مواد سرمازا و وضعیت مبردها در قرن بیست و یکم

سید مجتبی موسوی نائینیان
دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده

حذف فریون‌ها **(CFC)** و محدودیت دیگر مبردهای مخرب محیط زیست، تکلیف خاصی برای متخصصان این صنایع، در ۲۰ سال اولیه قرن بیست و یکم به وجود آورده است. این متخصصان با در نظر گرفتن بهینه‌سازی مصرف انرژی، باید نسبت به طراحی وسایل و تجهیزات با تکنولوژی نوین و ایمن نمودن دستگاه‌ها برای استفاده از گازهای طبیعی، و با همکاری مهندسان شیمی، به کشف مبردهای بی‌خطر برای محیط زیست نیز اقدام کنند.

واژه‌های کلیدی: مبردهای **CFC** مخرب لایه اُزُن، مبردهای **HFC** بی‌خطر برای ازن جو، مبردهای طبیعی **(duble zepo)**، **(GWP)** پتانسیل گلخانه‌ای (گرمایش کره زمین)، **(IPCC)** کمیته بین‌المللی تغییرات اقلیمی، سیستم تبرید تبخیری - تراکمی (با مصرف انرژی الکتریکی)، سیستم‌های تبرید جذبی (با مصرف انرژی حرارتی).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

مقدمه

اگـر در سـال ۱۹۱۰ میلادی، در تمام جهان فقط ۱۰۰۰ یخچال ساخته می‌شد (امریکا – انگلیس – آلمان) بعـد از سـال ۱۹۳۰ بـا کشـف فـریون‌هـا، تولـید آن سریعاً افزایش یافت، به طوریکه در سال ۱۹٤۰، تولید یخچال به ٤ میلیون (امریکا و اروپا) و در سال ۱۹۵۰، به ۷ میلیون دستگاه و در سال ۱۹۹۰ به ۵۰ میلیون (امـریکا – اروپـا – آسـیا) رسـید و امـروز بیـن ٦۵ تـا ۷۰ میلـیون دستگاه در سال ساخته می‌شود. طبق داده‌هـای **IPCC**، شـروع تـرویج صـنایع برودتی (سرمازا)، سال ۱۹۵۰ اعلام شده است. کشف مبردهای فریونی در افزایش تولید یخچال و فریزر و کاربرد سیستم‌های برودتی درصنایع مختلف بسیار مؤثر بود و حتـی کمـک کـرد تـا سرمای مصنوعی در زندگی بشر تأثیر بگذارد. کشف انواع مواد سرمازا طبق آمار **IPCC** در سال‌های مختلف میلادی به‌شرح زیر است:

۱۷٤٤: کشف آمونیاک **(R۷۱۷)**
۱۷۸۷: مایع شدن آمونیاک – اختراع ماشین مبرد بخاری (یاکوب پرکینس)
۱۸۳٤: تولید دی اکسید کربن در حالت جامد – اثر پلتیه
۱۸٤٤: اختراع ماشین مبرد هوایی (ژول گوری)
۱۸۵۹: اختراع سیستم جذبی آب و آمونیاک (فردیناند کاررِی)
۱۸٦۹: شناخت کاهش دمای مواد در اثر خفگی (ژول – تامسون)
۱۸۷۲: اختراع و ثبت کمپرسور آمونیاکی (دیوید بویل)
۱۸۸۱: ساخت ماشین مبرد انیدرید کربنیک (لینده و وینه کاوزن)
۱۸۸۹: ساخت کمپرسور تراکم دومرحله‌ای با انیدرید کربنیک
۱۹۱۰: ساخت ماشین مبرد انژکتوری (م. لبلان)
۱۹۳۰: شروع تولید فریون ۱۲ **(R۱۲)**
۱۹۳۵: شروع تولید فریون ۲۲ **(R۲۲)**
۱۹۵۳: شروع تولید فریون ۵۰۲ **(R۵۰۲)**
۱۹۸۵: امضاء قرارداد وین
۱۹۸۷: امضاء پروتکل مونترآل (کانادا)
۱۹۹٦: ممنوع شدن مبردهای **CFC**
۱۹۹۷: امضاء پروتکل کیوتو (ژاپن)

در سـال ۱۹۲۸ مـیلادی، در صـنایع شـیمیایی آتلانتا (امریکا) اشخاصی چون میدگلی، خین مکناری در مـورد خـواص دی کلـرور دی فلوئـور متان (سینتتیک شماره ۱۲) تحقیقاتی کردند و در سال ۱۹۳۰، تولید **R۱۲** شروع شد. در آن زمان با توجه به این که فریون ۱۲ بی‌بو، غیرقابل اشتعال، بدون ضرر و هم‌چنین دارای خـواص ترمودینامیکـی عالـی بـود، در سیسـتم‌های برودتی به‌خصوص کوچک انقلابی را به‌وجود آورد. مـیزان تولید فریون ۱۲ که در سال ۱۹۳۲ معادل ۱۳٦ تن و در سال ۱۹۳٤ معادل ٦۰۰ تن و در سال ۱۹۳۷ معـادل ۳۰۸٤ تـن بـود در سـال ۱۹۳٦ بـه ۳٤۰۰۰۰ تن و در سال ۱۹۸٦ میزان تولید انواع **CFC** به ۱۳۰۰۰۰۰ تـن رسـید که مهم‌ترین آن‌ها **R۱۱**، **R۱۲**، **R۲۲**، **R۱۱۳** و **R۱۱۵** بود. تولید فریون‌ها، باعث شد که علاوه بر افزایش تولید یخچال و فریزر، در صنایع شیمیایی، ماشین‌سازی، پزشکی، داروسازی، صنایع

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

مـواد غذایـی، صـنایع الکتریکـی، آتـش‌نشانی و غیره سرمای مصنوعی کاربرد پیدا کند. در واقع فقط سی درصد از فریون‌های تولیدی، در صنایع برودتی مصرف می‌شد و بقیه در صنایع دیگر به کار می‌رفت.

در سـال ۱۹۷۰ در روزنامـه‌ها نظر دانشمندان انگلیسی مبنی بر وجود **R۱۱** در مدار بالای اتمسفر چاپ شـد و در ۱۹۷٤، متخصصـان شـیمی دانشگاه کالیفرنیا در مورد رل کلر در مولکول‌های **R۱۱** در ماورای جـو خـبر دادنـد کـه عامل مؤثر بر تخریب لایه‌ی ازن است. در ۱۹۸۵، نتایج مطالعه بر لایه ازن در قطب‌ها بیـن ۱۹۷۰ تـا ۱۹۷٤ مـنعکس شد و در مارس ۱۹۸۵، در کنفرانس وین مسأله حفظ ازن جو و در سپتامبر ۱۹۸۷، با امضاء پروتکل مونرآل ممنوعیت تولید مواد مبرد مخرب ازن جو (**R۱۱**، **R۱۲**، **R۱۱۳**، **R۱۱۴**، **R۱۱۵**، **R۱۲B۱**، **R۱۳B۱** و **R۱۱۴B۲**) اعلام شد.

جدول ۱ ـ مبردهای CFC (مخرب لایه اُزن)

نوع	فرمول شیمیایی	دمای جوش ^0C	دمای بحرانی ^0C	فشار بحرانی بار	پتانسیل تخریب اُزن **ODP**	پتانسیل گرمایی (گلخانه‌ای) **GWP** ۱۰۰ سال
R_{11}	CCl_2F	۲۳/۸	۱۹۸	٤٤/۱	۱	٤۰۰۰
R_{12}	CCl_2F_2	-۲۹/۸	۱۱۲	٤۱/۳	۱	۸٥۰۰
$R_{12}B_1$	$CClBrF_2$	-۳/۷	۱٥٤/٥	٤۱/۲٤	۳	ــــ
R_{13}	$CClF_3$	-۸۱/٤	۲۸/۸	۳۸/۷	۱	۱۱۷۰۰
$R_{13}B_1$	$CBrF_3$	-٥۷/۷	٦۷	۳۹/۸٥	۱۰	٥٦۰۰
R_{14}	CF_4	-۱۲۷/۹	-٤٥/٦٦	۳۷/٤٥	ــــ	٦۳۰۰
R_{22}	$CHClF_2$	-٤۰/۸	۹٦/۱	٤۹/۸٦	۰/۰٥٥	۱۷۰۰
R_{113}	$CClF_2 - CCl_2F_3$	٤۷/٦	۲۱٤/۱	۳٤/۱	۰/۸	٥۰۰۰
R_{114}	$CCF_2 – CClF_2$	۳/۸	۱٤٥/۷	۳۲/٦	۱	۹۳۰۰
R_{115}	$CClF_2 – CF_3$	-۳۸	۸۰	۳۱/٦	۰/٦	۹۳۰۰
$R_{142}B$	$CH_3 – CClF_2$	-۹/۸	۱۳۷	٤۱/٤	۰/۰٦٥	۲۰۰۰
R_{124}	$CHClF - CHF_3$	-۱۳/۲	۱۲۲/۲	۳٥/۷	۰/۰۲۳	٤۸۰

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

جدول ۲ ـ مبردهای HFC (بدون خطر برای لایه اُزُن)

نوع	ترکیب	درصد وزنی	دمای جوش ^0C	دمای بحرانی ^0C	فشار بحرانی بار	GWP ۱۰۰ سال	جانشینی
R134a	CH_2F-CF_3	--	-۴۶/۵-۲۶/۲	۱۰۱/	۴۰/۷	۱۳۰۰	R12(R22)
R404A	R125 R134a R143a	۴۴ ۱۴ ۴۲	-۴۶/۵	۷۲/۱	۳۷/۳	۳۷۵۰	R502
R407C	R32 R125 R134a	۲۳ ۲۵ ۵۲	-۴۳/۷	۷۵/۸	۴۱/۶	۱۶۱۰	R22
R410A	R32 R125	۵۰ ۵۰	-۵۰/۵	۷۳	۴۹/۶	۱۸۹۰	R22 R13B1
R507	R125 R134a	۵۰ ۵۰	-۴۶/۵	۷۰/۸۱	۳۷/۱۷	۳۸۰۰	R502
R125	CHF_2-CF_3	ــ	-۴۸/۵	۶۷/۷	۳۹/۲	۳۲۰۰	ترکیب عنصر در مخلوط
R508A	R23 R116	۳۹ ۶۱	-۸۷	۱۳/۵	۳۷	۱۲۷۰۰	R503

جدول ۳ ـ ترکیبات جانشینی R12 , R22 در روسیه

مبرد	ترکیب	ملاحظات
C1	R152a/R600a	CM1 جانشینی مناسب برای R12 که در فشار اتمسفر دمای تبخیر $-32/2^0C$ و فشار تقطیر آن در 40^0C برابر ۱۸/۱۰ بار و بازده برودتی حجمی آن $887kj/m^3$ است. روغن مصرفی در کمپرسور معمولی معدنی است. پتانسیل تخریب ازن معادل صفر =ODP و پتانسیل گرمایی GWP=4
CM1	R134a/R218/R600a (70/20/10)	
CM2	R134a /R600a	
CM3	R1243 /R600a	
R510	R846/R218 (5/95)	
C10M1	R22/R21/R142b (65/15/20)	
C10M2	R22/R21/R134a (65/15/20)	

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

و بدین ترتیب زحمات تحقیق ۵۰ ساله در مورد این مواد فرو ریخت و از ژانویه سال ۱۹۹۶، تولید فریون ۱۲ و در عرض ۲۵ سال باید تولید فریدون ۲۲ قطع شود (اتحادیه اروپا سال ۲۰۱۵ را برای عدم تولید **R۲۲** تعیین کرده است.) بنابراین باید جانشینی برای مبردهای مخرب لایه ازن پیدا می‌شد، امریکا با پیش بینی لازم **R۱۳۴a** را جانشین **R۱۲** کرد و از طریق یونیدو تحت عنوان کمک به جهان سوم بعضی کشورها را مجبور به قبول آن کرد که پس از چند سال مشخص شد که **R۱۳۴a** پتانسیل بالای گلخانه‌ای (گرمایش کره زمین) دارد، ضمن این‌که روغن مصرفی از نوع سنتیتک بود، پس از آن ترکیبات دیگری پیشنهاد شد که در جدول (۲) منعکس است. در روسیه ترکیباتی مطابق جدول (۳) کشف و مورد استفاده قرار گرفت.

پتانسیل گلخانه‌ای، گرمایی **(GWP)** عامل دیگری است که در کاربرد مواد مبرد باید مورد توجه قرار گیرد که در سال ۱۹۹۲ در ریودوژانیرو و تحت نظارت سازمان ملل توصیه شده است و آن را برای محیط زیست خطرناک تشخیص داده‌اند و در سال ۱۹۹۷ در کنفرانس کیوتو، پروتکل مربوط به امضا رسید.

جدول ۴ ـ مبردهای طبیعی

ماده	فرمول شیمیایی	دمای تبخیر نرمال $t_0{}^0C$	دمای بحرانی $T_{cr}{}^0C$	فشار بحرانی P_{cr}(bar)	پتانسیل تخریب ازن **ODP**	پتانسیل گرمایی **GWP**	مبرد
دی اکسی	CO_2	−۷۸/۴۷	۳۱/۰۵	۷۳/۸۳	صفر	۱	R744
اتان	C_2H_6	−۸۸/۸	۳۲/۲	۴۸/۷	صفر	۳	
اتیلن	C_2H_4	−۱۰۳/۵	۹/۵	۵۰/۶	صفر	۳	R1150
پروپان	C_3H_8	−۴۲/۳۸	۹۶/۷	۴۲/۴۸	صفر	۳	R290
ایزوبوتان	C_4H_{10}	−۱۱/۹	۱۳۴/۷	۳۶/۴	صفر	۳	R600a
آمونیاک	NH_3	−۳۳/۳	۱۳۲/۲	۱۱۳/۴	صفر	_	R717
n بوتان	C_4H_{10}	−۰/۸۸	۱۵۲/۰	۳۷/۹۶	صفر	۳	R600
پروپیلن	C_3H_6	−۴۷/۷	۹۱/۸	۴۶/۱	صفر	۳	R1270
هوا	ــــ	−۱۹۴/۶	−۱۴۰/۶	۳۷/۹	صفر	_	

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

جدول ۵ ـ خواص آمونیاک و دی‌اکسید کربن

مشخصه	آمونیاک	دی اکسید کربن
جرم مولکولی kg/kmop	۱۷/۰۳۰٤	٤٤/۰۱۱
دمای بحرانی k (کلوین)	٤۰٥/۳٦۷	۳۰٤/۲ ± ۰/۰۲
فشار بحرانی MPa	۱۱/۳۳٦	۷/۳۸۳ ± ۰/۰۰٥
جرم مخصوص بحرانی	۲۳٥	۲٦۸
دمای نقطه سه گانه k (کلوین)	۲۳۹/۸۲	۲۱٦/٥۸ ± ۰/۰۱
فشار نقطه سه گانه MPa	۰/۰۰٦۰٦٥	۰/٥۱۷۹ ± ۰/۰۰۰٥
گرمای نهان تبخیر در (Kj/kg)	۱۳۷۲	۲٦۸ (در $-۱٥^{0}C$)

گازهایی که در پتانسیل گرمایش کره زمین مؤثرند، متان، اکسید ازت، فلوئور هیدروکربورها، فلوئور کربن، هگزا فلوئور گوگرد، یعنی همه مبردهای غیرمخرب ازن که در ۱۰ سال گذشته باعث نجات صنایع برودتی شده بودند.

پتانسیل گرمایی (گلخانه‌ای) کلیه فریون‌ها هزار یا ده هزار بار بیش از دی اکسید کربن (انتخاب شده به عنوان واحد ۱= **GPW**) است و فرصت رهایی از عناصر دارای **GPW** بالا، در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ تعیین شده است.

اتحادیه اروپا در ٤ مارس سال ۲۰۰۲ تصمیم به قبول پروتکل کیوتو گرفت. امریکا این پروتکل را نپذیرفت و حتی تصمیم ریودوژانیروی کنوانسیون سازمان ملل را رد کرد ولی پس از ۲ سال بالاخره آن را امضا کرد.امروزه بیشتر کشورها به استفاده از مبردهای طبیعی پرداخته‌اند (جدول ٤) در جدول ٥ خواص گازهای طبیعی (آمونیاک و دی کسید کربن) که بیشتر مورد توجه است، منعکس شده است. تفاوت این گازها با مبردهای شیمیای مثل فریون‌ها در خطر انفجار، دارابودن بوی تند، تولید فشار بالا در سیستم و خطر آتش‌سوزی است. به عبارت دگر آنچه دانشمندان و متخصصان در ۷۰ سال پیش آن را رها کرده بودند، مجدداً مورد بررسی و توجه قرار گرفته است و این بار براساس تصمیم بین المللی. مبردهای طبیعی تقریباً دارای پتانسیل تخریب صفر ازن و پتانسیل گرمایی، تقریباً صفر هستند **(double zero)** یعنی بدون خطر برای محیط زیست هستند.

جدول ۶ ـ شعله‌ور شدن و خودسوزی بعضی مبردها

پارامتر	**R290**	**R600a**	**R717**	**R152a**
حد پایین آتش‌سوزی در مخلوط با هوا ٪	۲/۱	۱/۳	۱٥	۳/۹
حد فوقانی آتش‌سوزی در مخلوط با هوا ٪	۹/٥	۸/٥	۲۸	۱۶/۹
درجه حرارت خودسوزی °C	۴۶۶	۴٥٥	۶٥۱	–
انرژی لازم برای خودسوزی ژول	$۲/۵\times۱۰^{-۴}$	$۲/۵\times۱۰^{-۴}$	۰/۶۸	۰/۲۲

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

خطر شعله‌ورشدن و انفجار مواد سرمازای طبیعی مثل پروپان، ایزوبوتان، آمونیاک و **R۱۵۲a** در جدول ٦ نمایش داده شده است.

مواد سرمازای طبیعی سازگار با روغن، فراوان، ارزان و تولید آن‌ها انحصاری نیست، اما نباید خطر استفاده از این مواد را در سیستم‌های برودتی نادیده گرفت و از این‌رو سیستم‌های برودتی تولیدی با ایمنی بیشتری مورد توجه است، سیستم باید کمتر شارژ شود، کیپ بودن تجهیزات، صحبت از ۵۰ تا ۷۰ گرم آمونیاک یا هیدروکربن به ازای هریک کیلووات توان سیستم است. واقعاً می‌توان سیستم‌های بدون خطر را برای مواد بدون خطر طراحی کرد. سؤال در مورد اقتصادی بودن آن است. اجتماع تا چه حد حاضر است به خاطر محیط زیست هزینه کند. هزینه کم نیست اما مواد مبرد طبیعی پاسخگویی این سرمایه‌گذاری هستند. در جدول (۷) مقایسه‌ی دو سیستم با توان یکسان ساخت نیمه اول و اواخر قرن بیستم منعکس شده است که پیشرفت تکنولوژی ساخت را مشخص می‌سازد. مشخصات سیکل ماشین مبرد با **R۱۳۴a** و دی اکسید کربن برای مقایسه در جدول (۸) داده شده است.

بحثی نیست که سیکل با CO_2 کمتر مؤثر است اما وقتی صحبت از تهویه مطبوع خودرو است و امکان نشت ماده زیاد است و صحبت از خطر گرمایش کره زمین است، CO_2 مناسب‌تر است. سیکل تراکمی – تبخیری با بوتان و ایزوبوتان و پروپان از نظر راندمان کمتر از سیکل با **R۱۳۴a** و حتی **R۱۲** نیستند.

یخچال‌های تولیدی در اسکاندیناوی با مبرد **R۱۳۴a** به دلیل خطر پتانسیل گرمایی نتوانست مجوز سبز برای فروش بگیرد و آلمان کشوری بود که به جای **R۱۲**، از هیدروکربن‌ها استفاده کرد و میلیون‌ها یخچال تولیدی بدون مشکل خاص مورد استفاده قرار گرفته است.

نروژ میلیون‌ها کولر اتومبیل با CO_2 تولید کرده است. سیستم‌های آمونیاکی در سوپرمارکت‌های اروپا و کشتی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در پمپ‌های حرارتی و چیلرهای ساخت اروپا و همچنین خنک کردن مایعات آمونیاک و هیدروکربن به کار رفته است.

جدول ۷ـ مقایسهٔ سیستم‌ها با توان یکسان

سال ۱۹۳۵	۱۹۹۹
کمپرسور – موتور تیپ باز شیر خفگی مبدل با لوله‌های فین‌دار ۲۵ گرم پروپان	کمپرسور – موتور هرمتیک لوله موئین مبدل از لوله‌های آلومینیومی ۲۰ گرم ایزوبوتان

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

جدول ۸ ـ مشخصات سیکل تراکمی تبخیری
برای تهویه اتومبیل

مشخصات	R134a	CO_2
فشار تقطیر در ۵۰°C (مگاپاسکال)	۱/۳	۹
فشار تبخیر در صفر درجه	۰/۳	۳/۵
نسبت فشارها	۴/۳	۲/۸
ضریب برودتی	۴/۱	۳/۲

کشورهای بزرگ اروپایی (انگلیس، آلمان، فرانسه) ریسک خطر آتش سوزی مواد مبرد طبیعی را با ایمنی سیستم‌های برودتی پذیرفته‌اند. از جمله کاربرد هیدروکربن‌ها در سیستم‌های هرمتیک با شارژ ۱۵۰ تا ۲۵۰ گرم استاندارد شده است، ولی در بعضی کشورها محدودیتی برای شارژ هیدروکربن پیش بینی نشده است.

شعار خطرناک امروز نابودی فوری کلیه مواد خطرناک برای محیط زیست (پتانسیل تخریب ازن – پتانسیل گرمایشی) است، باید قبل از نابودی، فرصت کافی برای ایجاد تکنولوژی جدید ساخت و روش کاربرد مواد طبیعی و کشف مواد طبیعی بی‌خطر داده شود. اروپا سعی دارد هرچه زودتر در سیستم‌های برودتی از مواد طبیعی استفاده کند. امریکا خیلی با احتیاط نسبت به مواد طبیعی از نظر آتش‌زایی نگاه می‌کند. روسیه گرچه در تولیدات جدید خود از مواد بی‌خطر برای ازن استفاده کرده است اما هنوز از فریون ۲۲ استفاده می‌کند ولی اخیراً به کارخانه‌های یخچال سازی روسیه توصیه شده است که از مخلوط‌ها و مواد طبیعی استفاده کنند. به زودی اکثر کشورهای اروپایی ورود یخچال‌ها با **R۱۳۴a** را ممنوع خواهند کرد. اکثر مؤسسات تحقیقاتی و به‌خصوص شیمیایی در جست و جوی مبردهای جدید هستند و کمپرسورسازی‌ها در فکر تکنولوژی بهتر برای تولید کمپرسورهای آمونیاکی، هیدروکربنی و با انیدرید کربنیک و همچنین مبدل کیپ و تجهیزات ایمنی از نظر آتش‌سوزی و انفجار هستند. این شانسی است برای نجات صنایع برودتی و نباید آن را از دست داد.

افزایش تولید یخچال و فریزر

در سال ۲۰۰۰، جمعیت دنیا حدود ٦ میلیارد و از ۱۹۵۰ تا سال ۲۰۰۰ رشد جمعیت حدود ۳/۷ میلیارد نفر بوده است. یعنی به‌طور متوسط سالی حدود ٧٤ میلیون نفر به جمعیت دنیا اضافه شده است. در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ رشد جمعیت در حدود ۵۸ میلیون نفر در سال خواهد بود. با توجه به رشد جمعیت در کشورهای صنعتی ۰/۲٦ درصد و کشورهای جهان سوم ۱/٦۵ درصد، اگر امروز مواد غذایی که در نقاط مختلف جابه‌جا می‌شود حدود ٤/۵ میلیارد تن است که ۱/۵ میلیارد تن آن نیاز به سردکردن و منجمد کردن دارد؛ مسلم است که با رشد جمعیت نیاز به مواد غذایی بیشتر می‌شود و باید امکانات لازم برای نگهداری و ضایع نشدن مواد غذایی پیش‌بینی شود. طی ۳۰ سال آخر قرن بیستم رشد مصرف مواد غذایی حدود ۱۵٪ (از ۹۹٤۰ کیلوژول تا ۱۱۳۸۰ کیلوژول) بتدریج ضایعات (و گرسنگی) کاهش می‌یابد و باید تا سال ۲۰۱۵ به ۵٪ برسد. باید برای کاهش ضایعات مواد غذایی در صنایع برودتی و حمل و نقل

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

پیشـرفت حاصـل شود و تکنولوژی جدیدی در ساخت یخچال و فریزرها به کار می‌رود که مصرف بهینه انـرژی را نـیز در برداشته باشد. این امر افزایش سرمایه‌گذاری برای تولید و بهره‌برداری، مصرف انرژی برای تولید سرما، افزایش نیروی انسانی متخصص را طلب می‌کند.

مصرف انرژی و دورنمای صنایع برودتی در قرن بیست و یکم

کمـبود انـرژی (سـوخت) در اواسـط قـرن بیسـت و یکـم بـه حـد بحـران مـی‌رسـد، بنابراین باید برای سـوخت‌های امروزی انرژی جانشین پیدا شود. بحثی نیست که برای صرفه‌جویی انرژی باید سیستم‌های برودتـی راندمـان پاییـن مـثلاً (ماشـین مبرد هوایی در دمای تبرید بالاتر از ۶۰- درجه سانتی‌گراد) حذف شـوند و در مـبدل‌ها از فلزاتی با ضریب هدایت حرارتی بالاتر استفاده شود که این امر در قیمت تولید نیز تأثیر می‌گذارد.

صنایع برودتی به اجبار به سمت سیستم‌های جذبی و کمپرسورهایی با موتور حرارتی متمایل می‌شود. اسـتفاده از سـرمای طبیعی؛ هوای خارج، یخ ذخیره شده که در اواخر قرن بیستم از صنایع برودتی حذف شـده بودنـد، مجـدداً بـه سیسـتم‌هـای کوچـک بـاز خواهند گشت و شورکردن مواد غذایی برای نگهداری افزایش می‌یابد.

بـر طراحان است که در فکر تکنولوژی‌های جدید برای استفاده از گرما و سرما در حد پایین تولید آن‌ها باشـند. در قـرن بیسـت و یکم صنعت برودت یکی از روش‌های اساسی تولید انرژی است و از جمله آن‌ها اسـتفاده از گازهـای خروجـی پالایشـگاه‌هـا اسـت که هم‌اکنون سوزانده می‌شود. این گازها با استفاده از سـرمای عمـیق، بـه مـواد انرژی‌زا تبدیل می‌شود. بنابراین گرچه امروزه مواد سرمازا برای محیط زیست مشکل‌زا شده است (پتانسیل تخریب ازن و پتانسیل گرمایش کره زمین)، صنعت برودت با جداسازی مواد مخـتلف از گازهایی که سوزانده می‌شوند و محیط زیست را آلوده می‌کنند در خدمت محیط زیست خواهد بود.

طـبق اطلاع **IPCC** (کمیته بین المللی تغییرات اقلیمی) در صد سال اخیر درجه حرارت در کره زمین ۰/۶ درجـه کلویـن افـزایش یافـته است و به همین جهت یخ‌های قطبی در حال ذوب شدن است (در ایسلند ۲۵۰ کیلومـتر مکعـب یـخ ذوب شـده اسـت) و افـزایش دمای کره زمین را در سال ۲۰۰۵ بین ۱/۸ تا ۲/۶ درجه کلوین و در سال ۲۱۰۰ بین۳ تا ۶ کلوین پیش بینی شده است که عامل اصلی (۷۵ تا ۸۵ درصد) دی اکسید کربـن (CO_2) حاصـل از سـوخت‌هـا اسـت (**GWP = ۱**). ۱۵ تـا ۲۵ درصـد را گازهایـی چـون CH_4 (**GWP = ۳۰**) و NO_2 (**GWP = ۲۰۰**) و **HFC** (**GWP = ۷۵۰۰**) و **FC** (**GWP = ۲۲۰۰۰**) باعـــث می‌شوند.

در قـرن بیسـت و یکـم می‌توان پیش بینی کرد که سیستم‌های ترموالکتریکی با مواد نیمه هادی جدید و پدیـده الکتروکالریک مورد توجه قرار گیرند. ماشین‌های مبرد تبخیر تراکمی (کمپرسوری) چند قرن دیگر وجود خواهند داشت ولی تغییر خواهند کرد. با استفاده از مواد طبیعی از جمله CO_2 پیش‌بینی می‌شود که کمپرسورهایی بدون نیاز به روغن ساخته شود. به کمک کمپرسورهای گریز از مرکز، امکان تراکم خشک امـروز هـم امکـان‌پذیـر شـده اسـت. حـذف روغن، سطح تبادل حرارت در مبدل‌ها را کاهش می‌دهد. برای یخچـال‌هـا و فریـزرها بـاید در صـدد سـاخت کمپرسورهای الکتروگاز و دینامیک (کمپرسور بدون قطعه متحرک) بود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

دورنمای استفاده از مواد طبیعی

استفاده از مبردهای طبیعی اجباری است زیرا فقط این مواد می‌توانند حجم انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند. گازهای طبیعی معمولی هیدروکربن، آمونیاک و همچنین دی‌متیل‌اتر و دی اکسید کربن و هوا و آب هستند.

استفاده از مواد طبیعی نه تنها باید مسأله محیط زیست را حل کند، بلکه مصرف انرژی در ماشین‌های مبرد و پمپ‌های حرارتی را کاهش دهد.

در اروپای غربی در سیستم‌های کوچک (یخچال‌ها و فریزرها) و همچنین پمپ‌های حرارتی از هیدروکربن‌ها (پروپان، بوتان، ایزوبوتان) استفاده می‌شود که مقدار شارژ تا ۵ کیلوگرم محدود شده است. این کاربرد بدون توجه به مشکل خطر آتش‌سوزی و انفجار آن‌ها مسلماً توسعه خواهد یافت زیرا کاربرد این مواد در افزایش راندمان انرژی ماشین‌های مبرد مؤثر است.

چون امونیاک در مقایسه با هیدروکربن‌ها خطر کمتری دارد، کاربرد آن توسعه خواهد یافت چون پتانسیل تخریب ازن و پتانسیل گلخانه‌ای آن صفر است.

آمونیاک سبک‌تر از هوا است، بنابراین مسمومیت را کاهش می‌دهد، دارای بوی تند است که راحت می‌توان وجود آن را حس کرد و محل نشت را یافت. دارای گرمای نهان تبخیر بالا و در صورت نشت فشار آن سریعاً تا فشار اتمسفر کاهش می‌یابد و در نتیجه سرعت نشت کاهش می‌یابد. در **۶۵۰°C** مشتعل می‌شود ولی برای اشتعال آن گرمای زیادی لازم است. آمونیاکی که در نیمه دوم قرن بیستم به خاطر وجود فریون‌ها تا حدودی کنار گذاشته شده بود و در سیستم‌های کوچک کاربرد نداشت، امروز بیش از هر مبردی مورد توجه است.

استفاده از دی اکسید کربن CO_2 **(R۷۴۴)** در ماشین‌های مبرد و پمپ‌های حرارتی طی مقاله‌ای از نویسنده در مجله مهندسی شیمی به چاپ می‌رسد. باید اشاره کرد که تنها اشکال این مبرد فشار بالا در سیستم است.

مسأله مؤثر بودن استفاده از هوا به عنوان مبرد محدود به درجه حرارت پایین‌تر از **۸۰°C−** است.

آب به عنوان مبرد در سیستم‌های تهویه مطبوع (چیلرهای جذبی) و همچنین پمپ‌های حرارتی کاربرد دارد و آب موجود در مایعات برای خنک کردن مایعات با ایجاد خلاء مورد توجه قرار گرفته است و طی مقاله‌ای در مجله مهندس شیمی به چاپ خواهد رسید.

منابع

1- Broadeanck V.M., Kalnin E.M., Serova E.N. The Comparison of the Effectiveness for Two Cycles, Evaporative Refrigeration Systems and Air Refrigeration Systems. Journal of Refrigeration Industry, published in Rusha, No. 11 & 12, 1999.
2- Boga V.N , S.D., Di-methyl-ether, Fuel and Refrigerant for the Diesel Automobiles that have Refrigerator. Journal of Automobiles, Special No. 2000.
3- Kalnin E.M.Extension of the Amonia Usage in Refrigeration Industries. Journal of Refrigeration Industry, Published in Rusha, No. 7, 2001.
4- Larin I.K.The Effects of Chemical Materials in Atmosphere, Journal of Life and Chemicals, No. 7, 2001.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]

5- Billiard New Developments in the Food Cold Chain Worldwide //20th Int. Congress of Refrigeration, II RAIF, Sydney, 1999.
6- Kaminski W. Refrigeration and the Food Industry in the Threshold of the 21th Century / 20th Int. Congress of Refrigeration IIRIIF, Sydney, 1999.
7- Peter Baz, Keaus Meyersen, Dirk Legatis. Hydrocarbons Technology, The Use of Hydrocarbons as Foaming Agents and Refrigerants in Household Refrigration. Facts Figures Findings Futures, Yearbook 1995. Eschbom, 1995.
8- Kalnin I.M.Refrigeration Industries in Emergency International Decisions, Journal of Refrigeration Industry, Published in Rush, No.4, 2002.
9- Svetkov O.B.Refrigerants in 2002, and the Effect of it on Human Life, Journal of Refrigeration Industry, Published in Rush, No.4, 2003.

۱۰- دکتر موسوی نائینیان، سیدمجتبی، چرا شتاب برای جایگزینی **R۱۳۴a** به جای **R۱۲**، مجله حرارت و برودت، شماره ٤٥، فروردین ماه ۱۳۷۷.
۱۱- دکتر موسوی نائینیان، سیدمجتبی، بررسی و تحقیق در مورد مناسب‌ترین مبرد (ماده سرمازا)، نشریه انجمن مهندسان مکانیک ایران، شماره دوم، بهمن ماه ۱۳۷۷.
۱۲- دکتر موسوی نائینیان، سیدمجتبی، جایگاه آمونیاک در سردخانه‌ها، نخستین همایش سردخانه‌ها و نقش آن در توسعه اقتصادی، ۳۰ بهمن ماه ۱۳۷۵.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-12]