فصل دوم

محاسبات بار گرمایی ساختمان

هدف‌های رفتاری : پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود :

۱ــ شرایط طرح هوای داخل ساختمان را بیان کند.

۲ــ شرایط طرح هوای بیرون را توضیح دهد.

۳ــ اتلاف گرمایی از دیوارها را محاسبه کند.

۴ــ اتلاف گرمایی از درها و پنجره‌ها را محاسبه کند.

۵ ــ اتلاف گرمایی از سقف را محاسبه کند.

۶ ــ اتلاف گرمایی از کف را حساب کند.

۷ــ بار گرمایی درنتیجهٔ نفوذ هوای تازه از درز را محاسبه کند.

۸ ــ ضرایب تصحیح در محاسبهٔ اتلاف گرمایی را معرفی کند.

۹ــ برگ محاسبات اتلاف گرمایی را توضیح دهد.

۱۰ــ برگ محاسبهٔ نمونه را پر کند.

۲ــ محاسبات بار گرمایی ساختمان

«اتلاف گرمایی»[۱] یک ساختمان مقدار گرمایی است که به‌روش‌های مختلف از محیط گرم ساختمان در زمستان به هوای سرد بیرون انتقال می‌یابد.

«بار گرمایی»[۲] مقدار گرمایی است که برای ثابت نگه‌داشتن دمای هوا در داخل ساختمان، به‌وسیلهٔ دستگاه‌های گرمایی تولید می‌شود.

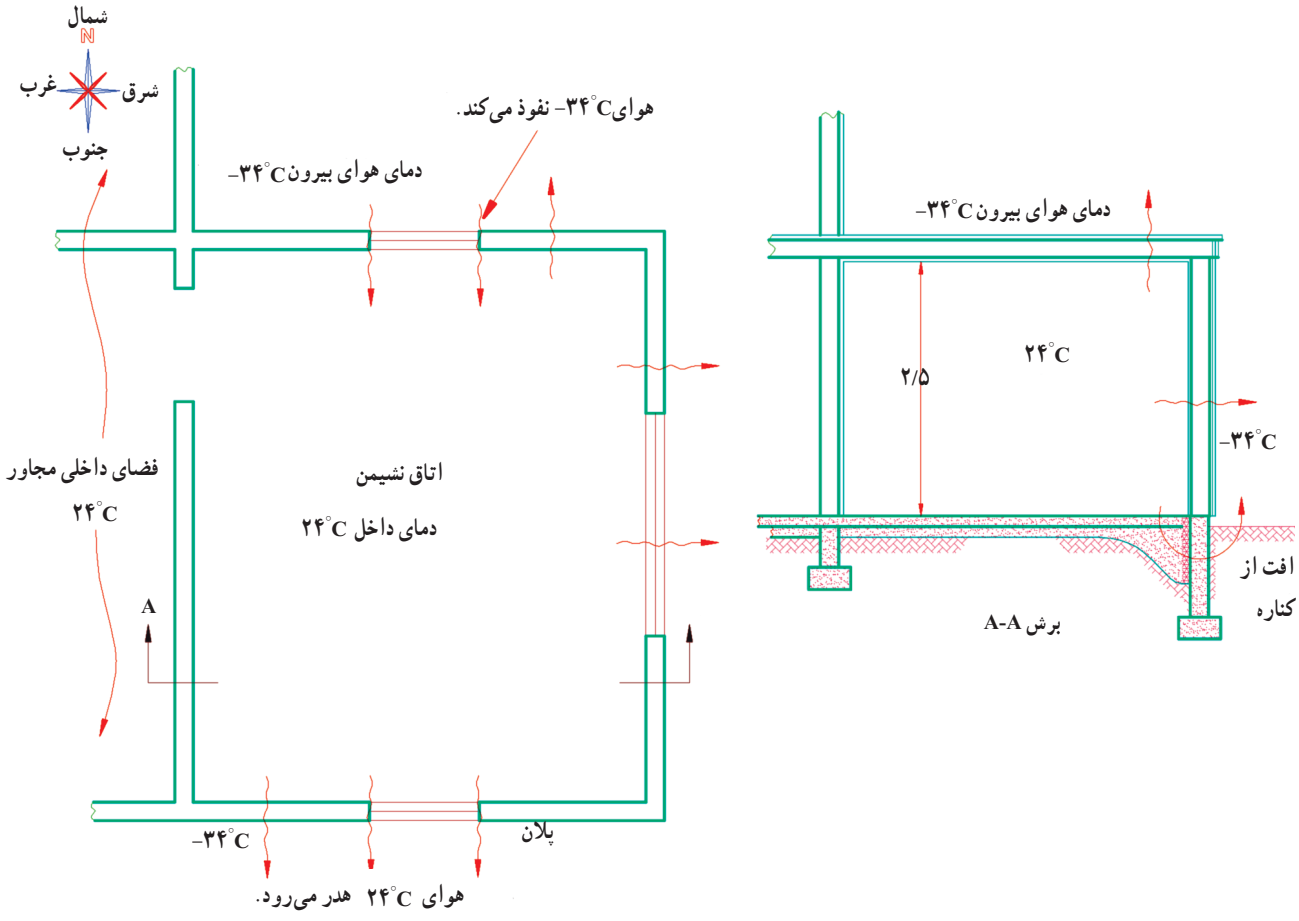
بارگرمایی دستگاه‌ها معادل اتلاف گرمایی است، به همین علّت اغلب به‌جای یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ بنابراین برای تعیین ظرفیت دستگاه‌های گرم‌کننده یا بار گرمایی آنها، نیاز به محاسبهٔ اتلاف گرمایی است. اتلاف گرمایی شامل دو قسمت است :

۱ــ اتلاف گرمایی از جدارها اعم از دیوارها، پنجره‌ها، درها، سقف و کف.

۲ــ اتلاف گرمایی درنتیجهٔ ورود هوای سرد از طریق درزهای درها و پنجره‌ها (به شکل ۱ــ۲ توجه نمایید).

۱ــ Heat Loss

۲ــ Heating Load



شکل ۱ــ۲ــ اتلاف گرمایی ساختمان در زمستان

۱ــ۲ــ شرایط طرح هوای داخل

با توجه به فرمول کلی «$H=UA(t_i-t_o)$» یکی از عوامل تعیین‌کنندهٔ اتلاف گرمایی، دانستن دمای هوای داخل است. دمای هوای ساختمان باعث آسایش انسان می‌شود. دمای هوای پیشنهادی مکان‌های مختلف در جدول ۱ــ۲ آمده است.

جدول ۱ــ۲ــ شرایط طرح هوای داخل

مکان	دمای طرح (°C)	مکان	دمای طرح (°C)
گالری‌های هنری	۲۰	آزمایشگاه‌ها	۲۰
سالن‌های تجمع	۱۸	اتاق‌های مشاوره	۲۰
کافه‌ها	۱۸	کتاب‌خانه‌ها	۲۰
کانتین‌ها	۲۰		
کلیساها	۱۸	دفاتر	
		عمومی	۲۰
کارخانجات		خصوصی	۲۰
کارهای نشستنی	۱۹	مراکز پلیس	۱۸
کارهای سبک	۱۶	رستوران‌ها	۱۸
کارهای سنگین	۱۳		
		هتل‌ها	
آپارتمان‌ها و خانه‌ها		اتاق‌های خواب (استاندارد)	۲۲
اتاق‌های نشیمن	۲۱	اتاق‌های خواب (لوکس)	۲۴
اتاق‌های خواب	۱۸	اتاق‌های عمومی	۲۱
حمام‌ها	۲۲		
هال ورودی	۱۶	مدارس و دانشکده‌ها	
		کلاس‌های درس	۱۸
بیمارستان‌ها		اتاق‌های سخنرانی	۱۸
راهروها	۱۶		
دفاتر	۲۰	فروشگاه‌ها	
اتاق‌های عمل	۱۸ــ۱۲	کوچک	۱۸
نگهبانی	۱۸	بزرگ	۱۸
سالن‌های ورزشی	۲۱	استخرهای شنا	
انبارها	۱۶	اتاق‌های رخت‌کن	۲۲
		سالن استخر	۲۶

۲ــ۲ــ شرایط طرح هوای خارج

دمای هوای خارج (t_o) نه‌تنها سردترین دمای ممکن بر آن شهر است بلکه t_o متوسط دما در سردترین شرایط در سال‌های مختلف برای محل مربوط است. جدول ۲ــ۲ معدل حداقل دمای زمستانی شهرهای مختلف ایران را ارائه می‌دهد.

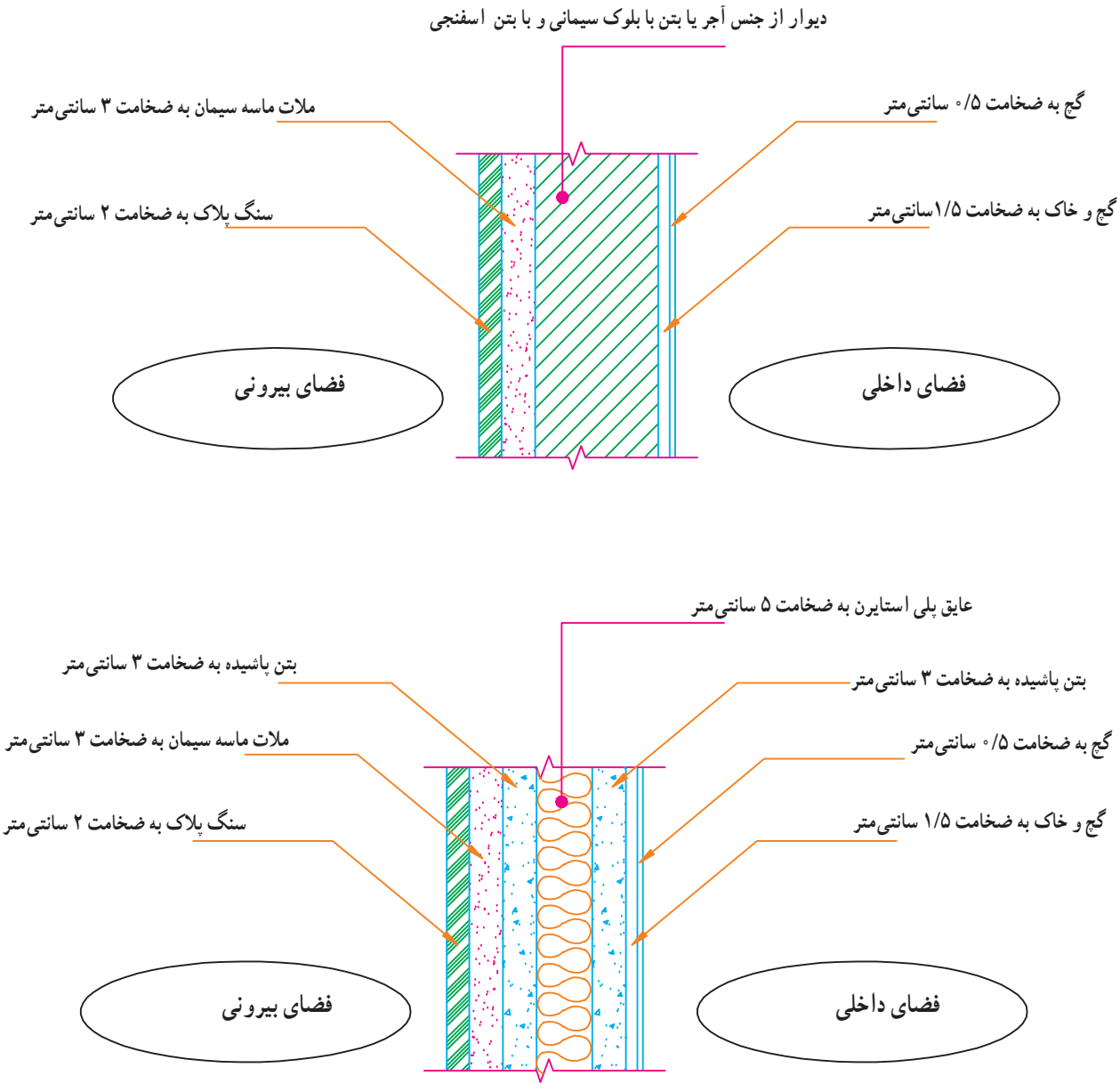
جدول ۲ــ۲ــ میانگین کمینه دمای زمستانی هوای شهرهای مختلف ایران

نام شهر	میانگین کمینه دمای زمستانی (°C)	نام شهر	میانگین کمینه دمای زمستانی (°C)
آبادان	+۳	ساری	−۳
آمل	−۲	سبزوار	−۸
اراک	−۱۲	سراب	−۱۹
اردبیل	−۲۳	سمنان	−۵
ارومیه	−۱۳	سنندج	−۱۴
اصفهان	−۷	سیرجان	−۷
اهواز	+۳	شهرکرد	−۱۴
ایلام	−۴	شیراز	−۴
بابل	−۲	کرج	−۹
بجنورد	−۱۳	کرمان	−۹
بستان‌آباد	−۲۴	کاشان	−۴
بندرعباس	+۸	کرمانشاه	−۱۰
بوشهر	+۶	کیش	+۱۱
بیرجند	−۹	گرگان	−۱
تبریز	−۱۱	فیروزکوه	−۲۲
تهران	−۴	قائم‌شهر	−۳
تهران(تجریش)	−۷	قزوین	−۱۱
خرم‌آباد	−۷	قشم	+۱۲
خوی	−۱۴	قم	−۴
دزفول	+۱	مشهد	−۱۰
رشت	−۳	نیشابور	−۱۲
زاهدان	−۸	همدان	−۱۹
زنجان	−۱۶	یزد	−۶

جدول ۳ــ۲ــ مقدار «U» برای دیوارهای متداول بر حسب $W/m^2.k$

شرح	ضخامت (سانتی‌متر)	بدون اندود		فقط با اندود داخلی		با اندود داخلی و نمای سنگی		با اندود داخلی و نمای سیمانی		دیوار داخلی با اندود از دو طرف	
		بدون عایق	با عایق* ۲/۵cm	بدون عایق	با عایق* ۲/۵cm	بدون عایق	با عایق* ۲/۵cm	بدون عایق	با عایق* ۲/۵cm	بدون عایق	با عایق* ۲/۵cm
دیوار با آجر فشاری	۱۱	۳/۲۵	۱/۰۷	۲/۸۰	۱/۰۲	۲/۴۷	۰/۹۷	۲/۴۱	۰/۹۶	۲/۴۵	۰/۹۷
	۲۲	۲/۲۵	۰/۹۴	۲/۰۲	۰/۸۹	۱/۸۴	۰/۸۶	۱/۸۱	۰/۸۵	۱/۸۳	۰/۸۵
	۳۳	۱/۷۲	۰/۸۳	۱/۵۸	۰/۸۰	۱/۴۷	۰/۷۷	۱/۴۵	۰/۷۶	--	--
	۴۵	۱/۳۷	۰/۷۴	۱/۲۷	۰/۷۱	۱/۲۰	۰/۶۹	۱/۲۸	۰/۷۱	-	-
دیوار با آجر مجوف سفالی	۱۱	۳/۳۳	۱/۰۸	۲/۸۵	۱/۰۳	۲/۵۲	۰/۹۸	۲/۴۶	۰/۹۶	۲/۵۰	۰/۹۸
	۲۲	۲/۲۲	۰/۹۳	۲/۰۰	۰/۸۹	۱/۸۳	۰/۸۵	۱/۸۰	۰/۸۵	۱/۸۲	۰/۸۵
دیوار با بلوک سیمانی	۱۰	۳/۳۸	۱/۰۸	۲/۸۵	۱/۰۳	۲/۵۵	۰/۹۸	۲/۴۹	۰/۹۷	۲/۵۳	۰/۹۸
	۲۰	۲/۷۳	۱/۰۱	۲/۴۰	۰/۹۶	۲/۱۶	۰/۹۲	۲/۱۱	۰/۹۱	۲/۱۵	۰/۹۲
دیوار با بلوک بتنی اسفنجی	۱۰	۱/۱۳	-	۱/۰۷	-	۱/۰۲	-	۱/۰۱	-	۱/۰۲	-
	۲۰	۰/۶۳	-	۰/۶۱	-	۰/۵۹	-	۰/۵۹	-	۰/۵۹	-
دیوار بتنی	۱۰	۴/۴۱	۱/۱۷	۳/۶۱	۱/۱۰	۳/۰۸	۱/۰۵	۳/۰۰	۱/۰۴	۳/۰۵	۱/۰۵
	۲۰	۱/۲۵	۰/۷	۱/۱۸	۰/۶۸	۱/۱۱	۰/۶۶	۱/۱۰	۰/۶۵	۱/۱۱	۰/۶۶
دیوار پلی استایرن با بتن پاشیده	۱۱	۰/۴۴	-	۰/۴۳	-	۰/۴۳	-	۰/۴۲	-	۰/۴۳	-

* عایق از نوع پلی‌استایرن باقابلیت هدایت گرمایی $k = ۰/۰۴ \frac{W.m}{m^2.k}$



شکل۲ــ۲ــ جزییات دیوارهای جدول ۳-۲

جدول ۴ــ۲ــ مقدار U برای انواع در و پنجره

نوع در و پنجره	$\frac{W}{m^2.K}$
در چوبی (داخلی یا خارجی)	۲/۳
پنجره‌های داخلی شیشه‌دار	۳/۵
پنجرهٔ چوبی با شیشه (خارجی)	۵/۲
در آهنی (داخلی یا خارجی)	۵/۸
پنجرهٔ آهنی با شیشه	۵/۸
پنجرهٔ ویترینی	۵/۸
پنجرهٔ مضاعف با کادر چوبی	۳/۲
پنجرهٔ مضاعف با کادر فلزی	۳/۳
پنجرهٔ فلزی با شیشهٔ مضاعف	۳/۷
پنجرهٔ چوبی با شیشهٔ مضاعف	۳/۵
پنجرهٔ UPVC با شیشهٔ ساده	۵/۸
پنجرهٔ UPVC با شیشهٔ دوجداره (۱۲ میلی‌متر فاصله هوایی)	۱/۷
پنجرهٔ UPVC با شیشهٔ دوجداره (۶ میلی‌متر فاصله هوایی)	۲/۸
شیشه	
شیشهٔ یک‌جداره	۵/۶
شیشهٔ دوجداره با ۲۰mm فضای خالی	۲/۹
شیشهٔ دوجداره با ۱۲mm فضای خالی	۳
شیشهٔ دوجداره با ۶mm فضای خالی	۳/۴
شیشهٔ دوجداره با ۳mm فضای خالی	۴
شیشهٔ سه جداره با ۲۰mm فضای خالی	۲
شیشهٔ سه جداره با ۱۲mm فضای خالی	۲/۱
شیشهٔ سه جداره با ۶mm فضای خالی	۲/۵
شیشهٔ سه جداره با ۳mm فضای خالی	۳

۳ــ۲ــ اتلاف گرمایی از دیوار، در و پنجره

برای محاسبهٔ اتلاف گرمایی از دیوار از فرمول «$H=UA(t_i-t_o)$» استفاده می‌کنیم در این فرمول« t_i »دمای هوای داخل اتاق با استفاده از جدول ۱ــ۲ به‌دست می‌آید.«t_o»دمای هوای طرف دیگر است. اگر دیوار خارجی باشد، از جدول ۲ــ۲ و اگر دیوار داخلی باشد، از جدول ۱ــ۲ استفاده می‌شود.

درصورتی که فضای مجاور اتاق مورد محاسبه، فضای گرم نباشد، اختلاف دمای اتاق موردنظر و فضای گرم نشده به‌طور تقریب برابر با $(t_i-t_o)\times$۰/۵ خواهد بود.

«A» = سطح خالص دیوار برحسب «m^2» که برابر است با (A_1-A_2).

«A_1» = سطح کل دیوار

«A_2» =سطح در و یا پنجره است.

«U» = ضریب کلی انتقال گرما برحسب $\frac{W}{m^2.^\circ C}$ است که از جدول ۳ــ۲ استخراج می گردد.

در شکل ۲ــ۲ جزئیات دیوارهای جدول ۳ــ۲ ترسیم شده است.

مقدار«U» برای درها و پنجره‌ها را از جدول ۴ــ۲ به‌دست می‌آوریم.

مثال : در شکل ۳ــ۲ ارتفاع دیوار (۳) متر و ارتفاع پنجره (۲) متر است. دیوار از نوع آجری mm(۲۲۰) با اندود داخلی بدون عایق بوده، پنجره فلزی شیشه‌ای معمولی است. دیوار مربوط به اتاق نشیمن یک واحد مسکونی در شهر تبریز است. اتلاف گرمایی دیوار را حساب کنید.

از جدول ۱ــ۲ $t_i=21^\circ C$

از جدول ۲ــ۲ $t_o=-11^\circ C$

از جدول ۳ــ۲ دیوار $U=2/02\frac{W}{m^2.^\circ C}$

از جدول ۴ــ۲ پنجره $U=5/8\frac{W}{m^2.^\circ C}$

مساحت دیوار $A=3\times3=9m^2$

مساحت پنجره $A_2=1/5\times2=3m^2$

مساحت قسمت آجری $A_1=A-A_2=9-3=6m^2$

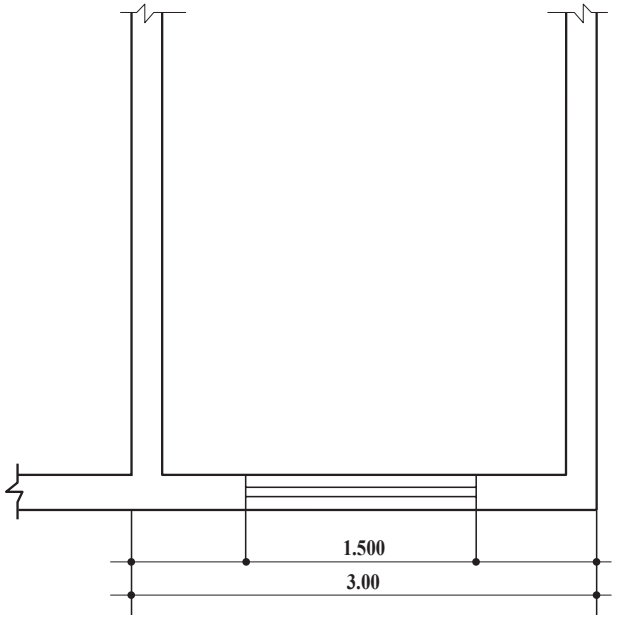
دیوار $H_1=U\ A_1(t_i-t_o)$

$=2/02\times6\times[21-(-11)]$

$=2/02\times6\times32=387/84W$

$H_2=5/8\times3\times32=556/8W$

$H=H_1+H_2=387/84+556/8=944/64W$



شکل ۳ــ۲

۴ــ۲ــ اتلاف گرمایی از سقف

در فرمول «$H=UA(t_i-t_o)$»، «t_i» از جدول ۱ــ۲ و «t_o» از جدول ۲ ــ۲ و«U» از جدول ۵ ــ۲ جهت سقف‌های متداول به‌دست می‌آید.

در سقف بین طبقاتی که دمای بالا و پایین سقف یکی است، مقدار انتقال گرما صفر است.

جدول ۵ــ۲ــ مقدار «U» برای سقف‌های مختلف $\frac{W}{m^2.^\circ C}$

انواع سقف	ضخامت سقف به cm				
	۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰	۳۰
سقف بتونی با آسفالت و اندود در داخل	۳/۶	۳/۴	۲/۹	۲/۵	۲
سقف بتونی با آسفالت بدون اندود	۴/۲	۳/۸	۳/۳	۲/۸	۲/۲
سقف بتونی با آسفالت و (۵ سانتی‌متر) عایق	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱	۰/۹
سقف بتونی با آسفالت و (۵ سانتی‌متر) عایق و اندود	۰/۷	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۶
سقف بتونی با آسفالت و (۱۲ سانتی‌متر) عایق بدون اندود	۱/۹	۱/۹	۱/۷	۱/۶	۱/۵
سقف بتونی با آسفالت و سقف کاذب	ــ	۲	۱/۹	۱/۹	۱/۶
سقف بتونی با آجر میان‌تهی به ضخامت (۱۵ سانتی‌متر)					
و آسفالت و اندود			۲/۵		
سقف معمولی آجری با آسفالت و اندود گچ				۲/۳	

۵ــ۲ــ اتلاف گرمایی از کف و دیوارهای متصل به زمین

برای محاسبهٔ میزان انتقال گرما از دیوارها و کف متصل به زمین، می‌توان برحسب درجهٔ حرارت زمین مقدار اتلاف گرمایی هر مترمربع کف و دیوار متصل به زمین را از جدول ۶ــ۲ به‌دست آورد و در مساحت کف یا دیوار متصل به زمین ضرب کرد.

جدول ۶ــ۲ــ تلفات گرمایی از کف و دیوارهای زیرزمین

اتلاف گرمایی از دیوارهای زیرزمین $\frac{W}{m^2}$	اتلاف گرمایی از کف $\frac{W}{m^2}$	دمای زمین $^\circ C$	مناطق*
۲۰	۱۰	۵	سردسیر
۱۲	۶	۱۰	معتدل
۶	۳	۱۵	گرمسیر

* میانگین دمای کمینه زمستانی کمتر از $-5^\circ C$ مناطق سردسیر

میانگین دمای کمینه زمستانی بین $0^\circ C$ تا $-5^\circ C$ مناطق معتدل

میانگین دمای کمینه زمستانی بیشتر از $0^\circ C$ مناطق گرمسیر

۶ــ۲ــ اتلاف گرمایی در اثر نفوذ هوا از درزها[۱]

در اثر نفوذ هوای سرد از شکاف در و پنجره‌ها (و خروج هوای گرم) مقداری گرما تلف می‌شود که برای محاسبهٔ مقدار اتلاف گرمایی در اثر نفوذ هوای سرد از فرمول

$$H = \frac{۱}{۳} nV(t_i - t_o)$$

استفاده می‌شود که در این فرمول

t_i = دمای هوای گرم داخل برحسب $^\circ C$

t_o = دمای هوای سرد بیرون برحسب $^\circ C$

V = حجم هوای اتاق برحسب $m^۳$

n = دفعات تعویض هوای اتاق در ساعت ($\frac{۱}{hr}$) در اثر نفوذ هوای سرد که از جدول ۷ــ۲ به‌دست می‌آید.

nv = مقدار حجم هوای نفوذی در ساعت بر حسب $\frac{m^۳}{hr}$

$\frac{۱}{۳}$ = عدد ثابت فرمول است

H = اتلاف گرمایی در اثر نفوذ هوای سرد بر حسب W

جدول ۷ــ۲ــ تعداد تعویض هوا در ساعت (n)

وضعیت اتاق	تعداد تعویض هوا در ساعت
اتاق بدون در و پنجرهٔ خارجی	۰/۵
اتاق با در و پنجرهٔ خارجی از یک طرف	۱
اتاق با در و پنجرهٔ خارجی از دو طرف	۱/۵
اتاق با در و پنجرهٔ خارجی از سه یا چند طرف	۲

توجه :

۱ــ برای اتاق‌های در و پنجره‌دار، با زهوار و درزبندی خوب، (۵۰٪) ارقام جدول منظور می‌شود.

۲ــ برای منازل مسکونی ($\frac{۳}{۴}$) ارقام جدول محاسبه می‌شود.

در فضاهایی از قبیل آشپزخانه، کارگاه‌ها و... که از هواکش استفاده می‌شود، میزان هوای تازهٔ نفوذی برابر با دبی یا ظرفیت هواکش خواهد بود.

مثال : در شکل ۴ــ۲ قسمتی از پلان دفتر یک طبقه واقع در شهر گرگان نشان داده شده است. داده‌های مسأله عبارت است از :

۱ــ دیوار خارجی از نوع آجر فشاری (۲۲ سانتی‌متری) با نمای خارجی سنگی و اندود داخلی و بدون عایق.

۲ــ دیوار داخلی از نوع آجر سفالی (۱۱سانتی‌متری) فقط با اندود داخلی

۳ــ سقف از نوع بتونی با آسفالت و اندود داخلی

۴ــ پنجره‌ها، فلزی با شیشهٔ ساده به ابعاد (۲m)×(۳m)

۵ ــ درها از نوع چوبی به ابعاد (۲/۶m)×(۱m)

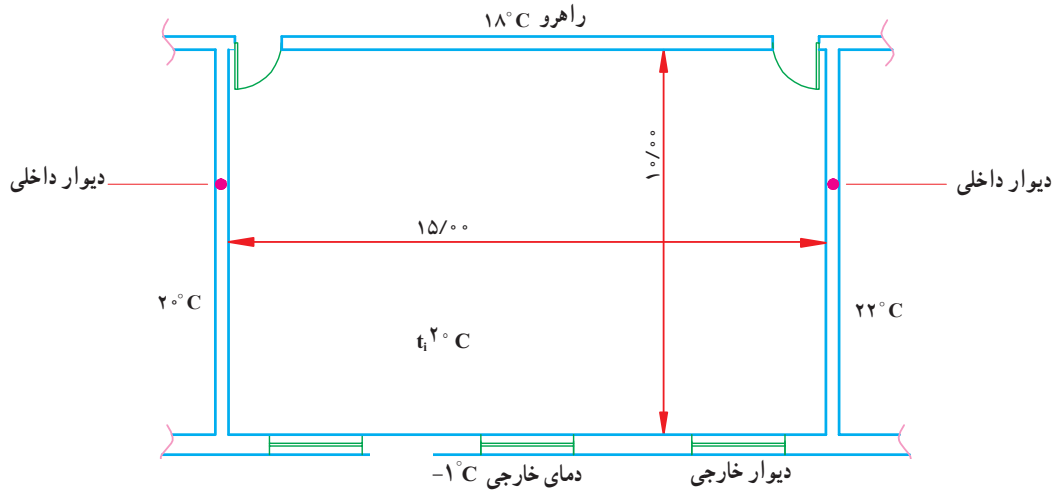
۶ ــ ارتفاع اتاق‌ها (۳m) است.

خواسته‌ها :

۱ــ اتلاف گرمایی از دیوارها، درها، پنجره‌ها و سقف و کف را محاسبه کنید.

۲ــ اتلاف گرمایی درنتیجهٔ نفوذ هوا چه‌قدر است؟

۱ــ Infiltration



شکل ۴ ــ۲ــ پلان دفتر ۱°C-

۳ــ اتلاف گرمایی کلی چه اندازه است؟

پاسخ :

از جدول ۱ــ۲ $t_i=۲۰^{\circ}C$ دمای هوای داخل

از جدول ۲ــ۲ $t_o=-۱^{\circ}C$ دمای هوای خارج

از جدول ۳ــ۲ $U=۱/۸۴\frac{W}{m^۲.K}$ دیوار خارجی

از جدول ۳ــ۲ $U=۲/۸۵\frac{W}{m^۲.K}$ دیوار داخلی

از جدول ۵ــ۲ $U=۲/۵\frac{W}{m^۲.K}$ سقف

از جدول ۶ــ۲ $U=۶\frac{W}{m^۲}$ کف

از جدول ۴ــ۲ $U=۲/۳\frac{W}{m^۲.K}$ در چوبی

از جدول ۴ــ۲ $U=۵/۸\frac{W}{m^۲.K}$ پنجره

پاسخ :

دیوار جنوبی

مساحت کل دیوار $A=۱۵\times۳=۴۵m^۲$

سطح پنجره‌ها $A_۲=۳\times(۳\times۲)=۱۸m^۲$

مساحت دیوار $A_۱=۴۵-۱۸=۲۷m^۲$

$H_۱=UA(t_i-t_o)$

$H_۱=۱/۸۴\times۲۷[۲۰-(-۱)]=۱۰۴۳/۲۸W$

$H_۲=۵/۸\times۱۸(۲۰+۱)=۲۱۹۲/۴W$

$H_۲=۱۰۴۳/۲۸+۲۱۹۲/۴$

جنوبی $H_S=۳۲۳۵/۶۸W$

دیوار شرقی $H_۱=UA(t_i-t_o)$

$H_۱=۲/۸۵\times(۱۰\times۳)(۲۰-۲۲)$

$H=-۱۷۱W$

گرمایی که به یک محل اضافه می‌شود ــ نظیر گرمای مربوط به روشنایی، گرمای مربوط به افراد و نظایر آن (دیوار شرقی) ــ در محاسبات منظور نمی‌شود، چون امکان حذف آن وجود دارد.

دیوار شمالی $A=۱۵\times۳=۴۵m^۲$

سطح درها $A_۲=۲\times(۱\times۲/۶)=۵/۲m^۲$

$A_۱=۴۵-۵/۲=۳۹/۸m^۲$

$H_۲=۲/۸۵\times۳۹/۸(۲۰-۱۸)=۲۲۶/۸۶W$

$H_۲=۲/۳\times۵/۲(۲۰-۱۸)=۲۳/۹W$

$H=H_۱+H_۲=۲۲۶/۸۶+۲۳/۹=۲۵۰/۷۶W$

اتلاف گرمایی از سقف

$H=۲/۵\times(۱۵\times۱۰)(۲۰+۱)=۷۸۷۵W$

اتلاف گرمایی از کف

$H=۶\times(۱۵\times۱۰)=۹۰۰W$

اتلاف گرمایی هوای نفوذی

$$H = \frac{1}{3} nV(t_i - t_o)$$

$$= \frac{1}{3} \times 1 \times (15 \times 10 \times 3)(20 - (-1)) = 3150W$$

$$H_{کل} = H_{شمالی} + H_{جنوبی} + H_{شرقی} + H_{غربی}$$

$$+ H_{سقف} + H_{کف} + H_{هوای تازه} =$$

$$H_T = 250/76 + 3235/68 + 0 + 7875$$

$$+ 900 + 3150 = 15411/44W$$

۷ــ۲ــ ضرایب تصحیح در محاسبات بار گرمایی

اتلاف گرمایی محاسبه شده برای بعضی از ساختمان‌ها که شرایط ویژه‌ای دارند، نمی‌تواند ملاک عمل، جهت انتخاب دستگاه‌های گرمایی باشد. پس لازم است که درصدی به‌عنوان «ضریب تصحیح»، به مقدار بار محاسبه شده اضافه کرد، از جمله : ۱ــ ضریب جهت ۲ــ ضریب موقعیّت ۳ــ ضریب تناوب ۴ــ ضریب ارتفاع را می‌توان نام برد.

۱ــ ۷ ــ۲ــ ضریب جهت :

برای جهت‌های شمال و شرق ۱۰ درصد

برای جهت غرب ۵ درصد

۲ــ ۷ ــ۲ــ ضریب موقعیت : برای سطوحی که بادگیر هستند. ۵ تا ۱۰ درصد

۳ــ ۷ ــ۲ــ ضریب تناوب : ساختمان‌هایی که فقط روزها گرم می‌شوند. ۱۰ تا ۱۵ درصد

ساختمان‌هایی که روزانه مورد استفاده نیستند. ۲۵ تا ۳۰ درصد

ساختمان‌هایی که برای مدت طولانی گرم نمی‌شوند. تا ۵۰ درصد

۴ــ۷ــ۲ــ ضریب ارتفاع : برای اتاق‌هایی که بیش از (۱۵ فوت) یا (۴ متر) ارتفاع دارند.

جدول ۸ ــ۲ــ ضریب ارتفاع

ارتفاع برحسب متر	۱۱	۱۰	۹	۸/۲	۷/۳	۶/۴	۵/۵	۴/۵
ارتفاع برحسب فوت	۳۶	۳۳	۳۰	۲۷	۲۴	۲۱	۱۸	۱۵
درصد اضافی	۲۰	۱۷/۵	۱۵	۱۲/۵	۱۰	۷/۵	۵	۲/۵

۸ــ۲ــ برگ محاسباتی نمونه

در شکل ۵ ــ۲ برگ محاسباتی نمونه ارائه شده است، که برای آشنایی با چگونه پر کردن آن، مسألهٔ نمونهٔ مربوط به شکل ۴ــ۲ را از طریق برگهٔ محاسبات بار گرمایی پاسخ می‌دهیم.

برگهٔ محاسبات بار گرمایی

اتاق				m	طول	°C	دمای طرح داخل
ساختمان	تاریخ			m	عرض	°C	دمای طرح خارج
کاربری	محاسب		m³	m	ارتفاع	°C	اختلاف دما

اتلاف گرمایی از جدارها

اتلاف گرمایی کلی W	جمع ضرایب درصد	ضریب تناوب درصد	ضریب موقعیت درصد	ضریب ارتفاع درصد	ضریب جهت درصد	اتلاف گرمایی W	اختلاف دما °C	U W/m²°C	سطح خالص m²	سطح کم شده m²	ارتفاع m	طول یا عرض m	تعداد	جدار و جهت

اتلاف گرمایی هوای تازه

	°C	m×	m×	m×	$\frac{۱}{hr}$×	۰/۳۳×

جمع

شکل ۵ــ۲ــ برگهٔ نمونه محاسباتی

برگهٔ محاسبات بار گرمایی

اتاق								
ساختمان دفتر	تاریخ ۱۳۸۰							
کاربری اداری	محاسب		m^2 ۴۵۰	حجم				
				ارتفاع	m ۳	°C ۲۱	اختلاف دما	
				عرض	m ۱۰	°C −۱	دمای طرح خارج	
				طول	m ۱۵	°C ۲۰	دمای طرح داخل	

اتلاف گرمایی از جدارها

اتلاف گرمایی کلی W	جمع ضرایب	ضریب تناوب درصد	ضریب موقعیت درصد	ضریب ارتفاع درصد	ضریب جهت درصد	اتلاف گرمایی W	اختلاف دما °C	U $W/m^2{}^\circ C$	سطح خالص m^2	سطح کم شده m^2	ارتفاع m	طول یا عرض m	تعداد	جدار	جهت
۱۱۴۷	۱۰	۱۰	–	–	–	۱۰۴۳	۲۱	۱/۸۴	۲۷	۱۸	۳	۱۵		دیوار	جنوبی
۲۴۱۱	۱۰	۱۰	–	–	–	۲۱۹۲	۲۱	۵/۸	۱۸	–	۲	۳	۳	پنجره	جنوبی
۲۵۰	۲۰	۱۰			۱۰	۲۲۷	۲	۲/۸۵	۳۹/۸	۵/۲	۳	۱۵		دیوار	شمالی
۲۹	۲۰	۱۰	–	–	۱۰	۲۴	۲	۲/۳	۵/۲	–	۲/۶	۱	۲	در	شمالی
۸۶۶۳	۱۰	۱۰	–	–	–	۷۸۷۵	۲۱	۲/۵	۱۵۰	–	۱۰	۱۵		سقف	
۹۹۰	۱۰	۱۰				۹۰۰	–	۶/۳	۱۵۰	–	۱۰	۱۵		کف	

اتلاف گرمایی هوای تازه

۳۱۵۰		°C	۲۱	m×	۳	m×	۱۰	m×	۱۵	$1\frac{1}{hr}\times$	۰/۳۳×			
۱۶۶۴۰	جمع													

ادامهٔ شکل ۵ــ۲ــ برگهٔ نمونه محاسباتی

پرسش و تمرین

۱ــ در شکل ۶ــ۲ یک کلاس درس نشان داده شده است؛ براساس داده‌ها، اتلاف گرمایی کلاس درس را حساب کنید. از ضرایب تصحیح صرف نظر شود.

دمای داخل کلاس ($20^{\circ}C$)؛

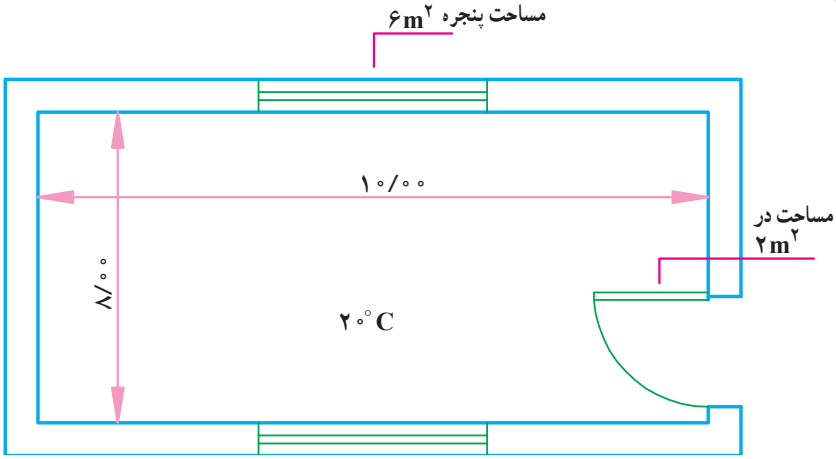
دمای هوای بیرون ($-1^{\circ}C$)؛

مساحت در ($2m^2$)؛

مساحت پنجره‌ها ($12m^2$)؛

ارتفاع کلاس ($3m$).

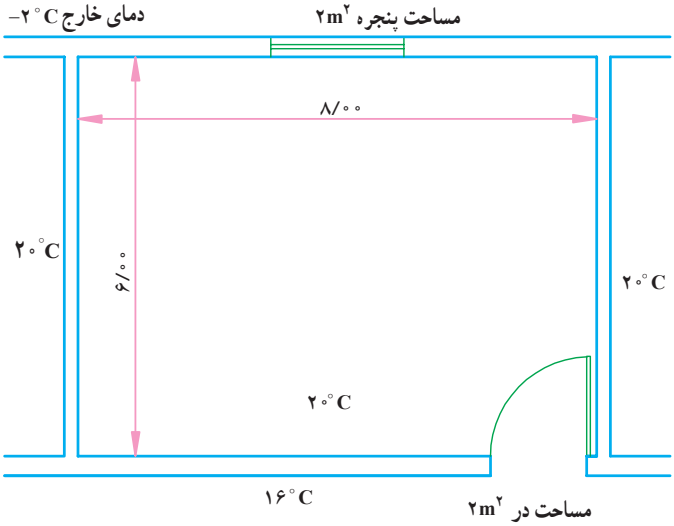
پاسخ : ۹۰۷۲W



مقادیر «U»	
دیوارهای خارجی	$1/47\ W/m^2k$
پنجره‌ها	۵/۶
در	۲/۳
سقف	۰/۴۹
کف متصل به زمین است	

شکل ۶ــ۲ــ پلان کلاس درس

۲ــ شکل ۷ــ۲ پلان یک دفتر را در طبقهٔ سوم یک ساختمان چهار طبقه نشان می‌دهد؛ طبقات دیگر نیز از همان ساختار و شرایط گرمایی برخوردارند، از روی داده‌های زیر میزان اتلاف گرمایی کلی را حساب کنید.



شکل ۷ــ۲ــ پلان یک دفتر کار

الف) محل ساختمان، شهر مشهد؛

ب) ارتفاع طبقات (۳ متر)؛

پ) دیوارهای خارجی آجر فشاری (۲۲ سانتی‌متری) با اندود داخلی و نمای سنگی؛

ت) دیوارهای داخلی آجر فشاری (۱۱سانتی‌متر) فقط با اندود داخلی؛

ت) پنجره‌ها از نوع آهنی با شیشه ساده؛

ج) درها چوبی هستند.

پاسخ : ۳۲۶۷W (بدون احتساب ضرایب تصحیح)

۳ــ مطلوبست محاسبه تلفات گرمایی از دیوارها ــ در ــ پنجره و نفوذ هوا و تعداد پره رادیاتور برای سالن اجتماعات واقع در طبقه دوم ساختمانی با شرایط زیر : (سقف و کف محاسبه نشود)

۱ــ دیوار خارجی با ضریب کل انتقال گرما $U=۱/۹\ W/m^۲k$

۲ــ دیوار داخلی با ضریب کل انتقال گرما $U=۳/۴\ W/m^۲k$

۳ــ درب چوبی با ضریب هدایت کل گرمایی $U=۲/۳\ W/m^۲k$

۴ــ پنجره فلزی با شیشهٔ ساده با ضریب هدایت کل گرمایی $U=۵/۸\ W/m^۲k$

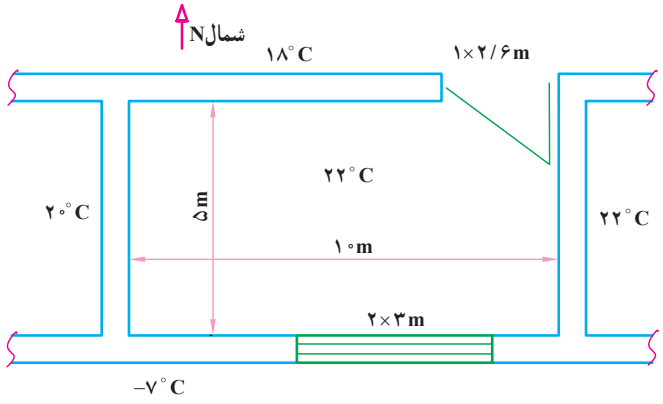
۵ــ تعداد تعویض هوا ۱/۵ بار در ساعت است

۶ــ قدرت حرارت‌دهی هر پره رادیاتور ۱۲۵ kcal/h می‌باشد.

۷ــ ارتفاع سالن ۳ متر

۸ــ از ضرایب تصحیح صرف نظر شود (شکل۸ــ۲).

پاسخ : ۴۲۸۰W ، ۳۰ پره



(سؤال امتحان نهایی شهریور ماه ۱۳۸۵)

شکل ۸ــ۲

۴ــ شکل ۹ــ۲ پلان یک ساختمان یک طبقه، واقع در شهر کرمان را نشان می‌دهد با توجه به شکل و داده‌های زیر اتلاف گرمایی هر یک از اتاق‌ها و ساختمان را حساب کنید.

الف) ارتفاع اتاق‌ها (۲/۸ متر) است؛

ب) ساختمان از چهار طرف با هوای خارج در تماس است؛

پ) پنجره از نوع فلزی با شیشهٔ مضاعف به ارتفاع ۱/۵ متر و طول۱/۲ متر؛

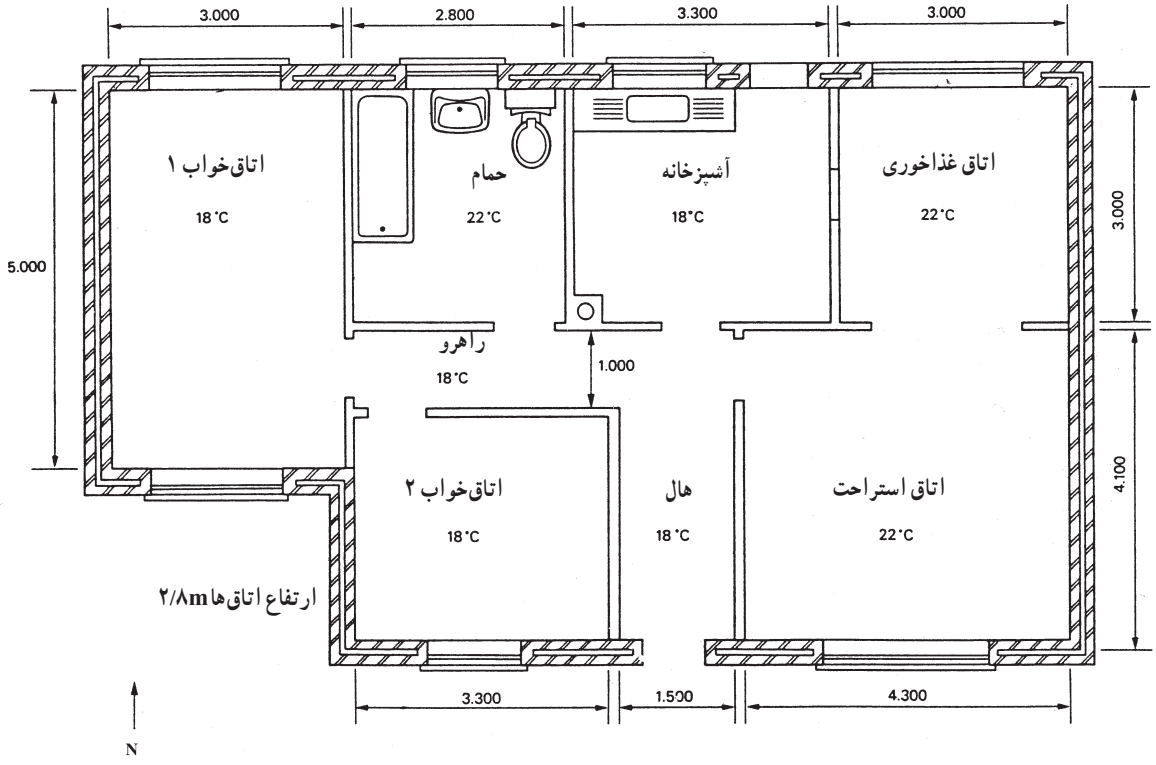
ت) کلیّه درها چوبی و دارای ۲/۲ متر ارتفاع و ۰/۹متر عرض هستند؛

ث) سقف از نوع معمولی آجری با آسفالت و اندود گچ؛

ج) دیوارهای خارجی از نوع آجری ۳۳ سانتی‌متری با اندود داخلی و نمای سنگی؛

خ) مقدار U برای دیوارهای داخلی $۱/۲\frac{W}{m^{۲}.^{\circ}C}$ است.

پاسخ : اتلاف گرمایی کل اتاق‌ها W۹۸۰۰



شکل ۹ ــ۲ــ پلان یک ساختمان یک طبقهٔ دوخوابه

در شکل ۱۰ــ۲ قسمتی از پلان یک ساختمان اداری دو طبقه واقع در شهر زاهدان نشان داده شده است.

با توجه به اطلاعات زیر اتلاف گرمایی فضای مورد نظر را به‌دست آورید.

الف) دمای فضای مورد نظر $۲۲^{\circ}C$ می‌باشد.

ب) دمای هوای خارج $(-۸)^{\circ}C$

پ) ضریب کل انتقال گرمای دیوار خارجی $U=۱/۵ w/m^{۲}{}^{\circ}C$

ت) ضریب کل انتقال گرمای دیوار داخلی $U=۲ w/m^{۲}{}^{\circ}C$

ث) ضریب کل انتقال گرمای سقف $U=۲ w/m^{۲}{}^{\circ}C$

ج) ضریب کل انتقال گرمای پنجره $U=(۵/۸) w/m^{۲}{}^{\circ}C$

هـ) ضریب کل انتقال گرمای در $U=(۲/۳) w/m^{۲}{}^{\circ}C$

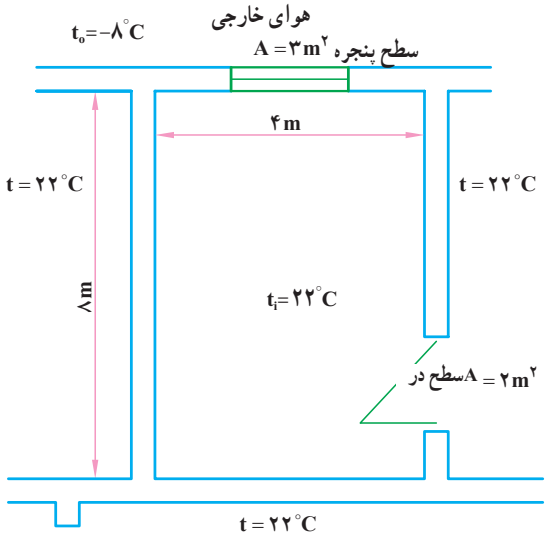
خ) تعداد دفعات تعویض هوای اتاق یک دفعه در ساعت می‌باشد.

د) ارتفاع دیوارها ۳ متر می‌باشد.

ز) فضای موردنظر در طبقه‌آخر ساختمان بوده و با طبقه زیرین هم‌دما می‌باشد.

تذکر : از ضرایب تصحیح صرف‌نظر شود.

پاسخ : ۳۸۰۷ W



(سؤال امتحان نهایی دی ماه ۱۳۸۳)

شکل ۱۰ــ۲

۷ــ یک سالن به ابعاد ۳۰m×۱۶m×۸m مطابق شکل دارای ۸ عدد پنجره به ابعاد ۲m×۳m و دو عدد در به ابعاد ۳m×۴m می‌باشد از چهار طرف با هوای آزاد در تماس می‌باشد؛ با توجه به شکل و معلومات داده شده مطلوبست :

الف) محاسبه بار حرارتی از سقف و کف و دیوارها

ب) محاسبه حجم هوای نفوذی (به‌روش حجمی)

پ) محاسبه بار حرارتی کلی

$U=۱/۵\frac{W}{m^{۲}.K}$ دیوارها ، سقف و کف $t_o=-۲^{\circ}C$ $t_i=۱۸^{\circ}C$ دمای داخل

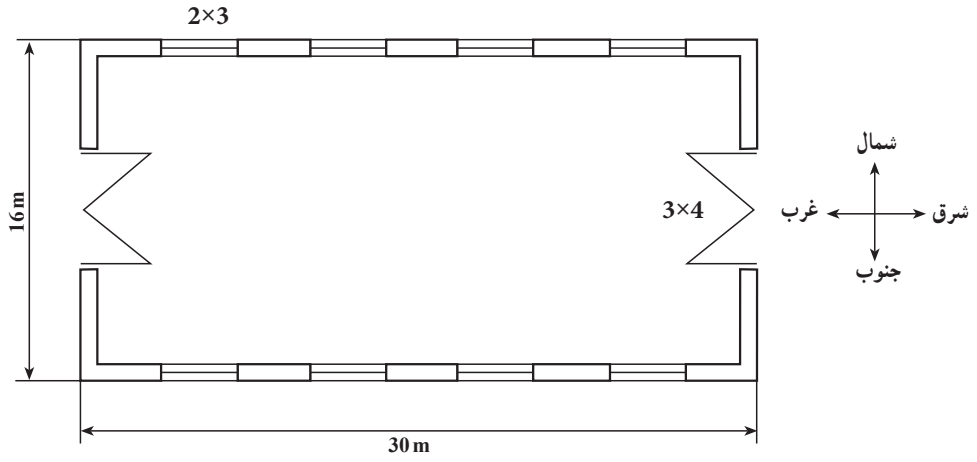
$U=۵/۸\frac{W}{m^{۲}.K}$ در و پنجره

پاسخ :

الف) ۴۷۴۷۲ W

ب) ۵۱۲۰۰W

پ) ۹۸۶۷۲W



شکل ۱۱ــ۲