

طراحی و ساخت دیدسنج نجومی دیفرانسیلی

احمد درودی و سعداله نصیری قیداری

مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان، صندوق پستی ۴۵۱۹-۱۱۵۹

گروه فیزیک دانشگاه زنجان

(دریافت مقاله: ۸۳/۱۰/۳۰ ؛ دریافت نسخه نهایی: ۸۴/۴/۸)

چکیده

مکان مناسب برای احداث رصدخانه ملی ایران کجاست؟ در این مقاله بخشی از فعالیتهای انجام شده برای یافتن این مکان مناسب گزارش می‌گردد. تاکید ما در این گزارش بر نحوه اندازه‌گیری دید آسمان مناطق مورد نظر است. دستگاه اندازه‌گیری پارامتر «دید نجومی»^۱ یعنی «دیدسنج نجومی دیفرانسیلی»^۲ معرفی و نحوه تحلیل داده‌های ثبت شده توسط این دستگاه ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مکانیابی، دید، تلاطم جو، حرکت دیفرانسیلی تصویر

۱. مقدمه

موج، می‌توان به طور کمی از وضعیت دید محل اطلاع پیدا کرد.

تاثیر ناپایداری جو در دید محل از دیرباز مورد توجه منجمین بوده است. انتخاب مکان مناسب برای رصد آسمان بر اساس تخمین وضعیت دید محل، اولین بار توسط نیوتن ابراز شده است. پیشرفت تلسکوپها و فناوری مشاهدات نجومی، موجب توسعه روشهای اندازه‌گیری دید و مبانی نظری آن شده است. روشهای بصری، عکسبرداری و نورسنجی برای ثبت جابه‌جایی تصویر در صفحه کانون یک تلسکوپ به عنوان معیاری از وضعیت دید و تلاطم جو در هشتاد سال گذشته برای مکانیابی رصدخانه‌های جهان به کار رفته است [۳، ۴، ۵، ۶]. قدم اول در این مورد استفاده از تصویر رد^۳ ستارگان روی فیلم

پروژه مکانیابی رصدخانه ملی ایران از سال ۱۳۷۹ آغاز شده است. در این مدت مناطق مختلف کشور از دیدگاه هواشناسی و ژئوفیزیکی مورد بررسی قرار گرفته است [۱]. نتیجه این مطالعات انتخاب چهار منطقه مناسب یعنی کاشان، کرمان، قم و خراسان جنوبی است. برای تعیین محل نهایی احداث رصدخانه باید کمیت دید به عنوان مهمترین پارامتر مکانیابی برای ارتفاعات سراسر این چهار منطقه اندازه‌گیری شود. مقایسه داده‌های به دست آمده با نمونه آماری مناسب برای دید مناطق مذکور در انتخاب محل نهایی تعیین کننده خواهد بود.

وضعیت دید آسمان محل، تاثیر مستقیم روی کیفیت تصاویر رصدی دارد. به عبارت دیگر اختلالات ناشی از تلاطم جو در جبهه موج ورودی به تلسکوپ، به طور مستقیم در کیفیت تصویر حاصل تاثیر دارد [۲]. با اندازه‌گیری این اختلالات جبهه

۱. Astronomical seeing

۲. Differential astronomical seeing monitor

۳. Trace

صورت می‌گرفت و لذا حرکت دیفرانسیلی تصویر قابل ثبت بود. دستگاهی که به این ترتیب کار می‌کرد، نمایشگر حرکت دیفرانسیلی تصویر^۱ (DIMM) نامگذاری شد. دستگاه ساخته شده برای مکانیابی رصدخانه ملی ایران، یعنی دیدسنج نجومی دیفرانسیلی، بر اساس کار سارازین با اندکی تغییر در نحوه جداسازی لکه‌ها، طراحی و ساخته شده است.

در بخش ۲ این مقاله نظریه دید و نحوه محاسبه آن به طور خلاصه مرور می‌شود. در بخش ۳ جزئیات نرم افزار و سخت افزار تهیه شده جهت مکان‌یابی رصدخانه ملی تشریح می‌شود. تحلیل و نتیجه‌گیری در بخش ۴ می‌آید.

۲. نظریه دید و نحوه محاسبه دید

با دیدسنج معرفی شده در بخش بعد، در مدت ۴ دقیقه، با احتساب زمان ذخیره تصاویر در کامپیوتر، تعداد ۷۰ تصویر ثبت می‌شود. زمان نوردهی برای هر تصویر ۱۰ میلی ثانیه است. دلیل محدودیت زمان ۴ دقیقه برای ثبت تصاویر هر مجموعه، با توجه به نظریه تیلور مربوط به انجماد ساختار جو است [۲]. بر اساس این نظریه، وضعیت جو در مدت زمان حدود ۴ دقیقه دارای ساختار ثابتی است و صرفاً با سرعت باد از مقابل تلسکوپ عبور می‌کند. لذا هر تصویر از مجموعه ی ۷۰ تایی، نمونه برداری از یک ساختار ثابت از جو است. مطالعه رفتار آماری این مجموعه معیاری از پارامتر دید محل برای آن بازه زمانی است. هر تصویر شامل دو لکه نورانی از یک ستاره است و در حدود ۷/۴ ثانیه قوسی از هم فاصله دارند. این مجموعه تصاویر در طول شب به طور پیوسته برداشته می‌شود. از هر مجموعه ۷۰ تایی به طور آماری، پس از پردازش، کمیت دید محاسبه می‌شود. بدین ترتیب می‌توان کمیت دید را برای فواصل زمانی ۴ دقیقه در طول شب محاسبه و پس از متوسط‌گیری روی همه مجموعه‌ها، پارامتر دید آن شب را محاسبه نمود. این کار حتی الامکان برای تمام شبهای غیر ابری سال باید انجام گیرد و در نهایت پارامتر دید سالانه محل به

عکاسی بود که از تحلیل و مدرج کردن ضخامت رد تصویر یک تخمین کمی از وضعیت دید آسمان به دست می‌آمد [۷] و این کار با استفاده از یک تلسکوپ کوچک صورت می‌گرفت. اشکال این روش این بود که هرگونه ارتعاش و ضربه باد در رد ستاره نیز اثر مشابهی داشت و تفکیک این دو از هم میسر نبود. کار مهم و ارزشمند در حل این مشکل توسط استوک و کلر [۵] برداشته شد. آنها با قرار دادن دو تلسکوپ یکسان به فاصله حدود چند برابر گشودگی دهانه آنها و استقرار آنها روی یک پایه مشترک با مطالعه حرکت نسبی دو تصویر نزدیک به هم ایجاد شده از یک ستاره توانستند تاثیرات محیط و تلسکوپ را به حداقل برسانند. این روش با کار سارازین و رودایر [۸] از نظر دقت عملی، مبنای نظری و سهولت استفاده توسعه چشمگیری یافت.

پارامتر دید به دست آمده از این روش با مقدار به دست آمده از طریق تلسکوپ بزرگ با زمان نوردهی زیاد برابر است. اصولاً امتیاز این روش اندازه‌گیری دید با تلسکوپ کوچک و قابل حمل، پیش بینی اثرات جو روی تصویر حاصل از یک تلسکوپ بزرگ است. لذا قبل از اینکه تلسکوپ بزرگ در محل مورد نظر استقرار یابد می‌توان با یک تلسکوپ کوچک، کم هزینه و قابل حمل از وضعیت دید آن محل اطلاع لازم را به دست آورد.

برای یک تلسکوپ بزرگ پارامتر دید برابر پهنا در نصف شدت ماکزیمم تصویر ستاره در زمان نوردهی طولانی است. در واقع در مدت زمانی که نسبت به زمان لازم برای تغییرات جبهه موج ناشی از تلاطم جو طولانی‌تر است، تصویر ستاره از حد پراش بزرگتر شده و به دلیل جابه‌جایی تصویر به صورت یک لکه در می‌آید. ابعاد این لکه معیاری از پارامتر دید در تلسکوپ بزرگ است.

سارازین به جای استفاده از دو تلسکوپ از یک تلسکوپ استفاده و در دهانه آن دو روزنه کوچک به فاصله مناسبی از هم تعبیه کرد. جلو یکی از روزنه‌ها منشوری قرار داشت که با انحراف مسیر نور، دو لکه از یک ستاره روی CCD ایجاد می‌کرد. تصویر برداری در این روش با زمان نوردهی کم

۱. Differential Image Motion Monitor

فرض می‌شود. r_0 پارامتر فرید^۳ است [۲]، که نشان دهنده قطر همدوسی فضایی جو است. به عبارت دیگر r_0 فاصله دو نقطه روی سطح موج است که بتوان در آن ابعاد جبهه موج را تخت فرض کرد به طوری که ابیراهی سطح موج کمتر از $\lambda/6$ باشد. رودایر^۴ نشان داده است که σ_I و σ_T مستقل از طول موج است. لذا پاسخ طیفی CCD، طیف ستاره و پاشندگی جو در مقدار به دست آمده برای σ_I و σ_T تاثیری ندارند. لازم به ذکر است که مقدار دید ε طبق روابط (۱) و (۲) به طول موج بستگی دارد. برای محاسبه دید در ناحیه مرئی $\lambda = 550 \text{ nm}$ قرار داده می‌شود.

۳. سخت افزار و نرم افزار تحلیل داده‌ها

در این بخش طرح دیدسنج مورد استفاده در مکانیابی رصدخانه ملی ایران از دیدگاه سخت افزاری و نرم افزاری معرفی می‌شود.

۳.۱. سخت افزار

دیدسنج ساخته شده جهت مکان یابی رصدخانه ملی ایران شبیه نمایشگر ساخته شده توسط سارازین و رودایر است [۸]، با این تفاوت که جهت ایجاد دو تصویر از یک ستاره بر روی CCD از روش نا کانونی کردن CCD استفاده می‌شود [۱۱]. در شکل ۱ طرحی از این دیدسنج ترسیم شده است. در طرح فوق از تلسکوپ Celestron-۱۱" با قطر آینه ۲۸۰ mm و فاصله کانونی ۲۸۰۰ mm استفاده شده است. روی دهانه تلسکوپ درپوشی از جنس تفلون با دو روزنه به قطر ۸۰ mm و فاصله جدایی ۲۰۰ mm قرار می‌گیرد. جهت ثبت تصاویر از یک CCD مدل ۲۰۰۰ ST با ابعاد سلول $7/4 \times 7/4$ میکرومتر استفاده می‌شود. تصاویر از طریق رابط USB به صورت رقومی وارد کامپیوتر می‌شود.

دست آید. از آنجایی که وضعیت دید، از سالی به سالی دیگر با توجه به شرایط اقلیمی تغییر می‌کند، برای افزایش دقت بایستی این کار برای مدت چند سال تداوم یافته و دید متوسط محل به دست آید.

در صورتی که وضعیت دید آسمان نسبتاً خوب باشد هر لکه تصویر تقریباً به شکل دایره خواهد بود. هر چقدر لکه‌ها کوچکتر باشند نشانگر جو پایدارتری است. کیفیت تصویر با نسبت استره^۱ بیان می‌شود [۹]. این کمیت نشان دهنده نسبت شدت قرص آری^۲ به شدت کل است. اگر این نسبت بین ۰/۴ الی ۰/۷ باشد نشانگر جو نسبتاً پایدار است [۸]. مرکز شدت هر لکه در هر تصویر محاسبه می‌گردد و در اثر تلاطم جو فاصله نسبی مرکز شدت این لکه‌ها از تصویری به تصویر دیگر تغییر می‌کند. این تغییرات کاملاً تصادفی بوده و توزیع آماری گاوسی دارند. پس از محاسبه مرکز لکه‌ها، فاصله لکه‌ها از یکدیگر در دو امتداد خط واصل روزنه‌ها (طولی) و عمود بر آن (عرضی) محاسبه شده و نتایج برای هفتاد تصویر متوالی ذخیره می‌شوند. سپس انحراف معیار تغییرات فاصله لکه‌ها در امتداد طولی و عرضی به دست می‌آید. این انحراف معیارها را به ترتیب با σ_I و σ_T نشان می‌دهیم. با داشتن σ_I و σ_T مقادیر پارامتر دید در امتداد دو روزنه ε_I و عمود بر امتداد دو روزنه ε_T به صورت زیر محاسبه می‌شوند [۱۰].

$$\varepsilon_I = 0.98 \left(\frac{\lambda}{r_{0I}} \right) = 0.98 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{1/2} \left(\frac{\sigma_I^2}{k_I} \right)^{1/6}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_T = 0.98 \left(\frac{\lambda}{r_{0T}} \right) = 0.98 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{1/2} \left(\frac{\sigma_T^2}{k_T} \right)^{1/6}, \quad (2)$$

که در این روابط

$$k_I = 0.364 \left(1 - 0.532b^{-7/3} - 0.242b^{-7/3} \right), \quad (3)$$

$$k_T = 0.364 \left(1 - 0.798b^{-7/3} + 0.188b^{-7/3} \right), \quad (4)$$

که b نسبت فاصله دو روزنه به شعاع هر روزنه است. در استخراج روابط فوق توزیع گاوسی برای نوسانات مرکز لکه‌ها

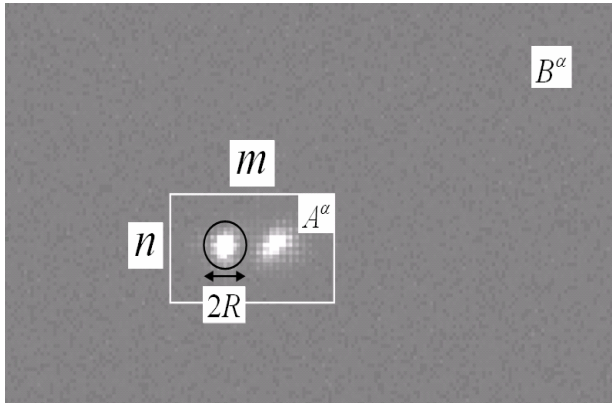
۳. Fried parameter

۴. Roddier

۵. Pixel

۱. Strehl ratio

۲. Airy disk



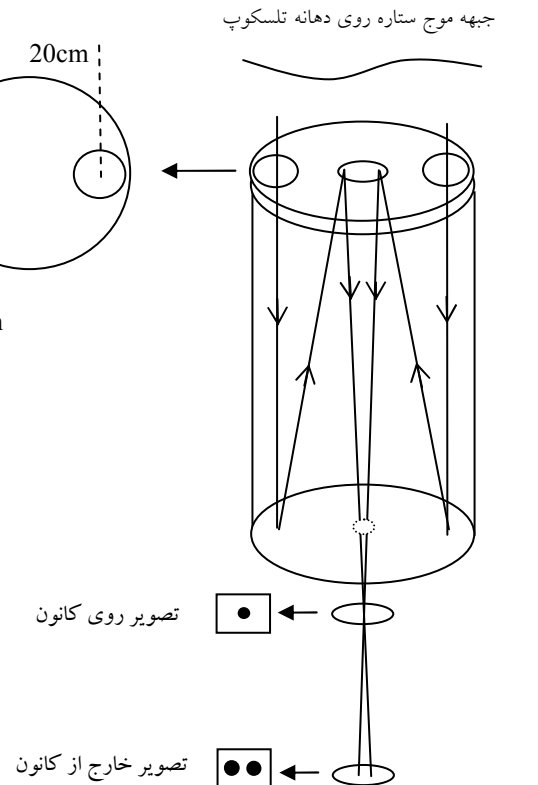
شکل ۲. نمونه تصویر گرفته شده توسط CCD.

شکل ۲. نمونه تصویر گرفته شده توسط CCD. عناصر a_{ij}^α ، که هر دو لکه داخل آن قرار دارند بر می‌داریم. برای محاسبه مرکز شدت هر لکه ماتریس A^α را به دو بخش مساوی که هر یک شامل یک لکه است تقسیم می‌کنیم و هنگام محاسبه مرکز شدت یکی از این بخشها را صفر کرده و مرکز شدت دیگری را محاسبه می‌کنیم. به این ترتیب ماتریس A^α هر بار فقط شامل یکی از لکه‌ها خواهد شد. این ماتریس شامل لکه و بخشی از روشنایی زمینه آسمان است. (شکل ۲).

اطراف لکه پنجره‌ای به شعاع R در نظر می‌گیریم که می‌بایست بزرگتر از شعاع قرص ایری یکی از روزنه‌های دیدسنج باشد. قرص ایری، q ، به صورت زیر تعریف می‌شود $q = 1.22 \frac{\lambda f}{D}$ ، که در آن f فاصله کانونی تلسکوپ، λ طول موج متوسط مرئی و D قطر یکی از روزنه‌ها است. به این ترتیب متوسط روشنایی زمینه آسمان، a_0^α ، از رابطه زیر به دست می‌آید

$$\overline{a_0^\alpha} = \frac{1}{N'} \sum_i \sum_j a_{i,j}^\alpha, \quad (5)$$

که در آن \sum جمع روی عناصر خارج از پنجره است. N' تعداد عناصر ماتریس تصویر را در همین ناحیه نشان می‌دهد. روشنایی کل لکه α ، I^α ، از رابطه زیر محاسبه می‌شود



شکل ۱. طرح دیدسنج نجومی دیفرانسیلی

۲.۳. نرم افزار تحلیل داده‌ها

هدف از داده‌های به دست آمده محاسبه دید هر محل است. در این راستا ابتدا مرکز شدت لکه‌ها مشخص و سپس فاصله دو لکه از هم برای هر تصویر در دو امتداد عرضی و طولی به دست می‌آید. انحراف معیار نوسانات فاصله دو لکه برای یک مجموعه مشخص از تصاویر در دو امتداد فوق محاسبه می‌شود. این کمیت طبق روابط (۱) و (۲) با دید هر محل ارتباط دارد. جهت تحلیل این داده‌ها نرم افزاری نوشته شده است که تمامی فرایند محاسبه از ثبت تصاویر، مرکزابی لکه‌ها، تخمین خطا تا محاسبه پارامتر دید را به طور خودکار انجام می‌دهد. در این بخش پارامترهای مورد نظر معرفی و نحوه محاسبه آنها توسط نرم افزار شرح داده می‌شوند.

همان طور که گفته شد در هر تصویر CCD دو لکه از یک ستاره ثبت می‌شود. به تصویر α ، ماتریس B^α را نسبت می‌دهیم. از این ماتریس، ماتریس کوچکتر A^α را، به ابعاد

CCD به صورت زیر خواهد بود،

$$\theta = \text{Arc tan} \frac{\bar{d}_y}{\bar{d}_x} \quad (13)$$

سپس انحراف معیار نوسانات فاصله دو لکه در دو امتداد طولی و عرضی از روابط زیر به دست می‌آید

$$\sigma_l^y = \frac{1}{M} \sum_{\alpha=1}^M [d_l^\alpha - \bar{d}_l]^2, \quad (14)$$

$$\sigma_l^x = \frac{1}{M} \sum_{\alpha=1}^M [d_l^\alpha - \bar{d}_l]^2, \quad (15)$$

که در آن \bar{d}_l و \bar{d}_l از روابط زیر به دست می‌آیند

$$\bar{d}_l = \frac{1}{M} \sum_{\alpha=1}^M d_l^\alpha, \quad (16)$$

$$\bar{d}_l = \frac{1}{M} \sum_{\alpha=1}^M d_l^\alpha, \quad (17)$$

که در آن d_l^α و d_l^α با استفاده از ماتریس دوران در دستگاه مختصات CCD به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$d_l^\alpha = [x_1^\alpha - x_2^\alpha] P_x \cos \theta + [y_1^\alpha - y_2^\alpha] P_y \sin \theta \quad (18)$$

$$d_l^\alpha = -[x_1^\alpha - x_2^\alpha] P_x \sin \theta + [y_1^\alpha - y_2^\alpha] P_y \cos \theta \quad (19)$$

هنگامی که امتداد متوسط جدایی دو لکه بر امتداد x منطبق باشد $\theta = 0$ و $\bar{d}_x = \bar{d}_l$ و $\bar{d}_y = \bar{d}_l$ می‌شود. با جایگذاری σ_l^y

و σ_l^x در روابط (۱) و (۲) پارامتر دید در دو امتداد طولی و عرضی محاسبه می‌شود. دید نهایی متوسط این دو مقدار است.

هر مجموعه تصاویر شامل حدود ۷۰ تصویر و در مدت ۴ دقیقه توسط CCD گرفته می‌شود. در یک شب صاف در حدود ۱۲۰ مجموعه که شامل ۸۴۰۰ تصویر می‌باشد، ثبت و در حافظه کامپیوتر ذخیره می‌شود. برای هر مجموعه ϵ_l و ϵ_r با الگوریتم ذکر شده محاسبه می‌گردد. شکل ۳ مقادیر ϵ_l و ϵ_r را در طول شب برای حدود ۱۲۰ مجموعه برای محل نوبهار واقع در خراسان جنوبی و شب هشتم خرداد ماه سال ۸۳ نشان می‌دهد. همان طوری که در شکل ۳ نشان داده می‌شود، مقادیر دید به دست آمده در جهت طولی و عرضی در حد خطاها (در حدود ۱۰ درصد) برابر هستند. مقادیر دید متوسط $\bar{\epsilon}$ نظیر

$$I^\alpha = \sum_i \sum_j (a_{i,j}^\alpha - \bar{a}^\alpha). \quad (6)$$

در رابطه فوق برای محاسبه روشنایی کل لکه، روشنایی زمینه آسمان از تصویر حذف شده است و \sum جمع روی سلولهای داخل پنجره است. سلولهایی که برای محاسبه مرکز لکه استفاده می‌شوند باید دارای شدتی بالاتر از یک آستانه شدت باشند. این آستانه شدت متناسب با انحراف معیار روشنایی زمینه آسمان انتخاب می‌شود. تمامی سلولهایی که شدت آنها بالاتر از مقدار آستانه باشد در محاسبه مرکز لکه وارد می‌شوند. تعداد این سلولها که باید کنار یکدیگر قرار داشته باشند نباید کمتر از ۳ سلول باشد. برای سادگی محاسبات، شدت سلولهای زیر آستانه در ماتریس A^α برابر صفر قرار داده می‌شوند. برای محاسبه مرکز شدت هر لکه در واقع از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$x_\beta^\alpha = \frac{\sum_i A_i^\alpha i}{\sum_i A_i^\alpha}, \quad (7)$$

$$y_\beta^\alpha = \frac{\sum_j A_j^\alpha j}{\sum_j A_j^\alpha}, \quad (8)$$

که در آن $\beta = 1, 2$ لکه‌ها را می‌شمارد و

$$A_i^\alpha = \sum_j a_{i,j}^\alpha, \quad (9)$$

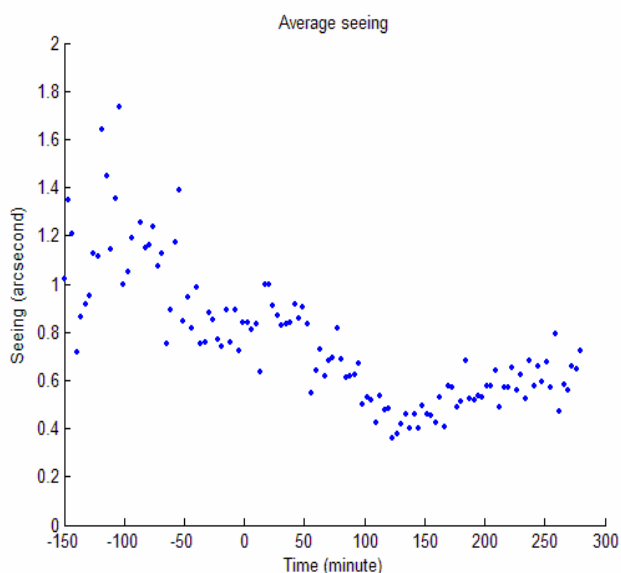
$$A_j^\alpha = \sum_i a_{i,j}^\alpha. \quad (10)$$

متوسط جدایی لکه‌ها در امتداد x و y بر حسب رادیان به ترتیب از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{d}_x = \frac{P_x}{M} \sum_{\alpha=1}^M [x_1^\alpha - x_2^\alpha], \quad (11)$$

$$\bar{d}_y = \frac{P_y}{M} \sum_{\alpha=1}^M [y_1^\alpha - y_2^\alpha], \quad (12)$$

که در آن M تعداد اعضای مجموعه تصاویر و P_x و P_y اندازه زاویه‌ای سلولهای CCD بر حسب رادیان است. در نتیجه زاویه امتداد متوسط جدایی دو لکه نسبت به امتداد x سلولهای



شکل ۳. نمودار $\bar{\epsilon}$ نظیر شکل ۳ را در طول یک شب نشان می‌دهد.

تکانهای شدید بدنه تلسکوپ، خطاهایی در محاسبات وارد می‌شود. جهت کاهش این گونه خطاها موارد زیر در نرم افزار در نظر گرفته شده است.

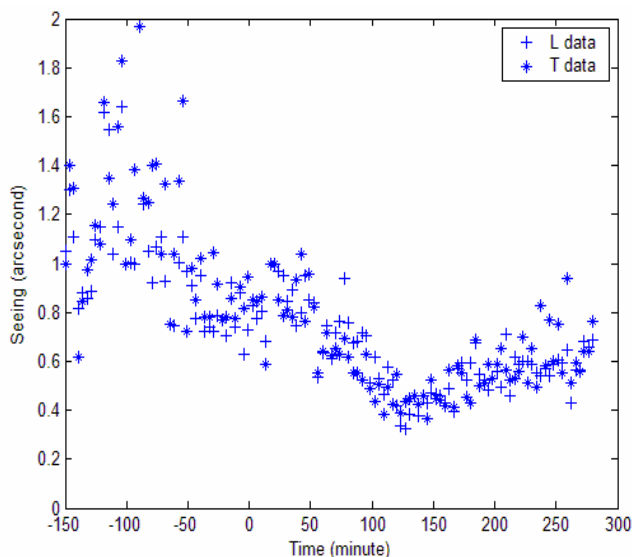
الف- جهت حذف تصاویری که کشیدگی دارند پهنا در نصف شدت هر لکه در دو امتداد x و y محاسبه می‌شود. تصاویری که در آنها نسبت قطر کوچک به بزرگ لکه‌ها کمتر از 0.4 باشد در محاسبات وارد نمی‌شوند.

ب- نسبت سیگنال به نوفه، S/N ، برای هر لکه عبارت از نسبت شدت کل لکه بعد از حذف نور زمینه به شدت نوفه است و به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$\frac{S}{N} = \frac{A}{n' \sigma(a_0)} \quad (20)$$

که در آن n' تعداد سلولهای دارای شدت بالاتر از شدت آستانه است. تصاویری که نسبت فوق برای آنها کمتر از ۳ باشد در محاسبات وارد نمی‌شوند. معمولاً در شرایط نیمه ابری، مه آلود و غبار آلود این وضعیت پیش می‌آید.

ج- در محاسبه پارامتر دید برای هر مجموعه تعداد تصاویر مورد استفاده از تعداد کل تصاویر گرفته شده، نباید از یک مقدار حدی کمتر باشد. اگر N_0 تعداد کل تصاویر هر مجموعه و N تعداد تصاویر مورد استفاده باشد شرط زیر باید برقرار



شکل ۴. نمودار ϵ_l و ϵ_t را در طول یک شب نشان می‌دهد. محور افقی زمان بر حسب دقیقه است و زمان ۰ نیمه شب را نشان می‌دهد.

شکل ۳ در شکل ۴ برای همان محل و همان تاریخ نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که مقدار متوسط دید که از حدود ساعت ۹ شب آغاز شده است دارای پراکندگی بیشتر است لکن تا حدود ساعت ۲ بعد از نیمه شب روند نزولی داشته و به مقدار کمینه حدود $0.4''$ رسیده است و سپس با شیب آرامی تا ساعت ۵ صبح افزایش یافته است. برای محاسبه دید شبانه هیستوگرام مربوط به $\bar{\epsilon}$ در شکل ۵ رسم شده است و بیشترین تکرار پارامتر دید در حوالی $0.6''$ را نشان می‌دهد. نحوه توزیع مقادیر دید در هیستوگرام فوق شبیه رفتاری است که در موارد مشابه توسط دیگران گزارش شده است [۱۲].

۴. تحلیل و نتیجه‌گیری

در این بخش ابتدا به تحلیل خطاهای موجود در اندازه‌گیری پارامتر دید می‌پردازیم، سپس روی نتایج به دست آمده بحث می‌کنیم.

۴.۱. تحلیل خطاها

به خاطر عوامل متعددی از قبیل وزش بادهای سطحی، نیمه ابری یا مه بودن هوا، غبار زیاد و یا کشیدگی تصاویر در اثر

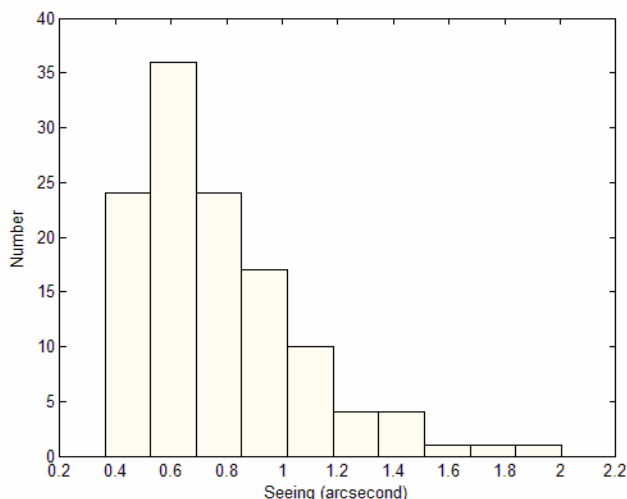
معمولاً هنگامی که سرعت باد در محل زیاد باشد شرط فوق برقرار نخواهد بود.

و- حتی اگر تلاطمی وجود نداشته باشد همچنان فاصله دو لکه دارای نوساناتی خواهد بود که علت آن وجود نوفه در شدت تصویر ثبت شده توسط CCD می باشد. این نوفه‌ها به عواملی از قبیل نوفه فوتونی، نوفه خواندن داده‌ها^۱ و تفاوت حساسیت سلولهای CCD مربوط است. نوفه فوتونی و تفاوت حساسیت سلولهای CCD در آشکار سازهای نجومی خطای چندانی در داده‌ها ایجاد نمی کنند [۱۰]. نوفه خواندن داده‌ها به دلیل وجود نوفه حرارتی و در فرایند انتقال داده‌ها ایجاد می شود. برای کاهش این خطا در داده‌ها، یک چشمه نقطه‌ای در آزمایشگاه ایجاد و تصویر آن توسط CCD متصل به تلسکوپ ثبت شده است. انحراف معیار نوسانات مرکز تصویر از نتایج انحراف معیار روابط (۱۴) و (۱۵) کم شده است.

ز- در نظریه DIMM فرض بر این است که زمان نوردهی به اندازه کافی کوچک است به طوری که لکه‌ها کاملاً در این مدت ساکن هستند. ولی در عمل به خاطر روشنایی کم ستاره‌ها و افزایش نسبت سیگنال به نوفه زمان نوردهی افزایش می یابد و به حدود ۱۰ میلی ثانیه انتخاب می شود. در سرعت بادهای کم و شرایط پایدار جوی این زمان نوردهی خطای چندانی در اندازه‌گیری ایجاد نمی کند. اما در غیر این صورت به خاطر متوسط‌گیری که در زمان نوردهی در توزیع شدت لکه‌ها صورت می گیرد باید بر روی پارامتر دید تصحیح اعمال شود. برای این منظور فرض می شود که پارامتر دید اندازه‌گیری شده با زمان نوردهی به صورت نمایی کاهش می یابد. بنابراین اگر پارامتر دید برای دو زمان نوردهی $T_1 = 10ms$ و $T_2 = 20ms$ اندازه‌گیری شود پارامتر دید تصحیح شده برای زمان نوردهی صفر به صورت زیر دست می آید

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1^{1/75} \varepsilon_0^{-0.75} \quad (23)$$

که در آن ε_1 و ε_2 به ترتیب پارامترهای دید برای زمانهای T_1 و T_2 می باشند.



شکل ۵. هیستوگرام $\bar{\varepsilon}$ را برای یک شب نشان می دهد. محور عمودی تکرار مقادیر دید است.

باشد.

$$N_0 - N < k_n \frac{N_0}{100} \quad (21)$$

که در آن K_n در صد مورد قبول است و مقدار آن با تعداد اعضای مجموعه ارتباط دارد. در بند « ه » توضیح بیشتر در این مورد آورده شده است.

د- عوامل متعددی از جمله جریانهای هوای سطح زمین و اختلاف دمای داخل و بیرون از گنبد تلسکوپ ممکن است فرض توزیع گاوسی داده‌ها در مورد نوسانات مرکز لکه‌ها را مخدوش کند. برای تشخیص این شرایط پس از محاسبه انحراف معیار σ برای یک مجموعه با N تصویر، تصاویری که فاصله لکه‌ها در آنها خارج از محدوده $-K_c\sigma < \sigma < K_c\sigma$ باشد را از مجموعه حذف می کنیم و روی مجموعه جدید N' مجدداً انحراف معیار را محاسبه می کنیم. در صورتی که $N - N'$ بیشتر از K_c درصد مجموعه باشد، فرض توزیع گاوسی برقرار نیست و آن مجموعه در محاسبه دید به کار نمی رود. معمولاً $K_c = 3$ فرض می شود.

ه- شرط پذیرش پارامتر دید محاسبه شده این است که مقادیر به دست آمده برای ε_l و ε_t در یک مجموعه N تایی در رابطه زیر صدق کند [۱۱]

$$\frac{2|\varepsilon_l - \varepsilon_t|}{\varepsilon_l + \varepsilon_t} > \frac{3}{5} \sqrt{\frac{2}{N-1}} \quad (22)$$

۴.۲. نتیجه گیری

چهار نمونه از دیدسنج که در اینجا معرفی شده است در حال حاضر در ارتفاعات کلاه برفی واقع در کاشان، سردر واقع در کرمان، نوبهار واقع در خراسان جنوبی و فردو واقع در قم مستقر شده‌اند. در هر محل یک گروه سه نفره مسئولیت جمع آوری داده‌ها را با این ابزار به عهده دارند. این داده‌ها به کمیته مکانیابی رصدخانه ملی ایران مستقر در مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان ارسال و تحلیل می‌شوند. اعضای گروه‌های مکانیابی پس از آموزش‌های لازم از شهریور ماه سال ۱۳۸۳ با ابزار فوق تحت نظارت مولفین این مقاله به گرفتن داده‌ها مشغولند. نتایج به دست آمده پس از تحلیل بعداً گزارش خواهد شد.

تشکر و قدردانی

لازم است از آقای دکتر رضا منصوری معاون محترم پژوهشی وزارت علوم، تحقیقات و فن‌آوری و ریاست شورای راهبری رصدخانه ملی ایران، آقای دکتر یوسف ثبوتی ریاست محترم مرکز تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان و عضو شورای راهبری و دیگر اعضای این شورا به خاطر مساعدت‌های بیدریغشان تشکر و قدردانی کنیم. همچنین از آقای دکتر سارازین از رصدخانه جنوبی اروپا ESO، بخاطر مشاوره ارزشمند علمی و فنی‌شان تشکر می‌کنیم. این کار در چهارچوب طرح رصدخانه ملی ایران به تصویب هیئت وزیران به شماره ۲۹۸۳۸/۶۵۶۲۶ مورخ ۱۳۸۲/۱۲/۲۰ انجام پذیرفته است.

مراجع

۱. س نصیری قیداری، ع عابدینی، مجله پژوهش فیزیک ایران، ۳، ۴ (۱۳۸۲) ۳۰۹.
۲. F Rodier, The Effect of Atmospheric Turbulence in Optical Astronomy, ed., E Wolf, *Progress in Optics*, XIX (1981) 281.
۳. A Darjon, C R Acad. Sci. Paris, **183** (1926) 1032.
۴. A Coulor, C R Acad. Sci. Paris, **203** (1936) 609.
۵. J Lock and M F Walker, in Stars and Stellar Systems, Vol. 1. Telescopes, ed., G P Cuiper, and B M Middlehurts (Chicago University & Chicago), (1960) 154.
۶. A B Meinel, in Stars and Stellar Systems, Vol. 1. Telescopes, ed., G P Cuiper, and B M Middlehurts (Chicago University & Chicago) (1960) 138.
7. E A Harlan and M F Walker, *Pub. A. S. P.*, **77** (1965) 246.
8. M Sarazin and F Roddier, *A&A*, **227** (1990) 294.
9. M Born and E Wolf, *Principles of Optics*, 7th ed., *Cambridg Uni. Press*, (1999).
10. A Tokovinin, *From Differetial Image Motion to Seeing (PASP) Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **114** (2002) 1156-1166.
11. P Boumis, A Steiakaki, F Mavromatakis, G Paterakis, and J Papamastorakis, *arXiv: 0111022/astro-ph*, **1**, (2001).
12. S A Ehgarnberdiev, et al., *Astron. Astrophys. Suppl., Ser.*, **145** (2000) 293-304.