بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

سرقت اطلاعات از فیبر نوری

فاطمه کریمی [۱]، محمد بلوری‌زاده [۱] و علیرضا احمدی [۲]

[۱]گروه فیزیک و فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ماهان، کرمان

[۲]گروه مهندسی سازه، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ماهان، کرمان

چکیده - ارتباطات مبتنی بر فیبر نوری به اندازه‌ای که انتظار می‌رفت ایمن نمی‌باشد. امکان سرقت اطلاعات از مخابرات مبتنی بر فیبر وجود دارد. در این مقاله برخی روش‌های شناخته شده‌ی نفوذی و غیر نفوذی سرقت اطلاعات از فیبرهای نوری را معرفی می‌کنیم. ما به بررسی امکان سرقت اطلاعات از مخابرات مبتنی بر فیبر، به سادگی با تقویت میدان‌های نشتی به خارج از فیبر پرداختیم. دو روش حل تحلیلی معادله هلمهولتز و روش عددی اجزای محدود را برای شبیه سازی میدان نشتی به کار بردیم. نتیجتا با مقایسه پاسخ‌های هر دو روش، مشاهده کردیم که بخشی از میدان در مدهای مختلف به خارج فیبر نشت می‌کند که این مقدار برای تقویت شدن کافی است. این امر سرقت اطلاعات در حال انتقال از طریق فیبر را قادر می‌سازد.

کلید واژه- اجزای محدود، سرقت اطلاعات، فیبرنوری، مد، مخابرات مبتنی بر فیبر

Tapping Information from Optical Fiber

F. Karimi[1], M. A. Bolorizadeh[1] and A. R. Ahmadi[2]

[1]Department of Physics and Photonics, Graduate University of Advanced Technology, Mahan, Kerman

[2]Department of Structural Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Mahan, Kerman

Abstract- Optical fiber-based communications are not secure enough as it was expected. It is possible to tap information from fiber-based communication. In this paper, we introduce some known methods of invasive and non-invasive information tapping from optical fibers. We investigated the possibility of tapping information from fiber-based communication by simply amplifying leaked fields out of the fiber. We implemented two methods of analytical solution for the Helmholtz equation and the numerical finite element method to simulate the leaked field. Finally by comparing the responses of both methods, we observed that some portion of field in different modes leaks off the fiber enough to be amplified. This enables tapping of information transmitted through the fiber.

Keywords: Finite element, Tapping information, Optical Fiber, Mode, Fiber-based communication.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

۱- مقدمه

اهمیت انتقال مطمئن داده‌ها، ارتباطات امن را مولفه اساسی برای امنیت ملی هر کشوری مطرح می‌سازد. در حالیکه کابل‌های فیبر نوری از انواع تداخل‌های فرکانس رادیویی و الکترومغناطیس (EMI/RFI) مصون می‌باشد، اما اگر خطراتی که وجود دارد شناسایی نشود و مکانیسم-های جلوگیری و محافظت مدنظر قرار نگیرد امکان نفوذ در سیگنال‌های نوری شبکه‌های مخابراتی وجود دارد[۱]. سرقت اطلاعات از فیبر نوری فرآیندی است که امنیت فیبر نوری، به وسیله هم استخراج و هم تزریق اطلاعات (سیگنال‌های نوری) به خطر می‌افتد.

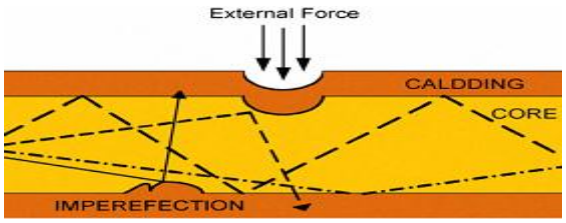
در این مقاله ابتدا به معرفی مهمترین روش‌های سرقت اطلاعات از فیبرهای نوری پرداخته و در ادامه نشان داده-ایم که بدون هیچ‌گونه تغییر در مشخصه های فیزیکی فیبر، می‌توان آن را مورد شنود قرار داد. با روش تحلیلی و عددی (روش اجزای محدود) به شبیه سازی معادله هلمهولتز پرداخته ایم و از این طریق امکان انتشار مدها به خارج فیبر را بررسی نمودیم. در واقع این مدها همان اطلاعاتی است که در داخل فیبر در حال انتشار بوده و با تقویت کننده‌های قوی قابل بازیابی است.

۲- روش های سرقت اطلاعات از فیبر نوری

به طور کلی، سرقت اطلاعات از فیبر به دو صورت نفوذی (intrusive) و غیر نفوذی (non-intrusive) انجام می‌شود. پیشترها لازم بود که فیبرقطع شود و در داخل مکانیسم شنود مجددا وصل گردد، در حالیکه پیشرفت‌های بعدی بدون نیاز به قطع یا اختلال در هرگونه سرویس امکان-پذیر می‌باشد[۲]. در ادامه برخی روش‌ها از هر دو نوع را معرفی می‌کنیم.

۲-۱- خمش فیبر

در این روش کابل برای خم کردن فیبر چاک داده می-شود. این روش از اصل بازتابش کلی داخلی استخراج شده است. یعنی اگر زاویه نورفرودی به فصل مشترک هسته و غلاف بیشتر از زاویه بحرانی باشد نور به بیرون تابش می-کند. دو نوع خمش داریم: خمش ریز و خمش بزرگ. در خمش ریز استفاده از نیروی خارجی سبب انحناهای تیز اما میکروسکوپی در سطح فیبر می‌شود که این انحناها سبب جابه‌جایی محوری چند میکرونی و انتقال طول موج فضایی چند میلیمتری می‌شود. همانطور که در شکل (۱) می‌بینیم نور تابش شده برای سرقت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

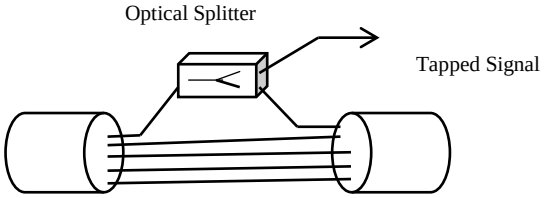


شکل (۱) خمش ریز

در خمش بزرگ، چون به هر نوع فیبر یک مینیمم شعاع خمش قابل تحمل نسبت داده می‌شود اگر شعاع خمش کمتر از این مقدار باشد سبب تابش نور به بیرون فیبر می‌شود.

۲-۲- شکاف نوری

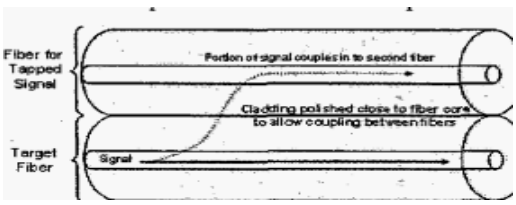
مطابق شکل (۲) فیبر هدف باید بریده شود و هردو انتها در داخل اسپیلیتر نوری متصل شوند تا بخشی از سیگنال نوری مورد سرقت قرار گیرد. این روش نفوذی است.



شکل (۲) شکاف نوری

۲-۳- کوپلاژ ناپایدار

بدون قطع فیبر با صیقل دادن غلاف بسیار نزدیک به هسته فیبر روی هردو فیبر هدف و گیرنده مطابق شکل (۳) انجام می‌شود. این عمل بازتابندگی مرز هسته و غلاف را کاهش می‌دهد در نتیجه بخشی ازسیگنال نوری می-تواند توسط فیبری که برای شنود در نظرگرفته شده دریافت شود[۱].



شکل (۳) کوپلاژ ناپایدار

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

۲-۴- برش به صورت شیار V

در این روش در غلاف فیبر یک شیار V شکل برش داده می‌شود. در نتیجه زاویه بین سیگنال انتشاری در فیبر با سطح شیار بزرگتر از زاویه بحرانی شده و بخشی از نور از سطح شکاف خارج می‌شود[۳].

۲-۵- پراکندگی

استفاده از توری براگ فیبری به عنوان پیشرفته‌ترین روش مورد بحث در این زمینه است. این فرآیند نیاز به یک لیزر اگزایمر UV دارد تا یک همپوشانی و تداخل میان پرتوهای لیزر به وجود آید و نتیجتا یک توری براگ در داخل هسته‌ی فیبر حک شود. سپس توری بخشی از سیگنال نوری را به داخل فیبر گیرنده بازتاب می‌کند.

۳- تحلیل مساله

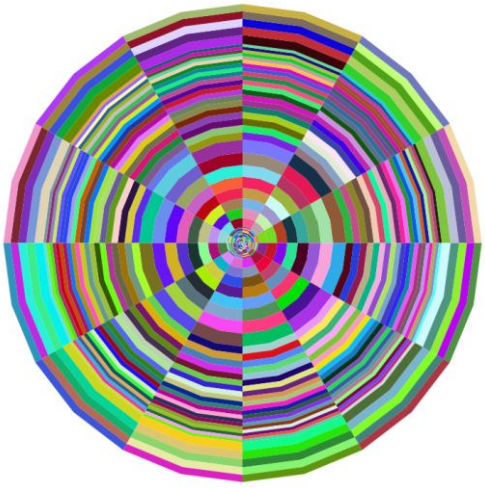
برای بدست آوردن یک مدل پیشرفته انتشار نور در فیبر تک مد مورد استفاده در مخابرات، از معادلات ماکسول استفاده کردیم. در این پژوهش فرض کردیم چگالی بار الکتریکی و چگالی جریان الکتریکی وجود ندارد. در اینگونه مسایل فرض بر این است که شعاع غلاف فیبر به اندازه‌ای بزرگ است که تا بینهایت در نظر گرفته می‌شود در نتیجه میدان بر روی غلاف صفر فرض می‌شود[۵]، در حالی‌که در واقعیت اینگونه نمی‌باشد. ما مسئله را با شرایط میدان الکترومغناطیسی غیر صفر بر روی غلاف حل کردیم.

۴- روش اجزای محدود

روش اجزای محدود یک مدل کاربردی برای حل عددی معادلات دیفرانسیل با حساب وردشی است[۴]. شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱-۴- تشکیل زیر دامنه

شعاع هسته ۱۰ و شعاع غلاف را ۱۲۰ میکرون در نظر گرفتیم. برای هسته فیبر از المان‌های مثلثی و برای غلاف و هوا از المان‌های مربعی استفاده کردیم. شکل (۴) یک فیبر شبکه بندی شده را نشان می‌دهد.



شکل (۴) شبکه بندی فیبر

۲-۴- انتخاب تابع درون‌یابی

تابع درون‌یابی امکان تقریب جواب مجهول را در داخل جزء محدود فراهم می‌سازد. تابع درون‌یابی را برحسب چندجمله‌ای‌ها می‌توان به صورت کلی با عبارت :

$$\varphi^e = \sum_{i=1}^{n} N_i^e \varphi_i^e = \{\varphi^e\}^T \{N^e\} \qquad (۱)$$

تعریف کرد که n تعداد گره‌های جزء ele، φ_i^e مقدار میدان φ در گره nli و N_i^e تابع درون‌یابی برای این گره بوده که آن را متناسب با عنصر محدود انتخاب کردیم.

۳-۴- فرمول‌بندی معادلات از طریق روش وردشی گلرکین

معادله دیفرانسیل :

$$L\varphi = U \qquad (۲)$$

را در نظربگیرید با بکاربردن روش باقیمانده وزن‌دار برای جزء ele به صورت

$$R_i^e = \int (L\varphi - U) w_i \, d\Omega \qquad (۳)$$

که w_i تابع وزن یا تابع آزمون است. اگر رابطه (۱) را در رابطه (۳) قرار دهیم و با استفاده از روش گلرکین که در آن توابع وزن همان توابع پایه‌ای انتخاب می‌شوند، خواهیم داشت :

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

$$R_i^e = \int_{\Omega^e} N_i^e L\{N^e\} d\Omega \{\varphi^e\} - \int_{\Omega^e} f N_i^e d\Omega \qquad (۴)$$

که در فرم ماتریس به صورت :

$$\{R_i^e\} = \{K^e\}\{\varphi^e\} - \{b^e\} \qquad (۵)$$

نوشته می‌شود که:

$$\{R_i^e\} = [R_1^e, R_2^e, ..., R_n^e]^T \qquad (۶)$$

$$K_{ij} = \int_{\Omega^e} N_i^e L N_j^e d\Omega \qquad (۷)$$

$$b_i^e = \int_{\Omega^e} f N_i^e d\Omega \qquad (۸)$$

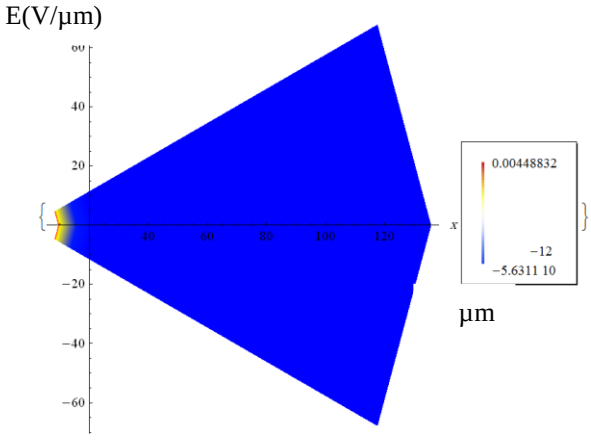
و

$$\{R\} = \sum_{e=1}^{N} \{R^e\} \sum_{e=1}^{N} ([K^e]\{\varphi^e\} - \{b^e\}) \qquad (۹)$$

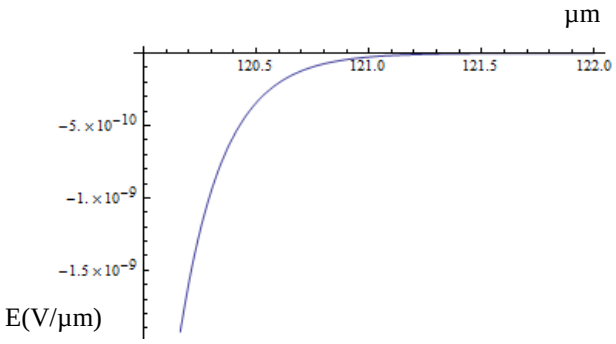
برقرار است.

با مساوی صفر قراردادن (۹) دستگاه معادلات به دست می‌آید. حل این دستگاه معادلات آخرین مرحله می‌باشد.

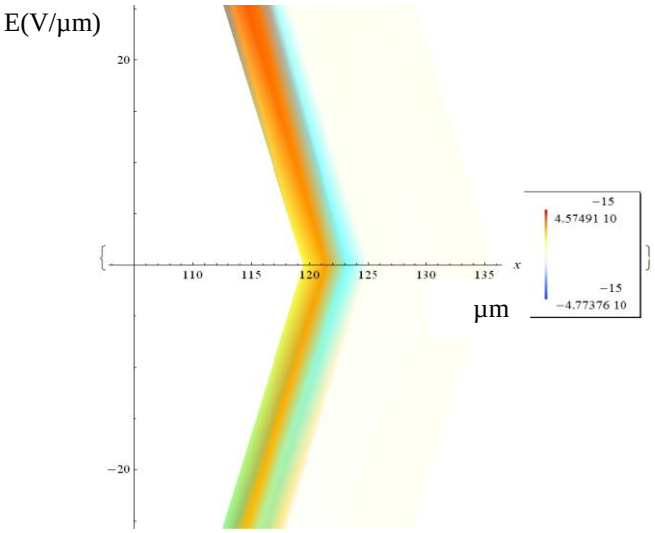
تمام این مراحل برای معادله هلمهولتز بر روی فیبر مورد نظر از طریق کدنویسی در محیط نرم افزار Mathematica انجام شد. شکل (۵) توزیع میدان مربوط به مد اول را در داخل و خارج غلاف فیبر و شکل (۶) توزیع میدان را خارج از غلاف نشان می‌دهد. شکل (۷) توزیع میدان خارج غلاف همان مد که از روش تحلیلی بدست آمده است.



شکل(۵) توزیع میدان مد اول در غلاف و هوا



شکل(۷) توزیع میدان در راستای شعاع خارج از غلاف



شکل(۶) توزیع میدان خارج از غلاف

۵- نتیجه گیری

در این مقاله با دو روش تحلیلی و عددی سیگنال نوری انتشاری در فیبر را شبیه‌سازی کردیم و خروج آن را به بیرون از فیبر نشان دادیم. این مد خروجی پس از تقویت قابل بازیابی است و می‌تواند مورد شنود قرار گیرد. ما نشان دادیم بدون اینکه نیاز باشد تغییری در فیبر ایجاد شود داده‌های انتشاری در آن می‌تواند سرقت شود.

۶- مراجع

[1] Shaneman, K. and S. Gray, *Optical Network Security: Technical Analysis of Fiber Tapping Mechanism and Methods Detection and Prevention*. IEEE Military Communications Conference, 2004.

[2] Saeed, A., *Optical Fiber Security Tapping and Its Defensive Methodologies.* Technology Forces, Vol 4, 42, 2010.

[3] Ighbal, M.Z., H. Fathallah, and N. Belhadj, *Optical Fiber Tapping: Methods and Precations.* The 8th International Conference HONET 2011, Riyadh, December 19-21. 2011.

[4] Reddy J. N., *An Introduction to the Finite Element Method*. Mac Graw Hill, Singapur, 1984.

[5] Yariv, A. and P. Yeh, *Photonics: Optical Electronics in Modern Communication*. Oxford University Press, 2007.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]