فصل یازدهم

سیستم‌های دیگر تبرید

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل هنرجو باید بتواند :

۱ــ سیستم تبرید جذبی را تشریح نماید.

۲ــ یخچال جذبی و اصول کار آن‌را توضیح دهد.

۳ــ سیستم تبرید پاششی با مواد مبرد مصرف شدنی را توضیح دهد.

۴ــ سیستم تبرید ترموالکتریک را توضیح دهد.

۱۱ــ سیستم‌های دیگر تبرید

آن‌چه در فصل‌های گذشته مورد بحث و بررسی قرار گرفته است مربوط به دستگاه‌هایی است که براساس سیستم تبرید تراکمی کار می‌کنند که در آن‌ها برای جریان ماده سرمازا از کمپرسور استفاده می‌شود و اغلب دستگاه‌های سردکننده به‌خصوص دستگاه‌های سردکننده خانگی و تجاری براساس سیستم تبرید تراکمی کار می‌کند. سیستم‌هایی که اجزای اصلی تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها حداقل دارای یک کمپرسور، یک کندانسر، یک شیر انبساط و یک اواپراتور می‌باشد.

سیستم‌های دیگر سردکننده سیستم‌هایی هستند که اصول کار آنها با اصول کار سیستم تبرید تراکمی یکی نیست. سیستم‌های تبرید جذبی کریر، سیستم تبرید جذبی سرول (یخچال نفتی) سیستم تبرید پاششی و سیستم تبرید ترموالکتریک از جمله سیستم‌هایی هستند که در این فصل مورد بررسی و بحث قرار گرفته‌اند.

۱ــ۱۱ــ سیستم تبرید جذبی کریر

سیستم تبرید جذبی از نظر تقطیر ماده سرمازا در فشار و دمای بالا و تبخیر آن در فشار و دمای کم و گرفتن گرما از ماده‌ای که باید سرد شود شبیه سیکل تبرید تراکمی است.

تفاوت عمده و اصلی بین سیستم تبرید جذبی و سیستم تبرید تراکمی در چگونگی انتقال ماده‌ی سرمازا از سمت فشار کم سیستم به سمت فشار زیاد آن است. در سیستم تبرید تراکمی برای این منظور از کمپرسور استفاده می‌شود درحالی که در سیستم تبرید جذبی برای انتقال بخار کم دما و کم‌فشار از یک فرآیند شیمیایی استفاده می‌شود. دومین تفاوت عمده بین سیستم تبرید جذبی و سیستم تبرید تراکمی در نوع ماده سرمازا می‌باشد. ماده سرمازای مورد استفاده در سیستم‌های تراکمی هالوکربن‌ها در انواع مختلف می‌باشد. در حالی که ماده سرمازای مورد استفاده در سیستم جذبی کویر آب است.

به‌کارگیری و استفاده از این سیستم‌ها در شرایط زیر توصیه می‌شود.

۱ــ وقتی که انرژی الکتریکی گران بوده و سوخت ارزان مانند گاز طبیعی در اختیار باشد.

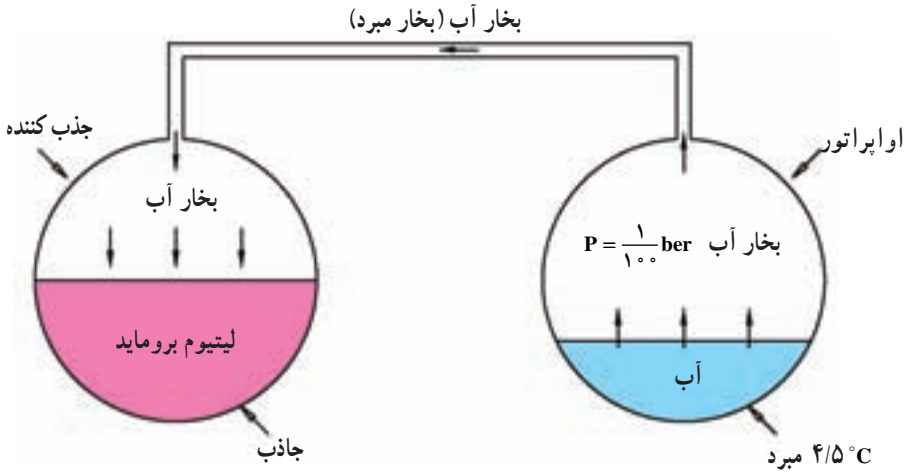
۲ــ وقتی که در تابستان دیگ‌های بخار بلااستفاده باشند.

۱ــ۱ــ۱۱ــ اصول کار سیستم‌های جذبی: اصول کار سیستم‌های جذبی (چیلرهای جذبی) براساس گرمای نهان تبخیر می‌باشد. هرگاه مایعی تبخیر شود مقداری گرما از اطراف خود جذب می‌کند برای مثال با ریختن مقداری الکل روی دست احساس خنکی می‌کنید زیرا که الکل به‌سرعت تبخیر شده و گرمای نهان تبخیر را از پوست دست می‌گیرد این مایع در دستگاه چیلر به‌نام مایع مبرد نامیده می‌شود. در چیلر جذبی مایع مبرد آب معمولی می‌باشد. واضح است که آب در شرایط استاندارد (فشار یک اتمسفر) در $100^\circ C$ به‌جوش می‌آید لیکن دمای جوش آب با فشار تغییر می‌کند بدین‌ترتیب که هرچه فشار بیشتر شود دمای جوش آب زیادتر می‌شود و بالعکس. برای مثال در فشار یک‌دهم ($\frac{1}{10}$) اتمسفر آب در دمای $43^\circ C$ تبخیر می‌شود و در فشار یک صدم ($\frac{1}{100}$) اتمسفر آب در دمای $4/5^\circ C$ تبخیر می‌شود.

در این سیستم‌ها از یک مایع دیگری به‌نام لیتیوم بروماید به‌عنوان جاذب استفاده می‌شود تا بخار مایع مبرد را جذب نماید انتخاب لیتیوم بروماید به‌عنوان جاذب به‌دلیل داشتن قدرت جذب عالی بخار آب، غیرسمی بودن، غیرقابل انفجار بودن و نداشتن ترکیبات مضر می‌باشد.

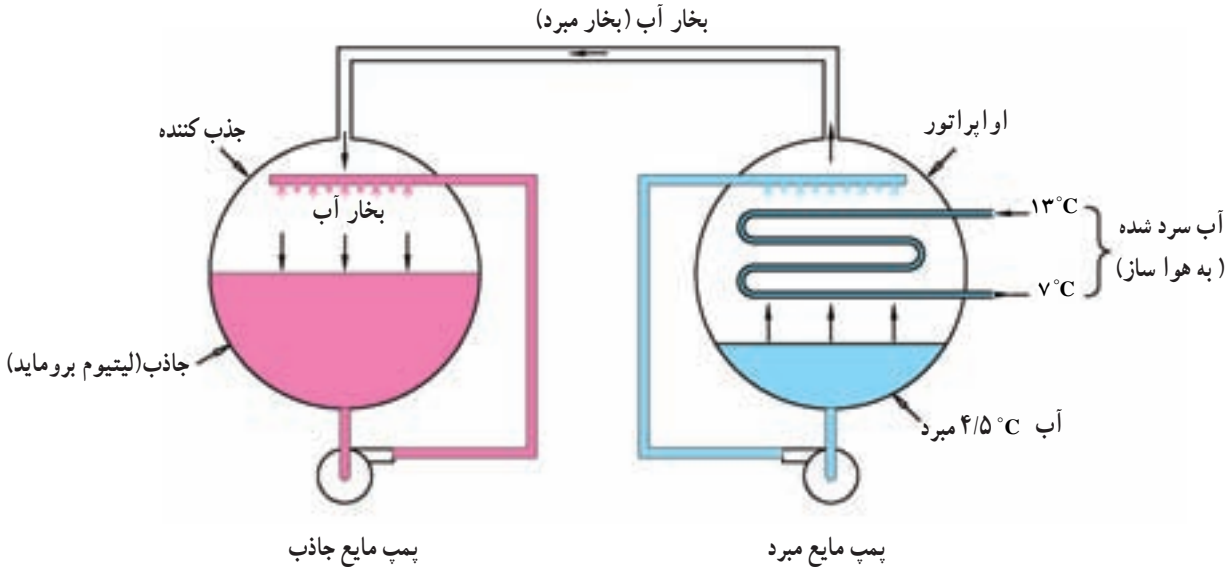
برای درک بهتر سیکل تبرید جذبی را مرحله به مرحله بررسی می‌کنیم.

درشکل ۱ــ۱۱ دو ظرف نشان داده شده است. یکی از ظرف‌ها (اواپراتور) محتوی آب و ظرف دیگر (جذب‌کننده) محتوی لیتیوم بروماید است. اگر بتوانیم هوای داخل دو ظرف را خالی کرده تا حدود $\frac{1}{100}$ اتمسفر (تقریباً خلأ کامل) برسانیم آب داخل اواپراتور در $4/5^\circ C$ تبخیر می‌شود (عمل تبخیر گرماگیر است) با تبخیر قسمتی از آب، بقیه‌ی آب داخل اواپراتور تا کمتر از $4/5^\circ C$ سرد می‌شود.



شکل ۱ــ۱۱ــ مجاورت بخار آب و لیتیوم بروماید در فشار کم باعث جذب بخار آب توسط لیتیوم می‌شود.

بخار تولید شده در اواپراتور به سمت جذب‌کننده رفته و به‌وسیله محلول لیتیوم بروماید جذب می‌شود. برای استفاده از سرمای تولید شده در اواپراتور می‌توان یک کویل در داخل آن نصب کرد (شکل ۲ــ۱۱).



شکل ۲ــ۱۱ــ با نصب دو عدد پمپ برای اواپراتور و جذب‌کننده راندمان بیشتر می‌شود.

برای بالا بردن راندمان دو عدد پمپ به‌عنوان پمپ مایع مبرد و پمپ مایع جاذب به سیستم اضافه می‌شود. پمپ مایع مبرد آب سرد را روی کویل ریخته و شدت تبخیر را افزایش می‌دهد و پمپ جاذب محلول لیتیوم‌بروماید را به‌صورت اسپری در ظرف لیتیوم‌بروماید می‌پاشد درنتیجه قدرت جذب بخار آب را بیشتر می‌کند. سیستم فوق دارای دو اشکال عمده بوده که بایستی برطرف گردد.

اول این‌که محلول لیتیوم بروماید مرتباً بخار آب را جذب کرده و رقیق می‌شود و نهایتاً پس از مدتی قدرت جذب آب را از دست خواهد داد.

دوم این‌که مایع مبرد (آب) موجود در اواپراتور مرتباً تبخیر شده و کم می‌شود و بالاخره تمام خواهد شد.

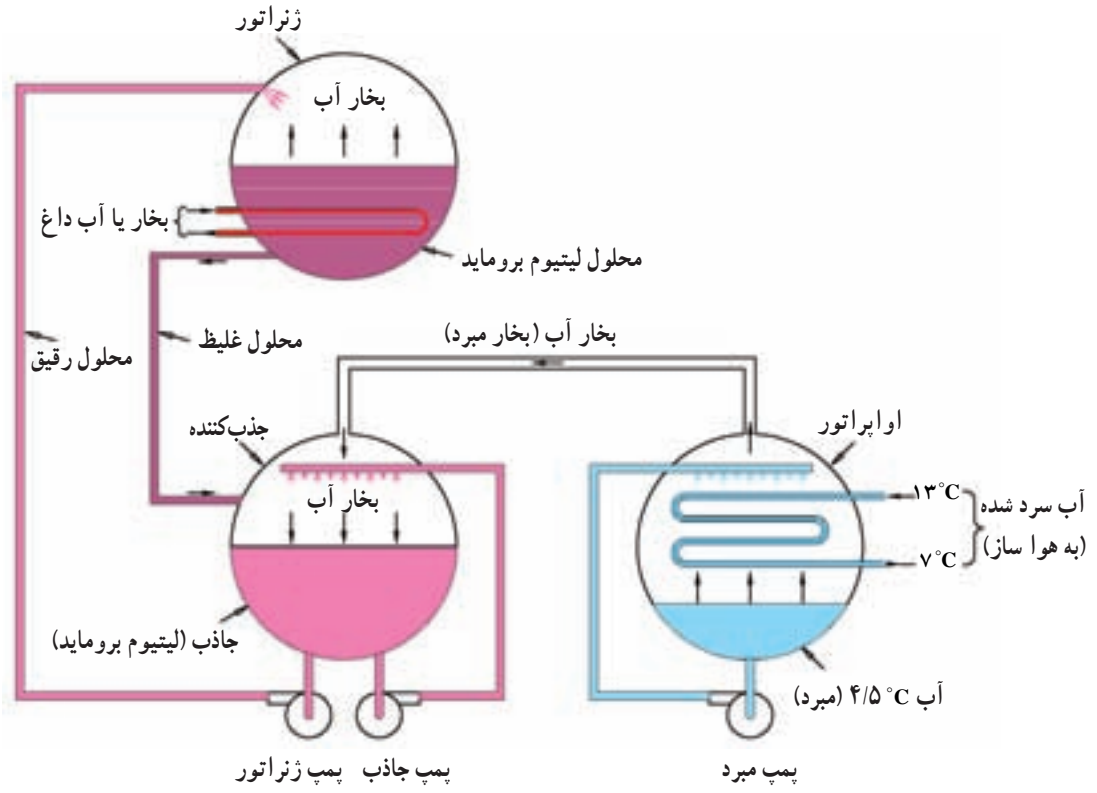
برای رفع مشکل اول به سیستم یک دستگاه ژنراتور اضافه می‌کنیم (شکل ۳ــ۱۱) تا محلول رقیق لیتیوم‌بروماید توسط یک پمپ به ژنراتور فرستاده شود و به‌وسیله بخار یا آب داغ به‌صورت غیرمستقیم گرما داده می‌شود در اثر گرما محلول لیتیوم‌بروماید جوشیده و بخار آب از آن جدا می‌شود بنابراین محلول باقی‌مانده در ژنراتور محلولی است غلیظ که به سمت جذب‌کننده هدایت می‌شود تا مجدداً بتواند بخار آب بیشتری را جذب نماید.

برای رفع مشکل دوم به سیستم فوق یک دستگاه کندانسر (تقطیرکننده) اضافه می‌کنیم (شکل ۴ــ۱۱). تا این‌که بخار آب خارج شده در ژنراتور بتواند وارد کندانسر شده تقطیر شود و مجدداً به اواپراتور برگردد درنتیجه یک سیکل بسته تشکیل می‌شود.

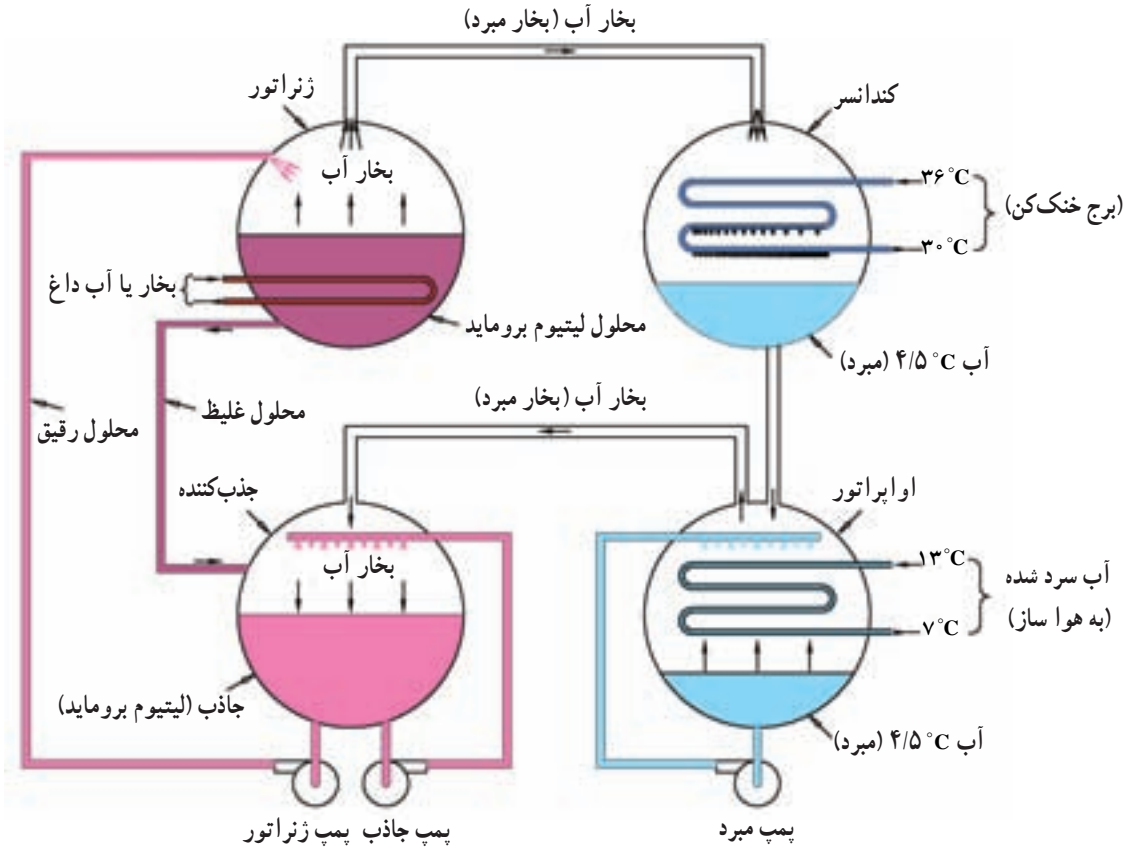
شکل ۵ــ۱۱ سیکل کامل یک سیستم تبرید جذبی را نشان می‌دهد.

برای بالا بردن راندمان اولاً یک مبدل گرمایی بین ژنراتور و ابزوربر (جذب‌کننده) قرار می‌دهند تا از طرفی محلول رقیق را که از جذب‌کننده به ژنراتور می‌رود را گرم کند و از طرف دیگر محلول غلیظ را که از ژنراتور به جذب‌کننده می‌رود سرد کند. ثانیاً یک کویل در جذب‌کننده قرار می‌دهند و از داخل آن آب برج خنک‌کن را می‌گذرانند تا گرمای حاصل از حل شدن آب در لیتیوم‌بروماید را بگیرند (هر اندازه محلول لیتیوم‌بروماید سردتر و غلیظ‌تر شود قدرت جذب بخار آب بیشتری را پیدا می‌کند.)

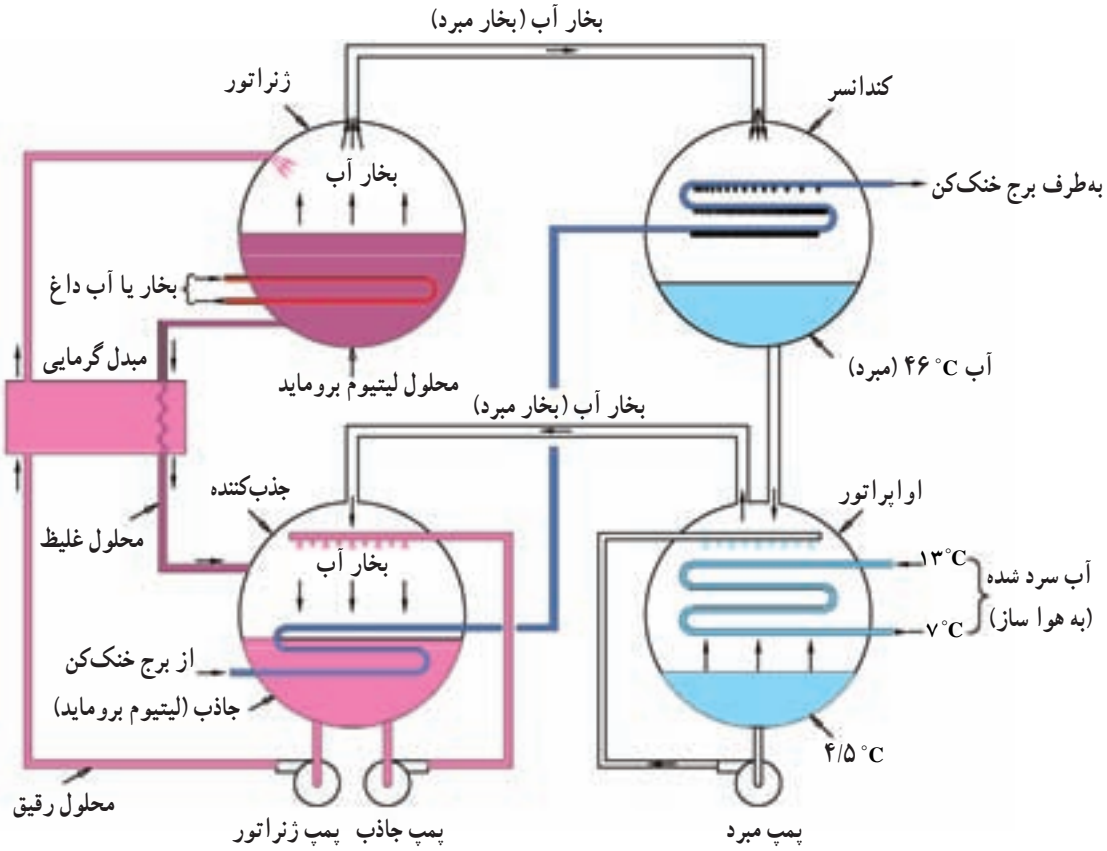
به لحاظ این‌که فشار مطلق کندانسر و ژنراتور تقریباً با هم برابر بوده (یک دهم اتمسفر) و فشار مطلق اواپراتور و جذب‌کننده نیز با هم برابر بوده (یک صدم اتمسفر) لذا کندانسر و ژنراتور را در یک پوسته، اواپراتور و جذب‌کننده را در یک پوسته دیگر قرار می‌دهند. توجه داشته باشید که در فشار یک‌صدم اتمسفر



شکل ۳ــ۱۱ــ برای رفع مشکل دوم به سیستم یک ژنراتور اضافه می‌کنیم.



شکل ۴ــ۱۱ــ با اضافه کردن یک دستگاه کندانسر و تقطیر مجدد بخارات آب سیکل بسته تشکیل می‌شود.



شکل ۵ــ۱۱ــ سیکل کامل یک سیستم تبرید جذبی

آب در ۴/۵ °C می‌جوشد درنتیجه می‌تواند دمای آب سرد را (آب هواساز) تا ۶/۵ °C پایین بیاورد. درشکل ۶ــ۱۱ یک عدد شیر کنترل بخار در مسیر ورود بخار به ژنراتور نصب شده است.

سنسور شیر از دمای آب کویل هواساز متأثر می‌شود. با کاهش دمای آب داخل کویل در قسمت خروجی اواپراتور، مقدار بخار ورودی به ژنراتور کسر می‌شود و برعکس.

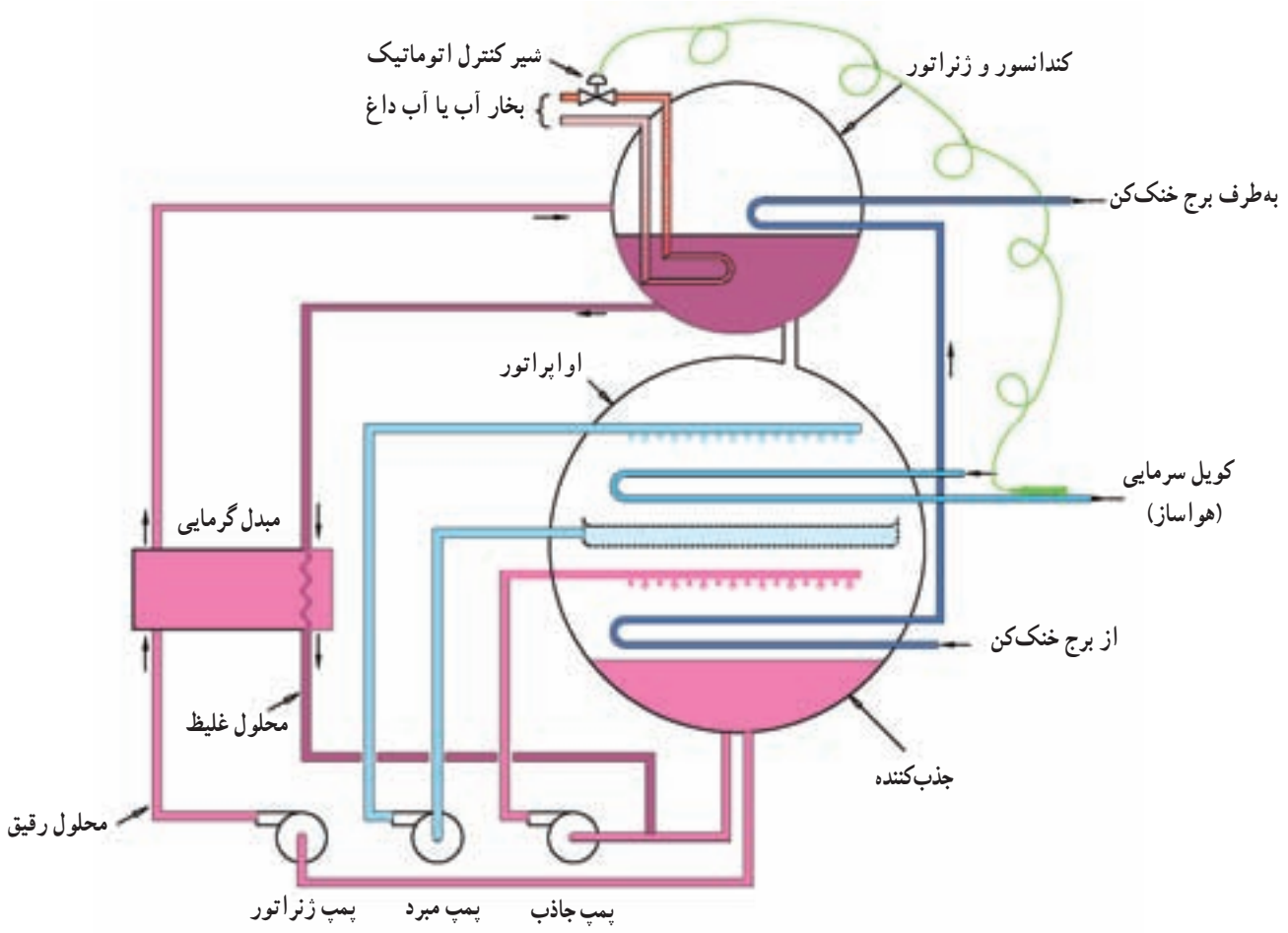
با توجه به توضیحات بیان شده مسیر حرکت مبرد و جاذب در سیکل بسته به شرح زیر است. مسیر مبرد (آب) از کندانسر به اواپراتور، به جذب‌کننده و به ژنراتور سپس مجدداً به کندانسر می‌باشد و مسیر ماده جاذب (لیتیوم‌بروماید) از جذب‌کننده به ژنراتور و مجدداً به جذب‌کننده می‌باشد.

سیستم‌های جذبی دارای مشکلاتی به قرار زیر هستند.

۱ــ فشار خیلی پایین: نگهداری مطمئن اواپراتور در فشار خیلی پایین دشوار است به‌طوری که آب بتواند در دمای ۴/۵ °C بجوشد. کمترین و کوچک‌ترین نشتی باعث کاهش ظرفیت سیستم می‌شود.

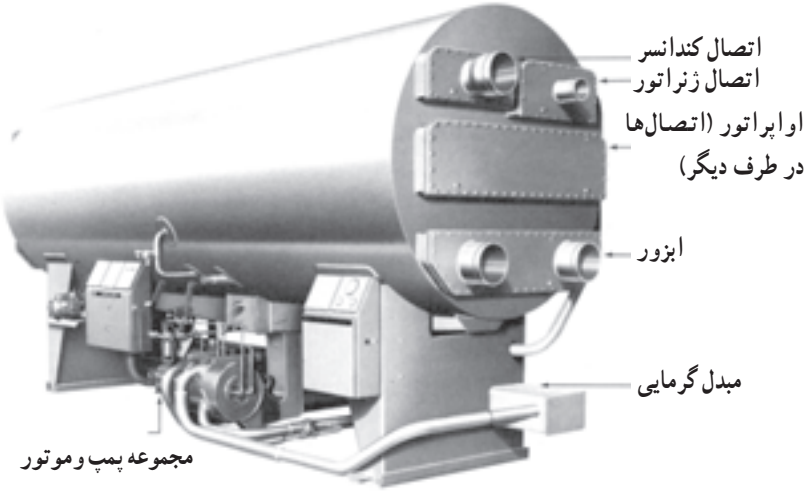
۲ــ خوردگی: محلول لیتیوم‌بروماید یک نوع آب نمک است اگر هوا به داخل سیستم نفوذ کند لیتیوم‌بروماید سریعاً قسمت‌های فولادی را می‌خورد به تعبیری دیگر سیستم غیرقابل استفاده می‌شود.

۳ــ کریستالیزاسیون: عمل تغییر حالت محلول از مایع به جامد است که باعث گرفتگی مسیر جریان محلول می‌شود. برای برطرف کردن آن بایستی لوله‌ی گرفته شده را گرما داده تا مسیر باز شود. سیستم‌های جذبی در تأسیسات تهویه مطبوع



شکل ۶ــ۱۱ــ سیکل کامل تبرید جذبی با تجهیزات اضافی

مراکز مسکونی و تجاری به کار برده می‌شوند. شکل ۷ــ۱۱ یک دستگاه چیلر جذبی را نشان می‌دهد.



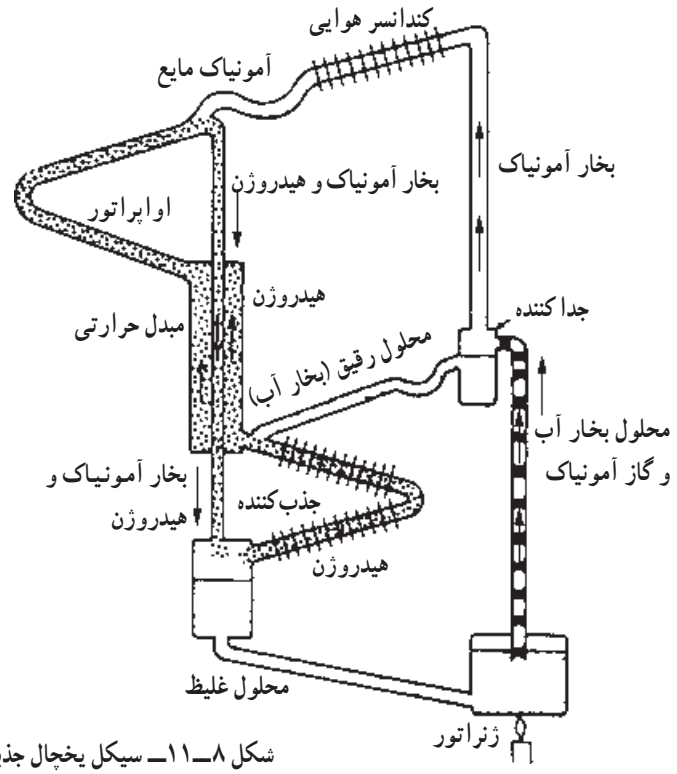
شکل ۷ــ۱۱ــ یک نمونه چیلر جذبی با ظرفیت ۱۵۰ــ۱۰۰ تن سرمایی

۲ــ۱۱ــ یخچال جذبی

در این سیستم از آب به‌عنوان جاذب و از آمونیاک به‌عنوان مبرد استفاده شده است زیرا که آب مقدار زیادی گاز آمونیاک را به خود جذب می‌کند، یخچال جذبی را در گذشته به‌نام یخچال نفتی می‌شناختند.

شکل ۸ــ۱۱ یک سیکل ساده یخچال نفتی را نشان می‌دهد وقتی گرما از طریق ژنراتور به محلول می‌رسد گاز آمونیاک با مقداری بخار آب از محلول جدا شده از طریق لوله‌ای وارد جداکننده می‌شود و در محل جداکننده، بخار آب در اثر نیروی وزن از طریق تله مایع U شکل به جذب‌کننده هوایی می‌رود درحالی که بخار آمونیاک مستقیماً به کندانسر هوایی می‌رود که در آن‌جا تقطیر شود سپس آمونیاک مایع در اثر نیروی وزن خود از طریق لوله U شکل از کندانسر به اواپراتور می‌ریزد. در اواپراتور با جذب گرما از فضای داخل کابین تبخیر می‌شود بخار آمونیاک همراه با مقداری گاز هیدروژن از اواپراتور به جذب‌کننده می‌رود. در جذب‌کننده بخار آمونیاک در آب حل می‌شود. درحالی که گاز هیدروژن که میل ترکیبی با آب (جاذب) ندارد از جذب‌کننده گذشته به اواپراتور برمی‌گردد. علت استفاده از گاز هیدروژن کاهش فشار بخار آمونیاک در اواپراتور و فراهم کردن امکان تبخیر مایع آمونیاک است.[۱]

هدف از نصب دو عدد تله مایع به شکل U این است که مانع از خارج شدن گاز هیدروژن از اواپراتور و جذب‌کننده شویم. سیکل نشان داده شده مربوط به یخچال سرول است. سایر یخچال‌های نفتی مانند الکترولوکس و سوپرفیکس و... نیز شبیه یخچال سرول کار می‌کنند. لازم به تذکر است که به‌جای شعله چراغ نفتی می‌توان از شعله گاز یا گرمکن الکتریکی استفاده کرد.



شکل ۸ــ۱۱ــ سیکل یخچال جذبی سرول

۱ــ سیکل جذبی یخچال‌های نفتی در اصل براساس قانون دالتون کار می‌کند که بیان می‌دارد فشار کلی هر مخلوط گاز یا بخار، مجموع فشارهای جزئی وارده توسط هر گاز یا بخار موجود در مخلوط است در این سیستم فشار کلی وارده توسط گاز و بخار واقعاً در تمام قسمت‌های سیکل یکسان است ولی به علت حضور هیدروژن و فشار جزیی که به‌طرف کم فشار سیستم (اوپراتور و جذب‌کننده) وارد می‌شود فشار جزیی وارده توسط بخار آمونیاک در این قسمت‌ها کمتر از آن مقداری خواهد بود که بخار آمونیاک در ژنراتور و کندانسر در غیاب هیدروژن وارد می‌کند درنتیجه آمونیاک می‌تواند در دما و فشاری پایین در اواپراتور تبخیر شود و در عین حال در فشار و دمای بالا در کندانسر تقطیر یابد.

۳ــ۱۱ــ سیستم تبرید پاششی با مواد مبرد مصرف‌شدنی

استفاده از ازت و اکسیدکربن مایع، برای سرد کردن وسایط نقلیه مثل کامیون‌های حامل مواد غذایی، متداول است.

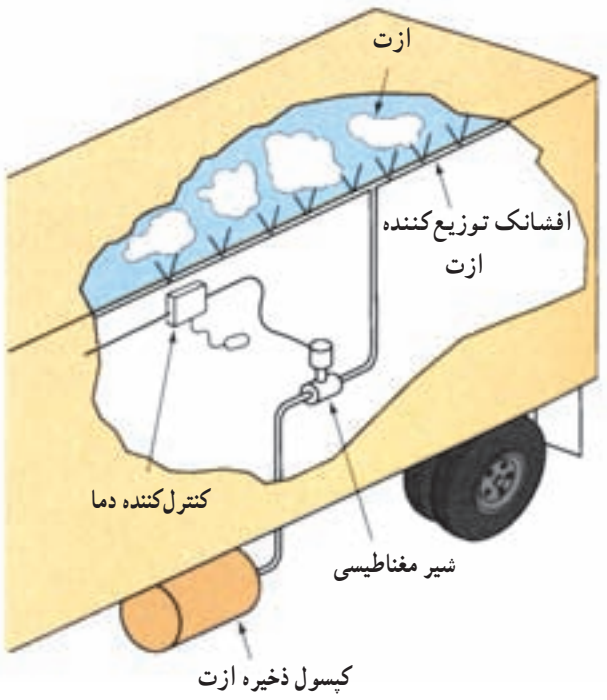
اصول اساسی سیستم‌هایی که از مایعات غیرسمی به‌عنوان سیال واسطه سردکنندگی استفاده می‌کنند عیناً مثل سایر سیستم‌های تبرید است منتها این سیستم‌ها فاقد دستگاه تراکم مثل کمپرسور می‌باشند. البته به علت ارزان بودن قیمت این نوع گازها، می‌توان به‌عنوان واسطه‌ی تبرید فقط یک‌بار از آن‌ها استفاده کرد. از این سیستم‌های سردکننده در واگن قطارهای باری حامل مواد غذایی، و برای سرد نگه‌داشتن آن‌ها نیز می‌توان استفاده کرد. طرز عمل در این نوع دستگاه‌ها دو گونه قابل اجراست:

۱ــ گذراندن ازت مایع از داخل صفحه تبرید و تبخیر آن در هوا.

۲ــ پاشش ازت مایع به‌وسیله یک افشانک به محیطی که باید سرد شود.

معمول‌ترین ماده مصرفی در این سیستم‌ها ازت مایع بوده و مایع اکسیدکربن نیز گاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این سیستم‌ها ازت مایع به‌وسیله پمپ به کپسول‌های ذخیره تلمبه می‌شود بعضی کامیون‌ها دارای ۲ یا ۳ کپسول ازت می‌باشند که این کپسول‌ها به‌طور متوالی پر می‌شوند یعنی اوّل کپسول اولی پر شده و بعد کپسول دوّمی از راه کپسول اوّل پر می‌شود و الی آخر. وقتی که کپسول‌ها یا محفظه مایع ازت شارژ شدند و فضای مواد غذایی نیز در کامیون بارگیری شد، درجه حرارت کابین انتخاب و به‌وسیله ترموستات تنظیم می‌شود. ترموستات یا وسیله کنترل دما، با تغییرات دمای کابین متأثر شده و زمانی که دما افزایش یابد کنترل‌کننده درجه حرارت، شیر مغناطیسی لوله حامل ازت مایع را باز کرده و ازت مایع با فشار زیاد به طرف افشانک حرکت و به‌وسیله آن به داخل فضای بار کامیون پاشیده می‌شود. ازت مایع در موقع پاشش به‌صورت بخار درآمده و حرارت لازم برای تبخیر شدن را از محیط داخلی کامیون گرفته و آن‌جا را سرد می‌کند. به شکل ۹ــ۱۱ توجه کنید.



شکل ۹ــ۱۱ــ سیستم تبرید پاششی با ازت

سیستم‌های تبرید پاششی که ازت یا اکسیدکربن مصرف می‌کنند امکان ایجاد برودت با درجات حرارت دلخواه را دارند و برای میوه‌جات و سبزیجات و انواع مواد گوشتی چه در حالت انبار ثابت و چه در حالت سردخانه سیّار بسیار مناسب و مفید می‌باشند.

برای حفاظت سیستم معمولاً بر روی کپسول ذخیره ازت مایع شیر اطمینان نصب می‌شود.

درشکل ۱۰ــ۱۱ کپسول ذخیره ازت مایع و محل نصب آن در کامیون نشان داده شده است.

شکل ۱۰ــ۱۱ــ جزئیات مخزن ذخیره ازت مایع

اتاق بار کامیون نیز دریچه اطمینان دارد به‌طوری که هرگاه فشار داخلی کامیون از فشار جو افزایش یابد، دریچه اطمینان به‌طور خودکار باز شده و اضافه فشار محیط بار را تخلیه می‌کند. ضمناً درهای ورودی کامیون نیز کلید اطمینانی دارند که با باز شدن در و قبل از وارد شدن شخص به داخل محیط سرد، جریان پاشش ازت را قطع می‌کند.

۴ــ۱۱ــ سیستم تبرید ترموالکتریک

یکی از آخرین پیشرفت‌های رشته تبرید برای ایجاد سرما است به این معنی که به‌جای ماده مبرد، از انرژی الکتریکی به‌عنوان حامل حرارت استفاده می‌شود و حرارت را از قسمتی جذب و به قسمت دیگر منتقل می‌نمایند. با این روش بدون این‌که از وسایل معمولی مثل کمپرسور و کندانسر و اواپراتور و غیره استفاده شود سرما تولید می‌گردد.

از خصوصیات برجسته دستگاه‌های سردکننده ترموالکتریک عبارت‌اند از : نداشتن قطعات متحرک ــ نداشتن صدا ــ یک‌پارچه بودن ــ عدم احتیاج به سرویس و تعمیر آن‌ها.

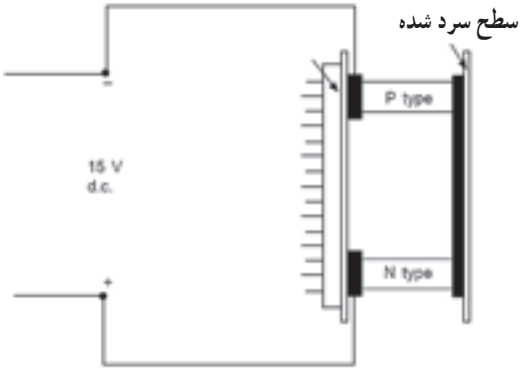
از مزایای دیگر این سیستم این است که چون فقط جریان الکتریکی است که ایجاد برودت می‌کند و در این سیستم لوله‌کشی و هدایت گاز و غیره وجود ندارد لذا به‌سادگی می‌توان از یک منبع انرژی استفاده کرده و چندین دستگاه را یک‌جا به‌کار انداخت.

این دستگاه‌ها درحالتی قادر به کار هستند حتی زمانی که درحال نقل و انتقال باشند. اگر از لحاظ حجمی، دستگاه‌های ترموالکتریکی را با دستگاه‌های سردکننده تراکمی مقایسه کنیم با ظرفیت سرمایی مساوی، دستگاه‌های ترموالکتریکی دارای حجم

خیلی کوچکی خواهند بود.

اصول کار این دستگاه‌ها براساس ترموکوپل‌ها است. (اگر دو فلز مختلف‌الجنس را به هم متصل کرده و مدار بسته‌ای را تشکیل دهیم و محل اتصال دو فلز را حرارت دهیم، جریان الکتریکی در مدار تولید می‌شود.)

و اگر از همین مدار جریان الکتریکی مستقیم (DC) بگذرد محل اتصال گرم یا سرد می‌شود. شکل ۱۱ــ۱۱ نمای ساده یک سیستم تبرید ترموالکتریک را نشان می‌دهد با پیدایش نیمه‌هادی پیشرفت‌هایی در این سیستم به‌وجود آمده است.



شکل ۱۱ــ۱۱ــ نمای ساده یک سیستم تبرید ترموالکتریک

پرسش و تمرین

۱ــ ماده سرمازای مورد استفاده در سیستم جذبی کدام است؟
۲ــ بیشتر در چه مواردی از سیستم جذبی استفاده می‌شود؟
۳ــ اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی یک سیستم جذبی را نام ببرید.
۴ــ دمای ماده مبرد (آب) در اواپراتور چند درجه‌ی سانتی‌گراد است؟
۵ــ فشار مناسب با دمای آب در اواپراتور از روی جدول پیدا کنید.
۶ــ طرز کار سیستم جذبی را مرحله به مرحله توضیح دهید.
۷ــ وظیفه هر یک از اجزا اصلی سیستم تبرید جذبی را توضیح دهید.
۸ــ نقش نمک لیتیوم بروماید در این سیستم (جذبی) چیست؟
۹ــ وظیفه مدل حرارتی در سیستم جذبی کریر را توضیح دهید.
۱۰ــ نقش پمپ مبرد ــ پمپ جاذب و پمپ ژنراتور را در سیستم جذبی توضیح دهید.
۱۱ــ علت عبور آب برج خنک‌کن از جذب‌کننده را بیان کنید.
۱۲ــ برای کنترل ظرفیت سیستم از چه وسیله‌ای استفاده می‌شود؟
۱۳ــ اجزای یک سیستم جذبی را بر روی شکل مشخص کنید.
۱۴ــ مبرد و جاذب را در یخچال نفتی نام ببرید.
۱۵ــ طرز کار یخچال نفتی از روی شکل را توضیح دهید.
۱۶ــ نقش شعله چراغ یا گرمکن را بیان کنید.
۱۷ــ نقش گاز هیدروژن را در یخچال نفتی بیان کنید.
۱۸ــ قانون دالتون را تعریف کنید.
۱۹ــ موادی را که در تبرید پاشش مورد استفاده هستند نام ببرید.
۲۰ــ کاربرد تبرید پاششی را بیان کنید.
۲۱ــ چگونگی کار تبرید پاششی از روی شکل ۹ــ۱۱ توضیح دهید.
۲۲ــ اصول کار تبرید ترموالکتریک را بیان کنید.
۲۳ــ ترموکوپل چیست؟
۲۴ــ مزایای تبرید ترموالکتریک را نام ببرید.

بادگیرها

گرمای خیلی زیاد و اشعه‌ی سوزان خورشید در روزهای گرم و بلند تابستان آن‌چنان وجود بادگیرها را به‌خصوص در مناطق گرم کویری ضروری ساخته است که بی‌اغراق می‌توان گفت زندگی بدون آن‌ها غیرممکن و طاقت‌فرسا می‌باشد.

بادگیرها بسته به جهت وزش باد منطقه به‌صورت‌های چهارگوش، هشت‌گوش، مستطیل شکل و یا خرطومی شکل ساخته می‌شوند.

بادگیرهای چهارگوش و هشت‌گوش برای مناطقی مناسب‌تر است که باد جهت مشخصی ندارد و در تابستان جهت آن از شمال به جنوب یا از مشرق به مغرب می‌باشد. بادگیرهای مستطیل شکل بیشتر در مناطقی ساخته می‌شوند که درتابستان جهت باد در آن‌جا به‌طور معمول از شمال‌شرقی به جنوب‌غربی است و بادگیری خرطومی شکل مخصوص مناطقی با طوفان سهمگین شنی و گردبادها می‌باشد در این حالت بادگیر در جهت شمال شرقی ساخته می‌شود.

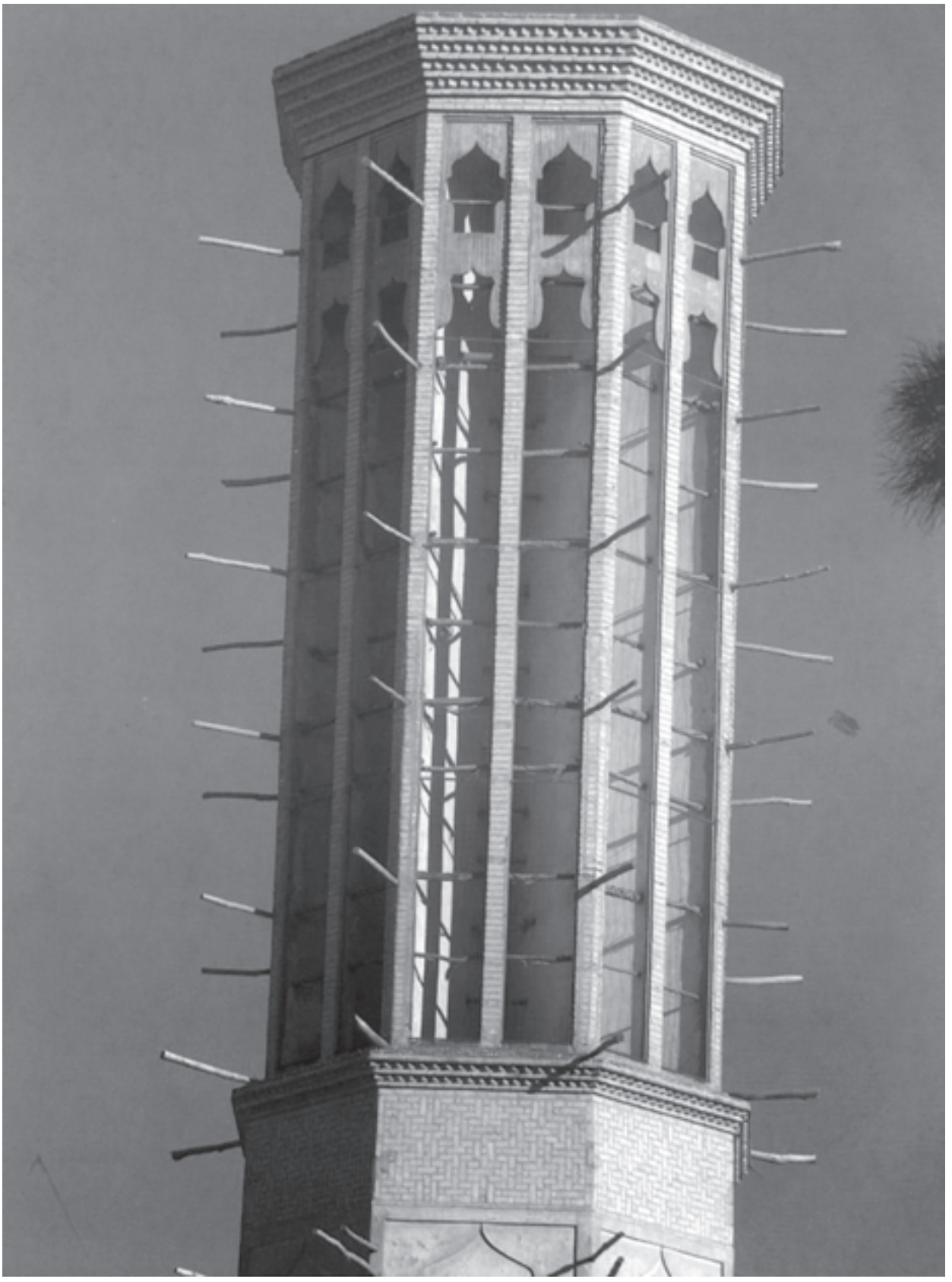
شکل ۱ و شکل ۲ دو نمونه از بادگیرها را نشان می‌دهد. قسمت بالایی بادگیر دارای چندین محفظه مستطیل شکل دراز است که جریان باد از آن عبور می‌کند. طرح بادگیرهای مختلف از نظر ارتفاع، محفظه‌های عبور باد، محل بادگیر، نسبت به ساختمان و جهت وزش باد منطقه متفاوت است.

طرز کار بادگیر

عبور هوا از بادگیر به‌خاطر دما و چگالی هوا در اطراف آن است. اختلاف چگالی، کششی را به‌وجود می‌آورد که آن نیز خود جریان هوا به داخل و خارج را به‌دنبال دارد. جریان باد در پایین بادگیر به‌وسیله درهای اتاق زیر آن، قابل کنترل می‌باشد (در شهر یزد زیر بادگیرها ایوان بزرگی که معمولاً در ندارد قرار گرفته و به آن اصطلاحاً تالار می‌گویند).

عمل یک بادگیر در یک شبانه‌روز به وضع باد و ساعت مربوطه بستگی دارد. در شب اگر وزش باد نباشد، بادگیر شبیه به یک دودکش عمل می‌کند (شکل‌های۳ و ۴). یعنی جریان باد از پایین به بالا می‌باشد. دیوارهای بادگیر در مدت روز گرما را جذب کرده‌اند و گرما که به دیواره‌های داخلی بادگیر نفوذ کرده موجب می‌شود تا هوای داخل بادگیر را گرم و به‌طرف بالا بفرستد.

شکل و ساختمان بالای بادگیر یعنی ضخامت دیوارها و مقطع افقی محفظه‌های باد طوری طرح‌ریزی شده‌اند که بتوانند گرمای به‌دست آمده را مدت زیادی نگهداری کنند تا عمل فوق به‌خوبی انجام گیرد. از آن‌جایی که چگالی هوای گرم از هوای سرد کمتر است فشار هوا در قسمت بالای بادگیر کمتر می‌باشد و این موجب می‌شود تا نیروی کششی در جهت چگالی کمتر ایجاد شود. درنتیجه هوای داخل تالار به‌طرف بالای بادگیر کشیده شده و هوای آزاد و خنک شب داخل تالار می‌شود (می‌دانیم که در کویر برخلاف روزها که هوا بسیار گرم است شب‌ها بسیار خنک و سرد می‌باشد).

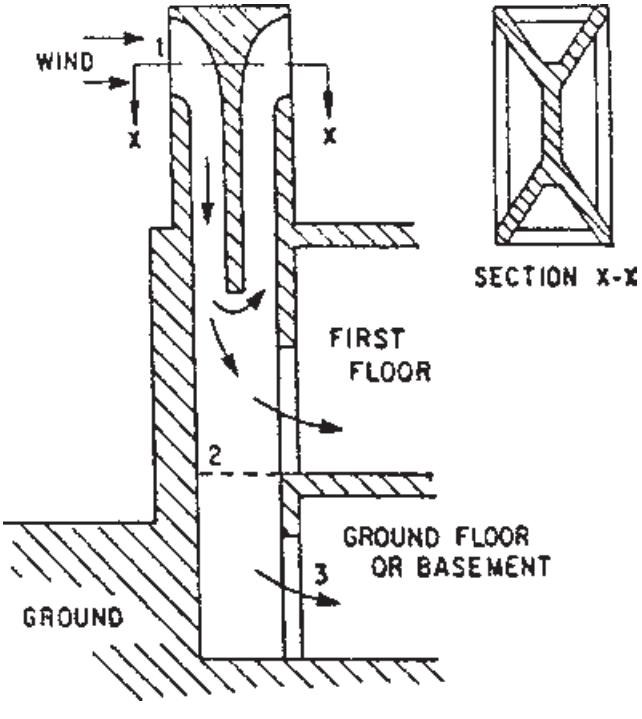


شکل ۱ــ بادگیر هشت‌گوش
چوب‌های نشان داده شده برای محافظت بادگیر از خراب شدن می‌باشند.

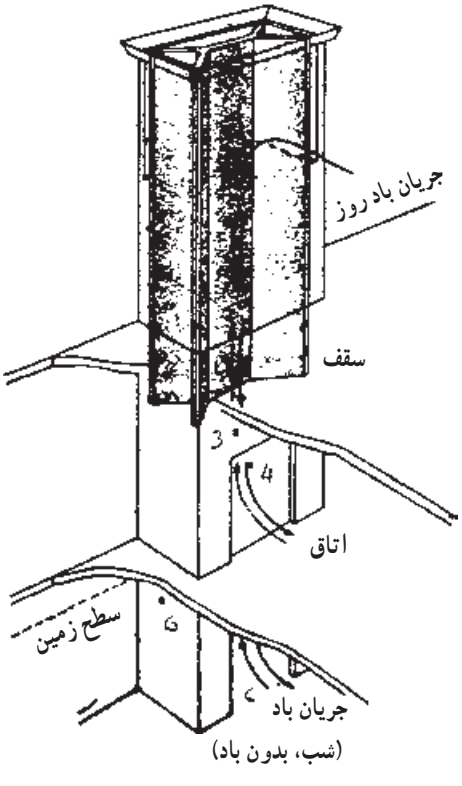
شکل ۲ــ بادگیر مستطیل شکل

حالتی که بیان شد برای زمانی بود که در هوای آزاد بادی در جریان نباشد. حال اگر باد نیز در جریان باشد باد با فشار از طریق محفظه‌ها داخل بادگیر می‌شود و اگرچه اندگی در اثر تماس با دیوارهای بادگیر گرم می‌شود، با این حال چون مقدار این گرما کم است هوای داخل تالار و یا اتاق را خنک‌تر از هوای اطراف می‌کند و عمل تبرید را هم‌چنان انجام می‌دهد.

روزها زمانی که باد وجود ندارد عمل بادگیر عکس عمل دودکش می‌باشد. دیواره‌های قسمت بالایی بادگیر که شب خنک شده‌اند باد داخل آن‌را سرد کرده و به‌طرف پایین می‌فرستند، باد خنک پس از عبور از داخل تالار به‌طرف خارج حرکت می‌کند حال اگر هنگام روز باد نیز وجود داشته باشد نسبت مقدار جریان باد افزایش می‌یابد البته این را باید درنظر گرفت که عمل بادگیرها در مدت یک روز یا یک شب ثابت نیست و در اثر افزایش و کاهش دما، شدت اشعه خورشید، سرعت باد و عوامل دیگر تغییر می‌کند.



شکل ۳ــ الگوی جریان هوا در بادگیر



شکل ۴ــ جریان هوا در شب و روز

در شکل ۴ عمل یک بادگیر در مدت شبانه‌روز در هستی و نهستی باد تغییر می‌کند. خطوط ممتد نشان‌دهنده جهت جریان هوا در روز و شب وقتی که باد باشد و خطوط خط‌چین نشان‌دهنده جریان هوا در شب بدون وزش باد می‌باشد.

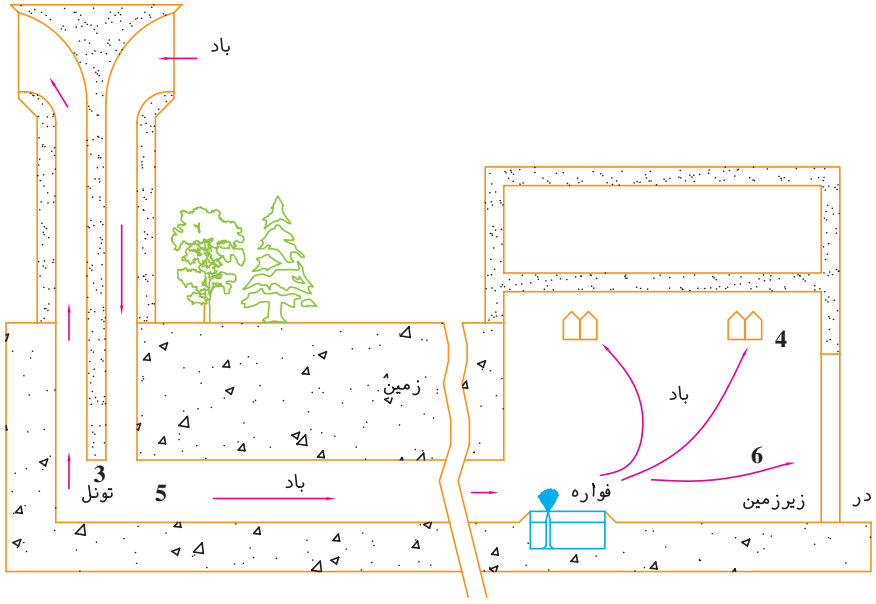
دیوار و مدخل عبور باد در مدت روز گرما را جذب می‌کنند و در شب گرما را پس می‌دهند روز بعد دیوارها خنک هستند وقتی باد نوزد هوای گرم مجاور در جهت کمان‌های ممتد از محفظه‌ها (۱) داخل می‌شود و پس از تماس با دیوار خنک می‌گردد درها در قسمت پایین بادگیر به اتاق یا تالار (۴) و زیرزمین (۶) باز می‌شوند.

استفاده از سیستم سرمایی تبخیری

آن‌چه تا این‌جا گفته شد مربوط به خنک کردن هوا و پایین آوردن دما بدون تغییر در مقدار رطوبت یا بخار آب موجود در هوا بود به طریقه دیگر نیز می‌توان از بادگیرها برای خنک کردن هوا و دما استفاده کرد و به‌علاوه رطوبت را تغییر داد. این عمل در بالا بردن میزان خنکی حائز اهمیت فراوانی بوده و نقش مهمی را بازی می‌کند.

به‌عنوان مثال موقعی که دیوارهای یک زیرزمین که بادگیر بالای آن قرار گرفته دارای نم باشد (هم‌چنان‌که معمولاً هست) عمل خنک‌کنندگی هوا نه‌تنها به‌وسیله بادگیر، بلکه به‌وسیله تبخیر رطوبت حاصله نیز انجام می‌پذیرد. چرا که رطوبت روی دیوار برای تبخیر احتیاج به جذب حرارت دارد و این‌کار را با جذب حرارت هوای جاری انجام می‌دهد. در حقیقت قبل از آن‌که استفاده از یخچال‌های برقی در شهرهای کویری متداول شود زیرزمین‌ها نقش مهمی را در تابستان‌ها به‌عهده داشتند و اکنون نیز حتی در سطح بسیار وسیعی از آن‌ها استفاده می‌شود. غیر از زیرزمین‌ها، راه دیگری نیز برای انتفاع از عمل تبخیر در تبرید وجود دارد و آن قرار دادن یک حوضچه یا یک فواره کوچک در زیر بادگیر می‌باشد (شکل ۵). در این حالت باد پس از خنک شدن در عبور از بادگیر به سطح آب و فواره برخورد کرده و بیش از پیش خنک می‌شود و به داخل اتاق راه می‌یابد.

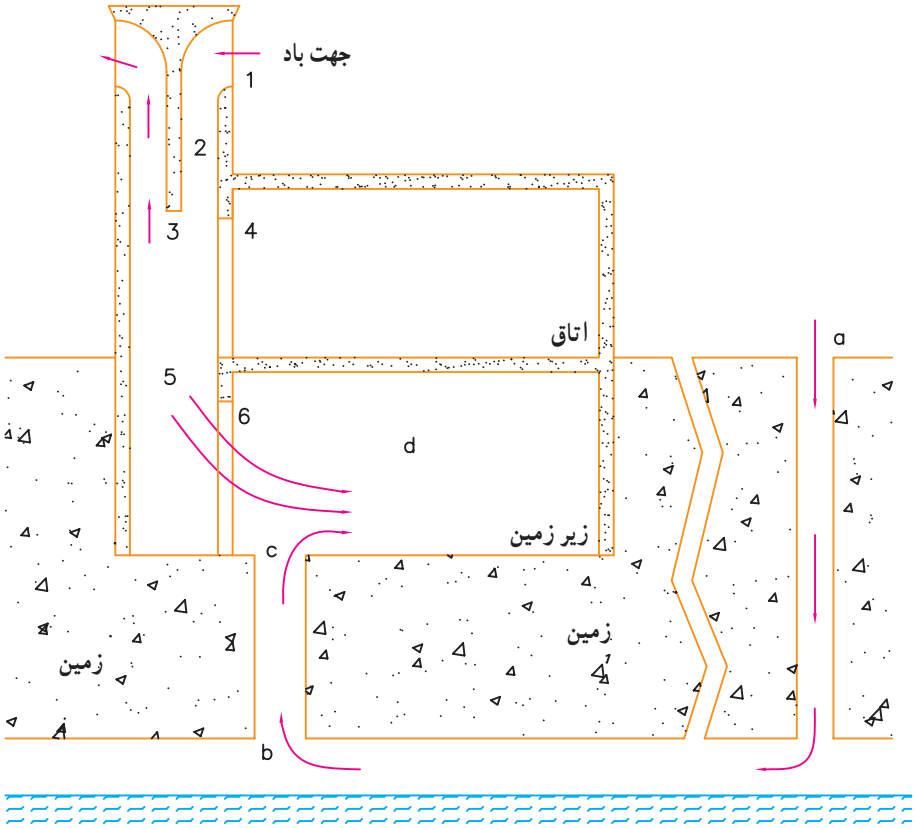
در بعضی از شهرهای کویری حوضچه یا فواره‌ای در زیرزمین قرار می‌دهند و به این ترتیب به دمای مطلوبی دست می‌یابند از این ساختمان‌ها در شهر یزد بسیار استفاده می‌شود.



شکل ۵

عمل یک بادگیر به‌تنهایی بدون تغییر رطوبت در هوا می‌باشد، اما اگر بتوان به‌نحوی آب را وارد سیستم کرد می‌توان میزان رطوبت را نیز تغییر داد. دمای هوا در تماس با آب کاهش یافته و رطوبت آن افزایش می‌یابد. برای این منظور در بعضی از حالات بادگیر را حدود ۵۰ متر دورتر از ساختمان قرار می‌دهند و هوای آن‌را به‌وسیله‌ی کانال از زیرزمین هدایت می‌کنند. این کانال در صورت امکان زیر درختان قرار داده می‌شود تا هنگامی که به درختان آب می‌دهند. آب جداره کانال را خیس کند و هوا را خنک کند (شکل ۵).

ترکیبی از بادگیر و یک جریان زیرزمینی که در اثر حرکت رودخانه خنک شده است می‌تواند دمای مطلوبی به‌دست دهد. هوای گرم از یک‌طرف (a) وارد کانال رودخانه زیرزمینی می‌شود. از طرفی باد از محفظه‌های بادگیر (۱) داخل شده و از اتاق (۴) و در زیرزمین وارد ساختمان می‌شود. عبور این باد از روی کانال عمودی بین رودخانه و زیرزمین باعث می‌شود تا هوای داخل کانال رودخانه به‌طرف بالا کشیده شود (شکل ۶).



شکل ۶

از آن‌جایی که آب زیرزمین معمولاً سرد است هوایی که از روی آن عبور کرده نیز خنک می‌باشد و بدین‌ترتیب کیفیت عمل تبرید بسیار بالا می‌رود. به همین مناسبت روی کانال عمودی یا در نزدیکی آن جای مناسبی است برای نگهداری غذا و مواد فاسد شدنی.

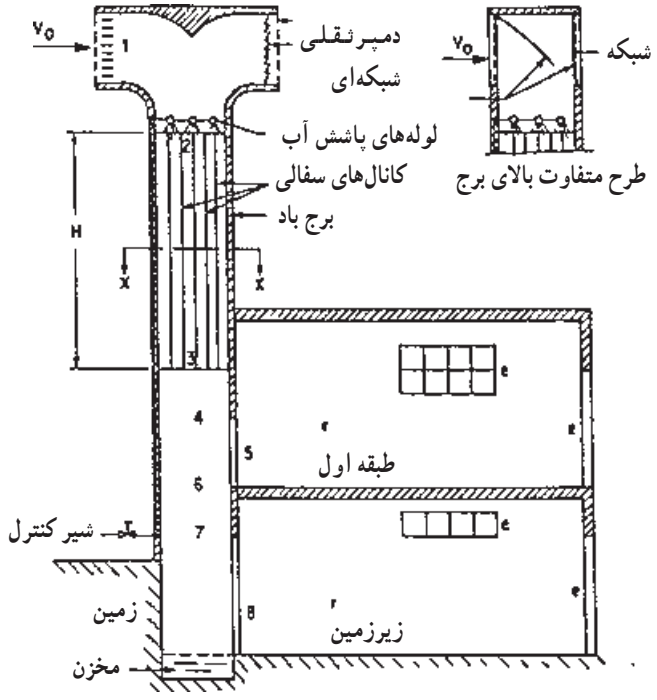
شب‌ها نیز این بادگیرها عمل تبرید را به‌خوبی انجام می‌دهند. گفتیم که شب‌ها بادگیرها عملی شبیه عمل دودکش‌ها را دارند یعنی هوای داخل ساختمان را به‌طرف بالا می‌کشند.

کشیده شدن هوای داخل ساختمان به‌طرف بالا، مکش هوای داخل کانال را به‌دنبال دارد که آن نیز خود موجب به جریان افتادن باد خنک می‌شود.

یکی از مشکلات استفاده از بادگیرها هدایت گردوخاک، حشرات و حتی پرندگان به داخل ساختمان می‌باشد و برای جلوگیری بایستی دارای تورهای فلزی باشند. یکی از راه‌های جلوگیری از ورود گردوخاک

افزایش بادگیرها می‌باشد که البته این‌کار مخارج زیادی دربر دارد. راه دیگر پهن‌تر کردن قسمتی پایینی بادگیر از قسمت بالایی آن می‌باشد. افزایش مقطع عرضی پایین بادگیر باعث کاهش سرعت باد در پایین آن می‌باشد که به گردوخاک اجازه می‌دهد تا روی منطقه‌هایی که مخصوص این کار است بنشیند و داخل ساختمان نشود.

طرح پیشنهادی در شکل ۷ روش دیگر استفاده از سیستم سردکننده تبخیری را ارائه می‌دهد. آب بر روی لوله‌های سفالی پاشیده می‌شود به علت سفالی بودن لوله‌ها زود تبخیر نمی‌شود بلکه هم‌چنان که به پایین جریان می‌یابد، لوله‌های سفالی را مرطوب نگه می‌دارد. آب اضافی و جذب نشده توسط لوله‌ها در پایین بادگیر در مخزن انباشته می‌شود که ممکن است مورد استفاده قرار گیرد یا تخلیه شود (شکل ۷).



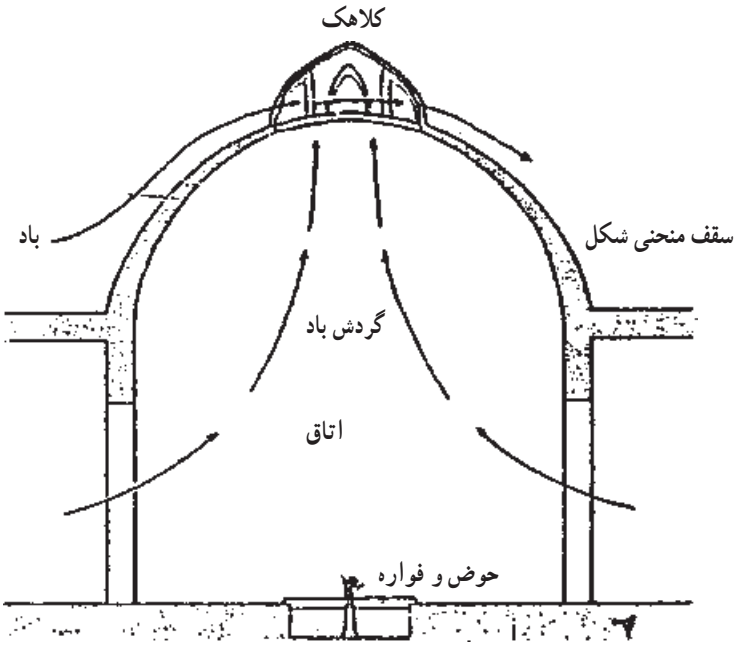
شکل ۷ــ طرح جدید برای استفاده سیستم سردکننده تبخیری در بادگیرها

در شهرهای کویری ایران که بیشتر بادگیرها در آن‌جا مورد استفاده قرار می‌گیرد هر چند وقت یک دفعه طوفان‌های شنی عظیمی به‌وجود می‌آید که راه‌حل‌های ذکر شده نمی‌تواند در مقابل آن‌ها کاری انجام دهد.

مقابل چنین طوفان‌هایی کار گذاشتن فیلتر در محفظه‌های ورودی بادگیر می‌تواند مؤثر واقع شود.

استفاده از باد در شهرهای کویری ایران چون کرمان، یزد، کاشان، بم، رفسنجان و غیره تنها از طریق بادگیرها صورت نمی‌گیرد و به روش‌های دیگری مانند اتاق‌هایی با سقف‌های منحنی شکل برای خنک کردن هوا و آب‌انبارهایی برای خنک کردن آب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

درشکل ۸ سقف منحنی شکل و جهت جریان باد را در آن ملاحظه می‌کنید (اتاق‌هایی که بدین شکل یعنی با سقف منحنی و یک کلاهک کوچک بالای آن و یک حوضچه با فواره وسط آن ساخته می‌شوند در شهر یزد به «هشتی» معروف هستند.)



شکل ۸

سرعت باد هنگام عبور از داخل کلاهک سقف افزایش پیدا می‌کند و درنتیجه فشار آن کاهش می‌یابد اختلاف فشار حاصله بین کلاهک و زیر سقف باعث می‌شود تا باد جریان پیدا کند جهت جریان باد روی سقف نیز خروج باد داخل اتاق را به همراه دارد. بین این مسیر حوضچه و فوّاره آن وظیفه خنک کردن هوا را به‌عهده دارد.

چنان‌چه به‌خاطر داشته باشید در قبل گفتیم که هوای گرم در برخورد با آب، گرمای خود را از دست می‌دهد و باعث تبخیر آب می‌شود و چون حرارت خود را از دست داده خنک می‌شود. مزیّتی که سقف‌های منحنی شکل بر بادگیرها دارند این است که در ساخت آن‌ها برای جلوگیری از ریزش احتیاجی به چوب نیست و در بعضی از موارد ساخت آن‌ها راحت‌تر از بادگیر می‌باشد.