



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.  
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۹-۱-۲۶۰-۱۰-A

## بررسی اثرات ذرات پراکننده در فرآیند تصویرسازی با اندازه گیری تابع انتقال مدولاسیون مبتنی بر روش ماره دیجیتال

احسان شمسی<sup>۱,۲</sup>، ابوالفضل رضانی<sup>۱,۲</sup>، دکتر خسرو معدنی پور<sup>۱,۲</sup>

۱- دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- آزمایشگاه اندازه گیری اپتیکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده- در این مقاله اثر ذرات پراکننده در فرآیند تصویرسازی با اندازه گیری تابع انتقال مدولاسیون (MTF) بررسی می شود. MTF با کمک روش ماره برای سه محیط مختلف بدست می آید. از یک توری رانگی در فاصله مشخص با دوربین دیجیتال که در حد فاصل دوربین و توری یک محفظه حاوی آب قرار داده شده است عکس هایی گرفته می شود. تصاویر گرفته شده با استفاده از نرم افزار به اندازه  $+0/2$  و  $-0/2$  چرخانده و روی هم قرار داده می شود. تابع تراکسیل فریزهای ماره با جاروب یک شکاف مجازی موازی با فریزها اندازه گیری می شود. با در دست داشتن تابع تراکسیل ماره تابع MTF محاسبه می شود. در نهایت اثرات ذرات پراکننده بر روی کیفیت تصویر با کاهش MTF تصویر کاملا مشخص است.

کلید واژه- تکنیک ماره، تابع انتقال مدولاسیون، تابع تراکسیل، ذرات پراکننده

## Examine the effects of scatterer particles in illustration process with measurement of MTF by digital moiré technique

Shamsi Ehsan<sup>1,2</sup>-Ramezani Abolfazl<sup>1,2</sup>-Dr. Madanipour Khosro<sup>1,2</sup>

1- Department of Physics, Amir Kabir University of Technology

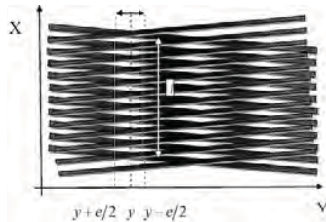
2-Optical Measurement Central Laboratory & Optics Research Group,  
Amir Kabir University of Technology

**Abstract-** In this work, we examine the effect of scatterer particles on illustration process with measurement of MTF by moiré technique. In this technique we capture some picture in different distance from a Ronchi grating by CCD camera. Images are transferred to a PC, and by use of software rotating each image by  $0/2$  and  $-0/2$ , and superimposing them. The average transmittance function of the superimposed image gratings is measured in a moiré fringe interval by scanning the moiré pattern by a virtual slit parallel to moiré fringes. With the latter function the MTF of the CCD can be deduced. The effects of scatterer particles on quality of images is obvious on reducing of MTF.

Keywords: Moiré Technique, Modulation Transfer Function, Transmittance Function, Scatterer particles

بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

که  $\nu$  فرکانس زاویه ایی است.  $a_n$  ضریب بسط توری رانکی،  $n$  عدد صحیح،  $f$  فاصله کانونی دستگاه تصویرساز می باشد و  $d$  گام توری تصویراست. تابع تراگسیل ماره در یک گام را می توان با جاروب فریزها با یک شکاف مجازی به طول  $l$  و عرض  $e$  و موازی با فریزهای ماره اندازه گیری کرد. میانگین نور عبور کرده از شکاف وقتی که به طور یکنواخت روشن شده است و خط مرکزی آن در  $y$  است، شکل (1)، به صورت زیر محاسبه می شود:



شکل (۱): توری های برهم نهی شده و دوران یافته و شکاف مجازی

که  $I_0$  بر تابش روشنایی است. مقدار  $I(x, y)$  از رابطه (2) بدست می آید. با جایگذاری این رابطه داریم:

$$\varphi(y) = I_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \sum_{m=-\infty}^{+\infty} a_n a_m OTF(n\nu) OTF(m\nu) \int_{y-e/2}^{y+e/2} I(x, y) \exp\left\{\frac{i2\pi\nu}{f}[n-m]y \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)\right\} dy \quad (3)$$

انتگرال اول به جز در  $n=-m$  صفر است و در  $n=-m$  برابر یک است که در این حالت معادله (3) به شکل زیر در می آید:

$$\varphi(y) = I_0 l \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n a_{-n} OTF(n\nu) OTF(-n\nu) \int_{y-e/2}^{y+e/2} \exp\left(\frac{i2\pi n y}{d_m}\right) dy \quad (4)$$

OTF یک تابع حقیقی است:

$$OTF(-n\nu) = OTF^*(n\nu) \quad (5)$$

(1)  $i(x) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} a_n OTF\left(\frac{n}{d}\right) \exp\left(\frac{i2\pi n x y}{f}\right)$  یکی از پارامترهایی که در کیفیت دستگاه های دیجیتال اندازه گیری می شود، تابع انتقال مدولاسیون (MTF) است [1]. اما مفهوم MTF محدود به آن نبوده و قابل تعمیم به محیط های مختلف از جمله آب و جو حاکم بر طبیعت نیز می باشد [2]. این تابع برای بررسی اثر تلاطم و پراکندگی بر روی کیفیت تصویر نیز به کار میرود [3]. در اغلب مطالعات انجام شده اثر ذرات پراکننده نور بر روی MTF نادیده گرفته می شود و به طور معمول تنها تلاطم در نظر گرفته می شود. در محیط شناوری آب، به دلیل کمتر بودن میزان روشنایی طبیعی ناشی از تابش خورشید در سطح آب و نیز پراکندگی نور در آب، همه چیز کمتر قابل مشاهده است. همچنین اجسام به دلیل پراکندگی نور بین جسم و بیننده تاری می شوند و در نتیجه MTF کمتری ایجاد می کنند. به طور عمومی پذیرفته شده است که محدودیت اصلی در دید اپتیکی در زیر آب به دلیل وجود پدیده پس پراکندگی نور می باشد. روش های متفاوتی برای اندازه گیری MTF وجود دارد یکی از روشها استفاده از تکنیک ماره است [4-5]. در این مطالعه اثر قطرات یک مایع بر روی کیفیت تصویر با استفاده از اندازه گیری MTF با استفاده از روش ماره بررسی شده است.

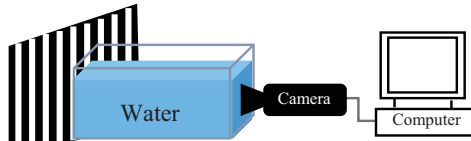
## ۲- مبانی نظری

تابع انتقال اپتیکی (OTF) برای هر فرکانس زاویه ای فضایی به صورت یک تابع تراگسیل توری تصویر نمایان می شود. تابع فوریه تابع تراگسیل توری تصویر نمایان می شود. تابع تراگسیل توری رانکی به صورت زیر نشان داده می شود [6]

- 1-Modulation Transfer Function
- 2-scattering
- 3-Blur
- 4-Scattering
- 5-Optical Transfer Function

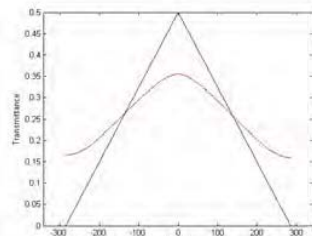
بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

است تصویری از آن تهیه می‌شود. خطوط توری موازی سطح افق قرار دارند. دوربین مورد استفاده در این کار دوربین دیجیتال مدل Nikon-D5200 بود. بر روی این دوربین عدسی Nikon 18-55 نصب گردیده بود. چیدمان تصویرگیری در شکل شماره (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): چیدمان تصویرگیری از توری رانکی

تصاویر گرفته شده بوسیله دوربین با ابعاد  $6000 \times 4000$  پیکسل در رایانه ذخیره گردید. در ابتدا در حالی که مخزن حاوی آب با دمای ۲۴ درجه سانتیگراد است از توری عکس تهیه می‌شود. در ادامه آزمایش با اضافه کردن شیر در غلظتهای مختلف به مخزن آب مجدد روند عکس برداری را تکرار می‌کنیم. زمان نورگیری در تمام این اندازه گیری‌ها  $1/125$  بوده است. با استفاده از نرم‌افزار متلب شکافی به پهنای ۲۰ پیکسل طول  $1500$  پیکسل برای جاروب نقش ماره ایجاد گردید. البته این امر با شکاف بسیار باریک تک پیکسل هم امکانپذیر است. اما با شکاف تک پیکسل افت خیزهای موضعی تراگیسیل افزایش یافته و در محاسبات خطا ایجاد می‌کند. با دوران تصاویر به اندازه  $+3$  و  $-3$  درجه و ضرب آنها با نرم‌افزار متلب نقش ماره تشکیل گردید. میانگین‌گیری توزیع شدت تصویر تراگیسیل متوسط فریز ماره بدست آمد. با در دست داشتن تراگیسیل متوسط فریز ماره می‌توان با استفاده از رابطه (۱۰) تابع انتقال تحریر را محاسبه نمود. در شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب نمودارهای تابع تراگیسیل و MTF محاسبه شده نشان داده شده است.



شکل (۳): نمودار تابع تراگیسیل آب

و چون توری رانکی یک تابع زوج است ( $a_n = a_{-n}$ ) پس معادله (۴) به صورت زیر در می‌آید:

چون  $MTF^2$  و توری رانکی توابع متقارن هستند  $MTF^2(nv) = MTF^2(-nv)$  و  $a_n^2 = a_{-n}^2$  چون  $MTF(0) = 1$  و برای توری رانکی  $a_0 = 1/2$  می‌توان معادله (۶) را به شکل زیر نوشت:

$$\varphi(y) = I_0 e^{l \left[ \frac{1}{4} + 2 \sum_{n=1}^{n=+\infty} a_n^2 MTF^2(nv) \text{Sinc}\left(\frac{\pi n e}{d_m}\right) \text{Cos}\left(\frac{2\pi n y}{d_m}\right) \right]} \quad (7)$$

بیشینه‌ها و کمینه‌های معادله ۱۲ در  $m = y = md_m$  اتفاق می‌افتد:

$$2(\varphi_{max} + \varphi_{min}) = I_0 e^l \quad (8)$$

با تقسیم معادله (۷) بر (۸) معادله ایی به شکل زیر بدست می‌آید:

$$I_a(y) = \frac{1}{4} + 2 \sum_{n=1}^{n=+\infty} a_n^2 MTF^2(nv) \quad (9)$$

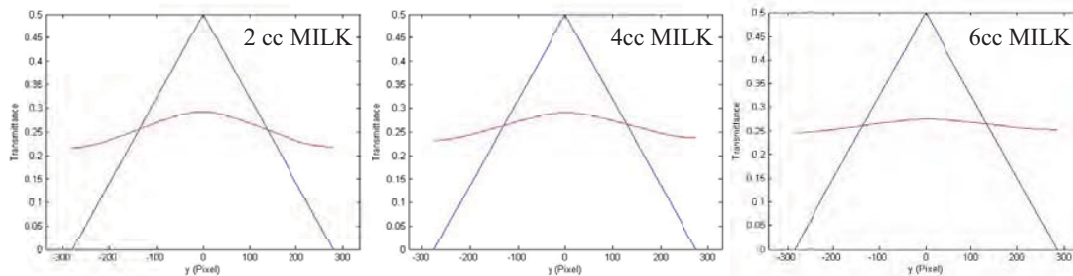
که در این معادله  $I_a(y)$  میانگین گذار از شکافی است که خط مرکزی آن در  $y$  قرار دارد. حال با ضرب طرفین معادله (۹) در  $\text{Cos}(2\pi n y / d_m)$  و انتگرال گیری از  $-d_m/2$  تا  $d_m/2$  داریم:

$$MTF(nv) = \frac{1}{a_n \sqrt{d_m \text{Sinc}\left(\frac{\pi n e}{d_m}\right)}} \left[ \int_{-d_m/2}^{d_m/2} I_a(y) \text{Cos}\left(\frac{2\pi n y}{d_m}\right) dy \right]^{1/2} \quad (10)$$

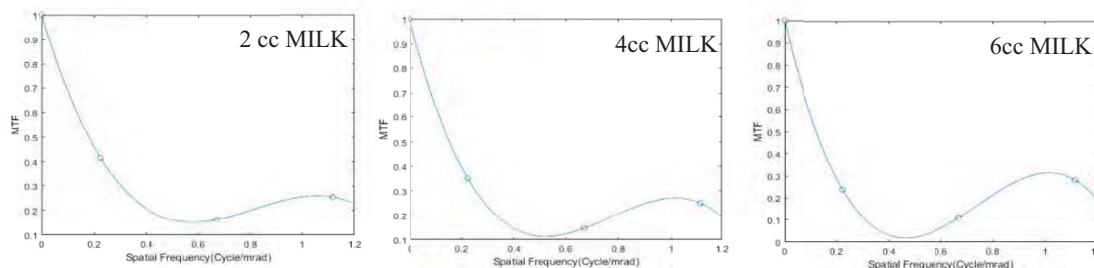
### ۳- کارها و نتایج تجربی

برای یک توری رانکی ایده آل MTF در هر فرکانسی برابر با یک است. بنابراین با قراردادن  $MTF(nv) = 1$  در معادله (۱۰) تراگیسیل ماره ایده آل محاسبه می‌شود. برای توری‌های واقعی نمودار تراگیسیل پهن می‌شود. روش کار بدین صورت بود که با چاپ یک توری رانکی با گام ۰.۸۵ میلی‌متر بر روی کاغذ شیی با دقت خوب تهیه گردید. با قرار دادن این شیی در یک ظرفی که حاوی سه لیتر آب

بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



شکل (۴): نمودارهای تابع تراکسیل برای سه درصد مختلف شیر

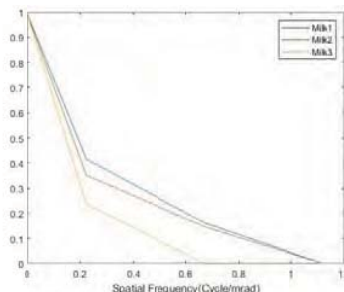


شکل (۵): نمودارهای MTF برای سه درصد مختلف شیر

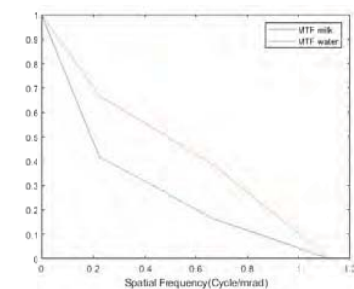
در نمودار شکل (۷) تغییرات غلظت شیر را در MTFهای مختلف مشاهده می‌کنیم. با افزایش غلظت میزان MTF کاهش پیدا کرده و این کاهش به علت کم شدن سطح عبور و روشنایی تصویر می‌باشد. در نتیجه از میزان MTF شیر کاسته شده است.

#### مراجع:

[1] Born M. and Wolf E., Principles of Optics. Pergamon, NewYork, (1980).  
 [2] Steve Butrimas, Ronald G. Driggers, Gerald C. Holst, Natan S. Kopeika, ArkadiZilberman Effects of aerosol modulation transfer function on target identification Optical Engineering, 59(7), 073103 (2020).  
 [3] V. Del Grosso Modulation transfer function of water, OCEAN 75 Conference, San Diego, CA, USA, DOI: 10.1109/OCEANS.1975.1154053.  
 [4] Saifollah Rasouli, Khosro Madanipour, Mohammad Taghi Tavassoly. "Measurement of modulation transfer function of the atmosphere in the surface layer by moire technique" Optics in Atmospheric Propagation and Adaptive Systems IX 6364, 63640K  
 [5] Madanipour, khosro, "Application Of Moire Technique To The Measurement Of The Modulation Transfer Functions (MTF) Of The Printing Systems", Tehran University, (2006)  
 [6] Reynolds G.O., DeVelis J.B., Parrent G.B., Thompson B.J., The new physical optics notebook: Tutorials in Fourier optics., Washington: SPIE Optical Engineering Press, pp.433-444, (1989).



شکل (۶): مقایسه MTF آب و شیر (2cc)



شکل (۷): مقایسه MTF درصدهای مختلف شیر

#### نتیجه گیری

همانطور که در شکل (۶) می‌بینیم میزان MTF آب نسبت به شیر مقدار بالاتری را دارد. این به علت میزان عبوردهی بالاتر آب نسبت به شیر می‌باشد. از طرف دیگر ذرات معلقد آب مخلوط شده از میزان روشنایی آب کاسته است.