

محاسبه دوره تناوب ستاره‌های متغیر دلتا اسکوتی با استفاده از تکنیک تناوب‌نگار

لمب-اسکارگل تعمیم یافته

فاطمه عزیزی^{۱*} و محمدتقی میرترابی^۲

۱. استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه فیزیک، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران

(دریافت: ۹۶/۱۱/۳، پذیرش نهایی: ۹۷/۱۰/۱۱)

چکیده

هدف اصلی این مقاله بررسی کارایی تکنیک تناوب‌نگار لمب-اسکارگل تعمیم یافته برای تعیین دوره تناوب سیستم‌های متغیر از جمله ستاره‌های دلتا اسکوتی می‌باشد. برای این منظور از داده‌های نورسنجی رصد خانه لاسیا در شیلی برای ستاره متغیر از نوع دلتا اسکوتی با نام HD223338 BS Aqr و نوع طیفی A8III که بازه زمانی ۳۰ سپتامبر تا ۶ نوامبر ۱۹۸۳ را پوشش می‌دهد استفاده شده است. در تحقیقات قبلی، دوره تناوب تپش‌های این ستاره اکثراً ۰/۱۹۷۸ روز گزارش شده است. در این کار با استفاده از تکنیک لمب-اسکارگل تعمیم یافته، دوره تناوب تپش این ستاره ۰/۱۹۷۷ روز به دست آمده است که در توافق بسیار خوبی با نتایج به دست آمده از سایر روش‌ها برای تعیین دوره تناوب این ستاره است. در واقع نتایج مان تأیید کننده کارایی تکنیک تناوب‌نگار لمب-اسکارگل تعمیم یافته در تعیین دوره تناوب ستاره‌های متغیر دلتا اسکوتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ستاره متغیر، دوره تناوب، تکنیک تناوب‌نگار، دلتا اسکوتی‌ها.

۱. مقدمه

قدر را از خود نشان می‌دهند (رودریگز و برگر، ۲۰۰۱). این ستاره‌ها در دو مد شعاعی و غیر شعاعی می‌تپند و به دلایل فراوانی از لحاظ اخترفیزیکی مهم هستند. از آنجاکه داخل ستاره در دسترس نیست، ویژگی‌های مشاهده‌ای این گروه از ستاره‌ها برای ارزیابی ساختار داخلی ستاره‌ها بسیار مهم هستند. تعدادی از آنها بهترین هدف برای لرزه‌نگاری ستاره‌ای هستند. بدین صورت که از تپش‌های یک ستاره برای مطالعه ساختار داخلی ستاره‌ها استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که این گروه از ستاره‌ها بر اساس دو ویژگی طبقه‌بندی می‌شوند: ۱. دامنه تپش ۲. فراوانی فلزیت.

ستاره‌های دلتا اسکوتی بزرگ دامنه دارای دامنه‌های بالای ۰/۱ قدر مریخی و ستاره‌های کم دامنه با دامنه‌های کوچک‌تر از این هستند. ستاره‌های بزرگ دامنه تمایل به تپش‌های شعاعی دارند. آنها همچنین تمایل به تحول در رسیدن به بالای رشته اصلی در شاخه زیر غول دارند. ستاره‌های دلتا اسکوتی با فراوانی خورشید، جرم‌هایی بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر جرم خورشید و ستاره‌های دلتا اسکوتی

بسیاری از فرآیندهای نجومی تناوبی هستند و آنالیز فوریه بهترین راه برای توصیف دوره‌ای بودن آنها است. به دلیل ماهیت نجومی رصدی، داده‌هایی که تحلیل می‌شوند معمولاً دارای فواصل زمانی غیریکنواخت‌اند و اغلب شامل مقادیر بزرگی از نویز تصادفی (و حتی غیرتصادفی) هستند. یکی از روش‌های مطرح برای بررسی دوره تناوب در مجموعه‌ای از داده‌های غیرهمگن، تناوب‌نگار ارائه شده توسط اسکارگل است که به تناوب‌نگار لمب-اسکارگل معروف است (اسکارگل، ۱۹۸۲). در واقع یک ابزار کاربردی جامع در تحقیقات دوره تناوب و تحلیل فرکانس سری‌های زمانی است.

۱-۲. ستاره‌های متغیر دلتا اسکوتی

ستاره‌های دلتا اسکوتی در بخش پایین نوار ناپایداری در نمودار HR روی رشته اصلی با رده درخشندگی بین III تا V قرار گرفته‌اند. دوره تناوب تپش آنها بین ۰/۰۲ تا ۰/۲۵ روز است (برگر، ۲۰۰۰). بسیاری از این ستاره‌ها دوره تناوب‌های چندتایی با دامنه کوچک کمتر از ۰/۱

کم‌فلز، جرمی بین ۱ تا ۲ برابر جرم خورشید دارند.

۲. روش کار و محاسبه

۱-۲. تناوب‌نگار لمب-اسکارگل

تناوب‌نگار لمب-اسکارگل ابزاری متداول در تحلیل فرکانس داده‌های غیریکنواخت معادل با برازش حداقل مربعات امواج سینوسی به شکل $y = a \cos \omega t + b \sin \omega t$ است. معادله این تناوب‌نگار توسط برزینگ (۱۹۶۳)، لمب (۱۹۷۶) و اسکارگل (۱۹۸۲) ارائه شده است. برای یک سری زمانی (y_i, t_i) با میانگین صفر $\bar{y} = 0$ ، تناوب‌نگار لمب-اسکارگل به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\hat{P}(\omega) = \frac{1}{\sum y_i^2} \left\{ \begin{array}{l} \frac{[\sum y_i \cos \omega(t_i - \hat{t})]^2}{\sum \cos^2 \omega(t_i - \hat{t})} + \\ \frac{[\sum y_i \sin \omega(t_i - \hat{t})]^2}{\sum \sin^2 \omega(t_i - \hat{t})} \end{array} \right\} \quad (1)$$

که پارامتر \hat{t} از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\tan 2\omega\hat{t} = \frac{\sum \sin 2\omega t_i}{\sum \cos 2\omega t_i} \quad (2)$$

که در آن ω فرکانس است.

دو اشکال در این تعریف وجود دارد: نخست اینکه تناوب‌نگار لمب-اسکارگل، خطاهای اندازه‌گیری را به حساب نمی‌آورد. این مشکل با معرفی مجموع وزنی حل شده است (جیلیند و بالیناس، ۱۹۸۷) و (ایروین و همکاران، ۱۹۸۹). دوم اینکه برای تحلیل، میانگین داده‌ها کسر شده است، یعنی فرض می‌شد میانگین داده‌ها با میانگین تابع سینوسی برازش شده یکسان است. افزودن یک ثابت c به معادله موج سینوسی برازش یافته به صورت $y = a \cos \omega t + b \sin \omega t + c$ این مشکلات را حل می‌کند. این تصحیحات منجر به یک تعمیم در این تناوب‌نگار شد، که تناوب‌نگار لمب-اسکارگل تعمیم یافته (GLS) نام گرفته است. لازم به ذکر است هنگامی که تعداد مشاهدات کم یا اینکه نمونه ناهموار و یا مدت زمان کمیت مورد اندازه‌گیری (دوره تناوب ها) طولانی‌تر از مدت زمان مشاهدات باشد، روش لمب-اسکارگل ضعیف‌تر نیز

می‌شود (کامینگ و همکاران، ۱۹۹۹).

راه‌حل تحلیلی برای تناوب‌نگار GLS توسط زکمایستر و کرسر (۲۰۰۹) با استفاده از روش لمب (۱۹۷۶) انجام شد. اگر y_i ، N اندازه‌گیری یک سری زمانی در زمان t_i و با خطای σ_i باشد، با برازش یک تابع سینوسی کامل به شکل:

$$y = \cos \omega t + b \sin \omega t + c \quad (3)$$

در یک فرکانس ω ، اختلاف مربعات بین داده‌های y_i و تابع مدل $y(t)$ به صورت زیر خواهد بود:

$$\chi^2 = \sum_i^N \frac{[y_i - y(t_i)]^2}{\sigma_i^2} = W \sum \omega_i [y_i - y(t_i)]^2 \quad (4)$$

که

$$\omega_i = \frac{1}{W} \frac{1}{\sigma_i^2} \quad (W = \sum \frac{1}{\sigma_i^2} \quad \sum \omega_i = 1) \quad (5)$$

وزن‌های بهنجار شده هستند. برای مینیم شدن χ^2 ، مشتق‌های جزئی χ^2 نسبت به ضرایب a ، b و c باید صفر شوند، بنابراین خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} 0 &= \partial_a \chi^2 = 2W \sum \omega_i [y_i - y(t_i)] \cos \omega t_i \\ 0 &= \partial_b \chi^2 = 2W \sum \omega_i [y_i - y(t_i)] \sin \omega t_i \\ 0 &= \partial_c \chi^2 = 2W \sum \omega_i [y_i - y(t_i)] \end{aligned} \quad (6)$$

این سه شرط منجر به سه معادله خطی می‌شوند که از طریق آنها ضرایب a و b به دست می‌آید. دامنه بهترین تابع سینوسی برازش یافته در فرکانس ω به وسیله $\sqrt{a^2 + b^2}$ داده می‌شود. با استفاده از معادلات مربوط به شرط مینیم بودن χ^2 ، رابطه (۶)، خواهیم داشت:

$$\sum \omega_i [y_i - y(t_i)] y(t_i) = 0 \quad (7)$$

با جای‌گذاری رابطه (۷) در معادله (۴)، مینیم χ^2 به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\chi^2}{W} = \sum \omega_i [y_i - y(t_i)] y_i \quad (8)$$

سپس با استفاده از مینیم χ^2 که به واحد بهنجار شده است، تابع طیف توان، $P(\omega)$ ، به صورت تابعی از فرکانس ω که به واحد بهنجار شده، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$P(\omega) = \frac{1}{\sum \omega_i y_i^2 - (\sum \omega_i y_i)^2} \left[\frac{(\sum \omega_i y_i \cos \omega(t_i - \tau) - \sum \omega_i y_i \sum \omega_i \cos \omega(t_i - \tau))^2}{\sum \omega_i \cos^2 \omega(t_i - \tau) - (\sum \omega_i \cos \omega(t_i - \tau))^2} + \frac{(\sum \omega_i y_i \sin \omega(t_i - \tau) - \sum \omega_i y_i \sum \omega_i \sin \omega(t_i - \tau))^2}{\sum \omega_i \sin^2 \omega(t_i - \tau) - (\sum \omega_i \sin \omega(t_i - \tau))^2} \right] \quad (9)$$

اسکارگل تعمیم یافته هستیم. در واقع هدف اصلی بررسی کارایی این تکنیک در مطالعه دوره تناوب ستاره‌های متغیر دلنا اسکوتی می‌باشد.

۳. اندازه‌گیری، نتایج و بحث

۳-۱. تعیین دوره تناوب یک ستاره دلنا اسکوتی با

تناوب‌نگار لمب-اسکارگل؛ تعمیم یافته ستاره BS Aqr برای سنجش کارایی تناوب‌نگار لمب-اسکارگل تعمیم یافته در تعیین دوره تناوب ستارگان متغیر، ستاره متغیر و بزرگ دامنه از گروه دلنا اسکوتی‌ها با نام BS Aqr (HD223338) و نوع طیفی A8III را به عنوان نمونه انتخاب کردیم. دوره تناوب خیلی کوتاه (۰/۲-۰/۱ روز)، دامنه‌هایی با قدر کمتر از ۰/۹ و منحنی نوری تقریباً سینوسی از ویژگی‌های مهم این ستاره است.

متغیر بودن این ستاره توسط هافمیستر (۱۹۳۱) کشف شد و آن را در گروه متغیرهای غیرمنظم طبقه‌بندی کرد. در طی دو دهه بعد از این کشف، افرادی این ستاره را رصد کردند و نتایج آنها منجر به تفسیرهای متفاوتی از طبیعت تغییرپذیر آن شد. سرانجام، اسپینارد (۱۹۵۹) این ستاره را بر اساس مشاهدات نورسنجی اش، در گروه متغیرهای دلنا اسکوتی با دوره تناوب بسیار کوتاه طبقه‌بندی کرد. بعد از آن، مشاهدات جدید دیگری از این ستاره با استفاده از سیستم‌های نورسنجی متفاوتی از جمله جانسون و اشترومگرن انجام پذیرفت. به عنوان مثال لانگک فورد (۱۹۷۶) با استفاده از سیستم نورسنجی اشترومگرن این ستاره را رصد کرد و دریافت که این ستاره یک تپنده تک دوره تناوب است. رودریگز و همکاران (۱۹۹۴) این ستاره را یک دلنا اسکوتی بلنددامنه با دوره تناوب ۰/۱۹۷۸ روز معرفی کردند.

در مجموع تفسیرهای متفاوتی برای تغییرات دوره تناوب

که در آن τ به صورت زیر تعیین شده است:

$$\tan 2\omega\tau = \frac{2CS}{CC - SS} = \frac{\sum \omega_i \sin 2\omega t_i - 2 \sum \omega_i \cos \omega t_i \sum \omega_i \sin \omega t_i}{\sum \omega_i \cos 2\omega t_i - [(\sum \omega_i \cos \omega t_i)^2 - (\sum \omega_i \sin \omega t_i)^2]} \quad (10)$$

$P(\omega)$ در بازه $0 \leq P \leq 1$ تغییر می‌کند که $P = 0$ بیانگر عدم برازش و $P = 1$ برازش کامل تابع مدل $y(t)$ بر روی داده‌ها است. به بیان واضح‌تر، تناوب‌نگار، طیف توان را برای سیگنال‌های ورودی محاسبه می‌کند. فرکانس مربوط به بلندترین پیک در این تابع، فرکانس درست است. هر چقدر ارتفاع پیک به یک نزدیک‌تر باشد، فرکانس خروجی از دقت بالاتری برخوردار است. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید تنها تفاوت تناوب‌نگار GLS با تناوب‌نگار لمب-اسکارگل در این است که آن به برازش یک موج سینوسی کامل، شامل یک ثابت و یک تابع وزن تعمیم داده می‌شود. در تحقیقات قبلی مان، کارایی این تکنیک در سنجش تغییرات زمانی سری‌های ناهمگن در تعیین دوره تناوب فعالیت ستاره‌های خورشیدگون نیز بررسی شده است (عزیزی و میرترابی، ۲۰۱۸). در آن بررسی از شاخص ابداعی خودمان در ناحیه مرئی که ما آن را شاخص B نامیدیم استفاده کردیم (بیداران و همکاران، ۲۰۱۶). این شاخص خط طیفی اکسید تیتانیوم در ۵۶۷ نانومتر را اندازه‌گیری می‌کند. با اندازه‌گیری شاخص B برای تمامی طیف‌های مجموعه‌ای از ستاره‌های خورشیدگون و سپس محاسبه تناوب‌نگار GLS به بررسی و تعیین چرخه فعالیت ستاره‌های منتخب پرداخته شد (عزیزی و میرترابی، ۲۰۱۸).

در این مقاله ما به دنبال تعیین دوره تناوب یک ستاره متغیر از گروه دلنا اسکوتی‌ها با استفاده از تکنیک لمب-

اسکارگل تعمیم‌یافته دارای ماکزیمی در ۰/۱۹۷۷ روز می‌باشد که این بیانگر برازش تابع سینوسی مدل بر روی سری زمانی است. نتیجه به‌دست آمده در توافق خوبی با سایر نتایج به‌دست آمده از دیگران برای این ستاره است.

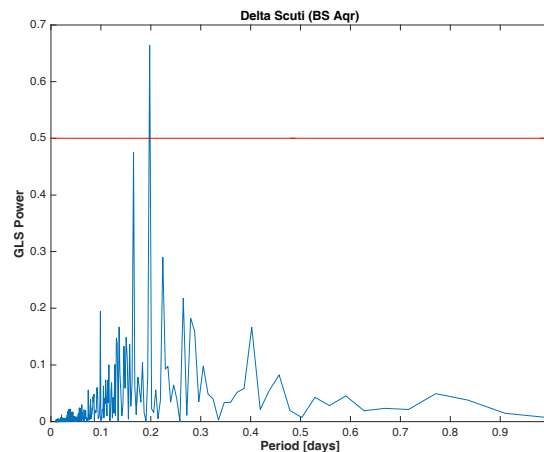
۴. نتیجه‌گیری

حال برای سنجش اعتبار ارتفاع پیک در تناوب‌نگار، از تراز FAP استفاده می‌کنیم (استاراک و اسکارگل، ۲۰۱۰). ما پیک تناوب‌نگار به‌دست آمده از تناوب‌نگار لمب-اسکارگل تعمیم‌یافته را زمانی معتبر می‌دانیم که از تراز FAP یک درصد تجاوز کند که به‌معنی آن است که پیک مشاهده شده در طیف توان به احتمال ۹۹ درصد معتبر است و نمی‌تواند مربوط به نویز گاوسی باشد. تراز FAP را ابتدا به کمک شبیه‌سازی مونت کارلو، با تولید تعدادی داده با توزیع نرمال (گاوسی) و با همان بازه‌های زمانی داده‌های رصدی و سپس با محاسبه تناوب‌نگار لمب-اسکارگل تعمیم‌یافته برای این داده‌های نویزی تعیین کردیم. این تناوب‌نگار پیکی در ۰/۵ دارد که در شکل ۱ با رنگ قرمز نشان داده شده است. بنابراین ارتفاع تمامی پیک‌هایی که در داده‌های تجربی از تراز ۰/۵ کوچک‌تر هستند نمی‌توانند نشان‌دهنده حضور یک سیگنال باشند.

این ستاره ارائه شده است، از جمله کاهش پیوسته دوره‌تناوب این ستاره می‌تواند به‌علت کاهش ذاتی به‌همراه اثر نور-زمان ناشی از یک سیستم دوتایی باشد (فو و همکاران، ۱۹۹۷) و یا به جهت قرارگیری ستاره در نوار ناپایداری نمودار HR و اساساً به‌علت تحول ستاره‌ای باشد (رودریگز و همکاران، ۱۹۹۸)، (رودریگز و همکاران، ۱۹۹۵)، (الست، ۱۹۸۶) و (یانگ و همکاران، ۱۹۹۳). رودریگز و همکاران (۱۹۹۸) با استفاده از مطالعات نورسنجی اشترومگرن نشان دادند که این ستاره دارای فراوانی خورشید و از گروه ستاره‌های دلتا اسکوتی با تپش‌های شعاعی با دوره‌تناوب مشخص ۰/۱۹۷۸۲ روز می‌باشد.

میلان و همکاران (۱۹۸۶) در طی بازه رصدی حدوداً ۴۰ روزه، با دستورالعمل برازش و بررسی تغییرات منحنی نوری این ستاره و با رصد مداوم ۲۰۰ دوره‌تناوب در نهایت دوره‌تناوب ۰/۱۹۷۸۲۲۷۷۶ روز را گزارش کردند. ما با استفاده از تکنیک لمب-اسکارگل تعمیم‌یافته، تغییرات سری زمانی این ستاره را بررسی کردیم. برای این هدف از داده‌های نورسنجی رصدخانه لاسیا واقع در شیلی که بازه زمانی ۳۰ سپتامبر تا ۶ نوامبر ۱۹۸۳ را پوشش می‌دهد، استفاده کردیم (جدول پیوست). سپس تناوب‌نگار این سری زمانی را با تکنیک لمب-اسکارگل تعمیم‌یافته محاسبه کردیم.

همان‌گونه که از شکل ۱ پیداست تناوب‌نگار لمب-



شکل ۱. تناوب‌نگار لمب-اسکارگل تعمیم‌یافته برای سری زمانی ستاره BS Aqr. خط قرمز نشان‌دهنده FAP یک درصد است.

به‌دست آمده از سایر روش‌ها برای تعیین دوره تناوب این ستاره می‌باشد که بیانگر قابلیت روش تناوب‌نگار لمب-اسکارگل تعمیم‌یافته در بررسی تغییرات نوری ستاره‌های متغیر است.

مراجع

- Azizi, F. and Mirtorabi, M. T., 2018, A survey of $\text{TiO}\lambda 567$ nm absorption in solar-type, MNRAS, 475, 2253–2268.
- Bidaran, B., Mirtorabi, M. T. and Azizi, F., 2016, A new titanium oxide index in the visual band, MNRAS, 2043-2047.
- Breger, M., 2000, Delta Scuti Star (Review), ASP Conference Series, 210, 3.
- Burning, F. J. M., 1963, Bull. Astr. Inst. Netherlands, 17, 22.
- Cumming, A., Marcy, G. W. and Butler, R. P., 1999, The Lick Planet Search: Detectability and Mass Thresholds, ApJ, 526, 890.
- Elst, E. W., 1986, On the light curve of BS Aquarii, Acta Astron. 36, 405.
- Jian-Ning, Fu., Shi-Yang, Jiang., Sheng-Hong, Gu., Yu-Lei, Qiu., 1997, Has the delta Scuti star BS Aqr a companion?, IBVS, No. 4518.
- Gilliland, R. L. and Baliunas, S. L., 1987, Objective characterization of stellar activity cycles. I - Methods and solar cycle analyses, ApJ, 314, 766.
- Hoffmeister, C., 1931, 316 neue Veränderliche, Astron. Nachr. 242, 129.
- Irwin, A. W., Campbell, B., Morbey, C. L., Walker, G. A. H. and Yang, S., 1989, Long-period radial-velocity variations of Arcturus, PASP, 101, 147.
- Langford, W. R., 1976, Ph.D. Thesis, Brigham Young University.
- Lomb, N. R., 1976, Least-squares frequency analysis of unequally spaced data, Ap. Space Sci., 39, 447.
- Meylan, G., Burki, G., Rufener, F., Mayor, M., Burnet, M. and Ischi, E., 1986, RR Lyrae, Delta Scuti, SX Phoenicis stars and Baade-Wesselink method. I - Photometric and radial velocity measurements of four field stars - RR Cet, DX Del, BS AQR and DY Peg, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 64, 25-51.
- Rodriguez, E. and Breger, M., 2001, delta Scuti and related stars: Analysis of the R00 Catalogue, A&A, 366,178.
- Rodriguez, E., Gonzalez-Bedolla, S. F. and Lopez-Gonzalez, M. J., 1998, Stroemgren photometric study of BS AQR, Astron. Astrophys., 336, 911–914.
- Rodriguez, E., Lopez de Coca, P., Rolland, A., Garrido R. and Costa, V., 1994, δ Scuti stars: a new revised list, A&AS, 106, 21.
- Rodriguez, E., Lopez de Coca, P., Costa, V. and Martin, S., 1995, Period change and evolution in the lower part of the instability strip, Astron. Astrophys., 299, 108-114.
- Scargle, J. D., 1982, Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data, ApJ, 263, 835-853.
- Spinrad, D., 1959, Photoelectric Observations of RR Lyrae Stars, ApJ, 130, 539.
- Sturrock, P. A. and Scargle, J. D., 2010, False-alarm Probability in Relation to Oversampled Power Spectra, with Application to Super-Kamiokande Solar Neutrino Data, ApJ, 718, 527.
- Yang, D., Jiang, S., Tang, Q. and Wang, H., 1993, The Rates of Period Change in BS Aqr and DY Her, Inf. Bull. Var. Stars, No. 383.
- Zechmeister M. and Kurster M., 2009, The generalised Lomb-Scargle periodogram. A new formalism for the floating-mean and Keplerian periodograms, 496, 577.

با توجه به این توضیحات، تناوب‌نگار ستاره BS Aqr که در شکل ۱ نشان داده‌ام دارای یک پیک قابل قبول است که در ۰/۱۹۷۷ روز قرار دارد. سایر پیک‌ها همگی در زیر خط تراز FAP هستند. با این روش اعتبار دوره تناوب ۰/۱۹۷۷ روز برای این ستاره نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌گونه که پیداست نتیجه‌مان در توافق خوبی با نتایج

جدول پیوست. داده‌های نورسنجی ستاره BS Aqr

Star name:	BS Aqr						
HJD(days)	V(mag)	HJD(days)	V(mag)	HJD(days)	V(mag)	HJD(days)	V(mag)
5607.732	9.544	5612.77	9.322	5625.52	9.594	5637.631	9.294
5607.735	9.535	5612.772	9.329	5625.522	9.609	5637.634	9.249
5607.737	9.522	5613.522	9.15	5625.525	9.593	5637.636	9.223
5607.74	9.497	5613.524	9.161	5625.528	9.592	5637.639	9.193
5607.743	9.484	5613.527	9.164	5625.53	9.598	5637.641	9.169
5607.746	9.453	5613.53	9.174	5625.532	9.582	5637.644	9.151
5607.748	9.42	5613.532	9.184	5625.534	9.572	5637.646	9.141
5607.751	9.394	5613.535	9.2	5625.537	9.565	5637.649	9.144
5607.754	9.37	5613.538	9.209	5625.54	9.552	5637.651	9.143
5607.756	9.33	5613.54	9.224	5625.542	9.532	5637.654	9.149
5607.759	9.304	5613.543	9.234	5625.545	9.513	5637.656	9.158
5607.762	9.268	5613.546	9.246	5625.547	9.495	5637.659	9.163
5608.606	9.269	5613.548	9.257	5625.55	9.469	5637.661	9.171
5608.609	9.282	5613.551	9.271	5625.558	9.379	5637.664	9.176
5608.611	9.296	5613.554	9.285	5625.56	9.355	5637.673	9.215
5608.614	9.316	5613.556	9.289	5625.563	9.327	5637.676	9.231
5608.617	9.323	5613.559	9.3	5625.566	9.287	5637.678	9.239
5608.62	9.336	5613.561	9.317	5625.568	9.265	5637.681	9.255
5608.622	9.356	5613.662	9.285	5625.571	9.211	5637.683	9.261
5608.625	9.363	5616.665	9.255	5625.573	9.19	5637.686	9.275
5608.627	9.378	5616.667	9.211	5625.576	9.165	5637.689	9.287
5608.63	9.382	5616.67	9.186	5625.578	9.159	5637.691	9.299
5608.633	9.393	5616.673	9.16	5625.581	9.155	5637.694	9.317
5608.636	9.405	5616.675	9.149	5625.583	9.146	5637.697	9.326
5608.645	9.427	5616.678	9.135	5625.586	9.154	5637.699	9.347
5608.647	9.425	5616.681	9.138	5625.588	9.155	5637.702	9.355
5608.65	9.428	5616.633	9.143	5625.591	9.171	5637.705	9.37
5608.653	9.449	5616.686	9.145	5625.599	9.202	5637.707	9.381
5608.655	9.444	5616.688	9.157	5625.603	9.208	5637.71	9.401
5608.658	9.453	5616.691	9.17	5625.606	9.219	5637.713	9.395
5608.664	9.468	5616.694	9.18	5625.608	9.232	5637.715	9.417
5608.667	9.469	5616.696	9.188	5625.611	9.245	5637.718	9.41
5608.669	9.475	5616.699	9.193	5625.613	9.258	5637.72	9.427
5608.672	9.482	5616.708	9.231	5625.616	9.272	5637.723	9.432
5608.674	9.492	5616.711	9.248	5625.618	9.275	5637.726	9.444
5608.677	9.505	5616.714	9.256	5625.621	9.284	5637.728	9.46
5608.68	9.495	5616.716	9.278	5625.623	9.293	5637.731	9.436

ادامه جدول.

Star name:	BS Aqr						
HJD(days)	V(mag)	HJD(days)	V(mag)	HJD(days)	V(mag)	HJD(days)	V(mag)
5608.683	9.521	5616.719	9.289	5625.626	9.316	5644.524	9.574
5608.685	9.53	5616.722	9.3	5625.629	9.335	5644.527	9.57
5608.688	9.533	5616.724	9.321	5625.631	9.341	5644.53	9.541
5608.699	9.569	5620.53	9.456	5625.634	9.357	5644.532	9.534
5608.702	9.566	5620.533	9.455	5625.642	9.378	5644.535	9.502
5608.704	9.575	5620.535	9.468	5625.644	9.4	5644.537	9.488
5608.707	9.582	5620.538	9.472	5625.647	9.408	5644.54	9.468
5608.71	9.572	5620.542	9.476	5625.649	9.413	5644.542	9.446
5608.712	9.573	5620.547	9.494	5625.652	9.42	5644.545	9.413
5608.715	9.572	5620.55	9.504	5625.654	9.436	5644.547	9.397
5608.717	9.562	5620.552	9.522	5625.657	9.43	5644.556	9.265
5608.739	9.416	5620.555	9.526	5625.66	9.437	5644.559	9.243
5608.742	9.381	5620.557	9.532	5625.662	9.457	5644.561	9.21
5608.744	9.357	5620.56	9.535	5625.665	9.448	5644.564	9.18
5608.747	9.316	5620.563	9.548	5625.667	9.458	5644.567	9.16
5608.75	9.283	5620.565	9.552	5625.67	9.451	5644.569	9.145
5608.752	9.255	5620.568	9.56	5625.672	9.462	5644.572	9.139
5608.755	9.215	5620.57	9.562	5625.675	9.468	5644.574	9.145
5608.758	9.186	5620.573	9.566	5625.633	9.492	5644.577	9.143
5608.76	9.161	5620.589	9.555	5625.636	9.491	5644.579	9.152
5608.763	9.156	5620.592	9.54	5625.638	9.5	5644.582	9.153
5608.765	9.142	5620.594	9.538	5625.691	9.5	5644.585	9.16
5608.768	9.138	5620.597	9.523	5625.693	9.523	5644.587	9.173
5608.771	9.151	5620.599	9.493	5625.696	9.535	5644.59	9.194
5608.774	9.159	5620.602	9.483	5625.698	9.54	5644.598	9.221
5608.777	9.172	5620.604	9.45	5625.701	9.55	5644.601	9.235
5612.652	9.551	5620.607	9.428	5625.704	9.551	5644.604	9.251
5612.655	9.561	5620.61	9.401	5625.706	9.567	5644.606	9.26
5612.658	9.557	5620.612	9.375	5625.709	9.563	5644.609	9.264
5612.661	9.574	5620.615	9.34	5625.711	9.575	5644.611	9.288
5612.663	9.569	5620.617	9.299	5625.714	9.578	5644.614	9.295
5612.666	9.565	5620.62	9.267	5625.716	9.579	5644.617	9.308
5612.668	9.573	5620.622	9.238	5625.719	9.588	5644.619	9.335
5612.671	9.569	5620.625	9.215	5637.528	9.432	5644.622	9.336
5612.674	9.557	5620.628	9.17	5637.53	9.439	5644.625	9.345
5612.676	9.555	5620.644	9.15	5637.533	9.44	5644.627	9.355
5612.679	9.538	5620.647	9.156	5637.535	9.452	5644.638	9.406
5612.681	9.525	5620.5	9.173	5637.538	9.441	5644.641	9.416

ادامه جدول.

Star name:	BS Aqr						
HJD(days)	V(mag)	HJD(days)	V(mag)	HJD(days)	V(mag)	HJD(days)	V(mag)
5612.684	9.5	5620.652	9.186	5637.54	9.452	5644.643	9.424
5612.687	9.492	5620.655	9.194	5637.543	9.456	5644.646	9.43
5612.689	9.467	5620.657	9.197	5637.546	9.463	5644.649	9.438
5612.692	9.448	5620.66	9.214	5637.548	9.471	5644.652	9.441
5612.695	9.426	5620.662	9.22	5637.551	9.472	5644.654	9.447
5612.697	9.389	5620.665	9.227	5637.553	9.482	5644.657	9.451
5612.7	9.35	5620.667	9.247	5637.556	9.492	5644.659	9.457
5612.71.	9.236	5620.67	9.264	5637.559	9.495	5644.662	9.463
5612.713	9.186	5620.673	9.273	5637.561	9.5	5644.665	9.467
5612.715	9.169	5620.675	9.279	5637.571	9.545	5644.667	9.47
5612.718	9.161	5620.675	9.295	5637.573	9.539	5644.67	9.47
5612.72	9.144	5620.675	9.307	5637.576	9.556	5644.673	9.495
5612.723	9.145	5620.675	9.325	5637.578	9.548	5644.683	9.508
5612.726	9.142	5620.675	9.376	5637.581	9.564	5644.685	9.521
5612.728	9.144	5620.675	9.383	5637.584	9.567	5644.688	9.536
5612.731	9.154	5620.675	9.402	5637.586	9.569	5644.69	9.538
5612.733	9.161	5620.675	9.402	5637.589	9.573	5644.693	9.547
5612.736	9.171	5620.675	9.414	5637.591	9.574	5644.696	9.546
5612.738	9.179	5620.675	9.418	5637.594	9.575	5644.698	9.559
5612.741	9.197	5620.675	9.417	5637.596	9.569	5644.701	9.567
5612.744	9.202	5620.675	9.432	5637.599	9.573	5644.704	9.571
5612.746	9.213	5620.675	9.438	5637.601	9.559	5644.706	9.573
5612.749	9.223	5620.675	9.447	5637.604	9.54	5644.711	9.576
5612.751	9.23	5620.675	9.447	5637.606	9.53	5644.714	9.583
5612.754	9.245	5620.675	9.439	5637.609	9.517	5644.716	9.579
5612.757	9.254	5620.675	9.451	5637.618	9.435	5644.719	9.576
5612.759	9.273	5620.675	9.46	5637.621	9.415	5644.722	9.578
5612.762	9.288	5620.675	9.456	5637.623	9.388	5644.724	9.566
5612.764	9.295	5620.675	9.467	5637.626	9.355	5644.727	9.546
5612.767	9.306	5620.675	9.468	5637.629	9.321	5644.729	9.54
						5644.729	9.548

Calculation of period of δ Scuti stars using generalized Lomb-Scargle periodogram technique

Azizi, F.^{1*} and Mirtorabi, M. T.²

1. Assistant Professor, Department of Physics, Payame Noor University, Tehran, Iran

2. Associate Professor, Department of Physics, Alzahra University, Tehran, Iran

(Received: 23 Jan 2018, Accepted: 1 Jan 2019)

Summary

Astronomical observations are usually sparse and non-uniform, sometimes contaminated with random or systematic noises. They always packed in certain time periods (nights) separated by several hours or maybe days. Fourier analysis which regularly used to analyze periodicities in time series could not be implemented in astronomical time series because it generates fake signals in power spectrum. Lomb-Scargle periodogram is a well-known algorithm to detect periodicities in a set of non-uniformly spaced data. This method implements least-squares fitting of sine and cosine waves in form of $y = ac \cos \omega t + bs \sin \omega t$ and search for best fitted frequencies. It is suitable for time series with zero mean. The significance of the detected periods is inferred by comparing power of the signal with a random estimation of false alarm probability (FAP).

In this paper, we manipulate the generalized Lomb-Scargle periodogram (GLS) to calculate periods for a typical δ Scuti star. The GLS is an extension to the Lomb-Scargle periodogram which takes into account the measurement of errors and also is more suitable for time series with non-zero average. GLS tries to fit the equation $y = ac \cos \omega t + bs \sin \omega t + c$ to the time series and find the power spectrum for frequencies. We consider a given periodogram peak, derived from GLS, significant when it exceeds the one present “false alarm probability” level (FAP), which means there is 99% confidence that it is real and could not be simulated by Gaussian noise. FAP levels are calculated by performing random permutations of the data with similar times of observations.

δ Scuti variable stars lie in the lower part of the instability strip on the main sequence in Hertzsprung-Russell diagram with luminosity classes between III to V. They are belonging to the disc population and usually are not observed in globular clusters. The variability of this type of stars was discovered in 1963 and was assigned to the group of irregular variables. They are obeying a period-luminosity relation like cepheids and can be used as standard candles. Their pulsating period is less than 1 day. Many of these stars show multiple periods with amplitudes less than 0.1 mag. These stars pulsate in radial and non-radial modes and are important as their pulsations can be used as tracer of their internal structures. We implement the generalized Lomb-Scargle periodogram to detect period for high amplitude variable star BS Aqr (HD223338) which is a δ Scuti of A8 III spectral type with very short period (0.01-0.2 days) and low amplitudes (less than 0.9 mag) and almost sinusoidal light curves. Different interpretations are given in the literature about the nature of variability for this star. Its period is continuously decreasing. Most authors have agreed with the monophasic nature of this star. Using photometric data taken in La Silla Observatory that covered 30 September to 6 November 1983, we find that BS Aqr is an monophasic δ Scuti and detect a period of 0.1977 days for the star pulsation. The result is in good agreement with previous results from this star which demonstrates the capability of the Generalized Lomb-Scargle method to study brightness variation in variable stars.

Keywords: Variable star, Period, Periodogram technique, δ Scuti.

* Corresponding author:

f.azizi@pnu.ac.ir