



بهینه‌سازی بازده نموداری توربین بخار به کمک الگوریتم ژنتیک

امین کلاهدوز<sup>۱\*</sup>، محمد رضا مقومی<sup>۲</sup>

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی‌شهر، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اصفهان، ایران

۲- دانشکده مهندسی مکانیک - موسسه آموزش عالی دانش‌پژوهان

aminkolahdooz@iaukhsh.ac.ir

#### چکیده:

امروزه تولید برق مهم‌ترین بخش تولید انرژی در صنایع را به خود اختصاص داده است که در این رهگذر، بهینه‌سازی مصرف انرژی و توان نیروگاهی می‌تواند در صرفه‌جویی انرژی مفید واقع شود. یکی از بخش‌های مهم نیروگاهی، طراحی و ساخت توربین‌ها، اعم از توربین‌های هیدرولیکی، بخاری، بادی و هسته‌ای می‌باشد. بدین منظور طراحی نیروگاه‌ها به‌عنوان مهم‌ترین موضوع مد نظر قرار می‌گیرد. در این مقاله، با توجه به روابط مهندسی حاکم بر طراحی توربین‌های بخار و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بازده نموداری یک نمونه توربین بخار بهینه شده است. پارامترهای مورد بررسی در این مقاله زاویه ورودی و خروجی سیال از استاتور، سرعت پروانه و همچنین سرعت مطلق ورود و خروج استاتور و روتور می‌باشد. نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که بازده نموداری در اثر بهینه شدن، به میزان ۸۴ و ۸۲ درصد افزایش پیدا می‌کند. همچنین بهینه‌ترین سرعت سیال برابر مقدار ۱۱۳ و ۰۵ متر بر ثانیه بدست آمد.

**کلید واژگان:** توربین بخار، بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، بازده نموداری

## *Optimization of the Steam Turbine Efficiency using Genetic Algorithm*

*Amin Kolahdooz<sup>1\*</sup>, Mohammad Reza Moghoumi<sup>2</sup>*

*1- Young Researchers and Elite Club – Khomeinishahr Branch – Islamic Azad University*

*2- Department of Mechanical Engineering - Daneshpajoohan Higher Education Institute*

*†Corresponding Author Email: aminkolahdooz@iaukhsh.ac.ir*

#### **Abstract:**

Today, the electricity production is the most important part of energy production in industries and accounted for in this way, optimize the energy consumption and power plants could be helpful for the energy savings. One of the most important parts of plants is design and construction of the turbines, including hydraulic turbine, steam, nuclear and wind. The plant is designed as the most important issue is considered. One of the most important parts of plants is design and construction of the turbines, including hydraulic turbine, steam, nuclear and wind. The plant is designed as the most important issue is considered. In this paper, the inlet angle fluid, output fluid from the stator, impeller speed and absolute speed of entering and leaving the stator and rotor are selected as entering parameters. The results showed that the efficiency of graphical can be improved in the amount of 82.84 percent with using this optimization. Also the optimal fluid velocity is achieved around 113.05 meters per second.

**Keywords:** steam turbine, optimization, genetic algorithm, efficienc

## ۱- مقدمه

نیروگاه‌های حرارتی یکی از پرکاربردترین کارخانه‌های تولید برق در جامعه بشری محسوب می‌شوند. هرچند در فرآیند تولید برق از نیروگاه‌های آبی، هسته‌ای و گرما زمینی می‌توان استفاده کرد، با این حال استفاده از نیروگاه برق حرارتی سهم ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. توربین‌های بخار به علت نحوه طراحی و ساخت، بخش مهم و حساسی در مهندسی حرارت و سیالات و تبدیل انرژی می‌باشند که پژوهش‌گران زیادی در رابطه با طراحی و بهبود آنها تلاش‌های گوناگونی نموده‌اند [۱].

حاج عبدالهی و همکاران [۲] در سال ۲۰۱۲ با استفاده از الگوریتم‌های NSGA-II و ANN موفق به بهینه‌سازی یک نیروگاه توربین بخار شدند. در این تحقیق، ۱۵ متغیر به عنوان پارامترهای ورودی مورد بررسی قرار گرفت و داده‌های واقعی طراحی انتخاب شد. در نهایت با کمک این الگوریتم‌ها، حداکثر بازده حرارتی نیروگاه به اندازه ۳.۷۶ درصد افزایش پیدا کرد. آنها همچنین اعلام نمودند که در همین شرایط، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و سوخت به میزان ۳۸۴ درصد کاهش پیدا خواهد نمود.

لی و همکاران [۳] بهینه‌سازی آیرودینامیکی طراحی شکل پره-های توربین را مورد بررسی قرار داده‌اند. ایشان برای طراحی آیرودینامیکی از یک تیغه توربین فراصوتی استفاده کردند. هدف از این کار را مقابله با جریان چسبناک و متراکم و بهبود عملکرد آیرودینامیکی اعلام نمودند. همچنین در ادامه الگوریتمی را طراحی کردند که بتواند نرخ تولید آنتروپی را به حداقل برساند.

کوسیاک و همکاران [۴] بهینه‌سازی عملکرد توربین بادی را با استفاده از مدل داده محور مورد بررسی قرار دادند. آنها با بررسی توان خروجی، ارتعاش پرها و ارتعاش بدنه توربین سعی در پیدا کردن شرایطی داشتند که کارایی توربین به بهترین حالت خود برسد. ایشان برای رسیدن به این منظور از مدل‌های شبکه عصبی و بکارگیری معادلات دینامیکی استفاده نمودند. در ادامه و با توجه به اینکه شرایط پیچیده و غیرخطی در سیستم حاکم گشته بود از یک الگوریتم استراتژی تکاملی برای همگرایی نتایج استفاده نمودند. در نهایت آنها اعلام نمودند که ارتعاشات مهمترین نقش در کاهش راندمان توربین را ایفا می‌کند.

منگیستو و همکاران [۵] شکل آیرودینامیکی پره‌های توربین را با استفاده از روش MORAT بهینه‌سازی کردند. آنها اعلام کرده‌اند که با استفاده از این مدل و با داشتن تعداد پارامتر کمتر از پروفیل پره می‌توانند هر شکل پره توربین را در هر موقعیت شعاعی طراحی نمایند. آنها برای بهینه‌سازی از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی، الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند.

جیانگ و همکاران [۶] به مطالعه بر روی مشخصات ترمودینامیک در چرخه تبدیل به گاز یکپارچه همراه (IGCC) پرداخته و در نهایت

بهینه‌سازی سیستم چرخه بخار را مورد بررسی قرار دادند. آنها اعلام نمودند که توانسته‌اند روش جدید برای بهینه‌سازی همزمان پیکربندی و پارامترها برای این سیستم بخاری را ارائه دهند. مدل ارائه شده بر پایه مدل مدولار در طراحی سیستم‌های یکپارچه می‌باشد. هدف از مقاله حاضر، بهینه‌سازی بازده نموداری توربین‌های بخار با استفاده از معادلات ریاضی حاکم و الگوریتم ژنتیک ۱ می‌باشد.

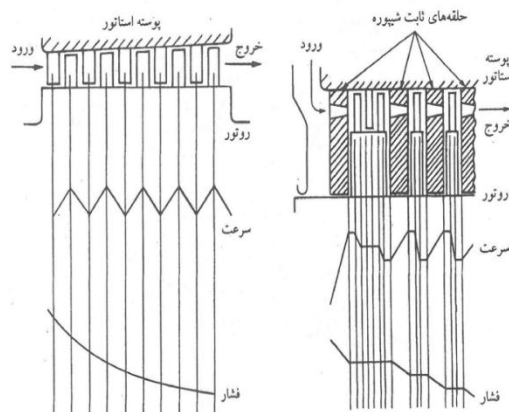
۲. روابط حاکم بر توربین‌های بخار و گازی جریان محوری

دو نوع اصلی توربین‌های جریان محوری شامل انواع واکنشی و ضربه‌ای است و ترکیبی از این دو را نیز می‌توان یافت. در شکل (۱) چگونگی تغییرات فشار و سرعت در مرحله‌های واکنشی و ضربه‌ای بیان شده است. روند کلی، کاهش فشار همراه با بازیابی سرعت در ردیف استاتور یا حلقه شیپوره است. ردیف تیغه‌های استاتور و به دنبال آن مجموعه تیغه‌های روتور را به عنوان مرحله در نظر می‌گیرند. برای تشریح وضعیت سیال فرض می‌شود: [۱ و ۷]

(۱) شرایط جریان در شعاع میانگین در نظر گرفته می‌شود، مگر آنکه خلاف آن ذکر شود.

(۲) نسبت ارتفاع تیغه به شعاع میانگین کم است و بنابراین از نظریه جریان دوبعدی می‌توان استفاده کرد.

(۳) سرعت شعاعی سیال در توربین صفر است.



شکل (۱) تغییرات فشار و سرعت در طول توربین‌های جریان محوری ضربه‌ای و واکنشی [۱]

## ۲- مرحله توربین:

یک مرحله منفرد توربین و مثلث‌های سرعت متناظر، به ترتیب در شکل‌های (۲ و ۳) قابل مشاهده است. ورود به تیغه‌های استاتور با اندیس، ورودی به قسمت روتور با اندیس ۱ و خروجی از آن با اندیس ۲ نشان داده شده است.

1. Genetic Algorithm

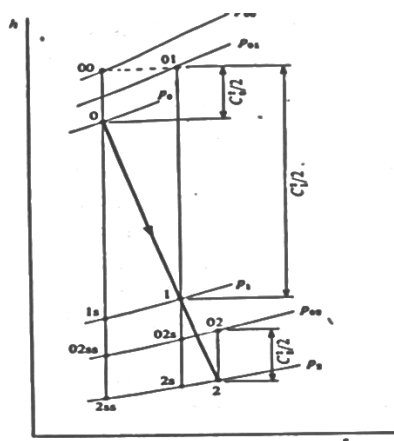
در صورتی که  $C_{a1} \neq C_{a0}$ ، نیروی رانش محوری در جهت جریان وجود دارد. اما فرض می‌شود که  $C_a$  ثابت است و بنابراین از رابطه ۳ خواهیم داشت:

$$\frac{W}{m} = UC_a(\tan \alpha_1 - \tan \alpha_2) = UC_a(\tan \beta_1 - \tan \beta_2) \quad (3)$$

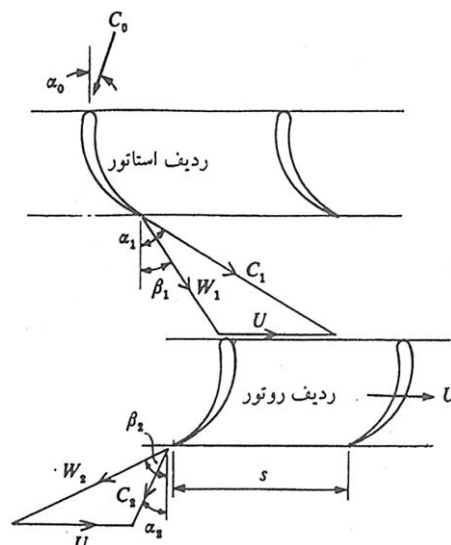
در روابط ۲ و ۳ مشخصه‌های  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  به ترتیب، زاویه بین بردار سرعت مطلق و خط عمود در ورودی و خروجی روتور،  $\beta_1$  و  $\beta_2$  زاویه بین بردار سرعت نسبی و خط عمود در ورودی و خروجی روتور، همچنین  $W$  کار انجام شده بر حسب ژول و  $m$  جرم بخار جریان یافته بر حسب گرم و  $U$  سرعت سیال (بخار) بر حسب متر بر ثانیه می‌باشند. همچنین  $C_a$  مولفه محوری بردار سرعت مطلق می‌باشد. غالباً از معادله ۳ به‌عنوان کار نموداری در واحد دبی جرمی نام برده می‌شود و براساس آن، بازده نموداری به‌صورت زیر تعریف می‌شود رابطه ۴:

$$\text{بازده نموداری} = \frac{\text{کار نموداری انجام شده در واحد دبی جرمی}}{\text{کار موجود در واحد دبی جرمی}} = U(W_{x1} + W_{x2}) / \frac{1}{2} C_1^2 \quad (4)$$

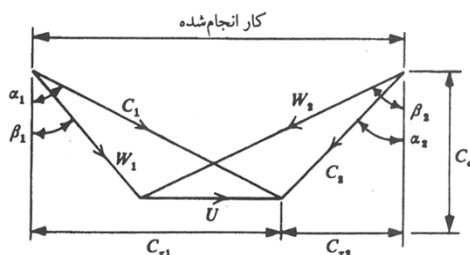
در رابطه ۴  $W_{x1}$  و  $W_{x2}$  مولفه‌های مماسی بردار سرعت نسبی سیال ورودی و خروجی روتور و  $C_1$  بردار سرعت مطلق می‌باشند. در شکل (۴) شرایط ترمودینامیکی گاز مشاهده می‌شود. در این حالت، شرایط ورود به استاتور در فشار کلی  $p_{00}$  و آنتالپی کلی  $h_{00}$  است. همچنین آنتالپی جریان بی‌دررو از میان ردیف‌های استاتور با حلقه شیپورهای  $h_{01}$  و  $h_{00}$  می‌باشند. اما با توجه به برگشت ناپذیری‌ها، فشار کلی در خروجی استاتور (ورودی روتور) به  $p_{01}$  کم می‌شود.



شکل (۴): نمودار مولیر برای انبساط در مرحله توربین گازی یا بخار جریان محوری [۷]



شکل (۲): مثلث‌های سرعت برای مرحله توربین گازی (یا بخار) جریان محوری [۱]



شکل (۳): مثلث‌های سرعت بر هم نهاده [۱]

گاز با سرعت  $C_1$  در زاویه  $\alpha_1$  تیغه‌های استاتور را ترک می‌کند و با تفریق بردار سرعت تیغه  $U$  بردار سرعت نسبی  $W_1$  در ورودی روتور به‌دست می‌آید. در حین حرکت سیال در عرض تیغه روتور، جهت جریان تغییر می‌کند و با کاهش سرعت مطلق و افزایش سرعت نسبی، فشار کاهش می‌یابد. سپس گاز به‌طور مماس با زاویه  $\beta_1$  نسبت به بردار سرعت نسبی  $W_1$  تیغه را ترک خواهد کرد. با تفریق برداری سرعت تیغه، بردار سرعت مطلق  $C_2$  به‌دست می‌آید. اکنون سرعت ورودی به ردیف بعدی استاتور در زاویه  $\alpha_2$  تعیین شده است که برای مرحله عادی برابر  $C_a$  در زاویه  $\alpha_0$  است. برای سادگی، دو مثلث سرعت را همانند شکل (۴) بر هم منطبق کرده بنابراین انتقال انرژی از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$E = (C_{x1} - C_{x2})fg \quad (1)$$

مشخصه‌های  $C_{x1}$  و  $C_{x2}$  به ترتیب مولفه‌های مماسی بردار سرعت مطلق سیال در خروجی و ورودی روتور و  $E$  انرژی انتقالی و  $g$  شتاب جاذبه می‌باشند. همچنین، کار انجام شده در واحد دبی جرمی از رابطه ۲ قابل دستیابی است.

$$Eg = \frac{W}{m} = U(C_{x1} - C_{x2}) \quad (2)$$

از طرفی، نسبت واکنش برای توربین جریان محوری در مقایسه با توربین کمپرسور جریان محوری، که معمولاً نسبت واکنش آن در حدود ۵۰ درصد است، اهمیت بیشتری دارد. نسبت واکنش توربین از ۰ تا ۱۰۰ درصد می‌تواند تغییر کند. نسبت واکنش از رابطه ۱۲ قابل محاسبه است.

$$R = \frac{\text{افت استاتیکی آنتالپی در روتور}}{\text{افت آنتالپی استاتیکی در مرحله}} \quad (12)$$

$$= (h_1 - h_2) / (h_0 - h_2)$$

در این رابطه  $h_1$  و  $h_2$  به ترتیب آنتالپی ورودی و خروجی از روتور بوده و  $h_0$  آنتالپی ورودی به استاتور می‌باشند. اما برای مرحله عادی  $C_0 = C_2$  و چون شیپوره در  $h_{01} = h_{00}$  است، آن‌گاه از رابطه ۱۳ نسبت واکنش عبارتست از:

$$R = (h_1 - h_2) / (h_{01} - h_{02}) \quad (13)$$

در رابطه ۱۳  $h_{01}$  و  $h_{02}$  آنتالپی کلی در ردیف روتور و آنتالپی کلی در خروجی استاتور می‌باشند. اما با عنایت به این‌که،  $C_1 = \frac{C_a}{\cos \alpha_1}$  و با توجه به این‌که در تیغه‌گذاری ضربه‌ای  $W_1 = W_2$  است بازده نموداری، که مهمترین معادله برای بهینه سازی تیغه‌های توربین است، از رابطه ۱۴ به دست می‌آید:

$$\eta = \frac{4[C_a(\tan \alpha_1 - 1)][C_a \tan \alpha_1 - C_a(\tan \alpha_1 - 1)]}{(C_a / (\cos \alpha_1))^2} \quad (14)$$

براساس رابطه ۱۴ زاویه شیپوره  $\alpha_1$  باید تا حد ممکن بزرگ باشد و در حالت ایده‌آل به ۹۰ درجه برسد، ولی  $\alpha_1$  توسط  $C_a$  محدود می‌شود زیرا هر قدر  $\alpha_1$  بزرگ شود  $C_a$  کوچک می‌شود و بنابراین به تیغه‌ای با طول بیش‌تر برای دبی جرمی بیش‌تر مورد نیاز است. زاویه‌های نمونه‌وار شیپوره بین ۶۵ تا ۷۸ درجه است. گذرگاه تیغه‌های روتور نیز، همانند شکل ۶ دارای سطح مقطع ثابت و متقارن با زاویه‌های ۴۵ درجه است. به این سبب، مرکز انحناى سطوح محدب و مقعر تیغه‌های مجاور، برای ایجاد گذرگاه‌های موازی، بر روی یک نقطه واقع شده‌اند. طرح دیگری که در آن تیغه‌گذاری ضربه‌ای مورد توجه قرار گرفته است، نوع همگرا-واگرا است. امتیاز این طرح در این است که احتمال جدایش جریان را بر روی سطوح محدب پشت تیغه با کم شدن انحناى آن کاهش می‌دهد. همگرای جزئی گذرگاه به برقراری جریان یکنواخت در هنگام ورود سیال به خم گذرگاه، کمک می‌کند و با این‌که بخش واگرای آن باعث انبساط جریان می‌شود، اثر خالص آن، به ویژه هنگامی که زاویه‌های چرخش جریان بزرگ، و شعاع انحناى تیغه‌ها کوچک‌اند، سودمند می‌باشد.

شکل (۶): تیغه گذاری ضربه‌ای

لازم به ذکر است، در ردیف روتور انبساط گاز تا فشار  $P_{02}$  و آنتالپی کلی  $h_{01}$  و با توجه به رابطه  $h_{01rel} = h_{02rel}$  می‌باشد. بنابراین کار انجام شده در واحد دبی جرمی گاز از رابطه ۵ به دست می‌آید.

(۵)

$W/m = h_{00} - h_{02} = h_{01} - h_{02} = C_p(T_{01} - T_{02})$   
در رابطه‌ی ۵،  $C_p$  گرمای ویژه بخار آب در فشار ثابت،  $T_{01}$  و  $T_{02}$  دمای کلی ورودی و خروجی سکون از روتور برحسب سانتیگراد می‌باشند. با جایگزینی برای  $W/m$  از معادله ۳ رابطه‌ی ۶ به دست می‌آید.

$$C_p(T_{01} - T_{02}) = UC_a(\tan \beta_1 + \tan \beta_2) \quad (6)$$

یکی دیگر از پارامترهای موثر در توربین های بخار، بازده آیزنتروپیک است که به صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود:

$$\eta_{t(t-t)} = \frac{\text{کار واقعی انجام شده به وسیله گاز}}{\text{کار انجام شده ایزنتروپیک}} \quad (7)$$

$$= (T_{00} - T_{02}) / (T_{00} - T_{02ss})$$

برای هر دو ردیف استاتور و روتور، ضریب‌های بی‌بعد افت را به دو

صورت می‌توان تعریف کرد. برای شیپوره :

$$Y_N = (P_{00} - P_{01}) / (P_{01} - P_1) \quad (8)$$

$$\zeta_N = \frac{h_1 - h_{1s}}{0.5 C_1^2} \quad (9)$$

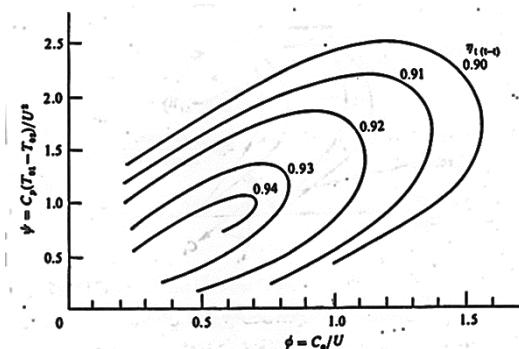
مقادیر  $Y$  و  $\zeta$  در استاتور و روتور بیان‌گر درصد افت انرژی ناشی از اصطکاک با تیغه‌هاست که خود سبب افت آنتالپی استاتیکی و فشار کلی در عرض تیغه‌ها می‌شود. افت‌های صورت گرفته در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد هستند ولی برای ضریب‌های جریان بسیار کم، کم‌تر خواهند بود.

ظرفیت انجام کار مرحله بر حسب افت دما با ضریب بارگذاری تیغه به صورت رابطه ۱۰ بیان می‌شود. ضریب بارگذاری تیغه برحسب ضریب جریان در شکل (۵) قابل مشاهده است.

$$\Psi = W/mU_2 = C_p(T_{01} - T_{02}) / U_2 \quad (10)$$

که با توجه به معادله ۳، آن را به صورت رابطه ۱۱ می‌توان نوشت:

$$\Psi = C_a(\tan \beta_1 + \tan \beta_2) / U_2 \quad (11)$$

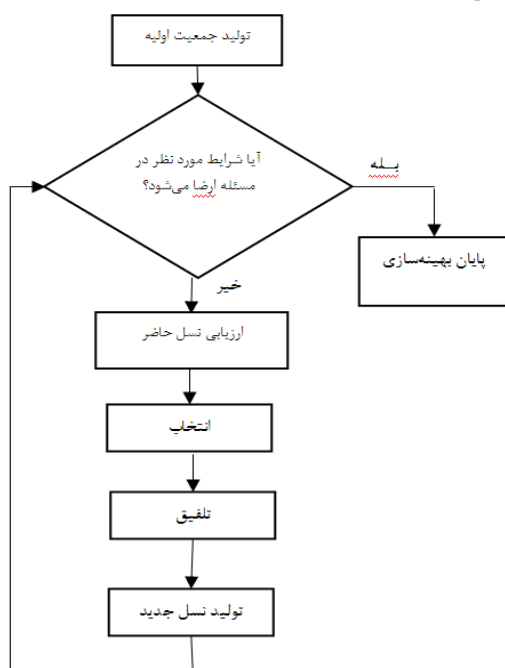


شکل (۵): ضریب بارگذاری تیغه برحسب ضریب جریان [۷]

### ۲-۲- روش بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک

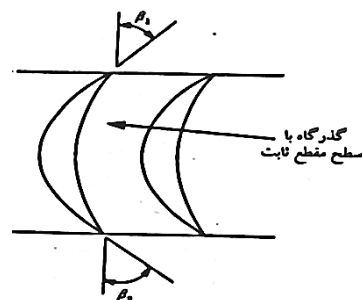
الگوریتم‌های ژنتیک از طریق فرایندی شبیه به روش‌های انتخاب طبیعی و ژنتیک طبیعی در علوم زیست‌شناسی به بهینه‌سازی مسائل می‌پردازند. این الگوریتم‌ها در طول دهه گذشته به طور گسترده به عنوان ابزارهای جستجو و بهینه‌سازی در رشته‌های مختلف از جمله بازرگانی، علوم و مهندسی به کار گرفته شده‌اند. در شکل (۷) فلوجارت الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی مشاهده می‌شود.

در الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این تحقیق، یک پارامتر مهم و تاثیرگذار در طراحی و عملکرد توربین‌های بخار به نام بازده نموداری بهینه‌سازی گردیده است. بازده نموداری نسبت کار نموداری است. متغیرهای مسئله نیز شامل: سرعت مطلق ورودی و خروجی روتور، زاویه بردار سرعت مطلق ورودی و خروجی روتور استاتور، سرعت خطی پروانه، سرعت نسبی ورودی و خروجی روتور مولفه‌های مماسی بردار سرعت مطلق سیال در خروجی و ورودی روتور، مولفه محوری بردار سرعت مطلق می‌باشند. در الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی لازم است با مقدار اولیه یک مجموعه راه حل (کروموزوم) آغاز و مجدداً مشکل بررسی و با استفاده از یک تابع تناسب مشکل ایجاد شده ارزیابی شود. بر این اساس بهترین کروموزوم‌ها در استخر جفت‌گیری انتخاب می‌شوند و در همانجا دچار برخورد شده و جهش صورت می‌گیرد، سپس مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها ارائه می‌شوند.



شکل (۷): فلوجارت الگوریتم ژنتیک [۹]

در این مقاله تعداد جمعیت ۲۰۰ و تعداد نسل انتخابی (برای دقت بیشتر برنامه نویسی الگوریتم ژنتیک) ۱۰۰ نسل می‌باشد.



### ۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روش یادگیری بر پایه تکامل بیولوژیک است که از نظریه تکاملی داروین در سال ۱۸۵۹ گرفته شده است. ایده اصلی این روش در سال ۱۹۷۰ توسط هلند، دیجون گوگلدبرگ معرفی گردید. این روش‌ها با نام الگوریتم ارزیابی نیز خوانده می‌شوند.

### ۳-۱- ویژگی‌های الگوریتم ژنتیک

در الگوریتم ژنتیک جمعیتی از نقاط به صورت موازی (به جای یک نقطه) مورد جستجو قرار می‌گیرند. همچنین از قواعد انتقال احتمالی (به جای قواعد انتقال قطعی) استفاده می‌شود. در الگوریتم ژنتیک نیازی به اطلاع درباره مشتق‌پذیری تابع هدف نیست (کافی است که برای مساله بتوان یک تابع برازش تعریف نمود). ضمناً الگوریتم ژنتیک برای محیط‌های نویزی مفید است و به راحتی می‌تواند برای مسائل چند هدفه به کار رود. این الگوریتم در کلاس الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی قرار دارد. این الگوریتم به خصوص برای بهینه‌سازی مسائل پیچیده با فضای جستجوی ناشناخته مناسب است. در مجموع می‌توان گفت الگوریتم ژنتیک دارای مشخصات زیر است:

- به جای کد کردن پارامترها، مجموعه‌ی آنها را کد می‌کند.
- به جای جستجو برای یک نقطه، به دنبال جمعیتی از نقاط می‌گردد.
- به جای استفاده از مشتق یا سایر اطلاعات کمکی، مستقیماً از اطلاعات موجود در نتیجه بهره می‌گیرد.
- در این نوع الگوریتم، به جای قوانین قطعی از قوانین احتمال برای تغییر استفاده می‌شود.
- در الگوریتم ژنتیک، به جای جستجوی فرضیه‌های خاص و یا ساده و کامل، فرضیه‌های جدید را با تغییر و ترکیب متوالی اجزا به بهترین فرضیه‌های موجود تبدیل می‌کند.
- در هر مرحله مجموعه‌ای از فرضیه‌ها که جمعیت نامیده می‌شوند از طریق جایگزینی بخشی از جمعیت فعلی با فرزندان که از بهترین فرضیه‌های موجود حاصل شده اند به دست می‌آیند.
- در خصوصیات یک فرد نسل جدید به جز در موارد استثنایی که ممکن است جهش‌هایی رخ دهد، معمولاً افراد نسل جدید سازگاری بیشتری با طبیعت دارند [۸].

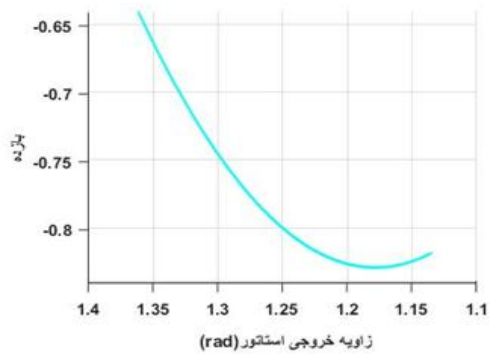
#### ۴- تحلیل و بررسی

ابتدا برای اینکه بتوان در نرم افزار متلب از دستورات بهینه سازی کمک گرفت، تابع هدف طراحی شد. به همین منظور تابعی که براساس آن فرایند بهینه سازی صورت گرفت به شکل رابطه ۱۵ طراحی گردید:

$$\eta = -4.(C1.(\tan\alpha - 1)). \left\{ [C1. \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}] - \left[ \frac{(C1. (\tan\alpha - 1))}{(\frac{C1}{\cos\alpha})^2} \right] \right\} \quad (15)$$

در رابطه ۱۵،  $\eta$  راندمان (بازده) نموداری می باشد. در واقع تابع هدف، همان بازده نموداری است که از پارامترهای موثر در طراحی و بهینه نمودن عملکرد توربین های بخار است که توسط الگوریتم ژنتیک متلب به منظور بهینه سازی مورد تحلیل قرار می گیرد تا مقدار بازده را با توجه به دو متغیر سرعت خروجی از استاتور و زاویه خروجی سیال بهینه سازی نماید. در این روش اپلیکیشن موجود در نرم افزار متلب به منظور بهینه سازی استفاده می شود. نتایج به دست آمده از این اپلیکیشن برای رابطه ۱۵ با توجه به دو متغیر ذکر شده عبارتست از این که به ازای زاویه ورودی ۶۷.۵ درجه و سرعت سیال ۱۱۳.۰۵ متر بر ثانیه بهینه ترین میزان بازده، برابر با ۸۲.۸ درصد می باشد. با توجه به نمودار به دست آمده در حالت سه بعدی در شکل ۸ می توان تغییرات بازده با زاویه ورودی سیال بر حسب متر بر ثانیه و زاویه خروجی خروجی سیال از استاتور بر حسب رادیان را مشاهده نمود.

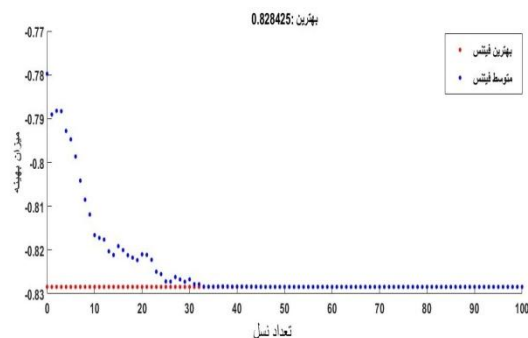
نتایج حاصل از شکل (۸) حاکی از آن است که بازده در حدود زاویه های بین ۱.۱۵ تا ۱.۲۵ رادیان میزان ماکزیمم را دارد و بهینه ترین حالت تیغه های استاتور می باشند. همچنین شکل (۹) میزان بازده بهینه شده توربین را در حالت دو بعدی در حالت نشان می دهد.



شکل (۹): تغییرات بازده نسبت به زاویه خروجی سیال از استاتور (در حالت دو بعدی)

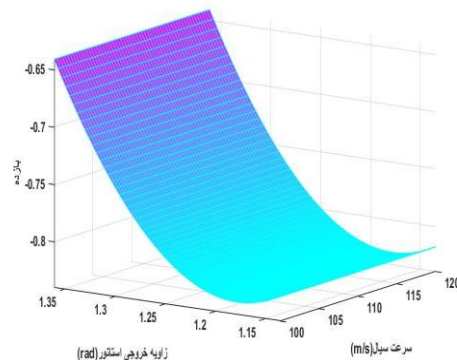
در نرم افزار متلب می توان تابع ۱۵ را با توجه به دو پارامتر زاویه ورودی سیال و زاویه خروجی از OPTIMTOOL استخراج کرد. به این منظور، ابتدا باید تابع را در خود متلب وارد سپس به کمک این عمل کننده، بهینه سازی را انجام داد. تابع ۱۵ در نرم افزار متلب به صورت رابطه ۱۶ تعریف می شود. با توجه به تابع فوق نام تابع مورد نظر به عنوان efficiency در متلب ذخیره می شود.

همانگونه که پیشتر گفته شد، تعداد نسل انتخابی در این پژوهش ۱۰۰ نسل، و تعداد جمعیت نیز ۲۰۰ نفر انتخاب گردید. بنابراین نمودار خروجی به دست آمده در اثر بهینه سازی به شکل (۱۰) می باشد. در این نمودار بازده به دست آمده و همچنین متوسط میزان تابع تناسب ۲ مشاهده می شوند. در طی این ۱۰۰ نسل، برای سرعت سیال ورودی ۱۱۳.۵ در بازه ی {۱۰۰ تا ۱۲۰} متر بر ثانیه و زاویه ی ۶۷.۵ برای زاویه بین {۶۵ تا ۷۸} درجه در حالت بهینه برابر با ۸۲.۸ درصد است.



شکل (۱۰): نمودار میزان بازده نموداری بهینه شده و میانگین بازده

همچنین، نمودار مشاهده شده در شکل (۱۱) نیز میزان متوسط بیشترین و بدترین فیتنس را نمایش می دهد. با توجه به نمودار شکل (۱۱)، از نسل های ۶۵ به بعد تابع فیتنس به حالت پایدار خود می رسد.



شکل (۸): تغییرات بازده نسبت به زاویه خروجی سیال از استاتور (در حالت سه بعدی)

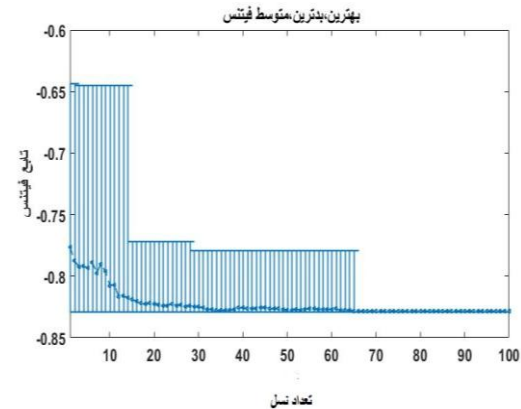
<sup>2</sup> . Fitness function

#### ۵- نتیجه‌گیری

براساس مقادیر تاثیر گذار در محاسبات بازده نموداری که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، موثرترین پارامتر در افزایش و یا کاهش بازده نموداری، زاویه سرعت ورودی سیال به پره های استاتور می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود، براساس محاسبات صورت گرفته با فرض سرعت ۱۲۰ متر بر ثانیه پروانه اگر زاویه  $\alpha$  بین ۶۵ تا ۷۸ درجه تغییر کند، بازده نموداری تغییر یافته و در واقع با کاهش زاویه تیغه ها بازده افزایش می یابد. همین اصل برای سرعت ۱۰۰ متر بر ثانیه نیز صدق می کند. بنابراین طبق برنامه الگوریتم ژنتیک، بهترین زاویه‌ی ورود بخار به استاتور ۶۷٫۵ و بهترین بازده نموداری ۸۲٫۸ درصد می باشند.

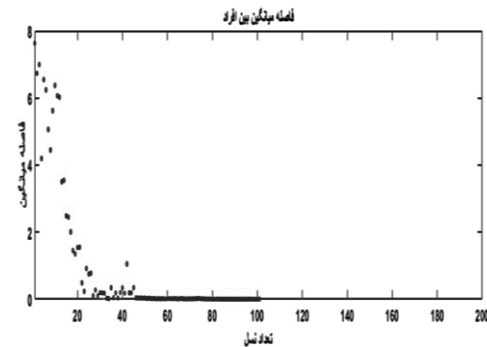
#### ۶- مراجع:

- [۱] ای تی سایرز، ترجمه فرهانیه بیژن و شایسته سید ابوالقاسم، "توربوماشین‌های هیدرولیکی و جریان تراکم‌پذیر"، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، چاپ سوم ۱۳۹۱، صفحه ۲۱۹ تا ۲۳۶.
- [2] Hajabdollahi, F., Hajabdollahi, Z., and Hajabdollahi, H., "Soft computing based multi objective optimization of steam cycle power plant using NSGA-II and ANN", *Applied Soft Computing*, Vol. 12, No. 11, pp. 3648–3655, 2012.
- [3] Li, H., Song, L., Li, Y., and Feng, Z., "2D Viscous Aerodynamic Shape Design Optimization for Turbine Blades Based on Adjoint Method", *Journal of Turbomachinery*, Vol. 133, No. 3, doi:10.1115/1.4001234, 2011.
- [4] Kusiak, A., Zhang, Z., Li, M., "Optimization of Wind Turbine Performance With Data-Driven Models", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Vol. 1, No. 2, pp. 66 – 76, 2010.
- [5] Mengistu, T., Ghaly W., and Mansour, T., "Aerodynamic shape optimization of turbine Blades using a design-parameter-based shape representation", *ASME Turbo Expo*, Vol. 6, pp. 1395-1404, doi:10.1115/GT2007-28041 , 2007.
- [6] Jiang, L., Lin, R., Jin, H., Cai, R., and Liu, Z., "Study on thermodynamic characteristic and optimization of steam cycle system in IGCC", *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, No. 9–12, pp. 1339–1348, 2002.
- [7] Soderberg, C.R., "gas turbine laboratory", *Massachusetts institute of technology*, 1949.
- [۸] زندیه ح، الگوریتم ژنتیک، ۱۳۹۲.
- [9] Safari, H., and Masuodi, A., "Optimization of plat-fin Heat Exchanger with Genetic Algorithm", *Journal of Aerospace Mechanics*, Vol. 8, PP. 55-68, In Persian ,2012.



شکل (۱۱): نمودار بهترین، بدترین و مقدار میانگین بازده محاسبه شده توسط الگوریتم ژنتیک

فاصله‌ی متوسط بین افراد در یک جمعیت را تنوع جمعیت گویند. یک جمعیت در صورتی تنوع بالایی دارد که فاصله‌ی بین افراد آن زیاد باشد و در غیر این صورت تنوع کم است. در شکل (۱۲) مشهود است که بیشترین فاصله متوسط بین افراد تا نسل ۵۰ ادامه داشته است و سپس به میزان ثابتی رسیده یعنی تنوع کم شده است.



شکل (۱۲): نمودار بهترین، بدترین و مقدار میانگین بازده محاسبه شده توسط الگوریتم ژنتیک.

جدول ۱ میزان سرعت‌های متفاوت و تناسب سرعت پروانه با زاویه ورودی در این جدول مقادیر گوناگون بازده استخراج شده در اثر سرعت سیال ۱۰۰ و ۱۲۰ متر بر ثانیه مورد آزمون قرار گرفت و مشاهدات حاکی از آن است که زاویه تیغه های استاتور نقش اساسی در بازده نمودار داشته و بنابراین باید در برنامه الگوریتم ژنتیک تاثیر آن محرز شود.

جدول ۱. مقادیر موثر در بازده نموداری، قبل از بهینه شدن

سرعت پروانه U (متر بر ثانیه)	$\alpha$ زاویه ورودی بخار با استاتور (درجه)	$\eta$ بازده (درصد)
۱۲۰	۶۵	۸۱٫۷۶۶۴
۱۲۰	۷۸	۶۴٫۰۵
۱۰۰	۶۵	۸۱٫۷۶۶۴
۱۰۰	۷۸	۶۴٫۰۵۶۴