



شبیه سازی عددی انتشار پرتو لیزر در جو آشفته با استفاده از چند جملهایهای زرنیک برای طول موجهای مختلف

شیوا موذن دهکردی '، محمد مرادی' و محمد رشیدی حاتمی'

^۱گروه فیزیک، دانشگاه شهرکرد

^۲ گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد شهرکرد

چکیده – در این مقاله هدف بررسی اثرجو آشفته بر انتشار باریکه لیزر است. به این منظور ابتدا با فرض گاوسی بودن باریکه لیزر، این پرتو شبیه سازی میشود. سپس با استفاده از چندجملهایهای زرنیک، جو آشفته شبیهسازی میگردد. نهایتا پارامترهای شدت و *PSF* برای چهار طول موج λ=1024, 633, 527, 450 nm ، برای ² α های مختلف اندازه گیری میشود.

کلید واژه- انتشار پرتو لیزر، صفحات فازی، جو آشفته، چندجملهای های زرنیک .

Numerical Simulation of Laser Beam Propagation through Turbulent Atmosphere by using Zernike polynomials for Different Wavelengths

Shiva Moazen Dehkordi¹, Mohammad Moradi¹ and Mohammad Hatami Rashidi²

¹Department of Physics, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

²Department of Computer, Shahrekord Azad University, Shahrekord, Iran

Abstract- In this article, propagation of a laser beam through turbulent atmosphere is evaluated. At first the laser beam is simulated and then turbulent atmosphere will be simulated by using Zernike polynomials. Some parameter like intensity, PSF will be measured for four wavelengths in different C_n^2 .

Keywords: Laser beam propagation, Phase screen, Turbulent atmosphere, Zernike polynomials.

۱– مقدمه

امواج اپتیکی حین انتشار در جو آشفته در هم پیچیده می شوند. مشاهدات ستاره شناسی و انتشار لیزر در جو از مهمترین بخشهایی هستند که تحت تاثیر پدیده آشفتگی قرار می گیرند [۱]. انتشار پرتو لیزر در جو آشفته طی سالهای متمادی مورد بررسی قرار گرفته است [۲] و [۳]. زمانی که پرتو لیزر کم توان در جو منتشر می شود، تحت تاثیر یدیدههای جذب، آشفتگی و یراکندگی قرار می گیرد. اساسا تاثیر آشفتگی به دلیل تغییرات تصادفی در ضریب شکست نور است [۴]. برای توصیف انتشار پرتو ليزر در جو آشفته، ابتدا جو آشفته شبيهسازي مي شود كه در این مطالعه، جو آشفته با استفاده از چندجملهایهای زرنیک شبیهسازی می گردد. چندجملهای های زرنیک دارای سه ویژگی منحصر بفرد هستند: ۱- ضرایب چند-جملهای به طور مستقیم تولید کننده ابیراهیهای نوری هستند. ۲- چندجمله یها متعامد و کامل هستند. ۳-ضرایب چندجمله ای برای مدل آشفتگی کاکماگروف قابل محاسبه هستند [۵]. در این مطالعه مدل آشفتگی بر پایه نظريه أشفتكي كالماكروف است كه تاثير شرايط أشفتكي مختلف با بکارگیری مقادیر متفاوت C_n^2 و طول موجهای مختلف و تاثیر آنها بر روی شدت لیزر مورد بررسی قرار مي گيرد.

۲- شبیه سازی انتشار پرتو لیزر در جو آشفته

۲-۱- شبیه سازی باریکه لیزر

در اپتیک پرتو گاوسی، پرتو الکترومغناطیسی است که شدت تابش و میدان الکتریکی عرضی آن توسط توابع گاوسی، بهخوبی تقریب زده شود. بسیاری از لیزرها پرتوهایی را منتشر میکنند که به-صورت تقریبی از مشخصات گاوسی است. پرتو گاوسی منتشر شده در این حالت مد عرضی پایه یا گاوسی منتشر شده در این حالت مد عرضی پایه یا توسط لنز پراش محدود پراشیده شود، پرتو گاوسی به پرتو گاوسی دیگری که با مجموعه پارامترهای دیگر توصیف میشود، تبدیل می گردد. تابع ریاضی که پرتو گاوسی را توصیف کند، جواب معادله

گاوسی، دامنه مختلط میدان الکتریکی پرتو است. میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی هر دو بهعنوان موج الکترومغناطیس منتشر میشوند. معادله پرتویی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است به صورت زیر است: $u(r) = A_0 exp[-r^2/w^2]$ $(1) = M_0 exp[-r^2/w^2]$ که در اینجا 1= A_0 ، کمر پرتو w=0.04m و r شعاع انحنای پرتو است.

۲-۲- تولید صفحات فازی کاتوره ای

تولید صفحات فازی مهمترین نقش را در شبیهسازی انتشار پرتو در جو آشفته بازی میکند. روشهای تولید صفحه فازی عبارتند از: روش فوریه، روش ساب هارمونیک و روش زرنیک از آنجایی که روش زرنیک تمامی بسامدها را شامل میشود و در بردارنده ابیراهی های نوری است، در این مطالعه از روش زرنیک استفاده شده است. همانطور که قبلا ذکر شد در این شبیه سازی از طیف کالماگوروف استفاده شده است:

$$\Phi_n(K,z) = 0/033C_n^2(z)K^{-\frac{11}{8}}$$
(⁽)

$1/L_0 \ll k \ll 1/l_0$

که در این معادله C_n^2 ضریب ساختار جو، l_0 مقیاس درونی، L_0 مقیاس بیرونی و k عدد موج است. یک صفحه فازی زرنیک به وسیله ضرب ضرایب وزنی در مجموعه چندجملهایهای زرنیک به دست میآید که مقادیر ضرایب از ماتریس کوواریانس زرنیک برای D/r_0 مشخص به دست می آید که در آن D قطر دهانه و r_0 طول به دست می آید که در آن D قطر دهانه و r_0 طول از عامل چالسکی B * (Ka) ماتریس کواریانس افزار متلب به دست میآید که K ماتریس کواریانس واحد و متغیر کاتوره ای گاوسی است. همچنین ماتریس واحد و متغیر کاتوره ای گاوسی است. همچنین ماتریس کواریانس برای D/r_0 دلخواه با ضرب (D/r_0) در ماتریس کواریانس تولید میشود [۶] و [۷]. مراحل تولید صفحه فازی زرنیک به صورت خلاصه عبارتست از [۰۱– ۸]:

۱- محاسبه چندجملهایهای زرنیک Zi بر روی
دایره واحد.

- -۲ تولید ماتریس کواریانس زرنیک Ka.
- ۳- محاسبه ضرایب وزنی و ضرب آن در Zi.
- ۴- به دست آوردن مجموع ضرب ضرایب وزنی در Zi



شکل ۱: صفحه فازی تولید شده با استفاده از چندجملهای های زرنیک برای D/r₀ واحد شامل جملات ۲ تا ۱۲۸ زرنیک برای تعداد نقاط شبکه ۱۲۸*۱۲۸.

۲-۳ انتشار پر تو لیزر در جو آشفته

در این شبیه سازی جو در راستای افق همگن فرض شده است. پارامترهای پرتو گاوسی عبارتند از کمر پرتو $\lambda=1024, 633, 527, and 450 nm <math>w_0=0.04$. تعداد نقاط شبکه 128*128. تعداد صفحات فازی 100 عدد و فاصله انتشار 10 km است.

۳– مشاهدات

نتایج شبیه سازی شامل تاثیر میزان آشفتگی بر روی شدت و PSF می باشد. شکل ۲ نشان دهنده نتایج انتشار پرتو لیزر در جو در شرایط: (الف) FSO ، (ب) آشفتگی ضعیف (10 -10⁻¹³)، (ج) آشفتگی متوسط (10 -10⁻¹⁵) و (د) آشفتگی قوی (10 -10⁻¹¹) است. در این شکل ها کمر (د) آشفتگی قوی (10 -10⁻¹²) است. در این شکل ها کمر پرتو 0.04, 633, 527, 450 است. همان گونه که پرتو 0.04 های انتشار ma 210 km است. همان گونه که مشاهده میشود با افزایش میزان شاخص آشفتگی شدت مشاهده میشود با افزایش میزان شاخص آشفتگی شدت مدت، تغییرات سریعتری را نشان میدهد که بیشترین شدت، تغییرات سریعتری را نشان میدهد که بیشترین میزان افت و خیزها متعلق به mn 1024 km ست که این به معنای این است که در این مطالعه با افزایش طول موج، افت و خیزها افزایش مییابد. شکل ۳ نتایج انتشار پرتو

لیزر بعد از انتشار در خلا و جو آشفته با میزان آشفتگی های مختلف: آشفتگی ضعیف ($C_n^2 = 10^{-10}$)، آشفتگی متوسط ($C_n^2 = 10^{-10}$) و آشفتگی قوی ($C_n^2 = 10^{-10}$) را نشان میدهد. در این شکل کمر پرتو $0.04 = w_0 = 0.04$ ، طول موج $\lambda = 1024$ و فاصله انتشار km است.













شکل ۲: نمودار پرتو لیزر منتشر شده در فاصله z=10 km (الف) شرایط خلا (ب) آشفتگی ضعیف $(C_n^2=10^{-15})$ (ج) آشفتگی متوسط $(C_n^2=10^{-11})$ (د) آشفتگی قوی ($C_n^2=10^{-13}$).

۴- نتیجه گیری

با افزایش میزان شاخص آشفتگی^{(C_n²) شدت دریافتی در صفحه مشاهده کاهش مییابد. همچنین با افزایش میزان آشفتگی و افزایش طول موج، میزان افت و خیزهای نمودار شدت افزایش مییابد که در این مطالعه آشفتگی در ناحیه IR بیشترین مقدار افت و خیز را داشت.}





 Tyson R. K., *Principle of Adaptive Optic*, New York: Academic Press, 1991.

- [2] Burlaamacchi P., Consortini A., Francia G. D., Phase Reconstruction of the Focused Gaussian Beam whit Optical Vortex, Quantum Electron. 3 (1967) 234.
- [3] Consortin A. I., Ronchi L, Choice of the Model of Atmospheric Turbulence, Appl. Opt., 9 (1970).
- [4] Moradi M, Simulation of Anisoplantism of Adaptive Optical System in Inhomogeneous Turbulent Atmosphere, Optical Review, 15 (2005) 125-129.
- [5] Sjoqvist L., Henriksson M., Steinvall O, Simulation of Laser Beam Propagation over Land and Sea using Phase, Proc. of SPIE, 5989 (2005) 59890D-1.
- [6] Noll R., Zernike Polynomials and Atmospheric Turbulence, Opt. Soc. Am. 66 (1976) 207-211.
- [7] Roggman M. C., Welsh B. M., *Imaging through Turbulence*, New York: CRC Press, Boca Roten, 1996.
- [8] Eckert R. J., *Polar Phase Screen*, **Department of Air Force University**.
- [9] Massie N. A., Low-Cost, High-Resolution, Single-Structure Array Telescope of Low-Earth –Orbit Satellites, Appl. Opt. 31 (1992) 447.
- [10] Welsh B. M., Gardner C. S., Effect of Turbulence-Induced Anisoplantism on the Imaging Performance of adaptive Astronomical Telescope using Laser guide Star, Opt. Soc. Am. 8 (1991) 69-80.





(ج)



شکل۳ : نمودار دو بعدی شدت پرتو لیزر منتشر شده (ستون سمت چپ) و PSF متناظر (ستون سمت راست) در فاصله m z=10 (الف) شرایط خلا (ب) آشفتگی ضعیف (^{10–2}10⁻¹) (ج) آشفتگی متوسط (^{10–1}20) (د) آشفتگی قوی (^{11–1}20).