



دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مهندسی مکانیک

طرح سیستمهای تهویه مطبوع

دکتر محمد حسن سعیدی

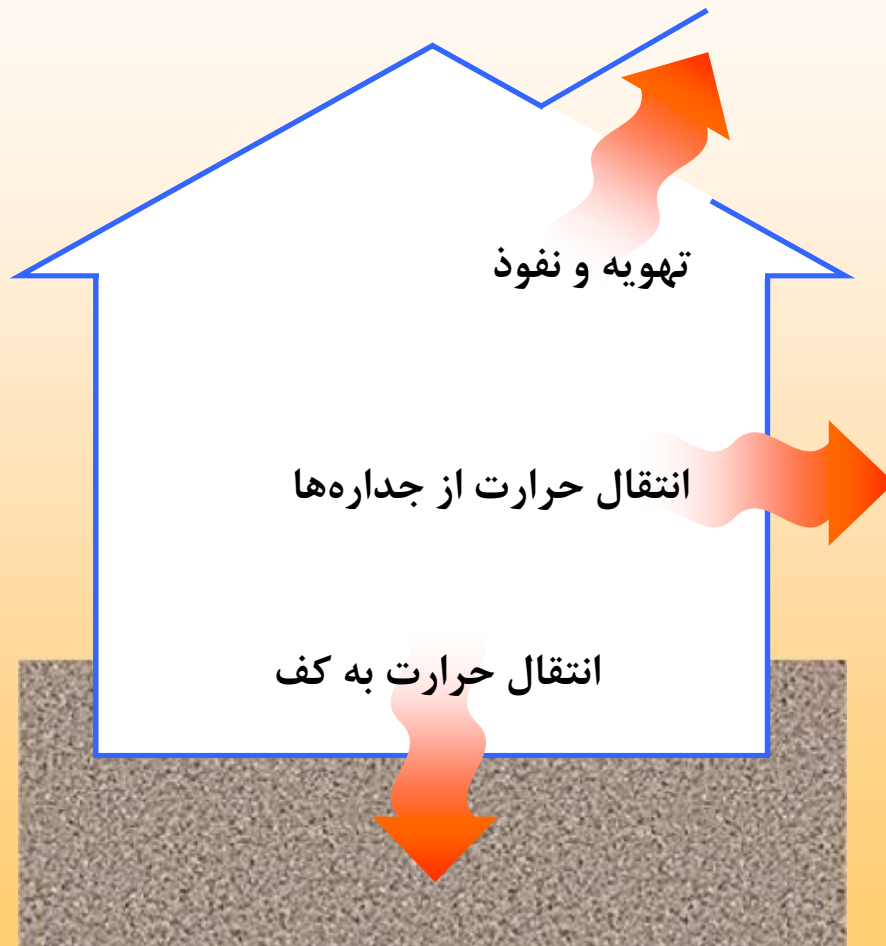
محاسبات بار گرمایشی

بار گرمایشی در فصل زمستان از دو بخش اصلی تشکیل می شود:

§ اتلافات حرارتی از جداره های ساختمان
§ اتلافات حرارتی ناشی نفوذ یا تهویه

با توجه به نحوه محاسبات بار، اتلافات حرارتی از جداره های ساختمان را می توان به دو بخش تقسیم نمود:

§ اتلافات حرارتی از دیوارها، سقف و پنجره
§ اتلافات حرارتی از دیوار زیرزمین و کف



اتلافات حرارتی از جداره های ساختمان

با استفاده از مفهوم ضریب کلی انتقال حرارت و رابطه سرمایش نیوتن می توان نوشت:

$$q = UA(T_i - T_o)$$

با صرف نظر کردن از اثرات تشعشعی در محاسبات بار گرمایشی، ضریب انتقال حرارت کلی جدار عبارت است از:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \sum R_n + \frac{1}{h_o}$$

مقاومت حرارتی اجزای مختلف ساختمانی و نیز فیلم هوای داخل و خارج در جداول ضمیمه ارائه شده و عناوین مهم با کادر قرمز رنگ مشخص شده است.

اتلافات حرارتی از جداره های ساختمان

MATERIAL	DESCRIPTION	THICK-NESS (in.)	DENSITY (lb per cu ft)	WEIGHT (lb per sq ft)	RESISTANCE R	
					Per Inch Thickness $\frac{1}{k}$	For Listed Thickness $\frac{1}{c}$
BUILDING MATERIALS						
BUILDING BOARD Boards, Panels, Sheathing, etc	Asbestos-Cement Board	1/4	120	—	0.25	—
	Asbestos-Cement Board	1/2	120	1.25	—	0.03
	Gypsum or Plaster Board	1/2	50	1.58	—	0.32
	Gypsum or Plaster Board	1/2	50	2.08	—	0.45
	Plywood	1/4	34	—	1.25	—
	Plywood	1/4	34	0.71	—	0.31
	Plywood	3/8	34	1.06	—	0.47
	Plywood	1/2	34	1.42	—	0.63
	Plywood or Wood Panels	3/4	34	2.13	—	0.94
	Wood Fiber Board, Laminated or Homogeneous		26	—	2.38	—
		31	—	2.00	—	
	Wood Fiber, Hardboard Type	1/4	65	—	0.72	—
	Wood Fiber, Hardboard Type	1/2	65	1.35	—	0.18
	Wood, Fir or Pine Sheathing	1/2	32	2.08	—	0.98
	Wood, Fir or Pine	1 1/2	32	4.34	—	2.03
BUILDING PAPER	Vapor Permeable Felt			—	—	0.06
	Vapor Seal, 2 Layers of Matted 15 lb felt			—	—	0.12
	Vapor Seal, Plastic Film			—	—	Negl
WOODS	Maple, Oak, and Similar Hardwoods		45	—	0.91	—
	Fir, Pine, and Similar Softwoods		32	—	1.25	—
MASONRY UNITS	Brick, Common	4	120	40	—	.80
	Brick, Face	4	130	43	—	.44
	Clay Tile, Hollow:					
	1 Cell Deep	3	60	15	—	0.80
	1 Cell Deep	4	48	16	—	1.11
	2 Cells Deep	6	50	25	—	1.52
	2 Cells Deep	8	45	30	—	1.85
	2 Cells Deep	10	42	35	—	2.22
	3 Cells Deep	12	40	40	—	2.50
	Concrete Blocks, Three Oval Core	3	76	19	—	0.40
	Sand & Gravel Aggregate	4	69	23	—	0.71
		6	64	32	—	0.91
		8	64	43	—	1.11
		12	63	63	—	1.28
	Cinder Aggregate	3	68	17	—	0.86
		4	60	20	—	1.11
		6	54	27	—	1.50
		8	56	37	—	1.72
		12	53	53	—	1.89
	Lightweight Aggregate (Expanded Shale, Clay, Slate or Slag; Pumice)	3	60	15	—	1.27
		4	52	17	—	1.50
		8	48	32	—	2.00
		12	43	43	—	2.27
	Gypsum Partition Tile:					
	3"x12"x30" solid	3	45	11	—	1.26
	3"x12"x30" 4-cell	3	35	9	—	1.35
	4"x12"x30" 3-cell	4	38	13	—	1.67
	Stone, Lime or Sand		150	—	0.08	—

اتلافات حرارية

MATERIAL	DESCRIPTION	THICK-NESS (in.)	DENSITY (lb per cu ft)	WEIGHT (lb per sq ft)	RESISTANCE R		
					Per Inch Thickness $\frac{1}{k}$	For Listed Thickness $\frac{1}{c}$	
BUILDING MATERIALS, (CONT.)							
MASONRY MATERIALS Concretes	Cement Mortar		116	—	0.20	—	
	Gypsum-Fiber Concrete 87½% gypsum, 12½% wood chips		51	—	0.60	—	
	Lightweight Aggregates including Expanded Shale, Clay or Slate		120	—	0.19	—	
	Expanded Slag, Cinders		100	—	0.28	—	
	Pumice; Perlite; Vermiculite		80	—	0.40	—	
	Also, Cellular Concretes		60	—	0.59	—	
			40	—	0.86	—	
			30	—	1.11	—	
			20	—	1.43	—	
		Sand & Gravel or Stone Aggregate (Oven Dried)		140	—	0.11	—
	Sand & Gravel or Stone Aggregate (Not Dried)		140	—	0.08	—	
	Stucco		116	—	0.20	—	
PLASTERING MATERIALS	Cement Plaster, Sand Aggregate		116	—	0.20	—	
	Sand Aggregate	½	116	4.8	—	0.10	
	Sand Aggregate	¾	116	7.2	—	0.15	
	Gypsum Plaster:						
	Lightweight Aggregate	½	45	1.88	—	0.32	
	Lightweight Aggregate	¾	45	2.84	—	0.39	
	Lightweight Aggregate on Metal Lath	¾	45	2.80	—	0.47	
	Perlite Aggregate		45	—	0.67	—	
	Sand Aggregate		105	—	0.16	—	
	Sand Aggregate	½	105	4.4	—	0.09	
	Sand Aggregate	¾	105	5.5	—	0.11	
	Sand Aggregate on Metal Lath	¾	105	6.6	—	0.13	
Sand Aggregate on Wood Lath		105	—	—	0.40		
	Vermiculite Aggregate		45	—	0.59	—	
ROOFING	Asbestos-Cement Shingles		120	—	—	0.21	
	Asphalt Roll Roofing		70	—	—	0.15	
	Asphalt Shingles		70	—	—	0.44	
	Built-up Roofing	¾	70	2.2	—	0.33	
	Stone	¾	201	8.4	—	0.05	
	Sheet Metal		—	—	Negl	—	
	Wood Shingles		40	—	—	0.94	
SIDING MATERIALS (On Flat Surface)	Shingles						
	Wood, 16", 7½" exposure		—	—	—	0.87	
	Wood, Double, 16", 12" exposure		—	—	—	1.19	
	Wood, Plus Insul Backer Board, ¾"		—	—	—	1.40	
	Siding						
	Asbestos-Cement, ¼" lapped		—	—	—	0.21	
	Asphalt Roll Siding		—	—	—	0.15	
	Asphalt Insul Siding, ½" Board		—	—	—	1.45	
	Wood, Drop, 1"x8"		—	—	—	0.79	
	Wood, Bevel, ½"x8", lapped		—	—	—	0.81	
	Wood, Bevel, ¾"x10", lapped		—	—	—	1.05	
	Wood, Plywood, ¾", lapped		—	—	—	0.59	
	Structural Glass		—	—	—	0.10	
	FLOORING MATERIALS	Asphalt Tile	¾	120	1.25	—	0.04
		Carpet and Fibrous Pad		—	—	—	2.08
Carpet and Rubber Pad			—	—	—	1.33	
Ceramic Tile		1	—	—	—	0.08	
Cork Tile			23	—	2.22	—	
Cork Tile		¾	23	0.26	—	0.28	
Felt Flooring			—	—	—	0.04	
Floor Tile		¾	—	—	—	0.05	
Linoleum		¾	80	0.83	—	0.08	
Plywood Subfloor		¾	34	1.77	—	0.78	
Rubber or Plastic Tile		¼	110	1.55	—	0.03	
Terrazzo		1	140	11.7	—	0.08	
Wood Subfloor	¾	32	2.08	—	0.98		
Wood, Hardwood Finish	¾	45	2.81	—	0.68		

اتلافات حرارية

MATERIAL	DESCRIPTION	THICK-NESS (in.)	DENSITY (lb per cu ft)	WEIGHT (lb per sq ft)	RESISTANCE R		
					Per Inch Thickness $\frac{1}{k}$	For Listed Thickness $\frac{1}{c}$	
INSULATING MATERIALS							
BLANKET AND BATT	Cotton Fiber		0.8 - 2.0	—	3.85	—	
	Mineral Wool, Fibrous Form Processed From Rock, Slag, or Glass		1.5 - 4.0	—	3.70	—	
	Wood Fiber		3.2 - 3.6	—	4.00	—	
	Wood Fiber, Multi-layer Stitched Expanded		1.5 - 2.0	—	3.70	—	
BOARD AND SLABS	Glass Fiber		9.5	—	4.00	—	
	Wood or Cane Fiber Acoustical Tile	1/2	22.4	.93	—	1.19	
	Acoustical Tile	3/4	22.4	1.4	—	1.78	
	Interior Finish (Tile, Lath, Plank)		15.0	—	2.86	—	
	Interior Finish (Tile, Lath, Plank)	1/2	15.0	0.62	—	1.43	
	Roof Deck Slab						
	Sheathing (Impreg or Coated)		20.0	—	2.63	—	
	Sheathing (Impreg or Coated)	1/2	20.0	0.83	—	1.32	
	Sheathing (Impreg or Coated)	3/4	20.0	1.31	—	2.06	
	Cellular Glass		9.0	—	2.50	—	
	Cork Board (Without Added Binder)		6.5 - 8.0	—	3.70	—	
	Hog Hair (With Asphalt Binder)		8.5	—	3.00	—	
	Plastic (Foamed)		1.62	—	3.45	—	
Wood Shredded (Cemented in Preformed Slabs)		22.0	—	1.82	—		
LOOSE FILL	Macerated Paper or Pulp Products		2.5 - 3.5	—	3.57	—	
	Wood Fibers Redwood, Hemlock, or Fir		2.0 - 3.5	—	3.33	—	
	Mineral Wool (Glass, Slag, or Rock)		2.0 - 5.0	—	3.33	—	
	Sawdust or Shavings		8.0 - 15.0	—	2.22	—	
	Vermiculite (Expanded)		7.0	—	2.08	—	
ROOF INSULATION	All Types						
	Preformed, for use above deck						
	Approximately	1/2	15.6	.7	—	1.39	
	Approximately	1	15.6	1.3	—	2.78	
	Approximately	1 1/2	15.6	1.9	—	4.17	
	Approximately	2	15.6	2.6	—	5.26	
	Approximately	2 1/2	15.6	3.2	—	6.67	
Approximately	3	15.6	3.9	—	8.33		
AIR							
AIR SPACES	POSITION	HEAT FLOW					
	Horizontal	Up (Winter)	3/4 - 4	—	—	0.85	
	Horizontal	Up (Summer)	3/4 - 4	—	—	0.78	
	Horizontal	Down (Winter)	3/4	—	—	1.02	
	Horizontal	Down (Winter)	1 1/2	—	—	1.15	
	Horizontal	Down (Winter)	4	—	—	1.23	
	Horizontal	Down (Winter)	8	—	—	1.25	
	Horizontal	Down (Summer)	3/4	—	—	0.85	
	Horizontal	Down (Summer)	1 1/2	—	—	0.93	
	Horizontal	Down (Summer)	4	—	—	0.99	
	Sloping 45°	Up (Winter)	3/4 - 4	—	—	0.90	
	Sloping 45°	Down (Summer)	3/4 - 4	—	—	0.89	
	Vertical	Horiz. (Winter)	3/4 - 4	—	—	0.97	
	Vertical	Horiz. (Summer)	3/4 - 4	—	—	0.86	
	AIR FILM	POSITION	HEAT FLOW				
		Horizontal	Up		—	—	0.61
Sloping 45°		Up		—	—	0.62	
Vertical		Horizontal		—	—	0.68	
Sloping 45°		Down		—	—	0.76	
Horizontal		Down		—	—	0.92	
15 Mph Wind		Any Position (For Winter)	Any Direction		—	—	0.17
		Any Position (For Summer)	Any Direction		—	—	0.25

اتلافات حرارتی از جداره های ساختمان

GLASS											
	Vertical Glass							Horizontal Glass			
	Single	Double			Triple			Single		Double (1/4")	
Air Space Thickness (in.)		1/4	1/2	3/4-4	1/4	1/2	3/4-4	Summer	Winter	Summer	Winter
Without Storm Windows	1.13	0.61	0.55	0.53	0.41	0.36	0.34	0.86	1.40	0.50	0.70
With Storm Windows	0.54							0.43	0.64		

DOORS		
Nominal Thickness of Wood (Inches)	U Exposed Door	U With Storm Door
1	0.69	0.35
1 1/4	0.59	0.32
1 1/2	0.52	0.30
1 3/4	0.51	0.30
2	0.46	0.28
2 1/2	0.38	0.25
3	0.33	0.23
Glass (3/4" Herculite)	1.05	0.43

اتلافات حرارتی از زیرزمین و کف

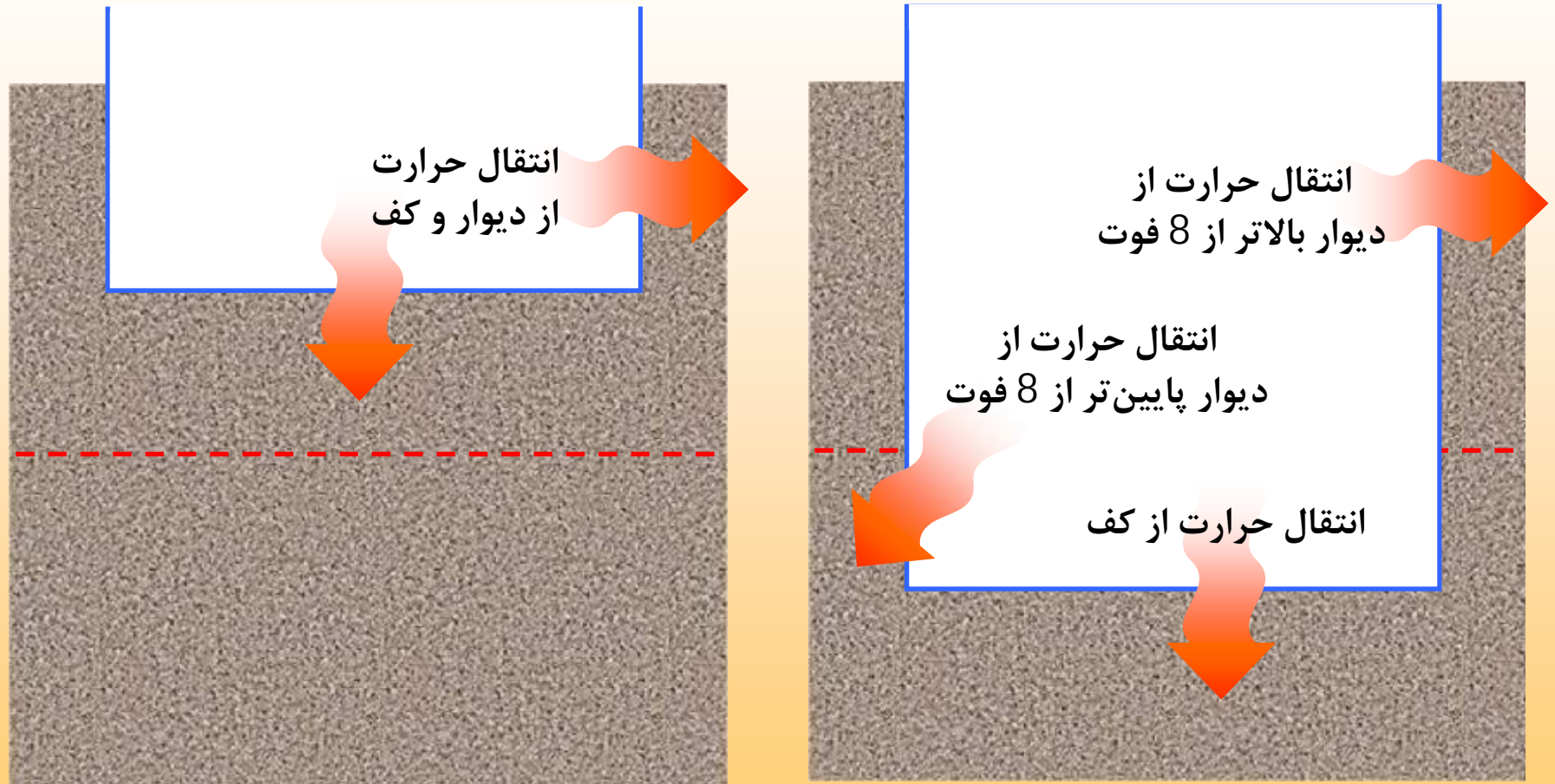
§ دمای داخلی زمین در نزدیک سطح تابع دمای محیط خارج بوده و این وابستگی با افزایش عمق به تدریج کاهش می‌یابد به نحوی که در عمق بیشتر از 8 فوت دمای زمین در طول سال تقریباً ثابت می‌باشد.

§ بنابراین در عمق کمتر از 8 فوت، دمای زمین در مجاورت دیوارهای زیرزمین و نیز کف ساختمان یکنواخت نخواهد بود. به این ترتیب انتقال حرارت از دیوارهای زیرزمین و نیز کف ساختمان کاملاً سه‌بعدی بوده و لذا جهت تخمین آن از داده‌های آزمایشی استفاده می‌گردد.



Outdoor Design Temp (F)	-30	-20	-10	0	+10	+20
Ground Temp (F)	40	45	50	55	60	65

اتلافات حرارتی از زیرزمین و کف

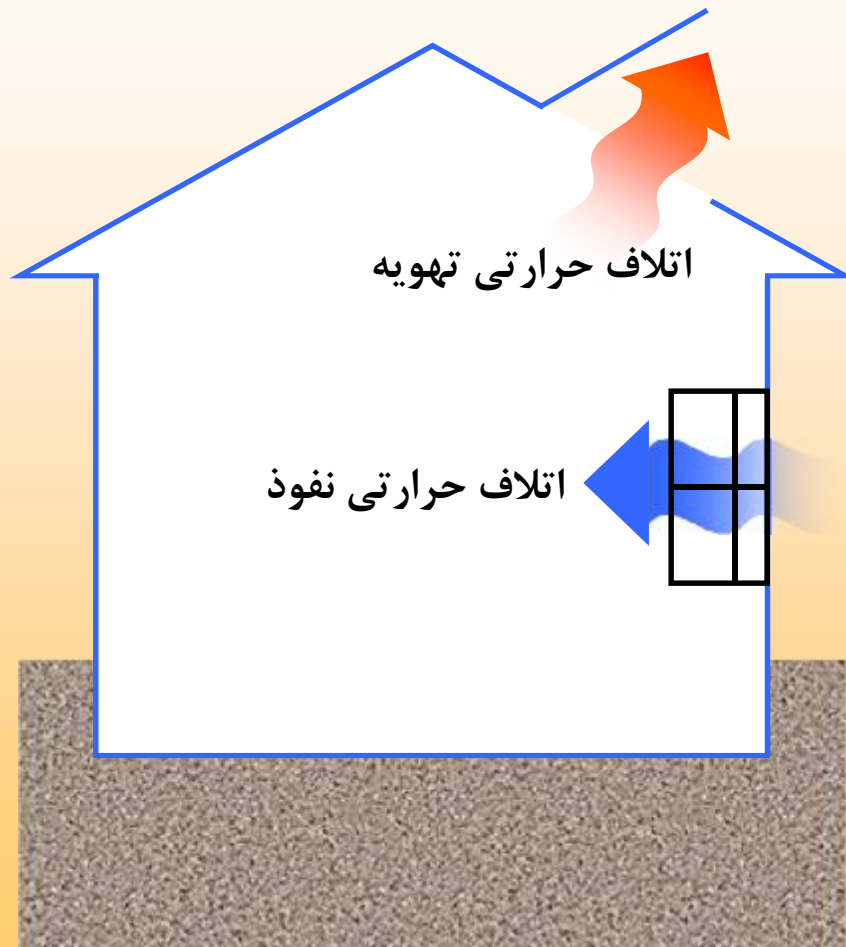


Floor or Wall	Transmission Coefficient U Btu/(hr) (sq ft) (deg F)
Basement Floor	.05
Portion of Wall exceeding 8 feet below ground level	.08

$$q = F_p L_p (T_i - T_o) + U A_b (T_i - T_g)$$

Distance of Floor From Ground Level	Perimeter Factor [q]
2 Feet above	.90
At ground level	.60
2 Feet below	.75
4 Feet below	.90
6 Feet below	1.05
8 Feet below	1.20

اتلافات حرارتی ناشی از نفوذ و تهویه

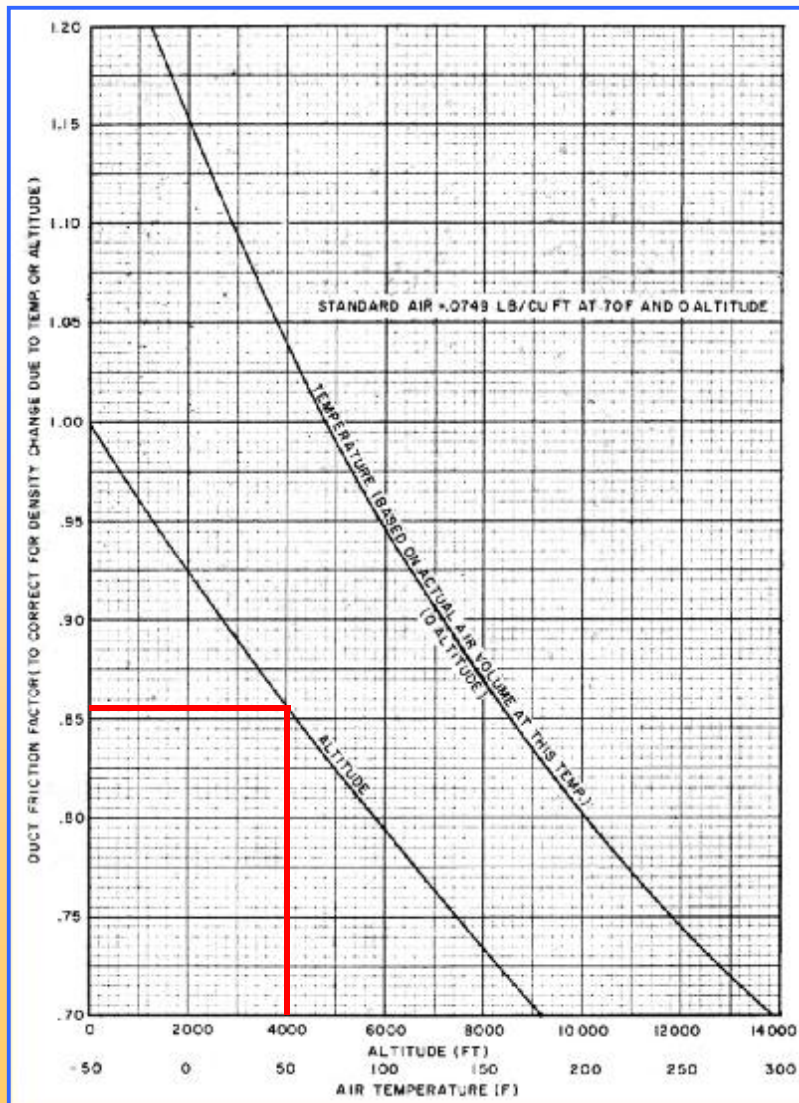


چنانچه گذر حجمی هوای نفوذ یا تهویه مشخص باشد، بار گرمایشی ناشی ورود هوای سرد عبارت است از:

$$q = 0.018 \times V \times (T_i - T_o)$$

ضریب 018/0 در رابطه فوق برای هوا در شرایط استاندارد 70 °F و فشار اتمسفر بوده و برای سایر شرایط باید از ضریب تصحیح چگالی، که در نمودار صفحه بعد داده شده است، استفاده نمود. در دمای 30 تا 120 °F و ارتفاع تا 2000 ft اثر تصحیح چگالی ناچیز بوده و رابطه به شکل ارایه شده، معتبر می باشد.

اتلافات حرارتی ناشی از نفوذ و تهویه



هر چند در بسیاری از موارد تصحیح چگالی ناشی از هوا ناچیز است، اما ارتفاع محل تاثیر به سزایی در چگالی هوا و به تبع آن میزان بار حرارتی ناشی از نفوذ و تهویه دارد، به عنوان مثال برای شهر تهران، با ارتفاع 4000 ft از سطح دریا، ضریب تصحیح چگالی برابر $86/0$ و لذا ضریب رابطه صفحه قبل برابر $93/0$ خواهد بود.