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

# شبیه سازی شدت خارج از محور لیزر ۱.۰۶ میکرو متر پراکنده شده از ذرات معلق در خلیج فارس

[۱]رقیه افشار، [۱]محسن حاتمی، مهناز زاهدی

[۱]دانشکده فیزیک ، دانشگاه صنعتی شیراز ، شیراز

**چکیده -در این کار تحقیقاتی، شدت خارج از محور لیزر ۱.۰۶۰ میکرومتری پراکنده شده از ذرات معلقِ خلیج فارس با در نظر گرفتن درصد رطوبت نسبی درفصل‌های مختلف سال بصورت عددی محاسبه و ارائه شده است. از نتایج این تحقیق می‌توان برای آشکار سازی پرتوهای لیزری خارج از محور برای سیستمهای حفاظتی و هشدار دهنده در خلیج فارس استفاده کرد.**

کلید واژه-شبیه سازی شدت لیزر خارج از محور، پراکندگی مای، ذرات معلق، لیزر ۱.۰۶μm

.

# Simulation of the off-axis irradiance of 1.06 micrometer laser scattered from the aerosols in the Persian Gulf

Roghaye Afshar, Mohsen Hatami, Mahnaz Zahedi

Department of Physics , Shiraz University of Technology , Shiraz

Abstract - In this work, Off-axis irradiance of a 1.060 µm laser beam scattered from the aerosols in the Persian Gulf in the presence of humidity is simulated numerically for all seasons of the year. The result of this investigation can be used for protecting and alarming systems in Persian Gulf.

Keywords: Simulation of the off-axis irradiance of laser, Mie scattering, aerosols, 1.06 µm laser



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

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]

## ۱- مقدمه

پرتوهای منتشر شده از لیزر نه تنها با قرار دادن آشکارساز در مقابل مسیر مستقیم پرتو آشکار می‌شود، بلکه در خارج از محور آشکارساز نیز به دلیل تابش های پس زمینه و پرتوهای لیزر پراکنده شده توسط دهانه‌ی خروجی لیزر و ذرات معلقِ[۱]محیط قابل آشکارسازی است. سهم نسبی این عوامل در آشکارسازی خارج از محور به ویژگی لیزر، مشخصات جمع کننده نوری، شرایط هواشناسی، موقعیت زمانی و چگالی ذرات بستگی دارد. در این کار تحقیقاتی سهم پراکندگی ناشی از دهانه خروجی لیزر و تابش پس زمینه را ناچیز فرض کرده و تنها اثر پراکندگی حاصل از ذرات معلق در نظر گرفته شده است. از عوامل مهم در پراکندگی حاصل از ذرات معلق محیط، چگالی است که این چگالی به ترکیب ذرات معلق و میزان رطوبت نسبی هوا بستگی دارد[۱]. در این کار تحقیقاتی هدف ما بررسی اثر رطوبت نسبی ۶۰٪ تا ۷۰٪ بر روی شدت خارج از محور لیزر ۱.۰۶۰ میکرومتری پراکنده شده از ذرات معلق، برای فصل‌های مختلف سال در منطقه‌ی بحرین با استفاده از مدل پیشنهادی روی[۲] و رید[۳] درسال ۲۰۰۸ است[۲].

## ۲- مبانی نظری

مدل استفاده شده در برآورد سهم نسبی تابش پراکنده شده توسط ذرات معلق، در شدت آشکار شده در گیرنده هشدار لیزری[۴]واقع در خارج از محور لیزر، مدل پیشنهادی روی و رید درسال ۲۰۰۸ است. در این مدل فرض شده است که ذرات معلق کروی و دارای توزیع یکنواخت و همگن هستند. افزون بر این، در این مدل رویدادهای پراکندگی مستقل از هم در نظر گرفته شده و توسط تقریب پراکندگی واحد بیان شده‌اند. در شکل۱ موقعیت پراکندگی و آشکارسازی پرتو لیزر نمایش داده شده است. توان جمع شده در حسگر که ناشی از پراکنده شدن پرتو لیزر توسط ذرات معلق موجود در منطقه خلیج فارس است، به وسیله‌ی معادله زیر معرفی می‌شود[۲و۳]:

$$P_{scat} = P_{scat}(\lambda, z_{tot}, d_{off}, \beta) = P_0 c\varsigma \times T_{sys_\det} T_{noobtured} F_{pulse} F_{beam} \times T_{mol} T_{aer} ext_{aer} \omega_0 P_{aer}. \quad (۱)$$

$P_0$ توان کل پرتو ساطع شده از لیزر، $d_{off}$ فاصله خارج از محور، $\lambda$ طول موج، $z_{tot}$ فاصله لیزر تا گیرنده در طول محور باریکه لیزر ، $\beta$ زاویه پراکندگی، $c$ سرعت نور، $\varsigma$ پهنای پالس لیزر، $\omega_0 = scat_{ear}(\lambda)/ext_{ear}(\lambda)$ نمار پراکندگی تنها می‌باشند. میرایی حاصل از ذرات معلق و مولکول‌ها با توابع انتقال $T_{aer}$ و $T_{m\,o}$ بیان می‌شود. $P_{aer}$ تابع فاز پراکندگی است که از تئوری مای بدست آمده است[۴]. $ext_{aer}(\lambda)$ ضریب خاموشی و $scat_{aer}(\lambda)$ ضریب پراکندگی می‌باشند. $T_{sys_\det}$ اتلاف حاصل از سیستم آشکارساز (عدسی و فیلتر) است. $T_{noobtured}$ بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T_{noobtured} = \frac{\pi (D/2)^2 \times F_{r_{noobtured}}}{d_{off}^2 / \sin^2 \beta}. \quad (۲)$$

در این رابطه $F_{r_{noobtured}}$ کسری از کل سطح جمع کننده نوری است که مسدود نشده و $D$ قطر دهانه‌ی گیرنده هشدار لیزری است.

$F_{pulse}$ کسری از پالس لیزر جمع شده در سیستم آشکارساز نوری است و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_{pulse} = \frac{1}{c\varsigma} \times L_b = \frac{1}{c\varsigma} \times \frac{d_{off} \times F_{r_{noobtured}} \times \sin\sigma_d}{\sin(\beta - \frac{\sigma_d}{2}) \times \sin(\beta + \frac{\sigma_d}{2})}. \quad (۳)$$

در این رابطه $L_b$ طول باریکه لیزری آشکار شده به وسیله‌ی گیرنده هشدار لیزری و $\sigma_d$ میدان دید گیرنده هشدار لیزری می‌باشد.

$F_{beam}$ کسری از باریکه لیزر جمع شده در سیستم آشکارساز نوری می‌باشد و با رابطه زیر بدست می‌آید:

---

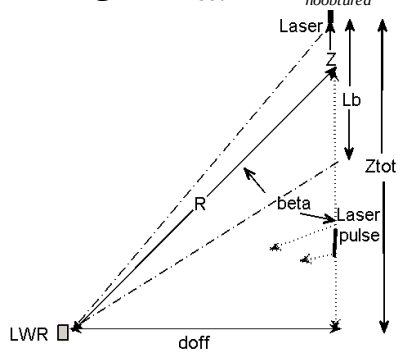
[۱] aerosol
[۲] Roy
[۳] Reid
[۴] Laser Warning Receiver (LWR)



[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]

$$F_{beam} \approx \frac{z\theta_{beam} R\sigma_d F_{r_{noobtured}}}{\pi (z\theta_{beam})^2 / 4} \approx \frac{R\sigma_d F_{r_{noobtured}}}{z\theta_{beam}}. \quad (۴)$$

در رابطه بالا فرض شده است $R\times\sigma_d \geq z\times\theta_{beam}$، بنابراین $F_{r_{noobtured}}$ با $F_{beam}$ برابر می‌شود.




شکل ۱: نمایش موقعیت پراکندگی باریکه لیزر به وسیله ذرات معلق و آشکارسازی پرتو لیزر. فاصله خارج از محور با $doff$ و فاصله بین نقطه پراکندگی و گیرنده توسط $R$ فاصله لیزر تا گیرنده در طول محور باریکه لیزر $Ztot$ نمایش داده شده است.

پارامتر کلیدی که تاثیر رطوبت نسبی را بر روی پراکندگی نور توسط ذرات معلق بیان می‌کند فاکتور افزایش پراکندگی است که به صورت نسبت ضریب پراکندگی محیط با رطوبت نسبی $RH$ به ضریب پراکندگی محیط بدون رطوبت تعریف می‌شود[۵]:

$$f(\lambda, RH) = \frac{scat(\lambda, RH)}{scat(\lambda)} \quad (۵)$$

با در نظر گرفتن رطوبت نسبی، ضریب پراکندگی و نمار پراکندگی تنها به ترتیب با روابط زیر بیان می‌شوند:

$$scat(\lambda, RH) = \frac{\pi}{2}\int_D Q_{scat(\alpha, m(RH))} \times D \times (g(RH))^2 \times \frac{dN(D)}{dD} dD \quad (۶)$$

$$\omega_0 = \frac{f(RH)\times scat(\lambda)}{f(RH)\times scat(\lambda) + abss(\lambda)} \quad (۷)$$

در رابطه ۷، $\alpha = \pi D/\lambda$ پارامتر اندازه ذرات معلق و $D$ قطر ذرات معلق و $Q_{scat(\alpha, m(RH))}$ ضریب بهره پراکندگی محیط مرطوب است.

قطر ذرات معلق به دلیل جذب آب با فاکتور رشد نمگیر $g(RH)$ که به صورت نسبت قطر مرطوب به خشک می‌باشد، بیان می‌شود:

$$g(RH) = \frac{D_{wet}(RH)}{D_{dry}} \quad (۸)$$

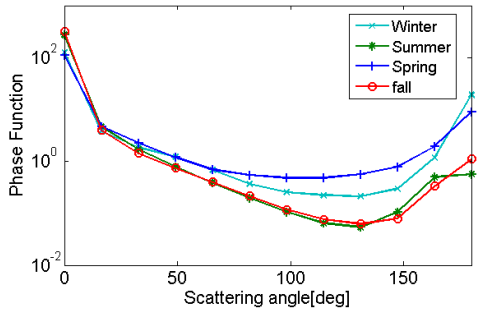
## ۳- شبیه سازی و بحث

در این بخش نتایج شبیه سازی برای ذرات معلق موجود در منطقه خلیج فارس (بحرین) و طول موج لیزر $1.06\mu m$ انجام شده است. رطوبت نسبی محیط در فصول مختلف سال در جدول ۱ نشان شده است. مقادیر در نظر گرفته شده در پارامترهای مربوط به لیزر عبارتنداز: $\lambda = 1.06\mu m$، $P_0 = 30[mJ/laser]$، $c = 3\times10^8 m/s$، $\varsigma = 1.3\times10^{-8} s$، $T_{sys_det} = 0.45$، $F_{r_{noobtured}} = 0.9395$، $\sigma_d = 0.0654 rad$، $\theta_{beam} = 0.00013 rad$، $D = 0.04572m$، $T_{mol} = 1.2$.

جدول۱ : مقادیر پارامتر توزیع اندازه‌ی تعداد ذرات معلق و رطوبت نسبی در فصول سال[۶].

| | $N_n$ | $[\mu m]\ r_n$ | $RH(\%)$ | $\sigma$ |
|---|---|---|---|---|
| بهار | ۰.۰۳۲۰ | ۲.۲۱ | ۶۲ | ۰.۷۴۰ |
| تابستان | ۰.۰۰۱۷ | ۲.۸۳ | ۶۸ | ۰.۷۴۶ |
| پاییز | ۰.۰۰۹۴ | ۲.۷۰ | ۶۵ | ۰.۶۹۰ |
| زمستان | ۰.۰۰۸ | ۲.۵۴ | ۷۰ | ۰.۷۵۳ |

تابع فاز به پارامترهای توزیع اندازه ذرات معلق ، مقادیر طول موج و ضریب شکست بستگی دارد. در مورد ذرات کروی، تابع فاز می‌تواند به وسیله‌ی تئوری مای محاسبه شود. شکل ۲ نتایجی از محاسبات مای، برای ذرات معلق فصول سال در منطقه خلیج فارس را نشان می‌دهد.




شکل ۲: نمودار تابع پراکندگی فازی بر حسب زاویه‌ی پراکندگی با درصد رطوبت ۶۰٪ تا ۷۰٪ در فصول سالِ منطقه خلیج فارس.

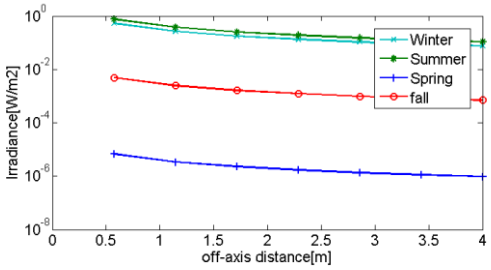
به دلیل آن که در پراکندگی پرتویی با طول موج قابل مقایسه با اندازه ذره، پراکندگی در جلوی ذره بیشتر است، بیشتر پراکندگی در پراکندگی مای برای زاویه‌های کمتر



[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]

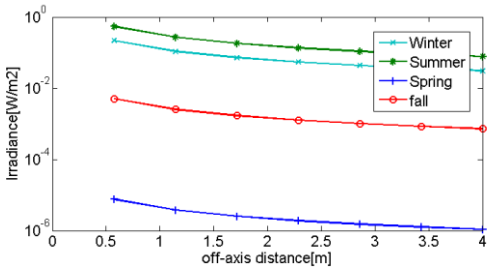
از $۱۵^{o}$ دیده می‌شود و برای فصل‌های تابستان و زمستان که محیط درصد رطوبت بیشتری دارد ،پراکندگی بیشتر است. افزون بر این تابع فاز یک کمینه مقدار را در زاویه‌های نزدیک $۱۲۰^{o}$ نشان می‌دهد و این به دلیل تابع فاز پراکندگی ذرات معلق است که از تئوری پراکندگی مای به دست آمده است.

شکل ۳ شدت دریافت شده در گیرنده نسبت به فاصله خارج از محور را به تصویر کشیده است. در این مورد زاویه پراکندگی $۱۰^{o}$ در نظر گرفته شده است. در فصل‌های تابستان و زمستان که به ترتیب رطوبت نسبی ۶۸٪ و ۷۰٪ است، شدت بیشتری و مطابق این شکل با افزایش فاصله‌ی خارج از محور شدت کاهش یافته است.



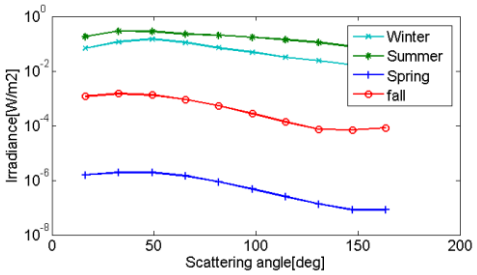

شکل ۳: نمودار شدت دریافتی گیرنده بر حسب فاصله خارج از محور. زاویه پراکندگی $۱۰^{o}$است.

شکل ۴ شدت دریافت شده در گیرنده را بر حسب فاصله خارج از محور را نشان می‌دهد. در این مورد زاویه پراکندگی $۴۵^{o}$ در نظر گرفته شده است. مشاهده می‌شود با افزایش زاویه پراکندگی شدت کاهش بیشتری نسبت به زاویه پراکندگی $۱۰^{o}$ می‌یابد.




شکل ۴: نمودار شدت دریافتی گیرنده بر حسب فاصله خارج از محور. زاویه پراکندگی $۴۵^{o}$ است.

شکل ۵ تغییرات شدت دریافتی گیرنده را بر حسب زاویه‌ی پراکندگی نمایش می‌دهد. مطابق این شکل ، شدت حاصل از باریکه پراکنده شده از ذرات معلق ، در فصول تابستان و زمستان با درصد رطوبت نسبی به ترتیب ۶۸٪ و ۷۰٪ نسبت به پاییز و بهار با رطوبت نسبی ۶۵٪ و ۶۲٪ بیشتر است.




شکل ۵: نمودار شدت دریافتی گیرنده بر حسب فاصله خارج از محور. زاویه پراکندگی $۴۵^{o}$ است.

## ۴- نتیجه‌گیری

در این کار تحقیقاتی به دلیل اهمیت راهبردی خلیج فارس و خصوصاً احتمال استفاده از موشک‌های هدایت شونده با لیزر و سیستم‌های لیدار، شدت خارج از محور لیزر ۱.۰۶۰ میکرومتری پراکنده شده از ذرات معلق خلیج فارس برای فصل‌های مختلف سال و با در نظرگرفتن درصد رطوبت نسبی محیط خلیج فارس مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل از این کار تحقیقاتی بیانگر آن است که با افزایش فاصله‌ی خارج از محور و نیز زاویه‌ی پراکندگی، میزان شدت دریافتی گیرنده‌ها کاهش می‌یابد. شدت نزدیک به زاویه‌های $۱۲۰^{o}$ تا $۱۵۰^{o}$ کمینه مقدار دارد. افزون بر این، با افزایش رطوبت نسبی محیط، شدت دریافتی گیرنده‌ها افزوده شده است.

## مراجع


[1] shettle ,E.p., Fenn ,R.W., *Models for the Aerosols of the Lower Atmosphere and the Effects of Humidity on Their Optical Properties* **Environmental research papers**,676.,(1979)

[2] Roy N., Reid F., *off-axis laser detection model in coastal areas*, **Opt.Eng.** 47(8) (2008) 86002,1-11.

[3] Michulec J.K., Schleijpen R., *Influence of aerosols on off-axis laser detection capabilities.*;**Proc. SPIE 7463**, 1-12 (2009).

[4] Bohren C.F., Huffman D.R., "*Absorption and Scattering of Light by Small Particles*"; 550 pp., John Wiley, New York, (1983).

[5] Zieger P., Fierz-Schmidhauser R., Weingartner E., Baltensperger U., *Effects of relative humidity on aerosol light scattering: results from different European sites*, **Atmos. Chem. Phys.**, 13, (2013)10609–10631

[6] Slutsker I.; *Atmospheric Aerosol Optical Properties in the Persian Gulf* .; ***Journal of Theatmospherics*** 59 (2001).




[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04 ]