



## هم مرجع کردن ابرهای نقاط با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب

ابوالفضل فورگی نژاد<sup>۱\*</sup>، مهدی پارسا<sup>۲</sup> و وحید اقبالی<sup>۳</sup>

**چکیده:** بدلیل برخی محدودیتها امکان اسکن سه بعدی یک قطعه در یک مرحله وجود ندارد لذا اسکنهای متفاوت از جهات مختلف از قطعات انجام می گردد. ابرهای نقاط اسکنها به منظور تولید مدل ابر نقاط قطعه نیاز به قرار گرفته در یک سیستم مختصات واحد داشته که اصطلاحاً هم مرجع سازی نامیده می شود. در این پژوهش به منظور هم مرجع کردن ابرهای نقاط از الگوریتم بهینه سازی کرم شب تاب استفاده گردید. نتایج حاصل از کاربرد این الگوریتم در حل این مساله نشان از کاربردی بودن الگوریتم کرم شب تاب در حل اینگونه مسائل دارد.

**واژه های کلیدی:** هم مرجع سازی، ابر نقاط، الگوریتم کرم شب تاب، مدل سه بعدی.

### ۱. مقدمه

امروزه چالش مهم صنعت، رقابت است. نوآوری و بهبود از یک طرف با تسلط کامل بر دانش طراحی محصول و از طرف دیگر بر اساس تجزیه تحلیل تولیدات گذشته صورت می گیرد، لذا الگوبرداری نقش عمده ای در زمینه کسب قابلیت و توانایی بهبود محصول مطابق با نیازهای مشتری ایفا می کند. یکی از راههای الگوبرداری استفاده از مهندسی معکوس که روشی مهم برای دسترسی به فن آوری، رشد و توسعه می باشد، است. مهندسی معکوس روشی آگاهانه در دسترسی به تکنولوژی از روی تکنولوژی و محصولات موجود است. کشورهای در حال توسعه از آن به عنوان راهی برای پیشرفت سریع استفاده نموده اند. این روند در سالهای اخیر شتاب زیادی داشته است.

مهندسی معکوس با هدف طراحی، مستندسازی و کامپیوتری نمودن اطلاعات یک مدل به روش دستی یا کامپیوتری به منظور نگهداری اطلاعات یک قطعه یا تولید مجدد یک شیء یا سیستم انجام می گیرد.

اسکنر لیزری به طور کلی با نمونه برداری و ارائه سه بعدی تعداد بسیار زیادی از نقاط سطوح اشیاء، سطوح را بازیابی می نماید. رزولوشن فضایی دادهها بسیار بالاتر از روشهای سنتی استخراج داده می باشد. از آنجا که اسکنرهای لیزری دارای یک میدان دید محدود می باشند، برای جمع آوری دادههای کلیه سطوح یک شیء نیاز به داده برداری از جهات مختلف وجود دارد که این دادهها در دستگاههای مختصات مختلفی با توجه به موقعیت اسکنر نسبت به قطعه بدست می آیند. دادههای استخراج شده برای بازیابی کلیه سطوح یک قطعه باید به یک سیستم مختصات واحد تبدیل گردند. رویه تبدیل مختصات ابرهای نقاط به یک سیستم مختصات، هم مرجع سازی ابرهای نقاط نامیده میشود [۱]. هم مرجع سازی ابرهای تصویر در کاربردهای واقعی نظیر تصویر برداری پزشکی، بینایی مصنوعی و طراحی به کمک کامپیوتر مورد استفاده قرار گرفته است [۲]. نمونه ای از هم مرجع سازی ابرهای نقاط یک قطعه

۱. استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، دانشگاه صنعتی بیرجند.  
آدرس پست الکترونیک: [foorginejad@birjandut.ac.ir](mailto:foorginejad@birjandut.ac.ir)  
۲. کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، سازمان صنعت، معدن و تجارت خراسان جنوبی. آدرس پست الکترونیک: [Skh.parsa@yahoo.com](mailto:Skh.parsa@yahoo.com)  
۳. کارشناس، مهندسی مکانیک، شرکت آب و فاضلاب روستایی خراسان جنوبی. آدرس پست الکترونیک: [v\\_eghbali@yahoo.com](mailto:v_eghbali@yahoo.com)



گل سر با قدمت سه هزار ساله کشف شده در بیرجند) که به منظور مدل سازی آن بکار رفته است در شکل ۱ نشان داده شده است.

### ۲. الگوریتم کرم شب تاب

اغلب مسائل بهینه سازی در مهندسی علاوه بر غیر خطی بودن دارای محدودیت های زیادی هستند. بنابراین برای یافتن حل های بهینه برای اینگونه مسائل غیر خطی به الگوریتم های بهینه سازی موثر و کارا نیاز می باشد. بسیاری از الگوریتم های فرا ابتکاری مدرن بر مبنای هوش جمعی و الهام گرفتن از طبیعت گسترش یافته اند. الگوریتم های فرا ابتکاری پیشرفته با توجه به قدرت و کارایی شان در کاربردهای مختلف توسعه یافته اند.

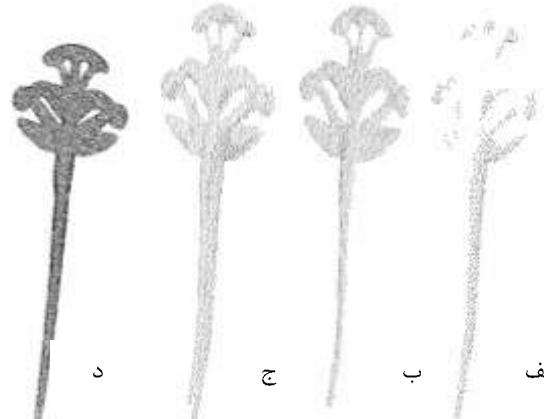
الگوریتم کرم شب تاب یک الگوریتم فرا ابتکاری است، که با الهام از رفتار ساطع کردن نور کرم های شب تاب بدست آمده است. هدف اولیه کرم شب تاب از ساطع کردن نور به مانند یک سیستم علامت دهی برای جذب کرم های شب تاب دیگر است [۵].  
یانگ الگوریتم کرم شب تاب را براساس فرضیه های زیر فرموله کرده است:

الف- کرم های شب تاب فاقد جنسیت می باشند، بنابراین یک کرم شب تاب می تواند توسط تمامی کرم های شب تاب دیگر جذب شود.  
ب- جذابیت متناسب با نور کرم است و برای هر دو کرم شب تاب، کرم با نور کمتر جذب کرم با نور بیشتر می شود (به سمت آن حرکت می کند)، با افزایش مسافت کاهش نور کرم شب تاب نیز در نظر گرفته می شود.

ج- اگر هیچ کرم شب تاب نورانی تری نباشد، کرم شب تاب به صورت تصادفی حرکت خواهد کرد.

د- روشنایی باید با تابع هدف در ارتباط باشد.

در سال ۲۰۰۹ مقایسه این الگوریتم با الگوریتم های پرواز پرندگان و الگوریتم ژنتیک مشخص نمود که این الگوریتم برای پیدا نمودن نقطه بهینه عمومی در برخی کاربردهای مورد آزمون قرار گرفته، از کارایی بهتری برخوردار است [۶]. پدیدآورنده الگوریتم کرم شب تاب سال ۲۰۱۰ نتایج آزمون های انجام پذیرفته دیگری بر روی این الگوریتم را منتشر و علاوه بر اعتبار بخشیدن به این الگوریتم سرعت رسیدن به جواب آنرا نیز مورد بررسی قرار داد [۷]. که در آزمون های انجام شده سرعت الگوریتم بالاتر از سایر الگوریتم ها ارزیابی گردید و یک مساله عملی نیز در مورد فشار در لوله ها که قبلا توسط سایر الگوریتم ها حل گردیده بود مجددا توسط این الگوریتم حل گردید و جواب های مناسبی به دست آمد. اپوستولوپوس [۸] از این الگوریتم برای ایجاد یک سیستم حمل و نقل اقتصادی استفاده کرد و به نوعی بر توانمندی این الگوریتم در بهینه سازی مسائل پیچیده صحه



شکل ۱. الف و ب- دو ابر نقاط از دو قسمت مختلف قطعه ج- هم مرجع سازی ابرهای نقاط نشان داده شده در قسمت الف و ب د- مدل ابر نقاط قطعه متشکل از ۲۶ ابر نقطه

اهداف هم مرجع سازی را می توان در موارد ذیل خلاصه نمود.  
• تکمیل و ساخت مدل مبتنی بر نقاط یک جسم با استفاده از ابرهای نقاط مختلف گرفته شده از جسم  
• هم مرجع سازی دو تصویر به منظور تکمیل اطلاعات تصویر  
• هم مرجع سازی ابر نقاط یک قطعه و یک مدل کامپیوتری برای کنترل دقت ابعادی قطعه ساخته شده  
• استفاده از این روش در تکمیل اطلاعات تصاویر ماهواره ای و نقشه های هوایی

تا کنون محققان زیادی اقدام به حل مساله هم مرجع سازی با استفاده از الگوریتم های فرا ابتکاری نموده اند. کوردن و همکاران [۳] یک الگوریتم تکاملی پیشرفته را برای حل هم مرجع سازی مسائل سه بعدی ارائه کردند. الگوریتم تکاملی پیشرفته و الگوریتم ژنتیک را برای فرآیند هم مرجع سازی بر روی دو شکل متفاوت اجرا کرده و پارامترهای تبدیل را مقایسه نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که دقت الگوریتم تکاملی پیشرفته از الگوریتم ژنتیک بیشتر می باشد. سیلوا و همکاران [۴] الگوریتم ژنتیک را برای هم مرجع سازی دقیق چندین تصویر با هم پوشانی کم انجام دادند. روش جدید خطای هم راستایی تصاویر را کمینه می کند. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی توانایی هم مرجع سازی سطوح بدون نیاز به تخمین اولیه از استقرار تصاویر را دارد.



### Firefly Algorithm

```
Objective function  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$ 
Initialize a population of fireflies  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
Define light absorption coefficient  $\gamma$ 
while ( $t < \text{MaxGeneration}$ )
for  $i = 1 : n$  all  $n$  fireflies
for  $j = 1 : i$  all  $n$  fireflies
Light intensity  $I_i$  at  $x_i$  is determined by  $f(x_i)$ 
if ( $I_j > I_i$ )
Move firefly  $i$  towards  $j$  in all  $d$  dimensions
end if
Attractiveness varies with distance  $r$  via  $\exp[-\gamma r]$ 
Evaluate new solutions and update light intensity
end for  $j$ 
end for  $i$ 
Rank the fireflies and find the current best
end while
Postprocess results and visualization
```

شکل ۲. شبه کد الگوریتم کرم شب تاب [۵]

فاصله بین هر دو کرم شب تاب  $i$  و  $j$  در  $X_i$  و  $X_j$  را می توان از مختصات کارتزین طبق رابطه (۳) به دست آورد.

$$r_{ij} = \|X_i - X_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{i,k} - X_{j,k})^2} \quad (3)$$

$X_{i,k}$  جزء  $k$  از کرم شب تاب  $i$

در این الگوریتم کرم های شب تاب به سمت کرم های با جذابیت بیشتر حرکت می کنند. در هر مرحله میزان جابجایی کرم جذب شده  $i$  به سوی کرم شب تاب جذابتر (روشن تر)  $j$  توسط رابطه (۴) تعیین می شود [۷].

$$x_i = x_i + \beta \cdot e^{-\gamma r_{ij}} (x_i - x_j) + \alpha \varepsilon_i \quad (4)$$

قسمت دوم رابطه با جذب در ارتباط است، در حالیکه قسمت سوم تصادفی است که با بردار تصادفی  $\varepsilon_i$  تغییر می کند که از توزیع نرمال تبعیت می کند. در اکثر کاربردها می توان مقادیر  $\gamma=1$ ،  $\beta=1$  و  $\alpha \in [0, 1]$  را در نظر گرفت. علاوه بر این، اگر تفاوت در مقادیر اندازه ها در ابعاد مختلف وجود داشته باشد، به عنوان مثال اگر تغییرات در یک بعد از  $10^{-5}$  تا  $10^5$  و در دیگر ابعاد از  $10^{-2}$  تا  $10^3$  باشد یک ایده مناسب جایگزینی  $\alpha$  با  $\alpha S_k$  است. که  $S_k$  بردار مقیاس دهی برای اجزاء پارامترهای ورودی به الگوریتم است. در مقاله حاضر نرمال کردن کلیه پارامترهای ورودی در بازه  $[-1, 1]$  باعث شده تا علاوه بر افزایش سرعت آموزش و کاهش خطا در شبکه عصبی، همسان سازی داده به وجود آمده در اثر نرمال سازی، باعث گردیده تغییرات در ابعاد مختلف، همسان گردد.

گذاشت. ژانگ این الگوریتم را برای حل مشکلات شهری و ترافیک توصیه می نماید [۹]. امیرآبادی و همکاران با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب و مدل شبکه عصبی نسبت به بهینه سازی زبری سطح در فرآیند برش همراه با ذرات ساییده اقدام نمودند [۱۰].

عمده ترین کاربرد الگوریتم کرم شب تاب در بهینه سازی مسائلی می باشد، که هدف نهایی بیشینه کردن تابع هدف است. در این الگوریتم تابع هدف به سادگی می تواند با مقدار روشنایی کرم های شب تاب متناسب شود. از طرف دیگر روشنایی کرم های شب تاب می تواند توسط یک راه ساده با قابلیت کارایی در الگوریتم های ژنتیک یا الگوریتم BFA تعریف شود. فرآیند بهینه سازی این الگوریتم از تغییرات شدت نور و جذابیت استفاده می نماید.

جذابیت یک کرم شب تاب براساس درخشندگی یا شدت نوری تعیین می شود که از تابع هدف به دست آمده است. در ساده ترین حالت برای مسائل بهینه سازی که در آن مقدار بیشینه تابع هدف به دست می آید، بیشینه روشنایی، " $I$ " یک کرم شب تاب در مکان منحصر به فرد  $X$  می تواند مقدار روشنایی با تابع هدف متناسب شود ( $I(x) \propto f(x)$ ). با این حال جذابیت، " $\beta$ " کاملاً نسبی است و باید در چشمان ناظر دیده شود و یا توسط کرم های شب تاب دیگر قضاوت شود. بنابراین، جذابیت با مسافت  $r_{ij}$  بین کرم شب تاب  $i$  و کرم شب تاب  $j$  تغییر می کند. شدت نور با افزایش فاصله از منبع اش کاهش می یابد، و نور در محیط نیز جذب می شود بنابراین باید اجازه داده شود جذابیت با درجه جذب تغییر کند. در ساده ترین حالت شدت نور  $I(r)$  با مسافت  $r$  بطور پیوسته و نمایی تغییر می کند. بیان ریاضی تغییرات شدت نور در رابطه (۱) آمده است [۷].

$$I = I_0 \cdot e^{-\gamma r} \quad (1)$$

$I_0$  شدت نور اولیه

$\gamma$  ضریب جذب نور

میزان جذب کرم شب تاب با شدت نوری که از کرم های شب تاب اطراف ساطع می شود متناسب است. اکنون می توان مقدار جذابیت یک کرم شب تاب  $\beta$  را طبق رابطه (۲) تعریف نمود [۷].

$$\beta = \beta_0 \cdot e^{-\gamma r^2} \quad (2)$$

مقدار جذابیت در مسافت صفر  $\beta_0$

شبه کد الگوریتم کرم شب تاب، در شکل ۲ نمایش داده شده است.



یک دستگاه مختصات واحد از یک ماتریس تبدیل استفاده نموده، که این ماتریس دارای ۳ مولفه جابجایی و ۳ مولفه چرخش می باشد. با ضرب مختصات نقاط ابر نقاط دوم در این تبدیل، مختصات نقاط به دستگاه مختصات ابر نقاط اول منتقل می شوند. بنابراین در هم مرجع سازی هدف کمینه کردن مقدار باقیمانده طبق رابطه (۶) است.

$$E(R, t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|m_i - (Rd_i + t)\|^2 \quad (6)$$

در رابطه (۶) مقدار N تعداد کل نقاط برای عملیات هم مرجع سازی، بردار هر نقطه مدل،  $d_i$  بردار هر نقطه داده، R ماتریس چرخش و t بردار جابجایی دو ابر نقاط می باشند.

در این پژوهش برای هم مرجع سازی ابرهای نقاط توسط الگوریتم کرم شب تاب تنها پارامترهای مرتبط با چرخش در نظر گرفته شده اند، لذا به جای استفاده از رابطه (۶) از رابطه (۷) به عنوان تابع هدف در الگوریتم بهینه سازی استفاده گردید.

$$E(R, t) \propto \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|m'_i - Rd'_i\|^2 \quad (7)$$

به منظور بررسی عملکرد الگوریتم کرم شب تاب در این مساله ابتدا بخشی از یک ابر نقاط جدا گردید و سپس مختصات نقاط آن در سه مرحله حول محورهای x، y و z توسط ماتریس های دوران، دوران یافت. ماتریس های دوران حول محورهای روابط (۸)، (۹) و (۱۰) می باشند.

$$Rx = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$Ry = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & -\sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$Rz = \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

با ضرب ماتریس های دوران در یکدیگر رابطه (۱۱) به عنوان ماتریس دوران کلی حول هر سه محور بدست می آید.

(11)

$$R = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \kappa & \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa & \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa \\ -\cos \phi \sin \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa \\ \sin \phi & -\sin \omega \cos \phi & \cos \omega \cos \phi \end{bmatrix}$$

ابر نقاط بدست آمده و ابر نقاط مرجع در شکل ۳ نشان داده شده است. تعداد ۲۰ کرم شب تاب که هر کدام دارای سه زاویه دوران متفاوت حول محورهای مختلف بودند در فضای جواب رها

پارامتر  $\gamma$  تغییر جذابیت را مشخص می کند، و مقدار آن مشخص کننده تعیین سرعت همگرایی و چگونگی رفتار الگوریتم کرم شب تاب است. در تئوری  $\gamma \in [0, \infty)$  اما در عمل ۱ یا  $\gamma = 0$  توسط سیستمی که باید بهینه شود تعیین می شود. در نهایت زمانیکه  $\gamma = 0$ ، جذابیت ثابت است  $\beta = \beta_0$  در واقع مانند این است گفته شود که شدت نور در یک فضای ایده آل کاهش نمی یابد. بنابراین یک کرم شب تاب روشن می تواند در هر جایی از ناحیه دامنه دیده شود. بنابراین یک نقطه بهینه (معمولا بهینه عمومی) می تواند براحتی قابل دسترس شود که مطابق با یک حالت خاص الگوریتم پرواز پرندگان است [۶].

در حقیقت اگر حلقه درونی برای z برداشته شود و Iz با بهترین جواب کنونی \*g جایگزین شود، الگوریتم کرم شب تاب اصولا به الگوریتم پرواز پرندگان استاندارد تبدیل می شود و در نتیجه راندمان این حالت خاص مشابه الگوریتم پرواز پرندگان می شود. از طرفی دیگر اگر  $\gamma \rightarrow \infty$  مقدار جذابیت رابطه (۲) به رابطه (۷) تبدیل می شود.

$$\beta(r) \rightarrow \delta(r) \quad (5)$$

که معرف تابع ضربه یا تابع دلتای دیراک<sup>۲</sup> است. این به این معنی است که جذابیت در نظر دیگر کرم های شب تاب تقریبا صفر است یا کرم های شب تاب کم بینا هستند. این حالت این حکم را دارد که کرم های شب تاب در یک منطقه بسیار مه آلود و تیره هستند. کرم های شب تاب دیگر دیده نمی شوند و هر یک از کرم های شب تاب در یک راه کاملا تصادفی حرکت می کنند. بنابراین، در این حالت با روش جستجوی کاملا تصادفی مطابقت می کند. بنابراین  $\gamma$  چگونگی رفتار الگوریتم را کنترل می کند. همچنین این امکان وجود دارد که با تنظیم  $\gamma$  بتوان چندین نقطه بهینه مختلف را (در صورت وجود چندین نقطه بهینه) در طی تکرارهای مشابه پیدا نمود. در حقیقت با افزایش مقدار  $\gamma$  پارامتر جذابیت کمرنگتر گردیده لذا کرم ها در به سمت بهینه های محلی جذب نمی گردند. در صورت وجود چندین نقطه بهینه در فضایی که کرم ها رها می گردند در صورتیکه تعداد کرم ها بشکل قابل توجهی از نقاط بهینه بیشتر باشد هیچ نقطه بهینه ای از چشم کرم ها دور نخواهد ماند [۶].

### ۳. پیاده سازی الگوریتم و نتایج

عملیات هم مرجع سازی برای بردن مختصات نقاط دو ابر نقاط به



شکل ۴. ابرهای نقاط نشان داده شده در شکل ۳ پس از

هم‌مرجع کردن با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب

در جدول ۱ مقادیر دوران داده شده و مقدار بهینه بدست آمده توسط الگوریتم کرم شب‌تاب پس از ۲۵ بار تکرار، برای سه حالت متفاوت از دوران‌ها نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از کاربرد این الگوریتم بهینه‌سازی نشان از دقت مناسب آن در حل اینگونه مسائل دارد.

جدول ۱. مقادیر بهینه بدست آمده توسط الگوریتم کرم

شب‌تاب

Rz( $\alpha$ ) [deg.]	Ry( $\beta$ ) [deg.]	Rx( $\gamma$ ) [deg.]	
۱۰	۱۰	۱۰	زوایای دوران ابر نقاط حول محورهای مختصات در مرحله اول
۱۰/۰۰۰۹۴۲	۱۰/۰۰۱۰۴۸	۹/۹۹۹۹۲۳	پیش‌بینی زوایای دوران توسط الگوریتم کرم شب‌تاب در مرحله اول
۴۰	۱۵	۲۵	زوایای دوران ابر نقاط حول محورهای مختصات در مرحله دوم
۳۹/۹۹۹۵۸۷	۱۴/۹۹۹۶۸۹	۲۵/۰۰۰۳۲۴	پیش‌بینی زوایای دوران توسط الگوریتم کرم شب‌تاب در مرحله دوم
۱۰	۳۰	۶۰	زوایای دوران ابر نقاط حول محورهای مختصات در مرحله سوم
۱۰/۰۰۰۰۸۳	۳۰/۰۰۰۶۷۱	۵۹/۹۹۹۹۱۴	پیش‌بینی زوایای دوران توسط الگوریتم کرم شب‌تاب در مرحله سوم

گردیده و برای هر یک با توجه به تابع هدف مقدار باقیمانده مورد محاسبه قرار گرفت. در الگوریتم کرم شب‌تاب، کلیه کرم‌ها به سمت نقطه یا نقاط بهینه حرکت می‌کنند به این معنی که مقادیر زوایای دوران حول محورها به نحوی تغییر می‌یابد که تابع هدف بهینه گردد، بنابراین هرچه تعداد کرم‌ها بیشتر باشد احتمال دست یافتن به بهینه عمومی افزایش می‌یابد. میزان روشنایی هر کرم شب‌تاب توسط تابع هدف مشخص و به الگوریتم کرم شب‌تاب داده می‌شود. ابتدا لازم است مقادیر پارامترهای مرتبط با جذب نور محیط ( $\gamma$ ) و حرکت تصادفی کرم شب‌تاب ( $\alpha$ ) بمنظور بهینه‌سازی توسط الگوریتم کرم شب‌تاب تعیین گردند. در این بدین منظور  $\alpha = 0/2$  در نظر گرفته شده و ضریب جذب نور برابر یک، منظور گردید ( $\gamma = 1$ ). از این الگوریتم برای یافتن مقادیر بهینه استفاده می‌گردد لذا برای یافتن کمترین مقدار تابع هدف، ابتدا در مرحله مقدار تابع هدف در ۱- ضرب می‌گردد و در نهایت جواب‌های بدست آمده از الگوریتم نیز در ۱- ضرب می‌شود تا مقادیر بهینه برای هم‌مرجع‌سازی بدست آید. بر اساس مقدار بهینه بدست آمده ابر نقاط دوم هم‌مرجع می‌گردد. شکل ابر نقاط هم‌مرجع شده و ابر نقاط مرجع در شکل شماره ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳. ابرهای نقاط برگرفته از ابر نقاط تایر



roughness using firefly algorithm”, *Modares Mechanical Engineering*, ۱۳(۲۰۱۳) ۱۲۳-۱۳۴. (in Persian)

#### ۴. نتیجه گیری

در این پژوهش به منظور حل مساله هم مرجع سازی که از جمله چالش های اساسی در ساخت مدل ابر نقاط در اسکنرهای سه بعدی بشمار می رود از الگوریتم کرم شب تاب استفاده گردید. نتایج پیاده سازی این الگوریتم در مساله هم مرجع سازی نشان از کاربردی بودن این روش بهینه سازی در حل اینگونه مسائل دارد. این روش برای حل در تمامی موارد به جواب با تعداد تکرارهای کم همگرا گردید و افزایش تعداد تکرارها فقط بر روی دقت حل مساله تاثیر می گذارد.

#### مراجع

- [۱] B. He, Z. Lin, Y. F. Li, “An Automatic Registration Algorithm for the Scattered Point Clouds Based on the Curvature Feature”, *Optics & Laser Technology* ۴۶(۲۰۱۳) ۵۳-۶۰.
- [۲] J. Santamaría, O. Cordon, S. Damas, “A Comparative Study of State-of-the-Art Evolutionary Image Registration Methods”, *Computer Vision and Image Understanding* ۱۱۵(۲۰۱۱) ۱۳۴۰-۱۳۵۴.
- [۳] O. Cordon, S. Damas, J. Santamaria, “A CHC Evolutionary Algorithm for 3D Image Registration”, *LNAI* ۲۷۱۵(۲۰۰۳) ۴۰۴-۴۱۱.
- [۴] L. Silva, O. Bellon, K. Boyer, Enhanced, “Robust Genetic Algorithms for Multiview Range Image Registration”, *Fourth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling* (۲۰۰۳) ۲۶۸-۲۷۵.
- [۵] X. Yang, *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithm*, Luniver Press, ۲۰۰۸.
- [۶] X. Yang, “Firefly algorithms for multimodal optimization, in: Stochastic Algorithms”, *Foundations and Applications, SAGA, Lecture Notes in Computer Sciences*, ۵۷۹۲(۲۰۰۹) ۱۶۹-۱۷۸.
- [۷] X. Yang, “Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimization”, *International Journal of Bio-inspired Computation*, ۲(۲۰۱۰) ۷۸-۸۴.
- [۸] Apostolopoulos, T.,” Application of the Firefly Algorithm for Solving the Economic Emissions Load Dispatch Problem”, *International Journal of Combinatorics*, ۲(۲۰۱۰) ۱۲۱-۱۴۳.
- [۹] Zang, H., Zhang, S., Hapeshi, K., “A Review of Nature-Inspired Algorithms”, *Journal of Bionic Engineering*, ۷(۲۰۱۰) ۲۳۲-۲۳۷.
- [۱۰] H. Amirabadi, K. Khalili, A. Foorginejad, J. Ashoori, “Modeling of abrasive water-jet cutting of glass using artificial neural network and optimization of surface