



پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش نظری و اختر فیزیک

مطالعه سیستم دوتائی گرفتی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱
در ابر ماژلانی بزرگ

به کوشش
عبدالرحمن خاوری

استاد راهنما
دکتر نعمت‌ا... ریاضی

شهریور ماه ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

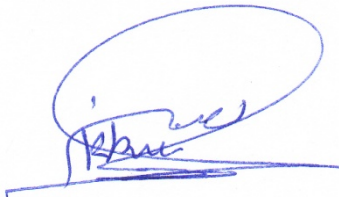
به نام خدا

اظهارنامه

اینجانب عبدالرحمن خاوری دانشجوی رشته فیزیک گرایش نظری و اختر فیزیک دانشکده‌ی واحد بین‌الملل اظهار می‌کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین‌نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: عبدالرحمن خاوری

تاریخ و امضاء: شهریور ماه ۱۳۹۰



به نام خدا

مطالعه سیستم دوتائی گرفتگی ماچو ۴۷,۲۱۳۴,۳۱ در ابر مازلانی بزرگ

به کوشش
عبدالرحمن خاوری

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی
از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:
فیزیک

دانشگاه شیراز
واحد بین الملل
جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته‌ی پایان نامه، با درجه‌ی: عالی

..... دکترو نعمت ا... ریاضی، استاد بخش فیزیک (استاد راهنما)
..... دکترو محمد حسین دهقانی، استاد بخش فیزیک
..... دکترو مهدی جهانمیری، دانشیار بخش فیزیک

شهریور ماه ۱۳۹۰

سپاسگزاری

حمد و سپاس به پیشگاه خداوند رحمان و رحیم که هرچه داریم از لطف و عنایت اوست، و هر موفقیتی بر مدار مشیت و اراده آن دانای سبحان است. بر خود لازم می‌دانم از عزیزانی که در انجام این پروژه علمی مرا یاری کرده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی کنم.

- جناب آقای پروفیسور ریاضی که بی‌شک از جمله الگوهای علمی و اخلاقی کشور بوده و مسبب قدم نهادن اینجانب در گرایش نجوم و اختر فیزیک بودند و توفیق حضور در کلاس‌های درسشان افتخار اینجانب می‌باشد و دانسته‌هایم از نجوم، اختر فیزیک و کیهان‌شناسی نتیجه تدریس و راهنمایی‌های این استاد فرزانه است. راهنمایی‌های ارزشمند در همه مراحل تحقیقاتی‌ام و تصحیح این پایان نامه از جمله امور دیگری است که این بزرگوار با صبر و شکیبایی و خوشرویی قبول زحمت فرموده‌اند.
- جناب آقای پروفیسور دهقانی که استاد مشاور رساله اینجانب را تقبل فرمودند و همچنین توفیق استفاده از کلاس‌های درس ارزشمند ایشان در درس‌های ریاضی فیزیک و الکترو دینامیک را داشته‌ام.
- جناب آقای دکتر جهانگیری که استاد مشاور رساله اینجانب را تقبل فرمودند و همواره با خوشرویی کامل مشوق اینجانب بوده‌اند.
- جناب آقای دکتر حسینی فرزند که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع قبول زحمت فرمودند.

از دوستان بزرگوارم آقایان سینا خالدی و میثم رضوانی و خانم شیخی که همواره در تمامی مراحل انجام پروژه مرا یاری کرده‌اند صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم. آنچه بیان نشد ولی اساس موفقیت‌م به شمار می‌آید همراهی صمیمانه خانواده‌ام و خانواده‌های بزرگوار دکتر مسعود سجادی و خواهر ارجمندشان سرکار خانم جمیله سجادی است که در تمام ایام تحصیل همواره حامی و مشوقم بوده‌اند و از خداوند سبحان برای این عزیزان تقاضای اجر و پاداش را دارم.

تقدیم به:

استاد علم و اخلاقم جناب آقای پروفیسور نعمت ا.. ریاضی
که هر آنچه را آموخته‌ام مدیون ایشان هستم.

تقدیم به:

پدر و مادر ارجمندم
که هر آنچه را که بدست آورده‌ام حاصل تربیت مشفقانه و دعای خیر آنها است.

تقدیم به:

خانم ژیلا ناظمی
که همیشه سایه پر مهرشان را همچون مادری مهربان در تمام مراحل زندگی‌م احساس کرده‌ام.

چکیده

مطالعه سیستم دوتائیگرفتی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ در ابر ماژلانی بزرگ

به کوشش

عبدالرحمن خاوری

در این پژوهش با مطالعه سیستم دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ که تاکنون مطالعه‌ای روی آن صورت نگرفته، سه هدف اصلی دنبال شده است: ۱- تصحیح دوره تناوب مداری و فاز و سپس بدست آوردن تاریخ ژولی اصلاح شده کمینه و منحنی نوری شدت بهنجار شده برحسب فاز برای سیستم دوتائی. ۲- شبیه‌سازی و برازش دادن منحنی نوری به کمک نرم‌افزار بایناری میکرو ۲.۳- تعیین پارامترهای فیزیکی و مطلق سیستم و نشان دادن موقعیت دوتائی روی نمودار HR. سیستم دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ یکی از دوتائی‌های گرفتی است که توسط گروه ماچو در دو فیلتر آبی و قرمز نورسنجی شده است. در این رساله داده‌های این سیستم را از سایت ماچو گرفته و تصحیحات لازم بر روی دوره تناوب و فاز دوتائی انجام شده تا منحنی نوری تصحیح شده سیستم بدست آید. روال کار در فصل چهار گام به گام توصیف و در فصل پنج با استفاده از نرم‌افزار بایناری میکرو ۲ شبیه‌سازی و برازش به منحنی نوری سیستم دوتائی انجام شده و سپس به کمک مقادیر حاصل از برازش به منحنی نوری، پارامترهای فیزیکی و مطلق برای سیستم دوتائی بدست آمده است. در فصل ۶ سیستم دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ مورد بحث قرار گرفته و استنباط نهایی در مورد آن ارائه شده است. در سه فصل اول رساله متناسب با نوع سیستم دوتائی مورد بررسی، مقدمات لازم برای درک و تحلیل سیستم آورده شده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- تحول ستارگان در سیستم‌های دوتائی
۳	۱-۲- تاریخچه مطالعه در سیستم‌های دوتائی
۵	۱-۳- مدل روش
۱۲	۱-۴- مروری بر نظریه استاندارد تحول ستارگان
۱۲	۱-۴-۱- متراکم شدن پیش‌ستاره به سمت رشته اصلی
۱۳	۱-۴-۲- فاز رشته اصلی
۱۴	۱-۴-۳- رشته اصلی زیرین
۱۵	۱-۴-۴- رشته اصلی زیرین
۱۷	۱-۴-۵- فاز غول‌ها
۱۸	۱-۴-۶- شاخه مجانبی غول‌ها
۱۸	۱-۴-۷- پایان فاز غول‌ها
۱۹	۱-۴-۸- مراحل پایانی تحول
۲۲	۱-۵- پیدایش ستارگان دوتائی
۲۲	۱-۵-۱- مقدمه
۲۲	۱-۵-۲- گیراندازی یک ستاره توسط ستاره‌ای دیگر
۲۲	۱-۵-۳- شکافت یک ستاره به دو ستاره
۲۳	۱-۵-۴- رمبش قرص برافزایشی یک ستاره به ستاره همدم
۲۳	۱-۵-۵- قطعه‌قطعه شدن یک ابر مولکولی رمبش یافته به ستاره‌های چندتایی
۲۵	۱-۶- تحول ستارگان در سیستم‌های دوتائی

فصل دوم: مروری بر دوتائی‌های چسبیده به هم

- ۳۳ ۱-۲ تاریخچه مطالعه دوتائی‌های چسبیده به هم
- ۳۶ ۲-۲ ویژگی فیزیکی دوتائی‌های چسبیده به هم
- ۳۸ ۳-۲ ستارگان دبلیو دب اکبر (WUMa)
- ۴۱ ۱-۳-۲ زیرگروه‌های دوتائی‌های WUMa
- ۴۲ ۲-۳-۲ ویژگی‌های زیرگروه‌های A
- ۴۲ ۳-۳-۲ ویژگی‌های زیرگروه‌های W
- ۴۳ ۴-۲ مروری بر ویژگی‌های آماری ستاره‌های WUMa
- ۴۴ ۱-۴-۲ رابطه نسبت جرمی - نسبت درخشندگی
- ۴۶ ۲-۴-۲ انتقال انرژی در سیستم‌های گونه WUMa
- ۴۹ ۵-۲ دوتائی‌های چسبیده به هم پرجرم
- ۵۰ ۱-۵-۲ سیستم‌های پرجرم گونه اولیه
- ۵۲ ۲-۵-۲ سیستم‌های چسبیده به هم گونه آخر ابرغول
- ۵۳ ۶-۲ بررسی توزیع دمایی دوتائی‌های چسبیده به هم

فصل سوم: لکه‌های ستاره‌ای

- ۵۶ ۱-۳ تاریخچه مطالعه لکه‌های خورشیدی
- ۵۹ ۲-۳ تغییرات لکه‌های خورشیدی
- ۵۹ ۱-۲-۳ شکل‌گیری لکه‌های خورشیدی
- ۶۲ ۲-۲-۳ آهنگ رشد لکه‌های خورشیدی
- ۶۲ ۳-۲-۳ طول عمر لکه‌های خورشیدی
- ۶۳ ۴-۲-۳ متلاشی شدن لکه‌های خورشیدی
- ۶۴ ۵-۲-۳ قوانین تلاشی سطح لکه‌های خورشیدی و شار مغناطیسی
- ۶۶ ۳-۳ چرخه لکه‌های خورشیدی
- ۶۹ ۴-۳ لکه‌های ستاره‌ای
- ۷۰ ۱-۴-۳ نورسنجی
- ۷۱ ۲-۴-۳ اسپکتروسکوپی
- ۷۱ ۱-۲-۴-۳ نسبت خط - عمق
- ۷۱ ۲-۲-۴-۳ خطوط مولکولی

۷۲	..... تصویربرداری دوپلر ۳-۴-۳
۷۳	..... تصویربرداری زیمان- دوپلر ۴-۴-۳
۷۴	..... لکه‌های روی سطح سایر ستارگان و تاریخچه مطالعه آنها ۵-۳
۷۴	..... EK اژدها و سایر ستاره‌های مشابه ۱-۵-۳
۷۵	..... دو تائی‌های RS سگان شکارچی و ستاره‌های FK گیسو ۲-۵-۳
۷۶	..... BY اژدها ۳-۵-۳
۷۶	..... AB ماهی زرین ۴-۵-۳
۷۷	..... T ثور ۵-۵-۳
۷۷	..... خصوصیات فیزیکی لکه‌های ستاره‌ای ۶-۳
۷۷	..... دما و مساحت ۱-۶-۳
۷۸	..... میدان‌های مغناطیسی ۲-۶-۳
۷۸	..... طول عمرها ۳-۶-۳

فصل چهارم: معرفی سیستم دو تائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ در ابر ماژلانی بزرگ

۸۰	..... ابر ماژلانی بزرگ (Large Magellanic Cloud) ۱-۴
۸۰	..... تاریخچه ابر ماژلانی بزرگ ۱-۱-۴
۸۱	..... خصوصیات ابر ماژلانی بزرگ ۲-۱-۴
۸۲	..... مدول فاصله ابر ماژلانی بزرگ ۲-۴
۸۳	..... دسته‌های قرمز ۱-۲-۴
۸۳	..... ستاره‌های متغیر قیفاوسی ۲-۲-۴
۸۴	..... ستاره‌های متغیر RR شلیاقی ۳-۲-۴
۸۴	..... سایر شاخص‌های فاصله ۴-۲-۴
۸۴	..... متغیرهای میرا ۱-۴-۲-۴
۸۴	..... برآزش کردن رشته اصلی ۲-۴-۲-۴
۸۵	..... ابرنواختر 1987A ۳-۴-۲-۴
۸۵	..... دو تائی‌های گرفتی ۴-۴-۲-۴
۸۶	..... ماچو ۳-۴
۸۷	..... پروژه ماچو ۱-۳-۴
۸۸	..... معرفی سی‌سی‌دی و فیلترهای بکار رفته ۴-۴
۸۸	..... CCDها ۱-۴-۴

۸۹	۴-۲- تحلیل داده‌ها
۸۹	۴-۵- معرفی سیستم ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱
۹۲	۴-۶- معرفی منحنی نوری خام سیستم ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱۹۰
۹۳	۴-۷- پردازش داده‌ها: تصحیح دوره تناوب، فاز و نحوه اعمال نرمالیزاسیون و تبدیل قدر به شدت
۹۹	۴-۷-۱- محاسبه زمان ژولی کمینه
۱۰۰	۴-۷-۲- تبدیل قدر به شدت

فصل پنجم: تحلیل منحنی نوری سیستم ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱

۱۰۶	۵-۱- معرفی نرم‌افزار بایناری میکرو ۲
۱۰۷	۵-۲- نرم‌افزار برنامه LC
۱۰۷	۵-۳- قدر مطلق سیستم
۱۰۸	۵-۴- درخشندگی سیستم
۱۰۹	۵-۵- برآورد اولیه از نسبت دمایی مولفه‌های سیستم
۱۱۰	۵-۶- تحلیل اولیه از سیستم دوتائی ۲۱۳۴.۳۱۱۰۸
۱۱۱	۵-۶-۱- محاسبه درخشندگی و جرم برای دماهای مختلف
۱۱۴	۵-۷- برازش به منحنی نوری با استفاده از بایناری میکرو
۱۲۱	۵-۸- تعیین پارامترهای فیزیکی و مطلق سیستم دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱
۱۲۳	۵-۹- موقعیت دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ بر روی نمودارهای قدر-رنگ، رنگ-دوره تناوب، قدر بصری- دوره تناوب و نمودار HR

فصل ششم: خلاصه و نتیجه‌گیری

۱۲۸	۶-۱- خلاصه و نتیجه‌گیری
-----	-------------------------

پیوست‌ها

۱۳۵	۱- حذف ردیف‌های خالی ایجاد شده در محیط اکسل
۱۳۵	۲- حذف قدرهای بیشتر از ۹ به دلیل ایجاد نوفه در برنامه
۱۳۶	۳- تعریف کلیدهای ویژه برای تسریع در انجام تصحیح بر روی دوره تناوب و فاز با هر دقت دلخواه در کنار شکل منحنی قدر-فاز
۱۳۷	۴- محیط برنامه نرم افزار بایناری میکرو ۲
۱۴۱	۵- نرم افزار برنامه LC

- پیوست ۶ جدول ویژگی ستاره‌های رشته اصلی ۱۴۶
- پیوست ۷: جدول ویژگی ستاره‌های غول ۱۴۷
- پیوست ۸: جدول ویژگی‌های ستاره‌های ابرغول ۱۴۸
- پیوست ۹: جدول ویژگی‌های کوتوله‌های قهوه‌ای ۱۴۹
-
- فهرست منابع ۱۵۱

فهرست جداول

عنوان و شماره	صفحه
جدول ۱-۲- : سیستم‌های چسبیده به هم پر جرم گونه O و B.....	۵۰
جدول ۲-۲- : سیستم‌های چسبیده به هم پر جرم گونه آخر	۵۲
جدول ۱-۳- : خصوصیات ستاره‌های لکه‌دار در این بخش	۷۴
جدول ۱-۴- : مدول فاصله ابر ماژلانی بزرگ از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵.....	۸۶
جدول ۱-۵- : داده‌های ستاره‌ای برای ستاره‌های رشته اصلی از کتاب استلی.....	۱۱۲
جدول ۲-۵- : نتایج بدست آمده برای L/L_{\odot} و M/M_{\odot} با استفاده از درون‌یابی لاگرانژی	
بر اساس داده‌های موجود از کتاب استلی.....	۱۱۲
جدول ۳-۵- : : نتایج شبیه‌سازی انجام‌شده با استفاده از بایناری میکرو ۲ برای سیستم	
دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ در هر دو فیلتر.....	۱۱۹

فهرست شکل ها و تصاویر

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- : هندسه دو ستاره با جرم های $m_{1,2}$ که مرکز جرم مشترکشان در نقطه C است و با فاصله واحد از همدیگر قرار دارند. مرکز مختصات در مرکز m_1 ، جهت محور X به سمت جرم m_2 ، محور Y در صفحه مداری و محور Z عمود بر صفحه مداری قرار دارد ۷	
شکل ۱-۲- : یک برش عرضی در صفحه مداری یا (X,Y) سطوح ثابت پتانسیل ϕ_n برای سیستم دوتائی با نسبت جرمی $q = 0.4$ ۹	
شکل ۱-۳- : نمایش سطح مشبک از پتانسیل بهنجار شده در صفحه مداری سیستم دوتائی. در شکل دو چاه پتانسیل ستاره ها و نقطه مابین آنها یعنی نقطه لاگرانژی داخلی L_1 و همچنین دو پتانسیل ماکزیمم در $L_{4,5}$ که نسبت به خط متصل کننده دو ستاره یک مثلث متساوی الاضلاع تشکیل می دهند نشان داده شده است ۱۰	
شکل ۱-۴- : نمایش دوتائی های نزدیک به هم بر اساس مدل روش : (الف) دوتائی جدا از هم ، (ب) دوتائی نیمه جدا ، (ج) دوتائی چسبیده به هم ، (د) دوتائی فوق تماسی ۱۱	
شکل ۱-۵- : مسیر ستاره های در حال انقباض به سمت رشته اصلی در مقیاس زمان حرارتی روی نمودار HR . بعد از رمبش سریع دینامیکی ستاره در مسیر های پاشی مستقر شده و در مقیاس زمان حرارتی به سمت رشته اصلی تحول پیدا می کند ۱۳	
شکل ۱-۶- : مسیرهای تحول ستاره ای در فاز رشته اصلی و بعد از آن بر روی نمودار HR ۱۶	
شکل ۱-۷- : انتقال انرژی در فاز رشته اصلی ۱۶	
شکل ۱-۸- : طرح تحول کلی ستاره ها با جرم های مختلف ۲۰	
شکل ۱-۹- : تحول نقاط انتهایی ستاره ها با جرم های مختلف بصورت تابعی از چگالی مرکز نمایش داده شده است ۲۱	

- شکل ۱-۱۰-۱: تحول یک سیستم دوتائی کم جرم..... ۳۰
- شکل ۱-۱۱-۱: تحول یک سیستم دوتائی پر جرم..... ۳۱
- شکل ۱-۲-۱: نسبت درخشندگی بولومتری بر حسب نسبت جرمی برای دوتائی‌های چسبیده به هم..... ۴۵
- شکل ۲-۲-۲: پارامتر انتقال β بر حسب نسبت درخشندگی بولومتری λ ۴۹
- شکل ۲-۳-۲: نمودار $\log \frac{R}{R_{\odot}}$ بر حسب $\log \frac{M}{M_{\odot}}$ سیستم‌های چسبیده به هم پر جرم..... ۵۱
- شکل ۲-۴-۲: لگاریتم دمای متوسط مولفه‌های نمونه بر حسب قدر بولومتری سیستم‌ها. هیچ سیستمی بین $4.2 \dots \log \langle T \rangle = 4.0$ واقع نشده است..... ۵۴
- شکل ۲-۵-۲: لگاریتم دمای هر یک از مولفه‌های نمونه بر حسب قدر بولومتری مولفه‌ها..... ۵۴
- شکل ۳-۱-۱: لکه‌های خورشیدی رسم شده توسط گاليله..... ۵۸
- شکل ۳-۲-۲: لکه‌های خورشیدی رسم شده توسط شاینر.....
- شکل ۳-۳-۳: یک رشته از عکس‌هایی که شکل‌گیری لکه‌ای بزرگ را از طریق به هم پیوستگی لکه‌ها و منفذهای کوچکتر نشان می‌دهد (اگوست ۱۹۶۶). قطب‌های مغناطیسی N و S لکه‌های تنها نیز نشان داده شده است. (شکل از McIntosh 1981)..... ۶۱
- شکل ۳-۴-۳: تکه‌تکه شدن لکه‌ای بزرگ به لکه‌ها و منفذهای کوچکتر. این رشته از تصاویر whit-light بوسیله ماهواره TRACE گرفته شده است..... ۶۴
- شکل ۳-۵-۳: شکل ۳-۵: ردیف بالا: کل مساحت لکه‌های خورشیدی و مساحت سایه‌ها در واحد $MSH = 1 \times 10^{-6} A_{\square/2}$ بصورت تابعی از زمان برای تلاشی آرام دو لکه پیشرو NOAA 7201 و 7197. ردیف پایین: شارهای مغناطیسی کل و سایه بصورت تابعی از زمان برای همان لکه‌های بالا..... ۶۶
- شکل ۳-۶-۳: چرخه فعالیت خورشیدی از سال ۱۶۱۰ تا ۲۰۰۰ میلادی که بر اساس مقادیر سالیانه تعداد گروه لکه‌های خورشیدی رسم شده است..... ۶۸

- شکل ۳-۷- : چرخه لکه‌های خورشیدی از ۱۸۷۸ تا ۲۰۰۵ میلادی. نمودار بالا وقوع لکه‌های خورشیدی را به عنوان تابعی از عرض جغرافیایی و زمان نشان می‌دهد. نمودار پایین نسبت سطح نیمکره قابل دید اشغال شده توسط لکه‌ها به عنوان تابعی از زمان نشان داده شده است. ۶۹
- شکل ۴-۱- : سیستم دوربین ماچو ۸۹
- شکل ۴-۲- : میدان های تصویر برداری شده ابر ماژلانی در پروژه ماچو ۹۰
- شکل ۴-۳- : شکل ۴-۳: موقعیت ستاره ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ به شعاع دو ثانیه قوسی در ابر ماژلانی بزرگ که از سایت سیمباد گرفته شده است ۹۱
- شکل ۴-۴- : نمودار های قدر بر حسب فاز(ردیف بالا) و قدر بر حسب زمان ژولی اصلاح شده (ردیف پایین). نمودارهای سمت چپ برای فیلتر قرمز و سمت راست برای فیلتر نور قرمز هستند ۹۲
- شکل ۴-۵- : نمودار قدر-فاز به ترتیب از راست به چپ برای فیلترهای آبی و قرمز بعد از حذف قدرهای بیشتر از ۹. ۹۵
- شکل ۴-۶- : نمودار قدر-فاز بعد از حذف نقاط زائد و تصحیح دوره تناوب مداری سیستم به ترتیب از راست به چپ برای فیلترهای آبی و قرمز. دوره تناوب صحیح به دست آمده برای فیلتر آبی و قرمز به ترتیب برابر است با : $P_b=۱,۷۰۲۳۵$ و $P_r= ۱,۷۰۲۲۹۱۹$ ۹۶
- شکل ۴-۷- : منحنی برازش شده به قسمت کمینه گرفت اولیه در فیلتر آبی(شکل سمت راست) و فیلتر قرمز(شکل سمت چپ). معادله سهمی‌های برازش شده به نقاط همراه با دقت برازش سهمی با نقاط نیز داده شده است. ۹۷
- شکل ۴-۸- : نمودار قدر - فاز بعد از بدست آمدن دوره تناوب صحیح و انتقال فاز بر روی مقدار یک برای فیلترهای آبی(شکل سمت راست) و قرمز(شکل سمت چپ). ۹۹
- شکل ۴-۹- : منحنی قدر بر حسب فاز بدست آمده بر اساس زمان ژولی بهنجار شده در هر دو فیلتر آبی(شکل سمت راست) و قرمز(شکل سمت چپ). ۱۰۰
- شکل ۴-۱۰- : نمودار شدت برحسب فاز برای دو فیلتر آبی (شکل سمت راست) و قرمز(شکل سمت چپ). ۱۰۱

- شکل ۴-۱۱- : نمودار شدت نرمالایز شده بر اساس میانگین‌گیری بر حسب قدر در فیلترهای آبی(شکل سمت راست) و قرمز(شکل سمت چپ). ۱۰۲
- شکل ۴-۱۲- : منحنی برازش داده شده به قسمت بین دو گرفت برای فیلترهای آبی(شکل سمت راست) و قرمز (شکل سمت چپ) . معادله سهمی برازش شده به منحنی و میزان دقت برازش آن نیز نشان داده شده است. ۱۰۳
- شکل ۴-۱۳- : نمودار شدت نرمالایز شده بر اساس برازش کردن منحنی بر حسب فاز برای فیلتر آبی ۱۰۴
- شکل ۴-۱۴- : نمودار شدت نرمالایز شده بر اساس برازش کردن منحنی بر حسب فاز برای فیلتر قرمز ۱۰۴
- شکل ۵-۱- : نمودار نسبت درخشندگی بر حسب دما بر اساس داده‌های جدول ۵-۲ ۱۱۳
- شکل ۵-۲- : نمودار جرم (بر حسب جرم خورشید) بر حسب دما بر اساس داده‌های جدول ۵-۲ ۱۱۳
- شکل ۵-۳- : منحنی برازش شده به منحنی نوری رصد شده که توسط برنامه بایناری میکر برای هر دو فیلتر آبی(شکل سمت راست) و قرمز(شکل سمت چپ) رسم شده است. نقاط بعلاوه منحنی نوری رسم شده بر اساس فایل فراخوانی شده و منحنی با خط پیوسته منحنی برازشی رسم شده توسط برنامه است. ۱۱۴
- شکل ۵-۴- : منحنی برازش شده به منحنی نوری رصد شده بعد از قرار دادن لکه‌های ستاره‌ای بر روی سیستم دوتائی برای هر دو فیلتر آبی(شکل سمت راست) و قرمز(شکل سمت چپ) رسم شده است. علامت‌ها همانند شکل ۵-۳ هستند. ۱۱۶
- شکل ۵-۵- : منحنی برازش شده به منحنی نوری رصد شده اصلی سیستم دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ برای فیلتر آبی. نقاط دایروی منحنی بدست آمده از شبیه‌سازی بایناری میکر و نقاط ضربدر منحنی بدست آمده با داده‌های اصلاح شده از سایت ماچو است. ۱۱۷
- شکل ۵-۶- : منحنی برازش شده به منحنی نوری رصد شده اصلی سیستم دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ برای فیلتر قرمز. نقاط دایروی منحنی بدست آمده از شبیه‌سازی بایناری میکر و نقاط ضربدر منحنی بدست آمده با داده‌های اصلاح شده از سایت ماچو است. ۱۱۷

شکل ۵-۷- : منحنی سرعت شعاعی، مدل روش و نمایه سه بعدی از سیستم دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱. در شکل مدل روش سسیستم به خوبی چسبیده بودن ستاره‌ها نمایان است. همچنین محل قرار گرفتن لکه‌ها بر روی نمایه سه بعدی سیستم نشان داده شده است ۱۱۸

شکل ۵-۸- : موقعیت ستاره ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ بر روی نمودار رنگ- قدر نمونه‌ای از دوتائی‌های چسبیده به هم سایت ماچو . دایره‌های توپر سیستم‌های خیلی آبی (XB)، دایره‌های نیمه‌پر سیستم‌های به طور متوسط آبی (MB) و دایره‌های توخالی سیستم‌های قرمز را نشان می‌دهند. ۱۲۴

شکل ۵-۹- : موقعیت ستاره ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ بر روی نمودار رنگ- دوره تناوب نمونه‌ای از دوتائی‌های چسبیده به هم سایت ماچو . علامت‌ها همانند شکل ۵-۸ هستند ۱۲۴

شکل ۵-۱۰- : موقعیت ستاره ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ بر روی نمودار قدر- دوره تناوب نمونه‌ای از دوتائی‌های چسبیده به هم سایت ماچو . علامت‌ها همانند شکل ۵-۸ هستند ۱۲۵

شکل ۵-۱۱- : موقعیت هر یک از مولفه‌های سیستم دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ بر روی نمودار HR برای فیلتر آبی ۱۲۶

شکل ۵-۱۲- : موقعیت هر یک از مولفه‌های سیستم دوتائی ماچو ۴۷.۲۱۳۴.۳۱ بر روی نمودار HR برای فیلتر قرمز. ۱۲۶

فصل اول