

## طراحی عناصر نوری پراشی دو سطحی با استفاده از الگوریتم رقابت استعمارگراییانه

حجت نکویی<sup>۱</sup>، میرمجتبی میرصالحی<sup>۲</sup>

گروه برق دانشکده‌ی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، hodjat.nekoie@gmail.com

گروه برق دانشکده‌ی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، mirsalehi@um.ac.ir

چکیده - عناصر نوری پراشی دو سطحی، از آرایه‌ای فازی با فازهای صفر و  $\pi$  تشکیل شده‌اند و در صنعت نیمه هادی کاربرد فراوانی دارند. طراحی این عناصر را می‌توان به عنوان یک مسأله‌ی بهینه‌سازی در نظر گرفت. در این مقاله برای اولین بار در طراحی این عناصر از الگوریتم رقابت استعمارگراییانه که توسط لوکس و آتش پز معرفی گردیده، استفاده شده است. الگوی خروجی دلخواه به صورت آرایه‌ی لکه نور  $4 \times 4$  بوده و اختلاف بین این الگو و الگوی خروجی عنصر نوری پراشی به صورت تابع هزینه مسأله‌ی بهینه‌سازی منظور شده است. سرعت همگرایی و بازده پراش بالا، از مزایای این روش طراحی به شمار می‌رود.

کلید واژه- عناصر نوری پراشی دو سطحی، الگوریتم رقابت استعمارگراییانه

### ۱- مقدمه

الگوریتم رقابت استعمارگراییانه<sup>۵</sup>، الگوریتم بهینه‌سازی جدیدی است که برای اولین بار در سال ۲۰۰۷ میلادی توسط لوکس و آتش پز ارائه گردید [۳]. در این مقاله طراحی عناصر نوری پراشی دو سطحی<sup>۶</sup> (با فازهای صفر و  $\pi$ ) توسط این الگوریتم بررسی شده است.

### ۲- طراحی عناصر نوری پراشی

طبق تعریف سامرفلد<sup>۷</sup>، اگر انحراف پرتوهای نور از مسیر مستقیم را نتوان به صورت شکست و یا بازتاب تفسیر کرد، آن‌گاه پراش داریم. به بیان دیگر وقتی یک موج مسطح از داخل یک دریچه عبور می‌کند، بخشی از آن از مسیر اصلی انتشار منحرف شده و میدان موج نهایی نسبت به میدان موج اولیه (عبوری از دریچه)، هم در ابعاد و هم در شکل متفاوت خواهد بود. در این‌جا نور به عنوان یک پدیده‌ی اسکالر در نظر گرفته می‌شود. این بدان معناست که فقط دامنه‌ی مختلط یک مولفه‌ی عرضی میدان الکتریکی یا مغناطیسی مهم خواهد بود. آزمایش‌های گوناگون نشان داده‌اند که نظریه‌ی اسکالر در صورتی جواب دقیق خواهد داشت که ابعاد روزنه‌ی پراش در مقایسه با

امروزه در صنعت تولید ادوات نیمه‌هادی، از مولدهای آرایه‌ی لکه نور منظم<sup>۱</sup> به طور گسترده استفاده می‌شود. این مولدها با ایجاد سوراخ‌کاری لیزری، قادر به ایجاد اتصال بین لایه‌های مختلف نیمه‌هادی می‌باشند. عناصر نوری پراشی<sup>۲</sup> مبتنی بر فاز یکی از مهمترین انواع این مولدها هستند که تحقیق در زمینه‌ی طراحی و ساخت آن‌ها گسترش فراوانی یافته است [۱]. این عناصر از آرایه‌ای فازی تشکیل شده‌اند و بر مبنای نظریه‌ی پراش، می‌توانند یک جبهه‌ی موج توصیف شده به صورت ریاضی را به صورت فیزیکی تحقق بخشند.

در طراحی این عناصر، ابتدا تصویر دلخواه تعریف می‌شود و سپس بر مبنای آن، آرایه‌ی فاز عنصر به دست می‌آید. این طراحی را می‌توان به صورت یک مسأله‌ی بهینه‌سازی در نظر گرفت که در آن از طریق تغییر فاز اجزای عنصر نوری پراشی سعی می‌شود تفاوت بین تصویر بدست آمده و تصویر مطلوب حداقل گردد. در این راستا از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مختلفی مانند الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده<sup>۳</sup> [۲] و الگوریتم ژنتیک<sup>۴</sup> استفاده می‌شود.

<sup>5</sup> Imperialist Competitive Algorithm (ICA)

<sup>6</sup> Binary (Two-level) DOEs

<sup>7</sup> Sommerfeld

<sup>1</sup> Regular Spot Array

<sup>2</sup> Diffractive Optical Elements (DOEs)

<sup>3</sup> Simulated Annealing (SA)

<sup>4</sup> Genetic Algorithm (GA)

کشور در حوزه‌ی خارج از قلمرو خود اطلاق می‌شود. الگوریتم رقابت استعمارگراییانه بر مبنای همین سیاست و رقابت بین چند کشور استعمارگر در تصاحب تعدادی مستعمره پیاده سازی شده، و همگرایی آن زمانی خواهد بود که تنها یک استعمارگر باقی مانده باشد.

این الگوریتم در ابتدا با یک سری جمعیت اولیه ( $N_{pop}$ ) آغاز می‌شود. این جمعیت که کشورها می‌باشند شامل تعدادی استعمارگر ( $N_{imp}$ ) و مستعمره ( $N_{col}$ ) هستند به طوری که هر استعمارگر و مستعمره‌های آن با هم یک امپراتوری را تشکیل می‌دهند. در شروع الگوریتم، با داشتن هزینه‌ی همی استعمارگرها، می‌توان هزینه‌ی نرمالیزه برای استعمارگر  $n$ -ام را به صورت زیر تعریف کرد:

$$C_n = c_n - \max_i \{c_i\} \quad (3)$$

در این رابطه،  $c_n$  هزینه‌ی استعمارگر  $n$ -ام و  $\max_i \{c_i\}$  بیشترین هزینه بین استعمارگرها می‌باشد. تعداد مستعمره‌های اختصاص یافته به استعمارگر  $n$ -ام ( $NC_n$ ) را می‌توان از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

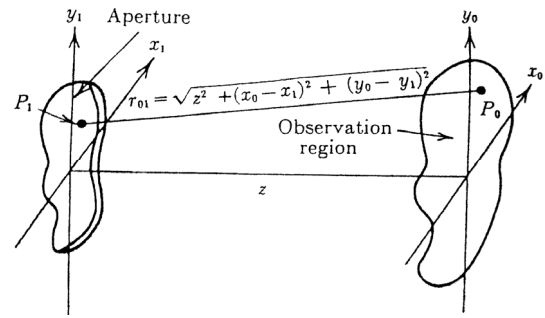
$$NC_n = \text{round} \{P_n N_{col}\} \quad (4)$$

که  $P_n$  قدرت نرمالیزه شده استعمارگر  $n$ -ام می‌باشد:

$$P_n = \left| \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} C_i} \right| \quad (5)$$

### ۳-۱- حرکت مستعمره‌ها به سمت استعمارگرها

در گذشته، کشورهای استعمارگر برای افزایش نفوذ خود شروع به سازندگی در مستعمره‌ها می‌کردند. در حقیقت حکومت با اعمال سیاست جذب سعی داشت تا کشور مستعمره را در راستای ابعاد مختلف سیاسی- اجتماعی به خود نزدیک کند. در الگوریتم پیشنهادی، این بخش از فرایند استعمار به صورت حرکت مستعمره‌ها به سمت کشورهای استعمارگر مدل شده است. یک حقیقت آشکار در پدیده‌ی همگون‌سازی این است که علی‌رغم این‌که کشورهای استعمارگر به طور جدی پیگیر سیاست جذب بودند، اما وقایع به طور کامل مطابق سیاست اعمال شده‌ی آن‌ها پیش نمی‌رفت و انحراف‌هایی در نتیجه‌ی کار وجود داشت. در این الگوریتم، این انحراف احتمالی با افزودن یک



شکل ۱: هندسه‌ی پراش [۴]

طول موج بزرگ باشد و نیز میدان‌های پراش را خیلی نزدیک به روزنه در نظر نگرفته باشیم.

شکل ۱ پراش نوری را نشان می‌دهد که به وسیله‌ی یک روزنه‌ی محدود واقع بر روی یک صفحه‌ی کدر بی‌نهایت ایجاد شده است. صفحه‌ی روزنه مسطح بوده و با سیستم مختصات مستطیلی ( $x_1, y_1$ ) در نظر گرفته می‌شود. در فاصله‌ی  $z$  از این صفحه، صفحه‌ی مشاهده قرار دارد که به صورت موازی با صفحه‌ی روزنه بوده و دارای مختصات مستطیلی ( $x_0, y_0$ ) می‌باشد.

برای میدان‌های فواصل  $z$  دور، می‌توان دامنه‌ی میدان در صفحه‌ی مشاهده را از معادله‌ی (۱) به دست آورد:

$$U(x_0, y_0) = \frac{e^{jkz}}{j\lambda z} e^{j\frac{k}{2z}(x_0^2 + y_0^2)} \mathcal{F}\{U(x_1, y_1)\} \quad (1)$$

در این معادله  $U(x_1, y_1)$  دامنه‌ی مختلط میدان در صفحه‌ی ورودی،  $\lambda$  طول موج نور تابشی و  $\mathcal{F}$  تبدیل فوری به ازای فرکانس‌های فضایی  $f_x = x_0/\lambda z$  و  $f_y = y_0/\lambda z$  می‌باشد.

یکی از نتایج نظریه‌ی پراش اسکالر این است که میدان نوری عبور یافته از عناصر نوری پراشی را می‌توان به صورت یک تابع انتقال ساده بیان کرد. برای یک عنصر نوری پراشی بر مبنای نظریه‌ی پراش اسکالر، این تابع انتقال را در راستای یک بعد ( $x$ )، می‌توان به صورت زیر نوشت:

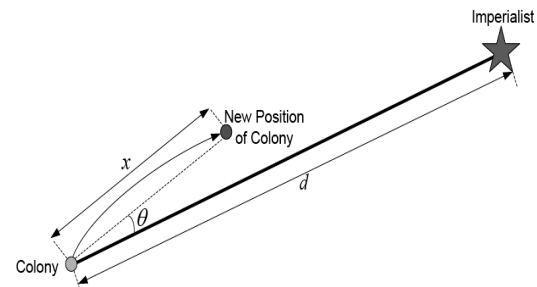
$$t(x) = \exp[j\phi(x)] \text{rect}\left(\frac{x}{L}\right) \quad (2)$$

در این رابطه،  $\Phi(x)$  فاز عنصر،  $L$  طول دریچه و  $\text{rect}(x/L)$  تابع مستطیلی است که به ازای  $|x| \leq L/2$  برابر یک می‌باشد.

### ۳- الگوریتم رقابت استعمارگراییانه و پارامترهای اولیه آن

استعمارطلبی در لغت به سیاست توسعه قدرت و نفوذ یک

کوچک بودن  $\xi$  باعث می‌شود که هزینه‌ی کل یک امپراتوری تقریباً برابر با هزینه‌ی حکومت مرکزی آن (کشور استعمارگر) و افزایش  $\xi$  نیز باعث افزایش تاثیر میزان هزینه‌ی مستعمره‌های یک امپراتوری در تعیین هزینه‌ی کل آن می‌گردد.



شکل ۲: حرکت مستعمره به سمت استعمارگر [۳]

### ۴-۳- شروع رقابت استعماری و همگرایی الگوریتم

با شروع رقابت در این الگوریتم، هر امپراتوری که نتواند بر قدرت خود بیفزاید، حذف خواهد شد. این حذف شدن به صورت تدریجی است، به این معنی که به مرور زمان، امپراتوری ضعیف مستعمره‌های خود را از دست داده و امپراتوری‌های قوی‌تر آن‌ها را تصاحب می‌کنند و بر قدرت خود می‌افزایند. برای مدل کردن این واقعیت فرض می‌کنیم که امپراتوری در حال حذف، ضعیف‌ترین امپراتوری موجود است. بدین ترتیب در تکرار الگوریتم، یک یا چند مستعمره‌ی ضعیف را از ضعیف‌ترین امپراتوری‌ها برداشته و برای تصاحب آن‌ها یک رقابت میان امپراتوری‌ها ایجاد می‌کنیم. ذکر این نکته مهم است که مستعمره‌های مذکور لزوماً توسط قوی‌ترین امپراتوری تصاحب نخواهند شد، بلکه امپراتوری‌های قوی‌تر احتمال تصاحب بیشتری دارند. احتمال تصاحب امپراتوری  $n$ -ام را می‌توان از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

$$P_{P_n} = \left| \frac{NTC_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} NTC_i} \right| \quad (7)$$

در این رابطه،  $NTC_n$  هزینه‌ی کل نرمالیزه شده برای امپراتوری  $n$ -ام بوده و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$NTC_n = TC_n - \max_i \{TC_i\} \quad (8)$$

برای این‌که بتوان مستعمره‌ها را بین امپراتوری‌ها به صورت تصادفی ولی با احتمالی وابسته به احتمال تصاحب تقسیم کرد، برداری مانند  $P$  که عناصر آن از رابطه‌ی (۷) محاسبه می‌شود، تعریف می‌گردد:

$$P = [P_{P_1}, P_{P_2}, P_{P_3}, \dots, P_{P_{N_{imp}}}] \quad (9)$$

اگر برداری مانند  $R$  و هم اندازه با بردار  $P$  تعریف شود به گونه‌ای که مقادیر آن اعدادی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه‌ی  $[0, 1]$  باشند، آن‌گاه بردار  $D$  را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

زاویه‌ی تصادفی به مسیر جذب مستعمره‌ها انجام می‌گیرد. شکل ۲ این مدل‌سازی را نشان می‌دهد. در این شکل،  $d$  فاصله‌ی مستعمره با استعمارگر قبل از انحراف،  $\theta$  میزان انحراف زاویه‌ای و  $x$  فاصله‌ی جابجا شده می‌باشد.

### ۳-۲- جابجایی موقعیت مستعمره و استعمارگر

سیاست جذب، در عین نابودی ساختارهای سیاسی-اجتماعی کشور مستعمره، در بعضی موارد نتایج مثبتی را نیز برای آن‌ها در پی داشت. برخی از این کشورها در نتیجه‌ی اعمال این سیاست به نوعی از خودباوری عمومی دست می‌یافتند و پس از مدتی افرادی پیدا می‌شدند که ملت خود را برای رهایی از استعمار رهبری کنند. در نتیجه کشورهایی که زمانی در اوج قدرت بودند پس از مدتی سقوط می‌کردند و در مقابل کشورهایی قدرت را در دست می‌گرفتند که قدرتی نداشتند. در مدل‌سازی این واقعه، به این صورت عمل شده است که در حین حرکت مستعمره‌ها به سمت کشور استعمارگر، ممکن است بعضی از آن‌ها به موقعیت بهتری نسبت به استعمارگر دست پیدا کنند (به نقطه‌ای از تابع هزینه برسند که در آن هزینه‌ی کمتری نسبت به تابع هزینه‌ی موقعیت استعمارگر وجود داشته باشد)، در این حالت کشور استعمارگر و کشور مستعمره جای خود را با هم عوض کرده و الگوریتم با موقعیت‌های جدید ادامه می‌یابد.

### ۳-۳- هزینه کل یک امپراتوری

هزینه کل یک امپراتوری را می‌توان به صورت هزینه کشور استعمارگر به علاوه درصدی از هزینه‌ی کل مستعمره‌های آن تعریف کرد:

$$TC_n = Cost(imperialist_n) + \xi \text{mean}\{Cost(colonies of empire_n)\} \quad (6)$$

در این رابطه،  $TC_n$  هزینه‌ی کل امپراتوری  $n$ -ام و  $\xi$  عدد مثبتی بین صفر و یک است که معمولاً نزدیک به صفر انتخاب می‌شود.

است به گونه‌ای که اختلاف بین خروجی دلخواه و خروجی عنصر نوری حداقل گردد. بدین منظور می‌توان تابع هزینه‌ای به صورت زیر تعریف کرد:

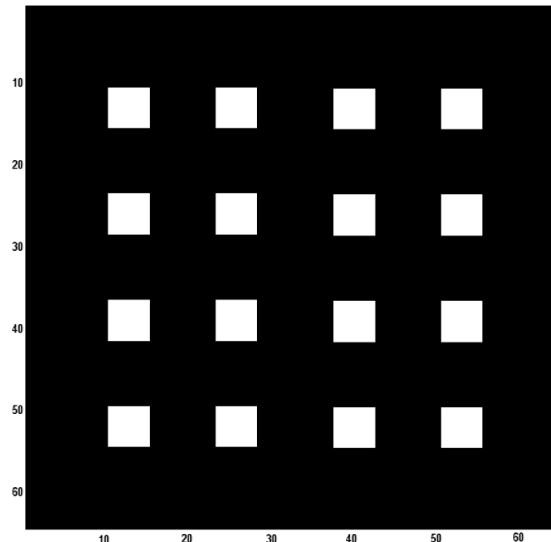
$$c = \sum_{i=1}^{4096} (I_i - I'_i)^2 \quad (11)$$

در این رابطه،  $I_i$  و  $I'_i$  شدت‌های نور متناظر با پیکسل  $i$ -ام در خروجی به دست آمده و خروجی مطلوب می‌باشند.

روند طراحی عناصر نوری پراشی دو سطحی با الگوریتم رقابت استعمارگراییانه در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در بخش ۳ اشاره شد، الگوریتم رقابت استعمارگراییانه با یک سری جمعیت اولیه (کشور) شروع می‌شود. در این طراحی، جمعیت اولیه برابر ۱۱۰۰ عنصر نوری پراشی  $16 \times 16$  پیکسل با فاز تصادفی در نظر گرفته شده است که بر حسب میزان هزینه، طبق رابطه‌ی (۱۱)، تعداد ۶۵ عنصر از این جمعیت به عنوان کشورهای استعمارگر انتخاب می‌شوند، و طبق رابطه‌ی (۴) به هر کدام مستعمره‌هایی اختصاص می‌یابد. در طول اجرای الگوریتم، حرکت مستعمره‌ها به سمت استعمارگر خود با انتخاب تصادفی یک پیکسل از عنصر و تغییر آن از صفر به  $\pi$  یا بالعکس مدل شده است. این تغییر به گونه‌ای است که تشابه بین مستعمره و استعمارگر زیاد شود. سپس هزینه‌ی مستعمره‌ها برای هر امپراتوری محاسبه می‌شود. اگر در یک امپراتوری، مستعمره‌ای وجود داشته باشد که دارای هزینه‌ی کمتری نسبت به استعمارگر خود باشد، مکان مستعمره و استعمارگر عوض شده (مستعمره به عنوان استعمارگر تلقی می‌شود) و الگوریتم با موقعیت جدید ادامه می‌یابد. کد مربوط به شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار MATLAB R2010a تهیه شده است.

بعد از انجام شبیه‌سازی‌های مختلف، پارامتر  $\xi$  در رابطه‌ی (۶)، برابر ۰/۱ در نظر گرفته شده است، در نتیجه ۱۰ درصد میانگین هزینه‌ی مستعمره‌ها نیز در قدرت امپراتوری تاثیرگذار می‌باشد. همچنین احتمال تصاحب مستعمره‌ها طبق روابط (۷) تا (۱۰) محاسبه می‌شود. در طول اجرای الگوریتم، اگر امپراتوری‌ای بدون مستعمره باشد، حذف شده و الگوریتم با امپراتوری‌های باقی مانده ادامه می‌یابد. الگوریتم زمانی به اتمام می‌رسد که یک امپراتوری باقی مانده باشد و در این حالت، کشور استعمارگر جواب مساله است.

ورودی عنصر، نوری یکنواخت با طول موج ۶۰۰ نانومتر در نظر گرفته شده است. فاصله‌ی بین عنصر تا صفحه‌ی تصویر ۱۰



شکل ۳: خروجی دلخواه

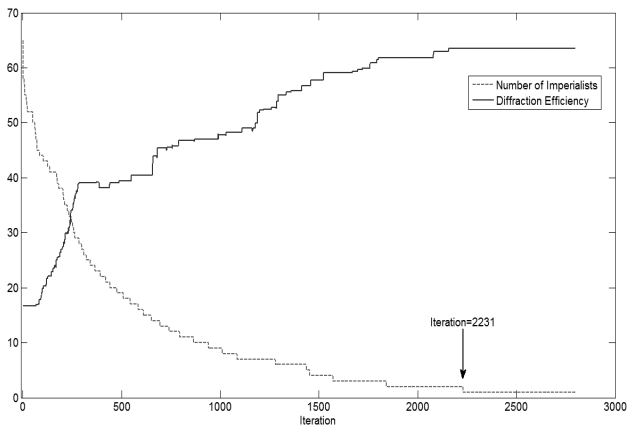
$$D = P - R \quad (10)$$

با توجه به این رابطه، مستعمره (یا مستعمره‌های) ضعیف به امپراتوری‌ای داده می‌شود که اندیس مربوط به آن در بردار  $D$ ، بزرگتر از بقیه باشد. به بیان دیگر، امپراتوری‌ای که بیشترین احتمال تصاحب را داشته باشد، اندیس مربوط به آن در بردار  $D$ ، با احتمال زیادتری بیشترین مقدار خواهد بود.

الگوریتم مورد نظر تا برآورده شدن یک شرط همگرایی و یا اتمام تعداد کل تکرارها ادامه می‌یابد. پس از مدتی همه‌ی امپراتوری‌ها سقوط کرده و تنها یک امپراتوری خواهیم داشت به طوری که تمام کشورها تحت کنترل آن خواهند بود. در چنین حالتی است که رقابت استعمارگراییانه به پایان رسیده، الگوریتم متوقف شده و مکان کشور استعمارگر جواب بهینه‌ی مساله خواهد بود.

#### ۴- نحوه‌ی طراحی و نتایج به دست آمده

عنصر نوری پراشی در نظر گرفته شده، یک عنصر  $16 \times 16$  پیکسل است که برای تولید آرایه‌ای  $4 \times 4$  مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۳، الگوی خروجی دلخواه را برای این آرایه نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل می‌توان دید، ابعاد صفحه‌ی خروجی،  $64 \times 64$  پیکسل در نظر گرفته شده است. الگوی دلخواه متشکل از ۱۶ لکه‌ی نوری می‌باشد که اندازه‌ی هر کدام برابر  $5 \times 5$  پیکسل است. هدف از طراحی، پیدا کردن آرایه فاز عنصر نوری پراشی



شکل ۵: تعداد کشورهای استعمارگر و بازده پراش بر حسب تعداد تکرار الگوریتم

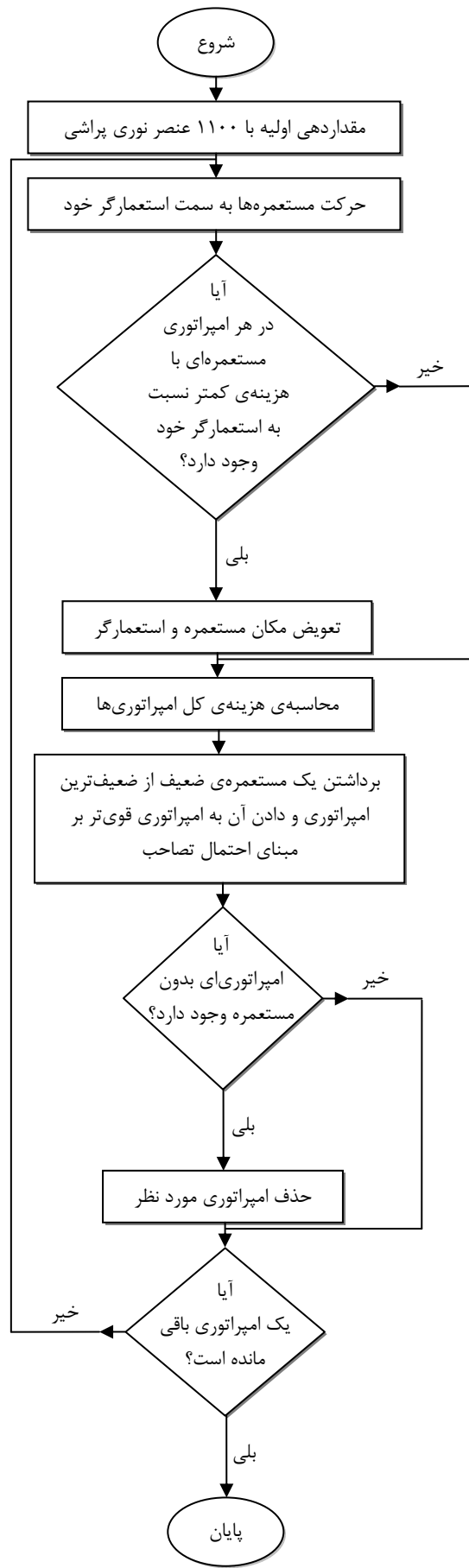
میلیمتر بوده و ابعاد هر پیکسل عنصر برابر با  $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$  می‌باشد، در نتیجه برای میدان‌های راه دور در این فاصله، می‌توان از پراش فرانهافر با توجه به معادله‌ی (۱) استفاده کرد و دامنه‌ی میدان خروجی عنصر را به دست آورد.

بازده پراش را می‌توان به صورت نسبت توان نور ناحیه‌ی مطلوب در تصویر خروجی نهایی به توان نور ورودی عنصر در نظر گرفت. از آنجایی‌که نور ورودی یکنواخت می‌باشد، توان آن برابر با  $256 = 16 \times 16$  است (واحد انرژی برابر با انرژی تابیده شده به یک پیکسل در نظر گرفته شده است). در نتیجه شدت نور هر پیکسل روشن در تصویر دلخواه برابر با  $0.64 = 256 / (25 \times 16)$  می‌باشد. شکل ۵ تعداد کشورهای استعمارگر و بازده پراش را بر حسب تعداد تکرار الگوریتم نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل می‌توان دید، با پیشروی الگوریتم، اختلاف بین الگوی دلخواه و الگوی خروجی عنصر نوری پراشی حداقل شده و بازده پراش بیشتر می‌شود. در تکرار ۲۲۳۱، الگوریتم همگرا شده و یک کشور استعمارگر (متناظر با عنصر نوری پراشی نهایی) با کمترین هزینه باقی می‌ماند که جواب مساله است. بازده پراش نهایی برابر با  $63/53\%$  می‌باشد.

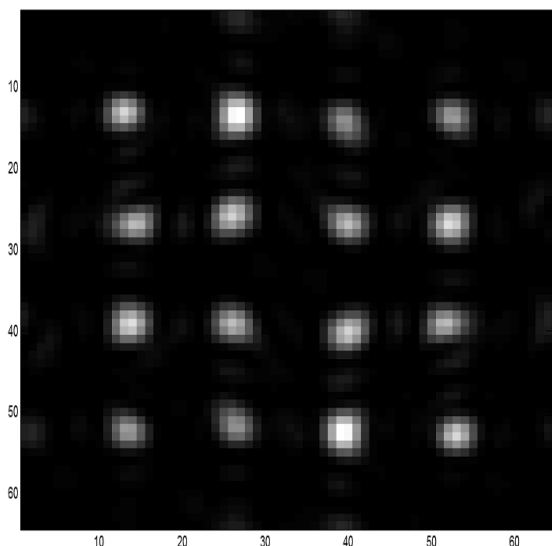
خطای موثر در ناحیه‌ی مطلوب ( $MR^1$ ) را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$E = \sqrt{\sum_{i \in MR} (I_i - I'_i)^2 / [I_i^2 N_{MR}]} \quad (12)$$

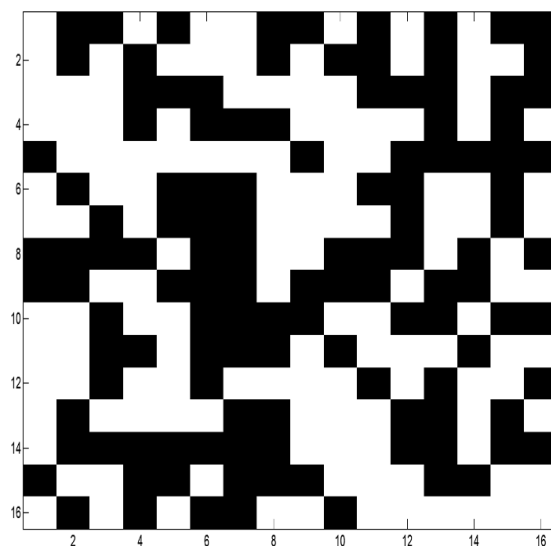
<sup>1</sup> Measure Region



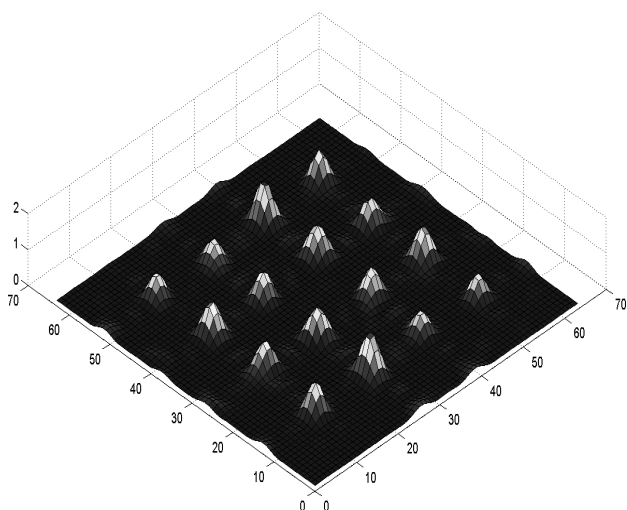
شکل ۴: روند طراحی



شکل ۷: شدت نور خروجی عنصر طراحی شده به صورت دوبعدی



شکل ۶: عنصر نوری پراشی طراحی شده



شکل ۸: شدت نور خروجی عنصر طراحی شده به صورت سه‌بعدی

در این رابطه،  $N_{MR}$  تعداد پیکسل‌های ناحیه‌ی مطلوب است. مقدار به دست آمده برای  $E$  برابر با  $0.2801$  می‌باشد. شکل ۶ عنصر نوری پراشی به دست آمده توسط الگوریتم (کشور استعمارگر نهایی) را نشان می‌دهد. قسمت‌های سفید در این شکل بیان‌گر فاز  $\pi$  و قسمت‌های سیاه نشان‌دهنده‌ی فاز صفر هستند. شکل‌های ۷ و ۸ نیز شدت نور خروجی متناظر با عنصر طراحی شده را به ترتیب در حالت‌های دوبعدی و سه‌بعدی نشان می‌دهند.

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به آنچه گفته شد، الگوریتم رقابت استعمارگرایانه به عنوان روشی جدید در طراحی عناصر نوری پراشی دو سطحی و به منظور تولید آرایه‌ی لکه نور منظم مورد استفاده قرار گرفت. این مساله با الگوریتم تبرید شبیه سازی شده نیز طراحی گردیده است. با استفاده از یک پردازشگر *CORE2Dou* و رم ۳ گیگابایت، زمان پردازش و بازده پراش به ترتیب برابر با ۴ ساعت و ۳۵ دقیقه و ۶۱/۲٪ به دست آمده است. زمان پردازش در طراحی با الگوریتم رقابت استعمارگرایانه برابر با ۲ ساعت و ۴۱ دقیقه و بازده پراش برابر با ۶۳/۵۳٪ می‌باشد. سرعت همگرایی بالا و بازده پراش مناسب را می‌توان از مزایای این الگوریتم به شمار آورد. از آنجایی که با افزایش تعداد سطوح فاز این عناصر، بازده پراش نیز افزایش می‌یابد [۵]، می‌توان با ارتقای این الگوریتم، از آن به منظور طراحی عناصر نوری پراشی چند سطحی نیز استفاده کرد.

## مراجع

- [1] J. N. Gillet and Y. Sheng, "Iterative simulated quenching for designing irregular-spot-array generators," *Applied Optics*, vol. 39, pp. 3456-3465, 2000.
- [2] L. Wen-Xi and Z. Jing-Juan, "Designing a diffractive optical element for controlling the beam profile in a three-dimensional space using the simulated annealing," *Chinese Physics*, vol. 10, pp. 1129-1135, 2001.
- [3] C. Lucas and E. Atashpaz, "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition," *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2007, pp. 4661-4667.
- [4] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, McGraw-Hill, 1968, pp. 30-76.
- [5] M. Taghizadeh and P. Blair, "Design and fabrication of diffractive optical elements," *Elsevier Microelectronic Engineering*, vol. 34, pp. 219-242, 1997.