بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

کاهش نورهای سرگردان در دوربین ماهواره توسط طراحی محفظه اپتیکی مناسب و پوشش‌های سطحی

حمید عباسی طاهری[۱]، عبدا... اسلامی مجد[۱]، محمد اسدنژاد[۱]

[۱]مجتمع دانشگاهی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

چکیده – هدف از این تحقیق، طراحی یک محفظه اپتیکی مناسب برای دوربین ماهواره‌ای است تا از افت کیفیت تصویر در اثر رسیدن نورهای مزاحم به آشکارساز جلوگیری شود. براین اساس دو مدل متفاوت برای محفظه دوربین طراحی شده و عملکرد این مدل‌ها در جلوگیری از رسیدن نورهای سرگردان به آشکارساز مورد ارزیابی قرارگرفته است. همچنین تاثیر پوشش‌های سطحی دی‌الکتریک برای اجزای اپتیکی و پوشش‌های سطح سیاه برای اجزای غیراپتیکی در میزان کنترل و تضعیف نورهای سرگردان در محل آشکارساز محاسبه شده است. درنهایت عملکرد سامانه قبل و بعد از استفاده از پوشش‌های سطحی مقایسه شده است.

کلید واژه- تصویر، بافل، پوشش‌های سطحی، دوربین ماهواره.

Reduce amount of stray light in satellite camera, with design suitable optical housing and surface coatings

H. Abbasi Taheri[1], A. Eslami Majd[1], M. Asadnejad[1]

[1]Department of Electrical and Electronic Engineering, Maleke-ashtar University of Technology, Tehran

Abstract- The aim of this research is design an optical housing for satellite camera, to prevent of reduction image quality due to the stray light reaching the detector. Accordingly, two different models is design for housings camera and performance of these models to prevent stray light from reaching the detector is evaluated. The influence of dielectric surface coatings for optical components and black coatings for non-optical components in control and weaken the amount of stray light on the detector is calculated. Finally, system performance before and after the application of surface coatings were compared.

Keywords: baffles, image, satellite cameras, surface coatings.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

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

۱- مقدمه

نورهای سرگردان، پرتوهای ناخواسته و نامطلوبی هستند که درصورت رسیدن به آشکارساز سامانه تصویربرداری، کیفیت تصویر را کاهش می‌دهند[۱و۲]. کاهش کیفیت تصویر می‌تواند به دلیل کاهش توان‌تفکیک، تارشدن تصویر، بازتاب‌های شَبَح‌گونه و ... باشد. به‌طورکلی اهمیت نورهای مزاحم و کنترل آن‌ها معمولا وقتی که بحث بر سر رصد و سنجش اجرامی در دورترین نقاط جهان هستی باشد، بیشتر می‌شود؛ چراکه جزئی‌ترین پرتوهای نور مزاحم، می‌تواند برای آشکارسازهای حساس و دیگر تجهیزات در سنجش از دور ویرانگر باشد[۳]. نورهای سرگردان طیف مرئی را می‌توان در دو دسته کلی طبقه‌بندی کرد: دسته اول نورهایی هستند که از خارج از میدان‌دید سامانه تصویربرداری وارد دوربین می‌شوند و دسته دوم نورهایی که در اثر سازوکارهای داخلی سامانه تصویربردار، مثل پراکندگی از سطوح داخلی یا بازتاب از سطح عدسی‌ها، به وجود می‌آیند[۴].

در این مقاله برای یک دوربین ماهواره‌ای، شامل ۶ عدسی، به طول ۶۵۰٫۸۶ میلی‌متر و میدان دید تقریبا ۲ درجه مطابق با جدول(۱)، دو مدل متفاوت محفظه طراحی شد. محفظه اپتیکی ساختاری است که اجزای اپتیکی درون آن نصب می‌شوند و از اجزای اپتیکی در برابر نورهای سرگردان داخلی و خارجی محافظت می‌کند. علاوه بر شکل هندسی محفظه اپتیکی، رفتار سطوح داخلی محفظه اپتیکی می‌تواند تاثیر زیادی در تولید و رسیدن نورهای سرگردان به آشکارساز داشته باشد[۵]. براین اساس در این مقاله راه‌کارهایی برای بهبود رفتار سطوح غیراپتیکی مطرح و نتایج استفاده از این راه‌کارها نیز نشان داده شده است. علاوه براین، همواره مقداری از نور، هنگام عبور از سطوح اپتیکی بازتاب پیدا می‌کند. این بازتاب‌های ضعیف پرتوهای نامطلوبی هستند که در صورت رسیدن به آشکارساز اثرات مصنوعی و شَبَح‌مانندی را به‌وجود می‌آورند. بازتابندگی سطوح اپتیکی برای پرتوهای مطلوبی که از میدان‌دید وارد سامانه اپتیکی می‌شوند منجر به تضعیف پرتوهای نور مطلوب می‌شود. در این‌جا برای جلوگیری از بازتابندگی سطوح اپتیکی از پوشش‌های دی‌الکتریک استفاده شده و تاثیر آن نیز در عملکرد سامانه نشان داده شده است. در این مقاله هدف کنترل این نورهای سرگردان در طیف مرئی است.

جدول ۱: مشخصات اجزای اپتیکی مورد استفاده در دوربین ماهواره.

شماره	نام کاتالوگ	ماده	R_1	R_2	ضخامت
۱	Schott	LITHOTEC-CAF2	۲۱۷٫۶	-۳۰۳٫۱	۲۳٫۷
۲	Schott	TIF3	۶۳۲٫۳	-۱۲۰۵	۱۰
۳	Schott	N-KZFS11	-۲۳۹٫۴	۱۵۳٫۴	۱۰
۴	Schott	N-SSK8	۱۵۱	۹۰۳	۲۳٫۳
۵	Schott	N-FK56	-۱۸۱٫۹	۵۸٫۷	۱۰
۶	Schott	SK5	۷۹٫۹	-۳۸۸٫۷	۱۰٫۵

۲- فرآیند تحلیل و کنترل نورهای سرگردان

یکی از بهترین روش‌های تحلیل نورهای سرگردان، استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل نور سرگردان است. نرم‌افزاری که برای انجام این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد لازم است تا توانایی مدل‌سازی انواع مختلف منابع نور، مدل‌سازی سطوح پیچیده مکانیکی و اپتیکی و مدل‌سازی بازتاب آینه‌ای(منظم) و عبور از پوشش‌های اپتیکی را داشته باشد. کلیه محاسبات، مدل‌سازی‌ها و شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار TracePro انجام شده‌است. این نرم‌افزار محصولی از "موسسه تحقیقاتی لاندا" است.

۲-۱- مدل‌سازی اجزای اپتیکی

اولین اقدام در تحلیل نورهای مزاحم، مدل‌سازی اجزای اپتیکی در نرم‌افزار است. همان‌طورکه گفته‌شد، سامانه اپتیکی دوربین ماهواره مطابق جدول(۱) از ۶ عدسی تشکیل شده است که مطابق شکل(۱) در نرم‌افزار مدل‌سازی شدند. سپس جنس مواد به‌کار رفته در ساخت آن‌ها به‌منظور تشخیص عبور، بازتاب و شکست بر اساس ضخامت و طول موج در نرم‌افزار تعریف شد.



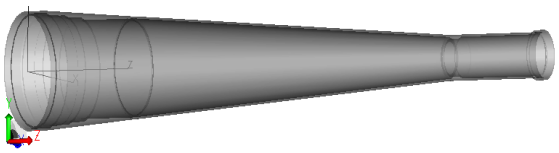
شکل ۱: مدسازی اجزای پتیکی در TracePro.

۲-۲- طراحی و مدل‌سازی ساختارهای غیر اپتیکی

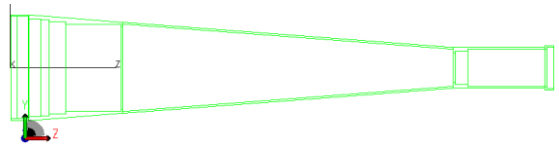
منظور از ساختارهای غیر اپتیکی درواقع محفظه اپتیکی و سایر اجزای نگهداری اجزای اپتیکی درون محفظه اپتیکی

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

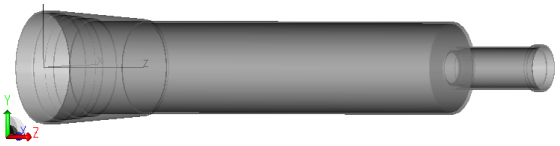
هستند. طراحی این ساختارها از آن جهت دارای اهمیت است که هرگونه پراکندگی از سطح آن‌ها در صورتی که به درستی طراحی نشده باشند، منجر به تولید نورهای سرگردان شده و با رسیدن به آشکارساز کیفیت تصویر در سامانه اپتیکی را کاهش می‌دهند. بعلاوه، این ساختارها باید به‌نحوی طراحی شوند که تحمل تنش‌های حرارتی، کرنش، فشار و شوک ناشی از لحظه پرتاب را داشته باشند. یکی از نکات بسیار مهمی که در طراحی محفظه اپتیکی باید در نظر گرفته شود، این است که موقعیت قرارگیری اجزای اپتیکی پس از نصب درون محفظه اپتیکی باید با دقت بسیار زیادی طراحی شود، در غیر این‌صورت پس از نصب اجزای اپتیکی فاصله و موقعیت این اجزا نسبت به یکدیگر تغییر کرده و نتایج محاسبات را با مشکل مواجه خواهد کرد. به‌طورکلی با در نظر گرفتن تمام موارد مرتبط با طراحی، در نهایت دو مدل متفاوت برای سامانه اپتیکی در نرم افزار TracePro طراحی شد. برای طراحی ابتدا لازم است تا یک مدل دوبعدی در صفحه درنظرگرفته شود و سپس مطابق با آن، مدل سه‌بعدی نیز پیاده‌سازی می‌شود. این ساختارها مطابق با شکل(۲) به صورت دوبُعدی و سه‌بعدی نشان داده شده‌اند.



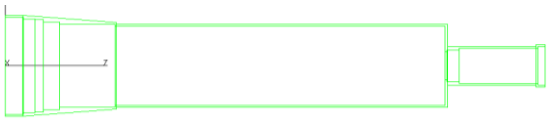
(الف) نمایش سه‌بعدی مدل a.



(ب) نمایش دوبعدی مدل a.



(ج) نمایش سه‌بعدی مدل b.



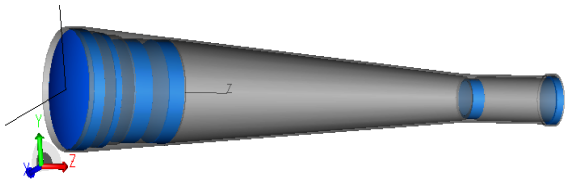
(د) نمایش دوبعدی مدل b.

شکل ۲: مدل‌های طراحی شده برای محفظه اپتیکی.

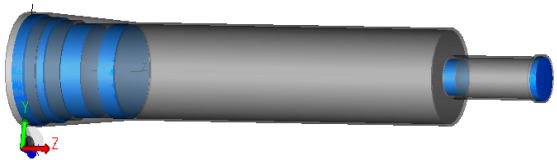
مزیت مدل a این است که وزن و حجم کمتری دارد، اما به دلیل مخروطی بودن ساختار میانی، امکان ساخت کنترل‌کننده‌های نور مزاحم(مثل پره‌های نوری) در آن وجود ندارد ولی در مدل b، فضای استوانه‌ای شکل موجود هرچند منجربه افزایش وزن و حجم سامانه می‌شود، اما امکان کنترل هرچه بیشتر نورهای سرگردان را با استفاده از پره‌های نوری فراهم می‌کند.

۲-۳- ترکیب مدل‌های اجزای اپتیکی و غیراپتیکی

برای تکمیل مدل و انجام ردیابی پرتوها به‌منظور تحلیل نورهای سرگردان، مدل‌های اجزای اپتیکی و غیر اپتیکی فوق، مطابق شکل(۳) در نرم افزار ترکیب شدند.



(الف) نصب عدسی‌ها در مدل a.



(ب) نصب عدسی‌ها در مدل b.

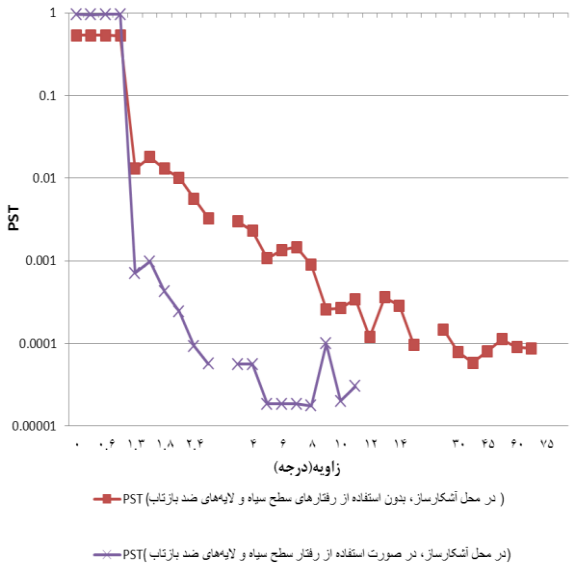
شکل ۳: ترکیب مدل‌های اجزای اپتیکی و غیر اپتیکی.

۲-۴- مدل‌سازی رفتار سطوح اپتیکی و غیر اپتیکی

برای این‌که بتوانیم به‌طور دقیق نحوه پراکندگی نور در برخورد با سطح را پیش‌بینی کرده و میزان نورهای سرگردان تولید شده به این روش را محاسبه کنیم، باید مشخصات سطح را توسط پروفایل‌سنج و تداخل‌سنج نور سفید اندازه‌گیری کرده و در قالب مدل‌های BSDF برای سطوح مختلف مدل‌سازی کنیم. اما قبل از ساخت مدل، چون امکان دسترسی به چنین اطلاعاتی از سطح وجود ندارد، از مدل‌های عمومی که برای این سطوح در دسترس هستند، استفاده می‌شود. براین اساس در حالت اول فرض شده است که هیچ پوشش خاصی روی سطوح اپتیکی و غیر اپتیکی وجود ندارد و سطوح غیر اپتیکی ۹۰٪ از نور فرودی را به‌صورت پخشی منعکس می‌کنند. بر این اساس میزان نورهای سرگردان در زوایای مختلف در قالب نمودار PST در شکل(۴) نشان داده شده است. PST برابر با

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

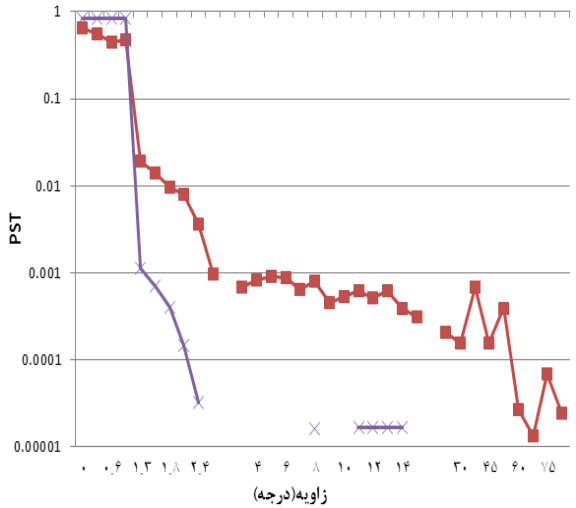
نسبت برتابندگی نورهای سرگردان در آشکارساز به برتابندگی نور در زوایای مختلف نسبت به محور اپتیکی در دهانه ورودی سامانه اپتیکی است که مستقل از قدرت منبع نور، می‌تواند عملکرد سامانه را در مقابله با نورهای مزاحم نشان دهد [۴]. در حالت بعد، رفتار سطوح مختلف غیراپتیکی پس از پوشش با یک رنگ سیاه مخصوص که ۹۰٪ از توان پرتو فرودی را پس از برخورد به خود جذب کرده و مابقی را به‌صورت پخشی منعکس می‌کند، مدل‌سازی شد. علاوه براین سطوح اپتیکی نیز با یک پوشش ضد بازتاب دی‌الکتریک سه لایه مطابق با جدول(۲) پوشش داده شدند، تا حدامکان از تضعیف پرتوهای درون میدان دید جلوگیری شود. میزان تضعیف و حذف این نورها در هردو مدل قبل و بعد از پوشش سطوح اپتیکی و غیراپتیکی با پوشش‌های گفته شده در شکل‌های(۴و۵) نشان داده شده است.



شکل ۴: میزان نورهای مزاحم در مدل a قبل و بعد از استفاده از پوشش‌های سطحی.

جدول ۲: مشخصات پوشش ضدبازتاب سه‌لایه مورد استفاده.

ضخامت	جنس لایه	ترتیب لایه‌ها
۰,۰۹۱۲	MgF2	۱
۰,۱۲۵	ZrO2	۲
۰,۰۷۶۹	Al2O3	۳



شکل ۵: میزان حذف نورهای مزاحم در مدلb قبل و بعد از استفاده از پوشش‌های سطحی.

۳- نتیجه‌گیری

میزان نورهای سرگردان در هر دو مدل با اندکی تفاوت در زاویه نور فرودی، تا حد زیادی کاهش یافته است. اختلاف موجود به دلیل ساختار هندسی متفاوت مدل‌های محفظه است. در مدل b هرچند نورهای سرگردان در زاویای بالاتری نسبت به مدل a هم دریافت شده‌اند، ولی عملکرد متعادل‌تر و بهتری را نشان می‌دهد. این درحالی است که در مدل a، نورهای سرگردان در زوایه پایین‌تری مسدود شدند، ولی گستردگی و مقدار زیاد آن در محدوده زوایای بیشتر مناسب نیست.

مراجع

[1] W. Smith, Modern Optical Engineering, 4th Ed., McGraw-Hill, New York,(2008).
[2] R. SHI, J. ZHOU, Y. JI, W SHEN ,Stray Light Analysis and Baffle Design of Remote Sensing Camera for Microsatellite ,2009 International Conference on Optical Instruments and Technology, SPIE Vol. 7506.
[3] Jun-Oh Park and Won Kweon Jang, Stray Light Analysis of High Resolution Camera for a Low-Earth-Orbit Satellite, Journal of the Optical Society of Korea, Vol. 15, No. 1, March 2011, pp. 52-55
[4] Eric Fest, Stray Light Analysis and Control, 1st Ed, Bellingham, Washington USA, (February 2013).
[5] YOUNG SUN LEE, YONG HA KIM,‘ YU Y, AND JHooN KIM, A BAFFLE DESIGN FOR AN AIRGLOW PHOTOMETER ON
[6] BOARD THE KOREA SOUNDING ROCKET-III, JOURNAL OF THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY, 33 165-172, 2000.

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