محاسبات بار سرمایی

برای سادگی محاسبات بار سرمایی ، بار سرمایی کل را نسبت به منابع حرارتی اعمال کننده بار ، به تعدادی بار مجزا تقسیم می کنند که بار تبرید ، مجموع کل آنهاست.

بار سرمایی کل به چهار بار مجزا تقسیم می شود :

۱) بار حاصل از دیوارها و سقف ۲) بار تعویض هوا ۳) بار محصولات ۴) بارهای اضافی یا متفرقه

۱)محاسبه بار حاصل از دیوارها

مقدار حرارتی که در واحد زمان به وسیله دیوارها به فضای سرد شونده وارد میشود تابعی از سه عامل می باشد که رابطه آنها در معادله زیر نشان داده شده است :

$$Q=(A)(U)(TD)$$

که در آن :

Q= شدت حرارت انتقال یافته برحسب وات (w)

A= سطح خارجی دیوار برحسب مترمربع (m^2)

U= ضریب کلی انتقال حرارت بر حسب وات بر مترمربع بر کلوین ($w/m^2\ ^oK$)

TD= اختلاف دمای دو طرف دیوار برحسب درجه کلوین (^oK)

ضریب انتقال یا فاکتور U معیاری از شدت عبور حرارت از یک متر مربع سطح دیوار بازای یک درجه کلوین اختلاف دما در دو طرف دیوار است و مقدار آن به ضخامت دیوار و مواد بکار رفته در ساختمان آن بستگی دارد. برای اینکه بتوان از ورود حرارت بیشتر به فضای سرد شونده و افزایش بار تجهیزات تبرید جلوگیری نمود،باید مواد بکار رفته در ساختمان دیوارهای سردخانه ،عایق های حرارتی خوبی باشد بطوری که مقدار U حتی الامکان پایین نگه داشته شود.

طبق معادل فوق بازای یک ضریب U معین ، شدت جریان حرارت از دیوار مستقیماً با مساحت و اختلاف دمای طرفین آن تغییر میکند.چون مقدار U بر حسب وات بر متر مربع بر کلوین داده می شود ، شدت جریان حرارت از هر دیوار بخصوص را می توان با ضرب کردن فاکتور U در مساحت دیوار بر حسب متر مربع و اختلاف دمای طرفین دیوار بر حسب کلوین یا درجه سلسیوس با استفاده از این معادله بدست آورد.

TABADOL GOSTAR BOORAN

۲)محاسبه بار تعویض هوا

محاسبه دقیق بار حاصل از تعویض هوا به جز در مواردی که مقدار معینی از هوا به منظور تهویه وارد فضا می شود کار مشکلی است.هنگامی که دبی جرمی هوای ورودی به فضا معلوم باشد می توان حرارت حاصل از تعویض هوا را با استفاده از معادله زیر تعیین نمود :

$$Q=m(h_o-h_i)$$

که در آن :

Q بار تعویض هوا (کیلو وات)

m جرم هوای ورودی به فضا (کیلوگرم بر ثانیه)

h_o آنتالپی هوای خارج (کیلو ژول بر کیلوگرم)

h_i آنتالپی هوای داخل (کیلو ژول بر کیلوگرم) می باشند.

به منظور ساده کردن محاسبات تغییر آنتالپی ، در مواردی که مقدار هوای ورودی بر اساس واحد حجم بیان میشود، حرارت حاصل از هر لیتر هوای ورودی در شرایط مختلف داخل و خارج در جداول (A و B) درج شده است.جهت تعیین بار تعویض هوا (بر حسب کیلو وات) شدت نفوذ هوا (بر حسب لیتر بر ثانیه) را در ضریب تغییر آنتالپی مناسبی که از جداول (A و B) بدست می آید ضرب میکنند.

جدول A – حرارت حاصل از هر لیتر هوا بر حسب کیلو ژول برای سردخانه های بالای صفر

Storage Room Temp °C	Inlet Air Temperature, °C									
	25°			30°			35°		40°	
	50	60	70	50	60	70	50	60	50	60
15°	0.0128	0.0186	0.0246	0.0281	0.0357	0.0441	0.0500	0.0563	0.0663	0.0795
10°	0.0266	0.0323	0.0382	0.0319	0.0491	0.0574	0.0591	0.0694	0.0792	0.0992
5°	0.0388	0.0445	0.0502	0.0536	0.0610	0.0693	0.0708	0.0810	0.0906	0.1036
0°	0.0493	0.0550	0.0606	0.0639	0.0713	0.0794	0.0808	0.0910	0.1003	0.1141

TABADOL GOSTAR BOORAN

جدول B - حرارت حاصل از هر لیتر هوا بر حسب کیلو ژول برای سردخانه های زیر صفر

Storage Room Temp °C	Inlet Air Temperature, °C									
	5°		10°		25°		30°		35°	
	70	80	70	80	50	60	50	60	50	60
0°	0.0092	0.0111	0.0142	0.0154	0.0505	0.0562	0.0650	0.0724	0.0820	0.0921
-5°	0.0193	0.0210	0.0235	0.0247	0.0592	0.0649	0.0736	0.0809	0.0903	0.1004
-10°	0.0271	0.0288	0.0309	0.0321	0.0662	0.0719	0.0805	0.0877	0.0970	0.1071
-15°	0.0350	0.0367	0.0383	0.0395	0.0732	0.0788	0.0873	0.0945	0.1037	0.1137
-20°	0.0427	0.0444	0.0456	0.0468	0.0801	0.0857	0.0941	0.1013	0.1102	0.1203
-25°	0.0501	0.0523	0.0525	0.0537	0.0866	0.0922	0.0998	0.1077	0.1165	0.1265
-30°	0.0571	0.0588	0.0591	0.0604	0.0929	0.0985	0.1067	0.1138	0.1225	0.1325
-35°	0.0640	0.0657	0.0656	0.0668	0.0989	0.1045	0.1126	0.1197	0.1283	0.1382
-40°	0.0708	0.0725	0.0720	0.0732	0.1050	0.1106	0.1185	0.1256	0.1341	0.1440

با استفاده از ضرایب جدولهای (A و B) و (C) حرارت حاصل از نفوذ هوا را می توان با معادله زیر تعیین نمود :

جدول C - شدت نفوذ متوسط هوا برحسب لیتر بر ثانیه ناشی از باز و بسته شدن درب (برای اتاقهایی که دارای کانال تهویه می باشند مورد استفاده قرار نگیرد).

Room Volume (m^3)	Infiltration Rate (L/S)	
	Rooms Above 0 °C	Rooms Below 0 °C
7	3.1	2.3
8.5	3.4	2.6
10	3.7	2.8
15	4.4	3.3
20	5.0	3.8
25	5.5	4.2
30	5.9	4.6

TABADOL GOSTAR BOORAN

40	6.8	5.4
50	7.5	5.8
75	9.0	6.9
100	10.2	7.9
150	12.2	9.4
200	13.9	10.9
250	15.3	11.9
300	16.7	12.9
400	19.0	14.9
500	21.4	16.8
600	23.6	18.1
700	24.3	18.6
800	25.9	20.4
900	27.1	21.9
1000	28.9	23.1

توجه :در سردخانه های با اتاق سردکن اولیه مقادیر حاصل از جدول را ۵۰٪ کم و در کاربردهای سنگین ۵۰٪ به مقادیر جدول اضافه کنید.

با استفاده از ضرایب جداول سه گانه فوق حرارت حاصل از نفوذ هوا را می توان با معادله زیر تعیین نمود :

بار تعویض هوا (kw) = (شدت نفوذ هوا $\frac{l}{s}$) × (تغییر آنتالپی $\frac{kj}{l}$)

۲) محاسبه بار محصول

هنگامی که محصول با دمایی بیشتر از دمای فضای سرد ، وارد سردخانه می شود تا رسیدن به دمای فضا ، مقداری حرارت از دست می دهد که میزان آن به دمای فضا ، جرم ، گرمای ویژه و دمای ورود محصول بستگی دارد.در صورتی که دمای فضای سردخانه بالاتر از نقطه انجماد محصول باشد ، مقدار حرارت دفع شده توسط محصول از معادله زیر محاسبه می شود :

$Q=(m)(C)\ (\Delta T)$

که در آن :

Q = مقدار حرارت دفع شده بر حسب کیلوژول

m = جرم محصول بر حسب کیلوگرم

C = گرمای ویژه بالای نقطه انجماد بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم بر کلوین

ΔT = تغییر دمای محصول در سردخانه بر حسب درجه کلوین می باشد.

TABADOL GOSTAR BOORAN

توجه داشته باشید که در معادله فوق عامل زمان وجود ندارد لذا نتیجه حاصل ، مقدار حرارتی است که محصول به هنگام سرد شدن تا دمای فضا از دست می دهد. ولی در بیشتر موارد ، زمان سرد کردن ممکن است چون در تعیین شدت سرد کردن همواره زمان مطرح می باشد در همه موارد بار محصول یا شدت سرد کردن از معادله زیر تعیین می شود :

$$Q=\frac{(m)(C)(\Delta T)}{\text{زمان سرد کردن مورد نظر بر حسب ثانیه}}$$

۳) ضریب سرد کردن

در سردخانه ها در شروع سرد کردن محصول ، بار تجهیزات تبرید بطور قابل ملاحظه ای از بار متوسط محاسبه شده بیشتر می باشد.به دلیل اختلاف دمای بیشتری که در شروع سرد کردن بین محصول و فضای سرد وجود دارد شدت سرد کردن زیادتر بوده و بار محصول تمایل دارد در اوایل دوره سرد کردن متمرکز شود .بنابراین اگر انتخاب تجهیزات بر اساس توزیع یکنواخت بار محصول در سردخانه باشد معمولا تجهیزات انتخابی ظرفیت کافی برای تحمل بار در مراحل اولیه سرد کردن را که بار مجصول حداکثر می باشد نخواهند داشت. در نتیجه ممکن است افزایش قابل توجهی در دمای سردخانه به وجود آید.

در مواردی که چنین افزایش دمایی مطلوب نباشد برای جلوگیری از آن و به منظور جبران توزیع غیر یکنواخت بار در سرد کردن محصول ، ضریبی بنام ضریب سرد کردن در نظر می گیرند.این ضریب موجب افزایش مقدار محاسبه شده بار محصول می گردد به طوری که شدت تبرید متوسط ساعتی با بار ساعتی در شرایط ماگزیمم برابر گردد.این امر باعث می شود تجهیزات بزرگتری انتخاب شود تا ظرفیت کافی برای تحمل بار در مراحل اولیه سرد کردن را داشته باشد.

ضرایب سردکردن محصولات مختلف در جدولهای مربوط به مشخصات نوع محصولات درج شده اند. مقادیر موجود در جدولها از طریق آزمایشهای عملی و محاسبات بدست آمده اند و با نسبت زمان بار گذاری به زمان کل سرد شدن تغییر می کنند. برای مثال نتایج آزمایش نشان می دهد که در سرد کردن گوشت گاو ، شدت سرد کردن در نیمه اول زمان ، ۵۰٪ از شدت متوسط سرد کردن کل زمان ، بیشتر می باشد.در محاسبات موجود ، شدت متوسط سرد کردن در کل زمان به دست می آید که برای بدست آوردن شدت سرد کردن در نصف زمان باید آن را در عدد ۱/۵ ضرب کرد. بنابراین ضریب سرد کردن گوشت گاو (۱/۵) / ۱ یعنی (۰/۶۷) می باشد که مقدار آن به راحتی از جدول بدست می آید.

هنگامی که ضریب سرد کردن به کار می رود معادله بصورت زیر نوشته می شود :

$$Q=\frac{(m)(C)(\Delta T)}{\left(\text{ضریب سرد کردن}\right)(\text{زمان سرد کردن بر حسب ثانیه})}$$

TABADOL GOSTAR BOORAN

ضرایب سرد کردن معمولا فقط برای اتاقهای سرد کن (پیش سردکن) مورد استفاده قرار می گیرد زیرا در سردخانه ها بار محصول فقط درصد کوچکی از کل بار را تشکیل می دهد. بنابراین در سردخانه ها توزیع غیر یکنواخت بار محصول در شروع سرد کردن ، نمی تواند موجب وارد شدن اضافه بار به تجهیزات تبرید گردد یا تغییرات غیر قابل قبولی در دمای فضا ایجادنماید.به همین دلیل در سردخانه ها نیازی به در نظر گرفتن ضریب سرد کردن نمی باشد.

۴) انجماد و نگهداری محصول

هنگامی که محصول را منجمد و در دمایی کمتر از دمای انجمادش نگهداری میکنند ، حرارت گرفته شده از محصول در سه مرحله محاسبه می گردد.

۱) مقدارحرارت گرفته شده از محصول برای سرد شدن از دمای ورود تا دمای انجماد
۲) مقدارحرارت گرفته شده در طول انجماد
۳) مقدارحرارت گرفته شده از محصول برای سرد شدن از دمای انجماد تا دمای نهایی نگهداری.

روش محاسبه مقدار حرارت حاصل از کاهش دما (مراحل ۱و ۳) قبلاً بیان شده است.مقدار حرارت حاصل از انجماد (قسمت دوم) با معادله زیر محاسبه می شود که در آن :

$$Q=(m)\ (h_{if})$$

m = جرم محصول بر حسب کیلوگرم

h_{if} = حرارت نهان انجماد بر حسب کیلو ژول بر کیلوگرم که از جدول بدست می آید.

برای تعیین بار کل محصول بر حسب (kw) ، مجموع حرارتهای سه مرحله (۱،۲،۳) به زمان انجماد بر حسب (ثانیه) تقسیم می شود.

۵) حرارت تنفسی

میوه ها و سبزیجات پس از چیده شدن نیز زنده هستند و تغییراتی می یابند. مهمترین این تغییرات به وسیله تنفس آنها به وجود می آید که طی آن اکسیژن هوا با هیدراتهای کربن محصول ترکیب و موجب آزاد شدن دی اکسید کربن و حرارت می شود .حرارت دفع شده از محصول ، حرارت **تنفس** نام دارد و هنگامی که در سردخانه مقدار قابل ملاحظه ای میوه یا سبزی در دمایی بالاتر از دمای انجماد نگهداری می شود بایستی آن را به عنوان قسمتی از بار محصول منظور کرد. مقدار حرارت حاصل از تنفس ، به نوع و دمای محصول بستگی دارد و در جدول مشخصات محصول درج شده است.

TABADOL GOSTAR BOORAN

چون حرارت تنفس بر حسب وات بر کیلوگرم داده می شود بار تنفسی محصول از معادله زیر به دست می آید :

$$Q(w) = \text{جرم محصول}(kg) \times \text{حرارت تنفس}(\ w/kg)$$

۶) ظروف و مواد بسته بندی

هنگاهی که محصولات به همراه ظرفشان سرد می شوند ، نظیر سرد شدن شیر در بطری ها یا کارتن ها ،تخم مرغ در شانه ها و میوه و سبزیجات در جعبه ها و بسته ها ، ظروف و مواد بسته بندی نیز در موقع سرد شدن از دمای ورودی تا دمای فضا مقداری حرارت پس می دهند که بایستی بطور جداگانه به عنوان قسمتی از بار محصول در نظر گرفته شود .

۷) محاسبه بارهای متفرقه

بارهای متفرقه عمدتاً از حرارت دفع شده به وسیله لامپها ، موتورهای الکتریکی و افراد داخل فضای سردخانه تشکیل می شود.حرارت حاصل از لامپها برحسب وات از تقسیم حاصلضرب توان لامپ در ساعت کارکرد روزانه بر ۲۴ ساعت به دست می آید. یعنی :

$$Q(\text{وات}) = \frac{\text{ساعت کارکرد روزانه} \times \text{توان}(\text{وات})}{24\ \text{ساعت}}$$

حرارت حاصل از موتورهای الکتریکی و افراد به ترتیب در جداول (D و E) ارائه شده است.با استفاده از رابطه های زیر می توان مقدار حرارت حاصل از آنها را محاسبه نمود :

$$Q_M\ (\text{کیلو وات}) = (\ kw) \text{ توان خروجی موتور} \times (D) \text{ ضریب (از جدول} \times \frac{\text{ساعت کارکرد}}{24\ \text{ساعت}}$$

$$Q_P\ (\text{کیلو وات}) = \text{تعداد افراد} \times (E) \text{ حرارت معادل هر نفر (از جدول} \times \frac{\text{ساعات حضور در سردخانه}}{24\ \text{ساعت}}$$

حرارت حاصل از سایر منابع حرارتی نظیر لیفتراک ها و سایر تجهیزات حمل و نقل نیز بایستی در محاسبه بار حرارتی سردخانه در نظر گرفته شود.

TABADOL GOSTAR BOORAN

جدول D- حرارت حاصل از موتورهای الکتریکی

Motor Rating Kilowatt Output	Motor Efficiency %	Multiplying Factor: Connected Load in Refr Space[a]	Multiplying Factor: Motor Losses Outside Refr Space[b]	Multiplying Factor: Connected Load Outside Refr Space[c]
0.1-0.5	33.3	1.67	1.0	0.67
0.5-2.0	55.0	1.45	1.0	0.45
2.0-15.0	85.0	1.15	1.0	0.15

جدول E- حرارت حاصل از افراد

Cooler Temperature ^{0}C	Heat Equivalent/Person kw
10	0.211
5	0.242
0	0.275
-5	0.305
-10	0.347
-15	0.378
-20	0.407

Adapted from ASRE Data Book,Design Volume, 1949 Edition,by permission of the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

TABADOL GOSTAR BOORAN

۸) ضریب اطمینان

پس از محاسبه بار گرمایی کل که مجموع حرارتهای محاسبه شده در بخشهای قبل می باشد ، حدود ۵ تا ۱۰ درصد به عنوان ضریب اطمینان به آن اضافه می کنند. درصد ضریب اطمینان به دقت اطلاعات به کار رفته در محاسبات بار گرمایی بستگی دارد و معمولاً ده درصد انتخاب می گردد. پس از افزودن ضریب اطمینان ، بار گرمایی کل را در ۲۴ ساعت ضرب و بر زمان کارکرد دستگاهها در هر شبانه روز تقسیم می نمایند تا بار گرمایی متوسط به دست آید. مبنای انتخاب تجهیزات تبرید ، بار گرمایی متوسط می باشد.

TABADOL GOSTAR BOORAN

منابع استفاده شده در این جزوه :

۱- کتاب اصول تبرید و سردخانه J.Dossat ترجمه آقای مهندس حاج سقطی