

## بهینه سازی هندسی اجکتورهای سیستم تخلیه نیروگاه آبی-مطالعه موردی نیروگاه دز

ایمان جعفری<sup>۱</sup>، میلاد قمری نژادیان<sup>۲</sup>، محمد حسین ماپار<sup>۳</sup>، احسان نجف پور<sup>۴</sup>

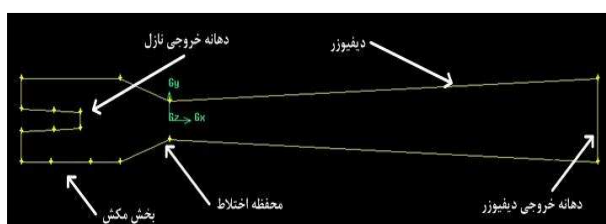
<sup>۱</sup>شرکت نصب، تعمیر و نگهداری نیروگاههای برق آبی خوزستان، [iman.jafari@yahoo.com](mailto:iman.jafari@yahoo.com)

<sup>۲</sup>گروه مهندسی مکانیک-دانشکده مهندسی مکانیک-دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

<sup>۴</sup>مربی گروه فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، ایران

### چکیده

دهد. ساختمان اجکتورها را می توان به دو بخش تقسیم نمود. این دو بخش عبارتند از: ۱- محفظه اختلاط ۲- دیفیوزر



شکل ۱: طرح اجکتور مایع-مایع موجود در نیروگاه دز

در این پژوهش، بهینه سازی هندسی اجکتورهای مایع-مایع سیستم تخلیه نیروگاه دز، با استفاده از روش های حل عددی انجام گرفته است. تغییرات اعمال شده با هدف افزایش کارایی اجکتور به منظور افزایش نرخ تخلیه مخزن درافت تیوب نیروگاه می باشد. بدین منظور افزایش تعداد دهانه های مکش، تغییر در زاویه دیفیوزر و بهینه سازی هندسه محفظه اختلاط و دهانه های مکش مورد بررسی قرار گرفته است. خط تامین جت مایع در اجکتور از بالادست شیر پروانه ای تامین می گردد. بنابراین شرایط مرزی در ورودی اجکتور مابین حداقل و حداکثر سطح آب دریاچه متغیر می باشد. بهینه سازی هندسی اجکتورهای مایع-مایع نیروگاه دز در بدترین شرایط ورودی (حداقل سطح آب دریاچه) انجام گرفته است. بر اساس نتایج بدست آمده از شبیه سازی های عددی، طرح اجکتور جدید با دو دهانه مکش، زاویه دیفیوزر ۶ درجه و طرح ویژه محفظه اختلاط، دارای ۹۶/۸٪ و ۹۶/۹۵٪ به ترتیب نسبت ماند و نرخ دبی بالاتر نسبت به اجکتور موجود خواهد بود.

### واژه های کلیدی

شبیه سازی عددی، اجکتور مایع-مایع، سیستم تخلیه نیروگاه آبی، بهینه سازی هندسی

### طرح مسئله و موضوع پژوهشی

در این تحقیق طرح هندسی با استفاده از نرم افزار گمبیت (GAMBIT) و شبیه سازی جریان دائم با استفاده از نرم افزار انسیس-فلوئنت انجام گرفته است. به منظور شبیه سازی جریان، شبکه ای متشکل از مش های سازمان نیافته و دامنه حلی با تراکم مش ۵۱۸۸۸ گره توسط نرم افزار گمبیت (GAMBIT) طرح ریزی شده است. شرایط مرزی در خروج از نازل، سرعت ورودی و در ورودی خط مکش و خروجی دیفیوزر به ترتیب فشار ورودی و فشار خروجی در نظر گرفته می شود. در این تحقیق، هدف بررسی کارایی تخلیه درافت تیوب بر اساس تغییرات اعمالی بر هندسه اجکتور می باشد. بر این اساس شرایط مرزی و پارامترهای ورودی ثابت فرض می شوند و تغییرات اعمالی روی هندسه بخش های مختلف اجکتور انجام می گیرد. شرط مرزی فشار ورودی در بخش مکش با تخلیه آب درافت تیوب و تغییر ارتفاع آن متغیر می باشد. بنابراین به منظور رسیدن به یک شرط مرزی واحد و کاهش حجم محاسبات، شرط مرزی در قسمت مکش اجکتور، فشار جو در نظر گرفته می شود. خاطر نشان می گردد در این تحلیل هدف بررسی کارایی تخلیه اجکتور بر اساس

### شرح سیستم صنعتی

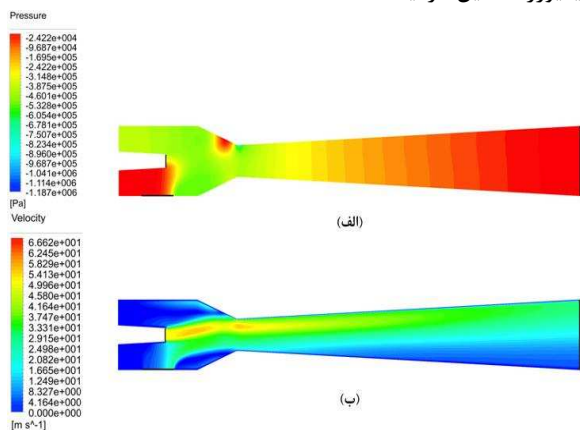
در این تحقیق شبیه سازی جریان در اجکتورهای موجود در نیروگاه دز مورد بررسی قرار گرفته است. پس از آن با هدف بالا بردن راندمان و نرخ دبی تخلیه این اجکتورها، طرح های مختلفی پیشنهاد گردیده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. این تغییرات به صورت گام به گام و به صورت مقایسه ای با طرح اجکتور موجود در نیروگاه دز اعمال گردیده اند.

سیستم تخلیه نیروگاه آبی دز به منظور تخلیه مخزن درافت تیوب، عمدتاً در مواقع تعمیرات سالیانه نیروگاه مورد استفاده قرار می گیرد. این سیستم مجهز به سه اجکتور مایع-مایع می باشد. ورودی مکش این اجکتورها درون محفظه درافت تیوب قرار گرفته است و جت آب اجکتور از طریق خط متصل به بالادست شیر پروانه ای تامین می گردد. شکل (۱) طرح اجکتورهای موجود در نیروگاه دز را نشان می

در این رابطه  $\alpha_{opt}$  زاویه بهینه دیفیوزر،  $n$  نسبت تغییر قطر به طول دیفیوزر و  $\lambda_t$  ضریب اصطکاک سیال می باشد.

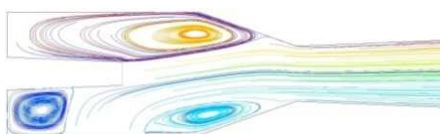
### تجزیه و تحلیل جریان طرحهای پیشنهادی

شکل (۲) پروفیل سرعت و فشار جریان شبیه سازی شده اجکتورهای موجود نیروگاه دز را نشان می دهد. آشکار است بدلیل وجود یک خط مکش و عدم تقارن جریان در اجکتور، جت آب به سمت دیوار بالایی دیفیوزر متمایل گردیده است.



شکل (۲): الف) کانتورهای سرعت ب) کانتورهای فشار اجکتور موجود

شکل (۳) وجود جریان برگشتی در مجاورت دیواره های بالا و پایین محفظه اختلاط را نشان می دهد. این جریان های برگشتی خود عاملی برای افزایش افت های موضعی و کاهش نرخ دبی جریان خروجی از دیفیوزر خواهند بود. بنابراین هر طرح اصلاحی می بایست با هدف کاهش این جریان برگشتی و افزایش نرخ دبی جریان ارائه گردد. علاوه بر آن زاویه بهینه دیفیوزر نیز افت های موضعی و اصطکاک را به حداقل مقدار خود خواهند رساند.



شکل (۳): جریان های برگشتی ایجاد شده در محفظه اختلاط اجکتور

جدول (۲) نتایج بدست آمده از شبیه سازی طرح موجود اجکتور نیروگاه دز را نشان می دهد. منظور از سیال اولیه، سیال خروجی از نازل و منظور از سیال ثانویه، سیال مکش یافته از درافت تیوب می باشد. نسبت دبی جرمی سیال ثانویه به سیال اولیه مطابق رابطه (۱) کارایی اجکتور در تخلیه سیال ثانویه را نشان می دهد. در این حالت نسبت ماند (نسبت دبی جرمی سیال ثانویه به دبی جرمی سیال اولیه)  $0.752$  بدست می آید. در این تحقیق، هدف افزایش مقدار نسبت ماند

مقایسه هندسه های مختلف پیشنهادی می باشد و این کار در پارامترهای ورودی یکسان انجام می گیرد. در نتیجه مقدار پارامترهای ورودی نظیر فشار بخش مکش در تحلیل مقایسه ای چندان مهم نمی باشد و هدف نهایی مقایسه طرح های مختلف در شرایط مرزی یکسان می باشد. همچنین فشار در خروجی نازل نیز بنابر دلایل فوق، فشار جو در نظر گرفته می شود. نکته قابل توجه دیگر در شبیه سازی جریان ادکتور، تغییر شرط مرزی سرعت ورودی در خروجی نازل است. این سرعت از هد موجود در بالادست شیر پروانه ای نیروگاه دز بدست می آید. با تغییر ارتفاع آب دریاچه در طول سال این مقدار مابین  $135$  تا  $180$  متر متغیر است. بنابراین شبیه سازی ها باید در بحرانی ترین حالت ممکن یعنی کمترین هد موجود انجام گیرد. شرط مرزی در خروجی نازل، سرعت ورودی در نظر گرفته می شود. جدول (۱) اطلاعات هندسی و شرایط مرزی اجکتور را بیان می کند.

جدول (۱): جزئیات هندسه و شرایط مرزی طرح اجکتور

مقادیر	ابعاد
۲۰۰	قطر بخش مکش (mm)
۶۱	قطر خروجی نازل (mm)
۳۱۸/۴	قطر خروجی دیفیوزر (mm)
۳۰۰۰	طول دیفیوزر (mm)
	شرایط مرزی
۵۱/۴	سرعت ورودی در خروجی نازل (m/s)
۰ گیج	فشار ورودی در بخش مکش (pa)
۰ گیج	فشار خروجی در انتهای دیفیوزر (pa)

شبیه سازی جریان آشفته با استفاده از معادلات حالت دائم ناویر استوکس و مدل سازی جریان مغشوش با استفاده از روش  $k-\epsilon$  انجام می گیرد.

نسبت ماند اجکتور که بیانگر نسبت دبی جرمی سیال ثانویه (سیال بخش مکش) به دبی جرمی سیال اولیه (سیال خروجی از نازل) می باشد، با استفاده از رابطه (۱) بدست می آید. [۱] این نسبت معیاری برای مقایسه طرح های هندسی مختلف پیشنهادی می باشد. دبی های جرمی با استفاده از نرم افزار شبیه ساز جریان بدست می آیند.

$$RM = \frac{\text{دبی جرمی سیال ثانویه}}{\text{دبی جرمی سیال اولیه}} \quad (1)$$

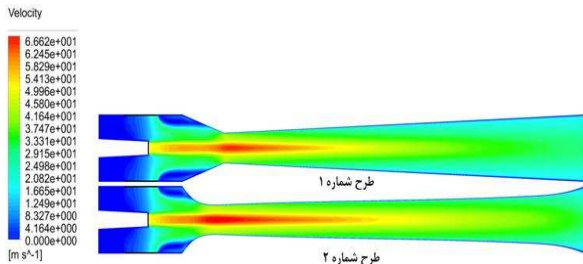
در طراحی اجکتور زاویه دیفیوزر بسیار حائز اهمیت است. زاویه بهینه اجکتور برای به حداقل رساندن افت های موضعی و اصطکاک با استفاده از رابطه (۲) بدست می آید. [۲] معمولاً زاویه بهینه دیفیوزر مابین  $4-6$  درجه می باشد.

$$\alpha_{opt} = S$$

به مقادیری بیش از این می باشد.

جدول (۲): نتایج دبی های سیال اولیه و ثانویه در طرح موجود نبروگاه در

طرح موجود	
دبی سیال اولیه (kg/s)	۳۱۲۹/۷۴
دبی سیال ثانویه (kg/s)	۲۳۵۳/۷۴۹
دبی مخلوط خروجی (kg/s)	۵۴۸۳/۵۰۵
RM	۰/۷۵۲

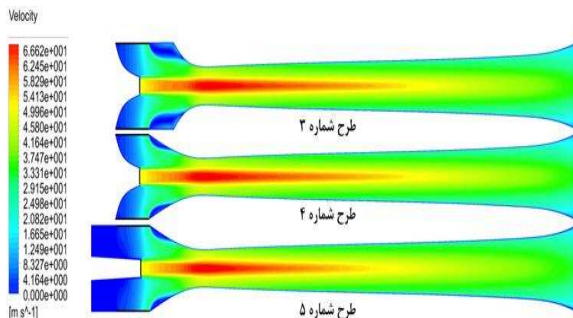


شکل (۵): نتایج شبیه سازی سرعت با تغییر هندسه دیفیوزر (طرح ۲)

جدول (۴): مقایسه نتایج طرح شماره ۱ و ۲

	طرح موجود	طرح شماره ۱	طرح شماره ۲
دبی سیال اولیه (kg/s)	۳۱۲۹/۷۴	۳۱۲۹/۷۴	۳۱۲۹/۷۴
دبی سیال ثانویه (kg/s)	۲۳۵۳/۷۴۹	۴۲۸۹/۰۳	۴۳۲۶/۴۴
RM	۰/۷۵۲	۱/۳۷	۱/۳۸

شکل (۶) نتایج شبیه سازی جریان با تغییر در هندسه محفظه اختلاط را مبنای بررسی قرار داده است. جدول (۵) نیز نتایج بدست آمده از این شبیه سازی ها را ارائه می دهد. بر اساس نتایج بدست آمده طرح شماره ۵ با نسبت مانند ۱/۴ دارای پارامترهای خروجی بهتری نسبت به طرح های ۳ و ۴ می باشد.



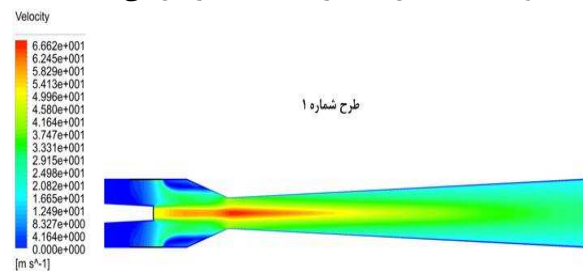
شکل (۶): نتایج کانتورهای سرعت با تغییر هندسه محفظه اختلاط

جدول (۵): مقایسه نتایج طرح موجود و طرح های ۲، ۳، ۴ و ۵ (تغییر هندسه محفظه اختلاط)

	طرح موجود	طرح شماره ۲	طرح شماره ۴	طرح شماره ۵
دبی سیال اولیه (kg/s)	۳۱۲۹/۷۴	۳۱۲۹/۷۴	۳۱۲۹/۷۴	۳۱۲۹/۷۴
دبی سیال ثانویه (kg/s)	۲۳۵۳/۷۴۹	۴۲۹۰/۷۸	۴۳۲۲/۷۴	۴۳۸۱/۹۵
RM	۰/۷۵۲	۱/۳۷	۱/۳۸	۱/۴

در گام نهایی محل قرارگیری و هندسه، دهانه های مکش مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل (۷) نتایج بررسی سه طرح پیشنهادی را نشان می دهد. در این حالت دهانه های مکش به قسمت ابتدایی اجکتور منتقل شده اند. جدول (۶) جزئیات تحلیل و مقایسه این سه طرح را نشان می دهد.

شکل (۴) نتایج شبیه سازی کانتورهای سرعت را برای طرح اصلاحی شماره ۱، با دو دهانه مکش نشان می دهد. در این طرح و سایر طرح های پیش رو با استفاده از رابطه (۲)، زاویه بهینه ۶ درجه محاسبه می گردد. در این زاویه مقادیر افت های اصطکاکی و موضعی دیفیوزر در مقدار بهینه باقی می ماند. مقایسه نتایج این طرح با طرح موجود در جدول (۳) ارائه گردیده است. آشکار است با افزایش تعداد دهانه های مکش، طرح جریان درون دیفیوزر، متقارن و نرخ دبی جریان به اندازه ۸۲/۲٪ و نسبت ماند آن به اندازه ۸۲/۱۸٪ افزایش می یابد.

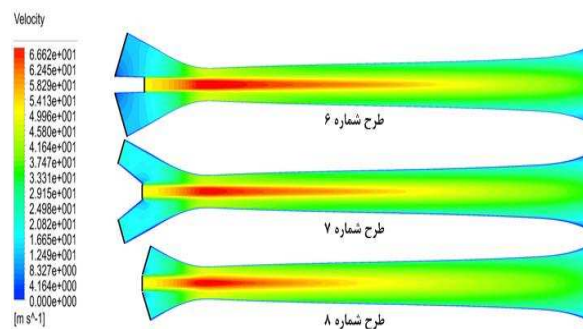


شکل (۴): نتایج شبیه سازی کانتورهای سرعت برای طرح اصلاحی شماره ۱

جدول (۳): مقایسه نتایج طرح موجود و طرح اصلاحی شماره ۱

	طرح موجود	طرح اصلاحی شماره ۱
دبی سیال اولیه (kg/s)	۳۱۲۹/۷۴	۳۱۲۹/۷۴
دبی سیال ثانویه (kg/s)	۲۳۵۳/۷۴۹	۴۲۸۹/۰۳
RM	۰/۷۵۲	۱/۳۷

در طرح اصلاحی شماره ۲، هندسه دیفیوزر مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل (۵) نتایج شبیه سازی جریان در دو هندسه متفاوت در قسمت دیفیوزر را نشان می دهد. در طرح شماره ۲ انتها و ابتدای دیفیوزر توسط خطوط منحنی شکل طرح ریزی گردیده اند. جدول (۴) مقایسه نتایج شبیه سازی اجکتور موجود و طرح اصلاحی شماره ۱ و ۲ را نشان می دهد.



شکل (۷): نتایج شبیه سازی کانتور سرعت با تغییر هندسه و مکان دهانه های مکش

جدول (۶): مقایسه نتایج طرح موجود و طرح های ۶، ۷ و ۸ (تغییر هندسه و مکان دهانه های مکش)

	طرح موجود	طرح شماره ۶	طرح شماره ۷	طرح شماره ۸
دبی سیال اولیه (kg/s)	۳۱۲۹/۷۴	۳۱۲۹/۷۴	۳۱۲۹/۷۴	۳۱۲۹/۷۴
دبی سیال ثانویه (kg/s)	۲۳۵۳/۷۴۹	۴۲۷۵/۵۰	۴۳۰۱/۳۵	۴۶۳۵/۷۶
RM	۰/۷۵۲	۱/۳۶	۱/۳۴	۱/۴۸

آشکار است، مجاورت دهانه های مکش و نازل اجکتور به خوبی باعث از بین رفتن جریان های برگشتی در قسمت محفظه اختلاط می گردد. تاثیر حذف این جریان های برگشتی باعث افزایش دبی تخلیه اجکتور به اندازه ۹۶/۹۵٪ و افزایش نسبت ماند به اندازه ۹۶/۸٪ برای طرح شماره ۸ نسبت به طرح موجود در نیروگاه دز می شود. بنابر نتایج بدست آمده شرایط بهینه با احتساب دو دهانه مکش، زاویه دیفیوزر، ۶ درجه بدست می آید. بر اساس نتایج بدست آمده انتقال بخش مکش به انتهای اجکتور باعث کاهش جریان های برگشتی در قسمت محفظه اختلاط خواهد شد. همچنین با تغییر هندسه محفظه اختلاط و بخش مکش، با هدف کاهش جریان های برگشتی در قسمت ورودی اجکتور، طرح شماره ۸ دارای ۹۶/۹۵٪ و ۹۶/۸٪ بترتیب دبی و نسبت ماند بزرگتر نسبت به اجکتورهای موجود می باشد.

#### مراجع

- [1] A. Mattos., K. Ropelato., R. Medronho., 2012 "Optimization of Ejector's Performance With a CFD Analysis"., 5th Latin American CFD Workshop Applied to the Oil and Gas Industry., Rio de Janeiro-Brazil
- [2] B. Nekrasov., 1986 ,” hydraulics peace publishers, Moscow