Archive of SID

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
HVACconf-IRSHRAE-1-048

توسعه سیستم های سرمازای دما پایین صنعتی با استفاده از مبردهای سازگار با محیط

ساسان رحیم زاده، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)؛ rahimzade.sasan@gmail.com
مصطفی مافی، استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)؛ m.mafi@eng.ikiu.ac.ir
سید عباس سادات سکاک، استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)؛sadatsakak@ikiu.ac.ir

چکیده
این مقاله سعی دارد تا با در نظر گرفتن یک سیکل تبرید با مشخصات یکسان تنها با تغییر نوع مبرد تعیین کند که آیا مبردهای طبیعی می‌توانند جاگیزین مناسبی برای CFCs ها و HCFCs ها باشند یا خیر؟ برای پاسخ به این سوال با توجه به مبردهای بسیار مختلف در بین مبردهای CFCs دو سیال R134a و R22، برای HCFCs سیال R11 و R12 و برای مبردهای طبیعی R290 و R717 برای یک سیکل مشخص مورد بررسی قرار گرفتند. پس از مشخص شدن فشار میانی مناسب برای این سیالات و عملکرد مناسب مبردهای طبیعی و همچنین سازگاری این مبردها با محیط زیست، بررسی بر روی مبردهای طبیعی مد نظر قرار گرفت و دسترسی به حداقل دمای ممکن توسط این سیالات در شرایط بالاتر از فشار اتمسفر و افزایش COP منجر به استفاده از سیال آمونیاک و سیکل منتخب NH3-R290 شد. دمایی که این سیکل می‌تواند به آن با COP برابر ۲/۲۹ دست یابد برابر ۴۱- درجه‌سانتی‌گراد می‌باشد. انتخاب سیال آمونیاک موجب افزایش ۱۴/۵٪ ضریب عملکرد سیکل شد.
کلمات کلیدی: تبرید، مبرد طبیعی، سیکل تبرید آبشاری

مقدمه
با توجه به مسائل زیست محیطی نظیر از بین رفتن لایه ازن استفاده از مبردهای سازگار با محیط زیست اهمیت فراوان در صنعت تبرید پیدا کرده است. همچنین توجه جهانی را می‌توان به منعقد شدن پروتکل‌هایی نظیر توکیو و مونترال دریافت. مسائل زیست محیطی مرتبط با تخریب لایه ازن سبب شد که در سال ۱۹۸۵ پروتکل مونترال تصویب شود. طبق این پروتکل، استفاده از مبردهای مخرب لایه ازن، CFCها، ممنوع شد. در پی این ممنوعیت، استفاده از مبردهای HFC با پتانسیل تخریب لایه ازن صفر اما پتانسیل گرمایش بالا رایج شد. اما مساله گرم شدن کره زمین ناشی از رهاسازی گازهای گلخانه‌ای و همچنین نشت مبردهای HFC در طبیعت، به تهدید جدی برای بشریت مبدل شد. لذا در سال ۱۹۹۷ پروتکل توکیو با هدف بسط و توسعه تکنولوژی‌های استفاده از مبردهای طبیعی تصویب شد. با مشخص شدن پتانسیل بالای گرمایشی مبردهایHFC ، استفاده از مبردهای طبیعی که در راس آنها هیدروکربن‌ها قرار دارند، مورد توجه صنایع برودتی قرار گرفت. این مبردها به علت اشتعال زا بودن و نیاز به فشار عملیاتی بالا، ۷۰ سال پیش از صنعت تبرید کنار گذاشته شده بودند، اما امروزه به دلیل نداشتن مشکلات بنیادی مبردهایHFC، استفاده از این مبردها در صنایع تبریدی به شدت مورد توجه قرار گرفته است. از بین مواد طبیعی، امروزه، مبردهایی نظیر R717, R290, R600 aو... مورد مطالعه قرار گرفته اند و کماکان پژوهش‌های بسیاری بر روی توسعه فناوری سیستم های تبریدی با مبرد هیدروکربنی که دارای ضریب عملکرد بالا و مصرف انرژی پائین باشند، ادامه دارد. هدف اصلی تحقیق حاضر ارزیابی فنی سیستم‌های برودتی صنعتی با مبردهای طبیعی متداول است.

از آنجا که اهمیت حفاظت از منابع انرژی روز به روز در حال افزایش است، نیازمند به بهینه کردن فرآیندهای ترمودینامیکی برای استفاده از کمترین انرژی ممکن می‌باشیم. آنالیز به روش قانون اول ترمودینامیک یکی از روش های رایج برای تخمین عمکرد سیکل تبرید و بهینه کردن پارامترهای سیستم است.

مکلاین کروس [۱] تحقیقاتی روی مبرد ایزوبوتان انجام دادند که نتایج کار تجربی آنها تنها مختص رفتار این مبرد نسبت به فریون R134a در نمونه آزمایشگاهی است.

بانسول و پورکایاستا [۲] در سال ۱۹۹۷ یک مدل شبیه سازی شده در شرایط پایدار برای یک پمپ گرمائی ارائه دادند که سیال عامل آن پروپان است. چانگ وکیم [۳] در سال ۱۹۹۹ روی مبردهای طبیعی و مبردهای هیدروکربنی خالص و ترکیبی تحقیق و بررسی کرده‌اند اما محاسبات آنها اجمالی و غیر قابل اعمال در نمونه کار آزمایشگاهی است.

مهمت [۴] در سال ۲۰۰۲ به تحلیل عملکرد پمپ حرارتی تراکمی با سیال عامل ترکیبی زئوتروپیکی و خالص پرداخته که تمرکز این محقق روی ویژگی‌های موثر در بازده است. نتیجه این پژوهش این است که استفاده از ترکیبی از مبردها در بهبود بازده هیت پمپ موثر است.

جونگ پارک و دانگسو جونگ [۵] درسال ۲۰۰۶ تحقیقاتی جهت معرفی مبرد مناسب جهت جایگزینی HCFC22 با آزمایشات تجربی روی مبردهای خالص و ترکیبی هیدروکربنی انجام دادند که نتایج حاصله بیانگر افزایش COP و علاوه بر این در بعضی از مبردها مثل پروپان کاهش حجم سیال عامل در سیکل است.

جونگ پارک و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۷ پژوهشی تحت عنوان جایگزین کردن مبردهای طبیعی در تهویه مطبوع مسکونی انجام دادند که در آن دو مبرد خالص و هفت مبرد ترکیبی جهت جایگزین کردن بجای مبرد HCFC22در تاسیسات حرارتی و برودتی مسکونی مورد بررسی قرارگرفته‌اند.

در این پژوهش سعی شده است سیکل‌های تبریدی صنعتی متداول با مبردهای طبیعی مورد بررسی قرار گیرند که به موجب آن می‌توان از این نوع مبردها در صنعت تبرید استفاده نمود. با استفاده از سیکل پیشنهادی در مرجع [۷] مدل سازی بر اساس آن صورت پذیرفت تا جایگاه مبردهای طبیعی در بین مبردهای دیگر مورد برسی قرار گیرد سپس با تعیین فشار میانی و یافتن مقدار مناسب آن، با توجه به محدودیت‌های موجود برای سیکل تبرید صنعتی از جمله مقرون به صرفه بودن با کاهش دما زیر دمای ۳۰- درجه سانتی‌گراد و کارکرد فشار اواپراتور بالاتر از اتمسفر با تغییر رویکر

www.Hvacconf.ir
www.SID.ir

Archive of SID

و بررسی موارد بیان شده و ارئه‌ی یک راهکار برای افزایش COP با تغییر سیال عامل به بررسی مبردهای طبیعی پرداخته شد.

بررسی مبردهای از نطر اثرات زیست محیطی

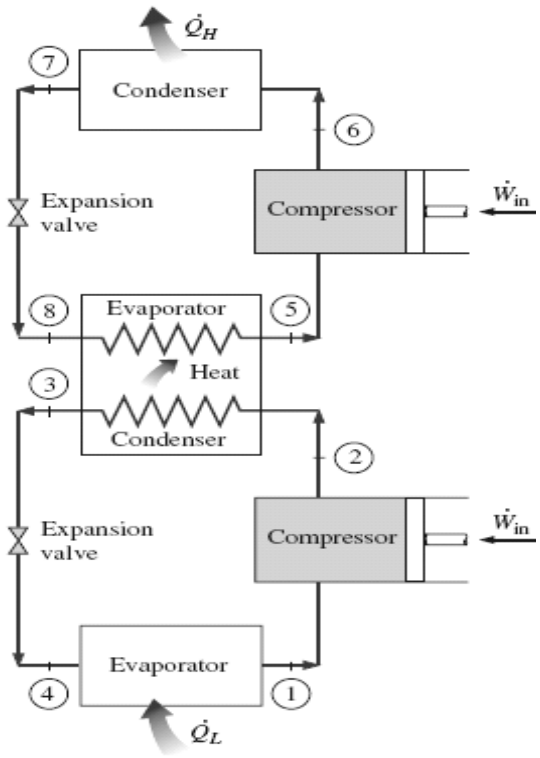
جدول زیر بین گروه‌های رایج مورد استفاده در سیکل‌های تبرید از نظر گرمایش زمین (GWP) و تخریب لایه‌ی ازن (ODP) مقایسه ای را صورت داده است. همان طور که در این جدول مشاهده می شود گروه مبردهای طبیعی دارای GWP و ODP بسیار مناسبی نسبت به دیگر گروه‌ها می‌باشد.

از ویژگی‌های خاص مبردهای طبیعی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- دارای پتانسیل بسیار پایین گرمایش جهانی.
- کاملا بی ضرر برای لایه اوزون.
- ارزان و در دسترس به خصوص در ایران.
- عدم تولید اسید در سیستم های تبرید و افزایش طول عمر دستگاه

معایب این مبدل ها نیز به شرح ذیل می‌باشد :

- اشتعال پذیری و خطرات مربطو به جابه جایی
- بعضی از انواع آن‌ها به طور خاص آمونیاک سمی و بد بو می باشند.



شکل ۱: طرحواره ای از سیکل آبشاری مرسوم در سیکل های صنعتی [۷]

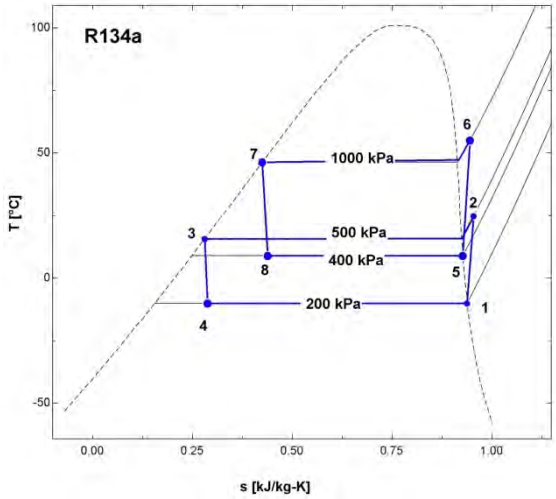
جدول ۱: پارامترهای ورودی برای مدل سازی سیکل تبرید صنعتی [۷]

پارامتر	واحد	ارزش
دبی سیکل دما پایین	Kg/s	۰,۱۵
فشار اواپراتور دما پایین	kPa	۲۰۰
فشار کندانسور دما پایین	kPa	۵۰۰
فشار اواپراتور دما بالا	kPa	۴۰۰
فشار کندانسور دما بالا	kPa	۱۰۰۰
راندمان کمپرسور	%	۸۰

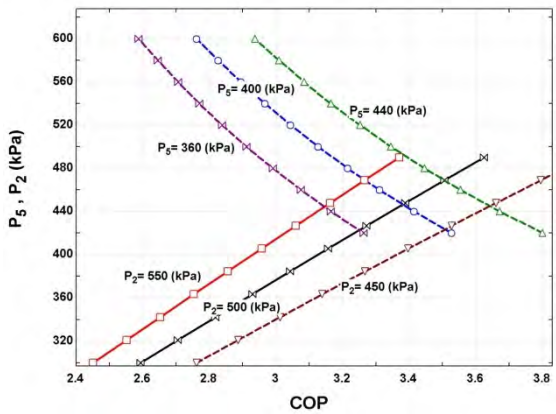
نتایج

مقایسه بین مبرد های در یک سیکل مشخص

بررسی HCFCs ها: با تغییر فشار نقطه‌ی ۲ و ۵ تغییرات COP را مورد بررسی قرار می دهیم. نتایج نشان می دهد هر چه میزان فشار نقطه‌ی ۲ کمتر باشد میزان COP بیشتر می‌شود و همین مقدار برای فشار نقطه‌ی ۵ نیز وجود دارد. با تغییر فشار ۲ و ثابت بودن فشار ۵ مشاهده می‌شود هر چه مقدار فشار نقطه‌ی ۵ افزایش یابد ضریب عملکرد در فشارهای بالاتر P2 عملکرد بهتری را دارد. همچنین با تغییر فشار نقطه‌ی ۵ و ثابت بودن فشار ۲ مشاهده می‌شود با افزایش این فشار نیز مقدار COP به صورت خطی افزایش می‌یابد. این نمودار نشان می دهد با افزایش فشار نقاط ۵ و ۴ می-توان ضریب عملکرد را افزایش داد.



شکل ۲: نمودار T_S سیکل آبشاری برای سیال R134a



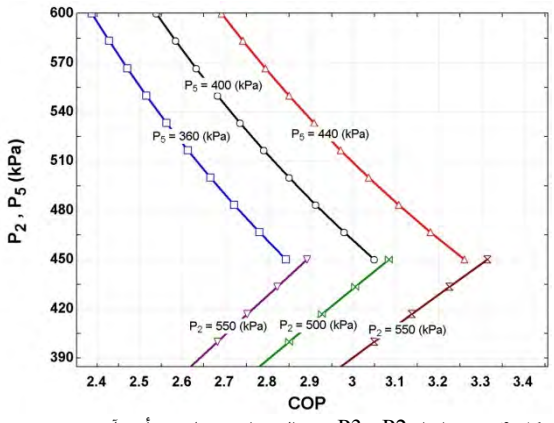
شکل ۳: تغییر فشار P2 و P5 در حالت‌های مختلف و تأثیر آن بر روی ضریب عملکرد

بررسی CFCs ها: در این قسمت به بررسی R11 و R12 پرداخته می‌شود. در شکل زیر که شکل‌های توپر مربوط به سیال R11 می‌باشد و اشکال تو خالی مربوط به سیال R12 است تغییرات مورد بررسی را بر روی این دو

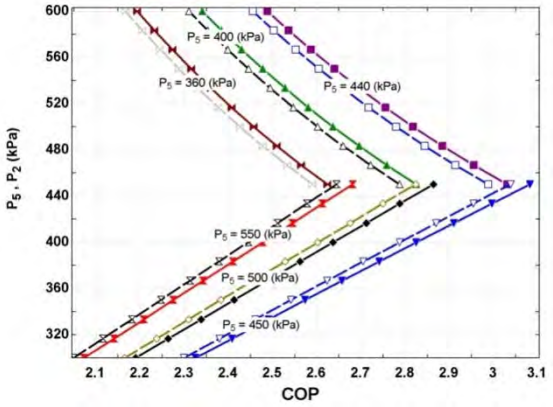
www.SID.ir

Archive of SID

سیال را نشان می‌دهد. همان طور که نتایج نشان می دهد ضریب عملکرد سیال R11 ازR12 بیشتر می‌باشد و روند تغییرات مانند سال R134a است.



شکل ۴: تغییر فشار P2 و P3 در حالت های مختلف و تأثیر آن بر روی ضریب عملکرد



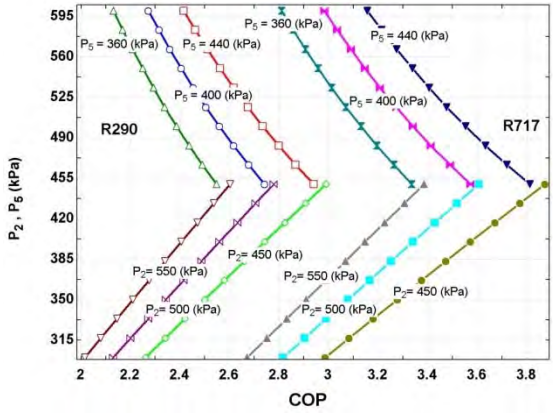
شکل ۴: تغییرات COP بر حسب تغییرات فشار P2 و P5 برای سیالات R11 و R12 به عنوان دو سیال نمونه CFCs

. بررسی مبردهای طبیعی

از بین مبردهای طبیعی دو سیال R290 و R717 به عنوان نمونه مورد بررسی قرار می گیرد همان طور که مشاهده می‌شود در این بین سیال R717دارای عملکرد بهتری نسبت به R290 می‌باشد. در شکل زیر تغییرات سیال R290 به صورت اشکال تو خالی و تغییرات سیال R717 به صورت اشکال تو پر نشان داده شده است.

با انتخاب حداقل فشارهای موجود برای سیال R290 مقادیر اختلاف دمای بین اواپراتور طبقه بالا و کندانسور طبقه پایین باCOP ، 93/2برابر ۱۱/۵ درجه‌سانتی‌گراد می‌باشد.

همین‌طور برای سیال R717 با انتخاب حداقل فشارها مقادیر اختلاف دمای بین اواپراتور طبقه بالا و کندانسور طبقه پایین با COP، 81/3 برابر ۲۲/۳۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۶: تغییرات COP بر حسب تغییرات فشار P2 و P5 برای سیالات R290 و R717 به عنوان دو سیال طبیعی

در قسمت قبل سعی شد تا با توجه به فشارهای کارکردی انتخاب شده که در جدول۲بیان شد از بین سیالاتی که در فصل قبل به دسته بندی آنها پرداخته شد سیالاتی که در این رنج فشاری در حال کار می‌باشند مورد بررسی قرار گیرند تا بتوان مقایسه ای کامل بین سیالات مورد نظر انجام داد. مقایسه‌ای که بین سیالات صورت گرفت در یک حداقل فشار و یک حداقل دمای ثابت بود. تا تغییر خود سیال کاری در این بررسی کاملا نشان دهنده‌ی تغییر در نتایج مد نظر باشد و عامل دیگری در این نتایج دخیل نباشد در ادامه در فشارهای میانی دچار تغییر شده تا بتوان بیشترین COP را محاسبه نمود .

جدول ۳: نتایج حاصل از بهترین حالت عملکردی محاسبه شده برای گروه های مختلف

سیال	گروه	COP	*ΔT	T_{min} (°C)
R717	Natural	۳,۸۱	۲۲,۳۴	-۱۸,۸۵
R290	Natural	۲,۹۳	۱۱,۵	-۲۵,۴۴
R11	CFCs	۳,۰۳	۴,۵	۴۴
R12	CFCs	۲,۹۸	۶	-۱۲,۵
R22	HCFCs	۳,۲۶	۶	-۲۵,۸
R134a	HCFCs	۳,۳۱	۱۱,۳	-۱۰,۸

نکته جالب توجه در این بین حداقل دمایی است که این مبردها به وجود آورده اند مشاهده می شود در این بین سیال R22 دارای کمترین دمای کارکردی می باشد و سپس مبردهای طبیعی توانسته اند دمای کمتری را نسبت به دیگر دماها به وجود آورند تنها در این سیال هایی که در رنج حداقل و حداکثر فشار کارکردی انتخاب شده کار کردن دارای دمای بالایی می باشد که قابل قبول نمی باشد در نتیجه در این بخش علاوه بر نتیجه گیری آنالیز تحلیل‌های صورت گرفته شده، دو آنالیز حساسیت صورت می-گیرد.

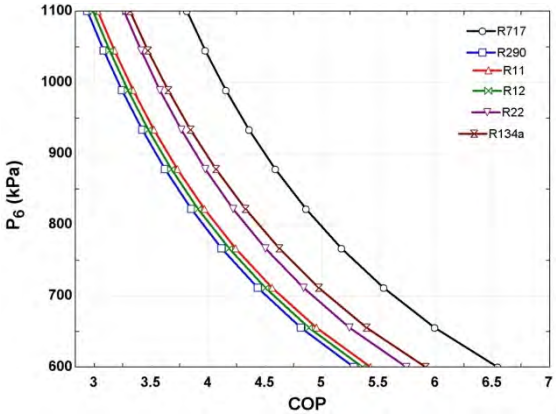
تغییر فشار بالا و پایین عملکردی در فشار میانی ثابت

با تغییر فشار نقطه‌ی ۶ می‌توان دریافت که هر چه این میزان فشار به فشار میانی نزدیک تر شود میزان COP بیشتر خواهد شد دلیل این امر نیز مشخص است زیرا از کار کمپرسور طبقه بالا کاسته می‌شود و به همین دلیل ضریب عملکرد افزایش چشم گیری می‌یابد. همچنین مشاهد می‌شود

www.SID.ir

Archive of SID

در بین گروه‌های مختلف سیال R717 از گروه مبردهای طبیعی دارای بیشترین ضریب عملکرد می‌باشد.



شکل ۷: تغییر فشار بالای عملکردی مبرد صنعتی برای گروه های مختلف مبرد در فشار میانی ۴۵۰ و ۴۴۰ کیلوپاسکال

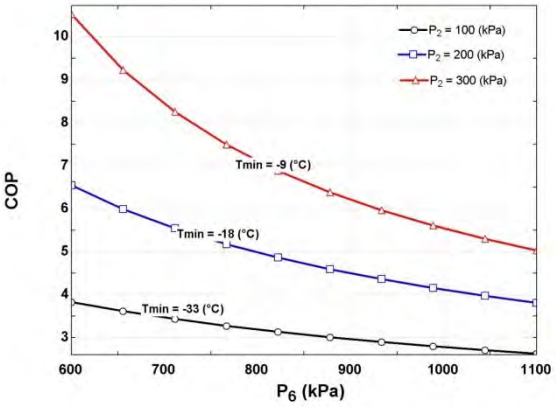
حال با توجه دو قید موجود مدل سازی را انجام می‌دهیم .

با توجه به اینکه سیکل‌های آبشاری برای دماهای پایین‌تر از ۳۰- درجه مقرون به صرفه می‌باشند فشار طبقه‌ی پایین به نحوی تعیین شود که بتوان به این دما دسترسی داشت.

همچنین برای جلوگیری از نفوذ هوا به داخل اواپراتور سعی بر این باشد تا در قشار بالاتر از اتمسفر و یا در همان فشار اتمسفر سیکل طراحی گردد.

با انتخاب سیال کاری R717 به عنوان نمونه مبرد طبیعی با تغییر فشار پایین در فشارهای طبقه بالای متفاوت به بررسی حداقل دمای دست یابی این سیال و COP پرداخته می‌شود.

با توجه به انتخاب فشار عملکردی به نحوی که از فشار اتمسفر کمتر نگردد تا هوا با داخل اواپراتور نفوذ پیدا نکند مشاهده شد که مبردهای طبیعی مخصوصا سیال R290 مقرون به صرفه می‌باشند زیرا دارای دمای پایین تری هستند در این بین نیز می‌توان سیال R22 نیز نام برد که دمای پایین را به خود اختصاص داده است و ضریب عملکر بالاتری هم دارا می‌باشد. با این وجود با توجه به اثرات زیست محیطی که این مبرد ایجاد می‌کند می‌توان مشاهده نمود که تفاوت چندانی بین سیال R22 و R290 از لحاظ فنی نمی‌باشد.



شکل ۸: تغییر فشار بر حسب COP در فشارهای اواپرتور طبقه پایین برای سیال R717

جدول ۴: مقایسه سیالات مختلف برای رسیدن به حداقل دما

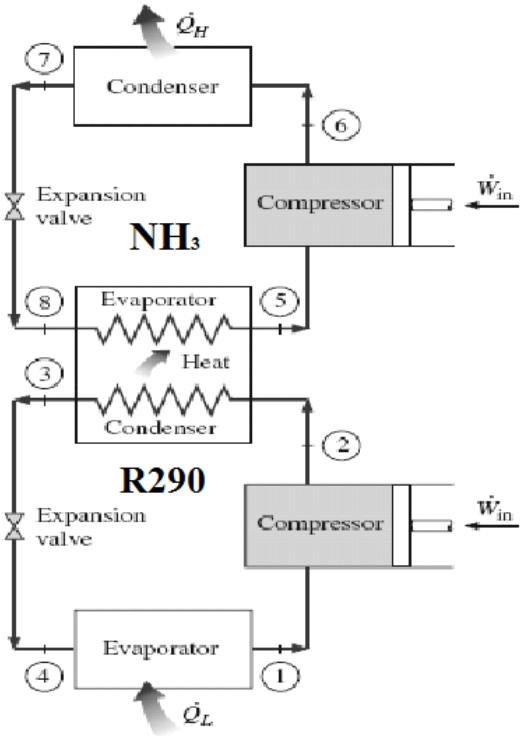
سیال	گروه	COP	P_1 (kPa)	T_{min} (°C)
R717	Natural	۲,۶۲۶	۱۰۱	-۳۳,۵۸
R290	Natural	۲,۰۳۸	۱۰۱	-۴۲,۳۹
R11	CFCs	۲,۰۹	۱۰۱	۲۳,۴۵
R12	CFCs	۲,۰۷	۱۰۱	-۳۰,۰۷
R22	HCFCs	۲,۲۶۶	۱۰۱	-۴۱,۰۹
R134a	HCFCs	۲,۰۲۲	۱۰۱	-۲۶,۳۷

ارائه راهکار برای افزایش COP مبردهای طبیعی

در این بررسی با توجه به استفاده زیاد از سیال آمونیاک و همچنین عملکرد مطلوب مبردهای طبیعی با توجه به آنالیز حساسیت صورت داده شده در قسمت‌های قبل به تحلیل این سیکل ترکیبی پرداخته می‌شود .

با بررسی سیکل آمونیاک با مبرد طبیعی R290 (شکل ۹) در شرایط جدول زیر ضریب عملکرد برابر۲/۲۹ خواهد بود که اضافه نمودن آمونیاک موجب شد با حفظ حداقل دما، میزان COP افزایش بیابد.

سیکل پیشنهادی با حفظ دما با سیال R717 تنها ضریب عملکرد را به ۲/۷ رسانید که نسبت به حالت قبل تغییر محسوسی نیافت.



شکل ۹: طرحواره ای از سیکل مخلوط امونیاک و مبرد طبیعی (R290)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵: نتایج آنالیز حاصل از ترکیب مبرد آمونیاک با مبرد طبیعی (R290)

نقطه	h (kJ kg^{-1})	P (kPa)	T (°C)	S (kJ kg^{-1})	m (kg/s)
۱	۵۲۵,۵	۱۰۰	-۴۲,۳۹	۲,۴۴	۰,۱۵
۲	۶۱۰,۹	۴۵۰	۱۹,۸۸	۲,۵۰	۰,۱۵
۳	۱۹۵,۷	۴۵۰	-۱,۷۲۸	۰,۹۸	۰,۱۵
۴	۱۹۵,۷	۱۰۰	-۴۲,۳۹	۱,۰۲	۰,۱۵
۵	۱۴۶۳	۴۴۰	۰,۶۴۳۹	۵,۶۱	۰,۰۵۵
۶	۱۶۲۱	۱۱۰۰	۷۶,۵۷	۵,۷۰	۰,۰۵۵
۷	۳۳۲,۲	۱۱۰۰	۲۸,۰۱	۱,۴۵	۰,۰۵۵
۸	۳۳۲,۲	۴۴۰	۰,۶۴۳۹	۱,۴۸	۰,۰۵۵

نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد تا با توجه به یک روند منطقی به مقایسه سیالات مختلفی که در گروه های CFCs ها، HCFCsو مبرده های صنعتی دسته بندی می شوند مقایسه ای از نکته نظر حداقل دمایی که می توانند در سیکل آبشاری به وجود آورند و همچنین از نکته نظر COP و اختلاف دمای اواپراتور طبقه بالا و کندانسور طبقه پایین مورد بررسی قرار گیرند. در این بررسی فشار ماکسیمم و مینینمم سیکل به ترتیب ۱۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوپاسکال انتخاب شد. این رویکرد به این دلیل انتخاب شد تا با مشاهده نتایج بر روی COP و... تنها عاملی که باعث این تغییر شود، نوع مبرد باشد برای همین فشارهای مینیمم و ماکسیمم تغییر نیافت و در این بین با تغییر فشارهای میانی در سیکل آبشاری حالت‌هایی یافت شود که بیشترین COP و کمترین دمای سیکل با توجه به نوع سیال از آن حاصل گردد .

مشخص شد که سیالات گروه مبردهای طبیعی که دارای ODP و GWP بسیار کمتری نسبت به دیگر سیالات دارند و با توجه به پروتکل های کیوتو و مونترال مورد حمایت هستند و بابت حذف سیالات CFC و HCFC ها که گرمایش آن با میزان CO2 سنجیده می شوند، سود عاید کشور خواهد شد، توانایی تولید حداقل دما و COP مناسبی دارند.

در بین سیالات مختلف R717 می توان دمایی پیرامون ۳۳- درجه با ضریب عملکرد تقریبا ۴ در فشار اواپراتور طبقه پایین ۱۰۰ کیلوپاسکال و فشار ماکسیمم ۶۰۰ کیلو پاسکال ایجاد نماید. در تحلیل و بررسی بر روی سیالات مختلف نتایج نشان داد که هر چه اختلاف دما مابین اواپراتور طبقه بالا و کندانسور طبقه پایین کمتر باشد ضریب عملکرد افزایش می یابد در نتیجه نتایج برای فشار ۴۵۰ و ۴۴۰ کیلوپاسکال برای فشارهای میانی برآورد شده‌اند .

با تغییر رویکرد مقایسه برای رسیدن به یک دمای مشخص مشاهده می شود در این تغییر رویکرد نیز دو سیال R22 و R717 توانستند COP متناسبی داشته باشند در این بررسی نیز مبرد های طبیعی نیز میتوانند دارای عملکرد مناسبی باشند.

دو پارامتر مهم در یک سیکل تبرید صنعتی کاهش دما پایین تر از ۳۰- درجه به منظور اقتصادی بودن استفاده از سیکل آبشاری می باشد و همچنین عدم نفوذ هوا به داخل اواپراتور است (کارکرد اواپراتور بالای فشار اتمسفر). در نتیجه با تغییر رویکرد در این زمینه و انتخاب حداقل فشار ممکن سه سیال R717 و R290 و R22 دارای دمای پایین و حداقل دمای مطلوب بودند که با توجه به تأثیر این سیالات بر روی لایه ی ازن و اثرات زیست محیطی آن ها دو مبرد طبیعی R290 و R717 انتخاب شد.

در ادامه با توجه به استفاده رایج از آمونیاک به عنوان یک مبرد طبیعی در تبریدهای صنعتی و متناسب با حداقل دمایی که می توانند این سه سیال به وجود آورند دو سیکل پیشنهادی R290-NH3 و R717-NH3 پیشنهاد شد که در این بین با توجه به حداقل دمای (دما بین ۳۵- تا ۴۵-) مطلوب و افزایش COP (۲/۰ تا ۲/۵) برای سیکل R290-NH3 این سیکل به عنوان سیکل منتخب که با مبردهای طبیعی در حال کار می باشند انتخاب شدند.

مراجع

[۱]Maclaine-Cross. I. L., "Cooperative Performance of hydrocarbon Refrigerants", 1996.

[۲]Bansal,, P. K. and Purkayastha, B., "An NTU-ε model for alternative efrigerants", 1997, pp. 382-397.

[۳]Chang, Y.S, Kim, M.S., "Performance and heat transfer characteristics of hydrocarbon refrigerants in a heat pump system", 1999, pp. 233-242.

[۴]Yilmaz Mehmet, "Performance analysis of a vapor compression heat pump uses zeotropic refrigerant mixtures", 2002, pp. 268-282.

[۵]Jung Park Ki, Dongsoo Jung, "Thermodynamic performance of HCFC22 alternative refrigerants for residential air-conditioning application's", 2006, pp. 675-680.

[۶]Jung Park, Ki Seo Taebeom and Dongsoo Jung, "Performance of alternative refrigerants for residential air-conditioning applications ", 2007, pp. 985-991.

[۷]Klein S., Nellis G.-Thermodynamics-CUP.(۲۰۱۱)

[۸]Ibrahim Dincer, Mehmet Kanoglu (auth.). Refrigeration Systems and Applications, Second Edition.(۲۰۱۰)

[۱۱] Methods of gas consumption reduction in residential and commercial buildings, Accessed 20 July 2013; http://www.ifco.ir/building/ConservationHints/Intro.asp. (In Persian)

[۱۲] W. F. Merkel, W. M. Jones, R. G. Klimo, HVAC adjustment module, US Patent No. 8493008, 2013 .

[۱۳] J. Davids, D. Smith, Analysis of constant-velocity joints under high torque, HMSO, London, pp. 1-8, 1996 .

www.SID.ir