



بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و  
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس  
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،  
دانشگاه خوارزمی،  
تهران، ایران.  
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸



## تحلیل پارامترهای انتشار پرتو برای سیستم ارتباط نوری در فضای آزاد آزمایشگاه اپتیک دانشگاه زنجان

هادی بخشی<sup>۱</sup> و احمد درودی<sup>۱</sup>

۱- آزمایشگاه اپتیک، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه زنجان

چکیده - در این مقاله لینک ارتباط نوری در فضای آزاد طراحی شده در آزمایشگاه اپتیک دانشگاه زنجان معرفی می‌کنیم. این سیستم ارتباطی با پهنای باند 150Mbps و استفاده از طول موج 1550nm را در شرایط متعارف جوی برای فاصله ۱۲۰ متری بین فرستنده و گیرنده ارائه می‌دهد. در ادامه به پارامترهای انحراف باریکه لیزر، سوسوزنی،  $Cn2$  و طول فراید که تاثیرگذار بر روی کیفیت لینک‌های FSO هستند اشاره و اندازه‌گیری‌های انجام گرفته گزارش خواهد شد.

کلید واژه- ارتباط نوری در فضای آزاد، تلاطم، سوسوزنی و  $Cn2$

## Analysis of effective beam propagation parameters on a FSO link of optics lab. of University of Zanjan

Hadi Bakhshi<sup>1</sup> and Ahmad Darudi<sup>1</sup>

*Affiliation: 1-Optics lab. of University of Zanjan*

**Abstract-** In this paper, we describe the analysis and results of a FSO system which was designed and tested in Optic lab. of the University of Zanjan. The system provides a FSO communication link with the bandwidth about 150Mb/s, using a 1550nm laser under normal atmosphere condition for 120m distance between transmitter and receiver. Then, we discuss and report the some effective parameters, tip/tilt and scintillation,  $Cn2$  and Fried's length, which are very important on the performance and quality of the FSO link.

Keywords:  $Cn2$ , FSO, Scintillation and Turbulence

## مقدمه

امکان مجاورت فرستنده و گیرنده در کنار هم را فراهم کرده است. سیستم بازتاب‌دهنده کاملاً مکانیزه و از راه دور کنترل می‌شود، تا تنظیم باریکه برگشتی از محل فرستنده به‌سادگی انجام شود (تصویر ۲).

جدول ۱: مشخصات فنی سیستم اندفا بهره‌بردار شده

| مشخصات فنی سیستم ارتباط دید مستقیم نوری |            |                       |
|---|------------|-----------------------|
| 150Mb/s                                 | بهنای باند | پروتکل ارسال و دریافت |
| Fast Ethernet, STM1                     |            |                       |
| 1550nm                                  | طول موج    | منبع پرتو             |
|   | منبع پرتو  |                       |
|   | توان خروجی |                       |
|   | قطر پرتو   |                       |
| 15cm (در فاصله‌ی 120m)                  |            |                       |
| -35dBm                                  | حساسیت     | حسگر                  |
|   | PIN        |                       |



تصویر ۱: نمای هوایی مسیر پرتوهای اندفا



تصویر ۲: سیستم بازتابنده نصب شده در ساختمان علوم طبیعی

## پارامترهای تاثیرگذار

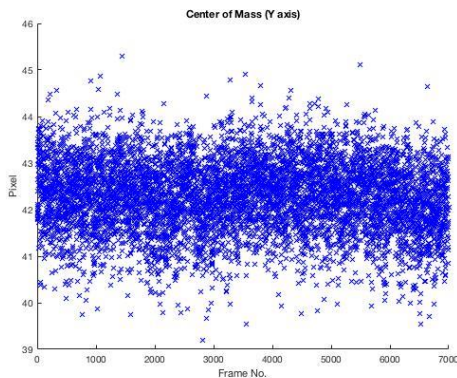
با وجود مزیت‌های بسیار مهم فناوری اندفا، مطالعه تاثیرپذیری این فناوری از تغییرات پارامترهای انتشار در مسیر پرتو نقش بسیار کلیدی در کیفیت ارتباط دارد [1-3]. مطالعه کمیتهای درگیر می‌تواند برای طراحی لینک پایدار اندفا موثر و کارساز

ارتباط نوری در فضای آزاد یا به اختصار اندفا با توجه به امکان ارائه پهنای باند بسیار بالا برای انتقال داده حجیم، قابلیت نصب و راه‌اندازی سریع، امنیت پایدار و بدون شنود (تاکنون) [1]، در کنار نسبت هزینه به داده بسیار ارزان در مقایسه با روش‌های مرسوم ارتباطات بدون سیم، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از کاربران غیرنظامی و نظامی قرار گرفته است. در این شیوه، انتقال داده مبتنی بر امواج الکترومغناطیس در طیف مرئی و یا مادون قرمز است که علت انتخاب این قسمت از طیف دستیابی به نرخ بالای ارسال داده، مسائل ایمنی و عدم وجود محدودیت‌های فضای فرکانسی در ارتباطات رادیویی می‌باشد [1-3]. بررسی رفتار تلاطم جو و پارامترهای مرتبط بر روی کیفیت ارتباط مبتنی بر اندفا یکی از موضوعات اساسی برای ارتقا این روش و بهینه‌سازی منابع است. تاکنون تلاش‌های بسیاری برای مطالعه این رفتار در دنیا انجام شده است. اخیراً با توجه به طراحی، ساخت و اجرای موفق سیستم بومی اندفا توسط این گروه تحقیقاتی، امکان مطالعه و بررسی عوامل موثر بر انتشار در فضای آزاد بر روی کیفیت لینک اندفا فراهم شده است. گزارش‌هایی در رابطه با تاثیر رفتارهای لحظه‌ای جو در بروز افت‌وخیزهایی در کیفیت اندفا ارائه شده [4] که در این مقاله ابتدا سیستم اندفای آزمایشگاه اپتیک دانشگاه زنجان بصورت مختصر معرفی و سپس نتایج اولیه از مطالعه کمیتهای شناخته‌شده بر روی کیفیت اندفا ارائه می‌شود.

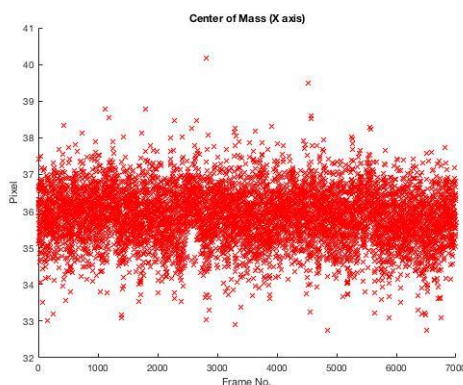
## معرفی سیستم اندفای آزمایشگاه اپتیک دانشگاه زنجان

سیستم اندفا آزمایشگاه اپتیک با هدف دستیابی به یک لینک FSO و ارائه پهنای باند 150Mbs در طول موج 1550nm طراحی و ساخته شده است. در حال حاضر این لینک ارتباطی بین دو ساختمان دانشکده علوم دانشگاه زنجان (ساختمان فیزیک و ساختمان علوم طبیعی) که در فاصله 60m از یکدیگر هستند برقرار شده است. برای افزایش فاصله یک سیستم بازتابنده بر روی ساختمان علوم طبیعی نصب شده که مسیر حرکت پرتو را در یک رفت و برگشت به مقدار 120m می‌رساند (تصویر ۱). این کار

برای اندازه‌گیری این کمیت توسط برنامه، مجموع شدت هر لکه محاسبه و سپس مقادیر در رابطه (۱) قرار داده شده و سوسوزنی محاسبه می‌شود. به طور متوسط مقدار  $0.9$  برای سوسوزنی بدست آمد.



نمودار ۱- تغییرات مکان مرکز لکه بر حسب پیکسل در راستای محور Y



نمودار ۲- تغییرات مکان مرکز لکه بر حسب پیکسل در راستای محور X

### محاسبه تابع ساختار $C_n^2$ و $r_0$

پارامتر ساختار نمایه ضریب شکست که  $C_n^2$  نامیده می‌شود، روشی معمول برای توصیف مقدار شدت تلاطم جو است. با در نظر گرفتن تقریب‌ها اشاره شده در [5] می‌توان از رابطه‌ی زیر را برای محاسبه پارامتر مذکور بهره گرفت.

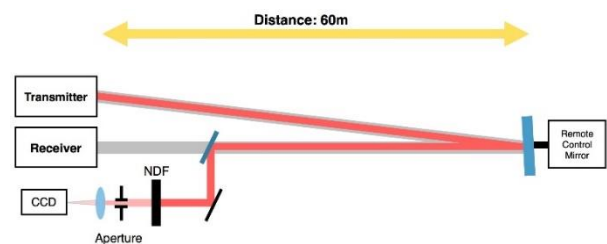
$$C_n^2 \approx \frac{\sigma_I^2}{1.23 k^{7/6} L^{11/6}} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه تقریبی  $\sigma$  انحراف‌معیار شدت،  $k$  عدد موج و  $L$  فاصله‌ی میان فرستنده و گیرنده است. مقدار متوسط این

باشد. انحراف باریکه لیزر، سوسوزنی،  $C_n^2$  و طول فرایند، از عوامل موثر در افت‌وخیز کیفیت لینک اندفا است.

### اندازه‌گیری انحراف باریکه لیزر (Tip/Tilt)

برای اندازه‌گیری این پارامتر از یک پرتوی لیزری جفت‌شده با پرتوی اصلی سیستم اندفا که دارای طول موج  $650nm$  است، در مسیر رفت و برگشت پرتو بهره‌بردیم. هنگام برگشت این پرتو لیزری توسط یک باریکه شکن به یک سیستم اندازه‌گیری انحراف باریکه هدایت می‌شود (تصویر ۴). یک دوربین CCD با مشخصات  $480 \times 640$  پیکسل و اندازه پیکسل  $6\mu$  با نام تجاری Pixelink در کانون یک عدسی با فاصله کانونی  $10cm$  و قطر  $2cm$ ، سیستم اندازه‌گیری انحراف باریکه را تشکیل می‌دهد. توسط یک فیلتر کم‌کننده شدت در جلوی عدسی میزان نور ورودی کنترل می‌شود. با کاهش پیکسل‌های فعال دوربین به آرایه  $80 \times 80$ ، داده‌برداری با نرخ تصویربرداری  $400$  تصویر بر ثانیه و به مدت  $155$  ثانیه انجام گرفت. چپ‌چینش آزمایش در تصویر ۴ آمده است.



تصویر ۴: نمایی از ستاپ آزمایش. از پرتوی قرمز رنگ بعنوان پرتوی جفت‌شده همراه با پرتوی اندفا (خاکسری رنگ) جهت اندازه‌گیری پارامترها استفاده شده است.

با نرم‌افزار نوشته شده در محیط Matlab مرکز جرم لکه‌های ثبت شده بدست آمد. به عنوان نمونه، مکان افقی و عمودی لکه بر حسب پیکسل در نمودارهای ۱ و ۲ آمده است. لازم به ذکر است که خارج شدن لکه از سطح موثر گیرنده منجر به قطعی ارتباط خواهد شد.

### محاسبه کمیت سوسوزنی

مقدار کمیت سوسوزنی از رابطه زیر محاسبه می‌شود [5]:

$$\sigma^2 = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

طول موج  $1550nm$  طراحی و ساخته شده است. برای کسب برآوردی درست از عوامل موثر جوی در مسیر انتشار پارامترهای سوسوزنی،  $Cn2$  و طول فراید مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر  $2.7876 \cdot 10^{-13} m^{-2/3}$  برای مقدار متوسط  $Cn2$  و مقدار  $2.4173 cm$  به عنوان طول فراید در زمان آزمایش اندازه گیری شد. بررسی لینک در شرایط جوی متفاوت در حال انجام است تا برآوردی درست از وضعیت لینک ایجاد شده را بدست آوریم. مطالعه بر روی سایر عوامل و تلاش برای افزایش برد سیستم اندفا در حال انجام است که نتایج کمی آن در مقاله دیگری به زودی منتشر می شود.

### سپاسگزاری

از مدیریت مخابرات منطقه ی زنجان، مدیریت و مجموعه ارتباطات سیار استان و شرکت تماس بخاطر در اختیار گذاشتن تجهیزات تست، اندازه گیری و ارائه ی کمک های فنی کمال تشکر و قدردانی را داریم.

### مرجع ها

- [1] A. Majumdar and J. Ricklin, "Free-Space Laser Communications: Principles and Advances", vol. 2. Springer, 2008.
- [2] M. A. Khalighi and M. Uysal, "Survey on free space optical communication: A communication theory perspective," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 4, pp. 2231–2258, 2014.
- [3] N. Kumar and A. K. Rana, "Impact of various parameters on the performance of free space optics communication system," *Optik*, vol. 124, no. 22, pp. 5774–5776, 2013.
- [4] H. Kaushal, G. Kaddoum, "Free Space Optical Communication: Challenges and Mitigation Techniques.", arXiv:1506.04836, CoRRabs/1506.04836 (2015)
- [5] L. Andrews, and R. L. Phillips, "Laser Beam Propagation through Random Media", SPIE Press, Washington, 1998.
- [6] H. Beaumont, C. Aime, E. Aristidi and H. Lanteri, "Image quality and seeing measurement for long horizontal overwater propagation", *Pure and applied optics*, Jan. 1999.

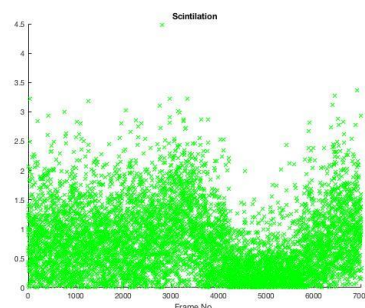
پارامتر با استفاده از داده های سوسوزنی  $2.7876 \cdot 10^{-13} m^{-2/3}$  محاسبه شده است.

پارامتر فراید یا طول  $r_0$  کمیتی است که بیان کننده ی وضعیت تلاطم محیط انتشار است. برای درک بهتر می توان این مقدار را اندازه دهانه تلسکوپی فرض کرد که در غیاب تلاطم جو توان تفکیکی را ارائه می کند که تلسکوپی با دهانه ی نامتناهی در حضور تلاطم قادر به ارائه همان مقدار توان تفکیک است. نشان داده شده که  $r_0$  دارای رابطه زیر با  $C_n^2$  است [۶]:

$$C_n^2 = 0.16 r_0^{-5/3} \lambda^2 L^{-1} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن  $\lambda$  طول موج و  $L$  فاصله ی میان گیرنده و فرستنده خواهد بود. با جای گذاری مقادیر به مقدار  $r_0 = 2.4173 cm$  خواهیم رسید. در جدول شماره ۲ هم می توان اطلاعات استخراج شده از ایستگاه هواشناسی دانشگاه زنجان را در زمان انجام آزمایش، مشاهده کرد.

نمودار ۳: رفتار سوسوزنی پرتوی جفت شده



جدول ۲: اطلاعات هواشناسی زمان و مکان آزمایش

|                 |            |
|-----------------|------------|
| 05/09/1398      | تاریخ      |
| 18              | زمان (UTC) |
| 2° c            | دما        |
| 838.300 hPa     | فشار       |
| 2 m/s, 7.2 km/h | سرعت باد   |
| شرقی            | جهت باد    |
| ۷۰۰۰ متر        | دید افقی   |

### نتیجه گیری

لینک ارتباطی نوری در فضای آزاد دانشگاه زنجان یا به اختصار اندفا در این کار معرفی شد. این سیستم برای دستیابی به یک لینک  $FSO$  در فاصله  $120m$  و ارائه ی پهنای باند  $150Mbs$  در