

تحلیل خودکار منحنی‌های سرعت شعاعی ستارگان دوتایی نزدیک حتی با
اثرات مجاورت: AB And، U Peg و BD+۴۲۲۷۸۲

عباس عابدی^۱، اعظم حسین پور^۲ و نعمت اللہ ریاضی^۳

۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند

۲. رصد خانه دکتر مجتهدی، دانشگاه بیر جند، بیر جند

۳. گروه فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

یست الکترونیکی: aabedi@birjand.ac.ir

(در یافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۰۷؛ در یافت نسخه نهایی: ۱۳۹۸/۰۴/۳۰)

چکیدہ

در این تحقیق، یک الگوریتم جدید برای استخراج خودکار ضرایب مؤثر در منحنی سرعت شعاعی دستگاه‌های ستارگان دوتایی با استفاده از کد ویلسون-دوینی ۲۰۰۷ پیشنهاد شده است. در این راستا، یک ستاره دوتایی که اثر مجاورت دارد و ضرایب آن نیز توسط ستاره‌شناسان اعلام شده است، به عنوان دستگاه نمونه انتخاب شده است. برای اجتناب از پراکندگی داده‌ها و نیز داشتن تعداد نقاط داده بیشتر، نمودار سرعت شعاعی ستاره دوتایی نمونه به کمک کد ویلسون-دوینی ساخته شده است. سپس داده خروجی کد به الگوریتم MATLAB پیشنهاد شده تا ضرایب مؤثر در منحنی سرعت شعاعی، از جمله ضرایب مداری خروج از مرکز، e حاصلضرب نیم محور اطول و شیب مداری $asini$ ، طول حضیض w ، سرعت شعاعی مرکز جرم V_{CM} و ضرایب سطح ستاره‌ها مانند پتانسیل‌های سطحی Ω ، دماها T ، آلبدو A ، ضرایب تاریکی گرانشی g ، و ضرایب تاریکی لبه x را پیدا کند. پس از آزمایش الگوریتم با دستگاه دوتایی نمونه، الگوریتم پیشنهادی برای تجزیه و تحلیل داده‌های سرعت شعاعی تعدادی از ستارگان دوتایی دیگر مانند AB And, U Peg و BD+۴۲۲۷۸۲ به کار گرفته شده است. مقایسه نتایج حاصل از رهیافت پیشنهادی و نتایج گزارش شده توسط سایر منجمین نشان‌دهنده توانایی رهیافت پیشنهادی در استخراج ضرایب مؤثر بر منحنی سرعت شعاعی است.

واژه‌های کلیدی: روش‌های تحلیل داده‌ها، سرعت شعاعی، کد ویلسون-دوینی، ستارگان دوتایی گرفتگی، اثر مجاورت

١. مقدمه

تاکنون، چندین روش برای تعیین سریع عناصر مداری ستارگان

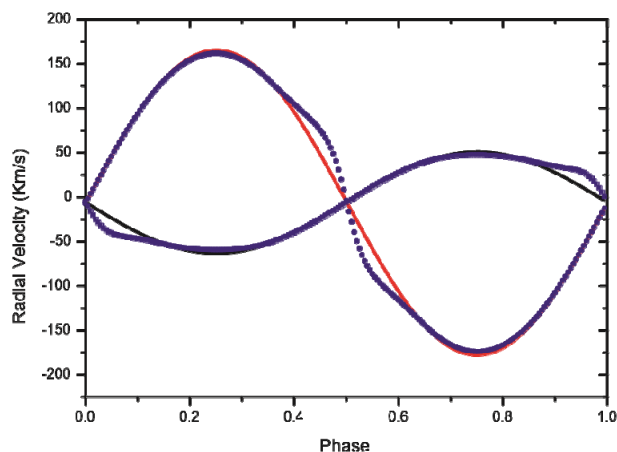
دوتایی طیف سنجی یا سیارات فرا خورشیدی با کمک منحنی‌های سرعت شعاعی استفاده شده‌اند. به عنوان مثال روش کمترین مربعات غیر خطی [۱]، روش شبکه عصبی مصنوعی [۲] و کد rvfit [۳] برای رسیدن به این هدف به کار رفته‌اند.

به دلیل اهمیت ستارگان دوتایی در تعیین ضرایب و خواص ستاره‌ای و همچنین مقدار زیاد داده‌های نجومی که در مساحی‌های مختلف خودکار آسمان تولید می‌شود، تحقیقات زیادی روی روش‌های تمام خودکار تحلیل داده‌ها انجام شده است [۱ و ۲].

موقع گرفت نیز بر منحنی سرعت شعاعی تأثیر خواهد گذاشت. این ویژگی «اثر چرخش» نامیده می‌شود [۴]. برطبق بیان شلزنینگر [۵] چرخش یک ستاره درخشان نتیجه دیگری در بخش‌های معینی از مدار دارد. در حالت عمومی نور را از تمام قرص ستاره به دست می‌آوریم و سرعت به دست آمده مساوی سرعت مرکز ستاره است. درست قبل و بعد از نور کمینه، هر چند دقیقاً این حالت اتفاق نمی‌افتد؛ قبل از کمینه، ستاره درخشان در حال دور شدن از ما و بخشی از قرصش توسط ستاره کم نورتر پنهان شده است. بخشی که مرئی باقیمانده دارای حرکت اضافی دور شدن از ما به دلیل چرخشش است؛ بنابراین سرعت مشاهده شده بزرگ‌تر از مقدار مداری خواهد بود. از طرف دیگر، درست پس از کمینه نور شرایط عکس قبل است به طوری که سرعت مشاهده شده کمتر از مقدار مداری است.

با استفاده از کد WD ۲۰۰۷ [۶] اثر مجاورت و یا چرخش ستاره‌ها را می‌توان در تحلیل منحنی سرعت شعاعی منظور نمود. به عنوان مثال، شکل ۱ منحنی سرعت شعاعی ستاره دوتایی گرفتی نوع W UMa را نشان می‌دهد: خط پر سرعت شعاعی را برای دستگاه اگر دو ستاره را به صورت نقطه‌ای در نظر بگیریم و خط نقطه‌چین سرعت شعاعی را برای دو ستاره با در نظر گرفتن اثر مجاورت نشان می‌دهد. بنابراین چون با کد WD می‌توان اثر مجاورت و یا چرخش دو ستاره را منظور نمود، استفاده از آن برای تولید خودکار منحنی سرعت شعاعی بر استفاده از معادله (۱) ارجحیت دارد. به این دلیل، کد WD برای مطالعه پیش رو مورد استفاده قرار گرفت.

در این کد ضرایبی که باید در فایل ورودی آن برای ساخت منحنی سرعت شعاعی تعیین شوند شامل ضرایب مداری خروج از مرکز e حاصلضرب نیم محور اطول در شیب مداری $a \sin i$ ، سرعت شعاعی مرکز جرم V_{CM} ، طول حضیض ω ، و ضرایب سطح ستاره‌ها مانند مقدار پتانسیل‌های سطح Ω ، دماها T ، آلفا A ، ضرایب تاریکی گرانشی g ، و ضرایب تاریکی لبه α است. در ادامه، نشان خواهیم داد، در صورتی که ضرایب به دست آمده از طیف‌سنجی یعنی چهار ضریب آخر، تغییرات زیادی نداشته باشند، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر منحنی سرعت شعاعی دستگاه نخواهند داشت.



شکل ۱. (رنگی در نسخه الکترونیکی) نمونه‌ای از اثر مجاورت در ستارگان دوتایی W UMa. خط پر منحنی سرعت شعاعی را برای جرم‌های نقطه‌ای و نقطه‌چین منحنی سرعت شعاعی دوتایی‌های تغییر شکل یافته را نشان می‌دهد. (این نمودارها توسط کد WD ۲۰۰۷ تولید شده است).

اصولاً، رابطه‌ای که در این روش‌ها برای تحلیل داده‌های سرعت شعاعی ستارگان دوتایی یا سیارات فراخورشیدی مورد استفاده بوده است، رابطه زیر است

$$V_R = V_{cm} + K [\cos(\theta + \omega) + e \cos \omega], \quad (1)$$

که V_{CM} سرعت شعاعی مرکز جرم دستگاه نسبت به خورشید، θ زاویه مختصه قطبی (آنومالی حقیقی) 1 ، ω طول حضیض و e خروج از مرکز مدار دوتایی است. همچنین ثابت K به صورت

$$K = \frac{\pi}{P} \frac{a \sin i}{\sqrt{1-e^2}}, \quad (2)$$

تعریف می‌شود. که در آن P دوره تناوب دستگاه، a نیم‌قطر اطول مداری و i زاویه بین خط دید و خط عمود بر صفحه مداری (شیب مداری) است.

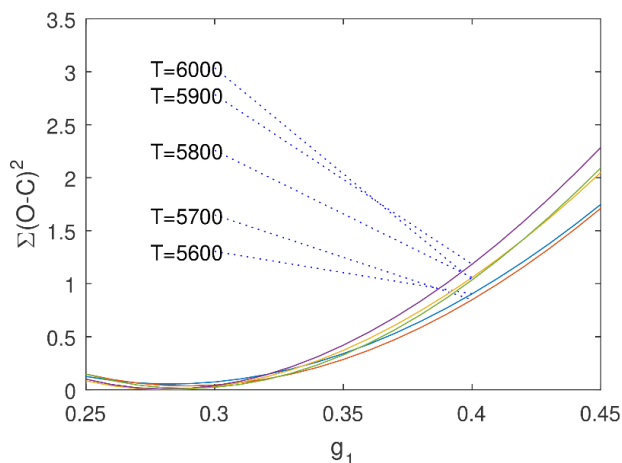
برای استفاده از معادله (۱)، ستارگان را باید نقطه‌ای در نظر گرفت. اثر مجاورت در دستگاه‌های دوتایی نزدیک سبب می‌شود منحنی سرعت شعاعی تغییر شکل یابد. یک ستاره غیرکروی، با توزیع روشنایی سطحی، سبب تغییر قدرت خطوط طیف روی سطح ستاره، و اثرگذاری بر منحنی سرعت شعاعی، هم در گرفت‌ها و هم در سایر مواقع می‌شود. در حالتی که دستگاه دارای یک مؤلفه چرخان است، گرفت بخشی از آن ستاره در

^۱. True anomaly

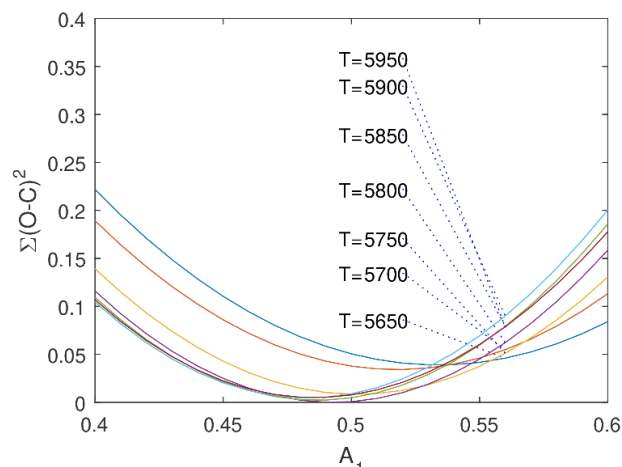
۲. روش تحقیق

برای به کارگیری داده‌های سرعت شعاعی و استفاده خودکار از کد WD و بررسی نتایج، از نرم‌افزار MATLAB استفاده نمودیم. بدین منظور برنامه‌ای در این نرم‌افزار نوشته شد. این برنامه ابتدا فایل ورودی کد WD (WD۲۰۰۷) را باز نموده، فایل LCin۱.active، (فایل LCin۱.active) فایل ورودی کد WD است که قبل از اجرای برنامه ضرایب معلوم دستگاه ستاره دوتایی مورد نظر در آن وارد شده است) و آن را خط به خط می‌خواند، سپس برای ضرایب مجهولی که تعیین آنها مورد نظر است مقداری را از یک بازه پیش‌بینی شده انتخاب می‌کند، مجدداً فایل ورودی کد WD تحت عنوان LCin.active را ساخته و فرمان اجرای کد را صادر می‌کند. در مرحله بعد فایل خروجی کد را که حاوی داده‌های سرعت شعاعی ساخته شده است خوانده و با داده‌های سرعت شعاعی مشاهده شده مقایسه می‌کند. مقدار سرعت شعاعی دو فایل در فازهای یکسان را از هم کم کرده و بتوان دو رسانده و $\Sigma(O-C)^2$ را محاسبه می‌کند و آن را در فایلی همراه مقادیر ضرایب مجهول ذخیره می‌کنند. برنامه فرایند فوق را برای مقادیر جدید ضرایب مجهول از بازه پیش‌بینی شده تکرار می‌کند، تا تمام مقادیر ممکن ضرایب مجهول را برای ساخت منحنی سرعت شعاعی بررسی کرده باشد. در نهایت از فایل ساخته شده توسط برنامه، کمترین $\Sigma(O-C)^2$ همراه کمیت‌های متناظرش را پیدا نموده و معرفی می‌کنند. بدین ترتیب ضرایبی که مقادیر آنها بهترین منحنی منطبق بر داده‌های سرعت شعاعی را ایجاد می‌کند تعیین می‌شوند. لازم به ذکر است، برای این که کد WD به عنوان زیر برنامه MATLAB قابل استفاده باشد باید از شکل فایل FORTRAN به شکل پوشه MEX تبدیل شود (اگر چه کد مورد نظر در شکل EXE نیز قابل به کارگیری است). همان گونه که قبلاً ذکر شد، مجموعاً ۸ ضریب مجهول وجود دارد. برای تعیین مقدار آنها به روش فوق می‌توان همه آنها را به صورت ۸ حلقه وارد برنامه کرد، اما ترجیح داده شد برای کاهش زمان اجرای برنامه، ابتدا کمیت‌های با ضریب تأثیر بالا را تعیین و آنهایی که تأثیر مرتبه دوم دارند در مرحله دوم معین

شوند. برای آزمایش برنامه و اجتناب از نوفه‌های معمول داده‌های رصدی، ترجیح داده شد، ابتدا یک منحنی سرعت شعاعی با کمیت‌های حقیقی دستگاه دوتایی شناخته شده‌ای را ساخته تا عملکرد الگوریتم فوق برای بازیابی کمیت‌های دستگاه نمونه مورد ارزیابی قرار گیرد، و میزان دقت این بازیابی تعیین شود. برای این کار از ضرایب دستگاه دوتایی U Peg که با تحلیل همزمان منحنی نوری و سرعت شعاعی توسط شنگ و دیگران ۱۹۸۸ [۷] ارائه شده بود استفاده شد. کد WD اجرا شده و منحنی سرعت شعاعی این دستگاه ایجاد شد. پوشه داده‌های مربوط به این منحنی به عنوان پوشه داده‌های مشاهده‌ای به برنامه معرفی شد و کمیت‌های مداری خروج از مرکز e ، حاصلضرب نیم‌محور اطول در شیب مداری $asini$ ، سرعت شعاعی مرکز جرم V_{CM} ، طول حضیض ω ، و پتانسیل سطح Ω_1 را به عنوان کمیت‌های مجهول که باید توسط برنامه مقدارشان تعیین می‌شد به برنامه معرفی کردیم. هر کدام از این ضرایب را با بازه مناسب و با گام‌های مشخص در حلقه‌های مجزا در برنامه قرار داده و برنامه اجرا شد، کمیت‌های پاسخ برنامه دقیقاً مقادیری بود که منحنی سرعت شعاعی اولیه با آنها ساخته شده بود. لازم به ذکر است که چون شیب مداری i تنها از داده‌های نورسنجی ستارگان دوتایی تعیین می‌شود مقدار آن در برنامه ۹۰ درجه اختیار شد تا مقدار نیم‌قطر اطول a ، تعیین شده توسط برنامه مقدار $asini$ باشد. در دومین قدم، برای تعیین اثرات روشنایی سطح ستارگان بر منحنی سرعت شعاعی آنها، برنامه در سه نوبت مجزا اجرا شد. در حالی که همه کمیت‌های اصلی ثابت و مقادیر مرحله قبل بودند، یک بار با دماهای مختلف و آلبدوی مجهول، یک بار با دماهای مختلف و ضریب تاریکی گرانشی مجهول، بار دیگر با دماهای مختلف و ضریب تاریکی لبه مجهول برنامه اجرا شد. لازم به ذکر است در هر بار اجرای برنامه برای کمیت‌های مجهول بازه معقولی در نظر گرفته شد. در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ منحنی‌های $\Sigma(O-C)^2$ یک بار بر حسب آلبدو، یک بار بر حسب ضریب تاریکی گرانشی، یک بار بر حسب ضریب تاریکی لبه در دماهای مختلف رسم شده است. در این شکل‌ها واضح است که اولاً، اثر این چهار کمیت



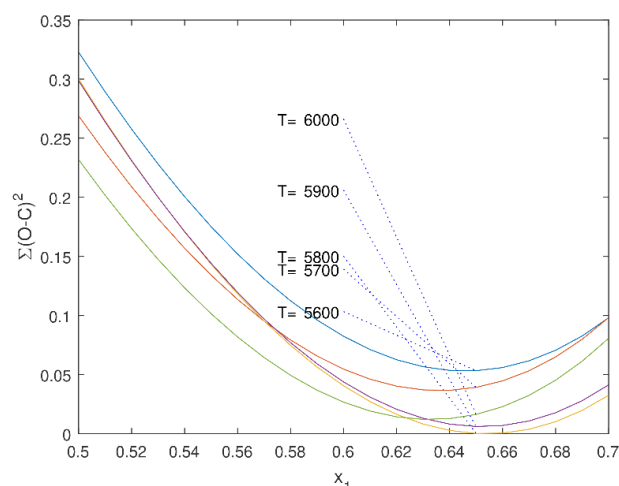
شکل ۳. (رنگی در نسخه الکترونیکی) $\Sigma(O - C)^2$ بر حسب ضریب تاریکی گرانش g_1 در دماهای مختلف.



شکل ۲. (رنگی در نسخه الکترونیکی) $\Sigma(O - C)^2$ بر حسب آلبدو A_1 در دماهای مختلف.

روی منحنی واضح است. ثانیاً، وقتی ضرایب به مقدار دقیق شان نزدیک می شوند منحنی ها به مقدار کمینه شان نزدیک می شوند. برای تأکید بر اثرات مرتبه دوم این چهار بر منحنی سرعت شعاعی، منحنی سرعت شعاعی دوتایی نمونه یکبار با کمیت های دقیق به دست آمده از تحلیل همزمان منحنی نوری و منحنی سرعت شعاعی توسط شنگ و دیگران ۱۹۸۸ [۷] و یک بار با کمیت هایی که از طیف سنجی به دست می آید در شکل ۵ رسم شده است (مقادیر این چهار ضریب در جدول ۱ آورده شده است).

همچنین برای درشت نمایی بیشتر اختلاف این دو منحنی، بخش نزدیک به فاز ۰/۵ منحنی های شکل ۵ را با درشت نمایی در شکل ۶ رسم کرده ایم. کاملاً از این دو شکل مشخص است که برای تحلیل سرعت شعاعی دستگاه های ستارگان دوتایی کافی است برای این چهار ضریب از مقادیر به دست آمده از طیف سنجی استفاده کنیم و کمیت های مجهول در تحلیل سرعت شعاعی ستارگان دوتایی با اثرات مجاورت دو ستاره، فقط پنج کمیت خروج از مرکز مداری e ، نیم قطر اطول مداری (a) با شیب مداری 90° (درجه)، سرعت شعاعی مرکز جرم V_{CM} ، طول حضیض ω ، و پتانسیل سطح Ω است. لازم به ذکر است که یکی از ضرایب اساسی در فایل ورودی کد WD تعیین طول موج صافی مورد استفاده است و باید پس از انتخاب طول موج، ضرایب تاریکی لبه مناسب از جدول ون-هم ۱۹۹۳ [۸] به کار

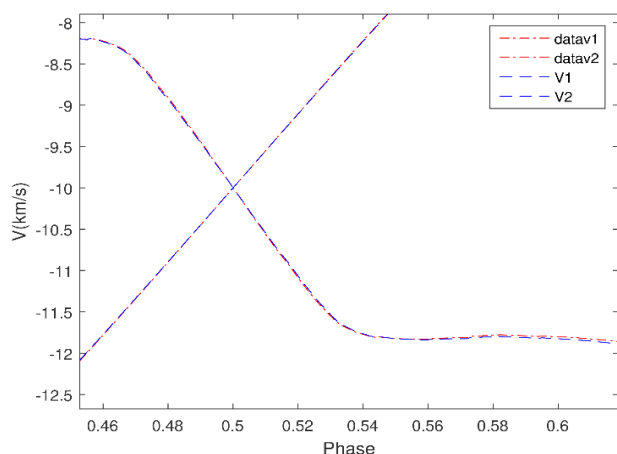


شکل ۴. (رنگی در نسخه الکترونیکی) $\Sigma(O - C)^2$ بر حسب ضریب تاریکی لبه x_1 در دماهای مختلف.

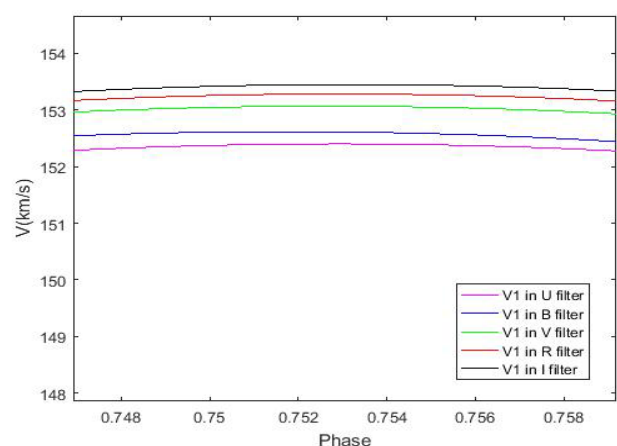
جدول ۱. کمیت های مؤثر بر روشنایی سطحی به دست آمده توسط شنگ و دیگران ۱۹۸۸ [۷]، و به دست آمده از اجرای برنامه بر روی داده های طیف سنجی دستگاه U Peg.

مرجع [۷]	مقادیر به دست آمده در این تحقیق فاصله	کمیت
۵۸۰۰	5750 ± 50	T_1
۰/۲۸۱	0.35 ± 0.01	g_1
۰/۴۹۳	0.50 ± 0.01	A_1
۰/۶۵۴	0.601 ± 0.001	x_1

روی منحنی سرعت شعاعی کوچک است و اثر مرتبه دوم آنها



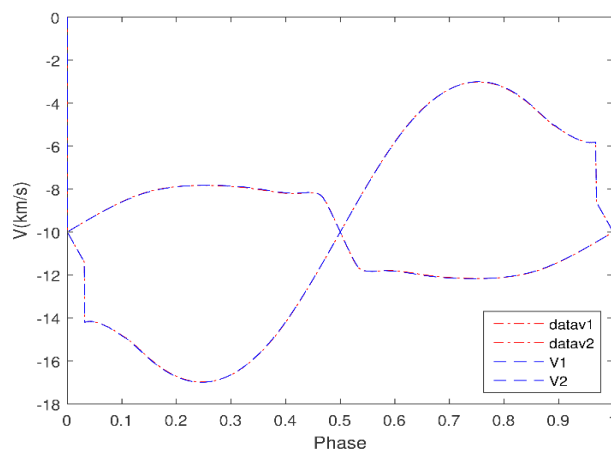
شکل ۶. (رنگی در نسخه الکترونیکی) منحنی‌های سرعت شعاعی دستگاه نمونه که درشت‌نمایی شده بر حسب فاز در اطراف فاز ۰٫۵ رسم شده‌اند. datav_1 و datav_2 منحنی‌های سرعت شعاعی دستگاه نمونه برای ضرایب روشنایی سطحی دقیق محاسبه شده هستند، و V_1 و V_2 منحنی‌های سرعت شعاعی با ضرایب روشنایی سطحی به دست آمده از طیف سنجی هستند.



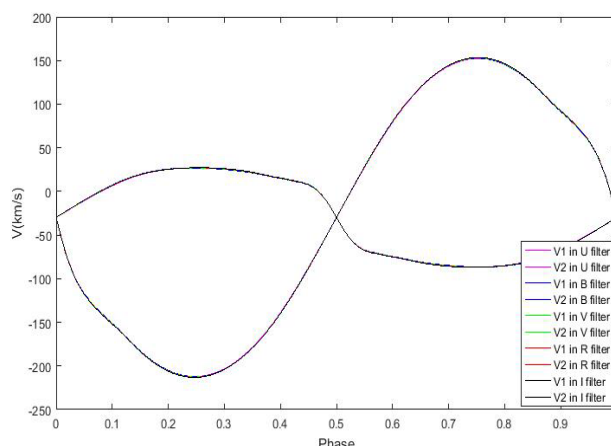
شکل ۸. (رنگی در نسخه الکترونیکی) بخشی از منحنی‌های سرعت شعاعی دوتایی U Peg که در صافی‌های مختلف I, R, V, B, U با درشت‌نمایی زیاد رسم شده است.

انطباق بسیار خوبی برخوردارند. برای بررسی جزئیات بیشتر، در شکل ۸ برای فازهای بین ۰٫۷۴۸ تا ۰٫۷۵۸ این منحنی‌ها با درشت‌نمایی بیشتر رسم شده‌اند که اختلاف کمتر از ۱ کیلومتر بر ثانیه را نشان می‌دهند که می‌تواند ناشی از محاسبات عددی کد WD باشد. از این رو انتخاب صافی می‌تواند به عنوان عامل غیرتأثیرگذار به حساب آید.

پس از امتحان برنامه و تعیین ضرایب اصلی که در تحلیل

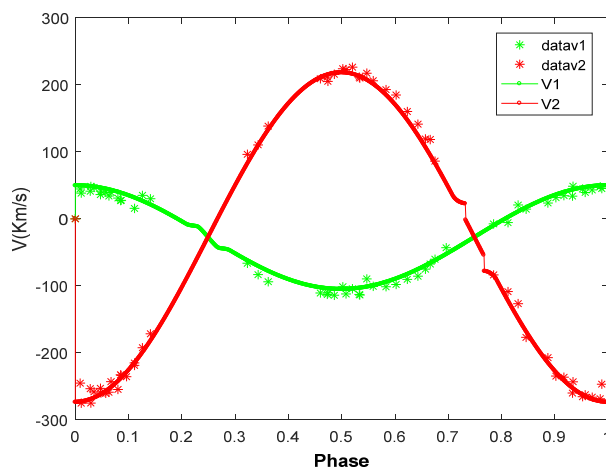


شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) منحنی‌های سرعت شعاعی دستگاه نمونه بر حسب فاز رسم شده‌اند datav_1 و datav_2 منحنی‌های سرعت شعاعی دستگاه نمونه برای کمیت‌های روشنایی سطحی دقیق محاسبه شده هستند، و V_1 و V_2 منحنی‌های سرعت شعاعی با ضرایب روشنایی سطحی به دست آمده از طیف سنجی هستند.



شکل ۷. منحنی‌های سرعت شعاعی دوتایی U Peg که در صافی‌های مختلف I, R, V, B, U رسم شده است.

گرفته شوند. سؤالی که ممکن در اینجا مطرح شود این است که، انتخاب طول موج صافی چقدر می‌تواند در منحنی سرعت شعاعی مؤثر باشد؟ برای بررسی این موضوع کد برای رسم منحنی سرعت شعاعی دوتایی نمونه U Peg در طول موج‌های صافی‌های ماورای فرا بنفش، آبی، مرئی، قرمز و فروسرخ هریک با ضرایب تاریکی لبه مناسب اجرا شد. در شکل ۷ منحنی‌های سرعت شعاعی برای صافی‌های مختلف رسم شده‌اند و نشان می‌دهند که منحنی‌ها از



شکل ۹. (رنگی در نسخه الکترونیکی) منحنی‌های مشاهداتی و محاسباتی سرعت‌های شعاعی ستارگان اولیه و ثانویه بر حسب فاز دستگاه دوتایی U Peg. داده‌های مشاهداتی از [۹] است.

جدول ۲. کمیت‌های مداری و پتانسیل دوتایی گرفتی U Peg.

کمیت	مقادیر به دست آمده در این تحقیق	مرجع [۷]	مرجع [۹]
e	0 ± 0.001	—	—
$a \sin i (R_{\odot})$	2.5 ± 0.1	2.53235 ± 0.0077	2.328 ± 0.010
$V_{CM} (Kms^{-1})$	-29 ± 1	-29.85 ± 0.47	-28.5 ± 1.6
ω	0 ± 10	0	—
$\Omega_1 = \Omega_2$	6.5 ± 0.1	6.5218 ± 0.0025	—
$m_1 \sin^3 i (M_{\odot})$	1.0054 ± 0.0212	—	1.007 ± 0.014
$m_2 \sin^3 i (M_{\odot})$	0.3165 ± 0.0094	—	0.317 ± 0.007

به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ مشخص شده است.

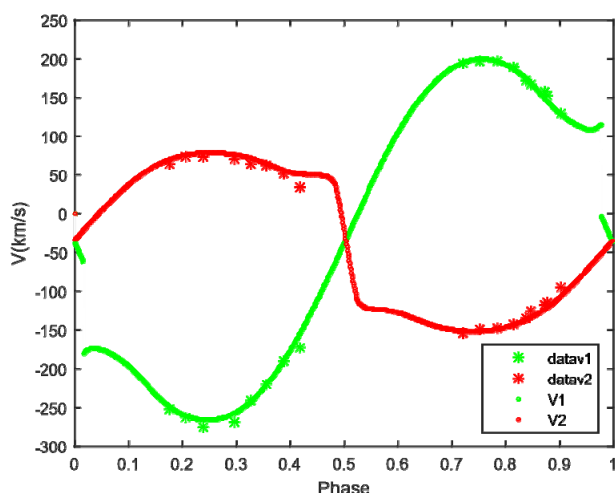
۳. بحث و نتیجه‌گیری

امروزه پیشرفت‌های عظیمی در جمع‌آوری داده‌های نجومی صورت گرفته است، و حجم بالایی از داده‌ها توسط تلسکوپ‌های برنامه‌ریزی شده و خودکار در یک شب دریافت می‌شود. بنابراین، استفاده از روش‌های سریع و قابل اعتماد برای تحلیل داده‌ها ضروری و غیرقابل انکار است. تحلیل داده‌های سرعت شعاعی که توسط طیف سنج‌های دقیق به دست می‌آیند از این قاعده مستثنی نیستند.

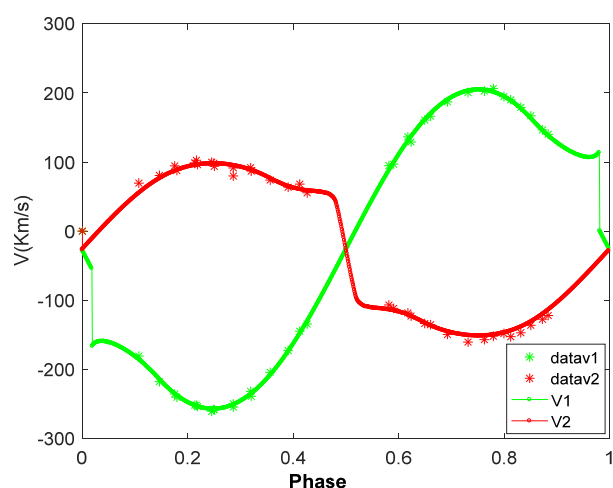
در سال‌های اخیر کوشش‌های زیادی در این خصوص صورت گرفته، شامل روش کمترین مربعات غیرخطی (به عنوان

داده‌های سرعت شعاعی باید مورد نظر باشند، برنامه برای تحلیل داده‌های سرعت شعاعی چند دستگاه دوتایی نزدیک به کار برده شد. ابتدا برنامه برای تحلیل داده‌های سرعت شعاعی دستگاه U Peg که توسط لو [۹] به دست آمده اجرا شد، منحنی داده‌ها و منحنی برازش شده بر آنها در شکل ۹ آورده شده است و کمیت‌های به دست آمده از برنامه نیز در جدول ۲ مشخص است و با کمیت‌های مشابه که دیگران به دست آورده‌اند مقایسه شده است.

در ادامه، برنامه به ترتیب برای دستگاه‌های دوتایی گرفتی، AB And و BD+۴۲۲۷۸۲ اجرا شد. بهترین منحنی‌های منطبق بر داده‌ها در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نمایش داده شده‌اند و کمیت‌های به دست آمده از اجرای برنامه و نتایج تحلیل دیگران



شکل ۱۱. (رنگی در نسخه الکترونیکی) منحنی‌های مشاهداتی و محاسباتی سرعت‌های شعاعی ستارگان اولیه و ثانویه بر حسب فاز دستگاه دوتایی BD+422782. داده‌های مشاهداتی از [۱۱] است.



شکل ۱۰. (رنگی در نسخه الکترونیکی) منحنی‌های مشاهداتی و محاسباتی سرعت‌های شعاعی ستارگان اولیه و ثانویه بر حسب فاز دستگاه دوتایی AB And. داده‌های مشاهداتی از [۱۰] است.

جدول ۳. کمیت‌های مداری و پتانسیل دوتایی گرفتی AB And.

کمیت	مقادیر به دست آمده در این تحقیق	مرجع [۱۲]	مرجع [۱۳]	مرجع [۱۴]
e	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.001	—	0
$a \sin i (R_{\odot})$	2.4 ± 0.1	1.66 ± 0.01	2.3 ± 0.1	—
$V_{CM} (Kms^{-1})$	-27 ± 1	-27 ± 1	-24.6 ± 0.3	—
ω	27 ± 10	220 ± 5	—	0
Ω_1	495414	—	2816 ± 0.009	48492 ± 0.0044
Ω_2	520 ± 0.01	—	2816 ± 0.009	48492 ± 0.0044
$m_1 \sin^3 i (M_{\odot})$	1.0564 ± 0.0148	1.07 ± 0.02	1.002 ± 0.017	—
$m_2 \sin^3 i (M_{\odot})$	0.5912 ± 0.0051	0.61 ± 0.01	0.491 ± 0.009	—

جدول ۴. کمیت‌های مداری و پتانسیل دوتایی گرفتی BD+422782.

کمیت	مقادیر به دست آمده در این تحقیق	مرجع [۱۱]
e	0 ± 0.001	—
$a \sin i (R_{\odot})$	2.7 ± 0.1	2.64
$V_{CM} (Kms^{-1})$	-37 ± 1	-36.7 ± 0.9
ω	0 ± 10	—
$\Omega_1 = \Omega_2$	2.7 ± 0.1	2.7425 ± 0.0025
$m_1 \sin^3 i (M_{\odot})$	1.270 ± 0.0335	1.2276
$m_2 \sin^3 i (M_{\odot})$	0.6023 ± 0.0367	0.596

مثال [۱ و ۲]) و کد rvfit [۳] هر چند، هیچ کدام از این روش‌ها وقتی برای ستارگان دوتایی با اثرات مجاورت به کار می‌روند با تطبیق خوب منحنی محاسباتی بر منحنی مشاهداتی مواجه نیستند. این مسئله را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای حرفه‌ای از قبیل کد ویلسون-دوینی حل کرد. برنامه تحلیل داده‌ها توسط کد ویلسون-دوینی برنامه دقیق و قابل اعتمادی است که توسط منجمین حرفه‌ای توصیه می‌شود، هر چند استفاده معمول از این کد زمان بر است. در این مطالعه، با به کار بردن این کد تحت برنامه MATLAB، و مدیریت اجرای آن به بهره‌برداری زمانی بهتری می‌توان رسید. توانایی برنامه با به کار بردن آن برای منحنی سرعت شعاعی مصنوعی دستگاه دوتایی U Peg آزمایش شد. این آزمایش نشان داد که کاربرد خودکار کد WD در تحلیل منحنی سرعت شعاعی ستارگان دوتایی با اثر مجاورت نتایج خیلی خوبی دارد و این کد قادر است تا چهار کمیت اصل مداری دستگاه دوتایی و چهار پارامتر مربوط به روشنایی سطحی و علاوه بر آنها کمیت مهم پتانسیل سطحی ستاره‌ها را تعیین کند. بررسی‌ها نشان دادند چهار کمیت مربوط به روشنایی سطحی تأثیر مرتبه دومی بر منحنی سرعت شعاعی دارند و مقادیری که از طیف‌سنجی قابل استحصال هستند برای تعیین منحنی سرعت شعاعی از دقت کافی برخوردارند و تعیین مجدد آنها با دقت مضاعف ضرورتی ندارد. در نتیجه، این برنامه برای تحلیل داده‌های سرعت شعاعی سه دستگاه AB And, U Peg و BD+۴۲۲۷۸۲ مورد استفاده قرار گرفت و پنج ضریب خروج از مرکز، حاصلضرب نیم قطر اطول و سینوس شیب مداری، طول حضیض، سرعت مرکز جرم دستگاه و پتانسیل سطحی ستاره‌ها استخراج و با نتایج دیگران مقایسه شد.

برای دوتایی نزدیک U Peg اثر مجاورت را می‌توان در شکل ۷ مشاهده نمود. همان گونه که در جدول ۲ مشخص است asini، این تحلیل با مقدار به دست آمده در [۷] سازگاری

دارد ولی کمی از مقدار گزارش شده توسط لو [۹] متفاوت است. سایر مقادیر به دست آمده از این تحلیل با مقادیر سایرین تقریباً یکسان هستند. بررسی نتایجی که برای دستگاه AB And در جدول ۳ آمده نشان می‌دهد که خروج از مرکز e و سرعت مرکز جرم V_{CM} ، با مقدار گزارش شده توسط کرمی و دیگران [۱۲] سازگاری عالی دارد، asini نزدیک به نتایج گزارش شده توسط هریونک [۱۳] است اما با مقدار گزارش شده توسط کرمی و دیگران [۱۲] متفاوت است. مقدار طول حضیض w ، کوچک‌تر از مقدار گزارش شده توسط کرمی و دیگران [۱۲] است. علت اختلاف پتانسیل گزارش شده توسط لی و دیگران [۱۴] با هریونک [۱۳] در نسبت جرمی است که آنها انتخاب کرده‌اند؛ مقادیر انتخابی آنها عکس یکدیگر است. بررسی‌های ما نشان می‌دهد که مقدار انتخابی توسط لی و دیگران [۱۴] درست است. اما این که چرا مقادیر پتانسیل تعیین شده ما با لی و دیگران [۱۴] اندکی متفاوت است در مد انتخابی برای دستگاه AB And است که لی و دیگران [۱۴] آن را تماسی و ما به دلیل اخطار برنامه و این که برای آن خروج از مرکز به دست آورده‌ایم، نیمه جدا در نظر گرفته‌ایم. جدول ۴ ضرایب مربوط به دستگاه دوتایی با مدار دایره‌ای BD+۴۲۲۷۸۲ را مشخص می‌کند. در این جدول asini به مقدار گزارش شده توسط لو [۱۱] نزدیک است، سایر مقادیر نیز با مقادیر گزارش شده او هماهنگ است.

در منحنی‌های شکل‌های ۱۰ و ۱۱ اثر مجاورت کاملاً مشهود است و منحنی ساخته شده با داده‌های مشاهداتی تطبیق بهتری نسبت به روش‌های دیگر دارد.

بدین ترتیب نشان داده شد که روش ارائه شده نه تنها می‌تواند کمیت‌های معمول مداری را با دقت خوبی از داده‌های سرعت شعاعی استخراج کند بلکه ضریب بسیار تعیین کننده و مهم پتانسیل سطحی ستاره‌های دستگاه دوتایی را نیز به دست آورد.

مراجع

۱. ک کرمی و ر مجبی، مجله پژوهش فیزیک ایران ۹، ۳ (۱۳۸۸) ۲۹۳.
2. K Karami, R Mohebi, and M M Soltanzadeh, *Australia Post Superannuation Scheme* **318** (2008) 69.
3. R Iglesias-Marzoa, M Lopez-Morales, and M J Arevalo Morales, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **127** (2015) 567.
4. J Kallrath and E F Milone, "Eclipsing Binary Stars Modeling and Analysis", Springer Verlag New York (1999) 122.
5. F Schlesinger, *Publ. Allegheny Obs. Univ. of Pittsburgh* **1** (1909) 123.
6. W Van-Hamme and R E Wilson, *Astrophysical Journal* **661** (2007) 1129.
7. Z D Sheng, LW Xiao, and Z X Yu, *Australia Post Superannuation Scheme* **146** (1988) 1.
8. W Van-Hamme, *Astronomical Journal* **106** (1993) 2096.
9. W Lu, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **97** (1985) 1086.
10. W Pych, S M Rucinski, H DeBond, J R Thomson, C. C Capobianco, R M Blake, W Ogłóza, G Stachowski, P Rogoziecki, P Ligeza, and K Gazeas, *Astronomical Journal* **127** (2004) 1712.
11. W Lu, B J Hrivank, and B W Rush, *Astronomical Journal* **133** (2007) 255.
12. K Karami, K Ghaderi, R Mohebi, R Sadeghi, and M M Soltanzadeh, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **26** (2009) 121.
13. B J Hrivank, *Astrophysical Journal* **333** (1988) 319.
14. K Li, S M Hu, Y G Jiang, X Chen, and D Y Ren, *Nature* **30** (2014) 64.