بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

طراحی جفت کننده ورودی عبوری و بازتابی در نمایشگر موجبر هولوگرافیک

مصطفی جرگ[۱] ، مسعود کاوش تهرانی[۱] ، سید سجاد موسوی فرد[۲]

[۱]مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

[۲]دانشکده انرژی گروه فیزیک مهندسی، دانشگاه صنعتی کرمانشاه

[1]Mostafajorag2018@gmail.com, [1]m_kavosh@mut-es.ac.ir, [2]s.moosavifard@gmail.com

چکیده - موج‌برها به دلیل ضخامت و وزن کم در زمینه نمایشگرهای نزدیک چشم محبوبیت زیادی پیداکرده‌اند. بااین‌حال پرتوهای سرگردان ایجادشده در موج‌بر، کیفیت و بازده پراش تصویر را تا حد زیادی کاهش می‌دهند. در این مقاله با استفاده از دو مدل طراحی‌شده برای جفت‌کننده‌های ورودی هولوگرافیک بازتابی و عبوری با روش المان محدود در نرم‌افزار کامسول، پارامترهای بهینه برای جفت‌کننده‌های ورودی در جهت افزایش بازده پراش را به دست آورده و پرتوهای سرگردان را در آن‌ها به حداقل می‌رسانیم. در طراحی انجام شده جفت‌کننده‌های بازتابی به پراش ۱۰۰ درصد رسیده و پرتوهای سرگردان به‌طور کامل حذف شده‌اند، درحالی‌که در جفت‌کننده‌های عبوری بازده پراش در بهترین حالت به ۹۵ درصد رسیده و پرتوهای سرگردان به‌طور کامل حذف نشدند.

کلید واژه- بازده پراش، پرتوهای سرگردان، جفت‌کننده ، موج‌بر

Design reflection and transmission input couplers in holographic waveguide display

Mostafa jorag[1], Masoud kavosh Tehrani[1] , Sayed Sajjad Mousavi Fard[2]

[1] Faculty of Applied Science, Malek ashtar University of Technology,

[2]Faculty of Energy, Engineering Physic Group, Kermanshah University of Technology

[1]Mostafajorag2018@gmail.com, [1]m_kavosh@mut-es.ac.ir, [2]s.moosavifard@gmail.com

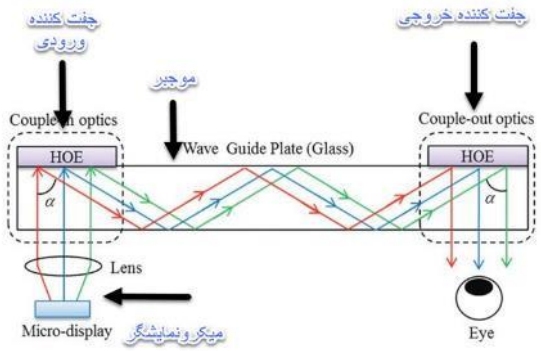
Abstract- Waveguides have become very popular in the field of near-eye displays due to their thickness and light weight. However, the stray lights generated in the waveguide greatly reduce the quality and diffraction efficiency of the image. In this paper, using two models designed for reflection and transmission holographic input couplers with finite element method in Comsol software, the optimal parameters for input couplers to increase the diffraction efficiency and minimize the stray lights in them are obtained. Reflective coupler reached 100% diffraction efficiency and the stray lights were completely eliminated, while in the transmission couplers the diffraction efficiency reached 95% at best and the stray lights were not completely eliminated.

Keywords: coupler, diffraction efficiency, holographic waveguide, stray lights

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

یک سامانه موجبر تصویر، دستگاهی نمایشی است که در جلوی چشم انسان قرار می‌گیرد تا تصاویر مجازی را روی مناظر محیط نشان دهد. در مقایسه با نمایشگرهای سنتی وزن این سامانه می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی کاهش یابد. به‌طورکلی سامانه موجبر تصویر شامل یک میکرونمایشگر، جفت‌کننده‌های ورودی و خروجی و موجبر است. در شکل ۱ طرحی از یک سامانه‌ی موجبر تصویر نشان داده‌شده است [۱].



شکل ۱: نمایی از یک سامانه‌ی موجبر تصویر[۱]

اگرچه سامانه‌های موجبر تصویر نسبت به دیگر سامانه‌ها مزیت‌های بیشتری دارند، اما دارای چند مشکل هستند که باید در جهت رفع آن‌ها اقدام شود. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات آن‌ها وجود پرتوهای سرگردان در موجبر است.

اگر بازده پراش، که در جفت‌کننده‌های تصویر موجبر به‌عنوان نسبت توان پرتو خروجی به توان پرتو ورودی تعریف می‌شود، به‌اندازه کافی زیاد نباشد، کاربری نهایی سیستم با اخلال مواجه می‌شود؛ یکی از مهم‌ترین مواردی که باعث کاهش بازده پراش در سامانه‌های موجبر تصویر می‌شود وجود پرتوهای سرگردان در موجبر است.

در این مقاله با استفاده از دو مدل طراحی‌شده برای جفت‌کننده‌های ورودی هولوگرافیک بازتابی و عبوری با روش المان محدود در نرم‌افزار کامسول، پارامترهای بهینه برای جفت‌کننده‌های ورودی در جهت افزایش بازده پراش را به دست آورده و پرتوهای سرگردان را در آن‌ها را به حداقل رسانده‌ایم.

روش شبیه‌سازی

برای تمام توری‌های حجمی، ضریب شکست n در ناحیه مدوله‌شده توری در مختصات دکارتی به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$n = n_0 + \Delta n \cos\left[K\left(x\sin\xi + y\cos\xi\right)\right] \qquad (۱)$$

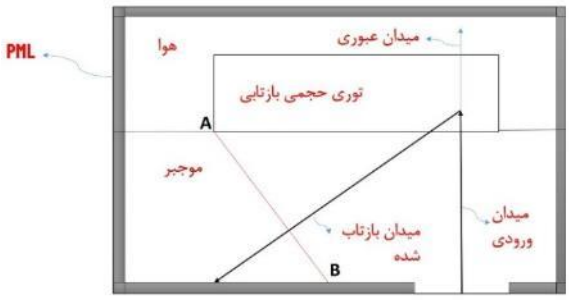
در اینجا n_0 ضریب شکست مواد هولوگرافی، Δn مدولاسیون ضریب شکست، ξ زاویه کج شدگی برای بردار موج توری و K بردار موج توری است که با رابطه $K = \frac{2\pi}{\Lambda}$ تعریف می‌شود و در آن Λ دوره تناوب توری است. در یک طول‌موج خاص، Λ از رابطه براگ به‌دست می‌آید که به‌صورت زیر است:

$$\lambda = 2n_0\Lambda\cos\xi \qquad (۲)$$

که در آن λ طول‌موج نور فرودی است[۲].

مدل هندسی شبیه‌سازی‌شده از جفت‌کننده ورودی توری بازتابی در نرم‌افزار کامسول در شکل ۲ نشان داده‌شده است. برای حل معادلات ماکسول نیاز به شرایط مرزی مناسب است تا کمترین اختلاف با شرایط واقعی به دست آید. یکی از این شرایط مناسب برای امواج الکترومغناطیس، استفاده از شرط مرزی لایه کاملاً جاذب (PML) است که توسط برنگر اولین بار ارائه شده است [۳]. در این طراحی تمام مرزها به جز محل ورود پرتو فرودی با استفاده از شرط مرزی لایه کاملاً جاذب پوشانده شده‌است.بنابراین از دیواره های مرزی بازتاب یا تابشی نخواهیم داشت تا روی محیط اصلی تاثیر بگذارد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]



شکل ۲: مدل هندسی شبیه‌سازی‌شده از جفت‌کننده ورودی توری بازتابی در نرم‌افزار کامسول

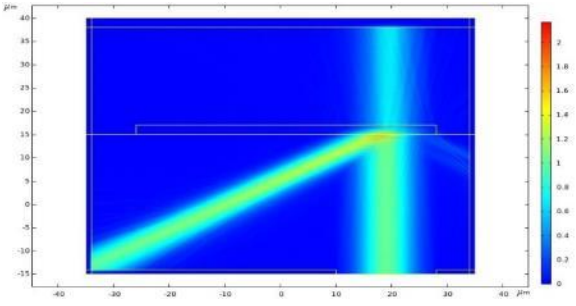
خط فرضی AB که در شکل ۲ رسم شده است، عمود بر میدان بازتاب شده است، با انتگرال‌گیری از آن در نرم‌افزار کامسول می‌توان مقدار عددی بازده پراش را به دست آورد.

باید سعی شود همه میدان ورودی بازتاب شده و پرتو عبوری نداشته باشیم تا کیفیت خوبی در خروجی دریافت شود. در جدول ۱ مشخصات اولیه جفت‌کننده ورودی توری بازتابی آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات اولیه جفت‌کننده ورودی توری حجمی بازتابی

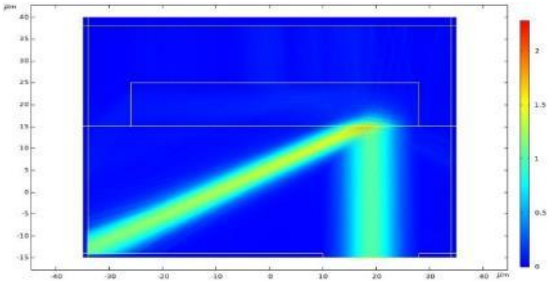
α_i (°)	ξ (°)	Λ (nm)	d (μm)	λ (nm)	n_0	Δn
۰	۳۰	۲۰۸	۲	۵۵۰	۱/۵۲	/۰۸

که در آن α_i زاویه فرودی پرتو نور است. امروزه برای ساخت توری‌های حجمی از موادی با مدولاسیون ضریب شکست ۰/۰۸ استفاده می‌کنند[۴]. در یک ضخامت دلخواه d با یک طول موج فرودی λ، ضریب شکست توری n_0 و زاویه کج شدگی ξ مشخص، می‌توان مقدار Λ را از رابطه ۲ محاسبه نمود. به دلیل ساده تر شدن شبیه سازی، زاویه فرود پرتو نور α_i را صفر درجه در نظر گرفته ایم. در شکل ۳ طراحی انجام‌شده با مشخصات جدول ۱ نشان داده‌شده است.



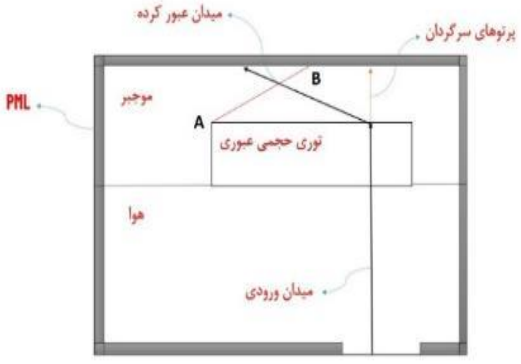
شکل ۳: جفت‌کننده ورودی بازتابی با ضخامت ۲ میکرومتر

چون نرم‌افزار کامسول در این حالت توانایی بهینه سازی را ندارد، جهت افزایش بازدهی و کاهش پرتوهای سرگردان ضخامت جفت‌کننده را به‌صورت دستی تغییر می‌دهیم. بهترین نتیجه برای d برابر ۱۰ میکرومتر به دست می‌آید. نتیجه نهایی در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴: جفت‌کننده ورودی بازتابی با ضخامت ۱۰ میکرومتر

در این حالت پرتوهای سرگردان به‌طور کامل حذف شده‌اند و بازده پراش تقریباً ۱۰۰ درصد است.



شکل ۵: مدل هندسی شبیه‌سازی‌شده از جفت‌کننده ورودی توری عبوری در نرم‌افزار کامسول

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]

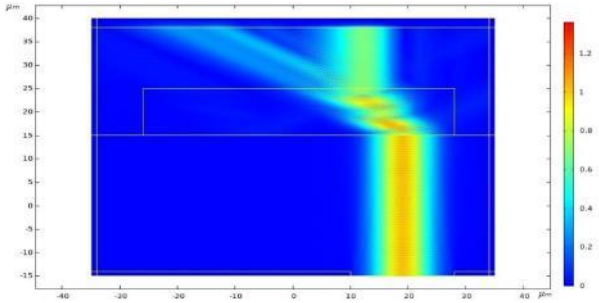
مدل هندسی شبیه‌سازی‌شده از جفت‌کننده ورودی توری عبوری در نرم‌افزار کامسول در شکل ۵ نشان داده‌شده است.

باید سعی شود همه میدان ورودی عبور کرده و پرتو سرگردان نداشته باشیم تا کیفیت خوبی در خروجی دریافت شود. در جدول ۲ مشخصات اولیه جفت‌کننده ورودی توری عبوری مشخص‌شده است.

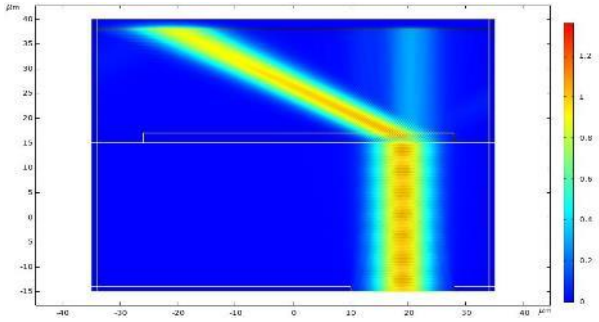
جدول ۲: مشخصات اولیه جفت‌کننده ورودی توری حجمی عبوری

α_i (°)	ξ (°)	Λ (nm)	d (μm)	λ (nm)	n_0	Δn
۰	۶۰	۳۶۱	۱۰	۵۵۰	۱/۵۲	/۰۸

در شکل ۶ طراحی انجام‌شده با مشخصات جدول ۲ نشان داده‌شده است.



شکل ۶: جفت‌کننده ورودی عبوری با ضخامت ۱۰ میکرومتر



شکل ۷: جفت‌کننده ورودی عبوری بهینه شده با ضخامت ۲ میکرومتر

مطابق قبل جهت افزایش بازدهی و کاهش پرتوهای سرگردان ضخامت جفت‌کننده را به‌صورت دستی تغییر می‌دهیم. مطلوب‌ترین حالت برای جفت‌کننده ورودی توری عبوری برای d برابر ۲ میکرومتر به‌دست می‌آید. نتیجه نهایی در شکل ۷ آورده شده است. بازده پراش در این حالت به ۹۵ درصد رسیده است.

نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از دو مدل طراحی‌شده برای جفت‌کننده‌های ورودی هولوگرافیک بازتابی و عبوری با روش المان محدود در نرم‌افزار کامسول، پارامترهای بهینه برای جفت‌کننده‌های ورودی در جهت افزایش بازده پراش را به‌دست آورده و پرتوهای سرگردان را در آن‌ها را به حداقل رساندیم.

جفت‌کننده‌های ورودی توری حجمی بازتابی به بازده پراش ۱۰۰ درصد رسیدند و پرتوهای سرگردان در آن‌ها به‌طور کامل حدف شد. درحالی‌که جفت‌کننده‌های ورودی توری حجمی عبوری در بهترین حالت به بازده پراش ۹۵ درصد رسید و پرتوهای سرگردان در آن به‌طور کامل حذف نشدند.

منابع

[1] Hua Li, Xin Zhang, Guangwei Shi, Hemeng Qu, Yanxiong Wu, Jianping Zhang, *Review and analysis of avionic helmet-mounted displays*, SPIE Optical Engineering Volume 52 Issue 11 (2013) 1-14

[2] B. C. Kress, *Optical waveguide combiners for AR headsets: featuresand limitations*, SPIE, Digital Optical Technologies Munich, Germany (16 JULY 2019) 110620j1-110620j26

[3] J. P. Berenger, *A perfectly Matched Layer for The Absorption of Electromagnetic Waves*, J. Comput. Phys. 114(2) (1994) 185-200

[4] Z. Shen, Y. Zhang, A. Liu, Y. Weng, X. Li, *Volume holographic waveguide display with large field of view using a Au-NPs dispersed acrylate-based photopolymer*, Optical Materials Express, Volume 10 Issue 2 (2020), 312-322

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06]