



Mohammad Fattahi - 9628943  
Mohammadreza Sabour - 9628193

Department of Mechanical, Materials and Industrial Engineering  
K. N. Toosi University of Technology

Refrigeration and Air Conditioning Course

Supervisor: Dr. Behbahaninia

Project Report  
Designing an Industrial Refrigeration Room

June, 2021

## تاریخچه

انسان‌ها در گذشته از روش‌هایی مانند دودی کردن، خشک کردن، ترشی انداختن و ... برای نگهداری مواد غذایی به مدت طولانی استفاده می‌کردند. با گذشت زمان و با پیشرفت جوامع بشری، انسان به دنبال راهی دیگر برای نگهداری طولانی مدت ترو و با کیفیت‌تر مواد غذایی بوده است.

چینی‌ها اولین جوامعی بودند که متوجه شدند می‌توانند از قابلیت سرما برای نگهداری مواد غذایی استفاده کنند. این اولین قدم در تاریخچه سردخانه می‌باشد.

هر جامعه‌ای به نحوی از این سرما استفاده می‌کرد مثلاً ایرانیان مواد غذایی را در غارها و زیرزمین‌های خنک نگهداری می‌کردند یا در زمین‌های خنک چال می‌کردند. روس‌ها و یونانیان در انبارهایی که با پوست حیوانات عایق بندی کرده بودند، برف‌های فشرده شده را نگهداری می‌کردند تا در تابستان از آن‌ها استفاده نمایند.

در ادامه تاریخچه سردخانه از یخدان‌ها که ساختمان‌هایی بودند در نزدیکی منابع طبیعی یخ زمستانی استفاده می‌کردند. از این یخدان‌ها برای نگهداری مواد غذایی و استفاده از یخ در فصل‌های تابستان استفاده می‌کردند. در فصل زمستان یخ و برف‌های فشرده شده را از یخچال‌ها یا رودخانه‌ها به یخدان می‌بردند و با عایق‌های دوجداره آن را عایق بندی می‌کردند. در میان جدارهای عایق‌ها را از خاک اره و کاه‌پر می‌کردند تا هوا بیرون و داخل یخدان راهی به هم نداشته باشند و با هم تبادل نشوند.

کاربرد اصلی این یخدان‌ها نگهداری مواد غذایی بود اما در کنار آن می‌توانست نوشیدنی‌ها را خنک کند و یا در تهیه دسرها و بستنی‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت.

در سال 1748 میلادی ویلیام کالن (William Cullen)، دانشمند اسکاتلندی از دانشگاه گلاسکو، اولین یخ دست ساز بشر را با تبخیر اتر در خلاء نسبی نمایش داد. او نشان داد که چگونه تبخیر شدن سریع مایعات و تبدیل شدن به گاز منجر به خنک شدن می‌شود. این ایده اصل یخچال فریزر است و هنوز هم باقی است. کالن هرگز نظریه خود را عملی نکرد اما خیلی‌ها از ایده‌وی الهام گرفتند.

با توجه به اهمیت سرما در نگهداری مواد غذایی، سیکل تبرید تراکمی از سال 1800 میلادی رواج پیدا کرد.

**در سال 1802 میلادی** یک تاجر آمریکایی به نام توماس مور یخدانی برای خنک کردن لبнیات در حمل و نقل تولید و ثبت کرد و نام آن را دستگاه تنفس گذاشت.

**در سال 1805 میلادی** الیور اوونس (Oliver Evans) آمریکایی اولین دستگاه تبرید برقیه بخار را طراحی کرد. او دستگاهی را طراحی کرد که می توانست با یک سیکل بسته یخ تولید کند که طرح چرخه بسته یخچال به همراه کمپرسور نام داشت. این اقدام یکی از مهم ترین کارها در زمینه تاریخچه سردخانه می باشد.

**در سال 1834** فیزیکدان آمریکایی به نام جیکوب پرکینز (Jacob Perkins) که در انگلیس زندگی می کرد، توانست قدم بزرگی برای یخچال های مدرن بردارد. او دستگاهی را تحت عنوان دستگاه تولید یخ و مایعات خنک کننده اختراع کرد. این دستگاه با باطری کار میکرد و در سیکل بسته خود از اتر بھره می گرفت. در تاریخچه سردخانه این اولین قدم برای یخچال های مدرن بود اما در مرحله تجاری نتوانست موفق عمل کند.

**در سال 1840** فیزیکدان و مخترع اهل فلوریدا آمریکا به نام دکتر جان گوری (Dr John Gorrie) ایده خنک سازی شهرها و اماکن برای جلوگیری از مضرات درجه حرارت بالای محیط را مطرح کرد. وی معتقد بود با سرمایش میتوان در برابر بیماری مalaria مقاومت کرد. اما این شرط در صورتی امکان پذیر بود که یخ های شمال آمریکا را به فلوریدا منتقال می دادند که این امکان پذیر نبود.

**در سال 1850** در فرانسه برای اولین بار بھره گیری از آمونیاک به عنوان مبرد صورت گرفت. این مهم ترین قدم در تاریخچه سردخانه می باشد. استاد مهندسی آلمانی به نام کارل فون لیند (Carl von Linde) توانست مایع کردن گاز را که بخشی از فناوری تبرید است، ثبت کند. یافته های او منجر به اختراع ماشین تبریدی شد که از آمونیاک بھره می گرفت.

**از سال 1900 میلادی** ماشین های تبرید تراکمی در مرحله تجاری در صنایع مختلف استفاده می شدند و تاریخچه سردخانه به اوج خود رسید.

**در سال 1913 میلادی** اولین یخچال برقی برای مصارف خانگی توسط شخصی به نام فرد (Fred W.Wolf) اختراع شد. فرد فیزیک دان آمریکایی است که یکی از نوآوری های او جعبه مکعب یخ بود. فرد نام سازه خود را Domelre (DOMestic Electric) به معنی یخچال برقی خانگی گذاشت. Refrigerator

**در سال 1918 میلادی** ویلیام سی دورانت (William C.Durant) شرکت Frigidaire برای تولید انبوه یخچال و فریزر تاسیس کرد. این شرکت بعدها توسط جنرال Guardian موتورز خریداری شد و به Frigidaire تغییر نام داد.

آلفرد ملوس (Alfred Mellowes) در سال 1916 یخچال و فریزر مستقلی را که دارای یک کمپرسور در قسمت زیرین خود است، اختراع کرد. ملوس با هدف تجاری سازی این یخچال را اختراع کرد اما ویلیام سی دورانت امتیاز آن را خریداری کرد. این شرکت در همان سال 1918 میلادی از اولین یخچال اتوماتیک خود رونمایی کرد.

**در سال 1922 میلادی** دو مخترع سوئدی به نام های بالتزار ون پلاتن (Baltzar von Platen) و کارل مانترز (Carl Munters) در تاریخچه سردخانه، یخچال و فریزر را اختراع کردند که یک سیستم خنک کننده برای تامین انرژی از یک منبع گرمای استفاده می کرد. این دو گرچه هنوز دانش آموخته موسسه سلطنتی تکنولوژی در استکهلم بودند اما اختراع آنان به یک موفقیت جهانی تبدیل شد و توسط شرکت الکتریکی سال 1927 میلادی جنرال الکتریک یخچال و فریزر مانیتور بالا (Monitor-Top) را برای اولین بار تولید کرد. می توان این اقدام را نقطه عطفی در تاریخچه سردخانه دانست. این یخچال و فریزر به سرعت به تولید انبوه رسید. این یخچال چون شباهتی با کشتی جنگی USS مانیتور داشت، به همین دلیل به این اسم نامگذاری شده بود. طراحی این یخچال و فریزر به گونه ای بود که گرمای زیادی از کمپرسور آن به بیرون ساطع میشد و در بالای یخچال توسط حلقه ای تزئینی احاطه میشد. مبرد این نوع یخچال از مواد شیمیایی خطرناکی مانند دی اکسید گوگرد و متیل فرمیت بود. ترولوکس در دنیا تجاری شد.

**در سال 1930 میلادی** البریت اینیشتین (Albert Einstein) به همراه شاگرد خود لئو زیلارد (Leo Szilard) طرحی را وارد این علم کردند که به نام یخچال و فریزر اینیشتین ثبت کردند. این یخچال بی صدا و کم مصرف و همچنین سازگاری با محیط زیست داشت. همچنین این یخچال و فریزر جذبی بود که هیچگونه قسمت متحرکی نداشت و با فشار ثابت و از گرما به عنوان منبع و ورودی استفاده می کرد. این روش از تولید سرما تاریخچه سردخانه که توسط اینیشتین و شاگردش طراحی شد، در همان سال 1930 میلادی وارد صنعت تهویه مطبوع شد و تا امروز از این طرح برای خنک کردن هوای خانه ها و ساختمان ها استفاده می کنند. طرح اینیشتین و شاگردش باعث تحولاتی در تاریخچه سردخانه شد.

**تا سال 1940 میلادی** از فریزرها برای تولید یخ استفاده می کردند اما در این سال فریزرهای خانگی به صورت محفظه های جداگانه برای فریزکردن غذاها وارد بازار شدند.

در تاریخچه سرداخانه، بعد از جنگ جهانی دوم یعنی بین سال های 1945 تا 1950 میلادی، پیشرفت زیادی در این صنعت صورت گرفت و یخچال فریزرهای مدرن، سازگار با محیط زیست و بسیار شبیه به مدل امروزی، به تولید انبوه رسیدند به طوری که در طول این 5 سال به سرعت در اکثر مزارع و خانه های آمریکایی از این یخچال فریزرا وجود داشت. از آن سال ها تا به امروز صنعت یخچال فریز و بالطبع در کنار آن صنعت برودت، سرداخانه و تهویه مطبوع قدم به قدم پیشرفت کردند تا به تکنولوژی امروزی رسیدند و همچنان این صنعت در حال پیشرفت است و روز به روز قطعات بهتر و بهینه تری در اقصی نقاط جهان تولید می شود.

## کاربرد های صنعت تبرید

کاربرد های صنعت تبرید و سرخانه به 6 گروه تقسیم میشود:

تبرید صنعتی

تبرید تجاری

تبرید خانگی

تهویه صنعتی

تبرید حمل و نقل

تهویه مطبوع ساختمانها

**تبرید خانگی :** وسعت تبرید خانگی محدود میباشد و بطور عمدہ به یخچال و فریزرهای خانگی مربوط میشود ولی به دلیل کثیر استفاده، بخش قابل ملاحظه ای از بحث تبرید را شامل میگردد. دستگاههای تبرید خانگی معمولاً کوچک هستند و با

ظرفیتهای ورودی ۳۵ تا ۳۷۵ وات تولید میشوند. در این دستگاهها از کمپرسورهای بسته استفاده میشود.

**تبرید تجاری :** تبرید تجاری به طراحی، ساخت، نصب و تعمیر دستگاههای سردکننده مورد استفاده در مغازه ها، رستورانها، هتل ها و موسسات تهیه و تولید مواد غذایی و فاسد شدنی محدود میشود.

**تبرید صنعتی :** به دلیل مشخص نبودن حدود دقیق تبرید صنعتی و تجاری، اغلب آنها را با یکدیگر اشتباه میکنند. بطور کلی دستگاههای تبرید صنعتی از نظر اندازه بزرگتر از دستگاههای تجاری میباشد و یک نفر تکنسین با تجربه از آنها نگهداری مینماید. از نمونه های معمول تبرید صنعتی، واحدهای یخسازی، بسته بندی مواد پروتئینی بزرگ (گوشت، ماهی، مرغ، غذاهای منجمد و ...)، نوشابه سازی، بسته سازی و واحدهای صنعتی نظیر پالایشگاههای روغن، واحدهای شیمیایی، واحدهای لاستیک سازی و ... میباشد.

**تبرید حمل و نقل :** قسمتی از کاربردهای این گروه را میتوان به عنوان شاخه ای از تبرید تجاری و قسمتی دیگر را شاخه ای از تبرید صنعتی در نظر گرفت. تبرید کشتی ها در کشتی های صیادی و مخازن حمل و نقل محصولات فاسد شدنی مشاهده میشود. تبرید حمل و نقل به تجهیزات تبرید مورد استفاده در کامیون ها برای حمل و نقل طولانی یا محلی و واگن های راه آن مربوط میشود.

**تهویه مطبوع :** بطوری که از اسم تهویه مطبوع برمی آید این مقوله با شرایط هوا در نواحی یا فضاهای مورد نظر در ارتباط میباشد و نه تنها کنترل دما بلکه کنترل رطوبت و سرعت وزش هوا را نیز به همراه تصفیه و تمیز کردن آن شامل میشود. کاربردهای تهویه مطبوع بر دو نوع خانگی و صنعتی میباشد. سیستمهایی که وظیفه عمدۀ آنها مطبوع کردن هوا برای راحتی انسان است تهویه مطبوع خانگی نامیده میشود. نمونه ای از این سیستمها را میتوان در منازل، مدارس، دفاتر، مساجد، هتلها، سوپر مارکت ها، ساختمانهای عمومی، کارخانجات، اتومبیلها، اتوبوسها، هواپیماها، کشتی ها و... مشاهده نمود. از طرف دیگر هرگونه مطبوع سازی هوا که هدف اصلی آن رفاه انسانها نباشد، تهویه صنعتی نامیده میشود. این الزاماً بدین معنی است که سیستم های تهویه صنعتی با توجه به وظیفه اصلی شان نمیتوانند برای آسایش انسانها مورد استفاده قرار گیرند.

کاربردهای تهويه صنعتی از نظر تعداد و تنوع نامحدود هستند. به بیان کلی وظیفه سیستم‌های تهويه مطبوع صنعتی عبارتند از:

- ۱) کنترل میزان رطوبت مواد مرطوب
- ۲) کنترل شدت واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی
- ۳) محدود نمودن میزان تغییرات مواد ظریف از لحاظ انبساط و انقباض حرارتی
- ۴) فراهم نمودن هوای تمیز و تصفیه شده که اغلب برای کار راحت و تولید محصولاتی با کیفیت بهتر، لازم می‌باشد.



## محاسبه بار های حرارتی

محاسبات بار انجام شده در یکی از ۷ مورد زیر جای می‌گیرد:

بار جعبه‌ها

بار محصول

بار دیوارها، سقف و کف

بار ناشی از افراد

بار روشنایی

بار هوای خارج

بار تجهیزات

## بار دیوار ها، سقف و کف :

حرارتی است که از طریق دیوار، کف و سقف سردخانه به دلیل اختلاف دمای محیط داخل و خارج به آن منتقل می‌شود و بستگی به جنس جدارها دارد. مقدار حرارتی که در واحد زمان از جداره‌ها عبور کرده وارد سردخانه شده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = A \ U \ \Delta T$$

Q : مقدار حرارت انتقالی در واحد زمان [Btu/hr]

A : مساحت دیوار، سقف و کف مورد نظر [ft<sup>2</sup>]

$\Delta T$  : اختلاف دمای دو طرف دیوار ، کف و سقف

U : ضریب انتقال حرارت کلی [Btu/hr.F.ft<sup>2</sup>]

هرچه مقدار U در رابطه‌ی بالا کمتر باشد یعنی هرچه از جنس دیوار بهتری استفاده شده باشد حرارت انتقال یافته کمتر است. برای بدست اوردن مقادیر ضریب انتقال حرارت کلی لایه‌های دیوار را به صورت مقاومت‌های سری در نظر می‌گیریم و ان را از

فرمول زیر محاسبه می‌کنیم:

$$U = \frac{1}{\sum R}$$

همچنین باید توجه کرد که باید مقاومت حرارتی لایه هوا بیرونی و درونی را هم در نظر گرفت .

برای بدست اوردن مقاومت حرارتی یا ضریب انتقال حرارت لایه‌های مختلف دیوار باید به جداول مذکور مراجعه کرد.

## بار محصول

بار محصول شامل دو بخش است :

- میزان حرارتی که از محصول گرفته می‌شود تا از دمای ورودی به دمای سردخانه برسد بدیهی است اگر دمای ورودی محصول کمتر از سردخانه باشد از این بخش صرفنظر می‌شود
- حرارت تنفسی است که برخی محصولات مانند میوه و سبزیجات در سردخانه تولید می‌کنند.

اگر دمای نهایی محصول ( $T_2$ ) بالاتر از دمای انجماد آن ( $T_f$ ) باشد مقدار حرارتی که باید از محصول گرفته شود تا به دمای سردخانه برسد برابر است با:

$$Q = \frac{m C_1 \Delta T}{24}$$

m : وزن محصول [lbs]

$C_1$  : گرمای ویژه محصول قبل از انجماد [Btu/lbs.F]

اگر دمای سردخانه پایینتر از دمای انجماد محصول باشد باید حرارت نهان انجماد آن را نیز در محاسبات در نظر گرفت.

$$Q = \frac{m c_1 \Delta T + m l + m c_2 \Delta T}{24}$$

$m$  : وزن محصول [lbs]

$C_1$  : گرمای ویژه محصول [Btu/lbs.F]

$A$  : گرمای نهان ذوب [Btu/lbs]

$C_2$  : گرمای ویژه محصول بعد از انجماد [Btu/lbs.F]

برای بدست اوردن گرمای ویژه محصول قبل و بعد از انجماد و همچنین گرمای نهان ذوب از جداول زیر استفاده میکنیم:

Food	Specific Heat - above freezing			Specific Heat - below freezing		
	(btu/(lb°F))	(kJ/(kg°C))	(kcal/(kg°C))	(btu/(lb°F))	(kJ/(kg°C))	(kcal/(kg°C))
Apples	0.87	3.64	0.87	0.42	1.76	0.42
Apricots, fresh	0.88	3.68	0.88	0.43	1.8	0.43
Artichokes	0.87	3.64	0.87	0.42	1.76	0.42
Asparagus	0.94	3.94	0.94	0.45	1.88	0.45
Asparagus beans	0.88	3.68	0.88	0.43	1.8	0.43
Avocados	0.72	3.01	0.72	0.37	1.55	0.37
Bacon		2.01				
Bananas	0.8	3.35	0.8	0.4	1.67	0.4
Barracuda	0.8	3.35	0.8	0.4	1.67	0.4
Bass	0.82	3.43	0.82	0.41	1.72	0.41
Beef, carcass	0.68	2.85	0.68	0.48	2.01	0.48
Beef, flank	0.56	2.34	0.56	0.32	1.34	0.32
Beef, hamburger		3.52				
Beef, loin	0.66	2.76	0.66	0.35	1.47	0.35
Beef, rib	0.67	2.81	0.67	0.36	1.51	0.36
Beef, round	0.74	3.1	0.74	0.38	1.59	0.38
Beef, rump	0.62	2.6	0.62	0.34	1.42	0.34
Beef, shanks	0.76	3.18	0.76	0.39	1.63	0.39
Beer, corned	0.53	2.54	0.53	0.34	1.42	0.34
Beets	0.9	3.77	0.9	0.43	1.8	0.43
Blackberry	0.87	3.64	0.87	0.42	1.76	0.42
Blueberries	0.87	3.64	0.87	0.42	1.76	0.42
Brains	0.84	3.52	0.84	0.41	1.72	0.41
Broccoli	0.92	3.85	0.92	0.44	1.84	0.44
Brussels sprouts	0.88	3.68	0.88	0.43	1.8	0.43
Butter	0.65	2.72	0.65	0.34	1.42	0.34
Butter-fish	0.77	3.22	0.77	0.39	1.63	0.39
Cabbage	0.94	3.94	0.94	0.45	1.88	0.45

## بار جعبه ها :

برای محاسبه بار جعبه ها از فرمول زیر استفاده میکنیم:

$$Q = \frac{m \cdot C \cdot \Delta T}{24}$$

m : وزن جعبه [lb]

C : گرمای ویژه جعبه [Btu/lb.F]

مقدار گرمای ویژه برای جعبه ها برابر 0.1673 در نظر گرفته شده است.

## بار هوای خارج :

بار هوای خارج به دو دسته تقسیم میشود:

- نفوذ : که به صورت ناخواسته و بدلیل وزش باد صورت میگیرد (در سیستم هایی که هوای تازه داریم نفوذ داریم)
- تهویه

مقدار بار حرارتی نفوذی از جدول زیر با توجه به دما و حجم اتاق مورد نظر بدست  
می‌آید:

مقدار تجربی بار بروزتی بر حسب دما و حجم آن (kcal/hr)				حجم (مترمکعب)	دما (درجه سانتیگراد)
۱۵-	۱۸-	۲۰-	۲۴-		
۶۰	۶۰	۱۲۰	۳۶	۶	۱۰
۴۰	۴۰	۸۰	۵۰	۴۰	۳۰
۳۵	۵۰	۶۰	۴۰	۵۰	۵۰
۳۰	۳۰	۴۸	۳۸	۱۰۰	
۲۵	۳۰	۴۵	۳۵	۲۰۰	
۲۰	۲۹	۴۳	۳۵	۳۰۰	
۲۴	۲۸	۴۲	۳۰	۴۰۰	
۲۶	۲۸	۴۲	۳۰	۵۰۰	
۲۷	۲۵	۴۱	۲۸	۱۰۰۰	
۱۸	۲۲	۴۰	۲۷	۲۰۰۰	
۱۵	۲۰	۳۸	۲۵	۳۰۰۰	

## بار سیستم‌های روشنایی:

$$Q = \frac{P t}{24}$$

P: توان کلی سیستم روشنایی [Btu/hr]

t: مدت زمان روشنایی [hr]

## بار افراد:

$$Q = \frac{N q t}{24}$$

N: تعداد افراد حاضر در محل

q: کسب حرارت افراد [Btu/hr]

t: مدت زمان حضور افراد در محل [hr]

## بار تجهیزات:

همانند بار روشنایی محاسبه میشود . در این مورد تنها وسیله در نظر گرفته شده لیفتراک میباشد.



## مشخصات سردخانه و محل قرارگیری آن

سردخانه مورد نظر در منطقه اوین تهران واقع شده و برای نگهداری 1400 تن گوشت گاو و زیربنای مفید 16000 فوت مربع با ارتفاع 16 فوت میباشد که در جنوب شرقی سوله واقع شده است به طوری که دیوار های شمالی و غربی ان مجاور فضای داخلی سوله و دیوار های جنوبی و شرقی ان مجاور فضای بیرون میباشند و دری در قسمت جنوبی ان جهت ورود محصول به سردخانه دارد.

عرض جغرافیایی	35.6
ارتفاع از سطح دریا (ft)	4000
دما <sup>ی</sup> حباب خشک زمستانی(F)	20
رطوبت نسبی زمستانی	74
دما <sup>ی</sup> حباب خشک تابستانی(F)	102
دما <sup>ی</sup> حباب تر تابستانی(F)	74.9

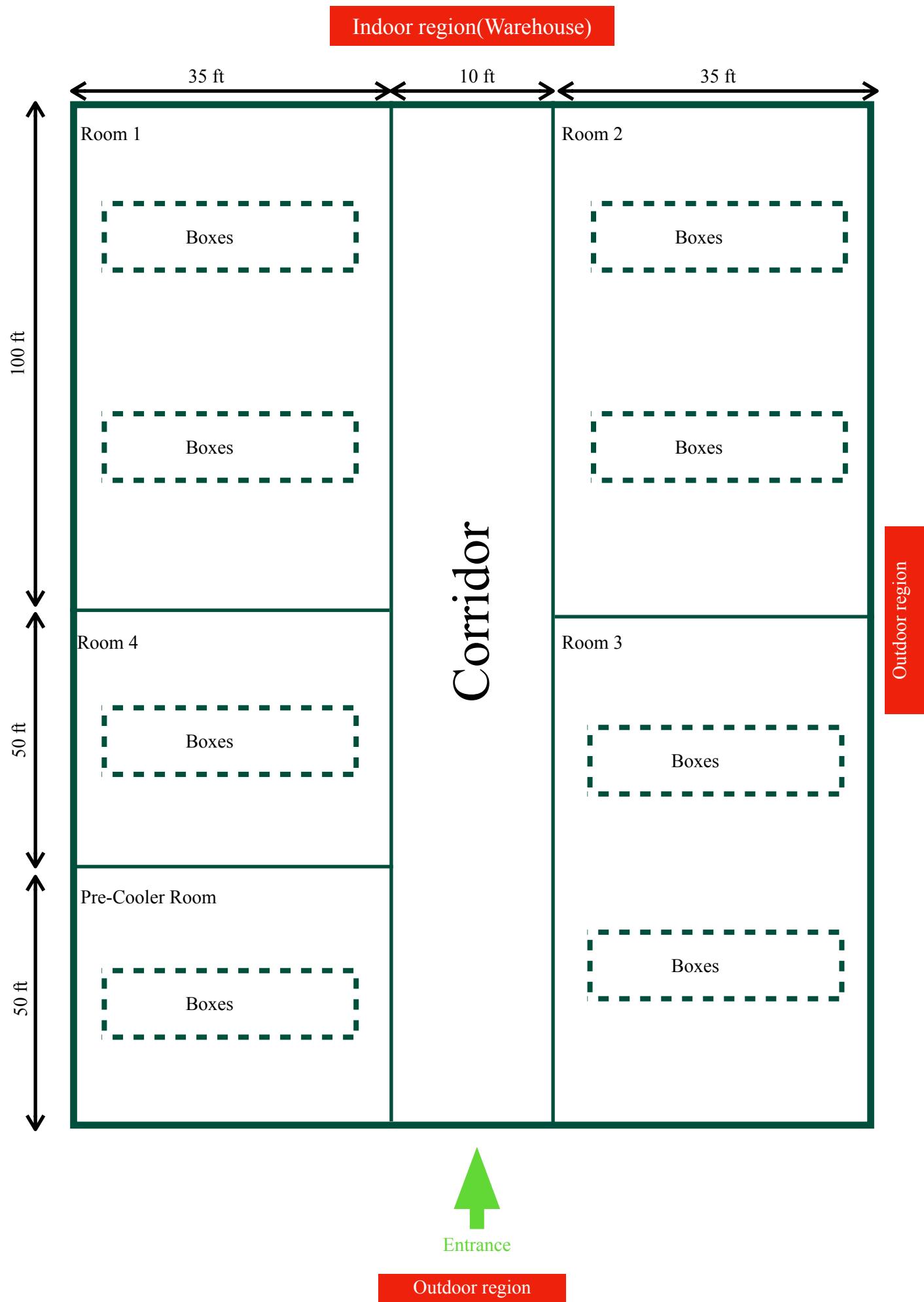


## فرضیات :

- دمای راهرو برابر 42.8 فارنهایت میباشد.
- دمای هوا در فضای داخلی سوله برابر 76 فارنهایت میباشد.
- دمای پیش سرد کن برابر 35.6 فارنهایت میباشد.
- گوشت با دمای 68 فارنهایت وارد وارد پیش سرد کن میشود.
- دمای اتاق های سردخانه 0.4- فارنهایت
- ساعت کار کارگران 8 ساعت میباشد.
- مدت زمان روشنایی 8 ساعت میباشد.
- 2 عدد لیفتراک برقی با توان 4.3 کیلووات روزانه به مدت 3 ساعت در راهرو کار میکنند.
- به ازای هر 1000 فوت مربع 1 نفر کارگر را در فضای سردخانه فرض میکنیم.
- به ازای هر 1 فوت مربع 0.5-0.3 وات روشنایی را برای فضای داخل سردخانه فرض میکنیم.
- ضریب اطمینان در نظر گرفته شده برابر 1.1 (10 درصد اضافه بار) میباشد.

- پالت های مورد نظر برای نگه داری گوشت دارای ابعاد \* 0.5 \* 3 \* 4 فوت می باشند و باید از کف 1.5 فوت و از سقف 1 فوت و حداقل از دیوار های کناری 45cm فاصله داشته باشند تا فضای مورد نیاز برای جریان هوا و همچنین دسترسی به اواپراتورها در موقع ضروری را فراهم کنیم. با توجه به موارد گفته شده پالت ها در دو ردیف با فاصله‌ی 8 فوت از هم قرار می‌گیرند.
- وزن گوشت موجود در هر پالت برابر Kg 123 می باشد.
- تعداد پالت های موجود در اتاق های بزرگ 3240 می باشد و تعداد پالت های ورودی به این اتاق ها برابر 33 می باشد.
- تعداد پالت های موجود در اتاق های کوچک 1620 می باشد و تعداد پالت های ورودی به این اتاق ها برابر 17 می باشد.
- بار ورودی روزانه 14 تن می باشد که در 4 نوبت هریک به اندازه 3.5 تن به نسبت فضای هر اتاق بین اتاق ها تقسیم می شود به طوری که برای اتاق های بزرگ 4 تن و برای اتاق کوچک 2 تن می باشد.
- مدت نگهداری محصولات گوشتی در داخل سردخانه 7 روز می باشد.
- در کف هریک از اتاق ها کویل های حرارتی قرار دارد که باعث برقراری دمای 50 درجه فارنهایت می شود.

# Schematic of the Refrigeration Room



# Wall Materials

با توجه به این از جنس مواد بکار رفته در هریک از لایه‌های دیوار اطلاعی نداریم، جنس هریک از لایه‌ها را با استفاده از مواد موجود در جداول مقاومت حرارتی فرض می‌کنیم تا بتوانیم مقاومت حرارتی و درنهایت ضریب کلی انتقال حرارت (U) را برای هریک از دیوارها بدست آوریم.

دیوارهای West, North

Ceramics
Polyurethane
Cement
Pressed Brick
Cement
Ceramics

دیوارهای South, East

Plaster
Polyurethane
Cement
Pressed Brick
Cement
Ceramics

کف(Floor)

Mosaic
Polyurethane
Concrete

سقف(Ceil)

Ceramics
Polyurethane
Polystyrene Block
Cement
Ceramics

تذکر1: محاسبات مربوط به بار برودتی برای هریک از اتاق‌ها را با نوشتن کد مربوط به هر اتاق انجام داده‌ایم که کد و نتایج آن برای هر اتاق در ادامه آورده شده است.

تذکر2: ضخامت هریک از لایه‌های دیوار در کد مربوط به هر دیوار آورده شده است.

دیوارهای داخلی(Internal Walls)

Ceramics
Polyurethane
Pressed Brick
Ceramics

# Cooling Load Calculations

## 1. Pre-Cooler Room

### West Wall

# Total Thickness = 20 inch

# Thermal resistances

# polyurethane

$R_{1\_1\_w} = 4.81$  # Unit:  $\text{ft}^2 \cdot \text{F} / (\text{BTU} / \text{hr})$  per inch

$L_{1\_w} = 13$  # Thickness of the insulation(inch)

$R_{1\_w} = L_{1\_w} * R_{1\_1\_w}$

# Pressed brick

# Thickness = 11 cm

# Unit:  $\text{ft}^2 \cdot \text{F} / (\text{BTU} / \text{hr})$

$R_{2\_w} = 0.51$

# Ceramics

# Unit:  $\text{ft}^2 \cdot \text{F} / (\text{BTU} / \text{hr})$  per inch

$R_{3\_1\_w} = 0.07$

$L_{3\_w} = 1$  # Thickness

$R_{3\_w} = R_{3\_1\_w} * L_{3\_w}$

# Cement

# Unit:  $\text{ft}^2 \cdot \text{F} / (\text{BTU} / \text{hr})$  per inch

$R_{4\_1\_w} = 0.07$

$L_{4\_w} = 2$  # Thickness(in)

$R_{4\_w} = R_{4\_1\_w} * L_{4\_w}$

# Air Layer (Inside)

$R_{5\_w} = 0.53$

# Air Layer (Outside)

$R_{6\_w} = 0.33$

# Overall Heat Transfer Coefficient

$U_{W\_Wall} = 1 / (R_{1\_w} + R_{2\_w} + R_{3\_w} + R_{4\_w} + R_{5\_w} + R_{6\_w})$

# Area(West Wall)( $\text{ft}^2$ )

$A_{West} = 800$

# Temperature difference(F)

$TD_{W\_Wall} = 40.4$

# Conversion Coefficient

$n = 1.1$

# Heat Transfer

# West Wall

$Q_{W\_Wall} = n * U_{W\_Wall} * A_{West} * TD_{W\_Wall}$

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U): 0.015598190609889253
Heat Transfer form the west wall: 554.5468725627828 BTU/hr
```

## North Wall

```
The heat transfer rate in the pree-cooler's north wall is the same as south walls' in the room4.
Heat transfer form the north wall: -351.386 BTU/hr
```

## East Wall

```
# Area(East Wall)(ft^2)
A_East = 784.5

# Ceramics:
R_1_1_E = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_E = 1
R_1_E = R_1_1_E * L_1_E

# Pressed brick
# Thickness = 11 cm
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
R_2_E = 0.51

# polyurethane
R_3_1_E = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_E = 13    # Thickness of the insulation(inch)
R_3_E = L_3_E * R_3_1_E

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_E_Wall = 1 / (R_1_E + R_2_E + R_3_E)

# Temperature difference(F)
TD_E_Wall = 7.2

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_E_Wall = n * U_E_Wall * A_East * TD_E_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the east wall: 0.01584534938995405  
Heat transfer form the east wall: 98.45095864363812 BTU/hr
```

## South Wall

```
# total thickness = 25 in  
  
# Thermal resistances  
# polyurethane  
R_1_1_S = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
L_1_S = 16 # Thickness of the insulation(inch)  
R_1_S = L_1_S * R_1_1_S  
# Pressed brick  
# Thickness = 11 cm  
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)  
R_2_S = 0.51  
# Ceramics  
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
R_3_1_S = 0.07  
L_3_S = 1 # Thickness  
R_3_S = R_3_1_S * L_3_S  
# Cement  
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
R_4_1_S = 0.07  
L_4_S = 2 # Thickness(in)  
R_4_S = R_4_1_S * L_4_S  
# Plaster  
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
R_5_1_S = 0.29  
L_5_S = 1.5  
R_5_S = R_5_1_S * L_5_S  
# Air Layer (Inside)  
R_6_S = 0.53  
# Air Layer (Outside)  
R_7_S = 0.33  
  
# Overall Heat Transfer Coefficient  
U_S_Wall = 1/(R_1_S + R_2_S + R_3_S + R_4_S + R_5_S + R_6_S + R_7_S)  
  
# Area(South Wall)(ft^2)  
A_South = 560  
  
# Temperature difference(F)  
TD_S_Wall = 66.4  
  
# Conversion Coefficient  
n = 1.1  
  
# Heat Transfer  
Q_S_Wall = n * U_S_Wall * A_South * TD_S_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U): 0.012662234884457108
Heat transfer rate form the south wall: 517.9157961380184 BTU/hr
```

## Ceil

```
# Total Thickness = 24 inch
# Polystyrene Block
R_1_c = 4.83 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

# Ceramics
R_2_1_c = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_c = 1.2 # Thickness(inch)
R_2_c = R_2_1_c * L_2_c

# Air layer(Inside)
R_3_c = 0.5 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

# polyurethane
R_4_1_c = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_4_c = 13 # Thickness of the insulation(inch)
R_4_c = L_4_c * R_4_1_c

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Ceil = 1/(R_1_c + R_2_c + R_3_c + R_4_c)

# Area(Ft^2)
A_Ceil = 1750

# Temperature difference(F)
TD_Ceil = 41.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Ceil = n * U_Ceil * A_Ceil * TD_Ceil
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the ceil: 0.01471800306134464 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer form the ceil: 1172.9512539738612 BTU/hr
```

## Floor

```
# Total Thickness = 21 inch
# Thermal resistances
# mosaic
R_1_1_f= 0.08 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_f= 1 # Thickness(inch)
R_1_f=R_1_1_f * L_1_f

# polyurethane
R_2_1_f= 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_f= 18 # Thickness of the insulation(inch)
R_2_f=L_2_f * R_2_1_f

# concrete
R_3_1_f= 0.1 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_f= 2 # Thickness(inch)
R_3_f=R_3_1_f * L_3_f

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Floor = 1/(R_1_f + R_2_f + R_3_f)

# Area(Ft^2)
A_Floor = 1750

# Temperature difference(F)
TD_Floor = 14.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Floor = n * U_Floor * A_Floor * TD_Floor
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the floor: 0.011512779184895234 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer form the floor: 319.13423900529597 BTU/hr
```

## Infiltration Air

# Effective Volume of the Room(Unit: ft^3)  
 $V_2 = 28000$

# Storage temperature of the room(F)  
 $T_2 = 35.6$

## Result

Infiltration heat loss for the room 1(From the table): 160.61 BTU/hr

## Products

# Total mass of the products(lb)  
 $M_{precooler} = 7716.175$

# Specific heat of the products(Above Freezing), unit: BTU/lb.F  
# [https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\\_295.html](https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html)  
 $c_{AF} = 0.76$

# Inlet Temperature(F)  
 $T_i = 59$

# Outlet Temperature(F)  
 $T_o = 35.6$

# Heat loss of the products(24 hr: Assumption for the time of the cooling)  
 $Q_{P\_precooler} = M_{precooler} * c_{AF} * (T_i - T_o) / 24$

## Result

Heat loss of the products in the pree-cooler room: 5717.685675000001 BTU/hr

## Boxes

```
# Total mass of the boxes  
M_boxes = 44 * 29  
  
# Specific heat(unit: BTU/lb.F)  
c_box = 0.1673  
  
# Inlet Temperature(F)  
T_i = 59  
  
# Outlet Temperature(F)  
T_o = 35.6  
  
# Heat loss from the boxes  
Q_B_preecooler = M_boxes * c_box * (T_i - T_o) / 24
```

## Result

```
Heat loss of the boxes in the pree-cooler room: 208.13793 BTU/hr
```

## People

```
# Number of people  
N_P = 2  
  
# Working time(hr)  
T_W = 8  
  
# Heat loss from each person(unit: BTU/hr) (Condition: Hard working)  
q_p = 525  
  
# Total heat loss  
Q_P_preecooler = N_P * T_W * q_p / 24
```

## Result

```
Heat loss of the people in the precooler room : 350.0 BTU/hr
```

## Lighting System

# Working time(hr)  
 $T_W = 8$

# Total power of the lighting system(unit: BTU/hr)  
 $P_L = 2387$

# Total heat loss  
 $Q_{L\_precooler} = P_L * T_W / 24$

## Result

Heat loss of the lighting system in the precooler room : 795.6666666666666 BTU/hr

## 2. Room 1

### North and West Walls

# Total Thickness = 20 inch

# Thermal resistances

# polyurethane

R\_1\_l\_w = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch

L\_1\_w = 13 # Thickness of the insulation(inch)

R\_1\_w = L\_1\_w \* R\_1\_l\_w

# Pressed brick

# Thickness = 11 cm

# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

R\_2\_w = 0.51

# Ceramics

# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch

R\_3\_l\_w = 0.07

L\_3\_w = 1 # Thickness

R\_3\_w = R\_3\_l\_w \* L\_3\_w

# Cement

# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch

R\_4\_l\_w = 0.07

L\_4\_w = 2 # Thickness(in)

R\_4\_w = R\_4\_l\_w \* L\_4\_w

# Air Layer (Inside)

R\_5\_w = 0.53

# Air Layer (Outside)

R\_6\_w = 0.33

# Overall Heat Transfer Coefficient

U\_NW\_Walls = 1/(R\_1\_w + R\_2\_w + R\_3\_w + R\_4\_w + R\_5\_w + R\_6\_w)

# Area(North Wall)(ft^2)

A\_North = 560

# Area(West Wall)(ft^2)

A\_West = 1600

# Temperature difference(F)

TD\_NW\_Walls = 76.4

# Conversion Coefficient

n = 1.1

# Heat Transfer

# North Wall

Q\_N\_Wall = n \* U\_NW\_Walls \* A\_North \* TD\_NW\_Walls

# West Wall

Q\_W\_Wall = n \* U\_NW\_Walls \* A\_West \* TD\_NW\_Walls

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U): 0.015598190609889253
Heat transfer form the north wall: 734.0882857588522 BTU/hr
Heat Transfer form the west wall: 2097.395102168149 BTU/hr
Heat Transfer form the south wall: 0 BTU/hr
```

## East Wall

```
# Total thickness = 18 in

# Area(East Wall)(ft^2)
A_East = 1570

# Ceramics:
R_1_1_E = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_E = 1
R_1_E = R_1_1_E * L_1_E

# Pressed brick
# Thickness = 11 cm
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
R_2_E = 0.51

# polyurethane
R_3_1_E = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_E = 13    # Thickness of the insulation(inch)
R_3_E = L_3_E * R_3_1_E

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_E_Wall = 1 / (R_1_E + R_2_E + R_3_E)

# Temperature difference(F)
TD_E_Wall = 43.2

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_E_Wall = n * U_E_Wall * A_East * TD_E_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the east wall: 0.01584534938995405
Heat transfer form the east wall: 1182.164474726668 BTU/hr
```

## Floor

```
# Total Thickness = 21 inch

# Thermal resistances
# mosaic
R_1_1_f = 0.08 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_f = 1 # Thickness(inch)
R_1_f = R_1_1_f * L_1_f

# polyurethane
R_2_1_f = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_f = 18 # Thickness of the insulation(inch)
R_2_f = L_2_f * R_2_1_f

# concrete
R_3_1_f = 0.1 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_f = 2 # Thickness(inch)
R_3_f = R_3_1_f * L_3_f

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Floor = 1/(R_1_f + R_2_f + R_3_f)

# Area(Ft^2)
A_Floor = 3500

# Temperature difference(F)
TD_Floor = 50.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Floor = n * U_Floor * A_Floor * TD_Floor
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the floor: 0.011512779184895234 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer form the floor: 2233.9396730370713 BTU/hr
```

## Ceil

```
# Total Thickness = 24 inch  
  
# Thermal Resistances  
# Polystyrene Block  
R_1_c = 4.83 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)  
  
# Ceramics  
R_2_l_c = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
L_2_c = 1.2 # Thickness(inch)  
R_2_c = R_2_l_c * L_2_c  
  
# Air layer(Inside)  
R_3_c = 0.5 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)  
  
# polyurethane  
R_4_l_c = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
L_4_c = 13 # Thickness of the insulation(inch)  
R_4_c = L_4_c * R_4_l_c  
  
# Overall Heat Transfer Coefficient  
U_Ceil = 1/(R_1_c + R_2_c + R_3_c + R_4_c)  
  
# Area(Ft^2)  
A_Ceil = 3500  
  
# Temperature difference(F)  
TD_Ceil = 76.4  
  
# Conversion Coefficient  
n = 1.1  
  
# Heat Transfer  
Q_Ceil = n * U_Ceil * A_Ceil * TD_Ceil
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the ceil: 0.01471800306134464 BTU/hr.F.ft^2  
Heat transfer form the ceil: 4329.153420463913 BTU/hr
```

## Infiltration air

```
# Effective Volume of the Room(Unit: ft^3)  
V_1 = 56000
```

```
# Storage temperature of the room(F)  
T_1 = -0.4
```

## Result

```
Infiltration heat loss for the room 1(From the table): 84.47 BTU/hr
```

## Products

```
# Total mass of the products(lb)  
M_1 = 8818.49
```

```
# Specific heat of the products(unit: BTU/lb.F)  
https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\_295.html
```

```
# Above Freezing  
c_AF = 0.76
```

```
# Below Freezing  
c_BF = 0.39
```

```
# Inlet Temperature(F)  
T_i = 35.6
```

```
# Freezing Temperature(F)  
T_f = 28.4
```

```
# Storage Temperature(F)  
T_s = -0.4
```

```
# Latent heat of freezing(unit: Btu/lb)  
lf = 0.429923 * 255
```

```
# Heat loss of the products(24 hr: Assumption for the time of the cooling)  
Q_1 = (M_1 * c_AF * (T_i - T_f) / 24) + (M_1 * lf / 24) + (M_1 * c_BF * (T_f - T_s) / 24)
```

## Result

```
Heat loss of the products in the room 1: 46419.93060036875 BTU/hr
```

## Boxes

```
# Total mass of the boxes  
M_boxes = 44 * 33  
  
# Specific heat(unit: BTU/lb.F)  
c_box = 0.1673  
  
# Inlet Temperature(F)  
T_i = 35.6  
  
# Outlet Temperature(F)  
T_o = -0.4  
  
# Heat loss from the boxes  
Q_B_1 = M_boxes * c_box * (T_i - T_o) / 24
```

## Result

```
Heat loss of the boxes in the room 1: 364.37940000000003 BTU/hr
```

## People

```
# Number of people  
N_P = 4  
  
# Working time(hr)  
T_W = 8  
  
# Heat loss from each person(unit: BTU/hr) (Condition: Hard working)  
q_p = 525  
  
# Total heat loss  
Q_P_1 = N_P * T_W * q_p / 24
```

## Result

```
Heat loss of the people in the room 1: 700.0 BTU/hr
```

## Lighting System

```
# Working time(hr)
T_W = 8

# Total power of the lighting system(unit: BTU/hr)
P_L = 4774

# Total heat loss
Q_L_1 = P_L * T_W / 24
```

## Result

```
Heat loss of the lighting system in the room 1: 1591.3333333333333 BTU/hr
```

## 3. Room 2:

### West Wall

```
# Total Thickness = 18 in
# Area(West Wall)(ft^2)
A_West = 1570
# Ceramics:
R_1_1_W = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_W = 1
R_1_W = R_1_1_W * L_1_W

# Pressed brick
# Thickness = 11 cm
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
R_2_W = 0.51

# polyurethane
R_3_1_W = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_W = 13    # Thickness of the insulation(inch)
R_3_W = L_3_W * R_3_1_W

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_W_Wall = 1 / (R_1_W + R_2_W + R_3_W)

# Temperature difference(F)
TD_W_Wall = 43.2

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_W_Wall = n * U_W_Wall * A_East * TD_W_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the west wall: 0.01584534938995405
Heat transfer form the west wall: 1204.7536048169866 BTU/hr
```

## East Wall

```
# total thickness = 25 in
# Thermal resistances
# polyurethane
R_1_1_E = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_E = 16    # Thickness of the insulation(inch)
R_1_E = L_1_E * R_1_1_E

# Pressed brick
# Thickness = 11 cm
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
R_2_E = 0.51

# Ceramics
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_3_1_E = 0.07
L_3_E = 1    # Thickness
R_3_E = R_3_1_E * L_3_E

# Cement
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_4_1_E = 0.07
L_4_E = 2    # Thickness(in)
R_4_E = R_4_1_E * L_4_E

# Plaster
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_5_1_E = 0.29
L_5_E = 1.5
R_5_E = R_5_1_E * L_5_E

# Air Layer (Inside)
R_6_E = 0.53
# Air Layer (Outside)
R_7_E = 0.33
# Overall Heat Transfer Coefficient
U_E_Wall = 1/(R_1_E + R_2_E + R_3_E + R_4_E + R_5_E + R_6_E + R_7_E)
# Area(East Wall)(ft^2)
A_East = 1600
# Temperature difference(F)
TD_E_Wall = 102.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_E_Wall = n * U_E_Wall * A_East * TD_E_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U): 0.012662234884457108
Heat transfer rate form the east wall: 2282.038619816398 BTU/hr
```

## North and South Walls

```
# Total Thickness = 20 inch

# Thermal resistances
# polyurethane
R_1_N = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_N = 13    # Thickness of the insulation(inch)
R_1_N = L_1_N * R_1_N

# Pressed brick
# Thickness = 11 cm
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
R_2_N = 0.51

# Ceramics
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_3_N = 0.07
L_3_N = 1    # Thickness
R_3_N = R_3_N * L_3_N

# Cement
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_4_N = 0.07
L_4_N = 2    # Thickness(in)
R_4_N = R_4_N * L_4_N

# Air Layer (Inside)
R_5_N = 0.53

# Air Layer (Outside)
R_6_N = 0.33

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_N_Wall = 1/(R_1_N + R_2_N + R_3_N + R_4_N + R_5_N + R_6_N)

# Area(North Wall)(ft^2)
A_North = 560

# Temperature difference(F)
TD_N_Wall = 76.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
# North Wall
Q_N_Wall = n * U_N_Wall * A_North * TD_N_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U): 0.015598190609889253
Heat transfer form the north wall: 734.0882857588522 BTU/hr
Heat Transfer form the south wall: 0 BTU/hr
```

## Floor

```
# Total Thickness = 21 inch

# Thermal resistances
# mosaic
R_1_1_f= 0.08 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_f= 1 # Thickness(inch)
R_1_f= R_1_1_f * L_1_f

# polyurethane
R_2_1_f= 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_f= 18 # Thickness of the insulation(inch)
R_2_f= L_2_f * R_2_1_f

# concrete
R_3_1_f= 0.1 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_f= 2 # Thickness(inch)
R_3_f= R_3_1_f * L_3_f

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Floor = 1/(R_1_f + R_2_f + R_3_f)

# Area(Ft^2)
A_Floor = 3500

# Temperature difference(F)
TD_Floor = 50.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Floor = n * U_Floor * A_Floor * TD_Floor
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the floor: 0.011512779184895234 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer form the floor: 2233.9396730370713 BTU/hr
```

## Ceil

```
# Total Thickness = 24 inch  
  
# Polystyrene Block  
R_1_c = 4.83 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)  
  
# Ceramics  
R_2_l_c = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
L_2_c = 1.2 # Thickness(inch)  
R_2_c = R_2_l_c * L_2_c  
  
# Air layer(Inside)  
R_3_c = 0.5 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)  
  
# polyurethane  
R_4_l_c = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
L_4_c = 13 # Thickness of the insulation(inch)  
R_4_c = L_4_c * R_4_l_c  
  
# Overall Heat Transfer Coefficient  
U_Ceil = 1/(R_1_c + R_2_c + R_3_c + R_4_c)  
  
# Area(Ft^2)  
A_Ceil = 3500  
  
# Temperature difference(F)  
TD_Ceil = 76.4  
  
# Conversion Coefficient  
n = 1.1  
  
# Heat Transfer  
Q_Ceil = n * U_Ceil * A_Ceil * TD_Ceil
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the ceil: 0.01471800306134464 BTU/hr.F.ft^2  
Heat transfer form the ceil: 4329.153420463913 BTU/hr
```

## Infiltration air

```
# Effective Volume of the Room(Unit: ft^3)  
V_2 = 56000
```

```
# Storage temperature of the room(F)  
T_2 = -0.4
```

## Result

```
Infiltration heat loss for the room 1(From the table): 84.47 BTU/hr
```

## Products

```
# Total mass of the products(lb)  
M_2 = 8818.49
```

```
# Specific heat of the products(unit: BTU/lb.F)  
# https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html
```

```
# Above Freezing  
c_AF = 0.76
```

```
# Below Freezing  
c_BF = 0.39
```

```
# Inlet Temperature(F)  
T_i = 35.6
```

```
# Freezing Temperature(F)  
T_f = 28.4
```

```
# Storage Temperature(F)  
T_s = -0.4
```

```
# Latent heat of freezing(unit: Btu/lb)  
lf = 0.429923 * 255
```

```
# Heat loss of the products(24 hr: Assumption for the time of the cooling)  
Q_2 = (M_2 * c_AF * (T_i - T_f) / 24) + (M_2 * lf / 24) + (M_2 * c_BF * (T_f - T_s) / 24)
```

## Result

```
Heat loss of the products in the room 2: 46419.93060036875 BTU/hr
```

## Boxes

```
# Total mass of the boxes  
M_boxes = 44 * 33
```

```
# Specific heat(unit: BTU/lb.F)  
c_box = 0.1673
```

```
# Inlet Temperature(F)  
T_i = 35.6
```

```
# Outlet Temperature(F)  
T_o = -0.4
```

```
# Heat loss from the boxes  
Q_B_2 = M_boxes * c_box * (T_i - T_o) / 24
```

## Result

```
Heat loss of the boxes in the room 2: 364.3794000000003 BTU/hr
```

## People

```
# Number of people  
N_P = 4
```

```
# Working time(hr)  
T_W = 8
```

```
# Heat loss from each person(unit: BTU/hr) (Condition: Hard working)  
q_p = 525
```

```
# Total heat loss  
Q_P_2 = N_P * T_W * q_p / 24
```

## Result

```
Heat loss of the people in the room 2: 700.0 BTU/hr
```

## Lighting system

# Working time(hr)  
 $T_W = 8$

# Total power of the lighting system(unit: BTU/hr)  
 $P_L = 4774$

# Total heat loss  
 $Q_{L\_2} = P_L * T_W / 24$

## Result

Heat loss of the lighting system in the room 2: 1591.3333333333333 BTU/hr

## 4. Room 3:

### West Wall

# Total Thickness = 18 in

# Area(West Wall)(ft^2)  
 $A_{West} = 1570$

# Ceramics:  
 $R_{1\_1\_W} = 0.07$  # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
 $L_{1\_W} = 1$   
 $R_{1\_W} = R_{1\_1\_W} * L_{1\_W}$

# Pressed brick  
# Thickness = 11 cm  
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)  
 $R_{2\_W} = 0.51$

# polyurethane  
 $R_{3\_1\_W} = 4.81$  # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch  
 $L_{3\_W} = 13$  # Thickness of the insulation(inch)  
 $R_{3\_W} = L_{3\_W} * R_{3\_1\_W}$

# Overall Heat Transfer Coefficient  
 $U_{W\_Wall} = 1 / (R_{1\_W} + R_{2\_W} + R_{3\_W})$

# Temperature difference(F)  
 $TD_{W\_Wall} = 43.2$

# Conversion Coefficient  
 $n = 1.1$

# Heat Transfer  
 $Q_{W\_Wall} = n * U_{W\_Wall} * A_{East} * TD_{W\_Wall}$

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the west wall: 0.01584534938995405
Heat transfer form the west wall: 1204.7536048169866 BTU/hr
```

## South, East and North Walls

```
# total thickness = 25 in
# Thermal resistances
# polyurethane
R_1_E = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_E = 16    # Thickness of the insulation(inch)
R_1_E = L_1_E * R_1_E

# Pressed brick
# Thickness = 11 cm
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
R_2_E = 0.51

# Ceramics
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_3_E = 0.07
L_3_E = 1      # Thickness
R_3_E = R_3_E * L_3_E

# Cement
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_4_E = 0.07
L_4_E = 2      # Thickness(in)
R_4_E = R_4_E * L_4_E

# Plaster
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_5_E = 0.29
L_5_E = 1.5
R_5_E = R_5_E * L_5_E

# Air Layer (Inside)
R_6_E = 0.53

# Air Layer (Outside)
R_7_E = 0.33

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_E_Wall = 1/(R_1_E + R_2_E + R_3_E + R_4_E + R_5_E + R_6_E + R_7_E)
U_S_Wall = 1/(R_1_E + R_2_E + R_3_E + R_4_E + R_5_E + R_6_E + R_7_E)

# Area(South Wall)(ft^2)
A_South = 560
# Area(East Wall)(ft^2)
A_East = 1600
# Temperature difference(F)
TD_E_Wall = 102.4
TD_S_Wall = 102.4
# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_E_Wall = n * U_E_Wall * A_East * TD_E_Wall
Q_S_Wall = n * U_S_Wall * A_South * TD_S_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U): 0.012662234884457108
Heat transfer rate form the east wall: 2282.038619816398 BTU/hr
Heat transfer rate form the south wall: 798.7135169357393 BTU/hr
Heat transfer rate form the north wall: 0 BTU/hr
```

## Floor

```
# Total Thickness = 21 inch

# Thermal resistances

# mosaic
R_1_l_f=0.08 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_f=1 # Thickness(inch)
R_1_f=R_1_l_f*L_1_f

# polyurethane
R_2_l_f=4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_f=18 # Thickness of the insulation(inch)
R_2_f=L_2_f*R_2_l_f

# concrete
R_3_l_f=0.1 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_f=2 # Thickness(inch)
R_3_f=R_3_l_f*L_3_f

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Floor = 1/(R_1_f + R_2_f + R_3_f)

# Area(Ft^2)
A_Floor = 3500

# Temperature difference(F)
TD_Floor = 50.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Floor = n * U_Floor * A_Floor * TD_Floor
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the floor: 0.011512779184895234 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer form the floor: 2233.9396730370713 BTU/hr
```

## Ceil

```
# Total Thickness = 24 inch

# Polystyrene Block
R_1_c = 4.83 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

# Ceramics
R_2_1_c = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_c = 1.2 # Thickness(inch)
R_2_c = R_2_1_c * L_2_c

# Air layer(Inside)
R_3_c = 0.5 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

# polyurethane
R_4_1_c = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_4_c = 13 # Thickness of the insulation(inch)
R_4_c = L_4_c * R_4_1_c

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Ceil = 1/(R_1_c + R_2_c + R_3_c + R_4_c)

# Area(Ft^2)
A_Ceil = 3500

# Temperature difference(F)
TD_Ceil = 76.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Ceil = n * U_Ceil * A_Ceil * TD_Ceil
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the ceil: 0.01471800306134464 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer form the ceil: 4329.153420463913 BTU/hr
```

## Infiltration Air

```
# Effective Volume of the Room(Unit: ft^3)  
V_3 = 56000
```

```
# Storage temperature of the room(F)  
T_3 = -0.4
```

## Result

```
Infiltration heat loss for the room 3(From the table): 84.47 BTU/hr
```

## Products

```
# Total mass of the products(lb)  
M_3 = 8818.49
```

```
# Specific heat of the products(unit: BTU/lb.F)  
https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\_295.html
```

```
# Above Freezing  
c_AF = 0.76
```

```
# Below Freezing  
c_BF = 0.39
```

```
# Inlet Temperature(F)  
T_i = 35.6
```

```
# Freezing Temperature(F)  
T_f = 28.4
```

```
# Storage Temperature(F)  
T_s = -0.4
```

```
# Latent heat of freezing(unit: Btu/lb)  
lf = 0.429923 * 255
```

```
# Heat loss of the products(24 hr: Assumption for the time of the cooling)  
Q_3 = (M_3 * c_AF * (T_i - T_f) / 24) + (M_3 * lf / 24) + (M_3 * c_BF * (T_f - T_s) / 24)
```

## Result

```
Heat loss of the products in the room 3: 46419.93060036875 BTU/hr
```

## Boxes

```
# Total mass of the boxes  
M_boxes = 44 * 33  
  
# Specific heat(unit: BTU/lb.F)  
c_box = 0.1673  
  
# Inlet Temperature(F)  
T_i = 35.6  
  
# Outlet Temperature(F)  
T_o = -0.4  
  
# Heat loss from the boxes  
Q_B_3 = M_boxes * c_box * (T_i - T_o) / 24
```

## Result

```
Heat loss of the boxes in the room 3: 364.3794000000003 BTU/hr
```

## People

```
# Number of people  
N_P = 4  
  
# Working time(hr)  
T_W = 8  
  
# Heat loss from each person(unit: BTU/hr) (Condition: Hard working)  
q_p = 525  
  
# Total heat loss  
Q_P_3 = N_P * T_W * q_p / 24
```

## Result

```
Heat loss of the people in the room 3: 700.0 BTU/hr
```

## Lighting System

# Working time(hr)

$$T\_W = 8$$

# Total power of the lighting system(unit: BTU/hr)

$$P\_L = 4774$$

# Total heat loss

$$Q\_L\_3 = P\_L * T\_W / 24$$

## Result

Heat loss of the lighting system in the room 3: 1591.3333333333333 BTU/hr

## 5. Room 4:

### East Wall

# Total thickness = 18 in

# Area(East Wall)(ft^2)

$$A\_East = 784.5$$

# Ceramics:

$$R\_1\_1\_E = 0.07 \text{ # Unit: ft}^2 \cdot F / (\text{BTU} / \text{hr}) \text{ per inch}$$

$$L\_1\_E = 1$$

$$R\_1\_E = R\_1\_1\_E * L\_1\_E$$

# Pressed brick

# Thickness = 11 cm

# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

$$R\_2\_E = 0.51$$

# polyurethane

$$R\_3\_1\_E = 4.81 \text{ # Unit: ft}^2 \cdot F / (\text{BTU} / \text{hr}) \text{ per inch}$$

$$L\_3\_E = 13 \text{ # Thickness of the insulation(inch)}$$

$$R\_3\_E = L\_3\_E * R\_3\_1\_E$$

# Overall Heat Transfer Coefficient

$$U\_E\_Wall = 1 / (R\_1\_E + R\_2\_E + R\_3\_E)$$

# Temperature difference(F)

$$TD\_E\_Wall = 43.2$$

# Conversion Coefficient

$$n = 1.1$$

# Heat Transfer

$$Q\_E\_Wall = n * U\_E\_Wall * A\_East * TD\_E\_Wall$$

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the east wall: 0.01584534938995405
Heat transfer form the east wall: 590.7057518618287 BTU/hr
```

## West and North Wall

```
# Total Thickness = 20 inch
```

```
# Thermal resistances
```

```
# polyurethane
```

```
R_1_l_w = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
```

```
L_1_w = 13 # Thickness of the insulation(inch)
```

```
R_1_w = L_1_w * R_1_l_w
```

```
# Pressed brick
```

```
# Thickness = 11 cm
```

```
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
```

```
R_2_w = 0.51
```

```
# Ceramics
```

```
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
```

```
R_3_l_w = 0.07
```

```
L_3_w = 1 # Thickness
```

```
R_3_w = R_3_l_w * L_3_w
```

```
# Cement
```

```
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
```

```
R_4_l_w = 0.07
```

```
L_4_w = 2 # Thickness(in)
```

```
R_4_w = R_4_l_w * L_4_w
```

```
# Air Layer (Inside)
```

```
R_5_w = 0.53
```

```
# Air Layer (Outside)
```

```
R_6_w = 0.33
```

```
# Overall Heat Transfer Coefficient
```

```
U_W_Wall = 1/(R_1_w + R_2_w + R_3_w + R_4_w + R_5_w +
```

```
R_6_w)
```

```
# Area(West Wall)(ft^2)
```

```
A_West = 800
```

```
# Temperature difference(F)
```

```
TD_W_Wall = 76.4
```

```
# Conversion Coefficient
```

```
n = 1.1
```

```
# Heat Transfer
```

```
# West Wall
```

```
Q_W_Wall = n * U_W_Wall * A_West * TD_W_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U): 0.015598190609889253
Heat Transfer form the west wall: 1048.6975510840746 BTU/hr
Heat Transfer form the north wall: 0 BTU/hr
```

## South Wall

```
# Total thickness = 18 in

# Area(East Wall)(ft^2)
A_South = 560

# Ceramics:
R_1_S = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_S = 1
R_1_S = R_1_E * L_1_S

# Pressed brick
# Thickness = 11 cm
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
R_2_S = 0.51

# polyurethane
R_3_S = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_S = 13    # Thickness of the insulation(inch)
R_3_S = L_3_E * R_3_S

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_S_Wall = 1 / (R_1_E + R_2_E + R_3_E)

# Temperature difference(F)
TD_S_Wall = 36

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_S_Wall = n * U_S_Wall * A_South * TD_S_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the south wall: 0.01584534938995405
Heat transfer form the south wall: 351.3864680716211 BTU/hr
```

## Floor

```
# Total Thickness = 21 inch

# Thermal resistances
# mosaic
R_1_l_f = 0.08 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_f = 1 # Thickness(inch)
R_1_f = R_1_l_f * L_1_f

# polyurethane
R_2_l_f = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_f = 18 # Thickness of the insulation(inch)
R_2_f = L_2_f * R_2_l_f

# concrete
R_3_l_f = 0.1 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_f = 2 # Thickness(inch)
R_3_f = R_3_l_f * L_3_f

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Floor = 1/(R_1_f + R_2_f + R_3_f)

# Area(Ft^2)
A_Floor = 1750

# Temperature difference(F)
TD_Floor = 50.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Floor = n * U_Floor * A_Floor * TD_Floor
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the floor: 0.011512779184895234 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer form the floor: 1116.9698365185357 BTU/hr
```

## Ceil

```
# Total Thickness = 24 inch

# Polystyrene Block
R_1_c = 4.83 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

# Ceramics
R_2_1_c = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_c = 1.2 # Thickness(inch)
R_2_c = R_2_1_c * L_2_c

# Air layer(Inside)
R_3_c = 0.5 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

# polyurethane
R_4_1_c = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_4_c = 13 # Thickness of the insulation(inch)
R_4_c = L_4_c * R_4_1_c

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Ceil = 1/(R_1_c + R_2_c + R_3_c + R_4_c)

# Area(Ft^2)
A_Ceil = 1750

# Temperature difference(F)
TD_Ceil = 76.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Ceil = n * U_Ceil * A_Ceil * TD_Ceil
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the ceil: 0.01471800306134464 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer form the ceil: 2164.5767102319564 BTU/hr
```

## Infiltration Air

# Effective Volume of the Room(Unit: ft^3)  
 $V_2 = 28000$

# Storage temperature of the room(F)  
 $T_2 = -0.4$

## Result

Infiltration heat loss for the room 4(From the table): 105.0902 BTU/hr

## Products

# Total mass of the products(lb)  
 $M_4 = 4409.245$

# Specific heat of the products(unit: BTU/lb.F)  
[https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d\\_295.html](https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html)

# Above Freezing  
 $c_{AF} = 0.76$

# Below Freezing  
 $c_{BF} = 0.39$

# Inlet Temperature(F)  
 $T_i = 35.6$

# Freezing Temperature(F)  
 $T_f = 28.4$

# Storage Temperature(F)  
 $T_s = -0.4$

# Latent heat of freezing(unit: Btu/lb)  
 $l_f = 0.429923 * 255$

# Heat loss of the products(24 hr: Assumption for the time of the cooling)  
$$Q_4 = (M_4 * c_{AF} * (T_i - T_f) / 24) + (M_4 * l_f / 24) + (M_4 * c_{BF} * (T_f - T_s) / 24)$$

## Result

```
Heat loss of the products in the room 4: 23209.938980525 BTU/hr
```

## Boxes

```
# Total mass of the boxes
```

$$M_{\text{boxes}} = 44 * 17$$

```
# Specific heat(unit: BTU/lb.F)
```

$$c_{\text{box}} = 0.1673$$

```
# Inlet Temperature(F)
```

$$T_i = 35.6$$

```
# Outlet Temperature(F)
```

$$T_o = -0.4$$

```
# Heat loss from the boxes
```

$$Q_{\text{B}_4} = M_{\text{boxes}} * c_{\text{box}} * (T_i - T_o) / 24$$

## Result

```
Heat loss of the boxes in room 4: 187.7106 BTU/hr
```

## People

```
# Number of people
```

$$N_P = 2$$

```
# Working time(hr)
```

$$T_W = 8$$

```
# Heat loss from each person(unit: BTU/hr) (Condition: Hard working)
```

$$q_p = 525$$

```
# Total heat loss
```

$$Q_{\text{P}_4} = N_P * T_W * q_p / 24$$

## Result

```
Heat loss of the people in the room 4: 350.0 BTU/hr
```

## Lighting System

# Working time(hr)  
 $T_W = 8$

# Total power of the lighting system(unit: BTU/hr)  
 $P_L = 2387$

# Total heat loss  
 $Q_{L,4} = P_L * T_W / 24$

## Result

Heat loss of the lighting system in the room 4: 795.6666666666666 BTU/hr

---

## 6. Corridor

### East Wall

We can use the rates that we calculated in the previous sections to determine the rate of heat transfer for the corridor.  
Heat transfer rate: -2409.5 BTU / hr

### West Wall

We can use the rates that we calculated in the previous sections to determine the rate of heat transfer for the corridor.  
Heat transfer rate: -1905.575 BTU / hr

## Floor

```
# Total Thickness = 21 inch

# Thermal resistances
# mosaic
R_1_1_f = 0.08 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_f = 1 # Thickness(inch)
R_1_f = R_1_1_f * L_1_f

# polyurethane
R_2_1_f = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_f = 18 # Thickness of the insulation(inch)
R_2_f = L_2_f * R_2_1_f

# concrete
R_3_1_f = 0.1 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_3_f = 2 # Thickness(inch)
R_3_f = R_3_1_f * L_3_f

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Floor = 1/(R_1_f + R_2_f + R_3_f)

# Area(Ft^2)
A_Floor = 2000

# Temperature difference(F)
TD_Floor = 7.2

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Floor = n * U_Floor * A_Floor * TD_Floor
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the floor: 0.011512779184895234 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer from the floor: 182.36242228874053 BTU/hr
```

## Ceil

```
# Total Thickness = 24 inch

# Polystyrene Block
R_1_c = 4.83 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

# Ceramics
R_2_l_c = 0.07 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_2_c = 1.2 # Thickness(inch)
R_2_c = R_2_l_c * L_2_c

# Air layer(Inside)
R_3_c = 0.5 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)

# polyurethane
R_4_l_c = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_4_c = 13 # Thickness of the insulation(inch)
R_4_c = L_4_c * R_4_l_c

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_Ceil = 1/(R_1_c + R_2_c + R_3_c + R_4_c)

# Area(Ft^2)
A_Ceil = 2000

# Temperature difference(F)
TD_Ceil = 34.2

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_Ceil = n * U_Ceil * A_Ceil * TD_Ceil
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U) for the ceil: 0.01471800306134464 BTU/hr.F.ft^2
Heat transfer form the ceil: 1107.3825503355708 BTU/hr
```

## South Wall

```
# total thickness = 25 in
# Thermal resistances
# polyurethane
R_1_1_S = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
L_1_S = 16    # Thickness of the insulation(inch)
R_1_S = L_1_S * R_1_1_S

# Pressed brick
# Thickness = 11 cm
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
R_2_S = 0.51

# Ceramics
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_3_1_S = 0.07
L_3_S = 1    # Thickness
R_3_S = R_3_1_S * L_3_S

# Cement
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_4_1_S = 0.07
L_4_S = 2    # Thickness(in)
R_4_S = R_4_1_S * L_4_S

# Plaster
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
R_5_1_S = 0.29
L_5_S = 1.5
R_5_S = R_5_1_S * L_5_S

# Air Layer (Inside)
R_6_S = 0.53

# Air Layer (Outside)
R_7_S = 0.33

# Overall Heat Transfer Coefficient
U_S_Wall = 1/(R_1_S + R_2_S + R_3_S + R_4_S + R_5_S + R_6_S + R_7_S)

# Area(South Wall)(ft^2)
A_South = 84

""""We have assumed a sliding door in the south wall of the corridor which is the main
door(Entrance door) for the   refrigeration room.
L_door = 8 ft
W_door = 9.5 ft
"""
# Temperature difference(F)
TD_S_Wall = 102.4

# Conversion Coefficient
n = 1.1

# Heat Transfer
Q_S_Wall = n * U_S_Wall * A_South * TD_S_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U): 0.012662234884457108
Heat transfer rate form the south wall: 119.8070275403609 BTU/hr
```

## North Wall

```
# Total Thickness = 20 inch
```

```
# Thermal resistances
```

```
# polyurethane
```

```
R_1_l_w = 4.81 # Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
```

```
L_1_w = 13 # Thickness of the insulation(inch)
```

```
R_1_w = L_1_w * R_1_l_w
```

```
# Pressed brick
```

```
# Thickness = 11 cm
```

```
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr)
```

```
R_2_w = 0.51
```

```
# Ceramics
```

```
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
```

```
R_3_l_w = 0.07
```

```
L_3_w = 1 # Thickness
```

```
R_3_w = R_3_l_w * L_3_w
```

```
# Cement
```

```
# Unit: ft^2 . F / (BTU / hr) per inch
```

```
R_4_l_w = 0.07
```

```
L_4_w = 2 # Thickness(in)
```

```
R_4_w = R_4_l_w * L_4_w
```

```
# Air Layer (Inside)
```

```
R_5_w = 0.53
```

```
# Air Layer (Outside)
```

```
R_6_w = 0.33
```

```
# Overall Heat Transfer Coefficient
```

```
U_N_Wall = 1/(R_1_w + R_2_w + R_3_w + R_4_w + R_5_w + R_6_w)
```

```
# Area(North Wall)(ft^2)
```

```
A_North = 160
```

```
# Temperature difference(F)
```

```
TD_N_Wall = 30.2
```

```
# Conversion Coefficient
```

```
n = 1.1
```

```
# Heat Transfer
```

```
# North Wall
```

```
Q_N_Wall = n * U_N_Wall * A_North * TD_N_Wall
```

## Result

```
Overall heat transfer coefficient(U): 0.015598190609889253
Heat transfer form the north wall: 82.90750272968337 BTU/hr
```

## Infiltration Air

```
# Effective Volume of the Room(Unit: ft^3)
V_C = 32000
```

```
# Corridor temperature(F)
T_C = 42.8
```

## Result

```
Infiltration heat loss for the corridor: 136.82 BTU/hr
```

## People

```
# Number of people
N_P = 2
```

```
# Working time(hr)
T_W = 8
```

```
# Heat loss from each person(unit: BTU/hr) (Condition: Hard working)
q_p = 525
```

```
# Total heat loss
Q_P_corridor = N_P * T_W * q_p / 24
```

## Result

```
Heat loss of the people in the corridor: 350.0 BTU/hr
```

## Lighting System

# Working time(hr)  
 $T_W = 8$

# Total power of the lighting system(unit: BTU/hr)  
 $P_L = 3448$

# Total heat loss  
 $Q_{L\_corridor} = P_L * T_W / 24$

## Result

Heat loss of the lighting system in the corridor: 1149.3333333333333 BTU/hr

## Forklift

# Total number of Forklifts  
 $N_F = 2$

# Working time(hr)  
 $T_W = 3$

# Power of each Forklift(BTU/hr)  
 $P_F = 14672.2106$

# Total heat loss  
 $Q_{F\_corridor} = P_F * T_W * N_F / 24$

## Result

Heat loss of the Forklifts in the corridor: 3668.05265 BTU/hr

# Total Cooling Loads

**Total Cooling Loads(BTU/hr)**

Cooling Load (BTU/hr)	Pre-cooler Room	Room 1	Room 2	Room 3	Room 4	Corridor
Walls + Ceiling + Floor	2311.613	10970.24	10603.953	10848.579	5272.33	-2822.613
Infiltration Air	160.61	84.47	84.47	84.47	105.09	136.82
Products(Meat)	5717.69	46419.9	46419.9	46419.9	23209.73	0
Boxes	208.13	364.38	364.38	364.38	187.71	0
People	350	700	700	700	350	350
Lighting System	795.66	1591.33	1591.33	1591.33	795.66	4837.383
<b>Total Load(BTU/hr) (Considering the safety factor 1.2)</b>	<b>9543.703</b>	<b>60130.32</b>	<b>59764.033</b>	<b>60008.659</b>	<b>29920.52</b>	<b>2501.59</b>
<b>Total Load(BTU/hr) (Considering Working hour ---&gt; x 24 / 20)</b>	<b>11452.44</b>	<b>72156.38</b>	<b>71716.83</b>	<b>72010.39</b>	<b>35904.62</b>	<b>3001.9</b>
<b>Total Load(KW)</b>	<b>3.35</b>	<b>21.14</b>	<b>21.01</b>	<b>21.09</b>	<b>10.52</b>	<b>0.87</b>

# انتخاب تجهیزات

## 1. انتخاب اوپرатор

برای اتاقهای 1, 2, 3 داریم:

برای انتخاب اوپرатор ابتدا با توجه به **کاتالوگ شرکت نیک** دمای اوپرатор و اختلاف دمای ان با اتاق سردخانه و ضرایب تصحیح برای دما و مبرد را بدست می‌آوریم.

مبرد مورد نظر ما R-22 میباشد بنابراین ضریب تصحیح مبرد 1 و با توجه به اختلاف دمای 7 درجه ضریب تصحیح دما 1 می‌باشد.

با استفاده از بارهای محاسباتی و کاتالوگ اوپرатор مورد نظر را انتخاب می‌کنیم.

شرایط کاری دما و رطوبت	دمای هوای اتاق سردخانه	دمای اوپرатор	رطوبت نسبی
SC1	10+	0	85%
SC2	0	8-	85%
SC3	18-	25-	95%



DT(K) اختلاف دمای اوپرатор و اتاق سردخانه	دمای اوپرатор							Fsc3 DT=7K Te=-25°C
	21-	23-	25-	28-	30-	35-	40-	
6	1.20	1.21	1.21	1.23	1.23	1.23	1.24	
7	0.99	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	
8	0.84	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.89	
9	0.73	0.73	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	
10	0.64	0.64	0.65	0.65	0.66	0.67	0.69	
11	0.57	0.57	0.58	0.58	0.59	0.61	0.62	
12		0.52	0.52	0.53	0.53	0.54	0.55	

مبرد	شرایط رطوبت و دما	ضریب تصحیح Fr
R404A	SC1/SC2/SC3	1.05
R134a	SC1/SC2	0.97
R22	SC1/SC2/SC3	1.00

بار برودتی اتاق‌های ۲ و ۳ را تقریباً برابر باز برودتی اتاق ۱ در نظر می‌گیریم  
 (21.14KW)؛ مدل انتخاب شده برای اوپراتور **NBC 350 C8** می‌باشد.



فاصله بین فین‌ها 8 میلیمتر

NBC	16.3		11.6		9.3		7100	21.7	1x50	500	37	24	6.9	5/8	3/8 1	88
NBC 150 D8	16.3		11.6		9.3		7100	21.7	1x50	500	37	24	6.9	5/8	3/8 1	88
NBC 250 C8	25.1		18.0		14.5		14400	22.3	2x50	1000	56	33	10.7	7/8	5/8 1	135
NBC 250 D8	32.2		22.8		18.4		14200	21.7	2x50	1000	75	44	12.5	7/8	5/8 1	156
NBC 350 C8	37.3		26.7		21.5		21600	22.3	3x50	1500	84	48	15.4	1/8 1	1/8 2	195
NBC 350 D8	48.1		34.1		27.5		21300	21.7	3x50	1500	112	64	18	1/8 1	1/8 2	226
NBC 450 C8	49.8		35.5		28.7		28800	22.3	4x50	2000	112	63	20.2	1/8 1	5/8 2	253
NBC 450 D8	64.0		45.4		36.0		28400	21.7	4x50	2000	149	88	23.6	1/8 1	5/8 2	295

## 2. انتخاب کمپرسور

با توجه به اوپرатор انتخاب شده، توان کمپرسور را از جدول زیر می‌یابیم؛ داریم:

اوپرатор مناسب از گروه NBC یا NAC						توان کمپرسور HP				
NAC 230 A7		NBC 135 B8		NAC 130 B7		NBC 135 A8				
NBC 140 C8	NBC 140 C6	NBC 235 A6	NBC 230 B7	NAC 230 A7	NBC 140 B8	1.5				
NBC 140 C8			NBC 145 B6			3				
NBC 145 C8		NBC 240 B8		NBC 145 B6		4				
NBC 145 C6		NBC 240 B6		NBC 240 B8		5				
NBC 240 C8						7.5				
NBC 245 C8						10				
NBC 245 C8		NBC 340 C8		NBC 245 C8		15				
NBC 340 C6		NBC 250 C8		NBC 340 C8		20				
NBC 345 C8		NBC 250 C8		NBC 340 C6		25				
NBC 350 C8		NBC 250 D8		NBC 350 C8		30				
NBC 450 C8		NBC 350 D8		NBC 450 C8		35				
2x NBC 250 D8		NBC 450 D8		NBC 250 D8		40				



با استفاده از توان کمپرسور و دمای اوپراتور، از کاتالوگ شرکت DORIN کمپرسور مورد نظر را انتخاب می‌کنیم؛ داریم:

H7	H5000CS	35	Q			109800	89750	72320	57290	44450	33590	24510	16980	
		P			32,41	29,83	27,25	24,65	22,02	19,36	16,65	13,88		
	H5500CC	45	Q			98330	79960	64030	50330	38650	28780	20500	13610	
		P			37,69	34,35	31,02	27,71	24,40	21,08	17,75	14,39		
	H5500CS	35	Q	190500	160400	133800	110500	90060	72450	57340	44490	33660	24600	17060
		P	37,69	35,79	33,78	31,65	29,41	27,06	24,60	22,03	19,35	16,56	13,67	
	H6000CC	45	Q	172000	144400	120100	98720	80170	64170	50450	38780	28910	20590	13590
		P	43,46	41,09	38,60	35,97	33,21	30,32	27,30	24,15	20,88	17,48	13,95	
	H6000CS	35	Q			123100	100700	81070	64220	49830	37660	27480	19040	
		P			36,34	33,45	30,55	27,63	24,69	21,70	18,66	15,56		
	H7500CC	45	Q			110300	89640	71780	56430	43330	32270	22980	15250	
		P			42,24	38,50	34,78	31,07	27,36	23,64	19,90	16,12		
	H7501CS	35	Q	213600	179800	150000	123800	101000	81220	64290	49880	37740	27580	19130
		P	42,21	40,08	37,83	35,45	32,96	30,33	27,58	24,71	21,71	18,58	15,32	
	H80001CC	45	Q	192900	161900	134600	110700	89880	71940	56560	43480	32410	23090	15240
		P	48,83	46,12	43,28	40,31	37,20	33,96	30,58	27,06	23,41	19,61	15,68	
	H8000CS	35	Q			133600	109200	87970	69680	54060	40850	29810	20660	
		P			40,77	36,51	32,80	29,47	26,36	23,31	20,16	16,74		
	H9000CC	45	Q			119700	97280	77900	61220	47010	35000	24930	16560	
		P			45,31	41,11	37,24	33,53	29,83	25,97	21,79	17,12		
	H7500CS	35	Q	231700	195100	162800	134400	109600	88130	69760	54130	40950	29920	20750
		P	45,80	43,49	41,05	38,47	35,76	32,91	29,93	26,81	23,56	20,16	16,62	
	H7501CS	45	Q	209200	175700	146100	120100	97530	78060	61380	47180	35170	25050	16530
		P	52,98	50,04	46,96	43,74	40,37	36,85	33,18	29,36	25,40	21,28	17,01	
	H8000CS	35	Q			148300	121200	97600	77310	59990	45330	33070	22920	
		P			44,69	40,55	36,71	33,09	29,56	26,04	22,41	18,58		
	H9000CC	45	Q			132800	108000	86420	67930	52160	38840	27670	18370	
		P			50,52	46,01	41,68	37,43	33,16	28,75	24,12	19,16		
	H80001CC	35	Q	257300	216700	180800	149200	121800	97990	77620	60290	45660	33390	23140
		P	50,89	47,79	44,81	41,89	38,98	36,03	32,99	29,80	26,41	22,77	18,82	
	H8000CS	45	Q	230100	193200	160800	132300	107600	86200	67890	52270	39020	27770	18210
		P	57,99	54,50	51,05	47,59	44,07	40,43	36,62	32,58	28,28	23,64	18,63	
	H9000CS	35	Q			163600	133800	107800	85350	66220	50050	36510	25300	
		P			48,28	44,44	40,60	36,72	32,81	28,84	24,80	20,67		
	H9000CC	45	Q			146500	119200	95390	74990	57590	42880	30540	20270	
		P			56,15	51,16	46,21	41,28	36,35	31,41	26,44	21,44		
	H7 H5000CS 45	35	Q	283700	239000	199400	164700	134400	108300	85760	66630	50460	36870	25500
		P	56,07	53,22	50,24	47,14	43,88	40,46	36,86	33,07	29,08	24,87	20,42	
		45	Q	254000	213300	177500	146100	118800	95220	75000	57750	43090	30650	20060
		P	64,29	60,75	57,06	53,21	49,18	44,97	40,56	35,93	31,08	25,98	20,62	

مدل کمپرسور انتخاب شده، **H7 H5000CS 45** می‌باشد.

### 3. انتخاب کندانسور

برای انتخاب کندانسور برای فضاهای مورد نظر، باید در ابتدا ظرفیت آن را بدست آوریم. ظرفیت کندانسور برابر مجموع ظرفیت اوپراتور و توان کمپرسور می‌باشد. با داشتن این مقدار، با استفاده از کاتالوگ شرکت نیک، کندانسور مورد نظر خود را انتخاب می‌کنیم.

مدل کندانسور انتخاب شده، **NUC 250ET** می باشد.

مدل کندانسور نیک	ظرفیت اسمی دفع حرارت	دبي فن (m3/H)	تعداد فن و قطر آن	ولتاژ	تعداد فاز فن	توان فن
NUC 135AS	4.42	2500	1x350	230	1	170
NUC 135BS	6.54	2400	1x350	230	1	170
NUC 140CT	11.95	4000	1x400	400	3	230
NUC 145CT	14.45	5200	1x450	400	3	350
NUC 235CS	17.19	4600	2x350	230	1	340
NUC 240BT	18.26	8200	2x400	400	3	460
NUC 240CT	23.95	8000	2x400	400	3	460
NUC 245CT	28.84	10400	2x450	400	3	700
NUC 250ET	50.74	13300	2x500	400	3	1000
NUC 345DT	53.87	15300	3x450	400	3	1050
NUC 350ET	76.06	19950	3x500	400	3	1500
NUC 450DT	86.00	27200	4x500	400	3	2000

به طور مشابه (روشی که در بالا توضیح دادیم) می توانیم تجهیزات مناسب برای اتاق ۴ و پیش سردن را بیابیم که عبارت اند از:

اتاق ۴:

مدل اوپراتور: **NBC 340C8**

مدل کندانسور: **NUC 240CT**

مدل کمپرسور: **H5 H3000CC 45**

اتاق پیش سردن:

مدل اوپراتور: **NBC 145B6**

مدل کندانسور: **NUC 135BS**

مدل کمپرسور: **H11 H201CC 45**