Namatek
True Education

Cold Room Cooling Load

۸ مرحله محاسبه بار برودتی سردخانه

www.namatek.com

فهرست مطالب

۱. بار برودتی سردخانه چیست؟ (Cold Room Cooling Load)

۲. منابع گرما در سردخانه ها

۳. محاسبه بار برودتی سردخانه

www.namatek.com

محاسبه بار برودتی سردخانه، مهم ترین مرحله طراحی این سازه ها است. انتخاب تجهیزات سردخانه کاملا وابسته به محاسبات بار برودتی است که در مرحله طراحی صورت می گیرد؛ بنابراین برای جلوگیری از تسریع خراب شدن مواد در اثر گرما، آشنایی با نحوه محاسبه بار برودتی این تجهیزات ضروری است.

در این مقاله قصد داریم به طور کامل مراحل محاسبه بار برودتی در سردخانه را بررسی کنیم.

تا پایان با ما همراه باشید.

#۱ بار برودتی سردخانه چیست؟ (Cold Room Cooling Load)

گرما عامل اصلی در تسریع فرآیند خراب شدن محصولاتی اعم از خوراکی و غیرخوراکی است. سردخانه ها مکان هایی برای حفاظت از کالاها در برابر گرما هستند. قبل از پرداختن به مراحل محاسبه بار برودتی سردخانه، لازم است که کمی درباره مفهوم بار برودتی توضیح دهیم. به طور کلی میزان گرمایی که باید از سردخانه خارج شود تا محیط آن در دمای مورد نظر باقی بماند را بار برودتی می نامند. طبیعی است که بار برودتی سردخانه ها در طول زمان ثابت نیست. بنابراین برای بهینه سازی مصرف انرژی،

میانگین بار برودتی طول سال در سردخانه را مبنای طراحی قرار می دهند. بر این اساس سیستم های سرمایشی مورد نیاز انتخاب می شوند.

#۲ منابع گرما در سردخانه ها

طبق توضیح بالا، برای محاسبه بار برودتی سردخانه لازم است که ابتدا منابع گرما را شناسایی کنیم. منظور از منابع گرما تمام عواملی هستند که باعث تولید حرارت و بالا رفتن دمای سردخانه می شوند. همه می دانیم که گرما همواره از محیط با دمای بالا به سمت محیط با دمای پایین

منتقل می شود. بنابراین در حالت عادی به دلیل اختلاف دمای بین محیط بیرون و داخل سردخانه، گرما به دنبال راهی برای نفوذ به درون است.

از جمله مهم ترین منابع تولید گرما در سردخانه ها عبارت اند از:

- انتقال حرارت هدایتی از طریق دیواره ها، سقف و کف (۵ تا ۱۵ درصد)
- انتقال حرارت تابشی ناشی از نور خورشید (معمولا در محاسبات صرف نظر می شود)
- بار گرمایشی ناشی از محصولات ورودی به سردخانه یا موجود در آن (۵۵ تا ۷۵ درصد)
- بارهای داخلی سردخانه مانند سیستم های روشنایی، ماشین آلات و تعداد پرسنل (۱۰ تا ۲۰ درصد)
- بار حرارتی ناشی از فعالیت تجهیزات سرمایشی (۱ تا ۱۰ درصد)
- حرارت ناشی از نفوذ هوای بیرون به داخل (۱ تا ۱۰ درصد)

برای محاسبه مجموع بار برودتی سردخانه ها باید بارهای ناشی از هر یک از موارد فوق را جداگانه محاسبه نمود و درنهایت با هم جمع کرد.

#۳ محاسبه بار برودتی سردخانه

در ادامه مراحل محاسبه بار برودتی سردخانه را با ذکر یک مثال پی می گیریم. سردخانه ای را در نظر بگیرید که طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب برابر با ٦، ٥ و ٤ متر است. میانگین رطوبت نسبی و دمای هوای محیط بیرون از سردخانه به ترتیب برابر با ٥٠ درصد و ٣٠ درجه سلسیوس است. همچنین میانگین رطوبت نسبی و دمای هوای درون سردخانه به ترتیب برابر با ٩٥ درصد و ١ درجه سلسیوس است. با توجه به نوع متریال مورد استفاده در احداث سردخانه (پلی اورتان)، ضریب انتقال حرارت دیوارها، سقف و کف آن برابر با ٠/٢٨ وات بر مترمربع در درجه سانتی گراد است.

همچنین دمای کف سردخانه نیز برابر با ۱۰ درجه سلسیوس است. در محیط سردخانه سیب نگهداری می شود. روزانه معادل ٤٠٠٠ کیلوگرم سیب با دمای ۵ درجه سلسیوس و ظرفیت گرمایی ۳٫٦۵ کیلوژول بر کیلوگرم وارد سردخانه می شود. بر اساس اطلاعاتی که تا این جا ذکر کردیم، محاسبه بار برودتی در سردخانه را به تفکیک هر یک از منابع گرما انجام می دهیم.

#۳-۱ محاسبه بار انتقال حرارت هدایتی از طریق دیواره ها، سقف و کف سردخانه

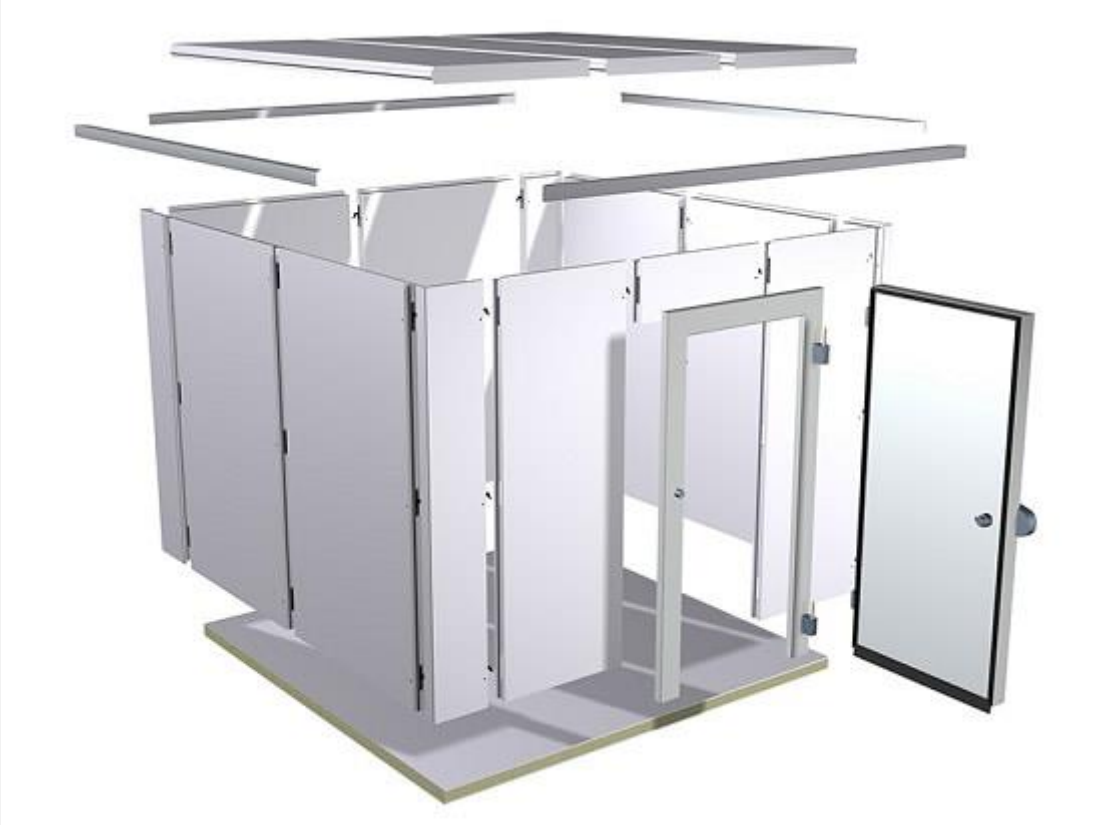
برای محاسبه بار ناشی از انتقال حرارت هدایتی از محل دیواره ها، سقف و کف سردخانه باید از رابطه ریاضی زیر استفاده کنیم.

$$Q = U \times A \times (\Delta T) \times 24 / 1000$$

- Q: میزان گرمای ناشی از انتقال حرارت هدایتی برحسب کیلووات ساعت در روز (kWh/day)
- U: ضریب انتقال حرارت بدنه سردخانه برحسب وات بر مترمربع در درجه سانتی گراد (W/m2°C)
- A: سطح مقطع دیواره، سقف و کف سردخانه برحسب مترمربع (m2)
- ΔT: اختلاف دمای هوای داخل و بیرون سردخانه (°C)
- ۲٤: تعداد ساعات یک شبانه روز (h)

- ۱۰۰۰: نسبت تبدیل بار حرارتی از وات به کیلووات

برای محاسبه بار حرارتی باید ابتدا مجموع سطح مقطع دیواره ها، سقف و کف سردخانه را محاسبه کرد.



بر این اساس مجموع سطح مقطع دیواره ها برابر با ۸۸ مترمربع است. علاوه بر آن سطح مقطع سقف و کف سردخانه، هر کدام برابر با ۳۰ مترمربع است.

بنابراین میزان بار حرارتی ناشی از انتقال حرارت هدایتی به سردخانه برابر است با:

$$Q = 0.28 \times 148 \times (30 - 1) \times 24 / 1000 = 28.8 \ (kWh/day)$$

با توجه به اینکه دمای کف سردخانه برابر با ۱۰ درجه سانتی گراد است، انتقال حرارت جداگانه ای نیز بین کف و محیط بیرون صورت می گیرد.

این انتقال حرارت به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Q = 0.28 \times 148 \times (10 - 1) \times 24 / 1000 = 1.8 \text{ (kWh/day)}$$

بنابراین مجموعه بار حرارتی ناشی از انتقال گرمای هدایتی در سردخانه برابر با ۳۰٫۶ (kWh/day) است.

#۲-۳ محاسبه بار برودتی سردخانه ناشی از حرارت محصولات

در گام دوم محاسبه بار برودتی سردخانه باید حرارت ناشی از محصولات را برآورد کنیم. برای این منظور از رابطه ریاضی زیر استفاده می کنیم.

$$Q = m \times Cp \times (\Delta T) / 3600$$

- Q: بار حرارتی ناشی از محصولات (kWh/day)
- M: جرم محصولات داخل سردخانه (kg)
- Cp: ظرفیت گرمای ویژه محصولات برحسب کیلوژول بر کیلوگرم در درجه سلسیوس (kJ/kg°C)
- ΔT: اختلاف دمای محصول و دمای هوای درون سردخانه (°C)
- ۳۶۰۰: نسبت تبدیل بار حرارتی از کیلوژول به کیلووات

با توجه به اطلاعاتی که در اختیار داریم، میزان حرارت تولیدی ناشی از سیب ها درون سردخانه به صورت زیر است:

$$Q = 4000 \times 3.65 \times (5 - 1) / 3600 = 16 \text{ (kWh/day)}$$

#۳-۳ محاسبه بار حرارتی لازم برای حفظ حرارت محصولات انبار شده

در بالا بار حرارتی مورد نیاز برای خنک کردن سیب ها تا دمای سردخانه را محاسبه کردیم. اما باید توجه داشته باشید که برای باقی ماندن سیب ها در دمای مورد نظر هم نیاز به مصرف انرژی داریم. بار حرارتی لازم برای حفظ دمای محصولات در محدوده مورد نظر را بار تنفسی می گویند.
فرض می کنیم که در حالت کلی موجودی سیب ها درون سردخانه به ۲۰

هزار کیلوگرم می رسد. همچنین بار تنفسی هر سیب درون سردخانه نیز برابر با ۱/۹ کیلوژول بر کیلوگرم است.

برای محاسبه بار برودتی سردخانه ناشی از بار تنفسی سیب ها باید از رابطه زیر استفاده کنیم:

$$Q = m \times RESP / 3600$$

- Q: بار تنفسی ناشی از محصولات (kWh/day)
- RESP (respiratory): بار تنفسی هر یک از محصولات (kJ/kg)
- ۳۶۰۰: نسبت تبدیل کیلوژول به کیلووات

با توجه به اطلاعاتی که در اختیار داریم، بار تنفسی کلی محصولات برابر است با:

$$Q = 20000 \times 1.9 / 3600 = 10.5 \text{ (kWh/day)}$$

#۴-۳ محاسبه بار برودتی سردخانه ناشی از پرسنل سردخانه

در این مرحله از محاسبه بار برودتی سردخانه باید به سراغ حرارت تولیدی پرسنل برویم. فرض می کنیم که ۲ نفر روزانه به مدت ٤ ساعت درون سردخانه فعالیت می کنند. علاوه بر آن میزان حرارت تولید هر یک از آن ها را برابر با ۲۷۰ وات در ساعت در نظر می گیریم. برای محاسبه بار حرارتی پرسنل سردخانه باید از رابطه زیر استفاده کنیم:

$$Q = N \times T \times H / 1000$$

- Q: بار حرارتی پرسنل سردخانه (kWh/day)
- N: تعداد پرسنل
- T: زمان حضور پرسنل در سردخانه (h)
- H: حرارت تولیدی هر یک از پرسنل (W)
- ۱۰۰۰: نسبت تبدیل وات به کیلووات

بر این اساس میزان حرارت تولیدی پرسنل سردخانه برابر است با:

$$Q = 2 \times 4 \times 270 / 1000 = 2.16 \text{ (kWh/day)}$$

#۵-۳ محاسبه بار حرارتی سیستم های روشنایی

فرض می کنیم که ۳ لامپ ۱۰۰ وات برای روشنایی سردخانه در نظر گرفته شده است. همچنین هر یک از لامپ ها نیز در طول شبانه روز به مدت ٤ ساعت روشن است. بر این اساس رابطه ریاضی محاسبه بار حرارتی سیستم های روشنایی به شرح زیر است:

$$Q = N \times T \times W / 1000$$

- Q: بار حرارتی سیستم روشنایی سردخانه (kWh/day)
- N: تعداد لامپ های سردخانه
- T: زمان روشن بودن لامپ های سردخانه (h)
- W: توان مصرفی هر یک از لامپ ها (W)
- ۱۰۰۰: نسبت تبدیل وات به کیلووات

بر این اساس بار حرارتی سیستم های روشنایی سردخانه برابر است با:

$$Q = 3 \times 4 \times 100 / 1000 = 1.2 \text{ (kWh/day)}$$

#۶-۳ محاسبه بار برودتی سردخانه ناشی از حرارت اواپراتور

یکی از تجهیزات اصلی سیستم سرمایش سردخانه، اواپراتور است. این تجهیز در اثر فعالیت حرارت تولید می کند و حرارت تولیدشده در محیط سردخانه توزیع می شود. برای محاسبه بار حرارتی تولیدشده از اواپراتور باید از رابطه زیر استفاده کنیم.

$$Q = N \times T \times W / 1000$$

- Q: بار حرارتی اواپراتور سردخانه (kWh/day)
- N: تعداد فن اواپراتور

- T: زمان فعالیت فن اواپراتور (h)
- W: توان اسمی فن اواپراتور (W)
- ۱۰۰۰: نسبت تبدیل وات به کیلووات

فرض می کنیم که درمجموع ۳ فن در اواپراتور وجود دارند که هر کدام از توان نامی ۲۰۰ وات برخوردار است. علاوه بر آن در نظر می گیریم که هر کدام از فن ها ۱٤ ساعت در روز کار می کند. بر این اساس بار حرارتی ناشی از اواپراتور سردخانه به صورت زیر است:

$$Q = 3 \times 14 \times 200 / 1000 = 8.4 \text{ (kWh/day)}$$

در ادامه باید بار حرارتی تولیدشده ناشی از ذوب یخ در اواپراتور را محاسبه کنیم. فرض می کنیم که در سردخانه از المنت با ظرفیت ۱/۲ کیلووات برای ذوب شدن یخ اواپراتور استفاده می شود. این المنت ۳ بار در روز و هر بار

به مدت ۳۰ دقیقه کار می کند. همچنین ۳۰ درصد از کل انرژی حرارتی تولیدشده توسط آن به درون ساختمان سردخانه منتقل می شود. برای محاسبه بار حرارتی ناشی از ذوب یخ باید از رابطه زیر استفاده کنیم:

$$Q = P \times T \times N \times E$$

- Q: بار حرارتی ناشی از ذوب یخ (kWh/day)
- P: توان حرارتی المنت (kW)
- T: زمان فعالیت المنت (h)
- N: تعداد دفعات فعالیت المنت اواپراتور
- E: بازده انتقال حرارت المنت به سردخانه

$$Q = 1.2 \times 0.5 \times 3 \times 0.3 = 0.54 \text{ (kWh/day)}$$

مجموع بار حرارتی اواپراتور برابر با ۸٫۹٤ (kWh/day) است.

#۳-۷ محاسبه بار برودتی ناشی از نفوذ هوا به سردخانه

در پایان مراحل محاسبه بار برودتی سردخانه نوبت به محاسبه بار حرارتی ناشی از نفوذ هوای گرم به درون ساختمان می رسد. برای این منظور باید نرخ نفوذ هوا از منافذ سردخانه را در نظر بگیریم. فرض کنید که نرخ نفوذ هوا از در سردخانه برابر با ۵ برابر حجم سردخانه در طول روز است. حجم کل سردخانه نیز برابر با ۱۲۰ مترمکعب است. میزان حرارت ورودی ناشی از هر حجم هوا به درون سردخانه برابر با ۲ کیلوژول بر سلسیوس است.

برای محاسبه بار حرارتی ناشی از نفوذ هوا به سردخانه باید از رابطه ریاضی زیر استفاده کنید:

$$Q = V \times E \times C \times (\Delta T) / 3600$$

- Q: بار حرارتی ناشی از نفوذ هوا به سردخانه (kWh/day)
- V: حجم سردخانه (m3)
- E: انرژی حجم هوای ورودی به سردخانه (kJ/°c)
- C: تعداد دفعات تغییر حجم هوای سردخانه
- ΔT: اختلاف دمای هوای محیط بیرون و درون سردخانه (c°)
- ۳۶۰۰: نسبت تبدیل کیلوژول به کیلووات ساعت

بر اساس اطلاعات موجود بار حرارتی نفوذ هوا به درون سردخانه برابر است با:

$$Q = 5 \times 120 \times 2 \times (30 - 1) / 3600 = 9.67 \text{ (kWh/day)}$$

#۸-۳ آخرین مرحله محاسبه بار برودتی سردخانه

در آخرین مرحله محاسبه بار برودتی سردخانه باید مجموع بارهای حرارتی ۷ مرحله قبلی را محاسبه کنیم.

بر این اساس بار حرارتی کل سردخانه برابر است با:

$$Q = 28.8 + 26.5 + 3.36 + 8.94 + 9.67 = 77.27 \ (kWh/day)$$

در پایان لازم است که یک ضریب اطمینان برای عدد فوق در نظر بگیریم تا خطاهای احتمالی محاسبات را پوشش دهد. بسته به اهمیت محصولی که در سردخانه نگهداری می شود، ضریب اطمینان را بین ۱۰ تا ۳۰ درصد مجموع بار حرارتی محاسبه شده در نظر می گیرند. ما در این جا معادل ۲۰

درصد بار حرارتی کل را محاسبه و به آن اضافه می کنیم. در نهایت بار برودتی کل مورد نیاز برای سردخانه برابر با 92.7 (kWh/day) می شود.

حالا باید ظرفیت سیستم سرمایشی سردخانه را بر اساس عدد فوق محاسبه کنیم. فرض ما در این جا آن است که سیستم سرمایش سردخانه در طول شبانه روز به مدت ١٤ ساعت فعالیت می کند. بر این اساس با تقسیم ٩٢/٧ به ١٤ عدد ٦/٦ کیلووات به دست می آید. لذا ظرفیت واحد تبرید سیستم سرمایش سردخانه باید برابر با ٦/٦ کیلووات باشد.