

## سیستم‌های سرمایه‌ی جتی

کوروش گودرزی، استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه یاسوج  
kgoudarzi@yu.ac.ir

مالک قیومی، دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه یاسوج  
ghayoomi@yahoo.com

### چکیده

سیستم‌های جتی در مقایسه با انواع دیگر سیستم‌های سرمایه‌ی، با توجه به هزینه پایین ساخت و تعمیر و نگهداری، از اهمیت بسیاری برخوردارند. هدف این مقاله مطالعه و بررسی سیستم‌های سرمایه‌ی جتی، کاربردها و چگونگی عملکردشان است تا با انجام تحقیقات مشابه و کامل‌تر بتوان زمینه پذیرش و مقبولیت این سیستم‌ها را در جامعه فراهم نمود. در این رهگذر، نخست برخی از مطالعات انجام‌شده در این‌باره بررسی می‌شوند. سپس سیستم‌های سرمایه‌ی اجکتوری معرفی می‌گردند. چون قلب این سیستم‌ها اجکتور می‌باشد، در ادامه انواع اجکتورهای مورد استفاده در این‌گونه از سیستم‌های سرمایه‌ی بررسی می‌شوند.

**واژگان کلیدی:** انرژی، سیستم‌های جذبی، سیستم سرمایه‌ی جتی، اجکتور



### مقدمه

از جمله نیازهای اساسی برای دستیابی به اهداف گوناگون صنعتی، انرژی است. کشورهایی که رشد اقتصادی سریعی دارند، انرژی بسیار زیادی نیاز دارند. از این‌رو انرژی شاخصی تأثیرگذار در عرصه اقتصاد، صنعت و اشتغال‌زایی هر کشور محسوب می‌شود. امروزه جمعیت جهانی و به‌دنبال آن میزان انرژی مورد نیاز جوامع روبه افزایش است. تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهند که میزان مصرف انرژی در سطح جهان از ۸۲۹۱۹ زتا وات<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۰ م، به ۱۱۶۶۱۴ زتا وات در سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود میزان مصرف انرژی طی سال‌های

۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ حدود ۳۳ درصد افزایش یابد و در سال ۲۰۳۰ به ۱۹۸۶۵ زتا وات برسد [۱].

در ایران نیز انرژی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تولید جایگاه ویژه‌ای در رشد و توسعه اقتصادی دارد. با توجه به تحقیقات انجام‌شده درباره رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی کشور و روند مصرف انرژی [۲]، همچنین آثار زیست محیطی مصرف انرژی [۳]، لزوم توجه به مصرف انرژی در بخش‌های گوناگون و بهینه‌نمودن آن، بیش از پیش احساس می‌شود. مصرف انرژی در ایران طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۷ سالانه به‌طور متوسط ۶/۸۶ درصد رشد داشته [۲] و میزان شاخص مصرف ویژه انرژی<sup>۲</sup> در

غالب صنایع کشور بین ۳۰ تا ۶۰ درصد بیشتر از مقادیر متوسط جهانی بوده است [۴]. حدود ۱۵ درصد از مصرف برق در جهان صرف کاربردهای سرمایه‌ی می‌شود [۵]، در ایران نیز حدود ۲/۵ درصد از برق مصرفی فقط در بخش صنعت، صرف تأمین سرمایه‌ی در فرایندهای گوناگون می‌شود [۶]. نتایج تحقیقات نشان می‌دهند که با صرفه‌جویی در بخش سرمایه‌ی و جایگزینی سیستم‌های تراکمی با سیستم‌هایی که به‌جای انرژی گران‌قیمت برق از سایر انرژی‌های ممکن استفاده می‌کنند، می‌تواند در یک دوره بیست‌ساله حدود ۳۰۰۰ میلیارد ریال صرفه‌جویی به‌همراه داشته باشد [۴].

امروزه سه نوع سیستم سرمایه‌ی تراکمی، جذبی و جتی<sup>۲</sup> وجود دارد [۷]. از حدود ۱۰۰ سال پیش تاکنون، سیستم‌های سرمایه‌ی تراکم بخاری مکانیکی، به‌دلیل ضریب عملکرد بالایشان، رایج‌ترین سیستم‌های سرمایه‌ی بوده‌اند. اما بیشتر این سیستم‌ها از انرژی‌های سطح بالا<sup>۳</sup> همچون الکتریسیته، استفاده می‌کنند که سبب انتشار مقادیر بالایی از دی‌اکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن<sup>۵</sup> و به‌دنبال آن اثرات گلخانه‌ای می‌شوند. علاوه بر این، کلورو فلئورو کربن‌ها<sup>۶</sup>، که در این سیستم‌ها به‌عنوان سیال کاری یا مبرد استفاده می‌شوند، اثرات مخربی بر لایهٔ اُزون ایجاد می‌کنند [۸]. در بسیاری از صنایع، گرمای قابل توجهی در دمای حدود ۸۰ تا ۱۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد و یا کمتر از ۸۰ درجه به‌عنوان گرمای اتلافی به محیط منتقل می‌شود. جدول ۱ دمای کاری صنایع گوناگون را نشان می‌دهد [۹]. توجه داشته باشید که این میزان گرمای اتلافی می‌تواند در سیستم‌های سرمایه‌ی و تهویه مطبوع مورد استفاده قرار گیرد.

سیستم‌های سرمایه‌ی جذبی و جتی، بهترین سیستم‌هایی هستند که می‌توانند برای تأمین سرمایه‌ی مورد نیاز از انرژی گرمایی اتلافی موردنظر استفاده کنند. این سیستم‌ها مشکلات سیستم‌های ترکیبی را ندارند و از انرژی سطح پایین<sup>۷</sup> استفاده می‌کنند. با استفاده از این سیستم‌ها، میزان

الکتریسیتهٔ مورد نیاز کارخانه‌ها برای متراکم‌کردن بخار در یخچال‌های رایج تراکمی کاهش می‌یابد. بنابراین به‌کار بردن گرمای اتلافی در سیستم‌های سرمایه‌ی منجر به کاهش تلفات انرژی و یا به‌عبارت دیگر استفادهٔ مناسب از تلفات، کاهش اثرات زیست‌محیطی ایجادشده در کارخانه‌های تولید انرژی در نیروگاه‌ها و همچنین کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌شود [۱۱]. در این میان، سیستم‌های سرمایه‌ی جذبی، به‌دلیل پیچیدگی و هزینهٔ نصب و نگهداری بالا، فقط در سیستم‌های سرمایه‌ی خاص و بزرگ استفاده می‌شوند [۸]. در حالی که سیستم‌های جتی، در مقایسه با سیستم‌های جذبی، ساخت، استفاده و کنترل راحت‌تری دارند و تنها از یک نوع سیال کاری استفاده می‌کنند [۱۲].

جدول ۱. دمای کاری صنایع گوناگون

صنایع	محدودهٔ دما (درجهٔ سانتی‌گراد)
شیمیایی	۸۰ تا ۱۵۰
غذایی	۴۰ تا ۲۳۰
گچ	۱۶۰ تا ۳۰۰
نساجی	۵۰ تا ۱۵۰
کاغذ و نی‌شکر	۱۲۰ تا ۱۷۵
پلاستیک	۱۲۰ تا ۱۴۵

قلب سیستم‌های سرمایه‌ی جتی اجکتور آنهاست. اجکتور، در سال ۱۹۰۰ م، توسط موریس لوبلان<sup>۸</sup> و پارسون<sup>۹</sup> با هدف جداسازی هوا از کندانسور<sup>۱۰</sup> یک موتور بخار اختراع شد [۱۲]. در سال ۱۹۱۰، یک اجکتور توسط موریس لوبلان در اولین سیستم سرمایه‌ی جتی مورد استفاده قرار گرفت [۱۳]. حدود سال‌های ۱۹۳۰، به‌دنبال استفاده از این سیستم‌ها برای سیستم‌های تهویه مطبوع ساختمان‌های بزرگ، موجی از رضایتمندی نسبت به این‌گونه سیستم‌ها ایجاد شد [۱۴]، اما همان اوائلی که مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی چندان مهم نبود، سیستم‌های تراکم بخاری جایگزین آنها شد. در سال‌های اخیر، به‌دلیل مشکلات

سیستم‌های تراکمی و پیشرفت‌های سیستم‌های جتی در کارایی و سهولت ساخت و استفاده، بار دیگر این سیستم‌ها مطرح شده‌اند [۱۵] و به دلیل مزایای بسیار، مورد استقبال بسیاری از محققان قرار گرفته‌اند [۱۶].

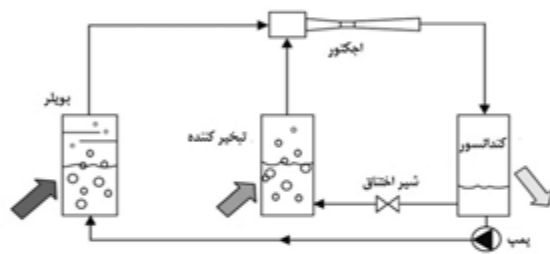
از جمله مزایای این سیستم‌ها می‌توان به نداشتن قطعه متحرک، هزینه ساخت و نگهداری پایین، ارتعاش و نویز کم، طول عمر بالا، سازگاری با محیط زیست، استفاده از انرژی خورشیدی [۱۷] و انرژی زمین‌گرمایی [۱۸] و انرژی‌های اتلافی [۱۹]، استفاده ترکیبی با سایر سیستم‌های سرمایشی [۲۰] و نیروگاه‌ها [۲۱] و استفاده از آب به عنوان مبرد [۲۲] اشاره کرد. سیستم‌های سرمایشی جتی، با وجود چنین مزیت‌هایی، به‌طور کلی هنوز ضریب عملکرد کمتری نسبت به سایر سیستم‌ها دارند و بنابراین برای پذیرش و مقبولیت آنها نیاز است که روی آنها تحقیقات بیشتری در جهت افزایش کارایی و کاهش مصرف انرژی و هزینه انجام شود. در جدول ۲ مقایسه کمی میان سیستم سرمایشی جتی با سیستم تبرید تراکمی انجام شده است [۲۳]. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که به‌کارگیری سیستم‌های سرمایشی جتی به‌جای سیستم‌های سرمایشی تراکمی حدود ۷۰ تا ۲۵۰ درصد صرفه‌جویی در هزینه‌ها را طی یکسال در پی خواهد داشت.

جدول ۲. مقایسه کمی سیستم سرمایشی جتی با سیستم تراکمی

شاخص	سیستم تراکمی	سیستم سرمایشی جتی	درصد کاهش هزینه
مصرف انرژی الکتریکی (کیلووات)	۲/۵	۰/۳	۷۳/۳
هزینه سالانه انرژی (پوند بر ساعت)	۰/۱۸	۰/۰۲۱	۷۵/۷
هزینه سالانه سرویس	۲۴۰	۰	۱۰۰
هزینه سالانه راه‌اندازی	۳۴۸	۱۲/۶	۲۶۶/۲

## سیستم‌های سرمایشی جتی

سیستم‌های سرمایشی اجکتوری مشابه سیستم‌های سرمایشی تراکم بخاری مرسوم هستند، با این تفاوت که برای متراکم کردن بخار مبرد به فشار کندانسور، به‌جای کمپرسور مکانیکی از اجکتور استفاده می‌شود. شکل ۱ نمایشی از سیکل سیستم‌های سرمایشی اجکتوری را نمایش می‌دهد. در حالت کلی این سیستم‌ها شامل بویلر<sup>۱۱</sup>، کندانسور، اجکتور، تبخیرکننده<sup>۱۲</sup>، شیر اختناق<sup>۱۳</sup> و پمپ می‌باشند. با گرم‌آدن به بویلر، بخار با فشار و دمای بالا ایجاد و وارد اجکتور می‌شود و اجکتور شرایطی را فراهم می‌کند تا مبرد موجود در تبخیرکننده تبخیر شود و نهایتاً اثر سرمایشی ایجاد شود.



شکل ۱. نمایش شماتیک از سیکل سیستم‌های سرمایشی جتی

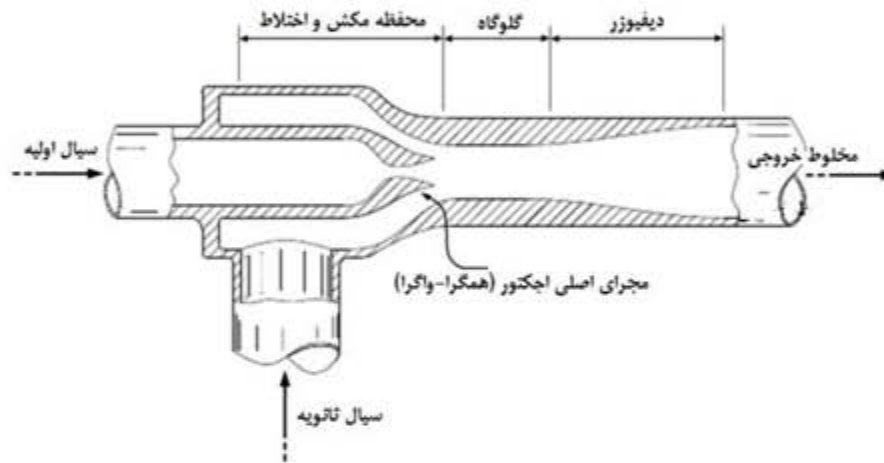
با توجه به اینکه قلب این سیستم سرمایشی، اجکتور است، بنابراین در ابتدا به‌طور جداگانه به بررسی اجکتور می‌پردازیم. سپس سیکل‌های کاری این سیستم‌ها بررسی می‌شود. معرفی شاخص‌های مؤثر در کارایی این سیستم‌ها، منابع تأمین انرژی گرمایی و ترکیبات این سیستم با سایر سیستم‌های سرمایشی از دیگر مطالب مورد بحث می‌باشد.

## نحوه کار اجکتور

اجکتور وسیله‌ای است که از یک سیال سرعت بالا به‌نام سیال اولیه<sup>۱۴</sup> برای مکش و شتاب‌آدن به سیال ثانویه<sup>۱۵</sup> کم‌سرعت استفاده می‌کند. اجکتور با تبدیل انرژی جنبشی اثر تراکمی مناسبی ایجاد می‌کند که به‌همین دلیل این وسیله یک کمپرسور حرارتی به‌حساب می‌آید و لذا گاهی با نام جت پمپ<sup>۱۶</sup> شناخته می‌شود. این وسیله نخستین‌بار

برای سیستم سرمایشی‌ای استفاده شد که از آب و بخار (به‌صورت دوفازی) استفاده می‌کردند و به‌همین دلیل نام دیگر آن جت بخار<sup>۱۷</sup> است. به‌عبارت دیگر، به اجکتوری که به‌صورت دوفازی و عمدتاً در فشار بالاتری نسبت به سایر اجکتورها کار می‌کند، جت پمپ می‌گویند [۲۴]. اجکتور، به‌دلیل ویژگی‌های مهم آن، کاربردهای زیادی در زمینه‌های گوناگون پیدا کرده است که از آن جمله می‌توان به کاربرد وسیع در نیروگاه‌ها، سیستم‌های خشک‌کن، دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن و استفاده از آن به‌عنوان پمپ خلأ و پمپ سیالات خطرناک اشاره کرد. اجکتور مهم‌ترین

و اثرگذارترین قطعه در سیستم‌های سرمایشی جتی است و به‌همین دلیل بسیاری از تحقیقات انجام‌شده پیرامون این سیستم‌ها نیز به این قطعه اختصاص دارند. همان‌گونه که در شکل ۲ نمایش داده شده، یک اجکتور از قسمت‌های متنوعی همچون مجرای اصلی، محفظه مکش، محفظه اختلاط، گلوگاه و دیفیوزر تشکیل شده است. از مجرای اصلی که به‌صورت همگرا - واگراست، برای ورود و شتاب‌دادن به سیال اولیه و از محفظه مکش و اختلاط برای مکش و سپس اختلاط سیال اولیه با سیال ثانویه استفاده می‌شود.



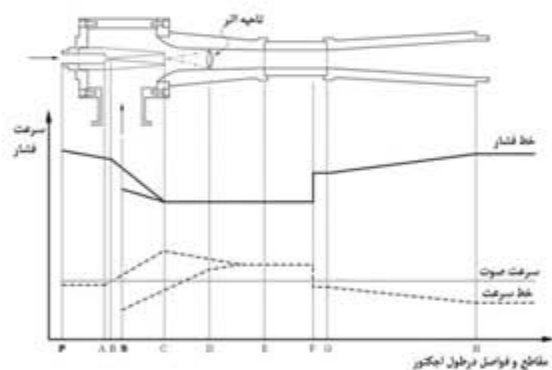
شکل ۲. قسمت‌های گوناگون یک اجکتور

گلوگاه و دیفیوزر نیز برای افزایش فشار به‌کار می‌روند. تئوری حاکم بر اجکتور، به‌عنوان اصلی‌ترین قطعه در سیستم‌های سرمایشی جتی، بسیار مهم و پیش‌زمینه شناخت نحوه کار کل سیستم و اصول حاکم بر آن است. این تئوری، که در ادامه بیان می‌شود، نخستین‌بار به‌صورت یک‌بعدی و فقط به‌صورت تحلیل ریاضی صورت گرفت. در این تحلیل که حدود ۷۰ سال پیش، توسط کینان<sup>۱۸</sup> و همکارانش [۲۵] ارائه شد، از فرض‌های مربوط به دینامیک گاز ایده‌آل و اصول پایستگی جرم، مومنتوم و انرژی استفاده شده بود. البته مدلی که در ابتدا بررسی کرده بودند بسیار ساده و بدون دیفیوزر و از نوع سطح مقطع ثابت بود.

بنابراین مدل دیگری ارائه دادند [۲۶] که از نوع فشار ثابت بود و قسمت دیفیوزر را هم شامل می‌شد. این مدل و تحلیل، با اینکه فرضیات زیادی در آن لحاظ شده است، تقریباً در همه تحقیقات به‌عنوان یک پایه تئوری پذیرفته‌شده به‌کار می‌رود. از فرضیات مهم این تئوری فرض ایده‌آل بودن گاز سیستم است. اما نتیجه تحقیقات بسیاری که با ویژگی‌های گاز حقیقی و به‌کمک دینامیک گازها انجام شده‌اند، نشان می‌دهند که این فرض با خطای کمی همراه است و نتایج حاصل از فرض گاز ایده‌آل با حالت‌های واقعی بسیار مشابه‌اند. البته با توجه به اینکه فشار در محفظه اختلاط بسیار پایین می‌آید و از طرفی گازها در

فشارهای پایین رفتاری مشابه گازهای ایده‌آل دارند، بنابراین این نتیجه چندان هم دور از انتظار نیست.

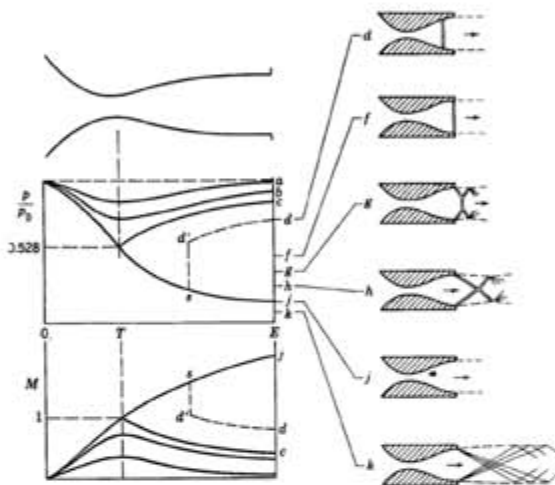
در شکل ۳ تغییرات فشار و سرعت در طول اجکتور نمایش داده شده است. سیال اولیه (P)، که در بویلر گرما گرفته است، با سرعت زیرصوتی و فشار بالا وارد مجرای اصلی اجکتور می‌شود. با عبور سیال اولیه از قسمت همگرایی مجرای اصلی، فشار آن کاهش و سرعت آن افزایش می‌یابد (A-B) تا اینکه در گلوگاه مجرا (B) سرعت آن به سرعت صوت (عدد ماخ یک) می‌رسد. به دلیل اختلاف فشار بسیار زیاد در ورودی و خروجی مجرا، بخش واگرایی آن (B-C) همانند یک نازل عمل می‌کند و از این رو با کاهش فشار امواج شوک و افزایش بیشتر سرعت سیال به مقادیر فراصوتی، عمدتاً عدد ماخ بالای ۲، مواجه خواهیم بود. چون فشار خروجی مجرا از فشار طراحی آن (نقطه طراحی) کمتر است، بنابراین مجموعه‌ای از امواج انبساطی در خروجی مجرا ایجاد می‌شوند. الگوهای گوناگون جریان در خروجی مجرای همگرا - واگرا در شکل ۴ آمده است. جزئیات مربوط به جریان تراکم‌پذیر درون مجرای همگرا - واگرا در کتاب‌های مکانیک سیالات و دینامیک گازها آمده است.



شکل ۳. پروفیل سرعت و فشار در طول اجکتور (تقریبی)

امواج انبساطی سیال اولیه، که به شکل یک داکت همگرا هستند، سبب ایجاد یک ناحیه کم‌فشار در خروجی مجرا و محفظه مکش می‌شوند. امواج انبساطی با این فشار کم به مایع مبرد موجود در تبخیرکننده اجازه می‌دهند تا در دمای

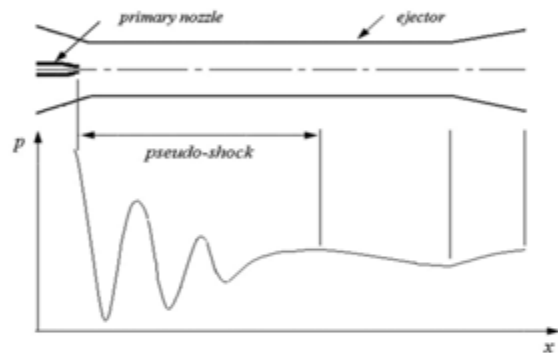
پایین تبخیر شود. مبرد نیز گرمای مورد نیاز برای تبخیر را از محیط اطراف می‌گیرد و به این صورت اثر سرمایشی مناسبی ایجاد می‌کند. بخار تبخیرشده، که سیال ثانویه نامیده می‌شود، به دلیل اختلاف فشار موجود به سمت اجکتور مکیده می‌شود و سرعت آن افزایش و فشار آن کاهش می‌یابد. به دنبال این افزایش سرعت در مقطع D سرعت سیال ثانویه به مقدار صوتی (عدد ماخ یک) می‌رسد و شوک اتفاق می‌افتد. این مقطع ناحیه اثر<sup>۱۹</sup> نامیده می‌شود [۲۷].



شکل ۴. الگوهای گوناگون جریان به همراه فشار و عدد ماخ در طول مجرا در مجرای همگرا - واگرا [۲۸]

محل اختلاط سیال اولیه و ثانویه از جمله پارامترهای مؤثر در کارایی اجکتور است. اثبات شده است که این اختلاط در مقطعی بعد از ناحیه اثر؛ یعنی بعد از شوک جریان ثانویه، شروع می‌شود [۲۷]. اما مکان ناحیه اثر و اختلاط ثابت نیست و بسته به شرایط کاری اجکتور متفاوت می‌باشد [۲۸ - ۲۹]. همان‌طور که در نمودار سرعت، در شکل ۴، نمایش داده شده است، از مقطع D با شروع اختلاط، سرعت سیال اولیه کم و سرعت سیال ثانویه زیاد می‌شود، تا اینکه دو سیال در انتهای محفظه اختلاط کاملاً با هم مخلوط می‌شوند. سیال مخلوط دارای سرعت فراصوتی است و به دلیل اختلاف فشار زیاد با خروجی اجکتور، در گلوگاه و در نواحی نزدیک به دیفیوزر (F) دچار شوکی

می‌شود که می‌توان آن را در شرایط ایده‌آل یک شوک قائم به حساب آورد. اما در واقعیت مجموعه‌ای از شوک‌های مایل و تکراری ایجاد می‌شوند. این شوک‌ها رژیم‌های پیچیده‌ای ایجاد می‌کنند که به مجموعه آنها از خروجی اجکتور به بعد شبه‌شوک<sup>۲۰</sup> می‌گویند [۳۰]. در شکل ۵ محل وقوع این شوک‌ها نمایش داده شده است، البته این ناحیه و جزئیات آن با توجه به شرایط کاری تغییر می‌کند. جزئیات بیشتری در مرجع [۳۱] آمده است.



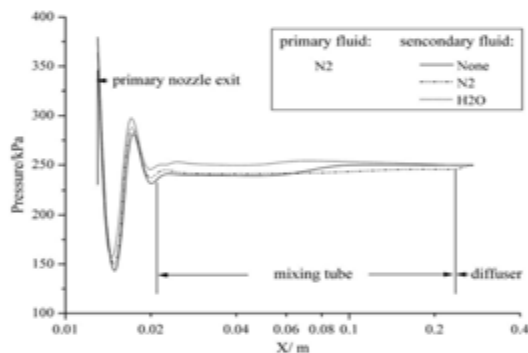
شکل ۵. فشار در طول خط مرکزی اجکتور [۳۰]

این شوک‌ها سبب ایجاد افت ناگهانی سرعت به مقادیر زیرصوتی و افزایش فشار قابل ملاحظه‌ای می‌شوند. در نهایت با عبور مخلوط زیرصوتی از دیفیوزر، اثر تراکمی دیگری نیز با تبدیل انرژی جنبشی حاصل خواهد شد.

## انواع اجکتورها

اجکتورها از نظر هندسی و سیال کاری به انواع گوناگونی تقسیم می‌شوند. یکی از مهم‌ترین تقسیم‌بندی‌ها، تقسیم‌بندی براساس هندسه ناحیه اختلاط اجکتور است. بر این اساس، اجکتورها به دو نوع اجکتور اختلاط فشار ثابت و اجکتور با اختلاط در سطح مقطع ثابت تقسیم می‌شوند. اجکتوری که در آن خروجی نازل؛ یعنی ناحیه‌ای که فرایند اختلاط صورت می‌گیرد، دارای حجم ثابت باشد را اجکتور سطح مقطع ثابت می‌نامند. اما اجکتوری که در آن فرض می‌شود فرایند اختلاط در فشار استاتیکی ثابتی رخ دهد، اجکتور فشار ثابت نامیده می‌شود. اجکتوری که برای بیان

تئوری کینان بررسی شد، از نوع فشار ثابت بود. مقاطع C تا F از شکل ۳ ناحیه فشار ثابت را نشان می‌دهند. هر دو نوع از این اجکتورها از جهات گوناگون بررسی شده‌اند و براینده تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهند که هرچند اجکتور سطح مقطع ثابت مقادیر بیشتری از سیال ثانویه را می‌مکد [۳۲]، اما اجکتورهای فشار ثابت دارای کارایی بیشتری هستند و به همین دلیل امروزه بیشتر از این نوع اجکتورها استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که نتایج تحقیقات انجام‌شده [۲۸، ۳۱ و ۳۲] نشان می‌دهند که فرض ثابت بودن فشار در اجکتورهای با اختلاط فشار ثابت، چندان هم دور از واقعیت نیست. برای نمونه، پروفیل فشار محاسبه‌شده توسط مرجع [۳۱] در شکل ۶ آمده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، تغییرات فشار در محفظه اختلاط بسیار کم است.



شکل ۶. پروفیل فشار سیال اولیه و ثانویه در طول اجکتور [۳۱]

نوع دیگر تقسیم‌بندی اجکتورها، تقسیم‌بندی براساس نوع شوک ایجادشده در آنهاست. همچنین اجکتورها را از نظر سیال کاری به سه نوع گاز - گاز، مایع (دوفازی) و مایع - مایع تقسیم‌بندی می‌کنند. نوع دیگر تقسیم‌بندی اجکتورها، نازل ثابت و متغیر است. گاهی برای انجام آزمایش‌های تجربی و یا برای به‌دست آوردن شرایط کاری بهینه، محل قرارگیری نازل اصلی اجکتور را می‌توان به‌صورت متغیر ساخت. در این نوع اجکتورها اطراف نازل مانند پیچ درون اجکتور قرار می‌گیرد و می‌تواند به‌صورت محوری حرکت کند. بررسی مفصلی توسط سریوراکال<sup>۲۱</sup> و

همکارانش [۳۲] در مورد هندسه مجرای اصلی اجکتور صورت گرفته است.

### جمع‌بندی

از مزایای اصلی سیستم‌های سرمایشی جتی می‌توان به نداشتن قطعه متحرک، هزینه ساخت و نگهداری پایین، ارتعاش و نویز کم، طول عمر بالا، سازگاری با محیط زیست، استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی زمین‌گرمایی و انرژی‌های اتلافی، استفاده ترکیبی با سایر سیستم‌های سرمایشی و نیروگاه‌ها و استفاده از آب در آنها به عنوان مبرد اشاره کرد. این سیستم‌ها با وجود مزیت‌های مذکور، هنوز ضریب عملکرد کمتری نسبت به سایر سیستم‌ها دارند و فقط از یک نوع سیال کاری استفاده می‌کنند.

### مآخذ

- [1] E. A. Abdelaziz, R. Saidur, and S. Mekhilef, "A review on energy saving strategies in industrial sector," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, 2011, pp. 150-168.
- [۲] آرمن، س. ع.، زارع، ر.، بررسی رابطه علیت گرنجری بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۴۶، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، س. ۷، ۱۳۸۴، ص. ۱۱۷-۱۴۳.
- [۳] بهبودی د.، برقی گلذانی ا.، اثرات زیست محیطی مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران، *فصلنامه اقتصاد مقداری*، س. ۵، ۱۳۸۷، ص. ۳۵-۵۳.
- [۴] صادق زاده س. م. ا.، برنامه‌ریزی یک‌پارچه راهکارهای صرفه‌جویی مصرف انرژی در بخش صنعت کشور، *فصلنامه مطالعات اقتصادی ایران*، س. ۵، ۱۳۸۷، ص. ۸۹-۱۱۲.
- [5] L. Lucas, IIR news, *Int J Refrigeration* 21 (2) (1988) 88.

[۶] بازنگری و اصلاح برنامه جامع بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش صنعت کشور، دفتر بهبود بهره‌وری و اقتصاد برق و انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۸۶.

- [7] Sun D-W. Evaluation of a combined ejector-vapour-compression refrigeration system. *Int J Energy Res*, pp. 22-333, 1998.
- [8] Li C. H., Wang R. Z., and Lu Y. Z., "Investigation of a novel combined cycle of solar powered adsorption-ejection refrigeration system," *Renewable Energy*, vol. 26, pp. 611-622, 2002.
- [9] Demeter, C., Gray, E., Carwile, C., 1990. Estimating the Potential for Solar Thermal Applications in Industrial Process Heat Market (1990e2030). Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., USA.
- [10] Chunnanond K. and Aphornratana S., "Ejectors: applications in refrigeration technology," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 8, pp. 129-155, 2004.
- [11] Aphornratana S. and Eames I. W., "A small capacity steam-ejector refrigerator: experimental investigation of a system using ejector with movable primary nozzle," *International Journal of Refrigeration*, vol. 20, pp. 352-358, 1997.
- [12] ASHRAE, Steam-jet refrigeration equipment, *ASHRAE Guide and Data Book*, ASHRAE, USA (1969) Ch. 13
- [13] Gosney WB, *Principle of refrigeratio*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982.
- [14] Stoecker WF. , *Refrigeration and air conditioning*, New York, McGraw-Hill, 1959.
- [15] Eames I. Aphornratana W., S., and Haider H., "A theoretical and experimental study of a small-scale steam jet refrigerator," *International Journal of Refrigeration*, vol. 18, pp. 378-386, 1995.



plants," *Fuel and Energy Abstracts*, vol. 43, no. 4, p. 274, Jul. 2002.

- [25] White F. M., "Fluid Mechanics," 5th ed., New York: McGraw-Hill, 2007, pp. 598–603.
- [26] Fox R. W., A. T. McDonald, and Philip J. Pritchard, "Introduction to Fluid Mechanics," 6th ed., New York: John Wiley & Sons, 2004, pp. 589–616.
- [27] Huang B. J., Jiang C. B., and Hu F. L., "Ejector Performance Characteristics and Design Analysis of Jet Refrigeration System," *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 107, no. 3, pp. 792–802, Jul. 1985.
- [28] Huang B. J. and Chang J. M., "Empirical correlation for ejector design," *International Journal of Refrigeration*, vol. 22, no. 5, pp. 379–388, Aug. 1999.
- [29] Matsuo K., Miyazato Y., and Kim H. D., "Shock train and pseudo-shock phenomena in internal gas flows," *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 35, pp. 33–100, 1999.
- [30] Li C. and Li Y. Z., "Investigation of entrainment behavior and characteristics of gas-liquid ejectors based on CFD simulation," *Chemical Engineering Science*, vol. 66, no. 3, pp. 405–416, 2011.
- [31] Sriveerakul T., Aphornratana S., and Chunnanond K., "Performance prediction of steam ejector using computational fluid dynamics: Part 1. Validation of the CFD results," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 46, no. 8, pp. 812–822, 2007.
- [32] Keenan J.H., Neumann E.P., and Lustwerk F., and Mass C., "An investigation of ejector design by analysis and experiment," *ASME J ApplMechTrans*, vol. 72, pp. 299–309, 1950.
- [33] Ruangtrakoon N., Aphornratana S., and Sriveerakul T., "Experimental studies of a steam jet refrigeration cycle: Effect of the primary nozzle geometries to system
- [16] He S., Li Y., and Wang R. Z., "A new approach to performance analysis of ejector refrigeration system using grey system theory," *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, pp. 1592-1597, 2009.
- [17] Ma X., Zhang W., Omer S. A., and Riffat S. B., "Experimental investigation of a novel steam ejector refrigerator suitable for solar energy applications," *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 1320-1325, 2010.
- [18] Dai Y., Wang J., and Gao L., "Exergy analysis, parametric analysis and optimization for a novel combined power and ejector refrigeration cycle," *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, pp. 1983-1990, 2009.
- [19] Meyer A. J., Harms T. M., and Dobson R. T., "Steam jet ejector cooling powered by waste or solar heat," *Renewable Energy*, vol. 34, pp. 297-306, 2009.
- [20] Liu Y., Xin T., Cao L., Wan C., and Zhang M., "Compression-injection hybrid refrigeration cycles in household refrigerators," *Applied Thermal Engineering*, vol. 30, pp. 2442-2447, 2010.
- [21] Alexis G. K., "Performance parameters for the design of a combined refrigeration and electrical power cogeneration system," *International Journal of Refrigeration*, vol. 30, pp. 1097-1103, 2007.
- [22] Butterworth M. D. and Sheer T. J., "High-pressure water as the driving fluid in an ejector refrigeration system," *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, pp. 2145-2152, 2007.
- [23] Chen J., Palm B., and Lundqvist P., "Ejector Cooling System" *Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration*, Royal Institute of Technology, Sweden.
- [24] Klochenko V. S. and Karamanyan A. K., "Use of steam-gas ejector for improvement of capacity and explosion safety of pulverization systems in thermal power



8. Maurice Leblanc
9. Parson
10. Condenser
11. Boiler
12. Evaporator
13. Expansion valve (Throttling device)
14. Motive/Primary fluid
15. Secondary fluid
16. Jet pump
17. Steam jet
18. Keenan
19. Effective area/position
20. Pseudo-Shock
21. Sriveerakul

performance,” *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 35, no. 4, pp. 676–683, 2011.

پی نوشت

1. Zettawatt (ZW)
2. Specific Energy Consumption
3. Steam Jet Ref. Systems
4. High-Grade Energy
5. NOx
6. Chlorofluorocarbons
7. Low-Grade Energy

**مرکز آموزش جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر**

**برگزاری کنده**

**دوره های آموزشی نرم افزارهای طراحی مهندسی . ساخت و تولید به کمک کامپیوتر**

**دوره های تخصصی مهندسی مکانیک**  
 Catia 511, Ansys9, Carrier, CNC, CadWorx, Auto Plant

**دوره های تخصصی مهندسی برق**  
 Protele, Matlab, LabView, Orcad

**دوره های تخصصی مهندسی صنایع**  
 مدیریت و کنترل پروژه, MSP, SPSS, Primavera

**SolidWorks, Pro/E, PowerMILL, powerShape**

**Pro/ENGINEER**

**Mechanical Desktop**

**Solid Works**

**Matlab**

**Auto cad**

**ANSYS**

**Fluent – Gambit**

**Surf CAM**

**Power MILL**

**Edge CAM**

**CATIA**

**آماده برگزاری دوره های آموزشی جهت مراکز، موسسات و کارخانجات**

آدرس: خیابان حافظ، روبروی دانشگاه صنعتی امیر کبیر، کوچه آرژانتین، پلاک ۲  
 نرس: ۸۸۸۰۷۰۰۸ تلفن: ۸۸۸۹۲۱۴۴، ۸۸۸۹۵۹۶۹

مهندسی مکانیک / شماره ۱۹ / سال بیست و دوم / ۱۳۹۱