بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

تحلیل نورهای سرگردان در تلسکوپ ۳/۴ متری ریچی‌کرتین

محمد رضا نظری گل اشکنانی[۱]، معصومه دشتدار[۱،۲]

۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۲- رصد خانه ملی ایران، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی(IPM)، تهران

چکیده – نورهای مزاحم اثرات مخربی بر روی تباین و کیفیت تصویر در سیستم‌های اپتیکی دارد. برای کاهش اثرات نورهای مزاحم نیاز به استفاده از ساختارهای مکانیکی است. بعد از طراحی ساختارهای مکانیکی باید اثراتی که این ساختارها در سیستم ایجاد می‌کنند مشخص شود. هدف از این مطالعه تعیین عملکرد نورهای مزاحم در سیستم تلسکوپ ملی ایران و شناسایی تغییراتی است که ویژگی‌های پس زنی برون محوری سیستم را بهبود دهد. در این مقاله اصول تحلیل نورهای مزاحم با استفاده از نرم افزار زیمکس ارائه می‌شود. منحنی تراگسیل چشمه نقطه‌ای برای میدان‌های مختلف محاسبه و رسم شده است. همچنین کنترل نورهای مزاحم با استفاده از بافل و پره‌ها برای چندین میدان خاص بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد برای زوایای خروج از محور بیشتر از ۹ درجه تراگسیل به کمتر از $۱۰^{-۵}$ کاهش یافته است، که برای سیستم مطلوب است.

کلید واژه- تحلیل نورهای مزاحم، تراگسیل چشمه نقطه‌ای، تلسکوپ ریچی‌کرتین، زیمکس.

Stray light Analysis of the 3.4 meter Ritchey-Chretien telescope

Mohammad Reza Nazari[1], Masoomeh Dashtdar[1,2]

1- Department of Physics, Shahid Beheshti University, Tehran
2- Iranian National Observatory (INO340), Institute for Research in Fundamental Sciences(IPM), Tehran

Abstract- Stray light has a damaging effect on the contrast and image quality in optical system. To reduce these effects Mechanical structures are needed to control stray light. After designing mechanical structures, it is necessary to detect effect of the structures in stray light of the system. The aim of this study is determination of the stray light performance of the INO 340 telescope system and identification of the changes that improve the off-axis rejection characteristics of the system. In this paper, the principle of stray light analysis by using Zemax Software is presented. The Point Source Transmittance (PST) curve of the system is plotted versus different fields. The results show the PSTs are less than 10^{-5} when off-axis angles are larger than 9 degree, which satisfies the system requirement. Also, the special fields of stray light control by using baffle and vane are discussed.

Keywords: Stray light analysis, Point Source Transmittance, Ritchey-Chretien telescope, Zemax.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

۱- مقدمه

نورهای مزاحم در سیستم‌های اپتیکی به صورت نور از منابع ناخواسته تعریف می‌شود. برای کنترل نورهای مزاحم در سیستم تلسکوپ بافل‌ها و پره‌ها طراحی می‌شوند[3-1]. با استفاده از تحلیل نورهای مزاحم در سیستم‌های اپتیکی، تأثیراتی که هرکدام از این ساختارهای مکانیکی در کاهش نورهای مزاحم دارند محاسبه می‌شود. در این مطالعه تحلیل نورهای مزاحم برای تلسکوپ ملی ایران با استفاده از نرم افزار زیمکس انجام می‌شود. در این تحلیل با شناسایی مسیر نور-های مزاحم به سمت صفحه تصویر و محاسبه مقدار تراگسیل چشمه نقطه‌ای (PST)، برای تعیین عملکرد سیستم تلسکوپ ملی ایران بررسی می‌شود. برای ردیابی پرتو و تحلیل نتایج به دو بخش کلی نیاز است. ابتدا باید سیستم تلسکوپ با تمام جزئیات وارد شود، سپس برای همه سطوح ویژگی‌های پراگندگی مدل شود. برای انجام تحلیل دقیق باید سیستم به-درستی شبیه‌سازی شود تا اثرهای نور مزاحم مانند پراکندگی از آینه‌ها و ساختارهای مکانیکی در سیستم تأثیرات درستی داشته باشد. مجموعه‌ای از مدل‌ها برای پراکندگی از آینه‌ها، سطوح مکانیکی و آلایندگی ذرات توسعه یافته است[4]. مدل-های پراکندگی در نرم‌افزار را می‌توان بر اساس رفتار تابع توزیع پراکندگی دو سویه (BSDF) برای هر سطح انتخاب کرد. تعدادی از مدل‌های اپتیکی و اندازه‌گیری‌های BSDF برای سطوح مشکی در مرجع [5] بررسی شده است.

۲- تحلیل نورهای مزاحم

در تحلیل نورهای مزاحم پیدا کردن مسیرهای نور مزاحم اهمیت ویژه‌ای دارند. این مسیرها به صورت زیر تفکیک می-شوند. مسیر مرتبه صفر از نورهای مزاحم به صورت مستقیم وارد صفحه تصویر می‌شود. مسیر مرتبه اول بعد از یک پراکندگی و مسیر مرتبه دوم بعد از دو پراکندگی وارد صفحه تصویر می‌شود. نیاز است چگونگی انتشار نورهای مزاحم در داخل سیستم مشخص شود. برای این منظور ردیابی پرتو از صفحه تصویر برای پیدا کردن مسیرهای مرتبه اول، یعنی سطوحی که مستقیماً از صفحه تصویر دیده می‌شوند که اجرام (سطوح) بحرانی نامیده می‌شود، اهمیت زیادی دارد. همچنین سطوحی که نور از میدان دید سیستم به آنها برخورد می‌کند باید مشخص شود. هر سطحی که در این دو لیست قرار دارد مسیر نورهای مزاحم به صفحه تصویر را تشکیل می‌دهد. با این کار تعیین می‌شود چه اجسامی داخل سیستم در افزایش نورهای مزاحم مشارکت بیشتری دارند[6]. با انجام این کار برای سیستم تلسکوپ مشخص شده بافل اصلی مشارکت زیادی دارد و حذف آن عملکرد سیستم را بهبود می‌دهد [7].

توان انتقال یافته به صفحه تصویر با رابطه زیر داده می‌شود.

$$\Phi_c = \Phi_S \times BRDF \times GCF \times \pi. \qquad (۱)$$

که در آن Φ_c توان انتقال یافته به صفحه تصویر، Φ_s توان منبع نورهای مزاحم و GCF ضریب پیکربندی هندسی سیستم است. در یک تحلیل خوب برای حذف نورهای مزاحم با توجه به رابطه (۱) تنها ترمی که می‌تواند به صفر برسد GCF است. بنابراین با کار کردن بر روی هندسه سیستم (میدان دید صفحه تصویر) می‌توان نورهای مزاحم را کنترل کرد[7].

۳- تحلیل نورهای مزاحم با استفاده از نرم افزار زیمکس

فرآیند تحلیل نورهای مزاحم در نرم افزار به چهار بخش کلی تقسیم می‌شود: ایجاد مدل اپتیکی و هندسی، تعریف مشخصات پراکندگی برای تمامی سطوح، ایجاد ساختار مکانیکی در سیستم برای کنترل نورهای مزاحم و تحلیل نتایج. رایج‌ترین معیار ارزیابی در تحلیل نورهای مزاحم تراگسیل چشمه نقطه‌ای (PST) است.

$$PST\ (\theta) = \frac{\text{focal plane irradiance}}{\text{entrance aperture irradiance}(\theta)}. \qquad (۲)$$

PST به صورت نسبت تابع تابندگی انتقال یافته به صفحه تصویر ناشی از اثرات نور مزاحم به تابندگی در مردمک ورودی تلسکوپ به وسیله یک منبع نقطه‌ای است. در واقع PST نمی-تواند منابع نورهای مزاحم را شناسایی کند، در عوض همه‌ی اثرات نورهای مزاحم را به صورت یک مقدار عددی ترکیب می‌کند. بنابراین با مقایسه آن در سیستم‌های متفاوت می‌توان عملکرد سیستم را شناسایی کرد.

۳-۱- ایجاد مدل

برای مدل کردن تلسکوپ اولین گام تشکیل سیستم اپتیکی است. گام بعد ایجاد هندسه مکانیکی شامل بافل، پره و دیگر ساختارها است. برخی از این ساختارها مانند بافل اغلب در داخل نرم افزار زیمکس طراحی می‌شود و در برخی موارد لازم

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

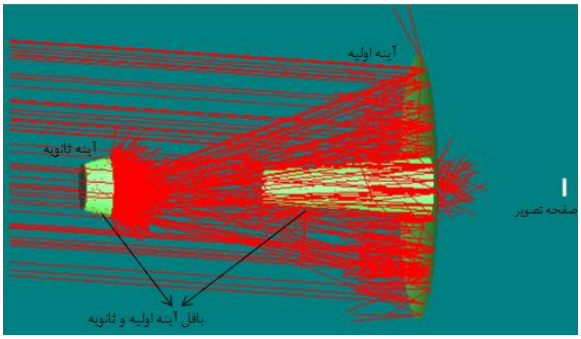
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]

به طراحی این ساختارها در نرم افزارهای مکانیکی و وارد کردن از طریق یک فایل با فرمت IGES، STEP، SAT و STL هستیم. مشخصات تلسکوپ ملی ایران بر حسب میلی متر در جدول ۱ داده شده است. میدان دید تلسکوپ ۲۰ دقیقه است. R شعاع، D قطر، K ثابت مخروطی (conic constant) برای آینه‌ها است.

جدول ۱: مشخصات تلسکوپ ملی ایران

مشخصات کلی	آینه ثانویه	آینه اولیه
11.25= نسبت کانونی	R_2=-1812.376	R_1=-10120
1670= فاصله کانونی پشت	K_2=-1.76667	K_1=-1.00648
4273.69= فاصله بین آینه‌ها	D_2=600	D_1=3400

در شکل ۱ مدل تلسکوپ ملی ایران با بافل در زیمکس طراحی شده است. در این شکل ردیابی پرتو با زاویه ۴ درجه نسبت به محور اپتیکی انجام شده است.

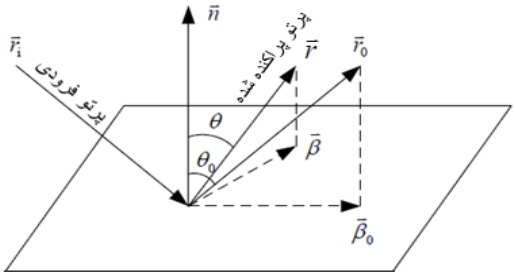


شکل ۱ : طرح اپتیکی تلسکوپ ملی ایران با بافل و ردیابی پرتو.

۲-۱- تعیین ویژگی‌های اپتیکی سطوح

ویژگی‌های سطح به وسیله جذب، بازتاب آینه‌ای و پراکندگی تعریف می‌شود. بهترین روش توصیف پراکندگی با تابع توزیع پراکندگی دو سویه BSDF است. در تحلیل نورهای مزاحم نیاز به انتخاب BSDF برای سطوح مکانیکی و اپتیکی داریم. این تابع در یک طول موج خاص برای زاویه فرود معلوم و بازتاب معلوم، پراکندگی را توصیف می‌کند. که به صورت درخشندگی پراکنده شده از سطح، بهنجار شده به تابندگی فرودی روی سطح، تعریف می‌شود. برای مدل کردن پراکندگی از سطوح در زیمکس مدل ABg را در نظر می‌گیریم. این مدل به دلیل استفاده از این سه پارامتر در مدل کردن تابع توزیع بازتاب دو سویه BRDF، ABg نامیده می‌شود. که با رابطه زیر داده شده است.

$$BRDF=\frac{A}{B+|\vec{\beta}-\vec{\beta}_0|^g}. \qquad (۳)$$



شکل ۲ : طرح مدل BRDF.

با توجه به شکل ۲ در رابطه بالا $\vec{\beta}$ تصویر بردار یکه پراکنده شده $\vec{r}$ بر روی سطح و $\vec{\beta}_0$ تصویر بردار یکه $\vec{r}_0$ در جهت بازتاب آینه‌ای بر روی سطح است. پارامترها برای مدل هر سطح در جدول ۲ مشخص شده است[8].

جدول ۲ : پارامترهای سطح.

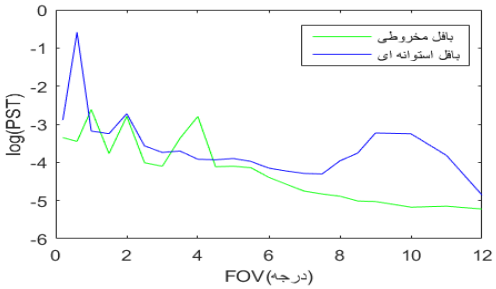
نوع سطح	جذب	پراکندگی	A	B	g
آینه	0.04	0.07	0.005	0.015	2
سطوح مشکی	0.90	0.1	0.063	1	0
سطوح سفید	0.05	0.91	0.32	0.1	0

۳-۱- ایجاد موانع و تحلیل

الف) بافل: در تلسکوپ‌های کاسگرین نورهای مزاحم مستقیماً به صفحه تصویر برخورد می‌کنند. معمولاً برای حذف نورهای مستقیم به صفحه تصویر بافل برای آینه اولیه و ثانویه به سیستم تلسکوپ اضافه می‌شود. بافل باید به صورتی طراحی شود که مانع پرتوهای تصویر ساز از داخل میدان دید سیستم نشود. پارامترهای بافل اولیه و ثانویه طراحی شده برای تلسکوپ ملی ایران در جدول ۳ نشان داده شده است. برای کاهش نورهای مزاحم حاصل از پراکندگی، مدل پراکندگی از سطوح مشکی برای سطوح بافل انتخاب شده است. در شکل ۳ نمودار لوگاریتم PST بر حسب میدان دید (FOV) برای بافل آینه اولیه به دو شکل استوانه‌ای و مخروطی نشان داده شده است. محاسبه PST برای سیستم تلسکوپ ملی ایران در نرم افزار زیمکس با ردیابی دو میلیون پرتو و در نظر گرفتن پراکندگی، شکسته شدن پرتو(Split Rays) و قطبش انجام شده است.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]



شکل ۳ : نمودار لوگاریتم PST بر حسب میدان دید.

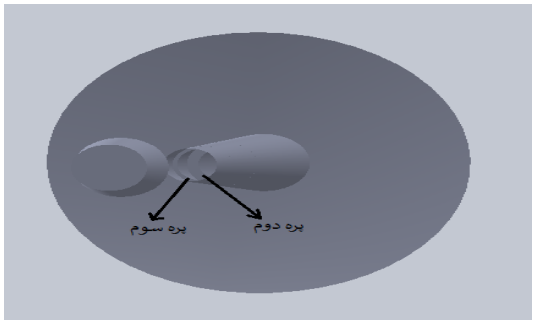
همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود با افزایش میدان دید، PST کاهش پیدا می‌کند. مقایسه دو نمودار لوگاریتم PST برای بافل اولیه به صورت مخروطی و استوانه‌ای نشان می‌دهد بافل مخروطی در کاهش نورهای مزاحم عملکرد بهتری دارد.

جدول ۳ : ابعاد بافل و پره

بافل	Z	Y
اولیه	-2054/1	215/28
ثانویه	-3984/6	384/3

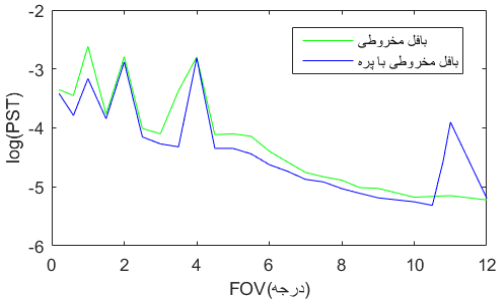
	Z	Y_{min}	Y_{max}
پره اول	-6/86	157/8	372/7
پره دوم	-1161/07	190/2	283/9
پره سوم	-1704/9	205/4	242/1

ب) پره : پره ساختاری مکانیکی برای حذف مسیرهای مرتبه اول نورهای مزاحم در سیستم تلسکوپ طراحی می‌شود[7]. برای حذف پراکندگی مرتبه اول از بافل اولیه به صفحه تصویر بر روی بافل اولیه پره قرار می‌گیرد. پره همچنین نباید مانع پرتوهای تصویر ساز از میدان دید تلسکوپ شود. ابعاد پره‌ها برای قرارگیری بر روی بافل اولیه در جدول ۳ نشان داده شده است. شکل ۴ قرارگیری پره بر روی بافل را نشان می‌دهد.



شکل ۴: طرح اپتیکی تلسکوپ ملی ایران با بافل و پره.

محاسبات PST با در نظر گرفتن سه پره بر روی بافل اولیه و ردیابی پرتو همانند شرایط قبل انجام شده است. شکل ۵ دو منحنی لگاریتم PST حاصل از تلسکوپ با پره و بدون پره را نشان می‌دهد. نمودار لگاریتم PST حاصل از قرارگیری پره بر روی بافل در میدان‌های متفاوت کاهش بیشتری را نسبت به تلسکوپ فقط با بافل دارد.



شکل ۴ : نمودار لوگاریتم PST بر حسب میدان دید.

۴- نتیجه‌گیری

با پیشرفت سیستم‌های تصویر برداری کمترین مقدار توان قابل آشکارسازی کاهش پیدا کرده است. از این رو در تحلیل نورهای مزاحم لازم است که بیشینه نورهای مزاحم در صفحه تصویر برابر کمینه مقدار توان قابل آشکارسازی توسط سیستم تصویر بردار در نظر گرفته شود تا بهترین کیفیت تصویر حاصل شود. تحلیل نورهای مزاحم مطالعه بر روی همه‌ی منابع ناخواسته برای کنترل نورهای مزاحم است. برای تحلیل دقیق باید همه‌ی بخش‌های سیستم شامل ساختارهای اپتیکی و مکانیکی و پراکندگی از سطوح به درستی مدل شود. در این مطالعه با تحلیل نورهای مزاحم در تلسکوپ ملی ایران از عملکرد بهینه این ساختارها اطمینان حاصل شده است.

مراجع

[1] W.Lavaughn Hales, *Optimum Cassegrain baffle systems*, Appl. Opt. 31, 25, 5341-53445(1992).

[2] V.Yu.Terebizh, *Optimal baffle design in a Cassegrain telescope*, Experimental Astronomy 11, 1,171-191(2001).

[3] Breault, R. P. (1995*).* Control of stray light. *In Handbook of Optics* (Vol. 1) (Ch. 38). McGraw-Hill.

[4] E. Fest, and Society of Photo-optical Instrumentation Engineers. *Stray Light Analysis and Control*, SPIE, 2013.

[5] S.M.Pompea and R.P.Breault, "Optical Black Surfaces", in *Handbook of Optics*, Optical Society of America, 2000.

[6] Peterson, Gary L. *"Stray light calculation methods with optical ray trace software."* SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation. International Society for Optics and Photonics, 1999.

[7] Breault, Robert P. *"Vane structure design trade-off and performance analysis."* 32nd Annual Technical Symposium. International Society for Optics and Photonics, 1989.

[8] Sun, Cheng-ming, Fei Zhao, and Ze Zhang. *"Stray light analysis of large aperture optical telescope using TracePro."* International Symposium on Optoelectronic Technology and Application 2014. International Society for Optics and Photonics, 2014.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-31]