تهویه ماشین های الکتریکی

۳-۵- انواع ضمایم ماشین

- ✓ پایه های یاطاقان :
  قرارگرفتن رتور روی یاطاقان و تماس آزاد انتهای ماشین با هوای آزاد
- ✓ سپرهای باز :
  قرارگرفتن رتور روی یاطاقان هایی که قسمتی از سپر هستند
- ✓ مجاری تهویه :
  داخل و خارج شدن هوا جهت خنک کردن ماشین از طریق مجاری هوا
- ✓ ماشین کاملاً بسته : جلوگیری از ارتباط هوای داخل و خارج ماشین
- ✓ ماشین ضد آتش : ساخت ماشین با ویژگی ضد حریق قابل کاربرد در معادن
- ✓ ماشین ضد آب : جلوگیری از ورود آب بداخل ماشین
- ✓ ماشین غوطه ور : امکان غوطه ورشدن ماشین در آب برای شرایط خاصی از فشار

۲-۶- روش های خنک کردن

- ✓ افزایش درجه حرارت به عنوان عامل تعیین کننده ابعاد ماشین
- ✓ خنک شدن به روش طبیعی در ماشین های با توان کوچک
- ✓ خنک سازی ماشینها با جریان هوا در اغلب موارد (تهویه)
- ✓ خنک سازی با استفاده از هیدروژن یا آب در ماشینهای پرسرعت

۳-۷- روشهای تهویه

۱- ماشین با تهویه طبیعی : خنک سازی با جریان طبیعی هوا

۲- ماشین با تهویه داخلی (خودی) :

وزش هوا به سطوح داخلی توسط بادبزنی که از اجزاء ماشین است

۳- ماشین با تهویه خارجی (خودی) :

وزش هوا به سطوح خارجی توسط بادبزنی که از اجزاء ماشین است

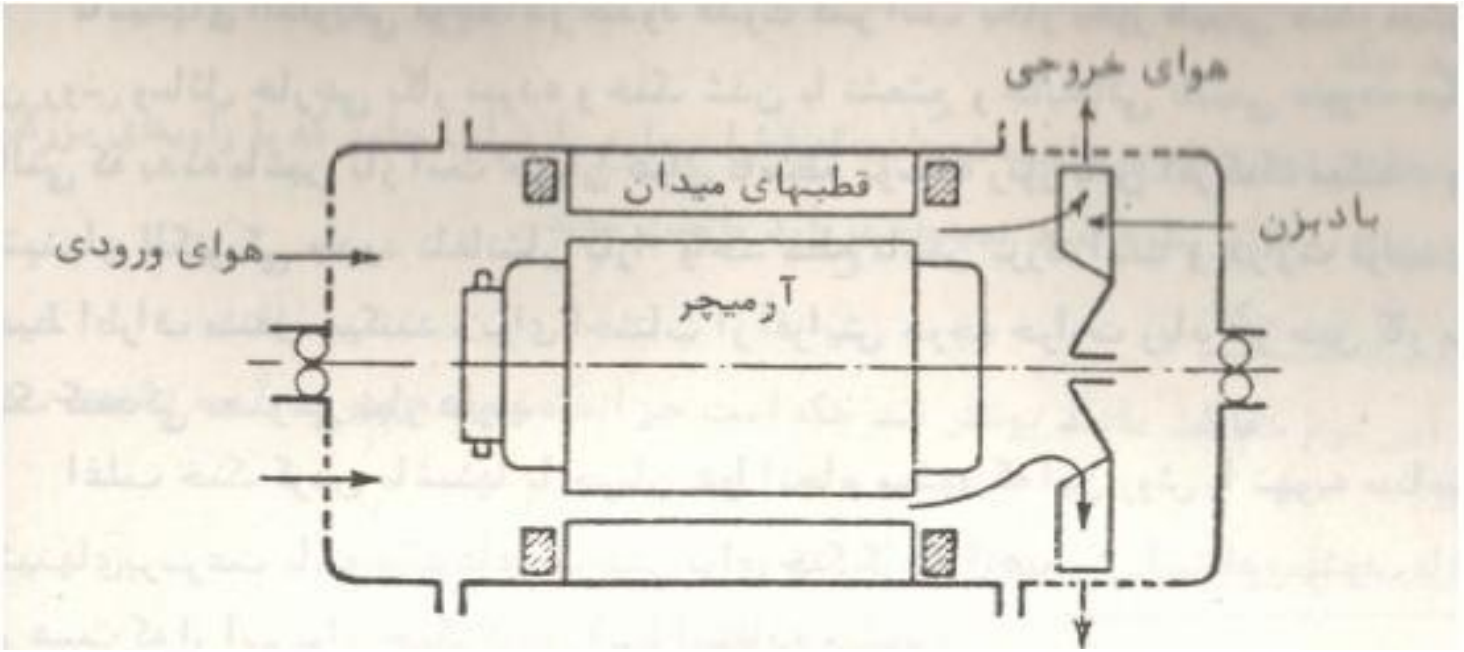
۴- ماشین با تهویه جداگانه :

خنک سازی به وسیله مایع یا گاز خنک کننده که توسط وسیله خارجی مانند بادبزن یا پمپ به گردش در می آید

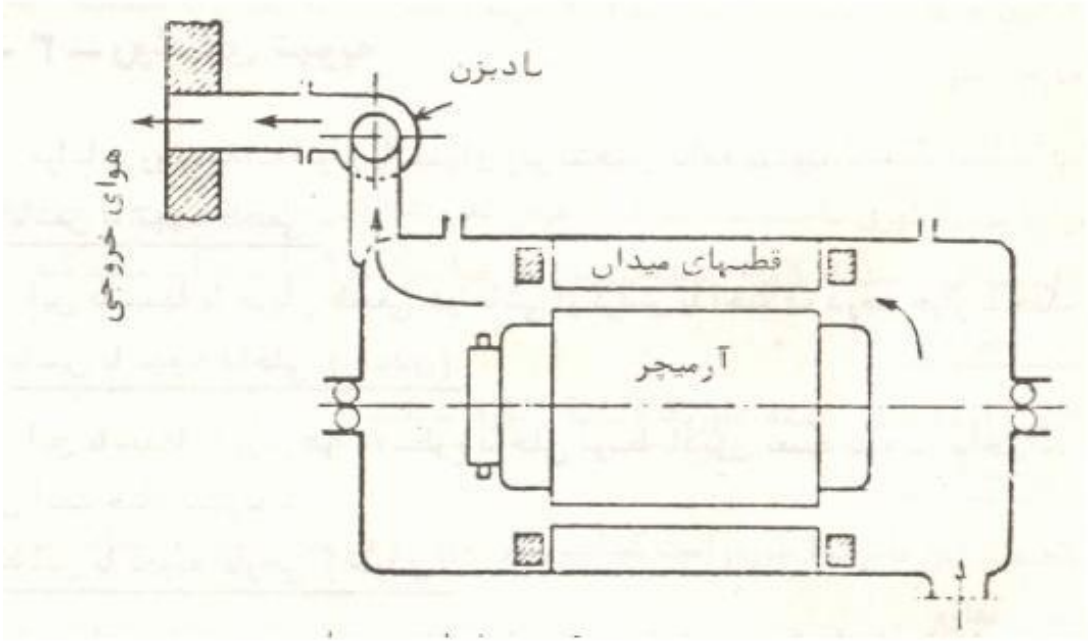
دسته بندی دیگری برای تهویه : تهویه واکنشی و تهویه کنشی

تهویه واکنشی :

- مکش هوای خنک به داخل ماشین بدلیل افت فشار داخلی بخاطر وجود بادبزن
- رانده شدن هوای گرم شده به محیط توسط بادبزن



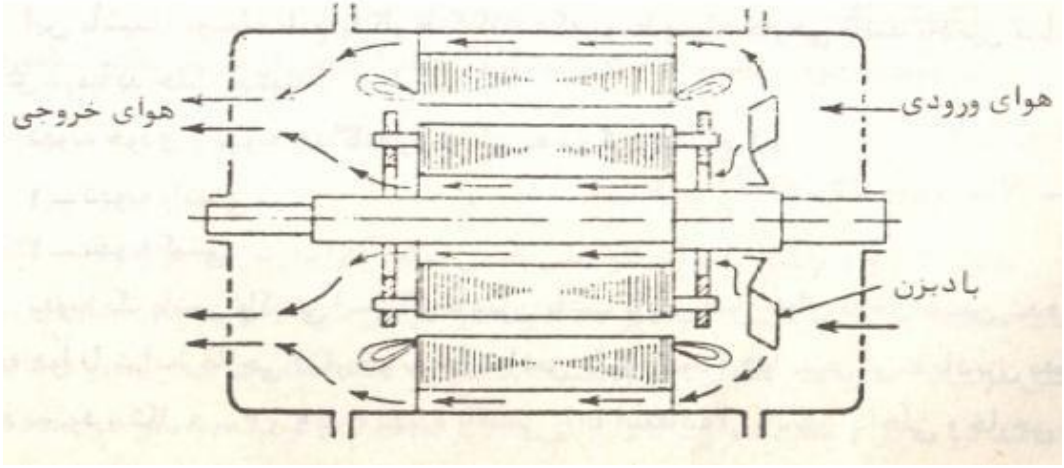
تهویه واکنشی با
بادبزن داخلی



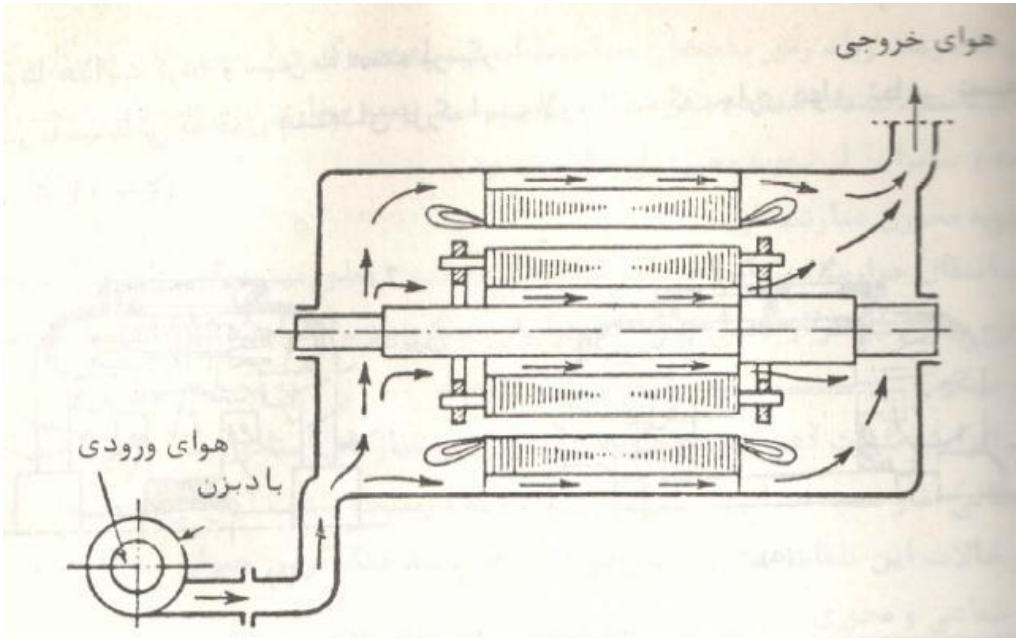
تهویه واکنشی با
بادبزن خارجی

تهویه کنشی :

مکش هوا از محیط توسط بادبزن و فرستادن آن به داخل ماشین و از آنجا به خارج



تهویه کنشی با بادبزن داخلی



تهویه کنشی با بادبزن خارجی

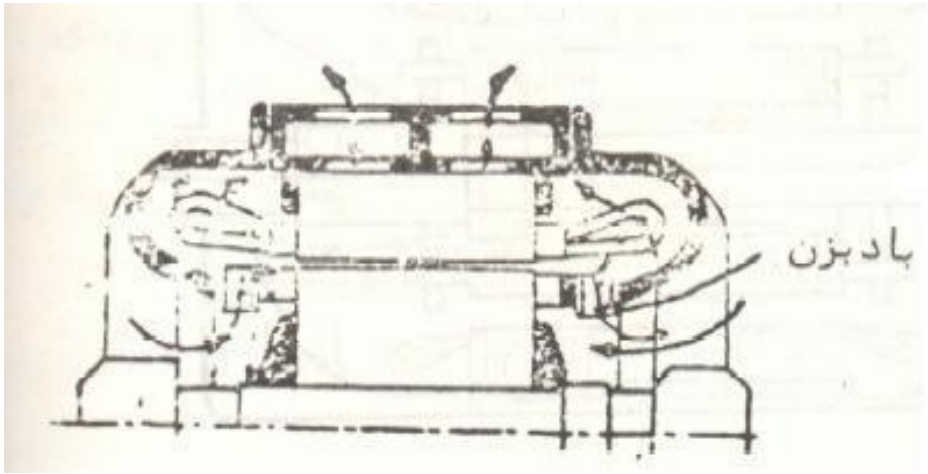
بالارفتن درجه حرارت هوای سرد در تهویه کنشی به خاطر تلفات بادبزن ← نیاز به حجم هوای بیشتر برای خنک سازی

۳-۷-۱- جهت جریان هوا

روشهای تهویه : شعاعی ، محوری ، ترکیب شعاعی و محوری

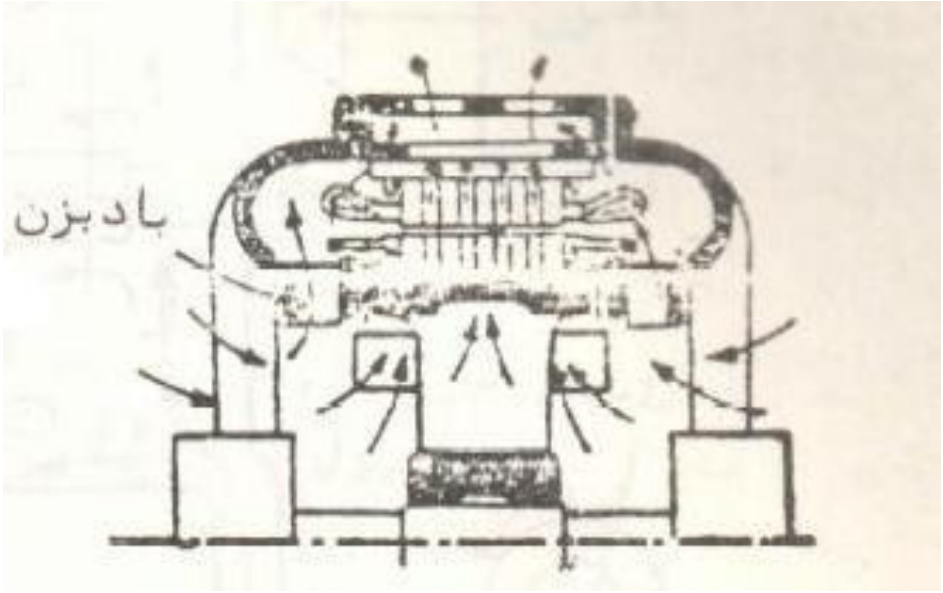
الف- تهویه شعاعی :

معمولی ترین روش تهویه به خاطر سهولت چرخش هوا به علت نیروی گریز از مرکز ناشی از حرکت رتور



تهویه شعاعی

✓ لزوم تعبیه مجاری هوای شعاعی در ماشین با طول هسته زیاد



تهویه شعاعی با تعبیه
مجاری شعاعی

✓ تقسیم هسته به تکه هایی با ضخامت 4 - 8 cm
با مجاری هوا بین آنها به عرض 0.8 - 1 cm

مزایای تهویه شعاعی :

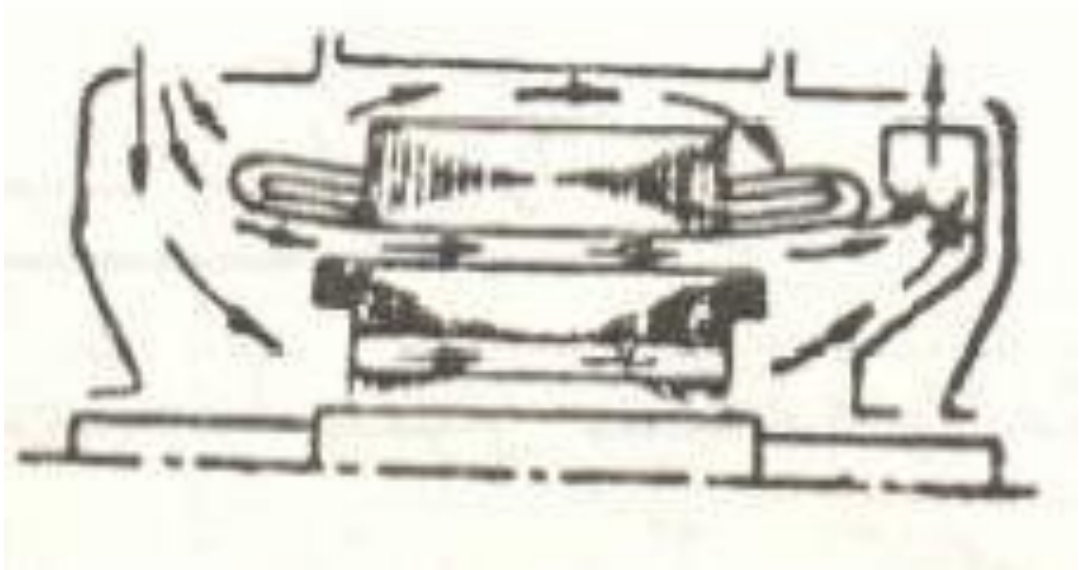
- ❑ تلف حداقل انرژی برای تهویه
- ❑ یکنواخت بودن افزایش درجه حرات در جهت محوری

استفاده از قاب محدودکننده برای جلوگیری از تنشهای گریز از مرکز در سرعت های زیاد ⟵ ایجاد محدودیت در ساخت مجاری تهویه شعاعی

ب- تهویه محوری :

کاربرد در ماشینهای با قدرت خروجی متوسط و سرعت زیاد

- تهویه محوری ساده : تعبیه مجاری تهویه فقط در رتور
- تهویه محوری دوگانه : تعبیه مجاری تهویه فقط در استاتور و رتور



تهویه محوری

معایب تهویه محوری :

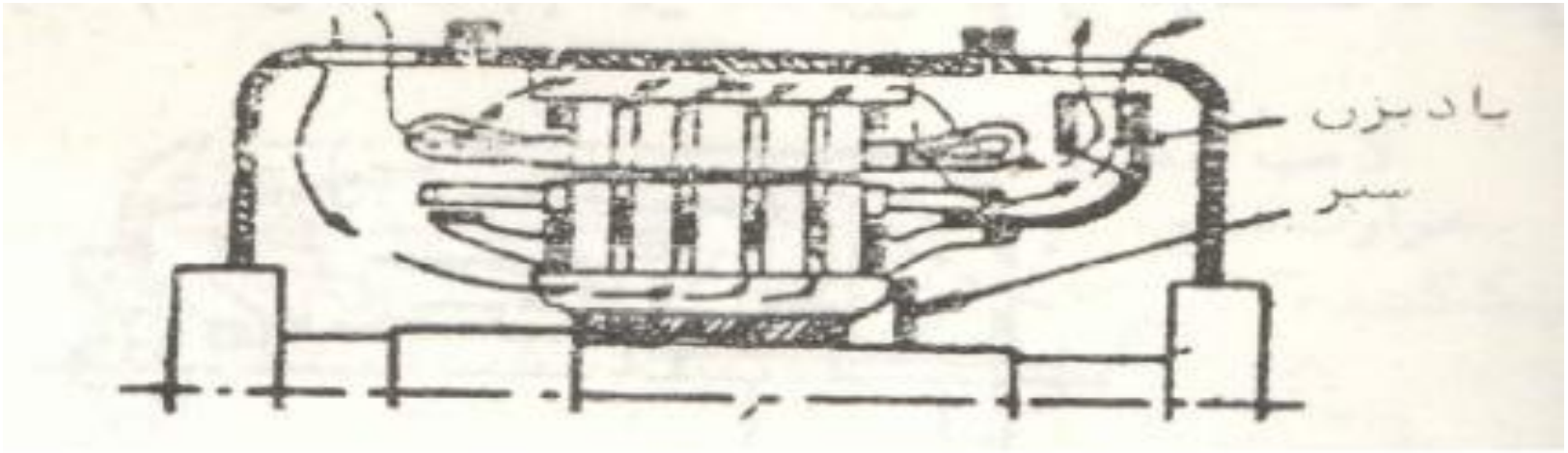
۱- انتقال حرارت غیریکنواخت (کمتربودن درجه حرارت محل ورود هوا)

۲- کاهش مقدار آهن زیر شیار استاتور به خاطر تعبیه مجاری تهویه

⬅ افزایش چگالی شار و بیشتر شدن تلفات آهن

⬅ بالارفتن درجه حرارت ماشین

ج- تهویه شعاعی و محوری :

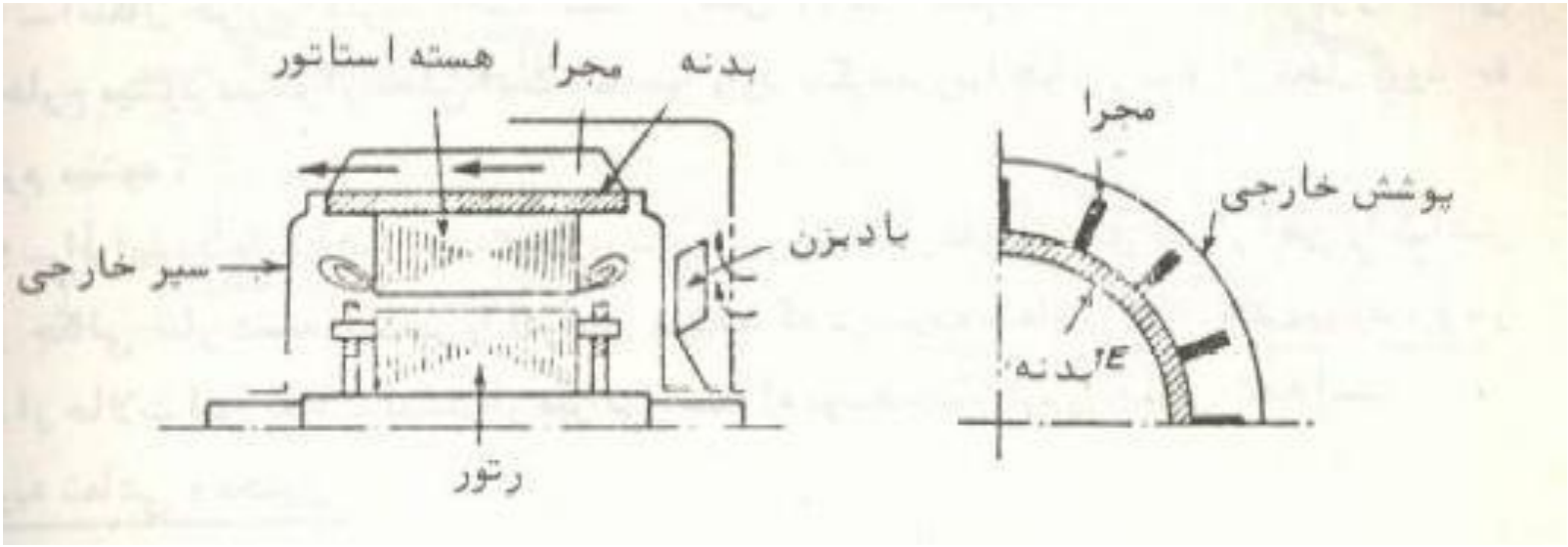


۳-۸- خنک کردن ماشینهای کاملاً بسته

- ✓ استفاده از ماشینهای کاملاً بسته به دلیل وجود ناخالصی های مضر مانند گازهای انفجاری و بخارات اسیدی
- ✓ انتقال حرارت تماماً از سطح خارجی بدنه به دلیل قطع جریان هوا بین داخل و خارج ماشین

۱- ماشین با تهویه از بدنه

وزش باد روی سطح بدنه ماشین حاوی مجاری هوا



- ✓ تعبیه بادبزن در ماشین های بزرگ برای گردش داخلی هوا علاوه بر وزش باد روی بدنه

۲- ماشین با رادیاتور

- ✓ سرد کردن هوای گرم شده با نصب یک رادیاتور روی بدنه

۳-۹- مدار خنک کردن :
- ❑ مدار تهویه باز
- ❑ مدار تهویه بسته

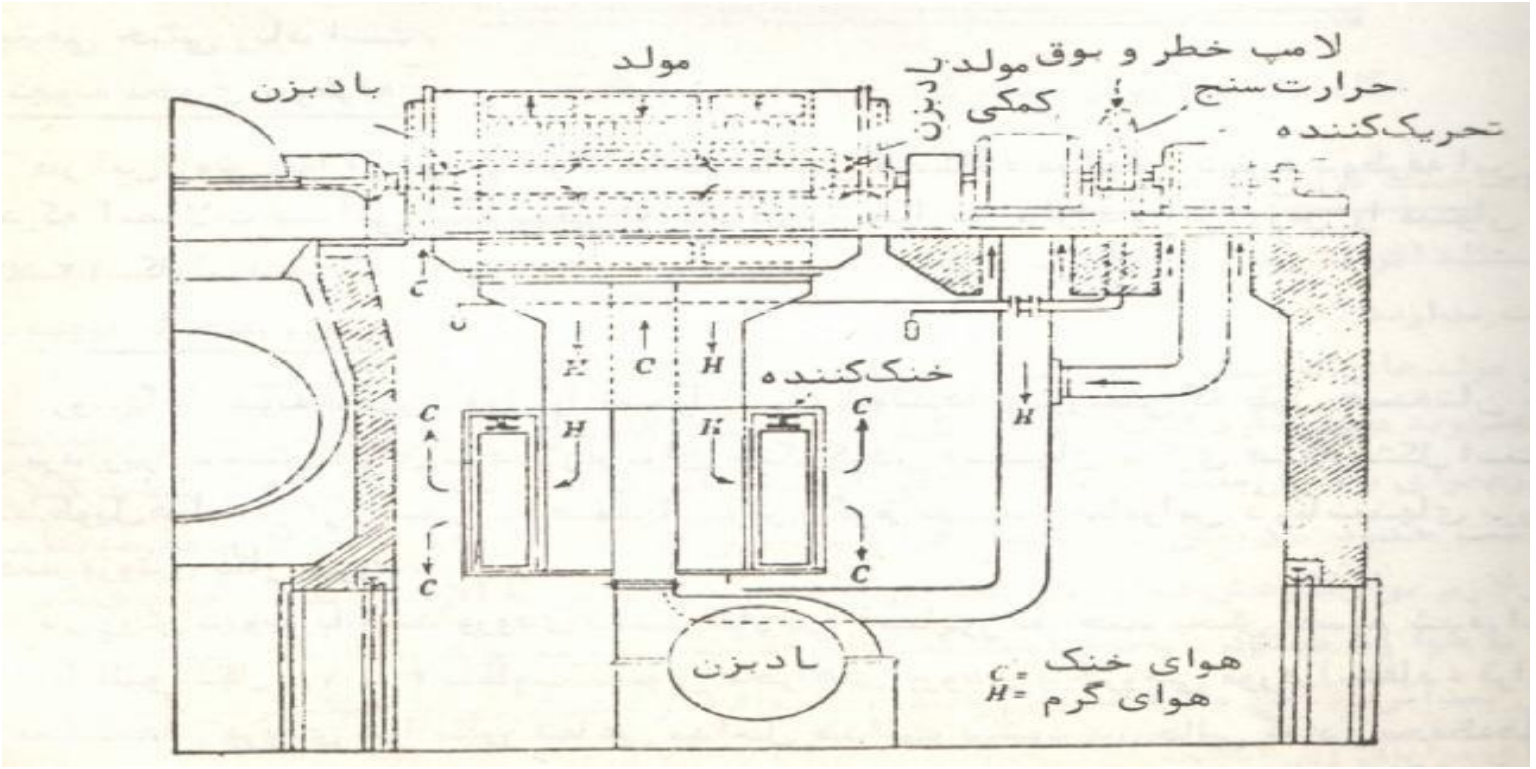
- ✓ خروج هوای گرم شده از ماشین در نوع تهویه باز

- ✓ عبور هوا از صافی های مناسب به خاطر گرفتن گرد و غبار و رطوبت
  - ▪ تمیز کردن مرتب صافی ها
  - ▪ افزایش قدرت بادبزن در حضور صافی ها

پر هزینه بودن استفاده از تهویه باز در ماشین های بزرگ
(نیاز به چند تن هوای خنک در ساعت)

مناسب بودن استفاده از تهویه مدار بسته

- ✓ خنک شدن هوای گرم خروجی توسط خنک کننده های آبی و ارسال دوباره آن به داخل ماشین



۳-۱۰- خنک کردن مولدهای توربینی

- ✓ طول زیاد هسته و قطر کم به خاطر سرعت زیاد این ماشین ها در مقایسه با مولدهای توربین آبی

⟸ پیچیده بودن مسئله خنک کردن مولدهای توربینی

۳-۱۰-۱- خنک کردن با هوا

- ✓ کاربرد در ماشینهای کوچک
- ✓ استفاده در توربین های گازی بعنوان واحد اضطراری نیروگاه با قدرتهای 17.5 MW ، 25 MW و 35 MW

روش های مختلف :

۱- تهویه محوری یک طرفه

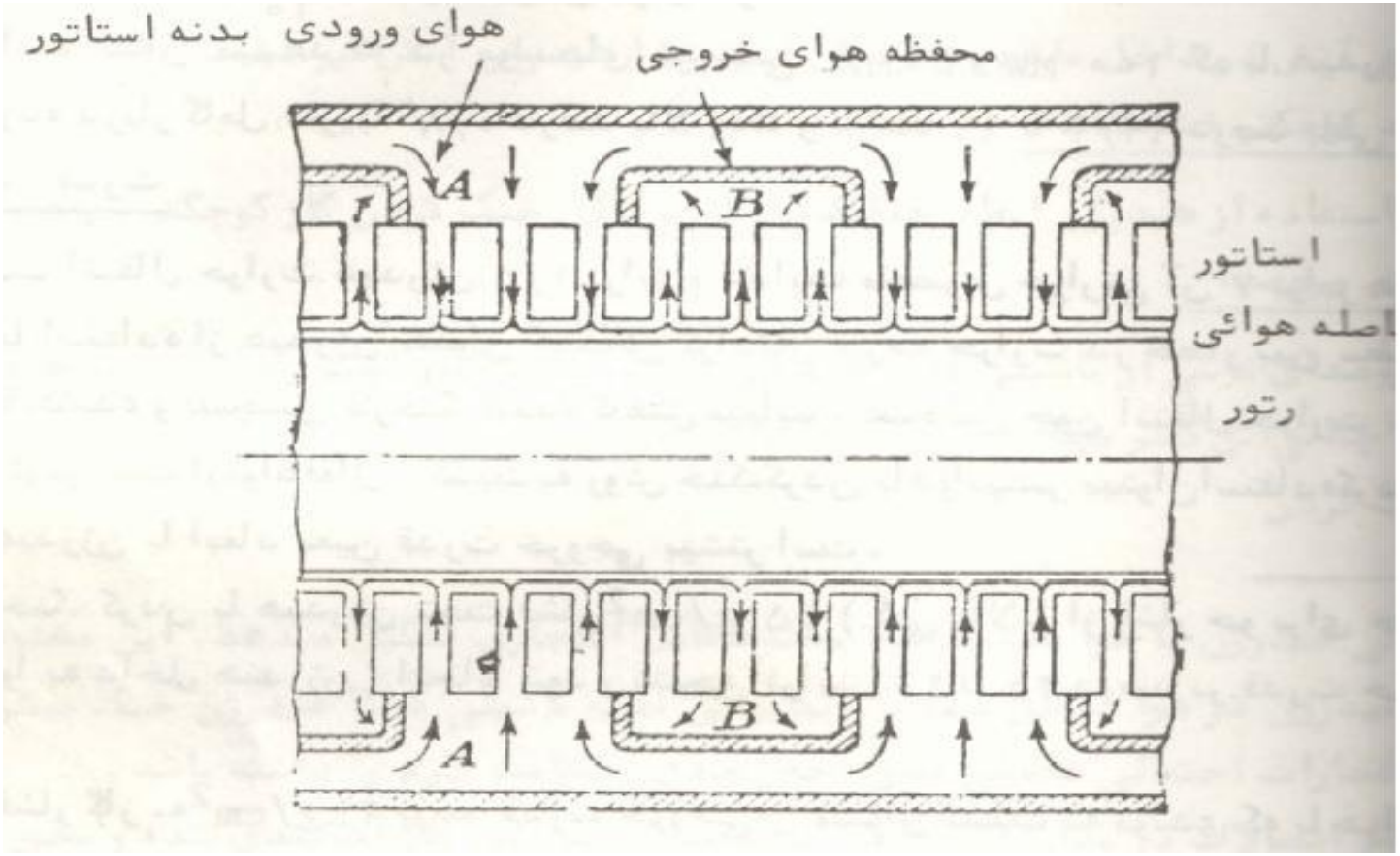
کاربرد در ماشین های با قدرت خروجی کم تا 3 MW

۲- تهویه محوری دوطرفه

- دمیدن هوا از هردو طرف
- هم دما بودن اتصالات پیشانی
- قابل استفاده تا قدرت 12 MW

۳- تهویه با چند ورودی

- ✓ عدم کارایی روش های تهویه محوری در مولدهای توربینی با طول هسته زیاد (برای قسمتهای مرکزی)
- ✓ هدایت هوا بطور شعاعی به سمت داخل از طریق محفظه های ورودی و خروج آن از طریق محفظه های خروجی
- ✓ ارسال هوای گرم به خنک کن و فرستادن دوباره آن تحت فشار به داخل استاتور



۳-۱۰-۲- خنک کردن با هیدروژن

- ✓ عدم کارایی روش خنک سازی با هوا هنگام افزایش قدرت مولدها (بالاتر از 50 MW)

- ✓ نیاز به بادبزنی با قدرت 100 KW برای تامین 150 تن هوا در ساعت برای خنک سازی یک ماشین 60 MW با تلفات 1000 KW
- ✓ مسایل مهم :
  - مقدار زیاد هوای خنک کننده
  - توان بالای بادبزن
- ✓ هیدروژن به عنوان جایگزین مناسب در مولدهای با قدرت بالا برای خنک سازی :
  - ❑ افزایش بازده
  - ❑ افزایش قدرت
  - ❑ افزایش عمر
  - ❑ رفع خطر آتش سوزی
  - ❑ ابعاد کوچک خنک کننده
  - ❑ کاهش سروصدا

۱- افزایش بازده

✓ چگالی هیدروژن 0.07 برابر چگالی هوا

کاهش تلفات مربوط به تهویه ⟸ افزایش بازده

(قسمت اعظم تلفات کل در ماشین پرسرعت)

✓ افزایش % 0.8 بازده برای مولد 100 MW در بار کامل

۲- افزایش قدرت

- ضریب انتقال حرارت هیدروژن 1.5 برابر هوا
- هدایت مخصوص حرارتی هیدروژن 7 برابر هوا

⟸ انتقال حرارت بهتر

⟸ استفاده موثرتر از مواد بکاررفته و افزایش قدرت خروجی

✓ افزایش ضریب انتقال حرارت با بیشترشدن فشار

هیدروژن با فشار ۳۵ گرم بر سانتیمتر مربع افزایش % 20-25 قدرت خروجی

هیدروژن با فشار ۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع افزایش % 35 قدرت خروجی

۳- افزایش عمر

✓ نفوذ هیدروژن درون حفره های عایق و ازدیاد استقامت الکتریکی عایق (هدایت مخصوص حرارتی هیدروژن ۷ برابر هوا و نزدیک عایق)

⇐ افزایش عمر ماشین

✓ وجود اکسیژن و ازت درون هوا به عنوان سیال خنک کننده

⇐ آسیب رساندن به عایق سیم پیچی فشار قوی به علت تخلیه کرونا (شکل گرفتن اوزن واسیدنیتریک در هنگام کرونا)

۴- رفع خطر آتش سوزی

✓ غیر قابل اشتعال بودن هیدروژن

۵- ابعاد کوچک خنک کننده

۶- کاهش سروصدا

✓ چرخش رتور در محیط با چگالی کمتر

روش خنک کردن :

✓ قابل اشتعال بودن مخلوط هیدروژن و هوا

⇐ لزوم جلوگیری از نشت گاز در تمام اتصالات مدار خنک کننده

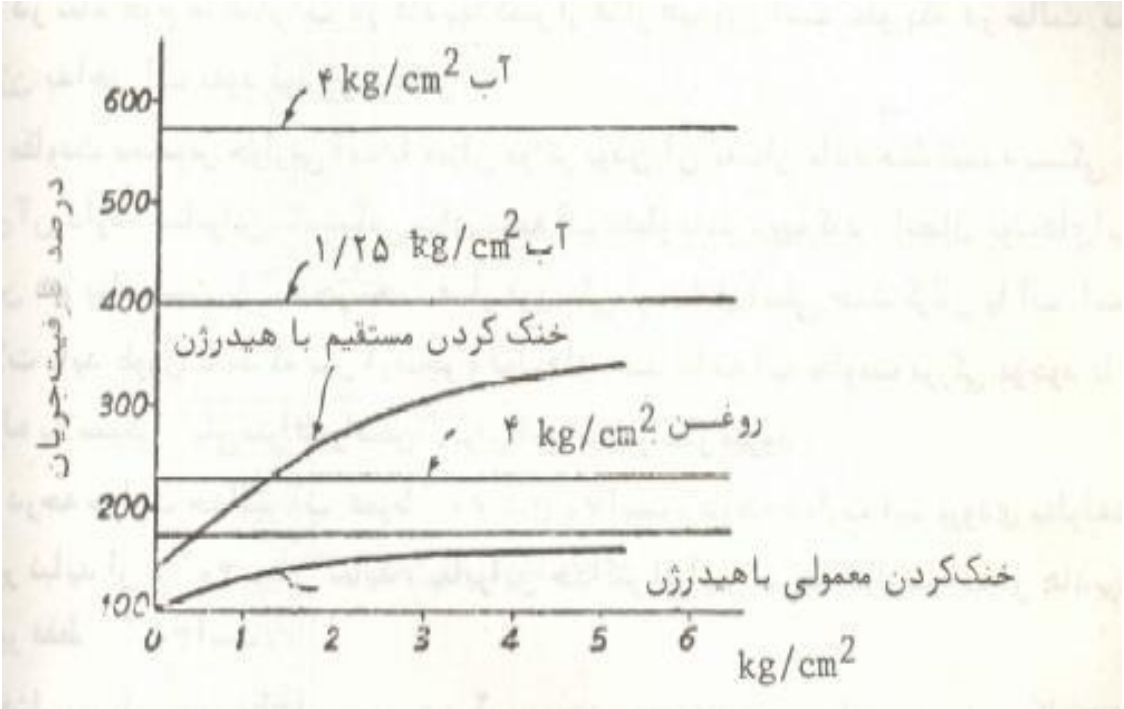
کاهش احتمال وقوع انفجار با قراردادن فشار هیدروژن بالاتر از فشار جو

⇐ تخلیه سریع هیدروژن با وقوع نشتی

- ✓ بگردش درآوردن هیدروژن در مجاری خنک کننده های داخلی با استفاده از بادبزنهای نصب شده روی رتور

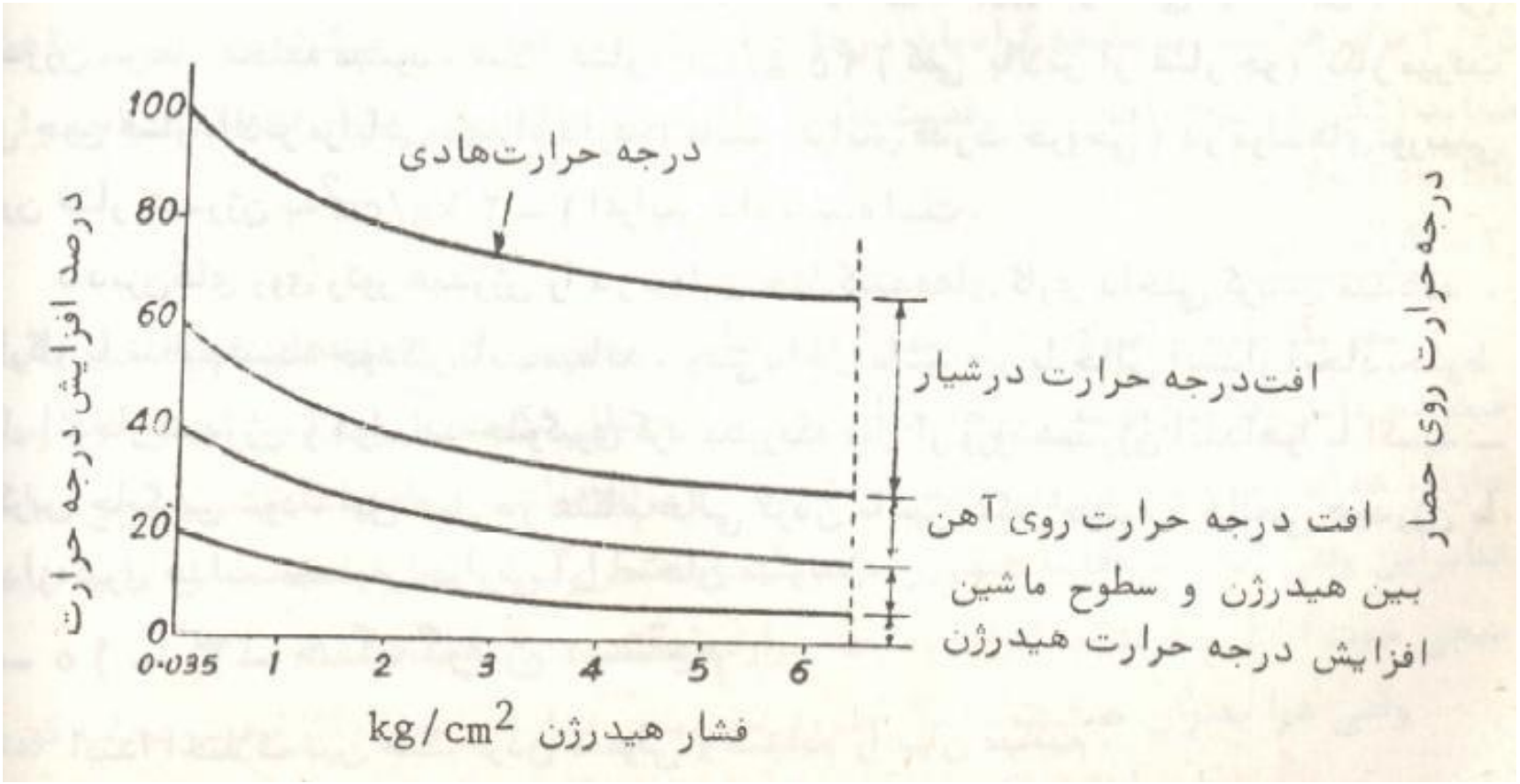
۳-۱۰-۳- خنک کردن مستقیم

- ✓ انتقال حرارت ناشی از تلفات آرمیچر و سیم پیچی میدان به ماده خنک کننده در اطراف عایق سیم پیچی
- ✓ دلایل پذیرفتن خنک کردن مستقیم :

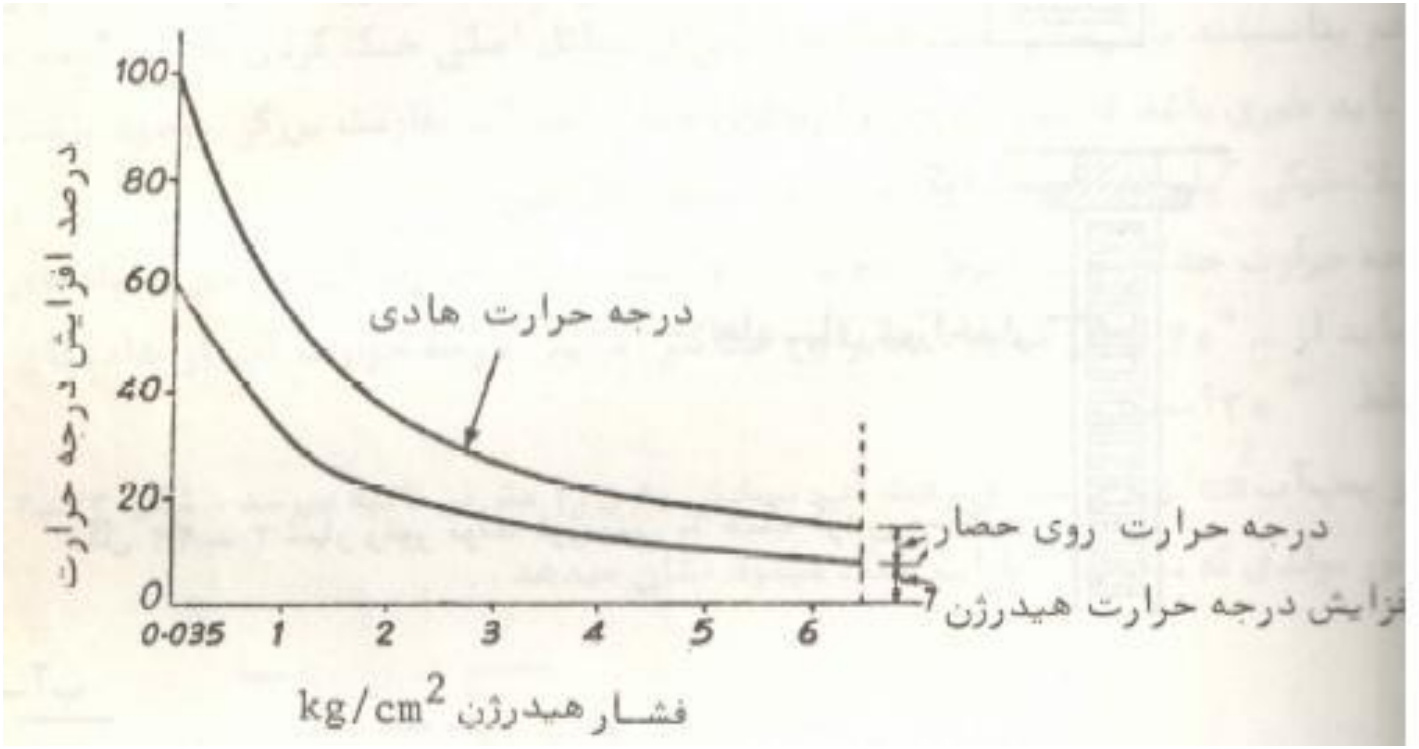


بیشتر نشدن قدرت نامی از یک حدی با افزایش فشار هیدروژن در روش خنک کردن معمولی

- ✓ حرارت رتور بعنوان یک محدودیت جدی در مورد خروجی مولد خنک شونده بطور طبیعی
- ✓ افت قابل ملاحظه درجه حرارت بین هادی های سیم پیچی و ماده خنک شونده در روش معمولی



✓ حذف گرادیان درجه حرارت روی عایق شیار، دندانه ها و حصار در خنک کردن مستقیم بدلیل ارتباط مستقیم ماده خنک کننده با هادی

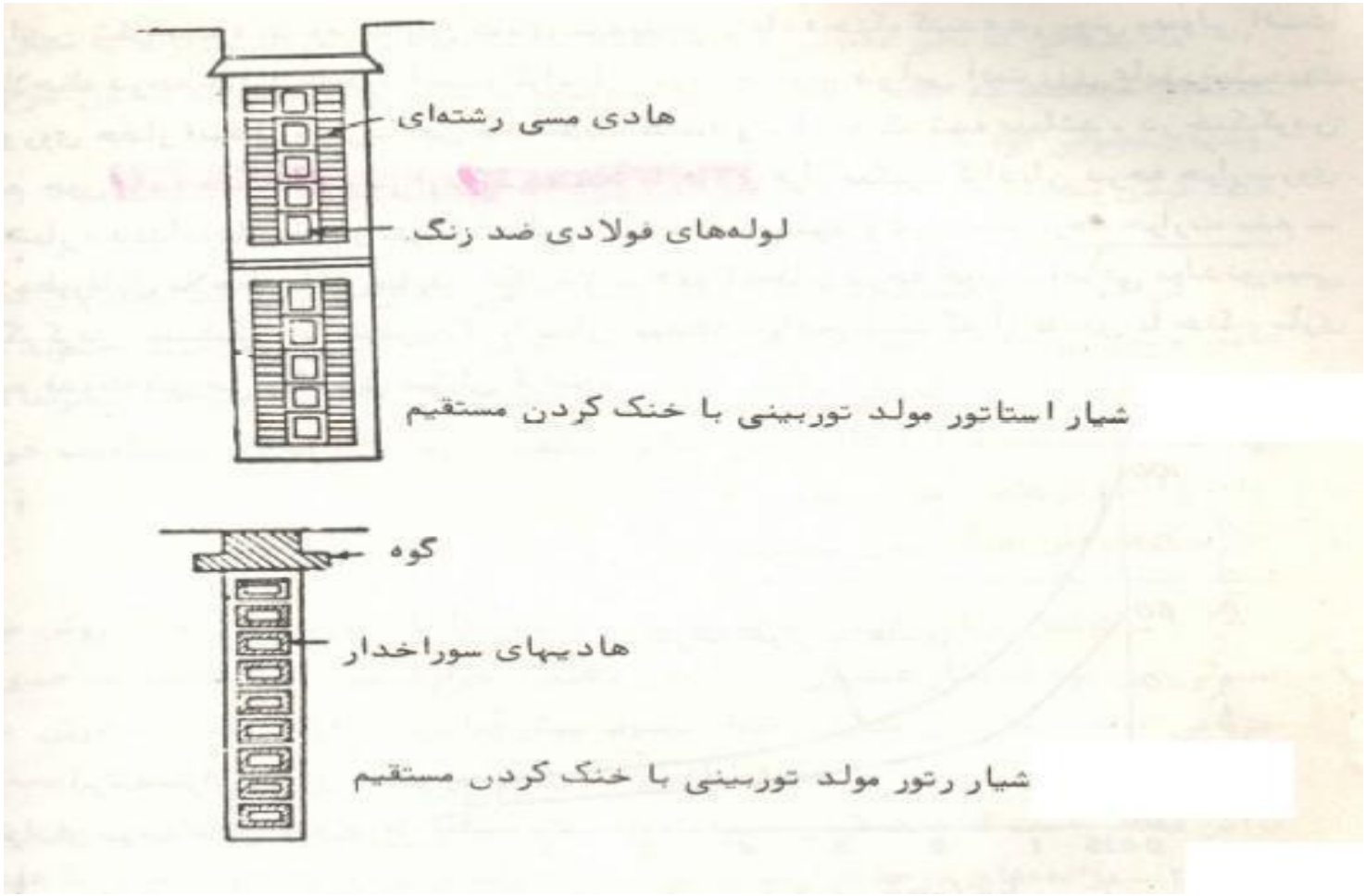


مواد خنک کننده :

هیدروژن ، آب و روغن

۱- هیدروژن :

- ✓ پمپ شدن هیدروژن از طرفی به طرف دیگر هادی با سوراخ کردن آن
- ✓ امکان ساخت ماشین تا 300 MW با خنک کردن مستقیم با هیدروژن



۲- آب

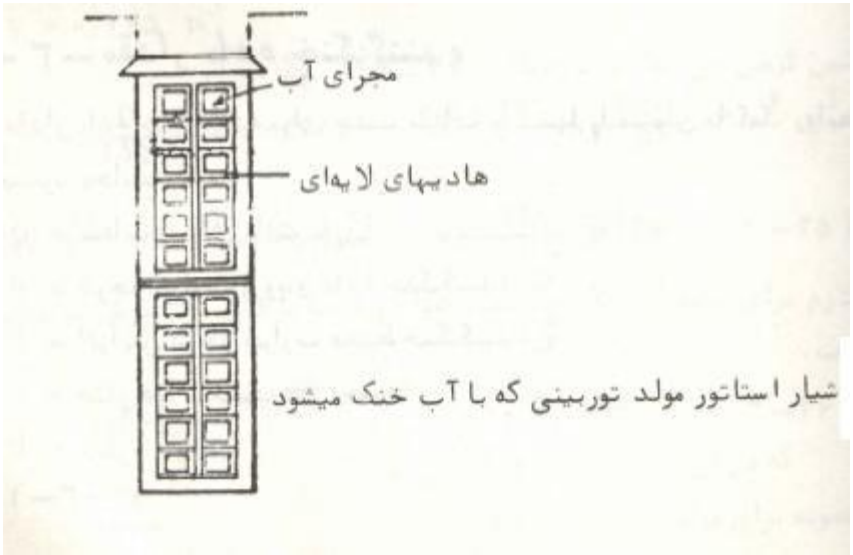
- ✓ دلایل جایگزینی آب بجای هیدروژن :
  - ❑ نیاز به فضای بیشتری برای هادی ها جهت عبور گاز با افزایش قدرت نامی مولد
  - ❑ نیاز به فشار ابتدایی بالا برای بگردش درآوردن هیدروژن از هادی های خیلی بلند
- ✓ مناسب بودن آب بدلیل ظرفیت انتقال حرارت بهتر و ویسکوزیته خیلی کوچک
- ✓ امکان ساخت مولدی با قدرت 600 MW با روش خنک کردن آبی

روش خنک کردن :

- ✓ خنک سازی سیم پیچی رتور با هیدروژن در مولدهایی که استاتورشان با آب خنک می شود
- ✓ بستگی مقاومت مخصوص حرارتی آب به درجه خلوص

فرآهم کردن تاسیساتی برای تهیه آب مقطر

- درجه حرارت آب 70 °C - 60 در خروجی
- درجه حرارت آب ورودی کمتر از 40 °C
- سرعت آب کمتر از 1.5 m/s



۳- روغن

- ✓ استفاده از روغن مرغوب ترانسفورماتور بعنوان ماده خنک کننده موثر در آمریکا برای خنک کردن هادی های استاتور
- ✓ ترجیح دادن آب بجای روغن در انگلستان برای خنک سازی بدلیل قابل اشتعال بودن روغن