# نتایج ارزیابی روش بازسازی تصاویر بهره گرفته از داده حسگر جبهه موج و پردازش رایانه ای

فایزه عباسی[۱و۲]، احمد درودی[۲] و هادی بخشی[۲]

[۱] موسسه غیر انتفاعی صوفی رازی، خیابان عارف ۵، علوم پایه، زنجان، ایران
[۲] گروه فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

**چکیده – داشتن تصاویر بدون اعوجاج و کمینه کردن اثرات تلاطم از اهداف اصلی در طراحی و ساخت سیستم‌های اپتیکی است. یکی از روش‌هایی که اخیرا برای به حداقل رساندن خطای سیستم و حذف ابیراهی از تصاویر مورد توجه قرار گرفته است، واپیچش *PSF* از تابع توزیع تصویر است. ما در کارهای پیشین این روش را امکان سنجی کردیم و توانستیم با این روش به تصحیح تصاویر بپردازیم. در این مقاله، علاوه بر بهینه کردن سیستم اپتیکی، به کمی‌سازی و ارزیابی نتایج بدست آمده پرداخته شده است. به این منظور روش استاندارد نمودارهای *MTF* به کار رفته‌اند. که در ادامه گزارش خواهد شد.**

کلید واژه- ابیراهی، حسگر جبهه موج، واپیچش، PSF

# The evaluation results of image restoration method due to wavefront data and computational processing

Faeze Abbassi[1, 2], Ahmad Darudi [2], and Hadi Bakhshi [2]

[1] Abdor Rahman Sufi Razi Higher Education Institute, Aref 5 Av. Olum Payeh, Zanjan .Iran
[2] Physics Department, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Abstract- The most important goal on optical engineering is image restoration by removing the turbulence effect. The devolution technique is introduced recently as a method for reducing such effects in which the validity of the method has been presented. In this paper a quantitative procedure is used to quantify the goodness of the results with the MTF charts, furthermore the optical system is optimized.

Keywords: Aberration, Deconvolution, Wavefront, PSF

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

## ۱- مقدمه

داشتن تصاویر بدون اعوجاج و کمینه کردن اثرات تلاطم از اهداف اصلی در طراحی و ساخت سیستم‌های اپتیکی است. اثرات محیط انتشار، اثر روزنه، خطاهای سیستم اپتیکی و ... از اصلی‌ترین عوامل ایجاد ابیراهی و اعوجاج در تصویر است. روش‌های مختلفی برای حذف این اثرات ارائه شده است. اپتیک فعال، اپتیک تطبیقی و پردازش رایانه‌ای روش‌های مرسوم برای حذف ابیراهی و اعوجاج می‌باشد که هر کدام دارای محدودیت‌ها و چالش‌های مخصوص به خود است [۱]. تلاش‌ها برای کمینه کردن محدودیت‌ها و افزایش کارایی روش‌های نامبرده در حال انجام است. استفاده از داده‌های حسگر جبهه‌ی موج و محاسبات رایانه‌ای روشی است که ما در کارهای پیشین این روش را امکان سنجی کرده و توانستیم با این روش به تصحیح تصاویر به صورت کیفی بپردازیم [۲]. اساس کار این روش بدست آوردن PSF (Point Spread Function) و حذف اثر آن با استفاده از روش واپیچش از تصویر دارای ابیراهی می‌باشد [۳]. در این مقاله ما عملیات تصحیح را به صورت کیفی در آورده به طوری که تلاش بر این شد که از روش‌های استاندارد مقایسه نمودارها MTF (Modulation Transfer Function) برای قبل، بعد و پس از انجام بازسازی استفاده شود. علاوه بر این، تغییراتی در سیستم اپتیکی به منظور بهینه سازی صورت گرفت به طور مثال: از دو دوربین مشابه در چیدمان استفاده شد. همچنین تصحیحاتی موثری در کد رایانه ای جهت کاهش سرعت اجرای برنامه اعمال کردیم. در ادامه ابتدا توضیحات مختصری راجع به اصول کلی و عملیات واپیچش، چینش آزمایشگاهی و در نهایت نتایج بدست آمده ارائه خواهد شد.

## ۲- عملیات واپیچش

با توجه به اصول اپتیک فوریه، تصویر یک جسم را می‌توان از پیچش جسم و PSF سیستم تصویرساز بدست آورد.
اگر توزیع میدان تصویر $i(x,y)$ و توزیع میدان جسم $o(x,y)$ و همچنین PSF سیستم تصویرساز $s(x,y)$ باشد، خواهیم داشت:

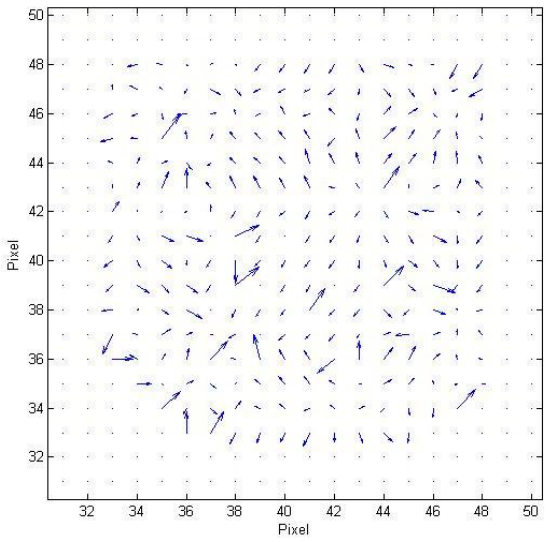
$$i(x,y)=o(x,y)\otimes s(x,y)+e(x,y) \quad (1)$$

که در رابطه (۱) $\otimes$ نشان دهنده‌ی عملگر پیچش، در فضای فوریه و $e(x,y)$ نویز است [۴]. در تئوری، در فضای فوریه با تقسیم کردن دو طرف رابطه (۱) می‌توان تابع توزیع جسم را بدست آورد، اما در عمل چنین چیزی ممکن نیست. الگریتم ریچاردسون- لوسی برای بدست آوردن واپیچش یک روش معمول برای تصحیح تصاویر ناواضح در محیط متلب است. با افزایش مراتب تکرار عملیات در برنامه ریچاردسون- لوسی، جزئیات بیشتری از تصویر بازسازی می‌شود [۵].

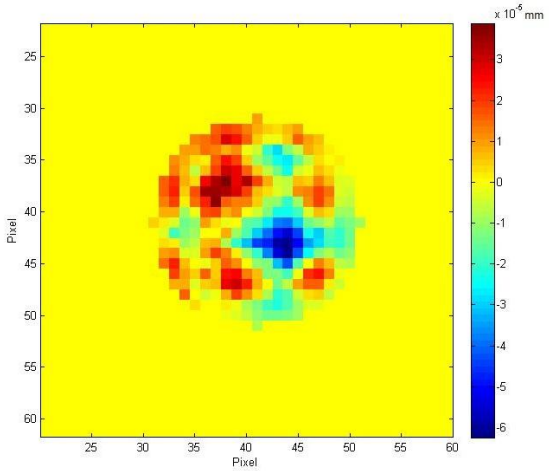
## ۳- حسگر هارتمن

از حسگر هارتمن به منظور اندازه گیری جبهه‌ی موج ورودی واندازه گیری ابیراهی موجود در تصویر استفاده می‌شود. این حسگر متشکل از ریز روزنه‌هایی است بر روی یک صفحه، که در مقابل دوربین ثبت تصاویرقرار گرفته است[۱]. در هنگام برخورد نور موازی با صفحه هارتمن، هر کدام از این ریز روزنه ها مشابه یک عدسی عمل کرده و در پشت صفحه‌ی هارتمن، تصاویر کوچک جسم تشکیل خواهند شد.

با استفاده از داده های حسگر هارتمن، میزان جابه‌جایی هر کدام از ریز روزنه های تصویر دارای ابیراهی نسبت به تصویر فاقد ابیراهی بدست می‌آید، در ادامه با در دست داشتن این جابه‌جایی ها، ماتریس برهم کنش، که کلید اصلی کار است، حاصل میشود. که در نهایت منجر به یافتن فاز تصویر خواهد شد [۶]. که در شکل ۱ و ۲ به ترتیب میزان جابه‌جایی لکه‌های هارتمن و فاز برای داده های ما نشان داده شده است. فاز بدست آمده را در میدانی که به جسم اولیه نسبت داده ایم، قرار می‌دهیم و از تبدیل فوریه‌ی این میدان PSF بدست می‌آید [۴].



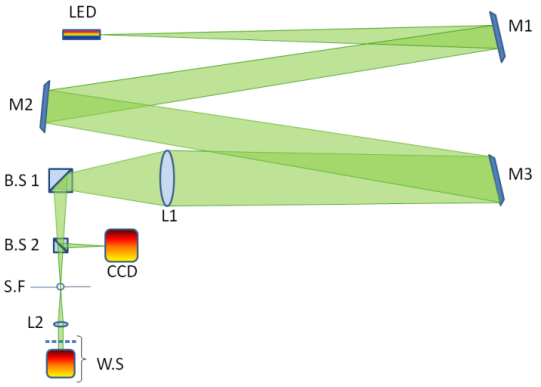
شکل ۱: میزان جابه‌جایی ریز روزنه‌های هارتمن قبل از اعمال ابیراهی نسبت به ریز روزنه‌های هارتمن بعد از اعمال ابیراهی.




شکل ۲: فاز بدست آمده از حسگر هارتمن.

## ۴- چیدمان آزمایش

با توجه به شکل ۳ چیدمان آزمایشگاهی متشکل است از: LED، آینه‌ها (M1, M2, M3)، عدسی تصویرساز (L1)، باریکه شکن (B.S 1,B.S 2)، دوربین ثبت تصاویر (CCD)، فیلتر فضایی (S.P)، عدسی موازی کننده (L2) و حسگر جبهه موج هارتمن (W.S) که متشکل از صفحه‌ی ریز روزنه‌های هارتمن و دوربین است.




شکل ۳: چیدمان آزمایشگاهی

پرتو LED با عبور از مسیر حدود ۴.۵ متر توسط آینه‌ها به لنز تصویر ساز L1 برخورد می‌کند. به علت مسیر طولانی پرتوهای LED فرض می‌کنیم پرتوها قبل از رسیدن به عدسی تصویرساز تقریبا موازی هستند. سپس پرتوهای انعکاسی از باریکه شکنBS2 یک تصویر بر روی دوربین (CCD) خواهیم داشت و یک تصویر نیز بین باریکه شکن اول و لنز دوم L2 ایجاد می‌شود. در محل تصویر دوم یک روزنه بند قرار داده‌ایم تا میدان پرتوهای عبوری محدود شود. در آخر با استفاده از عدسی دوم (L2) پرتوها موازی و تصویر ورودی سیستم بر روی صفحه‌ی ریز روزنه‌های حسگر هارتمن ایجاد می‌شود. توضیحات بیشتر در مورد حسگر هارتمن در مقالات قبلی آمده است [۲].

## ۵- روش انجام کار

روند اصلی داده‌گیری به دو بخش قبل از اعمال ابیراهی و بعد از اعمال ابیراهی تقسیم می‌شود. جهت اندازه گیری میزان تغییرات MTF سیستم از صفحه‌ی آزمون ( Test plate) با مشخصات USAF 1951 به عنوان شئی استفاده شده است. با قرار دادن صفحه‌ی آزمون به عنوان شیی ۱۰ عکس با CCD ثبت می‌شود. سپس صفحه‌ی آزمون را برداشته و یک روزنه کوچک به قطر ۳ mm جایگزین کردیم و توسط حسگر هارتمن ۱۰۰ اندازه‌گیری انجام می‌شود. علت تعداد متعدد اندازه‌گیریها برای حذف اثرات تلاطم هوای داخل آزمایشگاه است.

پس از انجام مراحل ذکر شده در بالا یک تیغه شفاف درست در پشت عدسی تصویرساز L1 جهت ایجاد ابیراهی به سیستم قرار می‌دهیم. و عملیات قبلی دوباره تکرار می‌شود.

با میانگین‌گیری ۱۰۰ اندازه‌گیری حسگر هارتمن، اثر تلاطم هوا حذف می‌شود و تنها ابیراهی استاتیک در تصویر (که در واقع همان تاثیر تیغه شفاف است) باقی می‌ماند. استفاده از صفحه‌ی آزمون به عنوان شئی ما را قادر می‌سازد تا ارزیابی و کمی‌سازی نتایج بصورت نمودار MTF صورت گیرد.

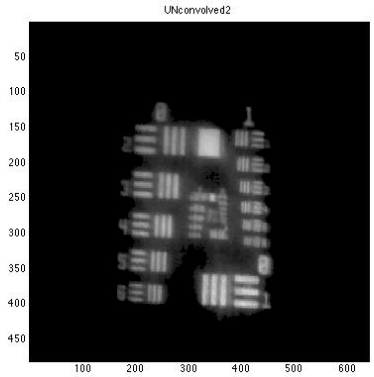
انجام بازسازی تصاویر و حذف ابیراهی با انجام عملیات واپیچش صورت می‌گیرد و در میان روش‌های مختلف واپیچش همچون مقاله قبل از روش ریچاردسون ـ لوسی که در برنامه Matlab اجرا می‌شود، استفاده کردیم.

از تصویر صفحه‌ی آزمون قبل از اعمال ابیراهی، تصویر صفحه‌ی آزمون بعد از اعمال ابیراهی و تصویر تصحیح شده صفحه‌ی آزمون، نمایانی محاسبه می‌شود. MTF برای تصاویر دارای ابیراهی و تصحیح شده بدست می‌آید و

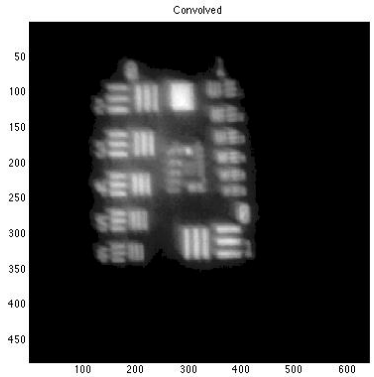
در نهایت نمودار MTF بر حسب فرکانس فضایی رسم می‌شود [۷] که با مقایسه‌ی نتایج می‌توان میزان بازسازی را ارزیابی و کمی‌سازی کرد.

## ۶- نتایج تجربی و تحلیل داده‌ها

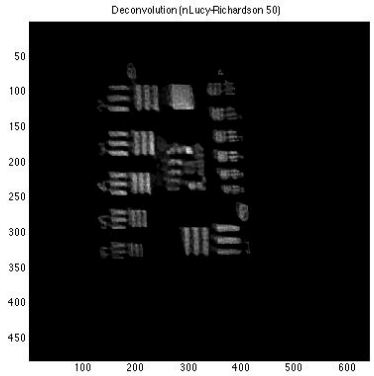
در شکل‌های ۴ تا ۶ به ترتیب تصویر صفحه‌ی آزمون قبل از اعمال ابیراهی، تصویر صفحه‌ی آزمون بعد از اعمال ابیراهی و تصویر تصحیح شده صفحه‌ی آزمون نشان داده شده است.




شکل ۴: تصویر صفحه‌ی آزمون قبل از اعمال ابیراهی.

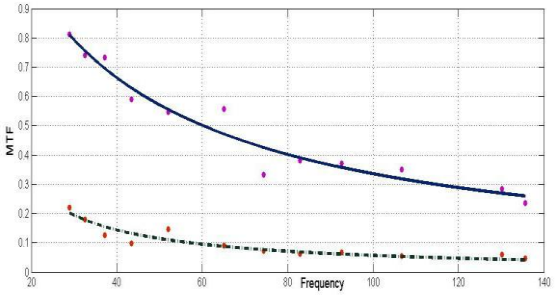



شکل ۵: تصویر صفحه‌ی آزمون بعد از اعمال ابیراهی.




شکل ۶: تصویر تصحیح شده صفحه‌ی آزمون.

همچنین، در راستای کمی‌سازی نتایج، نمودار MTF هر کدام از تصاویر دارای ابیراهی و تصحیح شده بر حسب فرکانس بدین صورت خواهد بود:




شکل ۷: نمودار MTF بر حسب فرکانس. خطچین مربوط به تصویر Test plate بعد اعمال ابیراهی است و خط مربوط به تصویر تصحیح شده Test plate است.

با مقایسه نمودار MTF تصویر دارای ابیراهی و تصویر تصحیح شده مشاهده می‌شود که MTF بطور قابل ملاحظه‌ای بهتر شده است.

## ۷- نتیجه‌گیری

بنظر می‌آید هنوز مطالعه بیشتر برای افزایش بیشتر نمایانی وجود دارد. این روش کمی سازی نتایج ما را قادر ساخته تا مقایسه بهتری از چگونگی رفتار پارامترهای روش واپیچش مورد استفاده داشته باشیم که در مقالات بعدی ارائه خواهد شد.

## مراجع


[1] Tyson, Robert. *Principles of adaptive optics*. CRC press, 2010.

[2] Darudi, Ahmad, Bakhshi, Hadi, Image restoration using aberration taken by a Hartmann wavefront sensor on extended object, towards real-time deconvolution, SPIE Metrolojy Monich, 2014.

[3] Zadage, Suresh S., and G. U. Kharat. "A No Reference Image Blur Detection using CPBD Metric and Deblurring of Gaussian Blurred Images using Lucy-Richardson Algorithm."

[4] Goodman, J. W., *Introduction to Fourier Optics*, 2ed, McGraw Hill, Boston, 1996.

[5] Khan, M. K., et al. "Iterative methods of Richardson-Lucy-type for image deblurring." Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications 6.01 (2013): 262-275.

[6] Southwell, William H. "Wave-front estimation from wave-front slope measurements." *JOSA* 70.8 (1980): 998-1006.

[7] George O. Reynolds, John B. Devalles, George B. Parent, Bria Thompson, *The New Physical Optics Notebook Tutorials in Fourier Optics*, SPIE Press Monograph Vol. PM01, Press Monographs, 1989.