

تأثیر انسداد چگالنده و عرض طوفه واحد بیرونی کولر گازی دوتکه (واحد تقطیر) بر مشخصه‌های جریان انرژی

سید عبدالله منصوری مهریان^{۱*}، سید سعید بحرینیان^۲ و فرشاد مرادی کشکولی^۳

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، پاشگاه پژوهشگران جوان، واحد یاسوج، یاسوج، ایران

^۲ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۳ دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

دریافت: بهار ۹۶ پذیرش: تابستان ۹۶

چکیده

در این مطالعه، تأثیر ارتفاع طوفه واحد بیرونی یک کولر گازی دوتکه (واحد تقطیر) و همچنین انسداد چگالنده بر مشخصه‌های جریان عبوری از واحد بیرونی بررسی شده است. چگالنده لوله‌ای پرهدار فشرده در واحد بیرونی با فرض محیط متخلخل، مدل سازی و شبیه‌سازی شده است. چارچوب مرجع چندگانه برای شبیه‌سازی دوران فن جریان محوری استفاده گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که انحراف در اندازه عرض طوفه از حالت طراحی، روی شکل گردابه‌های نوک فن و همچنین گردابه‌های داخلی تأثیر گذار است. وجود طوفه می‌تواند از جریان هوای چرخشی خارج از فن و همچنین پخش جریان هوا جلوگیری کند و باعث کاهش اتلاف نرخ خروجی از واحد شود. با افزایش عرض طوفه (نسبت به حالت طراحی) ضربی شدت جریان، بازده (عملکرد مفید) و شدت توربولانسی (عملکرد زیان‌بار) افزایش می‌یابد. همچنین، کاهش ضربی بی بعد شدت جریان، کاهش بازده و افزایش شدت توربولانسی را به همراه دارد. از طرف دیگر انسداد چگالنده سبب کاهش ضربی بی بعد جریان و افزایش ضربی فشار کل می‌شود.

* عهده‌دار مکاتبات: a.mansuri1366@gmail.com

کلمات کلیدی: واحد بیرونی کولر گازی دوتکه، فن جریان محوری، محیط متخلخل، انسداد چگالنده، ارتفاع طوفه

۱- مقدمه

نتایج شبیه‌سازی عددی و همچنین نتایج تجربی، یک انحراف بهینه بر اساس میزان نویز تولیدی توسط واحد بیرونی به دست آمد. آن‌ها همچنین نشان دادند که شکستگی دوطرفه‌ی طوفه، عملکرد آیروپیونامیک را بهبود و نویز تولید شده را کاهش می‌دهد.

نادران و بحرینیان [۲] با استفاده از نرم‌افزارهای طراحی به کمک کامپیوتر و دینامیک سیالات محاسباتی، تأثیر نسبت فشار بر مشخصه‌های عملکرد یک توربین ساعی دوقلو را بررسی کردند. برای گسسته‌سازی ناحیه محاسباتی، سلول‌های چهاروجهی بی‌سازمان مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که در سرعت دورانی ثابت، افزایش نسبت فشار باعث افزایش نرخ دبی جرمی تا حد خفگی توربین خواهد شد، حال آن که نسبت بازده کل به بازده استاتیک، کاهش و گشتاور خروجی توربین، افزایش می‌یابد.

ژو و همکاران [۴] نویز تولید شده به دلیل اثر متقابل پره روتور و بادگیر خروجی را بررسی کردند. آن‌ها برای شناخت منابع نویز ترکیب معادلات ناویر-استکس با نویز تولید شده آئی و روش تابش را مورد استفاده قرار دادند. مقایسه نتایج عددی با سطوح نویز اندازه‌گیری شده، اعتبار شبیه‌سازی عددی را نشان داد. تیان و همکاران [۵] عملکرد آیروآکوستیک و آیروپیونامیک واحد بیرونی کولر گازی دوتکه با دو نوع مختلف از پنجره‌ی مشبك را مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه‌های تجربی

با توسعه دینامیک سیالات محاسباتی، این تکنولوژی به صورت گسترده برای تولید محصولاتی مانند توربوماشین‌ها، وسایل نقلیه و هوایپیما به کار برده شده است. این مقاله یک توربوماشین خاص، واحد بیرونی کولر گازی دوتکه، را مورد بررسی فرار می‌دهد و تأثیر عرض طوفه واحد بیرونی و همچنین انسداد چگالنده را روی مشخصه‌های جریان عبوری از واحد بررسی می‌کند. شکل و عرض طوفه واحد روی سطح صدای تولید شده تأثیر گذار است. از طرفی، گرفتگی مجرای‌های عبور هوا از چگالنده کولر گازی (فاصله‌ی بین پره‌های چگالنده) سبب می‌گردد که جریان هوای کافی جهت تبادل حرارتی وجود نداشته باشد و این امر به نوبه‌ی خود بازدهی دستگاه را به شدت کاهش می‌دهد. مصرف انرژی به واسطه رسوب گرد و خاک در چگالنده می‌تواند تا ۳۷٪ درصد نسبت به چگالنده تمیز افزایش یابد [۱]. تحقیقات زیادی در زمینه شبیه‌سازی جریان داخلی عبوری از توربوماشین‌ها از جمله واحد بیرونی کولر گازی دوتکه صورت گرفته است.

هو و دینگ [۲] تأثیر شکستگی طوفه واحد بیرونی یک کولر گازی دوتکه را روی نویز تولید شده توسط واحد بیرونی بررسی کردند. بر اساس

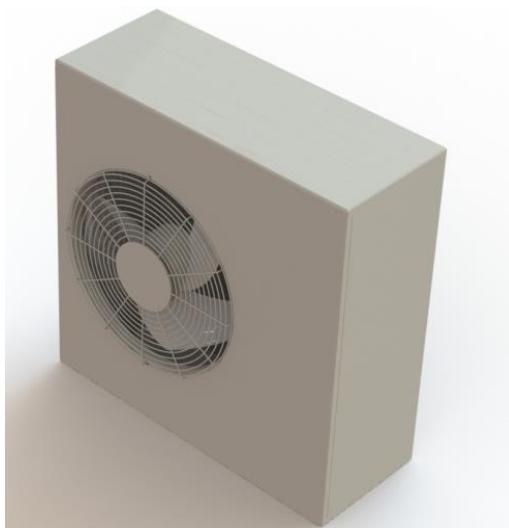
۲- مدلسازی هندسی

مدل سازی هندسی با اندازه گیری ابعاد، با استفاده از ابر نقاط و استفاده ای همزمان از نرم افزار طراحی به کمک کامپیوتر سالیدورکس صورت پذیرفته است. برای مدل سازی هندسی فن، برای افزایش دقت ابعاد اندازه گیری شده، تیغه فن در چند مقطع برش داده شد و اطلاعات آن در تولید مدل هندسی استفاده گردید. فن جریان محوری کولر گازی از نوع جریان محوری پروانه ای است. این نوع از فن ها برای حجم زیاد هوا و اختلاف فشار استاتیک کم استفاده می شوند. شکل ۳ نمای رو برو و پشت فن جریان محوری را نشان می دهد.



شکل ۲: نمای های مختلف مدل هندسی فن جریان محوری

همچنین سایر اجزای دیگر واحد بیرونی شامل بادگیر خروجی هوا، موتور الکتریکی و بدنه واحد بیرونی با اندازه گیری مستقیم ابعاد و انتقال داده ها به نرم افزار تولید مدل هندسی تولید شده است. مدل هندسی نهایی تولید شده در شکل ۳ و نمایی از طوche واحد بیرونی همراه با فن جریان محوری در شکل ۴ نشان داده شده است. باید توجه داشت که در این تحقیق با توجه به اهداف مورد نظر، جهت ساده سازی فرایند شبیه سازی، از حضور بادگیر خروجی مدل شبیه سازی شده صرف نظر شده است.



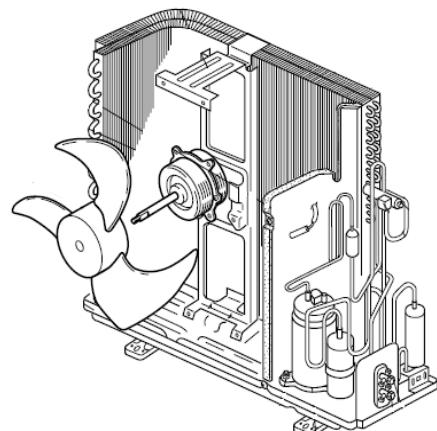
شکل ۳: مدل هندسی سه بعدی واحد بیرونی کولر گازی مورد مطالعه

نشان دادند که پنجره هی مشبک نوک تیز بر نرخ جریان تأثیر می گذارد و سطح صدای واحد بیرونی را افزایش می دهد. زائو و همکاران [۶] به منظور بهبود عملکرد آیرودینامیک و کاهش سر و صدا در واحد بیرونی یک کولر گازی، یک روش ترکیبی از دینامیک سیالات محاسباتی و آنالیز آیروآکوستیک محاسباتی را توسعه دادند. آن ها در تحلیل آیرودینامیک از مدل ویلیامز-هاوکینگز استفاده کردند. نتیجه های عددی آیروآکوستیک از مدل ویلیامز-هاوکینگز استفاده کردند. نتیجه های عددی نشان داد که متابع اصلی صدا به طور عمده در لبه فرار و نوک تیغه، پوشش جزئی اطراف فن و سطوح داخلی پوسته قرار دارد. آن ها با حل عددی و آزمایش های تجربی نشان دادند که تغییر هندسه هی تیغه فن برای کاهش سر و صدای تولیدی موثر خواهد بود.

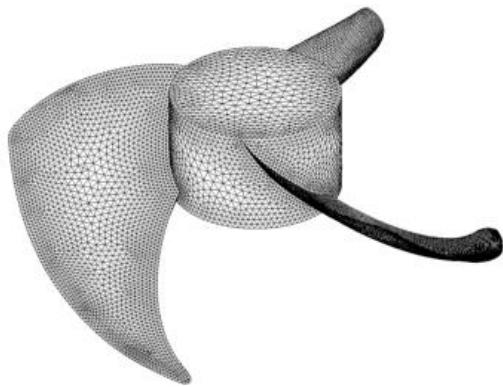
بخشیش و بحرینیان در زمینه هی مدل سازی و شبیه سازی جریان به بررسی یک توربومپ گریز از مرکز با هندسه هی پیچیده و مجھول پرداختند. آن ها با استفاده از ترکیب روش های اندازه گیری مستقیم و غیر مستقیم، هندسه هی پیچیده یک پمپ گریز از مرکز را به دست آور دند. روش آن ها استفاده از الگوی هندسی، قالب گیری، اندازه گیری با ابزاری مانند کولیس، پیستوله و همچنین استفاده هی همزمان از نرم افزار های طراحی به کمک کامپیوتر بوده است. آن ها سپس جریان سیال لزج درون بروانه را بررسی و شبیه سازی کردند. آن ها همچنین به بررسی فضاهای وamanده ی چرخشی درون پروانه هی پمپ گریز از مرکز پرداختند [۷].

لیو و وو [۸] به صورت عددی، بهبود ساختاری بادگیر خروجی واحد بیرونی یک کولر گازی دو تکه را بررسی کردند. صحبت نتایج عددی با استفاده از داده های تجربی نشان داده شد. ساختار بادگیر با استفاده از شبیه سازی عددی میدان جریان بهبود بخشیده شد و این بهبود نرخ جریان را افزایش و شدت توربولانسی را کاهش داد.

در تحقیق حاضر، ابتدا مدل هندسی واحد بیرونی کولر گازی MUH-A30VD مدل Mr.Slim 30000 دو تکه به کمک دینامیک سیالات محاسباتی جریان داخلی پایدار لزج سپس به کمک شبیه سازی شده است. نمای شماتیک واحد بیرونی کولر گازی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. ابعاد کولر گازی مورد مطالعه $840 \times 330 \times 850$ میلی متر می باشد.



شکل ۱: شماتیک واحد بیرونی کولر گازی مورد مطالعه [۹]



شکل ۶: شبکه‌های محاسباتی روی سطح فن

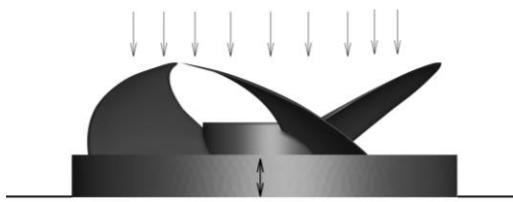
۴- معادلات حاکم و روش عددی

به علت سرعت دورانی پایین فن جریان محوری در واحد بیرونی کولر گازی دوتکه، جریان غیرقابل تراکم فرض شده است. معادلات حاکم بر جریان سیال، معادلات ناویر-استوکس سه بعدی بوده که ماهیتی دیفرانسیلی دارند. برای شبیه‌سازی انتشارات موجود از مدل دو معادله‌ای Realizable k-ε استفاده شده است. برای حل معادلات حاکم بر جریان حل گر دینامیک سیالات محاسباتی فلئوئنت بر پایه حجم محدود استفاده شده است. در جریان تراکم‌ناپذیر هیچ معادله‌ی مستقلی برای توزیع فشار وجود ندارد. برای حل همزمان معادلات حاکم، ترکیب بین فشار و سرعت مختلفی برای حل همزمان سرعت و فشار ارائه شده است [۱۰]. در این تحقیق از الگوریتم حل همزمان سرعت و فشار سیمپل استفاده شده است. هم‌چنین، چارچوب مرجع چندگانه برای شبیه‌سازی دوران فن جریان محوری استفاده شد.

مدل محیط متخلخل برای شبیه‌سازی مقاومت چگالنده در مقابل جریان سیال استفاده شده است. جریان عبوری از محیط متخلخل برای اولین بار توسط دارسی، با در نظر گرفتن نیروی ویسکوز در جامد مورد بررسی قرار گرفت. اگرچه معادله‌ی دارسی تنها روی نیروی ویسکوز تمرکز دارد، نادیده گرفتن نیروی اینرسی سبب افزایش سرعت می‌گردد. جزوF و همکاران معادله‌ی دارسی- فورچیم را پیشنهاد دادند که شامل هر دو ترم نیروی ویسکوز و نیروی اینرسی است [۱۳]. افت فشار در چگالنده با رابطه‌ی (۱) به دست می‌آید:

$$\Delta p = - \left(\frac{\mu}{k} U + C_2 \frac{1}{2} \rho U^2 \right) \times \Delta m \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق، اولین عبارت سمت راست معادله، همان معادله‌ی دارسی است و دومین عبارت سمت راست، ترم افت اینرسی است. در رابطه‌ی (۱)، μ ویسکوزیته‌ی دینامیکی، k نفوذپذیری محیط متخلخل، C_2 ضربی پرش متخلخل، U سرعت عمود بر وجه محیط متخلخل و Δm ضخامت محیط متخلخل می‌باشد.



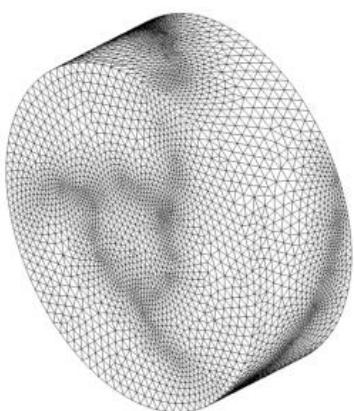
شکل ۴: نمایی از طوقه واحد بیرونی همراه با فن

۳- تولید شبکه

تولید شبکه محاسباتی یکی از مهم‌ترین و زمان برترین بخش‌های شبیه‌سازی عددی است. در مسایل ماشین‌های دوران، از آنجا که دیواره‌ها و پره‌ها دارای انحنای زیاد هستند، شبکه بی‌سازمان با سلول‌های چهار و چهی اگرچه زمان حل را نسبت به شبکه باسازمان افزایش می‌دهد، اما تطبیق بهتری با هندسه دارد و برای هندسه‌های پیچیده این قابلیت را دارد که با تعداد سلول کمتر، انحنای جسم را به طور مطلوب ایجاد کند. این امر هزینه‌های محاسباتی را به میزان زیادی کاهش می‌دهد [۱۲-۱۰]. بنابراین به دلیل کارآیی مناسب شبکه‌های بی‌سازمان، در نواحی با هندسه‌های پیچیده از این نوع شبکه برای گسترش‌سازی میدان محاسباتی استفاده شده است.

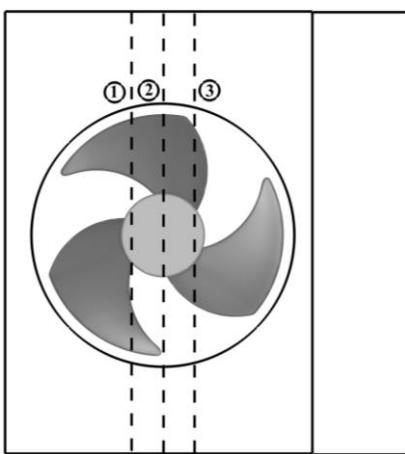
به منظور دست‌یابی به یک حل عددی دقیق و منطقی، ناحیه‌ی بالادست ورودی واحد بیرونی و پایین دست خروجی واحد در دامنه‌ی محاسباتی کل منظور گردیده است. به دلیل هندسه پیچیده حاکم بر نواحی اطراف فن جریان محوری، این دامنه با شبکه‌ی چهار و چهی بی‌سازمان، با نرم‌افزار تولید شبکه‌ی گمبیت، به سلول‌های محاسباتی گسترش شده است.

شبکه‌های محاسباتی واحد بیرونی به دو ناحیه‌ی چرخان و ثابت تقسیم شده‌اند. بخش چرخان شبکه‌ها، یک ناحیه‌ی استوانه‌ای است که در شکل ۵ نشان داده شده است و شامل ۳۷۹۴۰۰ سلول است. بخش دیگر (فضای بین ناحیه چرخان و سطح خارجی واحد)، شامل یک ناحیه‌ی ثابت بدون چرخش است که تعداد ۲۲۷۴۵۰ سلول برای گسترش‌سازی آن استفاده شده است. نواحی پایین دست جریان خروجی و بالادست جریان ورودی واحد بیرونی به ترتیب شامل ۷۱۱۶۸ و ۲۹۶۰۹ سلول است. شبکه‌ی تولید شده روی سطح فن در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۵: شبکه‌های محاسباتی ناحیه چرخان

۵- نتایج



شکل ۸: موقعیت صفحات طولی

مقدار سرعت محوری با سرعت نوک پره فن بی بعد شده است. صفحات ۱ و ۲، از لبه‌ی نوک پره فن عبور می‌کنند حال آن که صفحه ۳ از لبه‌ی فار پره عبور می‌کند. در شکل‌های ۹ دو نوع از گردابه‌ها دیده می‌شود: گردابه‌های داخلی و گردابه‌های نوک پره. گردابه‌های نوک به صورت گسترشده در فن‌های جریان محوری که به صورت جزئی توسط طوقه احاطه می‌شوند، وجود دارد [۱۴]. این گردابه‌ها به دلیل اختلاف فشار بین سطح فشار و سطح مکش پره تشکیل می‌شوند. گردابه‌های شکل گرفته در نیمه بالایی صفحات ۱ و ۲ اطراف نوک فن از این نوع گردابه‌ها می‌باشند. همان‌گونه که شکل نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع گردابه‌ها، اندازه گردابه‌های نوک کاهش می‌یابد. نوع دوم گردابه‌ها، گردابه‌های داخلی، به دلیل اندرکنش میان سرعت شعاعی و سطوح جامد واحد بیرونی شکل می‌گیرد. از جمله‌ی این گردابه‌ها می‌توان به گردابه‌های شکل گرفته در نیمه بالایی صفحه ۳ اطراف لبه‌ی فرار اشاره کرد. در صفحه ۱ همچنان که عرض طوقه واحد افزایش می‌یابد، اندازه‌ی گردابه‌های داخلی شکل گرفته در نیمه پایینی کاهش می‌یابد و مرکز گردابه به سمت صفحه جلویی واحد حرکت می‌کند. از طرفی در این صفحه برای طوقه با ارتفاع ۵/۵ و ۷ سانتی‌متر، گردابه‌ای داخلی در نیمه بالایی صفحه در حدفاصل طوقه و بدنه واحد مشاهده می‌شود. در صفحه ۲ همچنین با افزایش ارتفاع طوقه، اندازه گردابه‌های داخلی کاهش می‌یابد. در این صفحه، به علت اندرکنش سرعت و طوقه، گردابه‌هایی در خروجی، در فضای بین ورودی و خروجی طوقه تشکیل می‌گردند. در صفحه ۳ با افزایش ارتفاع طوقه، اندازه گردابه‌های داخلی کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در ارتفاع طوقه ۵/۵ و ۷ سانتی‌متر متوجه گردابه‌های داخلی شکل گرفته در نیمه پایینی در ارتفاع صفر و ۳/۵ سانتی‌متر که به صورت ناقص توسعه یافته‌اند، از بین می‌روند.

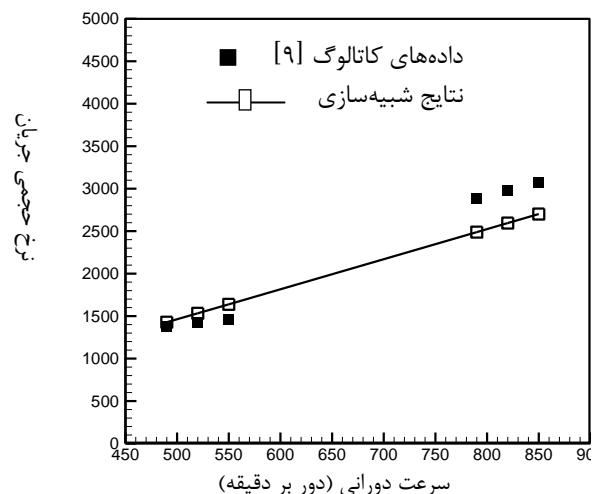
برای توصیف بهتر تأثیر ارتفاع طوقه (یا انسداد چگالنده)، پارامترهای بی بعد آیرودینامیک ضریب بی بعد شدت جریان ϕ ، ضریب فشار کل ۷ و بازده η به صورت زیر تعریف می‌گردند [۱۵].

$$\phi = \frac{4q}{\pi D^2 u}, \quad \psi = \frac{2\Delta p_t}{\rho u^2}, \quad \eta = \frac{q\Delta p_t}{T\omega} \quad (2)$$

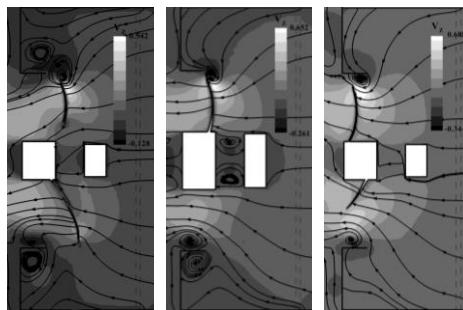
معادلات شبیه‌سازی عددی جریان عبوری از واحد بیرونی یک کولر گازی دو تکه با استفاده از نرم‌افزار Flownet و به کار بردن روش چارچوب مرجع چندگانه صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی عددی نرخ حجمی جریان در سرعت‌های دورانی مختلف به همراه داده‌های مرجع [۹] در شکل ۷ نشان داده شده است. متوسط اختلاف میان دیجیتی حجمی به دست آمده از حل عددی و داده‌های مرجع، $10/3$ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد شبیه‌سازی عددی از دقت قابل قبولی برخوردار است. در ادامه ابتدا تأثیر ارتفاع طوقه و سپس انسداد چگالنده روی مشخصه‌های جریان عبور از واحد تقطیر بررسی شده است.

۱- تأثیر عرض طوقه روی مشخصه‌های جریان

در سال‌های اخیر، محققانی نشان داده‌اند که شکل طوقه واحد بیرونی یک کولر گازی دوتکه می‌تواند بر روی پارامترهای آیرودینامیک تأثیرگذار باشد [۲]. در این مطالعه، تأثیر ارتفاع طوقه روی مشخصه‌های جریان بررسی شده است. شبیه‌سازی جریان در چهار ارتفاع طوقه‌ی ۰، ۳/۵ و ۵/۵ و ۷ سانتی‌متر و سرعت‌های دورانی پایین (۴۹۰ دور بر دقیقه) و بالا (۸۵۰ دور بر دقیقه) برای فن انجام شده است. عرض طوقه ۳/۵ سانتی‌متر حالت طراحی سیستم می‌باشد. خطوط جریان در سه صفحه طولی گذرنده از واحد، برای طوقه با ارتفاع‌های مختلف نمایش داده شده است. شکل ۸، موقعیت صفحات طولی را نشان می‌دهد. صفحه ۲ از میانه فن جریان محوری عبور می‌کند و صفحات ۱ و ۳ در فاصله‌های یکسانی از میانه فن در سمت چپ و راست میانه فن قرار دارند. خطوط جریان و سرعت محوری بدون بعد روزی این صفحات در شکل ۹ نشان داده شده است.

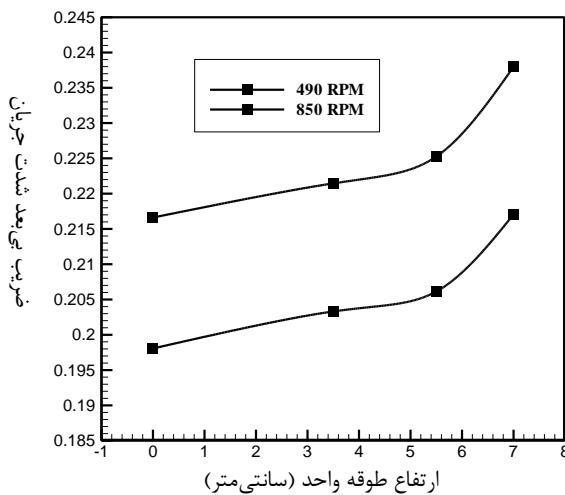


شکل ۷: تغییرات نرخ حجمی جریان بر حسب سرعت دورانی

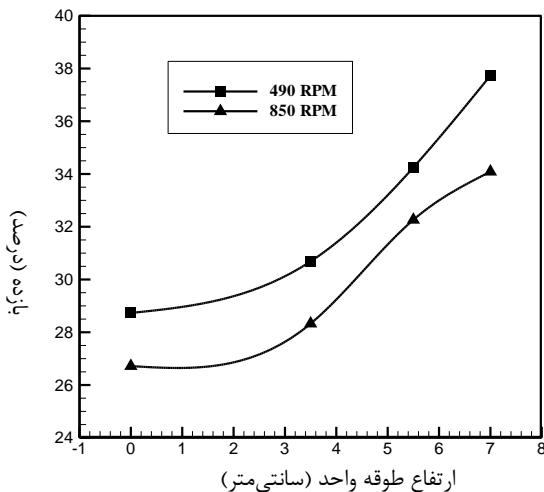


شکل ۹: سرعت محوری بی بعد و خطوط جریان عبوری از صفحات طوقه گذرنده از واحد بیرونی. (الف): بدون طوقه (ب): طوقه با عرض $3/5$ سانتی متر (ج): $5/5$ سانتی متر (د): 7 سانتی متر

شکل ۱۱، شدت توربولانسی بر حسب عرض طوقه را برای سرعت دورانی پایین و بالای فن نشان می دهد. آن چنان که شکل نشان می دهد برای حالت های بررسی شده، کمینه و بیشینه شدت توربولانسی به ترتیب در حالت طراحی ($3/5$ سانتی متر) و 7 سانتی متر اتفاق می افتد.



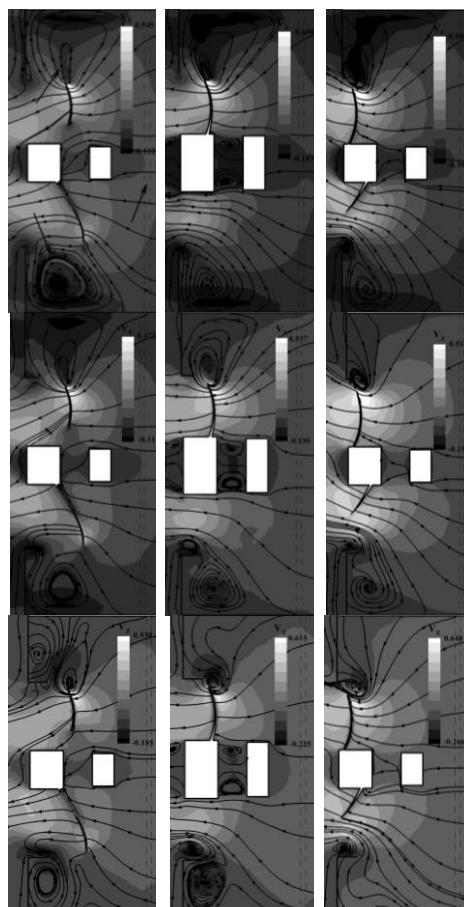
شکل ۱۰: تغییرات ضریب بی بعد شدت جریان بر حسب ارتفاع طوقه

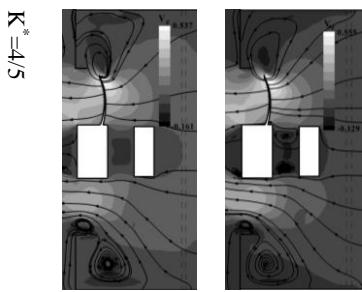


شکل ۱۱: تغییرات بازده آبرودینامیک واحد بیرونی بر حسب ارتفاع طوقه

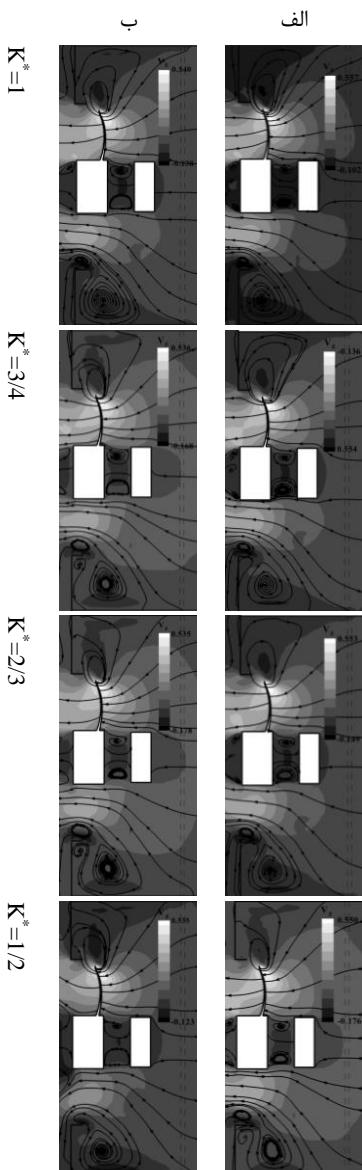
که q دی جرمی جریان، Δp_t افزایش فشار کل، u سرعت نوک فن، D قطر نوک فن، ρ چگالی، T گشتاور فن و ω نیز سرعت دورانی فن جریان محوری می باشد.

نمودارهای شکل ۱۰ و ۱۱ تغییرات ضریب جریان و بازده واحد بیرونی را برای سرعتهای دورانی پایین 520 و بالا 820 نشان می دهد. همچنان که این نمودارها نمایش می دهند با افزایش عرض طوقه واحد بیرونی، ضریب بی بعد شدت جریان و بازده افزایش پیدا می کند. افزایش ضریب شدت جریان و بازده به دلیل کاهش اندازه گردابه های نوک و گردابه های داخلی می باشد. با افزایش عرض طوقه واحد از جریان هوای چرخشی خارج از فن و همچنین پخش جریان هوا جلوگیری می شود که این امر به نوبه خود کاهش اتلاف نرخ خروجی از واحد بیرونی کولر گازی را به همراه دارد. علی رغم افزایش ضریب شدت جریان و بازده با افزایش عرض طوقه، پارامتر مهم دیگری که باید مورد ارزیابی قرار بگیرد شدت توربولانسی است. شدت توربولانسی معمولاً به عنوان پاسخی به سطح صدا و نویز تولید شده شناخته می شود.





شکل ۱۲: سرعت بی بعد محوری و خطوط جریان عبوری از واحد بیرونی و میانه فن جریان محوری با ضریب نفوذپذیری مختلف (الف) ۸۲۰ دور بر دقیقه (ب) ۵۲۰ دور بر دقیقه

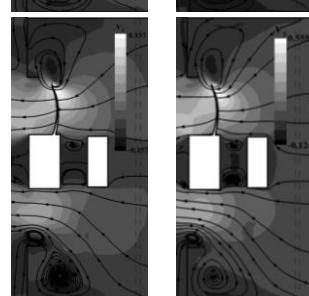
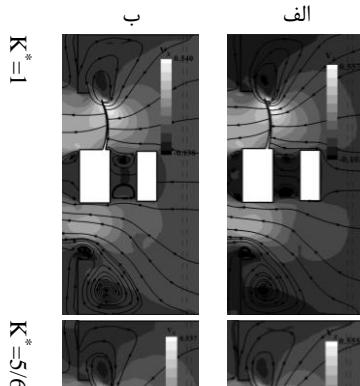
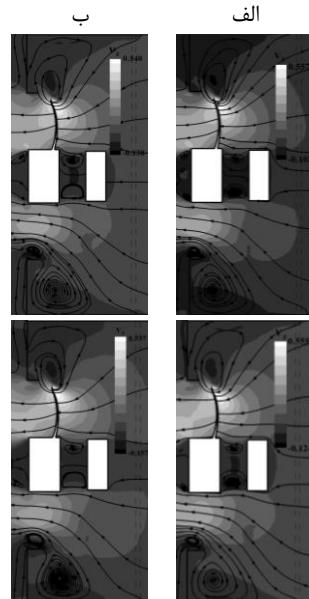


ادامه شکل ۱۲: سرعت بی بعد محوری و خطوط جریان عبوری از واحد بیرونی و میانه فن جریان محوری با ضریب نفوذپذیری مختلف (الف) ۸۲۰ دور بر دقیقه (ب) ۵۲۰ دور بر دقیقه

۵-۲ انسداد چگالنده

در این بخش، تأثیر گرفتگی چگالنده واحد بیرونی کولر گازی دوتكه (واحد تقطیر) بر روی مشخصه های جریان بررسی شده است. در این مطالعه، گرفتگی چگالنده به صورت کاهش ضریب نفوذپذیری چگالنده (به عنوان یک محیط مخلخل) مدل سازی شده است. ضریب نفوذپذیری بی بعد ($K_0 = K/K_0$) به صورت نسبت نفوذپذیری چگالنده کثیف (K) به نفوذپذیری چگالنده تمیز (K_0) تعریف می شود.

شکل ۱۲ خطوط جریان عبوری از صفحه طولی عبوری از واحد بیرونی کولر گازی را در سرعت دورانی بالا (۸۲۰) و پایین (۵۲۰) برای مقادیر مختلف ضریب نفوذپذیری بی بعد نشان می دهد. به صورت کلی می توان بیان کرد که در سرعت دورانی بالا (۸۲۰ دور بر دقیقه)، با کاهش ضریب نفوذپذیری بی بعد تا مقدار $2/3$ تغییری در الگوی جریان عبوری از صفحه طولی عبوری از واحد بیرونی و مرکز (فن) مشاهده نمی شود اما پس از آن با کاهش ضریب نفوذپذیری بی بعد اندازه گردابه های نوک فن کاهش می یابد. همچنین می توان نتیجه گرفت که در سرعت دورانی پایین (۵۲۰ دور بر دقیقه) با کاهش ضریب نفوذپذیری تغییری در الگوی جریان مشاهده نمی شود. بیشینه سرعت بی بعد محوری در راستای حرکت کلی سیال (سرعت مثبت) با کاهش ضریب نفوذپذیری کاهش می یابد همچنین برای سرعت دورانی بالا اندازه سرعت محوری برگشتی با کاهش ضریب نفوذپذیری افزایش می یابد ولی برای سرعت دورانی پایین این افزایش در اندازه سرعت محوری برگشتی تا $2/3$ برای ضریب نفوذپذیری بی بعد ادامه دارد و در ضریب نفوذپذیری بی بعد $1/2$ این اندازه کاهش می یابد.



متخلخل، مدل‌سازی و شبیه‌سازی شده است. برای شبیه‌سازی دوران فن جریان محوری از چارچوب مرجع چندگانه (MRF) استفاده گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که انحراف در اندازه‌ی عرض طوفه از حالت طراحی، روی شکل گردابه‌های نوک فن و هم‌چنین گردابه‌های داخلی تأثیر گذار است. وجود طوفه می‌تواند از جریان هوای چرخشی خارج از فن و هم‌چنین پخش جریان هوا جلوگیری کند و باعث کاهش اتلاف نرخ خروجی از واحد شود. هم‌چنین، با افزایش ارتفاع طوفه‌ی واحد بیرونی کولر گازی دوتكه، ضریب بی بعد شدت جریان، بازده و شدت توربولانسی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با کاهش ضریب نفوذپذیری چگالنده، ضریب بی بعد شدت جریان، کاهش و فشار بی بعد کل، افزایش می‌یابد.

فهرست علامت‌ها

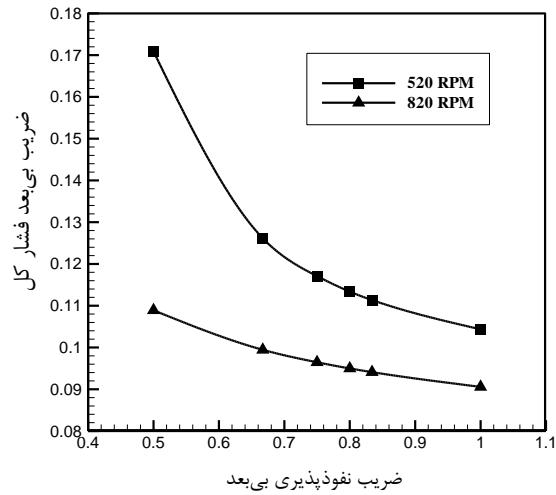
علامت انگلیسی

C_2	ضریب پرش متخلخل، m^{-1}
D	قطر نوک فن، m
K	متوسط نفوذپذیری محیط متخلخل، m^2
k	ابری جنبشی آشفتگی، $m^2 s^{-2}$
p	فشار، $kgm^{-1}s^{-2}$
q	نرخ جریان حجمی سیال ($m^3 h^{-1}$)
T	گشتاور فن، N.m
U	سرعت عمود بر سطح متخلخل، ms^{-1}
u	سرعت نوک فن، ms^{-1}
علامت یونانی	
Δm	متوسط ضخامت محیط متخلخل، m
ϵ	نرخ استهلاک آشفتگی، $m^2 s^{-3}$
η	بازده
μ	لزجت دینامیکی، $kgm^{-1}s^{-1}$
ρ	چگالی، kgm^{-3}
ϕ	ضریب بی بعد شدت جریان
ψ	ضریب بی بعد فشار کل
ω	سرعت دورانی فن، rpm

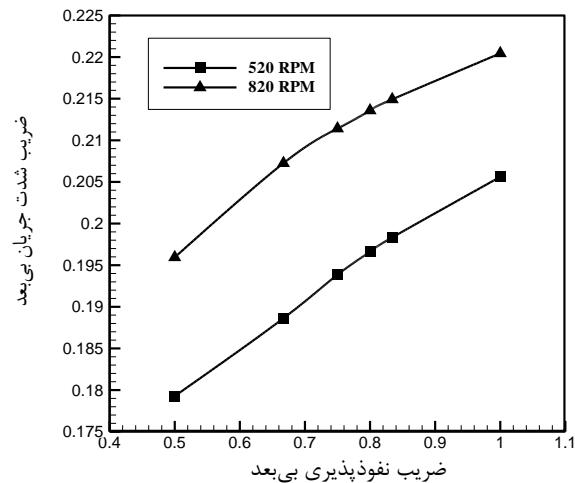
مراجع

- [1] J. Winkler, C. Booten, D. Christensen, J. Tomerlin, Laboratory Performance Testing of Residential Window Air Conditioners, National, national laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy (2013).
- [2] J. Hu, G. Ding, Effect of deflecting ring on noise generated by outdoor set of a split-unit air conditioner. International Journal of Refrigeration, 29 (2006) 505–513.

شکل ۱۳ نشان می‌دهد که ضریب بی بعد فشار کل با کاهش نفوذپذیری (انسداد چگالنده) افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر با انسداد چگالنده اختلاف فشار کل در ورودی و خروجی فن زیاد می‌گردد. شکل، هم‌چنین نشان می‌دهد که نرخ افزایش ضریب بی بعد فشار کل با کاهش نفوذپذیری چگالنده در سرعت دورانی پایین (۵۲۰ دور بر دقیقه) بیشتر است. کاهش ضریب شدت جریان بی بعد با کاهش ضریب نفوذپذیری در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۳: تغییرات ضریب بی بعد فشار کل بر حسب ضریب نفوذپذیری بی بعد



شکل ۱۴: تغییرات ضریب شدت جریان بی بعد بر حسب ضریب نفوذپذیری بی بعد

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق مدل هندسی سه بعدی واحد بیرونی یک کولر گازی دوتكه با استفاده از نرم‌افزار سالیدورکس و دامنه محاسباتی مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار گمبیت تولید شده است. حل معادلات حاکم بر جریان سیال با حل گر دینامیک سیالات محاسباتی فلوئنت انجام گرفت. چگالنده‌ی لوله‌ای پردهدار فشرده در واحد بیرونی با فرض محیط

[۱۰] بحرینیان، س.س، صفا آبادی، هدایت، (۱۳۹۰). مدل‌سازی هندسی و شبیه‌سازی جریان سیال در مجراهای پیچیده توربومپ دو مرحله‌ای گریز از مرکز، نوزدهمین کنفرانس سالانه بین‌المللی مهندسی مکانیک، ایران، بیرونی، دانشگاه بیرجند

[11] S. S. Bahrainian, A. Daneh Dezfuli, A geometry-based adaptive unstructured grid generation algorithm for complex geological media, *Computers & Geosciences*, 68, (2014) 31-37.

[12] A. Daneh Dezfuli, S. S. Bahrainian, A grid generation algorithm for reservoir domains with discrete fracture networks, *Int. J. Oil, Gas and Coal Technology*, 8 (2014) No. 4.

[13] K. Ryu, K. Lee, B. Kim, Optimum placement of top discharge outdoor unit installed near a wall, *Energy and Buildings*, 59, (2013) 228-235.

[14] M. Eberlinc, B. Sirok, , M. Hocevar, Experimental investigation of the interaction of two flows on the axial fan hollow blades by flow visualization and hot-wire anemometry, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33, (2009) 929-937.

[15] H. Wang, J. Tian, H. Ouyang, , Y. Wu, Zh. Du, Aerodynamic performance improvement of up-flow outdoor unit of air conditioner by redesigning the bell-mouth profile International Journal of Refrigeration, 46 (2014) 173-184.

[۳] نادران طحان، مریم؛ بحرینیان، سید سعید؛ (۱۳۹۲) تأثیر تغییر نسبت فشار بر مشخصه‌های عملکرد یک توربین جریان شعاعی دوقلو با استفاده از مدل‌سازی هندسی و شبیه‌سازی جریان. مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس، دوره ۱۳ شماره ۱۴ مهر ۱۴۲۲-۲۲۰.

[4] Y. Zhu, H. Ouyang.. Z. Du, Experimental and numerical investigation of noise generated by rotor blade passing an exhaust grille, *Noise Control Eng. J.*, 56 (2008) No. 4.

[5] J. Tian, H. Ouyang, Y. Wu, Experimental and numerical study on aerodynamic noise of outdoor unit of room air conditioner with different grilles, *international journal of refrigeration*, 32 (2009) 1112-1122.

[6] X. Zhao, J. Sun, Zh. Zhang, Numerical and experimental investigation of flow behavior and aerodynamic noise in axial flow fan of air-conditioner, *Proceedings of ASME Turbo Expo*, Vancouver, British Columbia, Canada (2011).

[۷] بحرینیان، سید سعید؛ بخشش، مهدی؛ (۱۳۸۸) مدل‌سازی هندسی پروانه توربومپ گریز از مرکز و شبیه‌سازی عددی جریان سیال درون آن، هفدهمین کنفرانس سالانه بین‌المللی مهندسی مکانیک، ایران، تهران، دانشگاه تهران

[8] Y. Liu, C.J. Wu, Numerical Study on Structural Improvement of the Grill Fixed at the Outlet of the Air Conditioner Outdoor Unit, *Applied Mechanics and Materials*, 141 (2012) 386-391.

[9] Outdoor Unit Service Manual, Mitsubishi Electric, Mr. Slim No. OB425, MUH-A30VD.