova zarflarının tesbiti ve boyutlarının belirlenmesi, çok iyi atmosfer şartlarını gerektirdiğinden zordur. Bu yüzden, zarf çapı ölçülebilmiş nova sayısı son derece azdır. Çizelgede, 2. sütunda verildiği gibi, literatürde sadece 22 novanın zarf çapı bilinmektedir. Bu tez çalışması ile, iki novanın görüntü gözlemleri kullanılarak ölçülen zarf çapları ile birlikte bu sayı 24’e yükselmiştir. Nova zarflarının belirlenmiş bu yarıçaplarını kullanarak “”/yıl” olarak hesaplanan yıllık genişleme oranları da 4. sütunda yer almaktadır. Genişleme oranları, genişleme hızı (V_{exp}) gibi sabit kabul edilir (Cohen 1983) ve dolayısıyla zarf sabit hızla doğrusal olarak genişler. 5. sütunda, $H\alpha$ ’da gözlemi yapılmış ve buradan da sadece “nebular genişleme paralaksı yöntemi” kullanılarak bulunmuş nova uzaklıkları “parsek” biriminde verilmiştir. Esas amaç, en doğru mutlak parlaklık değerlerini hesaplamak olduğundan, bu iş için kullanılacak uzaklığın da mutlaka en güvenilir yöntemle doğru olarak tayin edilmesi gerekir. Bu yüzden, genişleme paralaksı dışında “ $M_v - t_3$ ilişkisi”, “yıldızlararası kızarma ve uzaklık ilişkisi”, “galaksi rotasyonu”, “yıldızlararası çizgilerin şiddeti” gibi çeşitli metotlarla bulunmuş uzaklıklar gözönüne alınmamıştır. Nebular genişleme paralaksı yöntemi ile uzaklık tayinine ait açıklama Bölüm 2.2.’de verilmiştir. 6. sütunda, novaların patlamada ulaştığı maksimum visüel parlaklıklar yer almaktadır. 7. sütunda ise, nova doğrultusundaki varsa bulut veya yıldızlararası maddenin sebep olduğu absorpsiyon (A_v) değerleri verilmiştir. Son sütunda da maksimumdaki mutlak parlaklıklar yer almıştır.

4. Teorik $M_B - t_3$ Bağntısı

Çalışmamızda MMRD ilişkisi, galaktik novaların 4 ayrı sınıfı için elde edilmiştir. Bununla birlikte, sınıfların ikişer ikişer kendi aralarında bir gruplaşması da belirmiştir. Bu gruplaşmanın, Eddington limiti civarında ortaya çıktığı görülmüştür. Bu yüzden, gözlemsel yolla elde edilen gruplaşmada etkin rol oynayan Eddington limitinin ve MMRD ilişkisinin teorik ifadeleri aşağıda verilmiştir.

4.1. Bir novanın bolometrik Eddington luminozitesi

Pogson formülü Güneş biriminde luminozite için yazılırsa,

$$M_{bol,Edd} = -2.5 \log\left(\frac{L_{Edd}}{L_{\odot}}\right) + 4.69 \quad [1]$$

şeklinde olur. Burada L_{Edd} , bir novanın Eddington luminozitesi; $M_{bol,Edd}$, novanın Eddington bolometrik mutlak parlaklığıdır. 4.69 ise, Güneş’in bolometrik mutlak parlaklığı olarak alınmıştır. Bu formülde bilinmeyen $\frac{L_{Edd}}{L_{\odot}}$ değeri Finzi (1973) ve Bath ve Shaviv’den (1976),

$$L_{kritik} = L_{Edd} = \frac{4\pi c G M_{\odot}}{\kappa} \left(\frac{M_{WD}}{M_{\odot}}\right) \quad [2]$$

ile verilir. c , ışık hızı; G , çekim sabiti; M_{WD} , Güneş kütlesi birimindeki beyaz cüce kütlesidir. Materyalin geçirgenliğini veren $\kappa \cong 0.2 (1+X)$ $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ tamamen iyonize olmuş bir gazda elektron saçılmasıyla bulunan bir sabittir (Webbink 1985). X ise, hidrojen bolluğudur. [2] denkleminde sabitler yerine konduğunda ve $X = 0.73$ alınırsa (Allen 1973),

$$L_{Edd} = 1.4 \times 10^{38} \left(\frac{M_{WD}}{M_{\odot}}\right) \text{ erg s}^{-1}$$

bulunur ve bunu [2] denkleminde yerine koyarsak, buradan bir novanın bolometrik Eddington Luminozitesi,

$$M_{bol,Edd} = -6.75 - 2.5 \log\left(\frac{M_{WD}}{M_{\odot}}\right)$$

şeklinde elde edilmiş olur.

4.2. Patlamada bir novanın mutlak parlaklığı

Genel olarak kabul edilen görüşe göre, nova patlamaları, beyaz cücelerin yığışma yüzeyi üzerinde termonükleer olaylarla meydana gelir. Termonükleer modele göre, beyaz cüce yüzeyine hidrojen birikir, yığışmış zarfın alt katmanlarında yoğunluk ve basınç artar ve bu artış, nükleer reaksiyonlar ateşleninceye kadar devam eder. Ayrıntılı hidrodinamik ve yarı-analitik hesaplamalara göre, patlamanın şiddeti büyük oranda yığışmış materyalin alt katmanındaki basınç tarafından belirlenir (MacDonald 1983):

Çizelge 4. t₃ değerleri tespit edilebilmiş galaktik novalar için “genişleme paralaksı” parametrelerinin tam listesi (toplam 24 nova).

Nova	Patlama Hızı V _{exp} (km/s)	Zarf Yarıçapı (")	Genişleme Oranı ("yıl)	Uzaklık ² d (pc)	Max. Parlaklık m _v (max) (kadir)	Absorpsiyon A _v (kadir)	Max.Mutlak Parlaklık M _v (max) (kadir)
V500 Aql	1380 (1)	2.0 (1984;1)	0.05c (1)	5970 (1)	6.5: (1)	3.0±1.5 (1)	-10.35 (1;43)
V603 Aql	1500 (2) 1700 (3) <1600>	0.55 (1918.85;3) 1.43 (1919.61;3) 1.76 (1920.47;3) 2.52 (1921.47;3) 4.1 (1922.55;3) 8.0 (1926.53;3) 8.8 (1927.32;3) 22.5 (1940.5;3) 31 ^d (1950.55;3) 52 ^d (1982.47;3) 54 ^d (1984.57;3)	0.956 (2) 1.09 (3)	330 (3) 376 (2) <345>^{bc}	-1.1 (25) -1.4 (26) <-1.25>	0.2 (5) 0.5 (2;26) <0.35>	-9.3 ^c -9.3 (11) -9.6 (2) <-9.4>
V1229 Aql	575 (1) 750 (4) <662.5>	0.7 (1984;1) 1.59±0.13 (1992.6;4)	0.05c (1) 0.072±0.007 (4)	2220 (4) 2375 (1) <2348>^{bc}	6.5 (1;4) 6.7 (25) <6.6>	1.2±0.5 (1;4) 1.55±0.23 (4) 1.56 (34) 1.6±0.4 (2) <-1.48>	-6.6 (1) -6.7 (4) -6.7 ^c <-6.7>
T Aur	400 (2) 655 (5) <527.5>	9.5 (1981;5) Zarf küresel değil.	0.106 (13;5) 0.117 (2)	700 (2) 830 (19) 1055^c 1310 (5) 1318 (19)	4.1 (27) 4.2 (5) <4.15>	1.05 (35) 1.2±0.5 (1) 1.25±0.25 (2;26) 1.5 (5) <-1.25>	-6.5 ^c (2;19) -7.2 ^c -7.7 ^c (19;5) -7.9 (19;5) <-7.3>
QZ Aur	890 ^{bc}	0.42 (1995.1;14)	0.014 (14)	13900 ^b (14) 3470 ^c	6: (27)	±1.3±0.2 (44)	-8.0 ^c -11.0 (14)
V476 Cyg	725 (3) 790 (5) 1070 ^{bc} 1510 ^c <757.5> (3;5)	1.13 (1944.0;3) 2.8 (1984.64;3) 5.7 (1981;5)	0.093 (19;5) 0.10 (3)	1620 (5) 1500 (3) 1590 (19) 1765 (5) 1778 (19) <1650>	2.0 (5;26)	0.6 (5) 0.85±0.4 (2;26) 0.9 (34) <0.78>	-9.85 (19;5) -9.87 ^c <-9.86>
V1500 Cyg	1180 (1) 1500 (6) 1600 (7) 2000 (8) <1550>	0.032 (1975.8;7) 1 (1979.65;7) 1.7 (1983;1) 2.6: (1981.6c;19) Zarf asimetric.	0.233 (1) 0.25 (7) 0.44: (19)	1215 (1) 1230 (19) 1350 (2) <1265>	1.85 (5) 2.2 (7;27) <2.02>	1.1 (5) 1.2 (1;34) 1.25±0.25 (2;26) 1.4 (7) 1.5 (36) 1.6 (19) 2.07±0.09 (37) <-1.45>	-9.5 (1) -9.94 ^c -9.95 (43) -10 (7) -10.1 (2) -10.2 (19) <-9.95>
V1974 Cyg	1250 (3) 1500±250 (3) 1600±100 (9) ~2080±120 (10)	0.13±0.022 (1993.4;20) 0.38 (1995.2;14)	0.1 (20) 0.123 (14)	2750±170 (14) 3200±500 (20) <2365>^{bc} <2750>	4.2 (25) 4.4 (10;28;29;30) <4.3>	0 (38) 0.34 (28) 0.51 (10) 0.57 (10) ≤0.64 (30) 0.95 (38) 0.99±0.03 (29) <0.57>	-7.0 ^c -8.1 ^c -8.47 ^c (14) -8.5 ^c -8.8 ^c (20) <-8.45>
HR Del	460 (6) 520 (5) 550 (8) <510>	1.8 (1981;5) Zarf küresel değil.	0.133 (19;5)	807 ^{bc} 825 (5) 851 (19) <828>	3.3 (26;27) 3.5 (25) 3.8 (2) 4.6 (1) 4.8 (5) <4>	0.2 (5) 0.3-0.69 (37) 0.45 (39) 0.56 (2;26) 0.92 (40) <0.53>	-5.05 (19;5) -6.1 ^c <-5.6>
DQ Her	<289.4> (11) 315 (5) 320±20 (12) 325 (3) <312.4>	1.75 ^d /1.35 ^c (1940.62;3) 2.0 ^d /1.5 ^c (1942.6;3) 3.8 ^d /3.13 ^c (1951.67;3) 5.2 ^d /4.2 ^c (1956.66;3) 7.8 ^d /6.13 ^c (1967.43;3) 9.2 ^d /7.0 ^c (1977.37;3) 10.5 (1981;5) 10.6 ^d /7.6 ^c (1984.60;3) Zarf eliptik (12)	0.228 (19;5) 0.26 (3) <0.303^d/0.235^c> (11)	200-260 (11) 230 (19) 265 (3) 290 (5) 300 (23) 302 (19) 320 (24) <277> 420±100 (12) 485±50 (24) ~500 (24) <468> <315>	1.3 (25;26) 1.4 (31;27) <1.35>	0.16 (2;26) 0.2 (5) 0.24 (37) 0.3 (24) 0.35 (37) 0.40 (23) <0.28>	-5.2- -5.8 (11) -6.1 ^c -6.2 (19;5) -6.4 ^c -7.3 ^c (12;24) ≈7.3 (24) <-6.5>
V446 Her	1235 (1)	4.5 (1984;1)	0.188c (1)	1390 (1)	2.75 (1)	0.8 (1) 1.7±0.5 (2;26) <1.25>	-8.7 (1) -9.2 ^c <-8.95>
V533 Her	580 (5) 1050 (1) <815> ±235	1.6 (1981;5) 3.5 (1984;1)	0.089 (19;5) 0.167c (1)	1330 (1) 1376 (5) 1412 (19) 1030 ^{bc} (1) 1935 ^{bc} (5) <1415>	3.0 (27) 3.5 (1) <3.25>	0 (35) 0.2 (5) 0.25 (2;26) 0.6 (1) 0.62 (41) <0.33>	-7.14 ^c (1) -7.45 (19;5) -7.7 (1) -7.8 ^c -8.5 ^c (5) <-7.7>
CP Lac	1300 (2) 1600 (5) <1450>	11.25c (1981;2) 11.3 ^f (1981;5)	0.25 (2)	1000±100 (2) 1225 ^{bc} 1340 (19) <1190>	2.1 (25)	0.8 (5) 1.44 (34) 1.5±0.1 (2;26) <1.25>	-9.15 ^c (2) -9.5 ^c -9.6 ^c -9.6 (2) -9.8 ^c (19) <-9.5>
DK Lac	1075 (1)	2.0 (1984;1)	0.059c (1)	3855 (1)	5.0 (1)	1.17 (34) 1.2±0.2 (2;26) 1.4 (1) <1.26>	-9.2 ^c -9.35 (1) <-9.3>

Çizelge 4. (Devamı)

Nova	Patlama Hızı V _{exp} (km/s)	Zarf Yarıçapı (^a)	Genişleme Oranı (^b /yıl)	Uzaklık ^c d (pc)	Max. Parlaklık m _v (max) (kadir)	Absorpsiyon A _v (kadir)	Max.Mutlak Parlaklık M _v (max) (kadir)
BT Mon	800 (5)	3.8 (1981;5)	0.090c (5)	1865 (5)	4.5 (32;27)	0.6 (26;35) 0.63 (2)	-7.5 ^c (5)
GK Per	1200 (3)	5.9 (1917.86;3) 9.75 (1934.75;3) 11.25 (1943.73;3) 11.7 (1949.70;3) 13.9 (1959.96;3) 16.4 (1977.7;3) 18.0 (1984.6;3) 41.5 (1981;5) Zarf küresel değil.	0.519 (19;5) 0.54 (2) 0.65 (3)	390 (3) 470 (19) 487 (5) 490 (19) <460>	0.2 (25;26)	0.3 (5) 0.7±0.15 (2;26;33) <0.5>	-8.55 (19;5) -8.6 ^c -8.9 (11) <-8.7>
RR Pic	400 (2) 475 (5) <437.5>	11.5 (1981;5) Zarf küresel değil.	0.205 (19;5) 0.21 (2)	400 (2) 450 ^b c 457 (19) 480 (19) 490 (5) <455>	1.0 (25) 1.2 (5;26;27) <1.1>	0.03 (37) 0.04 (2;26) 0.2 (5) 0.6 (37) <0.22>	-6.9 (2) -7.3 (19;5) -7.4 ^c <-7.2>
CP Pup	700 (2) 710 (5) 1600 (13)	2.78 (1955;13) 7 (1980.2;21) Zarf küresel (2)	0.183 (19;21) 0.21 (2) 0.214 (13)	835 (5) 851 (19) 1500 (2) 1600 (21) 1710 ^b c <1600>	0.2 (27) 0.4 (5) 0.5 (25) <0.37>	0.24 (21) 0.3 (5) 0.8±0.2 (2;26) 0.81 (35) <0.54>	-9.55 (19;5) -11.05 ^c (2) -11.2 ^c (21) -11.3 ^c -11.5 (2) <-11.3>
FH Ser	425 (14) 560 (15) 700 (8) 1100 (6) <762.5>±337.5	0.985 (1994.6;14) 1.85 (1984.6;15) 2.0 (1981.5;19) 2.65 (1989.66;15)	0.040 (14) 0.128 (15) 0.136 (15) 0.175 (19;5) 0.176 (15)	645 (5) 676 (19) 850±50 (15) 2230 (14) <725>	4.4 (5;15;26) 4.5 (25) <4.45>	1.05 (15) 1.8-2.1 (15) 2.06 (15) 2.22 (34) 2.3 (2;26) 2.4 (37) 2.8 (5) <2.11>	-6.8 ^c (19;5) -7.0 ^c -7.2 (15) -7.3 ^c (15) -7.55 (19;5) -9.4 ^c (14) <-7.2>
XX Tau	650 [?] (1)	1.45 (1995.6;14) 2.2 (1984;1)	0.021 (14) 0.039 ^c (1)	3555 (1) 6490 (14)	6.0 (1)	1.3 (1)	-8.05 (1) -9.36 (14)
RW UMi	950 [?] (1)	1.0 (1984;1) 1.47 (1995.2;14)	0.037 ^c (1) 0.038 (14)	5250 (14) 5470 (1) <5360>	6.0 (27)	0.1 (1)	-7.7 ^c (14) -7.75 ^c -7.8 ^c (1) ≤-7.85 (1) <-7.8>
LV Vul	860 (1)	2.8 (1984;1)	0.175 ^c (1)	1040 (1)	4.5 (1;26) 5.2 (25) <4.85>	1.2 (1;2) 1.65 (34) 1.7 (26) <1.52>	-6.8 (1)
PW Vul	470±60 (16)	0.55 (1993.6;16)	0.12±0.01 (16)	1600±200 (16)	6.3 (33) 6.4 (25;26) <6.35>	1.35 (34) 1.4 (26) 1.5±0.45 (37) <1.49>	-6.2 ^c (16) -6.3±0.3 (16) <-6.25>
QU Vul	1000 (17) 1375 (18) 1380 (17) 1440±100 (18) 1570 (18) ~1700 (18) <1285>±285	0.41 (1994.5;14) Zarf küresel değil (22)	0.043 (14)	6300 ^b c (14)	5.1 (33) 5.5 (18) 5.6 (22;25) 5.7 (17) <5.48>	1.5±0.11 (18) 1.83±0.3 (42;22) 1.86±0.16 (33) <1.73>	-10.25 ^c (14)

^a Sadece "genişleme paralaksı yöntemi" ile bulunan uzaklıklar.

^b $\log (V_{exp}) [\text{km s}^{-1}] = 3.49 (\pm 0.08) - 0.38 (\pm 0.05) \log (t_s) [\text{gün}]$ formülünden hesaplanmıştır (Esenoğlu 1996).

^c $M_v(\text{max}) = -5.332 (\pm 0.415) - 0.003 (\pm 0.0004) V_{exp} [\text{km s}^{-1}]$ formülünden hesaplanmıştır (Esenoğlu 1996).

^d Eliptik zarfın büyük eksen.

^e Eliptik zarfın küçük eksen.

^f Tahmini değer.

^g Ortalaması alınmış genişleme hızına göre bulunan uzaklıklar.

^h Hesaplanan genişleme hızına göre bulunan uzaklıklar.

ⁱ Hesaplanan genişleme hızına ve/veya ortalama uzaklık, maksimumdaki parlaklık ve absorpsiyon değerlerine göre bulunan mutlak parlaklıklar.

^k Uzaklık, M_v(max) değerinden gidilerek hesaplanmıştır.

Not - Tabloda "c" ile gösterilenler hesaplanarak bulunmuş, "< >" ise ortalaması alınmış değerlerdir. "·" işareti kesin olmayan, belirsiz anlamındadır. Parantez içinde verilen kaynaklar ise şu şekildedir: (1) Cohen 1985; (2) Duerbeck 1981; (3) Duerbeck 1987; (4) Della Valle ve Duerbeck 1993; (5) Cohen ve Rosenthal 1983; (6) Seaquist 1989; (7) Becker ve ark. 1980; (8) Hjellming ve ark. 1979; (9) Iijima ve ark. 1995; (10) Rafanelli ve ark. 1995; (11) Baade 1940; (12) Ferland 1980; (13) Bowen 1956; (14) Bu tez çalışması; (15) Duerbeck 1992; (16) Ringwald ve Naylor 1996; (17) Taylor ve ark. 1987; (18) Rosino ve ark. 1992; (19) Lang 1992; (20) Parasce 1994; (21) Williams 1982; (22) Saizar ve Ferland 1994; (23) Patterson 1979; (24) Martin 1989; (25) Downes ve Shara 1993; (26) Warner 1987; (27) Ritter ve Kolb 1993; (28) Harward ve ark. 1992; (29) Chocholl ve ark. 1993; (30) Barger ve ark. 1993; (31) Williams 1994; (32) McLaughlin 1945; (33) Andreã ve ark. 1994; (34) Szkody 1994; (35) Selvelli ve ark. 1990; (36) Ciardullo ve ark. 1990; (37) Friedjung 1989; (38) Della Valle ve Livio 1995; (39) Krautter 1981; (40) Drechsel ve ark. 1977; . (41) Doroshenko ve ark. 1971; (42) Saizar ve ark. 1992; (43) Della Valle 1991; (44) Campbell ve Shafter 1995.

$$P = \frac{GM_{WD}\Delta M_{acc}}{4\pi R_{WD}^4} \quad [3]$$

Burada ΔM_{acc} , beyaz cüce yüzeyine yığılan materyalin kütlesi ve R_{WD} de beyaz cücenin yarıçapıdır. Şiddetli patlamalar bu kritik basıncın $P_{kritik} \sim 2 \times 10^{19}$ dyn cm⁻² değerini aştığında meydana gelir. Bundan dolayı, yüksek yoğunluklardaki dejenere koşullar altında (ki beyaz cüce yüzeyinde bu koşul sağlanır) nükleer reaksiyonlar ateşlenir. Bu şekilde, termonükleer bir olayla patlayan bir novadaki mutlak parlaklığın ifadesi aşağıda gösterilmiştir.

Bilindiği üzere, patlamada bir çok nova bir süper-Eddington fazına geçer ve luminozite -7.1^m 'i aşar, bu değer bir Chandrasekhar kütlesi beyaz cüce için Eddington luminozitesine karşılık gelir (Livio 1994). Nümerik nova modeli hesaplamalarına göre maksimum luminozite,

$$\frac{L^{max}}{L_{\odot}} = \beta(M_{WD}, L_{WD}, B, \dot{M}, X_i) \left(\frac{L_{Edd}}{L_{\odot}} \right) \quad [4]$$

ile verilir. Burada M_{WD} , L_{WD} ve B sırasıyla beyaz cücenin kütlesi, luminozitesi ve yüzey manyetik alan şiddetidir; \dot{M} , kütle yığılma oranı; X_i , yığılan materyalin bolluğu ve L_{Edd} de Eddington luminozitesidir. [4]'deki β , en fazla beyaz cüce kütlelerine hassastır (Livio 1994). Nümerik hesapların sonuçları β ile M_{WD} arasındaki ilişkiyi,

$$\beta(M_{WD}) \cong \left(\frac{M_{WD}}{0.6M_{\odot}} \right)^3 \quad [5]$$

şeklinde yaklaşık olarak verebilmektedir (Livio 1994). Patlamada bir novanın bolometrik mutlak parlaklığı, bu aşamadan sonra [4], [5] ve Pogson formülü ile kolayca çıkarılır. Ayrıca, patlamaya yakın novalar için, uygun bir bolometrik düzeltme de BC = -0.1 alınabilir (A ile erken F spektrel tipleri arasındaki süperdevlere benzer şekilde, Allen 1973). Buna göre,

$$M_B^{max} \cong -8.3 - 10.0 \log \left(\frac{M_{WD}}{M_{\odot}} \right) \quad [6]$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade, bir novanın patlama anındaki bolometrik mutlak parlaklığının beyaz cüce kütleyle nasıl değiştiğini gösterir.

4.3. Bir novanın t_3 - iniş zamanı

t_3 , novalarda genişleme fazını takip eden evrede,

$$L_{Edd} t_3 \cong \xi \frac{GM_{WD}}{R_{WD}} M_e \quad [7]$$

ile kabaca belirlenebilir (Priyalnik 1986; Priyalnik&Kovetz 1992). Burada M_e , patlama ile atılmış kütle (yaklaşık olarak zarf kütlelerine eşit) ve ξ de birimsiz bir sabittir ($\xi=0.7$, Ritter ve ark. 1991). [2] ve [7]'den,

$$t_3 = \xi' \left(\frac{M_e}{R_{WD}} \right) \quad [8]$$

şeklinde iniş zamanı elde edilir. Burada, ξ' yeni bir sabittir. t_3 ifadesinde, bir çok temel parametre yerine zarf kütlelerinin, yani M_e 'nin açıklanması yolu izlenir. İlk olarak, nova atıklarından belirlenen bolluk hesabına göre, nova sistemlerindeki beyaz cüceler aslında üzerlerine yığılmış zarfın tümünü atar. Bu yüzden, kolaylık olması bakımından, beyaz cüce üzerine yığılmış bu zarftan atılan kütle (M_e), Termonükleer Model 'de öngörülen yığılmış kütle (M_{acc}) eşit kabul edilir, yani $M_{acc} \equiv M_e$ alınır (Livio 1994). Termonükleer Model 'deki zarf kütlesi, genellikle beyaz cücenin kütlelerinden (M_{WD}), luminozitesinden (L_{WD}), manyetik alan şiddetinden (B), yığılma oranından (\dot{M}) ve yığılmış materyalin bolluğundan (X) belirlenir (Priyalnik ve ark. 1982; Horne ve Shneider, 1989). Bununla birlikte, biliniyor ki zarf kütlelerinin hesaplanmasında esas faktör, yığılmış zarfın alt katmanlarındaki basınçtır. Öte yandan, beyaz cüce için kütle-yarıçap ilişkisi,

$$R_{WD} = 1.12 \times 10^{-12} R_{\odot} \left[\left(\frac{M_{WD}}{M_{Ch}} \right)^{-2/3} - \left(\frac{M_{WD}}{M_{Ch}} \right)^{2/3} \right]^{1/2} \quad [9]$$

ile verilir (Nauenberg 1972). Burada, M_{Ch} , Chandrasekhar kütlesidir. [3], [8] ve [9] denklemlerinden,

$$t_3 = A \left(\frac{M_{WD}}{M_{Ch}} \right)^{-1} \left[\left(\frac{M_{WD}}{M_{Ch}} \right)^{-2/3} - \left(\frac{M_{WD}}{M_{Ch}} \right)^{2/3} \right]^{3/2} \quad [10]$$

elde edilir. Burada, A , zaman biriminde bir sabittir. Dolayısıyla, t_3 de doğrudan doğruya A 'dan belirlenir. Eğer [10] denkleminin düzenlenmesi için, beyaz cüce kütlesi iyi bilinen V1500 Cyg kullanılırsa, burada novanın iniş süresi $t_3 = 3.6$ gün (Duerbeck 1987), beyaz cüce kütlesi $M_{WD} = 1.28 M_{\odot}$ (Ritter ve ark. 1991; Livio 1994) ve $M_{Ch} = 1.44 M_{\odot}$ alınır, [10] denkleminde $A = 51.3$ gün elde edilir (Livio

1994). Bir sistem için bulunan A değeri (12) de yerine konursa,

$$t_3 = 51.3 \left(\frac{M_{WD}}{M_{Ch}} \right)^{-1} \left[\left(\frac{M_{WD}}{M_{Ch}} \right)^{-2/3} - \left(\frac{M_{WD}}{M_{Ch}} \right)^{2/3} \right]^{3/2} \quad [11]$$

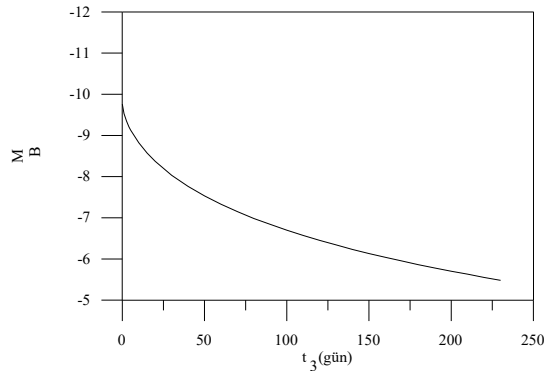
formülü elde edilir. Sonuçta, t_3 ,“gün” biriminde sadece beyaz cüce kütlelerine bağlı olmaktadır. Her ne kadar t_3 , teorik olarak bulunmuş olsa da, [11] ilişkisinde, beyaz cücenin luminozitesinin ve manyetik alanının etkisi ile yığılma oranının etkisi ihmal edilmiştir. [11] ‘in hesaplamalarından görülebileceği gibi, $1.38 M_{\odot}$ kütleli beyaz cüceler için $t_3 \cong 0.14^d$ ve $0.5 - 0.6 M_{\odot}$ kütleli beyaz cüceler için de $t_3 \cong 250^d$ değerlerine kadar ancak ulaşılabilir.

Ayrıca, yukarıda belirtildiği gibi, A değeri, sadece bir tek sistem (ve en sınırdaki bir nova, gerçekten de V1500 Cyg, $t_3 = 3.6^d$ değeriyle, bilinen en hızlı nova) gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Gelecekte, eğer beyaz cüce kütlesi iyi bir şekilde belirlenen nova sistemleri olursa, birden çok sistem kullanılarak, A sabitinin değeri iyileştirilecektir (Livio 1994). Yığılmış materyalin kimyasal bolluğunun etkisinden dolayı farklı galaksilerde A sabitinin olası değeri de farklıdır.

Son olarak, teorik $M_B - t_3$ ilişkisini elde etmek için, [11] denklemindeki t_3 , beyaz cücenin kütlesi yerine mutlak parlaklığı ile ilişkilendirilir. Bunun için, [6] ve [11] denklemlerinden,

$$t_3 = 51.3 \times 10^{\frac{(M_B+9.76)}{10}} \left[10^{\frac{(M_B+9.76)}{15}} - 10^{-\frac{(M_B+9.76)}{15}} \right]^{3/2} \quad [12]$$

iniş süresi bağıntısı “gün” olarak elde edilir (Livio 1994). [12] formülü, sade bir ifade ile şu şekilde de gösterilebilir:



Şekil 3. Maksimumdaki bolometrik mutlak parlaklık ile iniş zamanı arasındaki ilişki.

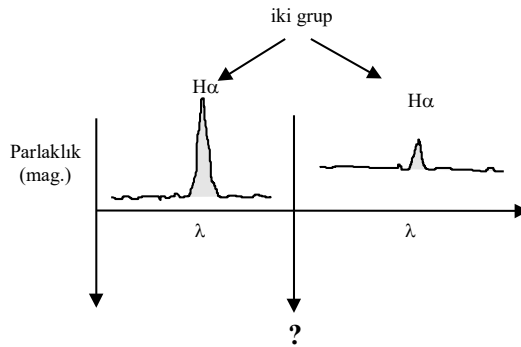
$$M_B(max) = -9.76 + 7.5 \log \left[1 + \left(\frac{t_3}{51.3} \right)^{2/3} \right] \quad [13]$$

[13] bağıntısı, Şekil 3 'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, teori, ancak $t_3 = 0^d$ için $M_B = -9.76^m$ 'e kadar gidebilmektedir; çok daha parlak ($M_B > -9.76^m$) novaların hesabında ise tanımsız olmaktadır.

5. Bulgular

5.1. Yeni bir sınıflama

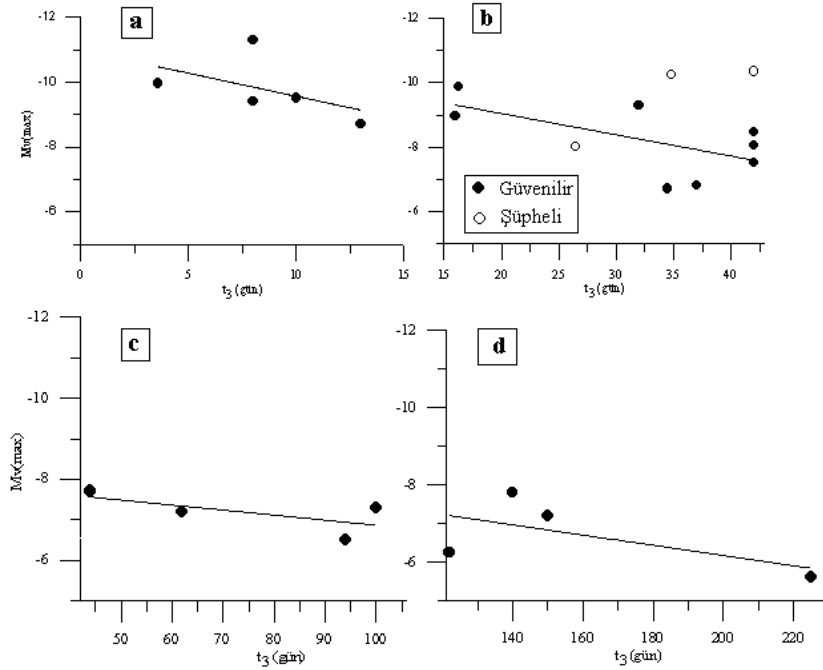
Galaksimizdeki mevcut novaların $H\alpha$ spektrumlarına bakıldığında, bu çizginin şiddeti ve kontinyum akısına göre bir sınıflama yapılabileceği konusu üzerine çalışılmıştır. Bu yüzden, gözlemler $H\alpha$ 'da yapılmıştır veya literatürden sadece $H\alpha$ ile bulunmuş veriler alınmıştır. Kontinyum akısı, doğrudan doğruya novaların luminozitelere veya bir başka deyişle mutlak parlaklıklarına karşılık gelir. Dolayısıyla, burada, önce diğer galaksilerdeki novalar için bulunmuş ve sonra da Samanyolu'ndaki novalar için yapılmaya çalışılmış maksimum mutlak parlaklık ile iniş oranı bağıntısı söz konusu olmaktadır. Şekil 4 'den görülebileceği gibi, novaların parlak veya sönük ya da büyük luminoziteli veya küçük luminoziteli olarak iki gruba ayrılıp ayrılamayacağı gündeme gelmektedir. Shara (1981), $M_B - t_3$ ilişkisinin tüm galaksilerdeki novalar için aynı olduğunu söylemesine karşın, Ciardulla (1990), M31 galaksisindeki novalar için yaptığı $H\alpha$ gözlemlerinden yola çıkarak, bu galaksideki novaların $H\alpha$ 'daki parlaklıkları ile iniş hızları arasında bir ilişkinin olmadığını belirtmiştir. Çalışmamızda, sadece $H\alpha$ 'daki nebular genişleme paralaksı verileri kullanılarak, maksimum mutlak parlaklıklar ve iniş hızları arasında bir ilişki bulunmuştur. Aşağıda açıklanan bu ilişki de galaktik novaları iki gruba ayırmaktadır.



Şekil 4. Bu sınıflama çalışmasına neden başlanıldığının öngörüsünü ifade

Çizelge 5. 24 novanın hız sınıfı tanımına göre t_3 ve $M_v(\max)$ değerleri.

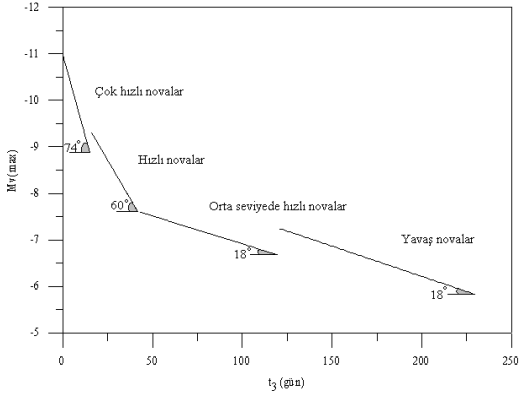
Nova	Çok Hızlı Novalar $t_3 \leq 15$		Nova	Hızlı Novalar $16 \leq t_3 \leq 42$		Nova	Orta Seviyede Hızlı Novalar $43 \leq t_3 \leq 120$		Nova	Yavaş Novalar $121 \leq t_3 \leq 230$	
	t_3	$M_v(\max)$		t_3	$M_v(\max)$		t_3	$M_v(\max)$		t_3	$M_v(\max)$
V603 Aql	8	-9.4	V500 Aql	42	-10.35	T Aur	100	-7.3	HR Del	225	-5.6
V1500 Cyg	3.6	-9.95	V1229 Aql	34.5	-6.7	DQ Her	94	-6.5	RR Pic	150	-7.2
CP Lac	10	-9.5	QZ Aur	26.5	-8.0	V533 Her	44	-7.7	RW UMi	140	-7.8
GK Per	13	-8.7	V476 Cyg	16.25	-9.86	FH Ser	62	-7.2	PW Vul	122	-6.25
CP Pup	8	-11.3	V1974 Cyg	42	-8.45						
			V446 Her	16	-8.95						
			DK Lac	32	-9.3						
			BT Mon	42	-7.5						
			XX Tau	42	-8.05						
			LV Vul	37	-6.8						
			QU Vul	34.8	-10.25						



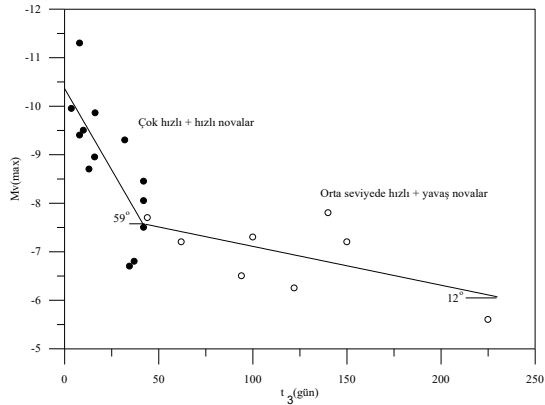
Şekil 5. a) Çok hızlı novaların $M_v(\max)$ - t_3 ilişkisi. Doğrusal fit: $M_v(\max) = -10.98 + 0.14 t_3$ Korelasyon katsayısı: $R = 0.50$
b) Hızlı novaların $M_v(\max)$ - t_3 ilişkisi. $M_v(\max) = -10.36 + 0.066 t_3$ (siyah noktalardan), $R = 0.62$
c) Orta seviyede hızlı novaların $M_v(\max)$ - t_3 ilişkisi. $M_v(\max) = -8.11 + 0.012 t_3$, $R = 0.66$
d) Yavaş novaların $M_v(\max)$ - t_3 ilişkisi. $M_v(\max) = -8.11 + 0.013 t_3$, $R = 0.61$

Önce, MMRD ilişkisi için kullanılacak novalar, hız sınıfına göre, 4 grup şeklinde Çizelge 5 'de verilmiştir. Çizelge 5 'de, Payne-Gaposckin'in (1957) hız sınıfı tanımını esas alınarak, her gruptaki novaların t_3 ve $M_v(\max)$ değerleri verilmiştir. Çizelge 5 'e göre, 4 grup nova için $M_v(\max)$ - t_3 ilişkisi Şekil 5a, b, c ve d'de gösterilmiştir. Sonra, 4 grup nova sınıfı için elde edilen $M_v(\max)$ - t_3 ilişkileri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Çok hızlı, hızlı, orta seviyede hızlı ve yavaş novaları temsil eden doğrusal fitler, aynı bir grafikte, Şekil 6 'da gösterilmiştir. Her bir doğrunun eğim açısı da belirtilmiştir. Şekil 6 'da, orta seviyede hızlı novalar ile yavaş novaların eğimlerinin (18°) aynı olduğu görülmektedir ve çok hızlı novalar ile hızlı novaların eğimlerinden de oldukça küçüktür. Çok hızlı novaların eğimi 74° ve hızlı novaların ise 60° olup birbirlerine yakındır. Bu gözlem sonuçlarına dayanarak, hızlı

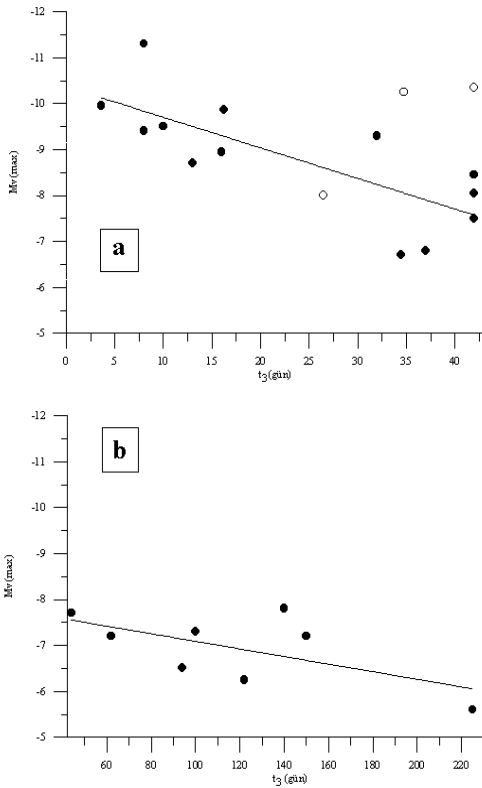
novaları çok hızlı novalar grubuna dahil edip bir grup, aynı eğime sahip orta seviyede hızlı novaları, yavaş novalar ile birleştirip ikinci bir grup olarak ele almak mümkün gözükmemektedir. Yani, bu aşamada galaktik novalar, $H\alpha$ 'daki gözlemlerinden bulunmuş mutlak parlaklıklarına ve t_3 değerlerine göre iki gruba ayrılabilir. Bu durumda, çok hızlı ve hızlı novaların birleştirilmiş hali (Grup I), Şekil 7a 'da ve orta seviyede hızlı novalar ile yavaş novaların birleştirilmiş hali de (Grup II) Şekil 7b 'de gösterilmiştir. Sonra, her iki grubu birbirleriyle mukayese etmek için de, iki grubu temsil eden doğrusal fitler, eğim açıları ile birlikte Şekil 8 'de çizdirilmiştir. Şekil 8 'e bakıldığında, Grup I için 59° ve Grup II için 12° 'lik eğim açıları ile, galaktik novaların iki gruba ayrıldığı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6. Dört grup novayı temsil eden fitler eğim açıları ile birlikte görülüyor.



Şekil 8. Novaların iki grup şeklinde ayrışımı temsil eden fitler eğim açıları ile birlikte görülüyor.



Şekil 7. a) Çok hızlı novaların bir grup olarak $M_v(\max)$ - t_3 ilişkisi. Doğrusal fit: $M_v(\max)=-10.36+0.067 t_3$
Korelasyon katsayısı $R=0.76$
b) Orta seviyede hızlı ve yavaş novaların ikinci bir grup olarak $M_v(\max)$ - t_3 ilişkisi. $M_v(\max)=-7.91+0.008 t_3$, $R=0.76$

5.2. Yeni sınıflamanın fizik açıklaması

Bu şekilde ortaya çıkan iki ayrı grubun, fizik olarak bir anlam ifade edip etmediğini araştıralım. Şekil 8'e bakıldığında, Grup II novaları Grup I'den mutlak parlaklık değeri olarak yaklaşık -6.5^m ile -7.5^m civarında açıkça ayrıldığı görülüyor. Bu, sıradan bir değer olmayıp çok önemli bir sonuçtur ki sadece kütleyle bağlı olan "Eddington luminozitesi" ne karşılık gelir ve beyaz cüce

kütlesine ($0.5 - 1.4 M_{\odot}$) göre de -6^m ile -7.1^m (veya $0.7 \times 10^{38} - 2 \times 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$) arasında değişir (bkz. Bölüm 4.1). Bu durumda, hızlı novaların, yani Grup I novalarının luminozite patlama esnasında Eddington limitinden çok büyük olmakta ($>-7.1^m$), yavaş novalara gidildikçe luminozite azalmaktadır ($\leq -7.1^m$) ve Grup II novalarının ayrıldığı nokta da bu yüzden Eddington limitine karşılık gelmiştir. Gerçekten, Şekil 8'den de görüldüğü gibi, novaların patlamadaki ışın güçleri temel alındığında, galaktik novalar gruplaşma göstermektedir. Şiddetli patlama gösteren novaların luminozite Eddington limitinin çok üzerinde olduğundan, Grup I novaları "süper Eddington novalar" olarak ve patlama sırasında yaklaşık Eddington limiti civarında bir luminoziteye sahip Grup II novaları "Eddington novalar" olarak isimlendirilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma ile, gözlemlerden bulunan novaların gruplaşmasını fizik bir parametreye, yani Eddington luminozitesine bağlayarak, galaktik novalar için "patlamada sahip oldukları luminoziteyi temel alan yeni bir nova sınıflaması" tanımlanmış olmaktadır.

Bu yeni sınıflamanın fotometrik ve tayfsal parametreler açısından özellikleri Çizelge 6'da verilmiştir.

5.3. Teori ile karşılaştırma

Galaktik novaların gruplaşması, $M_v - t_3$ ilişkisi ile Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 9'da, bu gözlemsel ilişki, daha önce verilen teorik $M_B - t_3$ ilişkisi (Bkz. Bölüm 4) ile karşılaştırılmıştır. Teorik MMRD ilişkisindeki maksimum mutlak parlaklıklar bolometrik olduğundan, gözlenen mutlak parlaklıklar da, $BC=-0.1^m$ (Allen 1973) için bolometrik düzeltme yapılmıştır. Şekilde, süper Eddington novalar (Grup I) siyah punto ile, Eddington novalar (Grup II) içi boş daire ile gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi,

Çizelge 6. Yeni nova sınıflama metodunun tanımı.

Yeni metoda göre nova sınıfı	Fotometri parametreleri				Tayf parametreleri	
	Nova hız sınıfı	t_3 (gün)	t_2 (gün)	V_d (m/gün)	$M_{bol(max)}$ (m)	Luminozite ($erg s^{-1}$)
Süper Eddington Novalar	Çok hızlı ve hızlı	0 - 42	0 - 25	0.08 - ≥ 0.20	> -7.1	$> 2.2 \times 10^{38}$
Eddington Novalar	Orta seviyede hızlı ve yavaş	43 - 230	26 - 150	0.013 - 0.07	≤ -7.1	$\leq 2.2 \times 10^{38}$

galaktik novaların gözlem sonuçları teori ile uygunluk sağlamaktadır.

5.4. $M_v - t_2$ ilişkisi

Galaksimizdeki novaların MMRD ilişkisi, nebular genişleme paralaksı verileri ile ilk defa, Cohen ve Rosenthal (1983; Cohen 1985) tarafından yapılmıştır. Kullanılan toplam nova sayısı 19'dur. Bunlardan 11 tanesi güvenilir, diğerleri ise şüphelidir. 19 nova için, en küçük kareler yöntemi kullanılarak bulunan $M_v - t_2$ ilişkisi,

$$M_v(max) = -10.70(\pm 0.30) + 2.41(\pm 0.23) \log t_2 \quad [14]$$

şeklinde doğrusal bir fit bulunmuştur. Çalışmamızda, Cohen'in (1985) sonuçları, ilave yeni veriler ile test edilmiştir. Bu amaçla, toplam 24 novanın nebular genişleme paralaksı yöntemi kullanılarak bulunmuş mutlak parlaklıklar ile t_2 arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Bu ilişki, Şekil 10'da gösterilmiştir. Güvenilir 21 novadan elde edilen en iyi fit (korelasyon katsayısı, $R = 0.84$),

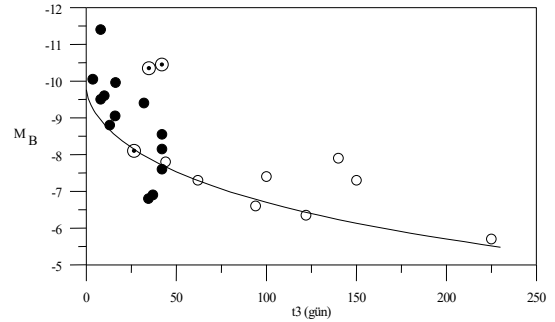
$$M_v(max) = -11.03(\pm 0.47) + 2.27(\pm 0.33) \log t_2 \quad [15]$$

şeklinde elde edilir. [15] bağıntısı, Cohen'in (1985) [14] nolu ifadesi ile, verilen hata sınırları içinde, aynı olarak elde edilmiştir. Dolayısı ile, diğer galaksilerdeki novaların $M_v - t_2$ ilişkisinde bulunan ters "S" şeklinin aksine (Bkz. Şekil 13), galaktik novalarda MMRD ilişkisi doğrusal olmaktadır. Sonuç olarak, Cohen'in bulduğu doğrusal ilişki, bu çalışma ile desteklenmiştir.

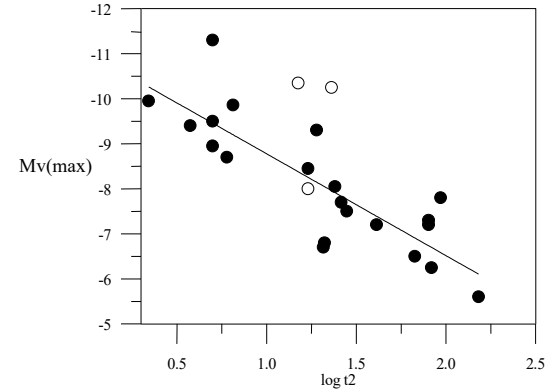
5.5. M31 galaksisindeki novalar ile bir karşılaştırma

Galaktik novaların iki grup olarak ayrılmasının bir karşılaştırılması, üzerinde en çok çalışılan M31 galaksisindeki novalar için yapılmıştır. Bu galaksideki 84 novaya ait gözlemsel büyüklükler Della Valle ve Livio'dan (1995) alınarak elde edilen MMRD ilişkisi Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, bu galaksideki novalar da iki grup olarak

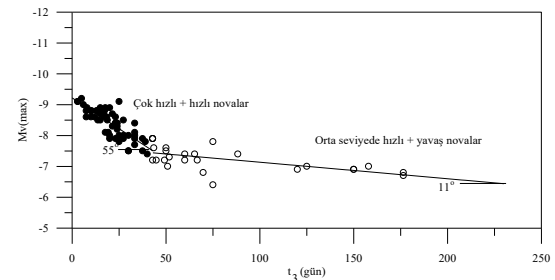
toplanmışlardır. İki grubun ayırım noktası Galaksimizde olduğu gibi Eddington limitidir. Bu durumun diğer galaksilerle genelleştirilip genelleştirilemeyeceği ayrı bir çalışma konusudur.



Şekil 9. Süper Eddington novalar (siyah noktalar-güvenilir; içi boş noktalar-şüpheli) ile Eddington novalar (içi boş daireler) teorik eğri (sürekli çizgi) ile birlikte görülüyor. Her iki grup novaların $BC=-0.1$ için bolometrik düzeltme yapılmıştır.



Şekil 10. Galaktik novaların MMRD ilişkisi. Güvenilir 21 novadan (siyah puntolu) geçirilen fit sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Şüpheli 3 nova (içi boş daireler) göz önüne alınmamıştır.



Şekil 11. M31'deki 84 novanın iki gruba ayrılması.

6. Tartışma ve Sonuçlar

Katakлизмik değişenlerin bir alt sınıfına dahil olan novaların luminozitetleri iki açıdan önemlidir. Birincisi, bu büyüklük nova patlamalarının fiziğinin çalışılmasına imkân verir. Örneğin, patlamalar sırasında ortaya çıkan enerjiler ve dışarı atılan kütleler, luminoziteye ve böylece uzaklıklara bağlıdır. İkincisi ise, galaksiler arası uzaklık ölçeğinin kalibrasyonu açısından önemlidir. Örneğin, maksimum ışıpta, parlak novalar, klasik sefeidlere göre daha büyük optik parlaklıklara sahiptirler ve böylece uzaklıklarını bulmak çok daha kolaydır.

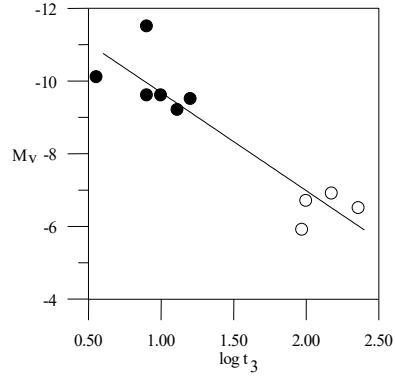
Görüldüğü gibi, novaların luminozitetleri dolayısı ile mutlak parlaklıkları novalar için çok önemli bir parametre olmasına rağmen, bulunacak mutlak parlaklıklardan (veya uzaklıklardan) novalara ilişkin yeni güvenilir sonuçların ortaya konabilmesi, ancak bu büyüklüğün nebular genişleme paralaksı yöntemine göre elde edilmesiyle olasıdır.

Bu noktadan hareketle, Galaksimizde bugün için bilinen 216 novadan ancak 24 tanesinin bu koşula uygun olduğunu gördük. Dolayısı ile bu çalışma, söz konusu 24 novaya ait gerek kendi yaptığımız gözlemler gerekse literatürden topladığımız verilerin analizine dayanmaktadır. Böylece çok güvenilir verilerin (özellikle M_v 'lerin) araştırılması sonunda ortaya çıkan sonuçları şöyle sıralayabiliriz.

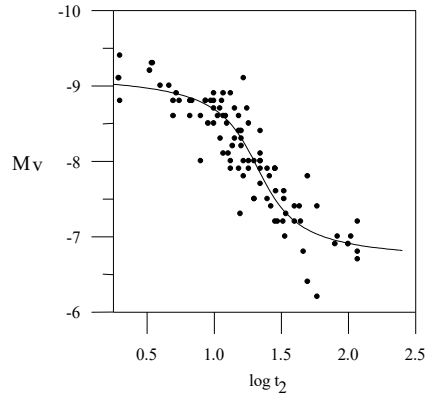
1. Galaktik novaların zarf parlaklıkları $H\alpha$ 'da araştırılmıştır. $H\alpha$ 'da ışımaya yapan nova zarfları, parlaklıklarına göre iki gruba ayrıldığı görülmüştür. $H\alpha$ 'daki zarf parlaklıkları olarak, $H\alpha$ 'daki nebular genişleme paralaksı ile elde edilen maksimumdaki mutlak parlaklıklar (M_v) alınmıştır. M_v 'ler ile t_3 'ler arasındaki MMRD ilişkisi her bir nova sınıfına uygulandığında, söz konusu gruplaşma açık bir şekilde görülmektedir (Bkz. Şekil 8). Bu gruplaşmanın ayırımı Eddington limiti ile uyumdadır. Zarfları parlak novalar, sönük novalardan Eddington limitinden itibaren ayrılmaya başlamıştır. Gözlem sonuçları, teori ile de uyum içindedir (Bkz. Şekil 9). Diğer taraftan, elde edilen sonuç Duerbeck'in (1981) çalışmasını desteklemektedir. Duerbeck (1981), 100 galaktik novanın ışık eğrilerinin davranışını temel alarak, 31 novanın $M_v - t_3$ ilişkisinden bunları iki gruba ayırmıştır. Ancak söz konusu çalışmada kullanılan 31 novadan sadece 10'una güvenebileceğimizden, Şekil 12'de bu novalara ait MMRD ilişkisinden iki grubun oluşup oluşmadığına karar vermek zor olabilir. Ancak çalışmamızda

değerlendirmeye aldığımız ve verilerine güvendiğimiz 21 novanın MMRD ilişkisinden sonra bu sınıflamanın kesinlik kazandığını ifade edebiliriz (Bkz. Şekil 10). Öte yandan, galaktik novalar için bulduğumuz ikili gruplaşma M31 novalarında da görülmüştür (Bkz. Şekil 11). Böylece, Eddington limitine dayanan yeni nova sınıflaması M31 novaları için de doğru olmaktadır.

2. Diğer galaksilerdeki novalar için, $M_v - t_2$ ilişkisinin ters "S" şeklinde ortaya çıktığı bilinmektedir (Jacoby ve ark. 1992). Şekil 13'de, M31'den elde edilmiş $M_v - t_2$ ilişkisi görülmektedir (Della Valle ve Livio 1995). Öte yandan, galaksimizdeki novalarda bu durum farklıdır. Galaktik novaların $M_v - t_2$ ilişkisi, hiç bir zaman ters "S" şeklinde olmayıp, aksine, doğrusal bir ilişki şeklinde olduğu ilk defa, nebular genişleme paralaksı değerleri kullanılarak, Cohen ve Rosenthal'den (1983; Cohen 1985) sonra bu çalışma ile verilmiştir. Cohen'in (1985) kullandığı yüksek kaliteli nova sayısı 11 iken, çalışmamızda bu sayı 21'e yükselmiştir. Güvenilir noktalardan geçirilen en iyi doğrusal fit, verilen hata sınırları içinde, Cohen'in sonucu ile aynı çıkmıştır (Bkz. Bölüm 5.3).



Şekil 12. Sadece genişleme paralaksı yöntemi ile bulunmuş 10 novanın MMRD ilişkisi.



Şekil 13. Diğer galaksilere ait novaların gösterdiği MMRD ilişkisi.

Teşekkür: HHE, Cooperasyon bursunu sağlayan İtalya Dışişleri Bakanlığı'na teşekkürlerini sunar. Ayrıca, bir yıl süresince konuk ettikleri ve gözlem imkanı sundukları için teşekkür eder. Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonunca desteklenmiştir. Proje No: T - 142/241095

Kaynaklar

- Allen C.W., 1973, *Astrophysical Quantities*, p.94
Andreä J., Drechsel H., Starrfield S., 1994, *A&A*, **291**, 869
Baade W., 1940, *PASP*, **52**, 386
Barger A.J., Gallagher J.S., Bjorkman K.S., Johansen K.A., Nordsieck. H., 1993, *ApJ*, **419**, L85
Bath G.T., Shaviv G., 1976, *MNRAS*, **175**, 305
Becker G.J., Duerbeck H.W., 1980, *PASP*, **92**, 792
Bowen S., 1956, *Stellar Spectroscopy and Photometry*, p.338
Campbell R.D., Shafter A.W., 1995, *ApJ*, **440**, 336
Chocholl D., Hric L., Urban Z., Komzik R., Grygar J., Papousek J., 1993, *A&A*, **277**, 103
Ciardullo R., Shafter A.W., Ford H.C., Neill J.D., Shara M.M., Tomaney A.B., 1990, *ApJ*, **356**, 472
Claudi R.U., Cremonese G., 1993a, *Padova and Asiago Observatories*, Handbook, Ver.1.0
Claudi R.U., Cremonese G., 1993b, *At of Fe-Ar lines for the B&C Spectrograph Padova and Asiago Observatories*, Technical Report, No.1.
Cohen J.G., 1985, *ApJ*, **292**, 90
Cohen J.G., Rosenthal A.J., 1983, *ApJ*, **268**, 689
Della Valle M., 1991, *A&A*, **252**, L9
Della Valle M., Duerbeck H.W., 1993, *A&A*, **275**, 239
Della Valle M., Livio M., 1995, *ApJ*, **452**, 704
Doroshenco V.T., Dibai E.A., Esipov V.F., 1971, *SovAstr*, **14**, No 6, 921
Downes R.A., Shara M.M., 1993, *PASP*, **105**, 127
Downes R.A., Webbing R.F., Shara M.M., 1997, *PASP*, **105**, 127
Drechsel H., Rahe J., Duerbeck H.W., Kohoutek L., Seitter W.C., 1977, *A&AS*, **30**, 323
Duerbeck, H.W., 1981, *PASP* 93, No.552, 165
Duerbeck H.W., 1987, *SpSciRev*, **45**, Nos.1-2.
Duerbeck H.W., 1992, *AcA*, **42**, 85
Esenoğlu H.H., 1996, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Ferland G.J., 1980, *Obs*, **100**, 166
Finzi A. 1973, *ApJ*, **183**, 183
Friedjung M., 1989, *Classical Novae*, (eds. M.F. Bode, A. Evans), John Wiley&Sons, p.187
Harward T.L., Gehrz R.D., Miles J.W., Houck J.R., 1992, *ApJ*, **401**, L101
Hjellming R.M., Wade C.M., Vandenberg N.R., Newell R.T., 1979, *AJ*, **84**, 1619
Iijima T., Esenoğlu H., Rosino L., 1995, *IAU Cir.* No.6135
Jacoby G.H., Branch D., Ciardullo R., Davies, R.L., Harris W.E., Pierce M.J., Pritchett C.J., Tonry J.L., Welch D.L., 1992, *PASP*, **104**, No.678, 599
Krautter J., Klare G., Wolf B., Duerbeck H.W., Rahe J., Vogt N., Wargau W., 1981, *A&A*, **102**, 337
Lang K.R., 1992, *Astrophysical Data: Planets and Stars*, Spring-Verlag New York, Inc.
Livio M., 1994, *22nd Saas Fee Advanced Course, Interacting Binaries*, Springer-Verlag, Germany, p.135
Macdonald J., 1983, *ApJ*, **267**, 732
Martin P.G., 1989, *Classical Novae*, (eds. M.F. Bode, A. Evans), John Wiley&Sons
McLaughlin B., 1945, *AJ*, **136**, 1153
Nauenberg M., 1972, *ApJ*, **175**, 417
Parasce F., 1994, *A&A*, **282**, L13
Patterson J., 1979, *PASP*, **91**, 487
Payne-Gaposchin C., 1957, *The Galactic Novae*, Amsterdam: North-Holland
Prialdnik D., 1986, *ApJ*, **310**, 222
Prialdnik D., Livio M., Shaviv G., Kovetz A., 1982, *ApJ*, **257**, 312
Prialdnik D., Kovetz A., 1992, *ApJ*, **385**, 665
Rafanelli P., Rosino L., Radovich M., 1995, *A&A*, **294**, 488
Ringwald F.A., Naylor T., 1996, *MNRAS*, **278**, 808
Ritter H., Livio M., Webbing R.F., 1991, *ApJ*, **376**, 177
Ritter H., Kolb U., 1993, (eds. W.H.G. Lewin, J. Van Paradijs, E.P.J. Van Den Heuvel) Cambridge University Press
Rosino L., Iijima T., Benetti S., Ambrosio V.D., Di Paolantonio A., Kolotilov E.A., 1992, *A&A*, **257**, 603
Saizar P., Starrfield S., Ferland G.J., Wagner R.M., Truran J.W., Kenyon S.J., Sparks W.M., Williams R.R., Stryker L.L., 1992, *ApJ*, **398**, 651
Saizar P., Ferland G.J., 1994, *ApJ*, **425**, 755
Seaquist E.R., 1989, *Classical Novae*, (eds. M.F. Bode, A. Evans), John Wiley&Sons, pp.143-162
Selvelli P.L., Cassatella A., Bianchini A., Friedjung M., Gilmozzi R., 1990, *Physics of Classical Novae*, (eds. A. Cassatella, R. Viotti), IAU Coll:122, 65, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany
Shara M.M., 1981, *ApJ*, **243**, 926
Szkody P., 1994, *AJ*, **108**, 639

Taylor A.R., Seaquist E.R., Hollis J.M., Pottasch S.R., 1987, *A&A*, **183**, 38
Tomov T.V., Munari, U., 1995, *Atlas for the Neon-Iron lamp 1.22 M Telescope Prism Spectrograph Camera VI + CCD*, Padova and Asiago Observatories, Technical Report, No.9
Warner B., 1987, *MNRAS*, **227**, 23
Webbing R.F. 1985, *Interacting Binary Stars*, (eds. J.E. Pringle, R.A. Wade), Cambridge University Press, p.55
Williams R.E., 1982, *ApJ*, **261**, 170
Williams R.E., Hamuy M., Phillips M.M., Heathcote S.R., Wells L., Navarrete M., 1991, *ApJ*, **376**, 721
Williams R.E., 1994, *ApJ*, **426**, 279
Williams R.E., Phillips M.M., Hamuy M., 1994, *ApJS*, **90**, 297