

## طراحی جبران کننده‌ی کامل با قابلیت تبدیل جبهه‌ی موج تخت به سهموی، به منظور اندازه‌گیری دقت سطوح سهموی به روش تداخل‌سنجی

مسعود مردانی<sup>۱</sup>، امید سعادت‌مند<sup>۲</sup>

<sup>۱،۲</sup> شرکت صنایع الکترواپتیک صا ایران

در این مقاله با طراحی یک مجموعه‌ی اپتیکی جبران کننده‌ی کامل، جبهه‌ی موج تخت خروجی از یک تداخل‌سنج به جبهه‌ی موج سهموی تبدیل خواهد شد و با استفاده از آن سطوح غیرکروی سهموی مورد آزمون قرار خواهد گرفت. در روشی که در [1] به آن پرداخته شده است لازم است علاوه بر تنظیم هم‌مرکزی و هم‌راستایی مجموعه‌ی جبران کننده‌ی کامل، نسبت به کانون تداخل‌سنج، فاصله‌ی بین جبران کننده‌ی کامل تا کانون تداخل‌سنج نیز با دقت بالا تنظیم شود. در روشی که در این مقاله به آن پرداخته شده است نه تنها دیگر نیازی به تنظیم هم‌مرکزی مجموعه‌ی جبران کننده نسبت به جبهه‌ی موج تخت خروجی از تداخل‌سنج نیست بلکه نیازی به تنظیم فاصله‌ی بین مجموعه تا جبهه‌ی موج تخت خروجی از تداخل‌سنج نیز نخواهد بود و این دو نکته برپائی چیدمان آزمون و همچنین دقت آن را بهبود خواهد بخشید.

کلید واژه: جبران کننده‌ی کامل، غیرکروی، سهموی، تداخل‌سنجی، طراحی اپتیکی

## Design of Null Corrector with capability to converting flat wavefront to parabolic wavefront for test of parabolic surfaces with interferometry method

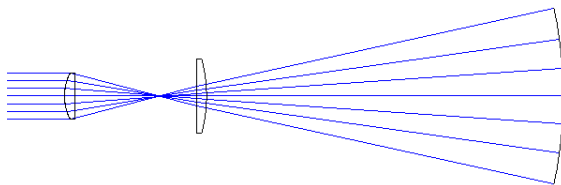
Masoud Mardani<sup>1</sup>, Omid Saadatmand<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Electro-Optical Industries of Sa-Iran

In this article, by design of an optical null corrector, flat output wavefront of an interferometer is converted to parabolic wavefront and parabolic surfaces can be tested. In method that is presented in [1] it is necessary to do accurate adjustment of tilt and decenter of optical null corrector with respect to focal point of interferometer. Also, in [1] it is necessary to do accurate adjustment of distance between null corrector and focal point of interferometer. In new method that is proposed in this article, it isn't necessary to do accurate adjustment of decenter of null corrector with respect to output flat wavefront of interferometer and also it isn't necessary to do accurate adjustment on distance between null corrector and output flat wavefront of interferometer. By this two advantages, setup of test and its accuracy is improved dramatically.

Keywords: Null Corrector, Aspheric, Parabolic, Interferometry, Optical Design

## ۱- مقدمه



شکل ۱: چیدمان اپتیکی پیشنهادی برای آزمون سطح سهموی

| Surf: Type | Radius   | Thickness   | Glass       | Semi-Diameter | Conic     |
|------------|----------|-------------|-------------|---------------|-----------|
| OBJ        | Standard | Infinity    |             | 0.000000      | 0.000000  |
| STO        | Standard | 54.030000   | Infinity    | 25.000000     | 0.000000  |
| 2          | Standard | Infinity    | 131.880332  | 24.160885     | 0.000000  |
| 3          | Standard | Infinity    | 11.000000   | 10.962085     | 0.000000  |
| 4          | Standard | -154.190000 | 386.405881  | 12.768845     | 0.000000  |
| 5          | Standard | 434.600000  | -386.405881 | 100.262656    | -1.000000 |
| 6          | Standard | -154.190000 | -11.000000  | 134.904875    | 0.000000  |
| 7          | Standard | Infinity    | -131.880332 | 162.277044    | 0.000000  |
| 8          | Standard | Infinity    | -11.000000  | 72.661893     | 0.000000  |
| 9          | Standard | 54.030000   | Infinity    | 25.798852     | 0.000000  |
| IMA        | Standard | Infinity    |             | 3.974849E+009 | 0.000000  |

شکل ۲: اطلاعات مربوط به طراحی مجموعه جبران کننده کامل

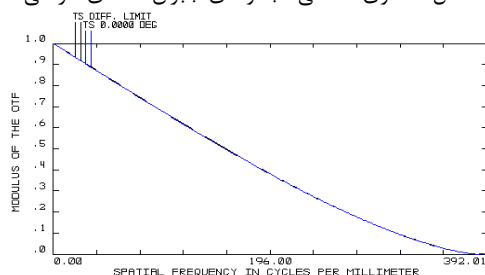
در نرم افزار Zemax

همانگونه که در الگوی تداخلی شکل ۳ دیده می شود، مجموعه جبران کننده طراحی شده، با بیشینه ناهمواری برابر با  $PV=0.0324\lambda$  ( $\lambda=0.6328\mu m$ )، از دقت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین در منحنی MTF شکل ۴، محدود به پراش بودن مجموعه اپتیکی طراحی شده، به وضوح دیده می شود.



PEAK TO VALLEY IS 0.0324 WAVES.  
FRINGES PER WAVE IS 1.0000.

شکل ۳: الگوی تداخلی مجموعه جبران کننده طراحی شده



شکل ۴: منحنی MTF مجموعه جبران کننده کامل طراحی شده

## ۳- تحلیل حساسیت چیدمان

### ۳-۱- حساسیت چیدمان به وجود خطا در

#### فاصله بین لنزها

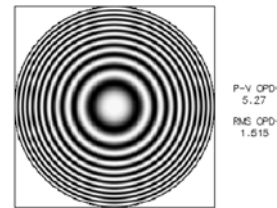
در صورت خروج از تolerانس فاصله بین لنزها به میزان 0.05mm، الگوی تداخلی مشابه شکل ۵ خواهد شد. تاثیر این خروج از تolerانس، با تنظیم مجدد موقعیت سطح

در سامانه های تصویربرداری با قطر دهانه ی بزرگ نظیر تلسکوپ ها، استفاده از سطوح اپتیکی غیرکروی اجتناب ناپذیر است. به منظور ساخت سطوح غیرکروی، لازم است دقت سطح به روشی دقیق اندازه گیری شود، [2,3,4]. در این مقاله یک روش تداخل سنجی ارائه خواهد شد که با استفاده از آن، یک سطح سهموی با قطر  $D=190.0mm$ ، شعاع  $R=434.6mm$  و ثابت مخروطی  $k=-1.0$  مورد آزمون قرار خواهد گرفت. در روشی که در [1] به آن پرداخته شده است، یک جبران کننده ی کامل دو لنزی طراحی شده است که جبهه موج کروی خروجی از تداخل سنج را به جبهه موج سهموی تبدیل می کند. در روش [1]، در برپائی چیدمان آزمون، لازم است هم مرکزی و هم راستائی مجموعه جبران کننده ی کامل، نسبت به کانون تداخل سنج، با دقت بسیار بالا تنظیم شود. در روش [1]، همچنین لازم است فاصله ی بین جبران کننده ی کامل تا کانون تداخل سنج نیز با دقت بسیار بالا تنظیم شود. در روشی که در این مقاله به آن پرداخته شده است یک جبران کننده ی کامل دو لنزی طراحی خواهد شد که به جای جبهه موج کروی، جبهه موج تخت خروجی از تداخل سنج را به جبهه موج سهموی تبدیل خواهد نمود. در این روش نه تنها دیگر نیازی به تنظیم هم مرکزی مجموعه جبران کننده نسبت به جبهه موج تخت خروجی از تداخل سنج نیست، بلکه نیازی به تنظیم فاصله ی بین مجموعه تا جبهه موج تخت خروجی از تداخل سنج نیز نخواهد بود و این دو نکته برپائی چیدمان آزمون و همچنین دقت آن را بسیار بهبود خواهد داد.

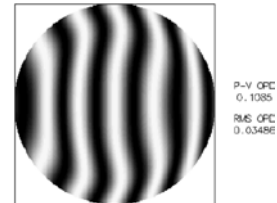
## ۲- طراحی چیدمان آزمون

در شکل ۱ چیدمان آزمون سطح سهموی، در نرم افزار طراحی اپتیکی Zemax، [5]، دیده می شود. اطلاعات مربوط به طراحی این مجموعه در شکل ۲ دیده می شود. در این چیدمان، جبهه موج تخت خروجی از تداخل سنج بر لنز اول از مجموعه جبران کننده ی کامل وارد و جبهه موج سهموی از لنز دوم خارج خواهد شد.

سه‌موی مورد آزمون، مشابه شکل ۶، اصلاح خواهد شد.



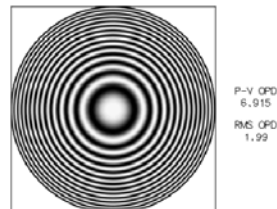
شکل ۵: الگوی تداخلی در صورت خروج از تفرانس فاصله‌ی بین لنزها به میزان 0.05mm



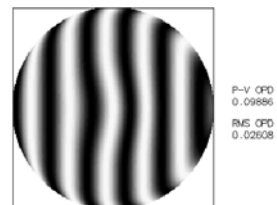
شکل ۶: الگوی تداخلی پس از تنظیم مجدد موقعیت سطح سه‌موی مورد آزمون

### ۳-۲- حساسیت چیدمان به وجود خطا در ضخامت لنزها

در صورت خروج از تفرانس ضخامت هر یک از لنزها به میزان 0.1mm، الگوی تداخلی مشابه شکل ۷ خواهد شد. تاثیر این خروج از تفرانس، با تنظیم مجدد موقعیت سطح سه‌موی مورد آزمون، مشابه شکل ۸، اصلاح خواهد شد.



شکل ۷: الگوی تداخلی در صورت خروج از تفرانس ضخامت هر یک از لنزها به میزان 0.1mm

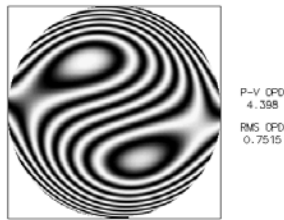


شکل ۸: الگوی تداخلی پس از تنظیم مجدد موقعیت سطح سه‌موی مورد آزمون

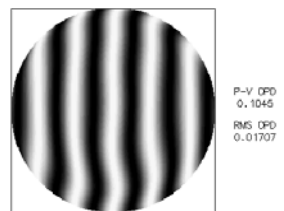
### ۳-۳- حساسیت چیدمان به وجود خطا در هم‌مرکزی لنزها

در صورت وجود خطا به میزان 0.1mm در هم‌مرکزی

لنزها، الگوی تداخلی مشابه شکل ۹ خواهد شد. تاثیر این عدم هم‌مرکزی، با تنظیم مجدد هم‌مرکزی سطح سه‌موی مورد آزمون، مشابه شکل ۱۰، اصلاح خواهد شد.



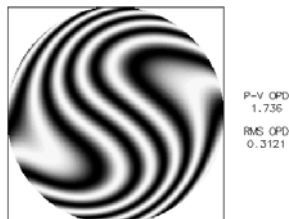
شکل ۹: الگوی تداخلی در صورت وجود خطا به میزان 0.1mm در هم‌مرکزی لنزها



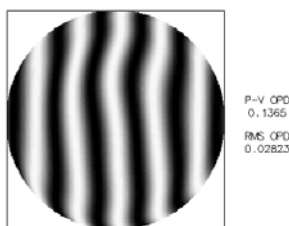
شکل ۱۰: الگوی تداخلی در صورت تنظیم مجدد هم‌مرکزی سطح سه‌موی مورد آزمون

### ۳-۴- حساسیت چیدمان به وجود خطا در هم‌راستایی لنزها

در صورت وجود خطا به میزان 10 دقیقه در هم‌راستایی لنز اول، الگوی تداخلی مشابه شکل ۱۱ خواهد شد. تاثیر این عدم هم‌راستایی، با تنظیم مجدد هم‌راستایی سطح سه‌موی مورد آزمون، مشابه شکل ۱۲، اصلاح خواهد شد.



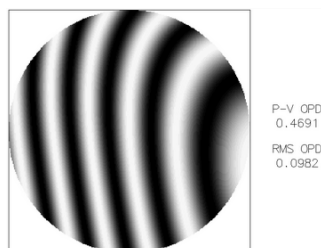
شکل ۱۱: الگوی تداخلی در صورت وجود خطا به میزان 10 دقیقه در هم‌راستایی لنز اول



شکل ۱۲: الگوی تداخلی در صورت تنظیم مجدد هم‌راستایی سطح سه‌موی مورد آزمون

همچنین در صورت وجود خطا به میزان 10 دقیقه در

$PV=0.47\lambda$ ، همراه خواهد بود:



شکل ۱۶: الگوی تداخلی در صورت وجود خطا به میزان 0.05mm در تنظیم هم‌مرکزی جبران‌کننده و محور اپتیکی تداخل‌سنج

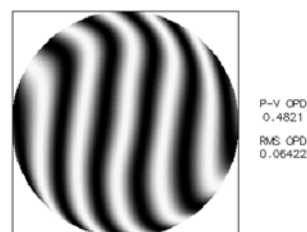
#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله جبران‌کننده‌ی کاملی طراحی شده است که در برخلاف طراحی انجام شده در [1]، جبهه‌موج تخت را به جبهه‌موج سهموی تبدیل می‌نماید. در این طراحی برخلاف [1]، نیازی به تنظیم دقیق هم‌مرکزی و همچنین موقعیت مجموعه، نسبت به جبهه‌موج ورودی نخواهد بود و این امر نه تنها موجب افزایش چشمگیر در دقت مجموعه، بلکه موجب سهولت در برپائی چیدمان آزمون خواهد شد.

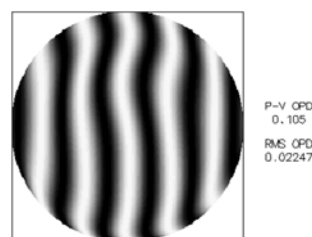
#### مراجع

- [۱] امید سعادت‌مند، مسعود مردانی، حمیدرضا فلاح، مرتضی حاجی محمودزاده، "طراحی اپتیکی جبران‌کننده‌ی کامل به منظور انجام آزمون دقت سطح در آینه‌ی اولیه‌ی سهموی یک تلسکوپ فضائی"، هجدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهارمین کنفرانس مهندسی فوتونیک، ۱۳۹۰
- [2] Daniel Malacara, *Optical Shop Testing*, 2007.
- [3] J. R. Moya, and J. E. A. Landgrave, "Third-Order Design of Refractive Offner Compensators" Appl. Opt 26, 2667 (1987).
- [4] A. Offner "A null Corrector for Paraboloidal Mirrors" Appl. Opt. 2, 153 (1963).
- [5] Optical Design Program User's Guide, October 15 2007, www.zemax.com

همراستائی لنز دوم، الگوی تداخلی مشابه شکل ۱۳ خواهد شد. تاثیر این عدم هم‌راستائی، با تنظیم مجدد هم‌راستائی سطح سهموی مورد آزمون، مشابه شکل ۱۴، اصلاح خواهد شد.



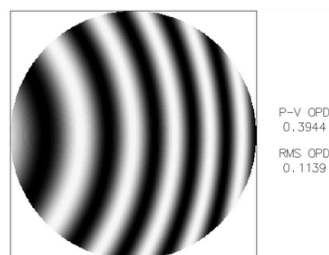
شکل ۱۳: الگوی تداخلی در صورت وجود خطا به میزان 10 دقیقه در هم‌راستائی لنز دوم



شکل ۱۴: الگوی تداخلی در صورت تنظیم مجدد هم‌راستائی سطح سهموی مورد آزمون

#### ۳-۵- مزیت روش جدید نسبت به روش [1]

در روش [1] در صورتی که خطایی به میزان 0.01mm در تنظیم فاصله‌ی بین جبران‌کننده و کانون تداخل‌سنج وجود داشته باشد، جبهه‌موج خروجی از جبران‌کننده مطابق با الگوی شکل ۱۵، با خطائی به میزان  $PV=0.39\lambda$ ، همراه خواهد بود:



شکل ۱۵: الگوی تداخلی در صورت وجود خطا به میزان 0.01mm در فاصله‌ی بین جبران‌کننده و کانون تداخل‌سنج

همچنین در صورتی که خطایی به میزان 0.05mm در تنظیم هم‌مرکزی جبران‌کننده نسبت به محور اپتیکی تداخل‌سنج وجود داشته باشد، جبهه‌موج خروجی از جبران‌کننده مطابق با الگوی شکل ۱۶، با خطائی به میزان