

## ارائه مدل یک بعدی جدید برای تحلیل عملکرد اجکتور

کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
استاد، دانشکده فنی مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، سهند، ایران

محسن صادقی  
سیدمحمد سیدمحمودی\*  
رحیم خوشبختی سرای

### چکیده

در این مقاله، برای پیش بینی عملکرد اجکتور مدل یک بعدی جدید ارائه شده است. با در نظر گرفتن اختلاط در فشار ثابت، این مدل بر اساس دینامیک گازها و حل معادلات مربوط به بقای جرم، مومنتوم و انرژی، پایه ریزی شده است. این مدل قادر است که نسبت مساحت و نسبت مکش اجکتور را در شرایط مختلف ترمودینامیکی، با دقت بالایی پیش بینی نماید. جهت در نظر گرفتن تلفات ناشی از لزجت سیالات و اختلاط دو جریان، برای بخش‌های مختلف اجکتور بازده در نظر گرفته شده است. نتایج اعتبار دهی نشان می‌دهند که بیشینه اختلاف با نتایج تجربی در تعیین نسبت مساحت و نسبت مکش، به ترتیب ۱۳/۲۷ درصد و ۵/۸ درصد می‌باشد، در حالی که در مدل یک بعدی گزارش شده در ادبیات فن، مقادیر متناظر به ترتیب ۲۲/۰۴ درصد و ۹/۷۸ درصد هستند. نتایج همچنین نشان می‌دهند که با کاهش پس فشار اجکتور یا افزایش فشار تبخیر کن، نسبت مساحت و نسبت مکش اجکتور افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: اجکتور، چرخه تبرید اجکتوری، لزجت، نسبت مساحت، نسبت مکش.

## A New one Dimensional Model for Analysis of the Ejector Performance

**M. Sadeghi** M.Sc. Student, Faculty of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran  
**S. M. S. Seyedi Mahmoudi** Professor, Faculty of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran  
**R. Khoshbakhti Saray** Associate Professor, Mechanical Engineering Faculty, Sahand University of Technology, Sahand, Iran

### Abstract

In this paper, a new 1-dimensional model is developed to predict the ejector performance. This model is based on the gas dynamics with the principles of mass, momentum and energy conservation. The model is able to calculate the ejector entrainment and area ratios for different thermodynamic conditions with high accuracy. Due to the frictional losses in different parts of the ejector, isentropic efficiencies are considered for the ejector. The results of the validation show that the maximum relative difference, compared with the experimental data, in calculating the area and entrainment ratios are 13.27% and 5.8% respectively, when in the one dimensional model reported in the literature these values are 22.04 % and 9.78 % respectively. The results also indicate that with decreasing the ejector back pressure or increasing the evaporator pressure, area and entrainment ratios of the ejector increase.

**Keywords:** Ejector, Ejector refrigeration cycle, viscosity, Area ratio, Entrainment ratio.

## ۱- مقدمه

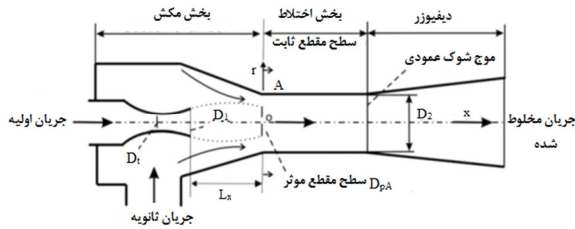
منابع گرمایی دما پایین مانند انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی، حرارت اتلافی از فرآیندهای صنعتی و گازهای خروجی موتور اتومبیل ها، به آسانی در دسترس می‌باشند. به همین دلیل در سال های اخیر، سیستم تبرید اجکتوری که قابلیت استفاده از منابع گرمایی دما پایین را دارد، بیشتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. استفاده از چرخه تبرید اجکتوری، گام موثری در راستای صرفه جویی از منابع انرژی تجدید ناپذیر و حفاظت از محیط زیست می‌باشد. عدم وجود قسمت‌های متحرک، بی سرو صدا بودن از مزیت‌های دیگر این چرخه می‌باشد. مهمترین مزیت چرخه تبرید اجکتوری، عدم استفاده از انرژی خارجی (مانند انرژی الکتریسته برای رانش کمپرسور در چرخه تبرید تراکمی)، در رساندن مبرد از فشار اواپراتور به فشار چگالنده می‌باشد. اما چرخه تبرید اجکتوری مشکلاتی نیز دارد که در این بین، می‌توان به بازده نسبتاً کم این چرخه اشاره کرد. مسئله کلیدی در چرخه تبرید اجکتوری، طراحی اجکتوری می‌باشد [۱]. در ادبیات فن، در مورد تحلیل عملکرد اجکتور تئوری‌های متعددی مطرح گردیده است. در سال ۱۹۷۷، ماندی و باگستر [۲] عملکرد اجکتور را در یک جت بخار بررسی کردند. نتایج حاصل از تحقیقات ایشان، پایه و اساس مدل‌های یک بعدی ارائه شده برای تحلیل عملکرد اجکتور را، تشکیل می‌دهد. ایشان مطرح کردند که سیال اولیه در خروجی نازل با سیال ثانویه اختلاط پیدا نمی‌کند، بلکه باعث همگرایی آن شده و در ناحیه‌ای به نام سطح مقطع موثر<sup>۱</sup>، سرعت سیال ثانویه به سرعت صوت می‌رسد و آنگاه دو سیال با هم اختلاط پیدا می‌کنند. در سال ۱۹۹۵، کنان و همکاران [۳] به صورت تجربی عملکرد اجکتور را بررسی کرده و همچنین مدلی بر اساس گاز ایده آل، جهت شبیه سازی عملکرد اجکتور ارائه نمودند. آنها از همان فرضیه ماندی و باگستر در شبیه سازی خود استفاده کردند ولی یک فرض دیگر به مدل خود افزودند که اختلاط سیالات در ابتدای بخش سطح مقطع ثابت<sup>۲</sup> و در فشار ثابت اتفاق می‌افتد. در سال ۱۹۹۸، هوانگ و همکاران [۴] برای تحلیل عملکرد اجکتور، مدلی یک بعدی بر اساس روابط گاز ایده آل را، مطرح کردند. ایشان موفق شدند نسبت مساحت و نسبت مکش اجکتور را با دقت قابل قبولی در مقایسه با نتایج تجربی پیش بینی کنند. نقصی که مدل یک بعدی هوانگ داشت، در نظر نگرفتن لزجت سیالات و تلفات اصطکاکی ما بین دو سیال و سیال ثانویه با دیواره داخلی اجکتور بود. در سال ۲۰۰۷، یینه‌ای زو و همکاران [۵] به بررسی عملکرد اجکتور با در نظر گرفتن اتلافات لزجی، پرداختند. آنها توزیع سرعت سیال را در بخش سطح

مقطع ثابت اجکتور، با استفاده از یک تابع نمایی تخمین زدند. نتایج حاصل از کار ایشان به نتایج تجربی حاصل از کار هوانگ بسیار نزدیک بود. اما مدل ایشان نقص هایی نیز داشت از جمله این که الگوریتم حل مسئله ارائه شده توسط آنها، قادر به پیش بینی نسبت مساحت اجکتور نبوده و اطلاعاتی در ارتباط با هندسه اجکتور ارائه نمی‌کرد. در حالی که برای داشتن بهترین عملکرد اجکتور (بیشترین نسبت مکش)، در شرایط مختلف ترمودینامیکی، مناسب ترین طراحی هندسی آن از نظر نسبت مساحت لازم است. در سال ۲۰۱۲، سرورالدین و همکاران [۶]، مدلی جدید با در نظر گرفتن لزجت ما بین سیالات، بر اساس خواص واقعی سیال ارائه کردند. همچنین در طی سال‌های اخیر، از دینامیک سیالات محاسباتی نیز برای تحلیل عملکرد اجکتور استفاده شده است [۷-۹]. علیرغم اطلاعات بسیار مفیدی که از طریق این روش به دست می‌آید، روش حل دینامیک سیالات محاسباتی جهت همگرایی به زمان زیادی نیاز دارد، و در اغلب موارد به دلیل ساختار شبکه، شرایط مرزی و حتی مدل‌سازی جریان توربولانس، استفاده از این روش بسیار پیچیده می‌باشد. کار حاضر تلاشی است در جهت رفع نواقص مدل‌های یک بعدی ارائه شده در ادبیات فن، که از آنها می‌توان به نادیده گرفتن لزجت ما بین سیالات و سیال ثانویه با دیواره داخلی اجکتور و نیز عدم در نظر گرفتن افت فشار سیال اختلاط یافته در بخش سطح مقطع ثابت به دلیل وجود تلفات اصطکاکی اشاره کرد. در کار حاضر، برای پیش بینی عملکرد اجکتور مدلی یک بعدی جدید، بر اساس روابط آیزونتروپیک گاز ایده آل و معادلات بقای جرم، مومنتوم و انرژی، ارائه شده است. مبرد *R141b* به عنوان سیال عامل در نظر گرفته شده است. در این مدل، به منظور در نظر گرفتن لزجت سیال ثانویه، یک تابع نمایی برای توزیع سرعت سیال ثانویه استفاده شده است [۵]. همچنین در این مدل افت فشار ناشی از تلفات اصطکاکی در بخش سطح مقطع ثابت اجکتور در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده قادر است که نسبت مساحت و نسبت مکش اجکتور را در شرایط کاری مختلف ترمودینامیکی با دقت بالایی نسبت به سایر مدل‌های یک بعدی پیش بینی نماید. جهت اعتبار دهی نتایج از داده‌های تجربی هوانگ و همکاران [۴] استفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از کار حاضر و نتایج تجربی هوانگ و همکاران [۴] نشان می‌دهد، که این مدل قادر است نسبت مساحت و نسبت مکش اجکتور را با دقت بسیار خوبی نسبت به سایر مدل‌های یک بعدی پیش بینی کند.

<sup>1</sup> effective area

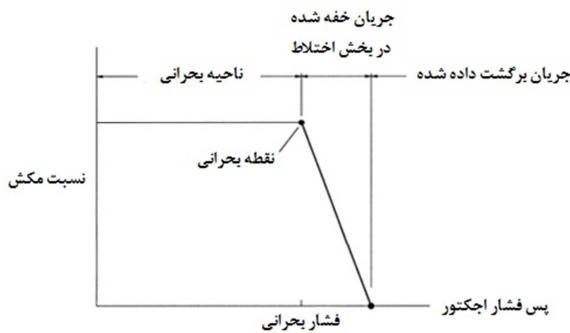
<sup>2</sup> constant area section

## ۲- توصیف سیستم



شکل ۲- طرح‌های از اجکتور

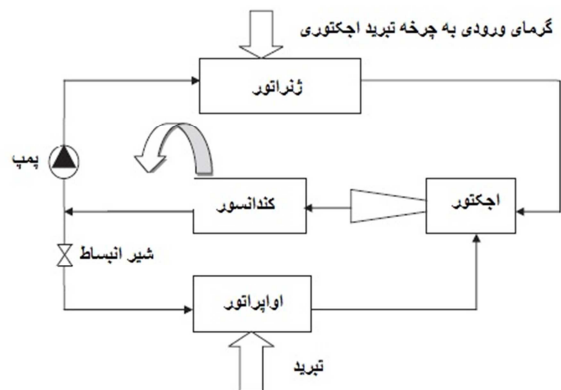
نسبت مساحت اجکتور که برابر با نسبت مساحت بخش سطح مقطع ثابت به مساحت گلوگاه نازل اولیه می باشد و همچنین نسبت مکش که به صورت نسبت دبی جرمی سیال ثانویه به دبی جریان اولیه تعریف می شود، تابعی از پس فشار اجکتور هستند. زمانی که پس فشار اجکتور کمتر از فشار بحرانی است، اجکتور در حالت بحرانی خود کار می کند و نسبت مکش به مقدار بیشینه خود رسیده و با تغییر پس فشار اجکتور نسبت مکش عوض نمی شود. پس فشار بحرانی اجکتور، بیشترین مقدار پس فشاری است که با آن نسبت مکش اجکتور بیشینه شده و به ازای مقادیر کمتر از آن، نسبت مکش در حالت بیشینه خود باقی بماند. در شکل ۳ تغییرات نسبت مکش، بر حسب پس فشار اجکتور توصیف شده است.



شکل ۳- حالت‌های مختلف عملکردی اجکتور

نکته قابل توجه دیگر در طراحی اجکتور، استفاده از مبردهای خشک است، به این معنی که شیب منحنی حایل ناحیه دوفازی و مافوق گرم در نمودار  $T-S$  در این گونه سیالات، همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، مثبت می باشد و این امر موجب می شود که جریان اولیه در حین انبساط در نازل اولیه، زمانی که مبرد از فشار ژنراتور به فشار اواپراتور افت پیدا می کند، تغییر فاز نداده و چگالیده نشود.

طرح‌واره چرخه تبرید اجکتوری در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. اجزای سیستم تبرید اجکتوری شامل ژنراتور، چگالنده، اواپراتور، اجکتور، پمپ و شیر انبساط می باشند. مبرد در حالت بخار اشباع و در فشار بالا از ژنراتور خارج شده و وارد نازل اولیه اجکتور می گردد. نمای طرح‌واره در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، اجکتور از یک نازل اولیه، بخش سطح مقطع ثابت (بخش اختلاط) و دیفیوزر تشکیل یافته است. سیال اولیه در حالت بخار اشباع وارد نازل اولیه شده و در گلوگاه آن دچار خفگی می شود و سپس در خروجی نازل منبسط شده و به سرعت مافوق صوت می رسد که باعث به وجود آمدن ناحیه بسیار کم فشار در خروجی نازل اولیه می گردد. اختلاف فشار به وجود آمده در خروجی نازل اولیه و ورودی سیال ثانویه، مکش سیال ثانویه را به داخل اجکتور فراهم می آورد. سیال اولیه و ثانویه در خروجی نازل، با همدیگر مخلوط نمی شوند و به صورت جدا از هم و بدون اختلاط، تا ابتدای بخش سطح مقطع ثابت به صورت دو لوله تودرتو به حرکت خود ادامه می دهند [۲]. در ابتدای بخش سطح مقطع ثابت و با رسیدن سرعت سیال ثانویه به سرعت صوت و خفگی آن، اختلاط دو سیال با فشار ثابت در سطح مقطع موثر، آغاز می گردد [۳ و ۴]. یک موج ضربه عمودی در قسمت سطح مقطع ثابت اجکتور به وقوع می پیوندد و باعث کاهش سرعت جریان سیال از فراصوت به فروصوت می شود [۴]. در نهایت فشار سیال تا میزان فشار خروجی دیفیوزر که فشاری کمتر از فشار سیال اولیه و بیشتر از فشار سیال ثانویه است، می رسد. سیال در چگالنده و در فشار ثابت چگالیده شده و به حالت مایع اشباع می رسد. مایع اشباع خروجی از چگالنده به دو شاخه جریان تقسیم می شود؛ یک بخش از جریان به ژنراتور پمپاژ می شود و بخشی دیگر از شیر انبساط عبور کرده و دچار افت فشار می شود و وارد اواپراتور می گردد.



شکل ۱- طرح‌های از چرخه تبرید اجکتوری

شده در خروجی نازل، معادل با فشار سیال تحت مکش می باشد، می توان خواص سیال اولیه را در ورودی ناحیه موثر و بخش اختلاط اجکتور تعیین کرد [۵]:

$$\frac{P_p}{P_s} = \left[ 1 + \frac{1}{2}(\gamma-1)M_{pA}^2 \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (5)$$

$$\frac{T_p}{T_{pA}} = 1 + \frac{1}{2}(\gamma-1)M_{pA}^2 \quad (6)$$

$$V_{pA} = M_{pA} \sqrt{\gamma R_g T_{pA}} \quad (7)$$

$$\left( \frac{D'_{pA}}{D_1} \right)^2 = \left[ \frac{2 + (\gamma-1)M_{pA}^2}{2 + (\gamma-1)M_1^2} \right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \left( \frac{M_1}{M_{pA}} \right) \quad (8)$$

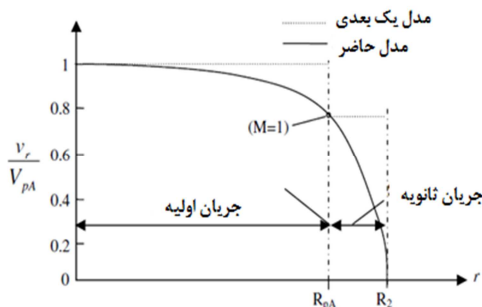
در روابط فوق  $M_{pA}$  و  $V_{pA}$  به ترتیب معرف دما، سرعت و عدد ماخ سیال اولیه در مقطع A-A هستند.

با فرض اینکه انبساط سیال اولیه طی یک فرآیند کاملاً ایده آل اتفاق می افتد،  $D'_{pA}$  نشان دهنده قطر سیال اولیه در بخش سطح مقطع ثابت، خواهد بود، اما چون فرآیند انبساط ایده آل نیست، می توان قطری واقعی را از طریق رابطه زیر به دست آورد [۵]:

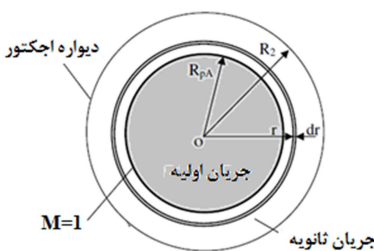
$$D_{pA} = \left( \frac{D'_{pA}}{\sqrt{\eta_p \eta_s}} \right) \quad (9)$$

### ۳-۲- سیال ثانویه در سطح مقطع A-A

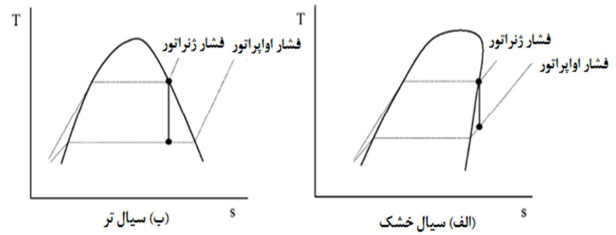
به دلیل وجود اتلافات اصطکاکی ما بین سیال ثانویه و دیواره داخلی اجکتور، سرعت سیال ثانویه به صورت یکنواخت توزیع نمی گردد. به همین دلیل در کار حاضر، یک مدل دو بعدی به کار گرفته می شود. شکل های ۵ و ۶ به ترتیب توزیع سرعت سیال در راستای  $r$  و طرحواره ای از آن را در سطح مقطع A-A نشان می دهند.



شکل ۵- توزیع سرعت در سطح مقطع A-A



شکل ۶- نمای طرحواره ای از جریان سیال در سطح مقطع A-A



شکل ۴- فرآیند انبساط برای سیالات تر و خشک

### ۳- مدل سازی اجکتور

معادلات بقای جرم، مومنتوم و انرژی در کنار فرضیات زیر برای مدل سازی اجکتور به کار گرفته شده اند:

- سیال عامل به صورت گاز ایده آل و با گرمای ویژه متغییر در نظر گرفته شده است.
- جریان در داخل اجکتور، به صورت حالت پایا است.
- از انرژی جنبشی سیال اولیه در ورودی نازل و جریان ثانویه در ورودی بخش مکش اجکتور و جریان مخلوط در خروجی دیفیوزر، صرف نظر شده است.
- دیواره درونی اجکتور آدیاباتیک است.
- بازده آیزونتروپیک برای سیالات اولیه و ثانویه، به ترتیب  $\eta_p = 0.85$  و  $\eta_s = 0.95$  در نظر گرفته شده اند، همچنین بازده آیزونتروپیک دیفیوزر برابر با  $\eta_d = 0.9$  است [۴].

### ۳-۱- سیال اولیه در نازل و محفظه مکش

با استفاده از روابط آیزونتروپیک و با فرض شرایط خفگی در گلوگاه نازل، دبی جرمی سیال اولیه از رابطه زیر به دست می آید [۴]:

$$m_p = P_p A_t \sqrt{\left( \frac{\gamma \eta_p}{R_g T_p} \right) \left( \frac{2}{1+\gamma} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}} \quad (1)$$

که در آن  $\eta_p$  بازده آیزونتروپیک سیال تراکم پذیر در نازل بوده و  $T_p$  و  $P_p$  به ترتیب نشان دهنده دما و فشار ورودی جریان سیال اولیه می باشند.

به ازای هندسه مشخصی از نازل می توان خواص سیال و عدد ماخ آن را در خروجی نازل، با استفاده از روابط دینامیک گاز ایده آل به دست آورد [۴]:

$$\left( \frac{D_1}{D_t} \right)^2 = \left[ \frac{2 + (\gamma-1)M_1^2}{2 + (\gamma-1)} \right]^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \left( \frac{1}{M_1} \right) \quad (2)$$

$$\frac{T_p}{T_1} = 1 + \frac{1}{2}(\gamma-1)M_1^2 \quad (3)$$

$$V_1 = M_1 \sqrt{\gamma R_g T_1} \quad (4)$$

در روابط ۳ و ۴،  $T_1$  و  $V_1$  به ترتیب دما و سرعت سیال اولیه در خروجی نازل می باشند. بر این اساس که فشار سیال منبسط

$$\bar{V}_{sA} = \frac{2V_{pA}}{(R_2^2 - R_{pA}^2)} \left[ \frac{nR_2^2}{n+1} \left(1 - \frac{R_{pA}}{R_2}\right)^{\frac{n+1}{n}} - \frac{nR_2^2}{2n+1} \left(1 - \frac{R_{pA}}{R_2}\right)^{\frac{2n+1}{n}} \right] \quad (18)$$

$$\dot{m}_s = \frac{2\pi P_s V_{pA}}{RT_{sA}} \left[ \frac{nR_2^2}{n+1} \left(1 - \frac{R_{pA}}{R_2}\right)^{\frac{n+1}{n}} - \frac{nR_2^2}{2n+1} \left(1 - \frac{R_{pA}}{R_2}\right)^{\frac{2n+1}{n}} \right] \quad (19)$$

همچنین از رابطه مربوط به موازنه انرژی داریم:

$$\dot{m}_p C_p T_p + \dot{m}_s C_p T = \dot{m}_p (C_p T_{pA} + \frac{1}{2} V_{pA}^2) + \quad (20)$$

$$\dot{m}_s (C_p T_{sA} + \frac{1}{2} V_{sA}^2) + \dot{E}_{loss}$$

$$\dot{E}_{loss} = \frac{1}{2} (1 - \eta_p) \dot{m}_p V_1^2 + \frac{1}{2} (1 - \sqrt{\eta_p \eta_s}) \dot{m}_p V_{pA}^2 + \quad (21)$$

$$\frac{1}{2} (1 - \eta_s) \dot{m}_s V_{sA}^2$$

به این ترتیب نسبت مکش اجکتور از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\omega = \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_p} \quad (22)$$

نتایج تجربی بیانگر این واقعیت هستند که بازده آیزونتروپیکی بخش های مختلف اجکتور تأثیر زیادی در تعیین شرایط کارکرد اجکتور ندارند. اما در گذر جریان مخلوط از بخش سطح مقطع ثابت، میزان اتلافات اصطکاکی، که تابعی از سرعت جریان است، نقش به سزایی در تعیین میزان فشار خروجی اجکتور خواهد داشت. با اعمال معادلات پیوستگی، مومنوم و انرژی برای بخش سطح مقطع ثابت و حل همزمان آنها، خواص جریان مخلوط تعیین می شود [5]:

$$V_m = \frac{(m_p V_{pA} + m_s V_{sA})}{(m_p + m_s)} \quad (23)$$

$$(\dot{m}_p + \dot{m}_s) C_p T_m = \dot{m}_p \left( C_p T_{pA} + \frac{V_{pA}^2}{2} \right) + \quad (24)$$

$$\dot{m}_s \left( C_p T_{sA} + \frac{V_{sA}^2}{2} \right) - (\dot{m}_p + \dot{m}_s) \left( \frac{V_m^2}{2} \right)$$

$$M_m = \frac{V_m}{\sqrt{\gamma R_g T_m}} \quad (25)$$

$$h_m = \int C_p dT \quad (26)$$

در عمل تلفات اصطکاکی روی فشار مخلوط تأثیر می گذارند، بنابراین فشار مخلوط در طول سطح مقطع ثابت کاهش پیدا می کند. از طرفی در فشار های پایین خواص سیال واقعی با خواص گاز ایده ال به هم بسیار نزدیک هستند، بنابراین با استفاده از روابط زیر می توان فشار مخلوط را قبل از موج شوک عمودی را به دست آورد:

$$V_{vol} = \frac{V_m A_2}{\dot{m}_p + \dot{m}_s} \quad (27)$$

$$h_m = h(P_m, V_m) \quad (28)$$

اختلاط جریان ها زمانی آغاز می گردد که جریان ثانویه به سرعت صوت رسیده و در سطح مقطع موثر دچار خفگی می شود. بنابراین لایه بسیار نازکی ما بین سیال اولیه و ثانویه تشکیل می شود. از طرف دیگر به دلیل اثرات لزجت، سرعت جریان ثانویه در دیواره اجکتور به صفر میل می کند. در نتیجه می توان گفت که سرعت سیال ثانویه از مقدار صفر در دیواره به مقدار سرعت صوت در لایه مشترک ما بین سیال اولیه و ثانویه، تغییر می یابد. توزیع سرعت در جهت شعاعی از رابطه نمایی زیر پیروی می کند [5]:

$$V_r = V_{pA} \left(1 - \frac{r}{R_2}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

که از این رابطه می توان نتیجه گرفت :

$$n = \frac{\ln\left(1 - \frac{r}{R_2}\right)}{\ln\left(\frac{V_r}{V_{pA}}\right)} \quad (11)$$

به ازای  $r = R_{pA} = D_{pA} / 2$  ، سرعت سیال ثانویه در لایه ذکر گردیده معادل با  $\sqrt{\gamma R T_{sA}}$  بوده و عدد ماخ برابر با یک است  $M=1$ .

$$\frac{V_r}{\sqrt{\gamma R_g T_{sA}}} = 1 \quad (12)$$

بر پایه معادلات و شرایط مرزی فوق ، مقدار  $n$  از رابطه زیر محاسبه می گردد [5]:

$$n = \frac{\ln\left(1 - \frac{D_{pA}}{D_2}\right)}{\ln\left(\frac{\sqrt{T_{sA}/T_{pA}}}{M_{pA}}\right)} \quad (13)$$

سرعت متوسط و دبی جریان ثانویه را در سطح مقطع  $A-A$  به ترتیب بر اساس روابط زیر می توان تعیین نمود :

$$\bar{V}_{sA} = \frac{\int_{R_{pA}}^{R_2} 2\pi r v_r dr}{\pi (R_2^2 - R_{pA}^2)} \quad (14)$$

$$\dot{m}_s = \int_{R_{pA}}^{R_2} \rho_r v_r dA \quad (15)$$

به دلیل توزیع یکنواخت دما و فشار سیال مکیده شده در راستای  $r$  ، روابط زیر نتیجه می شوند :

$$\bar{V}_{sA} = \frac{2V_{pA}}{(R_2^2 - R_{pA}^2)} \int_{R_{pA}}^{R_2} R_{pA} r \left(1 - \frac{r}{R_2}\right)^{\frac{1}{n}} dr \quad (16)$$

$$\dot{m}_s = \frac{2\pi P_{sA} V_{pA}}{RT_{sA}} \int_{R_{pA}}^{R_2} R_{pA} r \left(1 - \frac{r}{R_2}\right)^{\frac{1}{n}} dr \quad (17)$$

حال با انتگرال گیری از سمت راست روابط ۱۶ و ۱۷ به ترتیب سرعت متوسط جریان ثانویه در سطح موثر و دبی جرمی جریان ثانویه تعیین می شود:

زیاد می کند. مشخصات نازل اولیه اجکتور مورد استفاده در تست های تجربی به صورت زیر است :

$$D_i = 2.64mm \quad , \quad D_{p1} = 4.5mm$$

در جداول ۱ و ۲ نسبت مساحت و نسبت مکش تعیین شده توسط مدل یک بعدی حاضر، مدل یک بعدی هوانگ [۴] و نتایج تجربی هوانگ [۴] آورده شده اند.  $T_e, T_c^*, T_g$  به ترتیب بیانگر دمای مولد بخار، دمای بحرانی چگالنده و دمای اواپراتور می باشند. همچنین میزان اختلاف نسبی با نتایج تجربی و جذر مجموع مربعات خطا ها، برای هر دو مدل محاسبه شده است. برای محاسبه مقدار خطاها از روابط (۳۴) و (۳۵) استفاده شده است:

$$E_R = \frac{|\omega_{theory} - \omega_{experimental}|}{\omega_{experimental}} \quad (34)$$

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_R)^2}{N}} \quad (35)$$

با توجه به جداول ۱ و ۲، جذر متوسط مربع خطاهای نسبت مکش در مدل یک بعدی حاضر ۵/۹ درصد است که در مقایسه با مدل یک بعدی که دارای جذر متوسط مربع خطایی برابر با ۸/۰۷ درصد است، به طور چشم گیری کاهش یافته است که حدود ۲۶/۸۸ درصد بهبود نتایج را به دنبال دارد.

همچنین میزان جذر متوسط مربع خطاها در تعیین نسبت مساحت نیز کاهش یافته است. به طوریکه در مدل یک بعدی حاضر جذر متوسط مربع خطاها، در تعیین نسبت مساحت ۳/۱۶ درصد است، در حالی که این مقدار در مدل یک بعدی هوانگ ۵/۷۴ درصد می باشد، بنابراین در این مورد نیز نتایج ۴۴/۹۷ درصد بهبود یافته اند.

شایان ذکر است که بیشینه مقدار اختلاف با نتایج تجربی در تعیین نسبت مکش و نسبت مساحت اجکتور، در مدل یک بعدی پیشنهادی به ترتیب برابر با ۱۳/۲۷ درصد و ۵/۸ درصد است، در حالی که مقادیر متناظر در مدل یک بعدی به ترتیب ۲۲/۰۴ درصد و ۹/۷۸ درصد گزارش شده است. بنابراین دقت مدل حاضر نسبت به مدل یک بعدی هوانگ بر پایه بیشینه اختلاف با نتایج تجربی بیشتر بوده و در مورد نسبت مکش و نسبت مساحت اجکتور به ترتیب ۳۹/۷۹ درصد و ۴۰/۶۹ درصد بهبود یافته است. همچنین با مقایسه جداول ۱ و ۲ می توان دریافت که با افزایش دمای اواپراتور، نسبت مکش اجکتور بیشتر می شود. چراکه افزایش دمای اواپراتور، افزایش فشار اشباع سیال خروجی از اواپراتور را به دنبال دارد، همین امر نیز موجب می شود که اختلاف فشار ما بین سیال اولیه و ثانویه در خروجی نازل بیشتر شود، که این پدیده افزایش نسبت مکش اجکتور را به دنبال دارد.

در شکل ۸ تأثیر تغییرات فشار اشباع مولد بخار و پس فشار اجکتور (فشار یا دمای چگالنده)، بر روی مقدار نسبت مساحت

در روابط فوق  $v_{vol}$  و  $h_m$  به ترتیب نشان دهنده حجم ویژه و آنتالپی ویژه هستند. اگر جریان سیال بعد از اختلاط دو جریان همچنان فراصوت باشد، یک موج ضربه عمودی در انتهای بخش سطح مقطع ثابت رخ می دهد که فشار و دما و آنتالپی جریان بعد از وقوع موج ضربه، از تقاطع خطوط ریلی و فانو پدید می آید. برای مدل سازی موج ضربه از روابط زیر استفاده کرده و فشار سیال و عدد ماخ پس از شوک عمودی به دست می آید [۴]:

$$\frac{P_2}{P_m} = 1 + \frac{2\gamma}{\gamma+1} (M_m^2 - 1) \quad (29)$$

$$M_2 = \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{\gamma-1}{2}\right) M_m^2}{\gamma M_m^2 - \left(\frac{\gamma-1}{2}\right)}} \quad (30)$$

### ۳-۳- دیفیوزر

در نهایت سیال با عبور از دیفیوزر تا فشار خروجی اجکتور منبسط می شود [۴]:

$$\frac{P_c}{P_2} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_2^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (31)$$

$$\eta_d = \frac{h_2 - h_{cs}}{h_2 - h_c} \quad (32)$$

### ۳-۴- فرآیند شبیه سازی

شکل ۷ طریقه انجام محاسبات توسط نرم افزار *MATLAB* را در یک نمودار گردشی نشان می دهد. در این الگوریتم، شرایط در ورودی جریان های اولیه و ثانویه و نیز خروجی اجکتور به عنوان ورودی برنامه در نظر گرفته می شود و هدف تعیین نسبت مکش و نسبت مساحت اجکتور است. به منظور محاسبه گرمای ویژه و *RI4Ib*، در فشار ثابت، در شرایط مختلف دمایی از رابطه (۳۳)، که توسط *NIST database* [۱۰] محاسبه شده است، استفاده می شود :

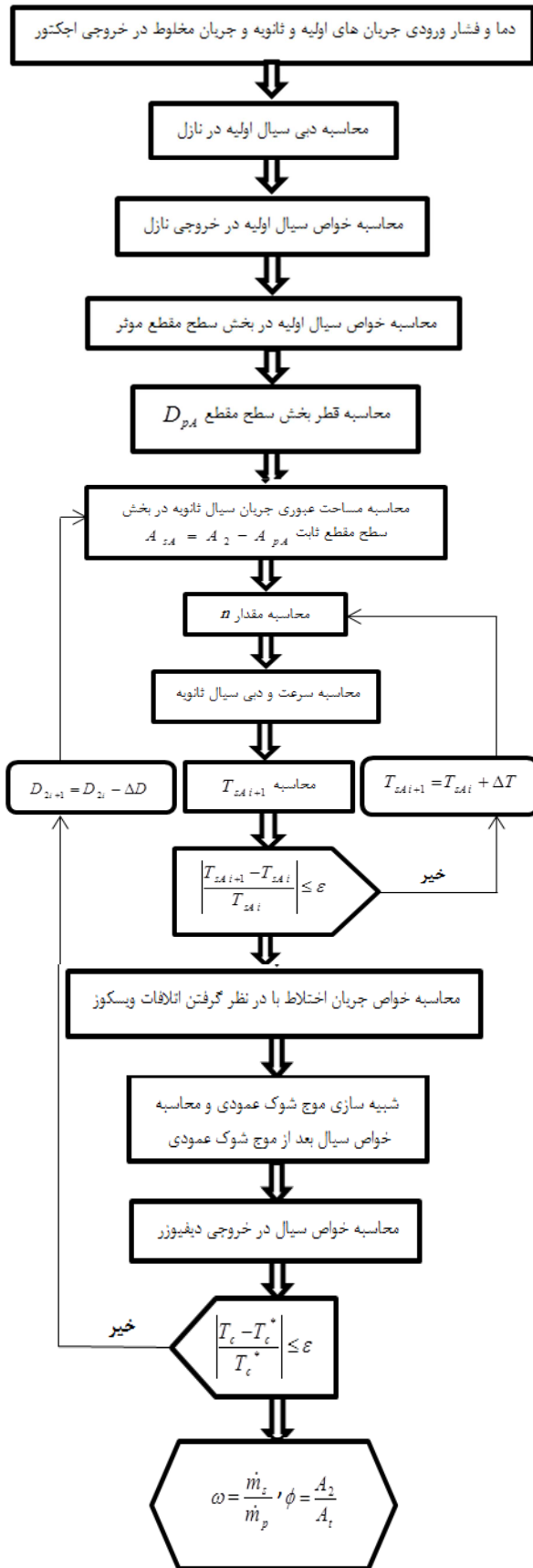
$$C_p = -1243.64 + 16.48T - 4.93246 \times 10^{-2} T^2 + 5.6641 \times 10^{-5} T^3 \quad (260K < T < 400K) \quad (33)$$

### ۴- نتایج

به منظور اعتبار دهی نتایج گزارش شده توسط مدل حاضر در مورد پیش بینی عملکرد اجکتور، داده های تجربی ارائه شده توسط هوانگ و همکاران [۴] مورد استفاده قرار گرفته است.

این داده ها از یک سیستم تبرید اجکتوری متشکل از یک ژنراتور، یک اواپراتور و یک چگالنده و یک اجکتور به دست آمده است.

در سیستم تبرید اجکتوری، اجکتور به کمک جریان پر فشار خروجی ژنراتور (جریان اولیه) فشار جریان خروجی از اواپراتور (ورودی جریان ثانویه) را تا فشار چگالنده (فشار جریان مخلوط)



شکل ۷- نمودار گردش حل مسئله

اجکتور در فشار اشباع اوپراتور ۳۹/۹۳ کیلو پاسکال نشان داده شده است.

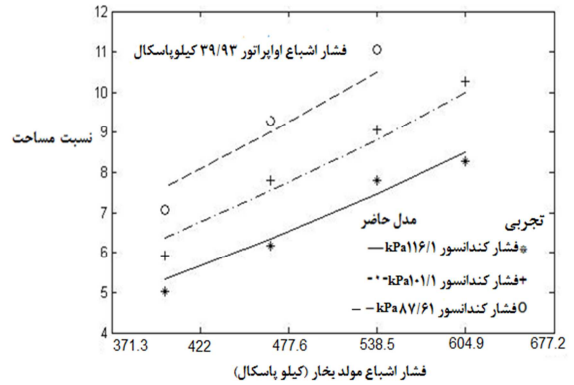
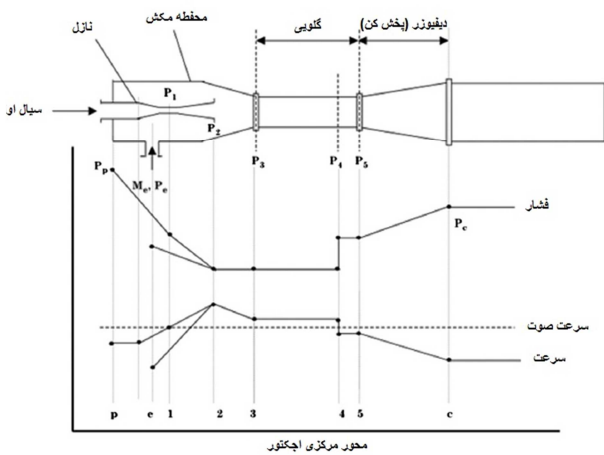
همانگونه که مشاهده می‌شود، با افزایش فشار مولد بخار، میزان نسبت مساحت بیشتر می‌شود. زیرا زمانی که مولد بخار در فشارهای بالا کار می‌کند، دبی جریان اولیه افزایش می‌یابد، بنابراین نیاز است که قطر ناحیه سطح مقطع ثابت اجکتور، به منظور عبور دادن دبی جرمی افزایش یافته، بزرگتر در نظر گرفته شود.

همچنین از شکل ۸ دیده می‌شود که هرچقدر فشار کاری چگالنده افزایش پیدا می‌کند، میزان نسبت مساحت کاهش می‌یابد. چراکه با افزایش پس فشار اجکتور، مقدار مکش سیال ثانویه کاهش می‌یابد، همین امر کاهش دبی جرمی سیال را در بخش سطح مقطع ثابت اجکتور به دنبال دارد. بنابراین در طراحی اجکتور، میزان قطر بخش سطح مقطع ثابت اجکتور کوچکتر در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه نسبت مساحت اجکتور کاهش پیدا می‌کند.

در نهایت تغییرات نسبت مکش اجکتور، بر حسب فشار اشباع مولد بخار در فشارهای مختلف کاری چگالنده در شکل ۹ آورده شده است. از این شکل مشاهده می‌شود که، زمانی که چگالنده در فشارهای پایین کار می‌کند، اجکتور عملکرد بهتری را از خود نشان داده و نسبت مکش افزایش می‌یابد. زیرا با کاهش فشار چگالنده، اختلاف فشار مابین خروجی دیفیوزر و سیال ثانویه داخل محفظه مکش بیشتر شده و همین امر باعث افزایش مکش سیال ثانویه می‌شود.

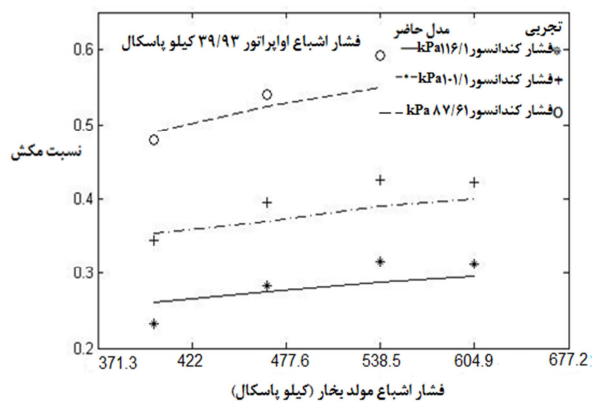
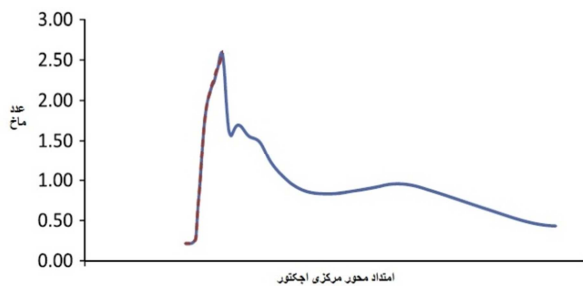
همچنین با افزایش فشار مولد بخار، فشار اشباع سیال اولیه در ورودی نازل بیشتر می‌شود، در نتیجه دبی سیال اولیه عبوری از نازل بیشتر می‌شود و سرعت سیال در خروجی نازل افزایش پیدا می‌کند، بنابراین اختلاف فشار ما بین سیالات در خروجی نازل اولیه بیشتر شده که این امر، باعث افزایش نسبت مکش می‌گردد.

شکل ۱۱، نمودار تغییرات عدد ماخ در طول محور مرکزی اجکتور در شکل ۱۲ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۸- تغییرات نسبت مساحت اجکتور بر حسب دمای مولد بخار در فشار اشباع اوپراتور ۳۹/۹۳ کیلو پاسکال

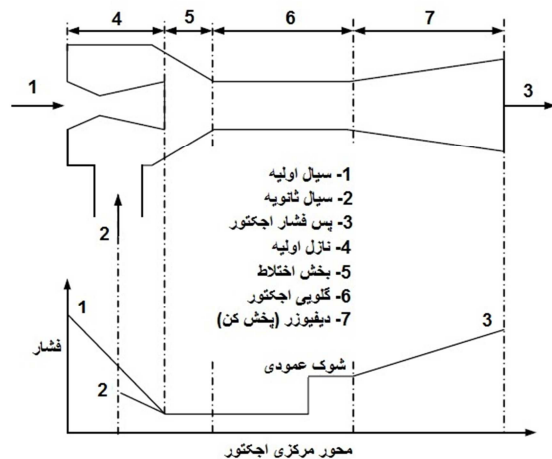
شکل ۱۱- توزیع فشار و توزیع سرعت در امتداد خط مرکزی اجکتور



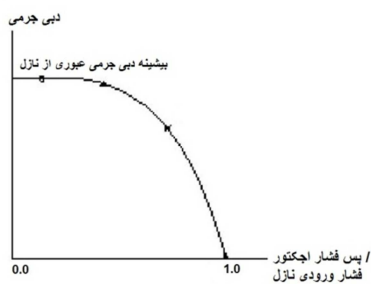
شکل ۹- تغییرات نسبت مکش اجکتور بر حسب دمای مولد بخار در فشار اشباع اوپراتور ۳۹/۹۳ کیلو پاسکال

شکل ۱۲- تغییرات عدد ماخ در طول محور مرکزی اجکتور

و در نهایت تغییرات دبی جرمی در نازل اولیه اجکتور بر حسب تغییرات پس فشار اجکتور در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. با توجه به نمودار به ازای فشار ورودی برابر با پس فشار اجکتور جریان در نازل اولیه برقرار نخواهد شد و هرچقدر که پس فشار اجکتور کاهش پیدا می کند، دبی جرمی سیال اولیه عبوری از نازل افزایش پیدا می کند.



شکل ۱۰- توزیع فشار در امتداد خط مرکزی اجکتور



شکل ۱۳- نمودار تغییرات دبی جرمی عبوری از نازل بر حسب پس فشار اجکتور



اجکتور افزایش می یابد. سپس یک شوک عمودی در بخش سطح مقطع ثابت اجکتور برای سیال اختلاط یافته اتفاق می افتد و در نهایت سیال مخلوط شده در خروجی دیفیوزر به مقدار فشار کندانسور (پس فشار اجکتور) می رسد. توزیع فشار و توزیع سرعت در محور مرکزی اجکتور به تفصیل در شکل ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به روند تغییرات سرعت در

شکل ۱۰ توزیع فشار در امتداد خط مرکزی اجکتور را نشان می دهد. با توجه به شکل ۱۰، سیال اولیه با فشار بالا وارد نازل اولیه اجکتور می شود و در خروجی نازل اولیه انبساط پیدا می کند و ناحیه بسیار کم فشاری در خروجی نازل ایجاد می شود و همین امر باعث مکش سیال ثانویه به داخل اجکتور می شود. در نتیجه فشار سیال ثانویه از مقدار کم خود در ورودی محفظه مکش تا مقدار فشار بالاتری در خروجی نازل اولیه

**جدول ۱- مقایسه نتایج مدل دوبعدی پیشنهادی با نتایج مدل یک بعدی و تجربی هوآنگ در دمای اوپراتور ۱۲ درجه سلسیوس**

$T_g$	$T_c^*$	نسبت مساحت				نسبت مکش				
		مدل یک بعدی	خطای مدل یک بعدی	مدل حاضر	خطای مدل حاضر	مدل یک بعدی	خطای مدل یک بعدی	مدل حاضر	خطای مدل حاضر	
۹۵	۳۱٫۳	۱۰٫۸۷	۲٫۱۰	۱۰٫۳۴۴۷	۲٫۷۷	۰٫۴۳۷۷	۰٫۴۶۲۷	۵٫۷۰	۰٫۳۸۶۳	۱۱٫۷۴
۹۵	۳۳٫۰	۹٫۶۷	۱٫۶۲	۹٫۰۵۶	۲٫۲۸	۰٫۳۹۳۷	۰٫۳۷۷۴	۴٫۱۳	۰٫۳۵۱۴	۱۰٫۷۴
۹۵	۳۳٫۶	۹٫۲۹	۱٫۳۲	۹٫۳۶۷۳	۰٫۴۵	۰٫۳۴۵۷	۰٫۳۴۷۶	۰٫۵۶	۰٫۳۳۹۷	۱٫۷۳
۹۵	۳۴٫۲	۸٫۸۹	۳٫۰۲	۹٫۱۷۱۰	۰٫۰۱	۰٫۳۵۰۵	۰٫۳۲۵۳	۷٫۲۰	۰٫۳۲۹۹	۵٫۸۷
۹۵	۳۶٫۳	۸٫۵۷	۳٫۴۳	۸٫۳۹۶۸	۱٫۴۱	۰٫۲۸۱۴	۰٫۲۹۸۳	۶٫۰۱	۰٫۲۸۹۵	۲٫۸۷
۹۵	۳۷٫۱	۸٫۲۵	۱٫۶۳	۸٫۱۲۸۶	۱٫۴۷	۰٫۲۹۰۲	۰٫۲۶۵۸	۸٫۳۹	۰٫۲۷۵۰	۵٫۲۳
۹۵	۳۸٫۸	۷٫۲۶	۰٫۱۴	۷٫۵۹۱۸	۴٫۵۷	۰٫۲۲۷۳	۰٫۲۰۷۸	۸٫۵۷	۰٫۲۴۴۶	۷٫۶۱
۹۵	۳۸٫۶	۷٫۳۸	۴٫۵۱	۷٫۶۲۵۱	۱٫۳۵	۰٫۲۵۵۲	۰٫۲۱۴۴	۱۵٫۹۸	۰٫۲۴۴۶	۳٫۳۶
۹۵	۴۱٫۰	۷٫۰۵	۴٫۰۰	۶٫۹۴۱۹	۲٫۵۳	۰٫۲۰۴۳	۰٫۱۹۱۹	۶٫۰۶	۰٫۲۰۵۹	۰٫۷۸
۹۵	۴۲٫۱	۶٫۵۵	۱٫۶۵	۶٫۶۵۴۱	۳٫۳۲	۰٫۱۸۵۹	۰٫۱۵۵۴	۱۶٫۴۳	۰٫۱۸۷۹	۱٫۰۷
۹۰	۳۱٫۵	۹٫۲۸	۱٫۳۹	۹٫۰۰۰۰	۴٫۳۵	۰٫۴۴۴۶	۰٫۴۱۷۸	۶٫۰۲	۰٫۳۷۷۵	۱۵٫۰۹
۹۰	۳۳٫۸	۸٫۵۳	۲٫۹۴	۸٫۲۰۰۴	۰٫۹۶	۰٫۳۴۸۸	۰٫۳۵۵۲	۱٫۸۴	۰٫۳۳۲۱	۴٫۷۸
۹۰	۳۶٫۷	۷٫۰۳	۹٫۰۳	۷٫۲۷۳۶	۵٫۹	۰٫۳۰۴۰	۰٫۲۳۹۵	۲۱٫۲۲	۰٫۲۷۵۲	۹٫۴۷
۹۰	۳۷٫۵	۶٫۹۹	۴٫۸۶	۷٫۰۳۰۵	۰٫۵۷	۰٫۲۷۱۸	۰٫۲۰۹۳	۲۲٫۹۹	۰٫۲۵۹۴	۴٫۵۶
۹۰	۳۸٫۹	۶٫۷۴	۴٫۶۶	۶٫۶۳۴۵	۳٫۰۲	۰٫۲۲۴۶	۰٫۲۱۵۶	۳٫۹۹	۰٫۲۳۲۹	۳٫۶۹
۸۴	۲۸٫۰	۹٫۴۱	۰٫۷۳	۹٫۰۰۰۰	۴٫۳۵	۰٫۵۳۸۷	۰٫۵۲۱۵	۳٫۱۹	۰٫۴۵۵۷	۱۵٫۴
۸۴	۳۰٫۵	۸٫۲۸	۴٫۷۱	۸٫۰۴۹۳	۲٫۷۸	۰٫۴۲۱۴	۰٫۴۶۰۵	۸٫۵۸	۰٫۳۹۶۵	۶٫۵
۸۴	۳۲٫۳	۷٫۷۳	۰٫۶۲	۷٫۴۳۸۰	۳٫۷۷	۰٫۳۸۸۳	۰٫۳۷۰۴	۴٫۶۱	۰٫۳۵۵۴	۸٫۴۷
۸۴	۳۳٫۶	۶٫۹۹	۰٫۰۰	۷٫۰۳۰۵	۰٫۵۷	۰٫۳۱۱۷	۰٫۳۰۴۲	۲٫۳۹	۰٫۳۲۶۷	۴٫۸۱
۸۴	۳۵٫۵	۶٫۴۴	۵٫۳۵	۶٫۴۹۸۶	۰٫۹	۰٫۲۸۸۰	۰٫۲۸۸۰	۰٫۲۳	۰٫۲۸۷۲	۰٫۲۷
۷۸	۲۴٫۴	۹٫۴۱	۵٫۴۱	۹٫۰۲۲۷	۴٫۱۱	۰٫۶۲۲۷	۰٫۶۹۴۴	۱۱٫۵۱	۰٫۵۴۹۷	۱۱٫۷۲
۷۸	۲۶٫۹	۸٫۲۸	۸٫۲۳	۸٫۰۷۰۸	۲٫۵۲	۰٫۴۸۸۹	۰٫۵۹۶۶	۲۲٫۰۳	۰٫۴۸۵۰	۰٫۷۹
۷۸	۲۹٫۱	۷٫۷۳	۱٫۱۷	۷٫۲۷۳۶	۵٫۹	۰٫۴۳۹۳	۰٫۴۶۰۹	۴٫۹۳	۰٫۴۲۵۷	۳٫۰۹
۷۸	۲۹٫۵	۶٫۹۹	۷٫۰۳	۷٫۱۳۱۳	۲٫۰۲	۰٫۳۹۲۲	۰٫۴۴۲۲	۱۲٫۷۴	۰٫۴۱۴۵	۵٫۶۸
۷۸	۳۲٫۵	۶٫۴۴	۲٫۷۸	۶٫۲۵	۲٫۹۵	۰٫۳۲۵۷	۰٫۳۵۲۵	۸٫۲۴	۰٫۳۴۱۹	۴٫۹۷

**جدول ۲- مقایسه نتایج مدل دوبعدی پیشنهادی با نتایج مدل یک بعدی و تجربی هوآنگ در دمای اوپراتور ۸ درجه سلسیوس**

$T_g$	$T_c^*$	نسبت مساحت			نسبت مکش			
		داده های تجربی	مدل یک بعدی	خطای مدل یک بعدی	مدل یک بعدی	خطای مدل یک بعدی	مدل حاضر	
۹۵	۳۳٫۱	۹٫۸۳	۱۰٫۴۳	۶٫۱۶	۹٫۷۳۷۹	۰٫۹۳	۰٫۴۴۴۰	۱۱
۹۵	۳۴٫۲	۹٫۱۷	۹٫۶۷	۵٫۴۵	۹٫۳۲۲۰	۱٫۶۵	۰٫۴۲۱۸	۴٫۱۹
۹۵	۳۴٫۵	۹٫۴۱	۹٫۴۷	۰٫۶۳	۹٫۲۰۵۷	۲٫۱۷	۰٫۴۱۵۲	۸٫۵۶
۹۵	۳۸٫۷	۷٫۷۳	۷٫۹۶	۲٫۹۵	۷٫۷۵۱۲	۰٫۲۷	۰٫۳۲۹۳	۵٫۹۹
۹۵	۳۹٫۳	۷٫۲۶	۷٫۶۹	۵٫۹۲	۷٫۵۵۲۸	۴٫۰۳	۰٫۳۱۶۷	۴٫۱۷
۹۵	۴۲٫۵	۶٫۴۴	۶٫۹۱	۷٫۳۳	۶٫۶۵۴۱	۳٫۳۲	۰٫۲۵۶۱	۸٫۹۷
۹۰	۳۲٫۰	۹٫۴۱	۹٫۵۰	۰٫۹۱	۹٫۰۲۲۷	۴٫۱۱	۰٫۴۷۰۲	۱۳٫۲۷
۹۰	۳۶٫۰	۷٫۷۳	۸٫۰۰	۳٫۴۹	۷٫۶۰۴۲	۱٫۶۲	۰٫۳۷۸۷	۶٫۱۲
۹۰	۳۹٫۵	۶٫۴۴	۷٫۰۳	۹٫۱۷	۶٫۵۹۵۶	۲٫۴۱	۰٫۳۰۵۵	۳٫۶۹
۸۴	۲۸٫۹	۹٫۴۱	۹٫۶۳	۲٫۲۸	۸٫۸۸۶۷	۵٫۵۶	۰٫۵۵۲۲	۱۳٫۰۳
۸۴	۳۲٫۴	۷٫۷۳	۸٫۱۷	۵٫۶۷	۷٫۵۸۳۳	۱٫۸۹	۰٫۴۵۹۵	۴٫۰۵
۸۴	۳۶٫۰	۶٫۴۴	۷٫۰۷	۹٫۷۸	۶٫۴۹۸۶	۰٫۹	۰٫۳۷۲۵	۹٫۶۲
۷۸	۲۵٫۷	۹٫۴۱	۹٫۸۵	۴٫۶۰	۸٫۸۶۴۲	۵٫۸	۰٫۶۵۸۱	۱۱٫۲۱
۷۸	۲۹٫۲	۷٫۷۳	۸٫۲۶	۶٫۸۹	۷٫۶۷۹۴	۳٫۲۴	۰٫۵۴۸۹	۱۰٫۴۸

### ۵- نتیجه گیری

شده به داخل اجکتور افزایش می یابد که این امر بهبود عملکرد اجکتور را به دنبال دارد. همچنین زمانی که چگالنده دردماهای پایین کار می کند، به دلیل پایین بودن پس فشار اجکتور، نسبت مکش بیشتر شده و باعث بهتر شدن عملکرد اجکتور می شود که می تواند افزایش ظرفیت تبرید در یک چرخه تبرید اجکتوری را فراهم آورد.

در این مقاله، تحلیل دو بعدی عملکرد اجکتور بر اساس روابط حاکم بر جریان آیزونتروپیک گاز ایده آل انجام گردید. همانطور که نشان داده شد، به منظور اینکه اجکتور عملکرد مطلوبی داشته باشد، اجکتور بایستی در نقطه بحرانی کار کند. الگوریتم پیشنهاد شده در کار حاضر، قادر به طراحی هندسی و تعیین نسبت مکش اجکتور در شرایط مختلف ترمودینامیکی، با در نظر گرفتن اتلافات لزجتی سیال اختلاط یافته در ناحیه سطح مقطع ثابت است، که هدف اصلی تحقیق بود. در توسعه مدل کنونی، سه فرض اصلی در نظر گرفته شده است، که پایه و اساس مدل سازی دوبعدی اجکتور را تشکیل می دهند. این فرضیات عبارتند از:

- نسبت گرمای ویژه  $\gamma$ ، برای مبرد *RI41b* متغییر و به صورت تابعی از دما در نظر گرفته شده است.
  - لزجت مابین سیالات در بخش سطح مقطع ثابت، و مابین سیال ثانویه با دیواره داخلی اجکتور در نظر گرفته شده است و نحوه توزیع سرعت سیال در بخش سطح مقطع ثابت با استفاده از یک تابع نمایی تقریب زده شده است.
  - در ناحیه اختلاط، به دلیل وجود لزجت برای جریان مخلوط، افت فشار در نظر گرفته شده است.
- در نهایت تحلیل رفتار اجکتور در شرایط مختلف ترمودینامیکی نشان می دهد که با افزایش دمای اوپراتور، میزان سیال مکیده

### ۶- نمادها

$A$	مساحت ( $mm^2$ )
$C_p$	گرمای ویژه در فشار ثابت ( $kJ/kg.K$ )
$C_v$	گرمای ویژه در حجم ثابت ( $kJ/kg.K$ )
$\dot{E}$	آهنگ انرژی ( $J/sec$ )
$E$	خطا
$h$	آنتالپی ویژه ( $J/kg$ )
$\dot{m}$	دبی جرمی ( $kg/sec$ )
$M$	عدد ماخ
$n$	توان تابع نمایی توزیع سرعت
$P$	فشار ( $MPa$ )
$R, r$	شعاع ( $mm$ )
$R_g$	ثابت جهانی گازها ( $J/kg.K$ )
$T$	دما ( $K$ )
$V, v$	سرعت ( $m/sec$ )

### علائم یونانی

$\gamma$	نسبت گرما های ویژه
$v$	حجم ویژه ( $m^3 / kg$ )
$\eta$	ضرایب آیزونتروپیک

refrigeration applications based on CFD." Applied Thermal Engineering, vol. 26, no. 5, pp. 604-612, 2006.

[8] Bartosiewicz, Yann, Zine Aidoun, Philippe Desevaux, and Yves Mercadier. "Numerical and experimental investigations on supersonic ejectors." International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 26, no. 1, pp. 56-70, 2005.

[9] Rusly, E., Lu Aye, W. W. S. Charters, and A. Ooi. "CFD analysis of ejector in a combined ejector cooling system." International Journal of Refrigeration, vol. 28, no. 7, pp. 1092-1101, 2005.

[10] Linstrom, P. J., & Mallard, W. G. (2010). NIST Chemistry WebBook, NIST Standard Reference Database Number 69, 2005. URL <http://webbook.nist.gov>.

نسبت مکش	$\omega$
نسبت مساحت	$\phi$
<b>زیر نویس ها</b>	
شرایط آیزونتروپیک دیفیوزر	<i>cs</i>
چگالنده	<i>cond</i>
دیفیوزر	<i>diff</i>
اوپراتور	<i>evap</i>
منبسط شده در خروجی نازل	<i>exp</i>
ژنراتور	<i>g</i>
تلفات	<i>loss</i>
سیال اختلاط یافته	<i>m</i>
بخش اختلاط	<i>m-m</i>
سیال اولیه در بخش سطح مقطع ثابت	<i>p</i>
سیال اولیه در بخش سطح مقطع ثابت	<i>pA</i>
اختلاف نسبی	<i>R</i>
جذر مجموع مربعات	<i>ems</i>
سیال ثانویه در ورودی نازل	<i>s</i>
سیال ثانویه در ورودی بخش مکش	<i>sA</i>
گلوگاه	<i>t</i>
حجم	<i>vol</i>
خروجی نازل	<i>1</i>
قسمت سطح مقطع ثابت	<i>2</i>

### مراجع

[1] Dai, Yiping, Jiangfeng Wang, and Lin Gao. "Exergy analysis, parametric analysis and optimization for a novel combined power and ejector refrigeration cycle." applied thermal engineering, vol. 29, no. 10, pp.1983-1990, 2009.

[2] Munday, John T., and David F. Bagster. "A new ejector theory applied to steam jet refrigeration." Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development, vol. 16, no. 4, pp. 442-449, 1977.

[3] Keenan, Joseph Henry. "An investigation of ejector design by analysis and experiment." Journal of Applied Mechanics, vol. 17, pp. 299, 1950.

[4] Huang, B. J., J. M. Chang, C. P. Wang, and V. A. Petrenko. "A 1-D analysis of ejector performance." International journal of refrigeration, vol. 22, no. 5, pp. 354-364, 1999.

[5] Zhu, Yinhai, Wenjian Cai, Changyun Wen, and Yanzhong Li. "Shock circle model for ejector performance evaluation." Energy Conversion and Management, vol. 48, no. 9, pp. 2533-2541, 2007.

[6] Soroureddin, A., A. S. Mehr, S. M. S. Mahmoudi, and M. Yari. "Thermodynamic analysis of employing ejector and organic Rankine cycles for GT-MHR waste heat utilization: A comparative study." Energy Conversion and Management, vol. 67, pp. 125-137, 2013.

[7] Bartosiewicz, Yann, Z. Aidoun, and Y. Mercadier. "Numerical assessment of ejector operation for