

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL

پروپوزال

مركز آموزش پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



مركز آموزش روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

کارگاه آنلاین روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI Scopus

مركز آموزش آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترکیه های جستجو

## بررسی عملکرد توربین ضربه‌ای در اثر تغییر هندسه نازل با استفاده از حل عددی

مهدی مستوفی<sup>۱</sup>، محمد مهدی دوستدار<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> مرکز تحقیقات موتور- دانشکده فنی و مهندسی- دانشگاه امام حسین(ع)

### چکیده

در سامانه‌های توربوپمپی، زمانی که دبی جرمی سیال کم باشد، برای رسیدن به کار ویژه‌ی بالا در افت فشار بالا، از توربین‌های ضربه‌ای استفاده می‌شود. جهت جلوگیری از بروز اتلافات ناشی از ضریب منظری کم پره‌ها و مسایل مرتبط با ساخت و تولید صنعتی، از پذیرش جزئی در ورود استفاده می‌شود. در این حالت راندمان توربین به شدت به درصد پذیرش جزئی وابسته می‌شود و با توجه به تأثیر پارامترهای هندسی توربین بر درصد پذیرش جزئی، حاصل این تحقیق می‌تواند، اثر خطاهای ساخت و تولید قطعات را بر روی عملکرد توربین نشان دهد. در این تحقیق تأثیر انحراف فاکتورهای هندسی توربین بر روی پارامترهای عملکردی توربین ضربه‌ای مافوق صوت مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از تحلیل عددی پارامترهای مورد نظر بر حسب فاکتورهای هندسی توربین بدست آمده است.

**واژه‌های کلیدی:** توربین ضربه‌ای مافوق صوت، درصد پذیرش جزئی، فاکتورهای هندسی توربین.

### مقدمه

در این مقاله، با استفاده از کد طراحی که توسط نویسندگان تهیه شده است [۱]، توربین سوپرسونیک تک‌مرحله طراحی می‌شود. این کد، پس از دریافت مشخصات ورودی آیرودینامیکی توربین، سایر پارامترها و مشخصات لازم را برای رسیدن به طراحی یک‌بعدی توربین و ابعاد هندسی نازل مانند زاویه‌ی نصب، زاویه‌ی مخروط و زاویه‌ی بین نازل‌ها، ارتفاع یا قطر خروجی نازل، نسبت سطح نازل، فاصله‌ی محوری خروج نازل- ورود روتور، فاصله‌ی شعاعی بانداژ دیسک که در پذیرش جزئی اهمیت پیدا می‌کند، محاسبه می‌نماید. داده‌های ورودی در برگزیده‌ی نسبت فشار، سرعت دورانی، توان توربین، دمای سکون، مشخصات گاز و چند کمیت دیگر می‌باشد که نتایج اصلی از جمله، خواص آیرودینامیکی در مقاطع مختلف نازل و توربین، پارامترهای اصلی هندسی، سرعت مخصوص و ضریب توان، راندمان آیزنتروپیک و نسبت فشار در هر نقطه، مثلث‌های سرعت، زاویه‌ی انحراف و عدد ماخ نسبی را بدست می‌آورد. همچنین این کد، مقادیر اتلافات مانند اتلافات پروفیل، جریان ثانویه، اتلافات اصطکاکی پرها و بانداژ، اتلافات مرتبط با پذیرش جزئی و ... را با دقت بالایی با استفاده از مدل اتلافی آوسیانیکف-بارفسکی محاسبه می‌کند [۲].

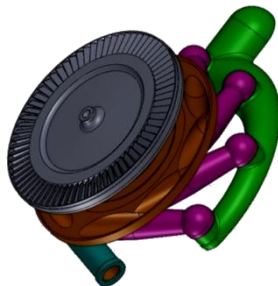
بدست آوردن تأثیر انحراف فاکتورهای هندسی توربین شیوه‌ای مناسب برای دستیابی به اطلاعات مورد نظر در خصوص ساخت و تولید قطعات نسبت به تغییرات آنها می‌باشد. با این کار امکان بررسی تأثیر انحراف فاکتورهای مختلف روی پارامترهای توربین فراهم می‌شود. این روش در مرحله‌ی طراحی، ابزار مناسبی برای تعیین تolerانس‌های ابعادی قطعات در

نقشه‌های تولیدی بوده و همچنین نتایج این کد می‌تواند قابلیت برآورد شرایط کارکرد خارج از طراحی را در اختیار طراح قرار دهد.

### محاسبات طراحی

مدل مورد مطالعه، یک توربین فراصوت تک مرحله‌ای (شکل ۱) با نازل‌های مخروطی همگرا-واگرا در ورودی است. توربین‌های فراصوت (ضربه‌ای) در سامانه‌های تغذیه با دبی جرمی سیال کاری کم مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل آن، تولید کار ویژه‌ی بالا به دلیل افت فشار بالا می‌باشد. سامانه‌های تغذیه‌ی مورد اشاره در موتور موشک‌های راکت سوخت مایع ماهواره‌بر یا در صنایع نفتی و ... استفاده می‌شوند [۳].

اما، وجود دبی کم برای توربین به معنی افزایش اتلافات انتهای دیواره و اتلافات ناشی از انسداد جریان در کانال است. جهت کاهش این اتلافات، با استفاده از تکنیک پذیرش جزئی، از بخشی از محیط ۳۶۰ درجه‌ی ورودی، جریان را وارد روتور می‌کنند. در این شرایط می‌توان ارتفاع بلیدها را افزود و از انسداد جریان داخل کانال جلوگیری نمود. با این وجود، مقداری اتلافات جدید خواهیم داشت که ناشی از پذیرش جزئی است [۳].



شکل ۱- دیسک توربین ضربه‌ای فراصوت با پذیرش جزئی در ورود

به منظور بررسی اثر فاکتورهای هندسی مختلف توربین بر پارامترهای عملکردی آن، معادلات توصیفی پارامترها بر حسب فاکتورهای هندسی به صورت معمولی و خطی شده، بیان می‌شود:

راندمان توربین:

در مرجع [۴] برای راندمان توربین روابط زیر ارائه شده است:

$$\eta_T = 0.004 + 2.676 \left( \frac{u}{C_{ad}} \right) - 2.928 \left( \frac{u}{C_{ad}} \right)^2$$

$$C_{ad} = \sqrt{2W_{oad}}$$

که پس از خطی سازی به صورت بیان می‌شود:

$$\bar{\eta}_T = 0.765\bar{u} - 0.38\bar{W}_{oad} \quad (1)$$

سرعت خطی:

$$u = \frac{d_{cp} \times \omega}{2}$$

$$\begin{aligned} h_{bl} &= h_{Ne} + \Delta h_{tip} + \Delta h_{hub} \\ \bar{h}_b &= 0.8666666666\bar{h}_{Ne} + 0.0666666666\Delta\bar{h}_{tip} \\ &+ 0.0666666666\Delta\bar{h}_{hub} \end{aligned} \quad (11)$$

توان اتلاف ناشی از اصطکاک بانداژ:

$$\begin{aligned} P_{FB} &= 2f_{FB}\rho_{l1}\omega^3b_B D_B^4 \\ \bar{P}_{FB} &= 0.9955244352\bar{f}_{FB} + 2.986573305\bar{\omega} \\ &+ 0.9955244352\bar{b}_B + 3.982097742\bar{D}_B \end{aligned} \quad (12)$$

توان اتلاف ناشی از انواع اصطکاکها در توربین:

$$\begin{aligned} P_{FD} &= 2f_{FD}\rho_{l1}\left(\frac{d_{cp}}{2}\right)^5\omega^3 \\ \bar{P}_{FD} &= 0.9981030225\bar{f}_{FD} + 4.990515111\bar{d}_{cp} \\ &+ 2.994309067\bar{\omega} \end{aligned} \quad (13)$$

ضریب تصحیح وابسته به افت‌های لبه پره‌های مرحله اول:

$$\begin{aligned} \eta_{kl} &= 1 - \frac{0.003}{\frac{h_{bl}}{d_{cp}} + 0.003} \\ \bar{\eta}_k &= 0.02407355487\bar{h}_b - 0.02407355487\bar{d}_{cp} \end{aligned} \quad (14)$$

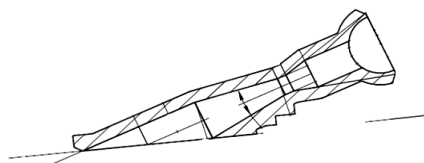
نسبت سرعت:

$$\begin{aligned} UC &= \frac{u}{C_{ad}} = \frac{\omega \times d_{cp}}{2\sqrt{2W_{oad}}} \\ \bar{UC} &= \bar{\omega} + \bar{d}_{cp} - 0.5\bar{W}_{oad} \end{aligned} \quad (15)$$

گام نازل:

برای محاسبه‌ی رابطه‌ی بین گام نازل با سایر متغیرهای طراحی، با استفاده از روابط هندسی و با توجه به شکل (۳) می‌توان چنین نوشت:

$$\begin{aligned} t_N &= \frac{d_{cp} \sin \theta}{2 \cos(\theta/2)} \\ \bar{t}_N &= 0.9722003198\bar{\theta} + 0.9999983605\bar{d}_{cp} \end{aligned} \quad (16)$$



شکل ۲- نازل مخروطی

ضریب پذیرش جزیی:

برای محاسبه‌ی ضریب پذیرش جزیی، رابطه‌ی زیر موجود است:

$$\varepsilon = \frac{F_{Neff}}{\pi d_{cp} h_{Ne}}$$

مقدار دقیق  $F_{Neff}$  بایستی محاسبه شود. برای محاسبه‌ی آن، کافی

است مقدار سطح هم‌پوشانی حساب شده و از  $F_{Ne}$  (سطح خروجی نازل) کم گردد. برای محاسبه‌ی سطح هم‌پوشانی، خواهیم داشت:

$$\bar{u} = \bar{d}_{cp} + \bar{\omega} \quad (2)$$

کار آدیباتیک توربین:

$$\begin{aligned} W_{oad} &= \frac{k}{k-1} RT_{gg} \left( 1 - \frac{1}{\delta_t^{\frac{k-1}{k}}} \right) \\ \bar{W}_{oad} &= 1.0\bar{R}\bar{T}_{gg} + 0.1885\bar{\delta}_t \end{aligned} \quad (3)$$

ضریب کار توربین:

$$\begin{aligned} \bar{W}_T &= W_{bT} = \frac{W_T}{u^2} \\ \bar{W}_{bT} &= 1.007857689\bar{W}_T - 2.015715378\bar{u} \end{aligned} \quad (4)$$

کار مخصوص توربین:

$$\begin{aligned} W_T &= \frac{P_T}{\dot{m}_T} \\ \bar{W}_T &= \bar{P}_T - \bar{m}_T \end{aligned} \quad (5)$$

دبی جرمی:

$$\begin{aligned} \dot{m}_T &= \frac{F_{th,gg} \times f(k) \times P_{gg}}{\sqrt{RT_{00t}}} \\ \bar{m}_T &= \bar{F}_{th,gg} + \bar{P}_{gg} - 0.5\bar{R}\bar{T}_{gg} \end{aligned} \quad (6)$$

نسبت فشار:

نسبت فشار به صورت تابعی از نسبت سطح بر اساس رابطه‌ی زیر، بدست می‌آید [۷]

$$\begin{aligned} \frac{F_{pc}}{F_{min}} = A_b &= \frac{\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \left(\frac{k-1}{k+1}\right)^{\frac{1}{2}}}{\delta^{\frac{1}{k}} \left(1 - \delta^{\frac{k-1}{k}}\right)^{\frac{1}{2}}} \\ \delta &= 1.32[-0.00986787(A_b)^3 + 0.41964928(A_b)^2 \\ &+ 5.13054489(A_b) - 3.57621137] \\ \bar{\delta} &= 1.369881379\bar{A}_b \end{aligned} \quad (7)$$

توان توربین:

$$\begin{aligned} P_T &= P_{Tad} \cdot \eta_{ul} \cdot \eta_{kl} \cdot (1 - \dot{m}_{ly}) - P_{fric\_disk} - 2P_{fric\_band} - P_{dl} \\ \bar{P}_T &= 1.022106760\bar{P}_{Tad} + 1.022106760\bar{\eta}_{ul} \\ &+ 1.022106760\bar{\eta}_k - 0.03161154928\bar{m}_{ly} \\ &- 0.001179226578\bar{P}_{FD} - 0.002454083898\bar{P}_{FB} \\ &- 0.01847843398\bar{P}_\varepsilon \end{aligned} \quad (8)$$

توان آدیباتیک توربین:

$$\begin{aligned} P_{Tad} &= \dot{m}_T \cdot W_{oad} \\ \bar{P}_{Tad} &= \bar{m}_T + \bar{W}_{oad} \end{aligned} \quad (9)$$

افت توان که با تغذیه مرحله اول در ارتباط باشد:

$$\begin{aligned} P_\varepsilon &= 0.015\rho_{l1} \frac{h_{bl}}{d_{cp}} \left[ 1 + 10 \frac{b_b}{d_{cp}} \right] \times (1 - \varepsilon) \omega^3 d_{cp}^5 \\ \bar{P}_\varepsilon &= 0.9997934326\bar{h}_b + 3.534153529\bar{d}_{cp} \\ &+ 0.4650202014\bar{b}_b - 0.2986395968\bar{\varepsilon} + 2.999380299\bar{\omega} \end{aligned} \quad (10)$$

ارتفاع پره:

$$\bar{a}_{Ne} = 1.000004895\bar{h}_{Ne} - 0.9630775119\bar{\alpha}_{II} \quad (20)$$

نسبت سطح:

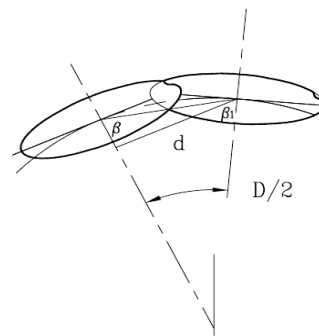
$$A_b = \frac{\sin \alpha_{II} \times 1.066666666 \times (a_{Ne} - t_N) \times l}{F_{min}}$$

$$\bar{A}_b = 1.656403029\bar{\alpha}_{II} - 0.2694884918\bar{t}_N + 0.03001817370\bar{l} - 0.03001817369\bar{F}_{min} \quad (21)$$

برای بررسی انحراف فاکتورهای هندسی، تعیین تلرانس‌های ابعادی قطعات و برآورد شرایط کارکرد خارج از طراحی بایستی مقادیر ورودی که شامل تلرانس‌های تولیدی یا متغیرهای هندسی هستند مشخص شود و بر اساس آنها مجهولات را مورد ارزیابی قرار داد. از میان متغیرها، تعدادی به عنوان پارامتر ورودی و تعدادی به عنوان فاکتور خروجی در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۱- معرفی پارامترهای ورودی و فاکتورهای خروجی توربین

پارامترهای ورودی	عنوان	فاکتورهای خروجی	عنوان
$\bar{W}_{bt}$	ضریب کار	$\bar{\eta}_T$	تغییرات راندمان توربین
$\bar{R}\bar{T}_{gg}$	دمای سکون در ثابت گاز	$\bar{u}$	تغییرات سرعت خطی توربین
$\bar{d}_{cp}$	قطر متوسط دیسک توربین	$\bar{W}_{oad}$	تغییرات کار آدیباتیک توربین
$\bar{m}_{ly}$	دبی ناشی	$\bar{v}_{cs}$	تغییرات کار مخصوص توربین
$\bar{b}_b$	عرض پره	$\bar{\delta}$	تغییرات نسبت فشار نازل
$\bar{l}$	وتر سطح هم‌پوشانی	$\bar{P}_T$	تغییرات کار آدیباتیک توربین
$\bar{f}_{FB}$	ضریب اصطکاک بانداژ	$\bar{P}_{Tad}$	تغییرات توان آدیباتیک توربین
$\bar{b}_B$	عرض بانداژ	$\bar{\eta}_k$	تغییرات ضریب تصحیح افت لایه پره
$\bar{D}_B$	قطر بانداژ	$\bar{P}_{FD}$	تغییرات توان اصطکاک دیسک
$\bar{f}_{FD}$	ضریب اصطکاک دیسک	$\bar{P}_{FB}$	تغییرات توان اصطکاک بانداژ
$\bar{\alpha}_{II}$	زاویه‌ی نصب نازل	$\bar{P}_\varepsilon$	تغییرات افت توان مرحله
$\bar{h}_{Ne}$	ارتفاع خروجی نازل	$\bar{A}_b$	تغییرات نسبت سطح
$\bar{F}_{th,gg}$	سطح گلوگاه	$\bar{a}_{Ne}$	تغییرات قطر بزرگ خروجی نازل
$\bar{\theta}$	زاویه‌ی از هم بازشدگی نازل	$\bar{UC}$	تغییرات نسبت سرعت
$\bar{\eta}_{UI}$	راندمان محیطی توربین	$\bar{\varepsilon}$	تغییرات ضریب پذیرش جزئی
$\Delta\bar{h}_{hub}$	اختلاف ارتفاع پره با نازل از ریشه	$\bar{t}_N$	تغییرات گام نازل
$\Delta\bar{h}_{tip}$	اختلاف ارتفاع پره با نازل از نوک	$\bar{F}_{Neff}$	تغییرات سطح مؤثر خروجی نازل
$\bar{m}_T$	دبی جرمی	$\bar{P}_{gg}$	تغییرات فشار سکون ورودی
$\bar{\omega}$	دور توربین		
$\bar{h}_b$	ارتفاع پره		



شکل ۳- اندازه‌های هندسی قطاع هم‌پوشانی دو نازل

سطح هم‌پوشانی:

$$F_{No} = 1.066666666 \times (a_{Ne} - t_N) \times l$$

می‌توان سطح مؤثر خروجی کل نازل را بصورت زیر محاسبه کرد:

$$F_{N_{eff}} = F_{Ne} - F_{No} = 1.066666666 \times (a_{Ne} - t_N) \times l$$

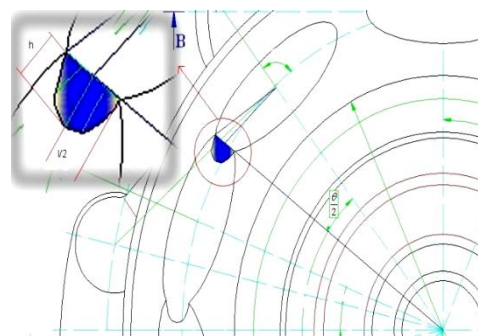
$$\bar{F}_{N_{eff}} = 0.2995066655\bar{a}_{Ne} - 0.2694884918\bar{t}_N + 0.03001817364\bar{l} \quad (17)$$

بنابراین، برای ضریب پذیرش جزئی فرمول زیر بدست می‌آید:

$$\varepsilon = \frac{F_{N_{eff}}}{\pi d_{cp} h_{Ne}} = \frac{1.066666666 \times (a_{Ne} - t_N) \times l}{\pi d_{cp} h_{Ne}}$$

و خواهیم داشت:

$$\bar{\varepsilon} = -0.02999719846\bar{d}_{cp} - 0.02999719846\bar{h}_{Ne} + 0.04670222517\bar{l} - 0.2693001866\bar{t}_N \quad (18)$$



شکل ۴- هم‌پوشانی نازل‌ها

تأثیر  $F_{N_{eff}}$  بر نسبت سطح  $A_b$ :

برای بررسی تأثیر تغییر سطح کل خروجی نازل در نسبت سطح، بایستی فرمول زیر در محاسبه‌ی نسبت سطح مد نظر قرار گیرد. این تصحیح در محاسبه‌ی ضرایب در نرم‌افزار Maple اعمال شده است.

$$F_{pc} = F_{N_{eff}} \sin \alpha_N$$

$$A_b = \frac{F_{pc}}{F_{min}}$$

نسبت سطح جدید اصلاح شده و رابطه‌ی (۱۹) را به شکل زیر خواهیم داشت:

$$\bar{\delta} = 1.317934779\bar{A}_b \quad (19)$$

قطر بزرگ سطح خروجی نازل:

$$a_{Ne} = \frac{h_{Ne}}{\sin \alpha_{II}}$$

پارامترهای دیگر که در این مقاله اشاره شد را مشخص می‌کند و نمی‌تواند نتیجه‌ی قطعی برای برآورد عملکرد دقیق توربین ارائه دهد. جهت برآورد دقیق عملکرد توربین، بایستی ترکیبی از کارهای تحلیلی (یک بعدی و سه بعدی) و شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی انجام گیرد و سپس برای اطمینان از نتایج نهایی، آزمایشات تجربی صورت پذیرد [9].

### نتیجه‌گیری

بررسی و تست تمامی عوامل یاد شده به صورت تجربی دشوار است، در عین حال می‌توان با بهره‌گیری از نتایج تحلیل شرایط عملکردی مورد نظر برای فاکتورهای خروجی را به طور کامل تامین نمود. ضمن اینکه تکرار کلیه فاکتورها بر اساس این آنالیز و با در نظر گرفتن رادیکال مجموع مربعات انحرافات، بازبینی شد و نتایج تست‌ها نشان داد با رعایت تکرار هندسی فاکتورها، پارامترهای عملکردی توربین همواره در محدوده‌ی مجاز خواهد بود.

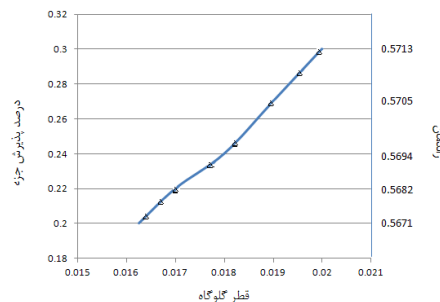
برای بررسی اثر همزمان کلیه فاکتورها، تکرار انحرافات مجاز به گونه‌ای تعیین شد که محدوده‌ی قابل قبول پارامترهای مورد نظر را تامین کند. نتایج تست‌های متعدد نشان داد، تکرارهای تعیین شده، دقت لازم را به خوبی تامین می‌کند.

### مراجع

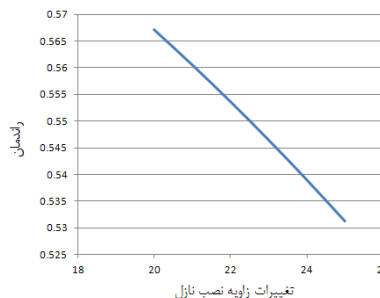
- [1] آقای طوق، رضا، مسگرپورطوسی، ابوالقاسم، برومند، مسعود، ۱۳۸۹. "مطالعه جریان در یک توربین فراصوت خاص و بررسی تأثیر تغییر هندسی لبه پره‌ها بر عملکرد توربین"، نشریه علوم کاربردی و محاسباتی در مکانیک، نس ۲۲، ش ۱.
- [2]. Avsianikov, B., "Theory and calculation of feed systems's elements of liquid propellant rocket engines", Mashinostroyne, In Russian , 1983.
- [3]. R.Aghaei tog and A.M.Tousi, "Sensitivity Analysis of a Supersonic Turbine of a Specific Satellite Lunch Vehicle", ISME2009-1440, 2009.
- [4]Robert, C., Howard, Z., Warren, J., "Effects of Partial Admission on Performance of a Gas Turbine", *NACA Technical Note*, No.1807, 1949.
- [5]Balge, O.,Binsley,R. "Axial Turbine Performance Evaluation PartA-Loss Geometry Relationships", *J.Eng. for Power*, pp. 341-348, 1968.
- [6].Beliaev, E. Chevanov, V. , Chervakov, V., "Mathematical Modeling of Operating Process of Liquid Propellant Rocket Engines", In Russian, MAI , 1999
- [7]. Kudriatsef, "Theory and calculation of LRE", Vishaya Eshkola, In Russian, 1993.
- [8]. B.V.Avsianikov, "Theory and calculation of feed systems's elements of liquid propellant rocket engines", Mashinostroyne, In Russian , 1983 .

### نتایج تحلیل

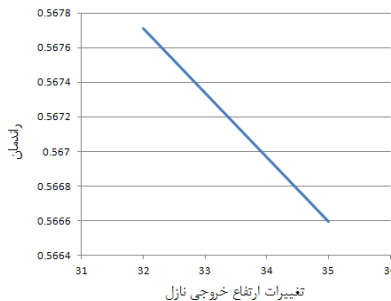
پس از تحلیل معادلات، تغییرات هندسی پارامترهای ورودی نسبت به فاکتورهای خروجی توربین به دست می‌آیند که به ذکر چند نمونه اشاره می‌شود. نتایج نشان داد یک درصد انحراف فاکتورهای هندسی توربین چه میزان تأثیر بر راندمان آن دارد. همانطور که مشاهده می‌شود یکی از اثرگذارترین پارامترها قطر گلوگاه نازل است، بر اساس این پارامتر سطح مؤثر خروجی نازل بدست می‌آید، سپس درصد پذیرش جزئی و سطح مقطع خروجی بخش مخروطی محاسبه می‌شود و در انتها راندمان توربین که به شدت به درصد پذیرش جزئی وابسته است حاصل می‌شود. به همین دلیل است که در ساخت و تولید آن تکرار این اندازه بسیار بسته انتخاب می‌شود.



یکی دیگر از پارامترهای اثرگذار بر راندمان توربین تغییرات زاویه نصب نازل می‌باشد که با افزایش آن، راندمان توربین به شدت کاهش می‌یابد.



همچنین تغییر قطر متوسط توربین در محدوده‌ی نه چندان دور از مقدار نامی (کمتر از ۲ تا ۳ درصد) به صورت متناظر تغییر می‌کند به گونه‌ای که نسبت سرعت محیطی در سرعت آدیاباتیک توربین که به عنوان عامل تعیین کننده در توان توربین شناخته می‌شود ثابت می‌ماند. اگر ارتفاع خروجی نازل افزایش یابد منجر به کاهش راندمان می‌شود و این فاکتور هنسی نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد.



مباحث مطرح شده در اینجا تنها بخشی از نتایج بسیار مهم در تحلیل‌های تکرار گذاری مجاز هندسی قطعات و محاسبه خطاهای ساخت و تولید زیر مجموعه‌های توربین می‌باشد [8]، که این عوامل، تحلیل بررسی کارکرد توربین در شرایط خارج از طراحی را برای ما میسر می‌نماید.

باید توجه داشت که رابطه‌های راندمان و پذیرش جزئی غیرخطی هستند و رفتار جریان در این توربین‌ها کاملاً سه‌بعدی، ناپایا و آشفته است. بنابراین، محاسبات ریاضی یک‌بعدی، تنها وابستگی‌های کلی پذیرش جزئی به

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



PROPOSAL  
پروپوزال

پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

دوره آموزشی

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی



روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی

دوره آموزشی

کارگاه آنلاین  
روش تحقیق و مقاله نویسی علوم انسانی



ISI  
Scopus

آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

دوره آموزشی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو