

جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الانبار - كلية الهندسة
قسم الهندسة الميكانيكية

كراس هندسة تكييف الهواء والتثليج

**Mini-Manual the Principles of Air Conditioning and
Refrigeration Engineering**

إعداد
د. عامر جميل شريف

الطبعة الاولى 2016

المقدمة

نظرا لاهمية تكييف المباني السكنية والخدمية في فصلي الشتاء والصيف, تقرر وضع كافة القوانين والمخططات والجداول الفعالة في هذا الجانب الحيوي من الجوانب الفعالة لخدمات المباني الحديثة ليكون مرجع مهم للطلاب والمهندسين المبتدئين في مجال هندسة تكييف الهواء والتثليج.

تم أستوحاء فكرة هذا الدليل من كتاب مبادئ هندسة التكييف والتثليج للمؤلف د.خالد أحمد الجودي, وكذلك ترتيب اقسامه حسب تصنيف الفصول الواردة فيه. لذلك يعتبر هذا الدليل مساند للكتاب المذكور أنفا. حيث يعرض هذا الدليل الخواص الاساسية لخليط الهواء وبخاء الماء كونه الاساس في معرفة متطلبات وحاجيات تكييف المباني. حيث يتم حساب هذه الخواص الاساسية بواسطة القوانين المهمة والخطط المرصدي. ثم يتطرق الى أهم علميات تكييف الهواء المختلفة والتي تمثل على المخطط المرصدي مع كيفية تتبع هذه العمليات. تم يتناول تعيين الظروف الداخلية والخارجية وتحديد أهم عوامل الراحة للانسان ليكون مدخلا الى حسابات حمل التدفئة شتاءا وحمل التبريد صيفا, وكذلك حساب سعة ملفات التبريد وتسخين والترطيب.

ولاهمية تصميم منظومات توزيع الهواء, تم تناول أهم أنواع منظومات تكييف الهواء مع حسابات تدفق وسرع الهواء داخل هذه المنظومات مع اختيار التصميم المناسب لمجاري الهواء. بالاضافة الى ذكر أهم الحسابات للتصميم المناسب لمنظومات أنابيب توزيع الماء لمنظومات التكييف مع الاختيار الانسب لمضخات الماء.

ولاهمية معرفة أسس ومكونات دوائر التثليج البسيطة والحقيقة, تم التطرق الى أهم طرق التثليج الانضغاطية (دورة كارنوت, دورة التثليج الانضغاطية المثالية, دورة التثليج فائقة التبريد) مع ذكر اهم خواص موائع التثليج المستخدمة في هذا الجانب. بالاضافة الى منظومات التثليج الامتصاصية الاساسية ودورات الهواء للتثليج.

ونأمل ان نكون قد وفقنا في عرض هذا الموضوع الكبير في الطبعة الاولى لهذا الدليل, مع الشكر والعرفان لجميع المقترحات والتوصيات لغرض تغطية هذا الجانب المهم من مبادئ هندسة التكييف والتثليج.

جدول المحتويات

1. الخواص الاساسية لخليط الهواء وبخار الماء
2. عمليات المخطط المبردي
3. الانسان والبيئة المكيفة
4. حسابات حمل التدفئة
5. حسابات حمل التبريد
6. منظومات تكييف الهواء
7. تصميم منظومات توزيع الهواء
8. تصميم منظومات الانابيب
9. منظومات التثليج

محتويات الجداول والمخططات

- جدول (2.1) خواص الماء وبخار الماء المشبعين
- جدول (2.2) قيم المعامل f_s
- جدول (4.2) معدل الايض لانشطة نموذجية مختلفة
- جدول (4.3) معدلات الكسب الحراري من شاغلي الاماكن المكيفة عند ($t_d=25.5^{\circ}\text{C}$)
- جدول (4.5) معدلات التهوية
- جدول (4.4) معامل حمل التبريد للحرارة المحسوسة من شاغلي الحيز المكيف (CLF)
- جدول (4.6) معدلات تغير الهواء المحتملة (n) بالطرق الاعتيادية للدور السكنية بمعزل عن التهوية المجهزة
- جدول (4.7) ظروف التصميم الخارجية
- جدول (5.1) الموصلية الحرارية بدرجة حرارة (0°C) لمواد مختلفة
- جدول (5.2) معامل المواصلة الحرارية (a) لطبقات الهواء العمودية
- جدول (5.3) معاملات التوصيل الحراري ($\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$) (k) والمواصلة الحرارية ($\text{W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$) (C) للمواد الانشائية بدرجة حرارة 25°C تقريبا
- جدول (5.4) معامل الضرب من الجدول
- جدول (6.2) فرق درجات حرارة حمل التبريد (CLTD) للسقوف مع سقف ثانوي
- جدول (6.2) فرق درجات حرارة حمل التبريد (CLTD) للسقوف بدون سقف ثانوي
- جدول (6.3) تصنيف الجدران حسب التركيب الانشائي
- جدول (6.4) فرق درجات حرارة حمل التبريد (CLTD) للجدران
- جدول (6.5) تصحيح (CLTD) لخط العرض والشهر (LM) للسقوف والجدران
- جدول (6.6) الكسب الحراري الشمسي الاقصى (SHG_{max}) (W/m^2)
- جدول (6.7) معامل حمل التبريد (CLF) للزجاج بدون تظليل داخلي
- جدول (6.8) معامل حمل التبريد (CLF) للزجاج مع تظليل داخلي
- جدول (6.9) معامل التظليل (SC) لنوعية الزجاج المفرد والمزدوج العازل للحرارة (بدون حاجبات فينيسية وستائر دوارة داخلية)
- جدول (6.10) معامل التظليل (SC) مع وجود حاجبات فينيسية وستائر دوارة داخلية
- جدول (6.11) معامل التظليل (SC) مع ستائر القماشية للزجاج المفرد والمزدوج

- جدول (6.12) فرق درجات حرارة حمل التبريد (CLTD) عبر الزجاج
- جدول (6.16) معدلات الكسب الحراري لبعض المحركات والمعدات الكهربائية
- جدول (8.1) سرعة الهواء في المجاري (m/s)
- مخطط (8.3) أشري لتصميم مجاري الهواء
- جدول (8.3) المقطع الدائري المكافئ لمجرى هوائي مستطيل
- جداول (8.10) قيم معامل الفقد للتركيبات الدائرية والمستطيلة (C_o)
- جدول (9.1) تمدد الماء
- جدول (9.1) الطول المكافئ لتراكيب الانابيب بالقدم
- مخطط (9.6) تصميم الانابيب
- مخطط (9.7) لمنحنيات اداء المضخات ذات سرعة (1450rpm) والمؤشرة بنجمة ذات سرعة (2900rpm)
- جدول يبين قيمة (n) لمجموعة أبخرة موائع التثليج شائعة الاستعمال
- جدول (10.2) خواص مائع التثليج (R-12) المشبع
- جدول (10.3) خواص مائع التثليج (R-22) المشبع
- جدول (10.4) خواص مائع التثليج (R-717) المشبع
- جدول (10.5) خواص مائع التثليج (R-134a) المشبع
- مخطط الاتزان (13.3) لمحلول بروميد الليثيوم- ماء
- مخطط (13.4) تركيز- محتوى حراري للمحلول بروميد الليثيوم

الخواص الاساسية لخليط الهواء
وبخار الماء

**The Principal Properties of Mixture
Air and Water Vapor**

$$T(F) = 1.8T(^{\circ}C) + 32$$

* درجة الحرارة

$$T(R) = T(F) + 460$$

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

$$P_B = P_a + P$$

* الضغط الجوي القياسي (البارومتري) (P_B)

P_a = الضغط الجزئي للهواء الجاف

P = الضغط الجزئي لبخار الماء

* ضغط بخار الماء في الهواء الرطب (P)

1- ضغط البخار المشبع (Pa)

$$\ln(P_s) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6T^4 + C_7 \ln(T) \quad \text{- لمدى } (-100 \leq T < 0)^{\circ}C$$

- لمدى $(0 \leq T \leq 200)^{\circ}C$

$$\ln(P_s) = \frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13} \ln(T)$$

$$C_1 = -5674.5359$$

$$C_5 = 0.20747825 \cdot 10^{-8}$$

$$C_9 = 1.3914993$$

$$C_{13} = 6.549673$$

$$C_2 = 6.3925247$$

$$C_6 = -0.9484024 \cdot 10^{-12}$$

$$C_{10} = -0.04860239$$

$$T (K) = ^{\circ}C + 273$$

$$C_3 = -0.9677843 \cdot 10^{-2}$$

$$C_7 = 4.1635019$$

$$C_{11} = 0.41764768 \cdot 10^{-4}$$

$$P_s (Pa)$$

$$C_4 = 0.62215701 \cdot 10^{-6}$$

$$C_8 = -5800.2206$$

$$C_{12} = -0.14452093$$

- او من الجدول (2.1)

2- ضغط البخار غير المشبع

$$P = P_{sw} - P_B A(t_d - t_w)$$

$$A = 6.66 \cdot 10^{-4} \text{ } ^{\circ}C^{-1} \text{ at } (t_w \geq 0^{\circ}C)$$

$$A = 5.94 \cdot 10^{-4} \text{ } ^{\circ}C^{-1} \text{ at } (t_w < 0^{\circ}C)$$

* الرطوبة النسبية (Relative Humidity) (Ø)

$$\phi = \left(\frac{P}{P_s} \right)_{t_d} = \left(\frac{d}{d_s} \right)_{t_d} = \left(\frac{x}{x_s} \right)_{P_t}$$

* المحتوى الرطوبي (Moisture Content), نسبة الرطوبة (Humidity Ratio), الرطوبة النوعية

(kg/kg dry air) (W) (Specific Humidity)

$$W = \left(\frac{m_v}{m_a} \right) = \left(\frac{d_v}{d_a} \right) = 0.622 \frac{P}{P_B - P}$$

* درجة التشبع (Degree of Saturation), نسبة التشبع (μ) (Saturation Ratio)

$$\mu = \left(\frac{W}{W_s} \right)_{t_d} = \phi \left(\frac{1 - (P_s/P_B)}{1 - \phi(P_s/P_B)} \right), \quad \phi = \frac{\mu}{1 - (1 - \mu)(P_s/P_B)}$$

* نقطة الندى (Dew Point) $(t)_{p_v}$ * درجة التحيص $t_d - t_{D.P.}$

* الحجم النوعي للهواء الرطب (Specific Volume) (v) (m^3/kg)

$$PV = mRT|_{air}, \quad PV = mRT|_{vapor}$$

$$R(air) = 287 J/kg.K$$

$$R(vapor) = 461 J/kg.K$$

* المحتوى الحراري (Enthalpy) (h) (kJ/kg)

$$h = h_a + Wh_v = (1.007t - 0.026) + W(2501 + 1.84t) \quad \text{- لمدى } (0 \leq T \leq 60)^\circ C$$

$$h = h_a + Wh_v = 1.005t + W(2501 + 1.84t) \quad \text{- لمدى } (-10 \leq T \leq 0)^\circ C$$

* الاشباع الاديباتي (Adiabatic Process)

$$h_2 = h_1 + (W_2 - W_1)h_{fw}$$

المحتوى الحراري لماء المشبع عند درجة حرارة الاشباع الاديباتي (t_w) : h_{fw}

* التصرف غير المثالي للهواء

$f_s =$ عند مختلف درجات الحرارة والضغط فتأخذ القيم من الجدول (2.2).

$$W = 0.622 \frac{f_s * P}{P_B - f_s * P}$$

جدول (2.2) قيم المعامل f_s

P(mbar)	0°C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
1013.25	1.0044	1.0044	1.0044	1.0047	1.0051	1.0055	1.0059
1000	1.0044	1.0043	1.0044	1.0047	1.0051	1.0055	1.0059
975	1.0043	1.0043	1.0043	1.0046	1.0050	1.0054	1.0058
950	1.0042	1.0042	1.0043	1.0045	1.0049	1.0053	1.0057
925	1.0041	1.0041	1.0042	1.0045	1.0049	1.0053	1.0056
900	1.0040	1.0040	1.0041	1.0044	1.0048	1.0052	1.0056
875	1.0039	1.0039	1.0040	1.0043	1.0047	1.0051	1.0055
850	1.0038	1.0038	1.0040	1.0042	1.0046	1.0050	1.0054
825	1.0037	1.0037	1.0039	1.0042	1.0045	1.0049	1.0053
800	1.0036	1.0036	1.0038	1.0041	1.0045	1.0049	1.0052

جدول (2.1) خواص الماء وبخار الماء المشبعين

Temp. (°C)	Saturation Pressure (kPa)	Specific Volume (m ³ /kg)		Enthalpy (kJ/kg)		Entropy (kJ/kg.K)	
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0	0.6108	0.0010002	206.3	-0.04	2501.6	-0.0002	9.1577
2	0.7055	0.0010001	179.9	8.39	2505.2	0.0306	9.1047
4	0.8129	0.0010000	157.3	16.80	2508.9	0.0611	9.0526
6	0.9345	0.0010000	137.8	25.21	2512.6	0.0913	9.0015
8	1.0720	0.0010001	121.0	33.60	2516.2	0.1213	8.9513
10	1.2270	0.0010003	106.4	41.99	2519.9	0.1510	8.9020
12	1.4014	0.0010004	93.84	50.38	2523.6	0.1805	8.8536
14	1.5973	0.0010007	82.90	58.75	2527.2	0.2098	8.8060
16	1.8168	0.0010010	73.38	67.13	2530.9	0.2388	8.7593
18	2.062	0.0010013	65.09	75.50	2534.5	0.2677	8.7135
20	2.337	0.0010017	57.84	83.86	2538.2	0.2963	8.6684
22	2.642	0.0010022	51.49	92.23	2541.8	0.3247	8.6241
24	2.982	0.0010026	45.93	100.59	2545.5	0.3530	8.5806
26	3.360	0.0010032	41.03	108.95	2549.1	0.3810	8.5379
28	3.778	0.0010037	36.73	117.31	2552.7	0.4088	8.4959
30	4.241	0.0010043	32.93	125.66	2556.4	0.4365	8.4546
32	4.753	0.0010049	29.57	134.02	2560.0	0.4640	8.4140
34	5.346	0.0010056	26.60	142.38	2563.6	0.4913	8.3740
36	5.940	0.0010063	23.97	150.74	2567.2	0.5184	8.3348
38	6.624	0.0010070	21.63	159.09	2570.8	0.5453	8.2962
40	7.375	0.0010078	19.55	167.45	2574.4	0.5721	8.2583
42	8.198	0.0010086	17.69	175.81	2577.9	0.5987	8.2209
44	9.100	0.0010094	16.04	184.17	2581.5	0.6252	8.1842
46	10.086	0.0010103	14.56	192.53	2585.1	0.6514	8.1481
48	11.162	0.0010112	13.23	200.89	2588.6	0.6776	8.1125
50	12.335	0.0010121	12.05	209.26	2592.2	0.7035	8.0776
52	13.613	0.0010131	10.98	217.62	2595.7	0.7293	8.0432
54	15.002	0.0010140	10.02	225.98	2599.2	0.7550	8.0093
56	16.511	0.0010150	9.159	234.35	2602.6	0.7804	7.9759
58	18.147	0.0010161	8.381	242.72	2606.2	0.8058	7.9431
60	19.920	0.0010171	7.678	251.09	2609.7	0.8310	7.9108
62	21.84	0.0010182	7.044	259.46	2613.2	0.8560	7.8790
64	23.91	0.0010193	6.469	267.84	2616.6	0.8809	7.8477
66	26.15	0.0010205	5.948	276.21	2620.1	0.9057	7.8168
68	28.56	0.0010217	5.476	284.59	2623.5	0.9303	7.7864
70	31.16	0.0010228	5.046	292.97	2626.9	0.9548	7.7565
72	33.96	0.0010241	4.656	301.35	2630.3	0.9792	7.7270
74	36.96	0.0010253	4.300	309.74	2633.7	1.0034	7.6979
76	40.19	0.0010266	3.976	318.13	2637.1	1.0275	7.6693
78	43.65	0.0010279	3.680	326.52	2640.4	1.0514	7.6410
80	47.36	0.0010292	3.409	334.92	2643.8	1.0753	7.6132
82	51.33	0.0010305	3.162	343.31	2647.1	1.0990	7.5850
84	55.57	0.0010319	2.935	351.71	2650.4	1.1225	7.5588

تابع جدول (2.1) خواص الماء وبخار الماء المشبعين

Temp. (°C)	Saturation Pressure (kPa)	Specific Volume (m ³ /kg)		Enthalpy (kJ/kg)		Entropy (kJ/kg.K)	
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
86	60.11	0.0010333	2.727	360.12	2653.6	1.1460	7.5321
88	64.95	0.0010347	2.536	368.53	2656.9	1.1693	7.5058
90	70.11	0.0010361	2.361	376.94	2660.1	1.1925	7.4799
92	75.61	0.0010376	2.200	385.36	2663.4	1.2156	7.4543
94	81.46	0.0010391	2.052	393.78	2666.6	1.2386	7.4291
96	87.69	0.0010406	1.915	402.20	2669.7	1.2615	7.4042
98	94.30	0.0010421	1.789	410.63	2672.9	1.2842	7.3796
100	101.33	0.0010437	1.673	419.06	2676.0	1.3069	7.3554
102	108.78	0.0010453	1.566	427.50	2679.1	1.3294	7.3315
104	116.68	0.0010469	1.466	435.95	2682.2	1.3518	7.3078
106	125.04	0.0010485	1.374	444.40	2685.3	1.3742	7.2845
108	133.90	0.0010502	1.289	452.85	2688.3	1.3964	7.2615
110	143.27	0.0010519	1.210	461.32	2691.3	1.4185	7.2388
112	153.16	0.0010536	1.137	469.78	2694.3	1.4405	7.2164
114	163.62	0.0010553	1.069	478.26	2697.2	1.4624	7.1942
116	174.65	0.0010571	1.005	486.74	2700.2	1.4842	7.1723
118	186.28	0.0010588	0.9463	495.23	2703.1	1.5060	7.1507
120	198.54	0.0010606	0.8915	503.72	2706.0	1.5276	7.1293

عمليات المخطط المصري

Psychrometrics Processes

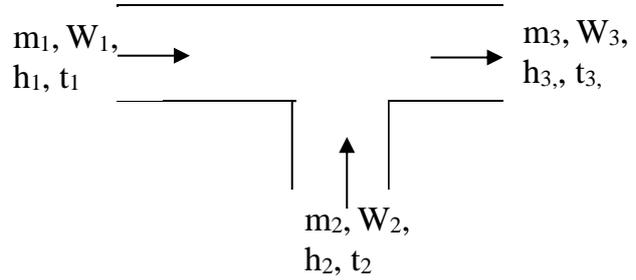
*** خلط الهواء الاديباتي (Adiabatic Air Mixture)**

Dry air: $m_1 + m_2 = m_3$

Water vapor: $m_1 \cdot W_1 + m_2 \cdot W_2 = m_3 \cdot W_3$

: $W_3 = \frac{m_1 \cdot W_1 + m_2 \cdot W_2}{m_1 + m_2}$

And; $\frac{W_1 + W_3}{W_3 + W_2} = \frac{m_2}{m_1}$



Energy conservation: $m_1 \cdot h_1 + m_2 \cdot h_2 = m_3 \cdot h_3$

: $h_3 = \frac{m_1 \cdot h_1 + m_2 \cdot h_2}{m_1 + m_2}$

And; $\frac{h_1 + h_3}{h_3 + h_2} = \frac{m_2}{m_1}$

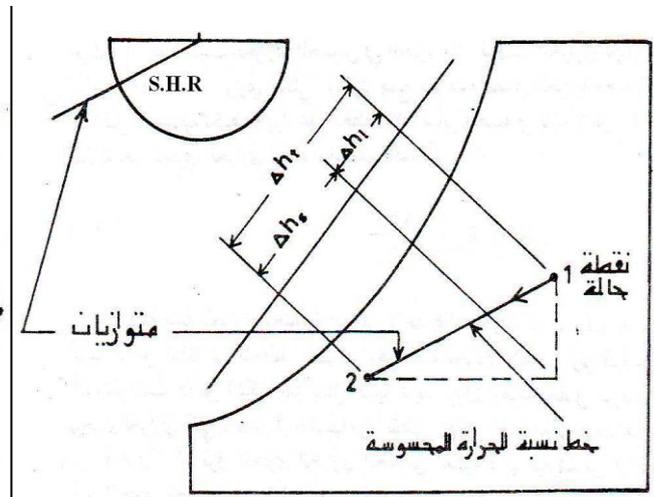
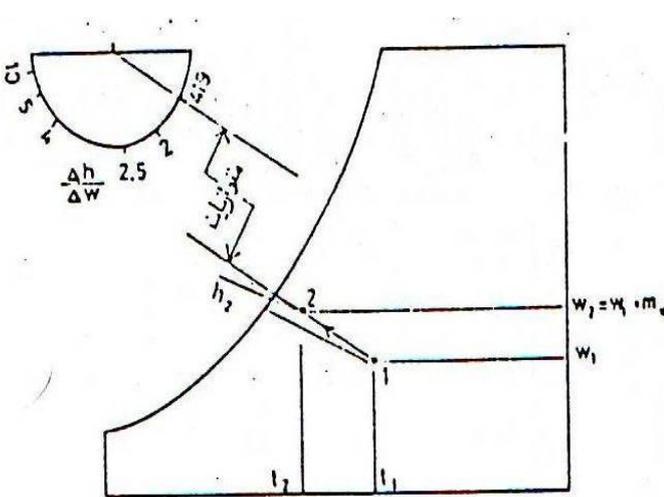
Temp. & mass of two flows: $t_3 = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{m_1 + m_2}$ (بصورة تقريبية)

*** نسبة الحرارة المحسوسة (S.H.R) (Sensible Heat Ratio)**

$W.R. = MoistureRatio = h_3 = \frac{h_2 - h_1}{w_2 - w_1}$

$S.H.R. = \frac{q_s}{q_t} = \frac{q_s}{q_s + q_l} = \frac{\Delta h_s}{\Delta h_t}$

(يمثل ميل الخط الواصل بين 1-2 او r-s)



*** التبريد وازالة الرطوبة (Cooling & Dehumidification)**

By-pass factor: $B.F. = \frac{h_2 - h_c}{h_1 - h_c} = \frac{W_2 - W_c}{W_1 - W_c} = \frac{t_2 - t_c}{t_1 - t_c}$ (معامل الامرار)

Contact factor: $1 - B.F. = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_c} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_c} = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_c}$ (معامل التلامس)

Latent heat load (air): $Q_l = m(W_1 - W_2)h_{vd} = m\Delta h_l = m(h_1 - h_n)$

h_{vd} = المحتوى الحراري لبخار الماء المشبع بدرجة حرارة نقطة ندى الهواء لحالة الدخول

Sensible heat load (air):

$Q_s = m.c_{pm}(t_2 - t_1) = m(h_n - h_2) = m\Delta h_s = m[(h_n - h_2) - (W_1 - W_2)(h_{vd} + h_{fd})]$

Total heat load (Coil load) (Refrigeration load):

$Q_t = Q_s + Q_l = m\Delta h_t = m(h_1 - h_2) = m[(h_1 - h_2) - (W_1 - W_2)h_{fc}]$

Sensible heat load (**water**): $Q_s = m_w.c_{pw}(t_d - t_c) = m_w(W_1 - W_2)(h_{fd} - h_{fc})$

h_{fc} = المحتوى الحراري للماء بدرجة حرارة سطح الملف

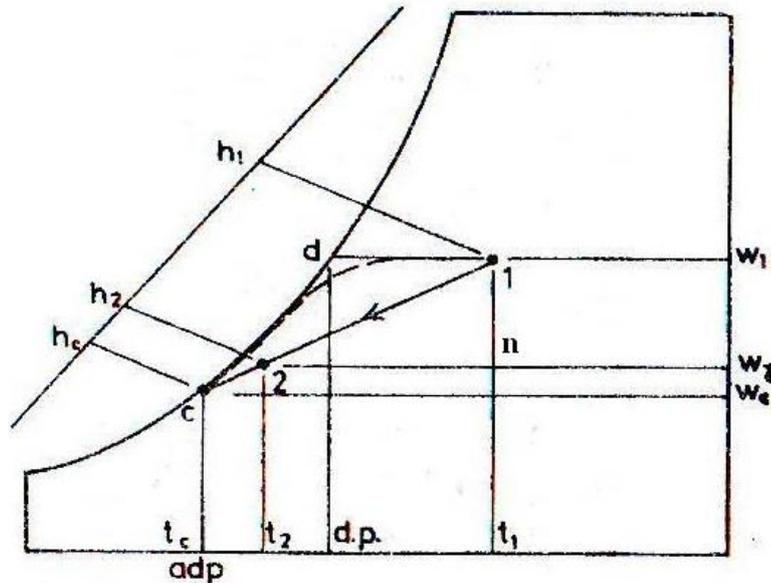
h_{fd} = المحتوى الحراري للماء بدرجة حرارة نقطة ندى الهواء لحالة الدخول

$c_{pm} = (c_{p\ air} + c_{p\ steam} \cdot W) = 1.017 \text{ kJ/kg.K}$

C_p (dry air) = 1.005 kJ/kg.K

C_p (water vapor) = 1.89 kJ/kg.K

C_p (water) = 4.2 kJ/kg.K



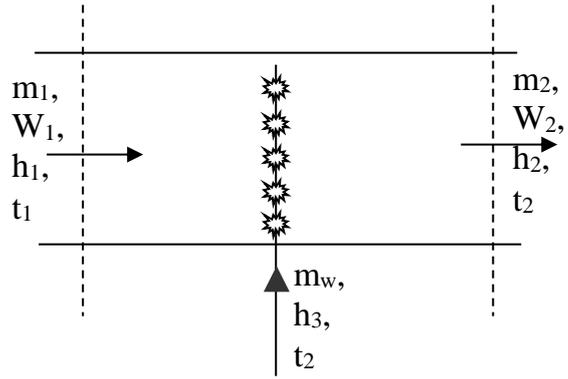
* التدفئة والترطيب (Heating & Humidification)

$$m_w = m(W_2 - W_1)$$

$$m_w \cdot h_3 = m(h_2 - h_1)$$

$$W.R. = MoistureRatio = h_3 = \frac{h_2 - h_1}{W_2 - W_1} = h_f + xh_{fv}$$

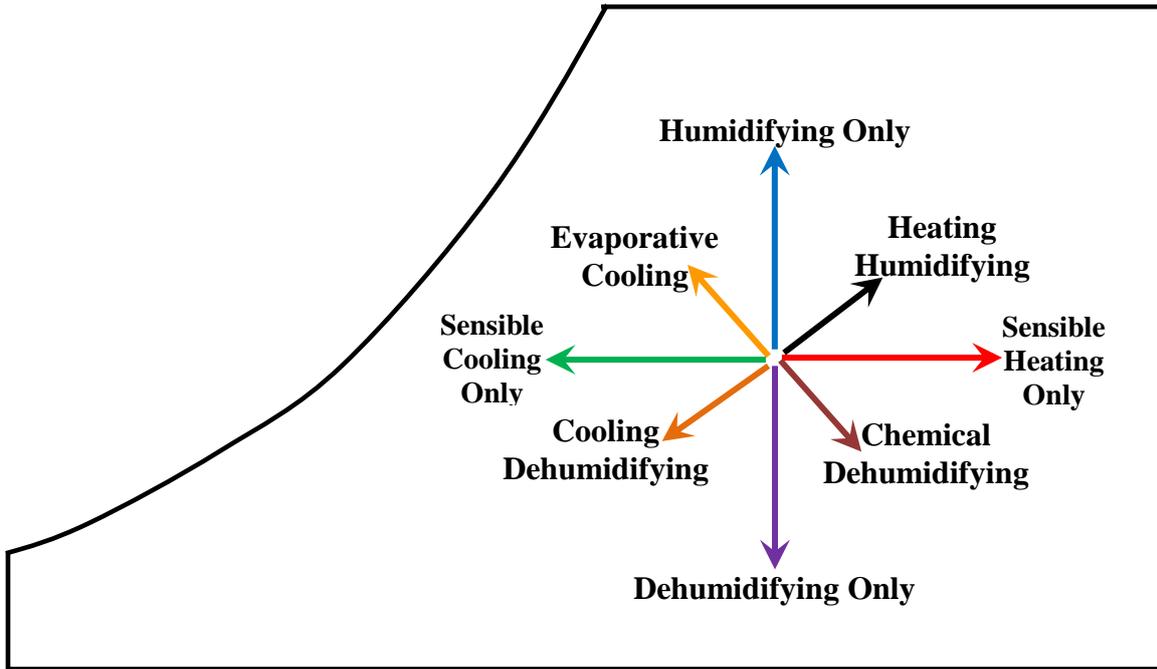
المحتوى الحراري لمائع الترطيب : $h_3 (kJ/kg)$



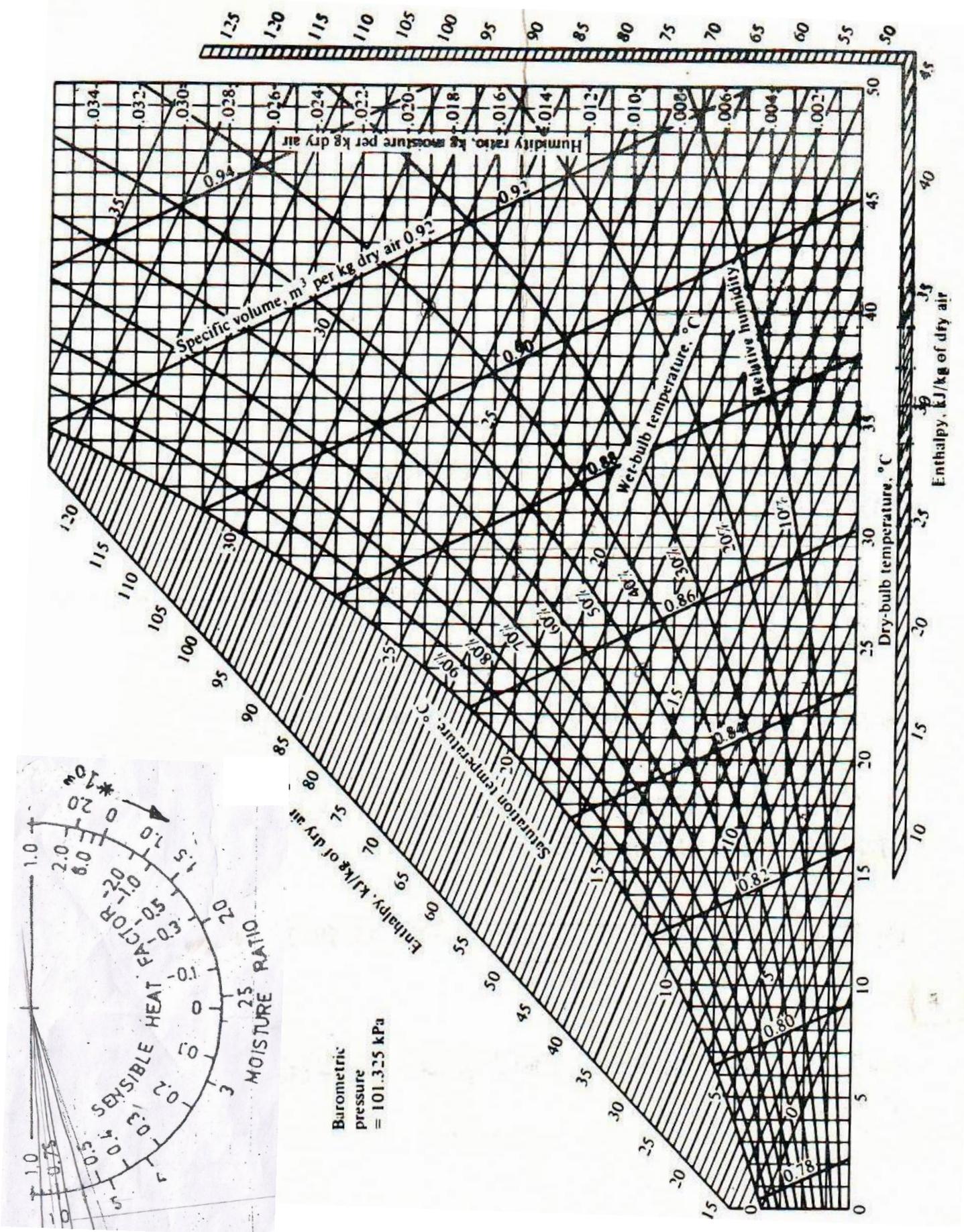
* معدل ازالة الرطوبة تحدث عندما درجة حرارة سطح الملف اصغر من نقطة ندى دخول الهواء.

$$Moisture\ removed = m(W_1 - W_2)$$

* الشكل أدناه يوضح أهم عمليات المبردية الثمانية بواسطة المخطط السيكرومترية (المبردي).



أهم عمليات المخطط المبردي الثمانية



الانسان
و
البيئة المكيفة

**Human
and
Conditioned Environment**

* الحمل الحراري المحسوس $q_s (4.3) * CLF (4.4) * No.$

* الحمل الحراري الكامن $q_t (4.3) * No.$

* الحمل الحراري الكلي $q_t (4.3) * No.$

- 1- q_t (المعدلة للنساء) = 85% q_t للرجال (4.3)
- 2- q_t (المعدلة للأطفال) = 75% q_t للرجال (4.3)
- 3- الحرارة الكامنة للتبخير = الحمل الكامن/الحرارة الكامنة للتبخير
- 4- عند q_s : ($t_d=26.6^{\circ}C$) تقل بمقدار (8%) و q_t تزداد بمقدار (8%)

جدول (4.2) معدل الايض لانشطة نموذجية مختلفة

معدل الايض بوحدات (1Met=58.2W/m ²)	الفعالية	
0.7	النوم	الاستراحة
0.8	الاسترخاء	
1.0	الجلوس هادئا	
1.2	الوقوف براحة	
2.0	0.89 m/s	المشي على سطح مستوي
2.6	1.034 m/s	
3.8	1.79 m/s	
1.4 - 2.0	المختبر	وظائف متنوعة
1.2 - 2.4	قناني مشروبات	
1.8 - 2.2	المنشار الكهربائي	النجارة
4.0 - 4.8	المنشار اليدوي	
5.6 - 6.4	الرندة اليدوية	
3.0 - 3.4	العمل بالمطرقة الهوائية	صب المعادن
5.0 - 7.0	مدارة الأفران	
2.2 - 3.0	ورش السيارات	
1.4 - 1.8	شغل عام بالمختبرات	
2.0 - 2.4	الخفيفة	ورش المكائن
3.5 - 4.5	الثقيلة	
1.5	السيارة	قيادة المركبات
2.0	الدراجة النارية	
3.2	المركبات الثقيلة	
1.4	قيادة الطائرات الروتيني	
1.8	هبوط الطائرات التلقائي	
2.4	قيادة المقاتلات	
1.2 - 1.4	الطبع	
1.1 - 1.3	عمل مكثبي متنوع	
1.1 - 1.3	الرسم الهندسي	
2.0		عمل المتاجر
1.6		المدارس

تابع جدول (4.2) معدل الايض لانشطة نموذجية مختلفة

معدل الايض بوحدات (1Met=58.2W/m ²)	الفعالية
1.1	مصلح الساعات جالس
2.0 - 3.4	تنظيف المطبخ
1.6 - 2.0	الطبخ
2.0 - 3.6	غسل الملابس باليد وكيها
1.4 - 1.8	التسوق
1.2 - 2.0	صيد السمك
3.0 - 4.0	تمارين سويدية
2.4 - 4.4	رقص هاديء
3.6 - 4.6	تنس فردي
5.0 - 7.2	كرة الحائط فردي
5.0 - 7.6	كرة سلة ودية
7.0 - 8.7	مصارعة
1.4 - 2.6	جولف

جدول (4.3) معدلات الكسب الحراري من شاغلي الاماكن المكيفة عند ($t_a=25.5^\circ\text{C}$)

درجة النشاط	التطبيق النموذجي	الحرارة الكلية للرجال (W)	الحرارة المعدلة (W)	الحرارة المحسوسة (W)	الحرارة الكامنة (W)
الجلوس براحة	مسرح, سنما	115	100	60	40
جلوس, شغل خفيف, كتابة	مكاتب, فنادق, شقق	140	120	65	55
جلوس واكل	مطاعم	150	170	75	95
جلوس, شغل خفيف, طباعة	مكاتب, فنادق, شقق	185	150	75	75
وقوف, شغل خفيف, مشي بيطاء	متاجر, بنوك	235	185	90	95
شغل منضدي خفيف	مصانع	255	230	100	130
مشي (1.3m/s) شغل مكائن خفيف	مصانع	305	305	100	205
لعب البولنك	ملاعب البولنك	350	280	100	180
رقص خفيف	مراقص	400	375	120	255
شغل ثقيل, شغل مكائن ثقيلة, رفع الاحمال	مصانع	470	470	165	305
شغل ثقيل, العاب رياضية	قاعات رياضية	585	525	185	340

جدول (4.5) معدلات التهوية

هواء التهوية لكل شخص (l/s)		نوع التطبيق	
المفضل	الحد الانى		
3.5 - 5	2.5	غرفة المعيشة والنوم	سكني
15 - 25	10	مطابخ وحمامات ومرافق	
10 - 12.5	7.5	مرافق صحية عامة	مباني عامة
5 - 7.5	3.5	متاجر	
7.5 - 10	5	صالات الطعام	
17.5	15	مطابخ	
17.5	15	كافتريا ومطاعم صغيرة	
5 - 7.5	3.5	غرف النوم	فنادق
15 - 25	10	مرافق صحية	
3.5 - 5	2.5	ممرات	
5 - 7.5	3.5	مداخل وفسحات	
10 - 15	7.5	قاعات اجتماعات	
12.5 - 15	10	غسل وكي الملابس	
5 - 7.5	3.5	صالونات الحلاقة	
10 - 15	7.5	كراجات تصليح السيارات (للمتر المربع الواحد)	
2.5 - 15	10	المدخل والقاعات	دور السينما والمسارح
2.5 - 5	2.5	الصاله (بدون تدخين)	
5 - 10	5	لصاله (التدخين مسموح)	
12.5 - 15	10	غرف البليارد ومكائن اللعب	
7.5 - 12.5	7.5	مكاتب عامة	مكاتب ودوائر
15 - 20	12.5	قاعات اجتماعات	
7.5 - 10	5	عيادات الاطباء	
7.5 - 10	5	غرف الانتظار	
3.5 - 5	2.5	غرف الحاسبات الالكترونية	
5 - 7.5	3.5	غرف تنقيب البطاقات	
17.5 - 20	15	استوديوهات السينما وTV	
---	7.5	غرف مراسلي الاعلام	
5 - 7.5	3.5	غرف البدلات	
7.5 - 10	5	غرف خاصة وردهاة	مستشفيات
---	10	صالات العمليات	
20 - 25	15	غرف التشريح	
5 - 7.5	3.5	قاعات منام جنود	عسكرية
10 - 12.5	7.5	قاعات تدريب	

تابع جدول (4.5) معدلات التهوية

هواء التهوية لكل شخص (l/s)		نوع التطبيق
المفضل	الحد الأدنى	
5 - 7.5	5	قاعات الدراسية
5 - 7.5	5	مختبرات
2.5 - 3.8	2.5	صالات كبيرة (عرض واجتماع)
12.5 - 15	10	ملاعب رياضية داخلية
5 - 6	3.5	مكتبات
5 - 7.5	3.5	مكاتب
10 - 12.5	7.5	مرافق صحية
7.5 - 10	5	قاعات طعام كبيرة
5 - 7.5	3.5	غرف اقسام داخلية
10 - 12.5	7.5	ملاعب البولونك
10 - 12.5	7.5	قاعات اللهو الكبيرة

الانسان والبيئة المكيفة

هندسة تكييف الهواء والتثليج

مجموع الساعات في الحيز	عدد الساعات يتم دخول الحيز المكيف (CLF)																	
	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
1	.49	.49	.50	.51	.53	.55	.58	.62	.66	.70	.74	.79	.82	.85	.87	.88	.89	.90
2	.58	.59	.60	.61	.62	.64	.66	.70	.75	.79	.82	.85	.87	.88	.89	.90	.91	.92
3	.17	.66	.67	.76	.69	.70	.72	.75	.77	.79	.80	.82	.83	.85	.87	.88	.89	.90
4	.13	.71	.72	.72	.74	.75	.77	.79	.80	.82	.83	.84	.85	.87	.88	.89	.90	.91
5	.10	.27	.76	.76	.77	.79	.80	.81	.83	.84	.85	.87	.88	.89	.90	.91	.92	.93
6	.08	.21	.79	.80	.80	.81	.83	.84	.85	.86	.87	.88	.89	.90	.91	.92	.93	.94
7	.07	.16	.34	.82	.83	.84	.85	.86	.87	.88	.89	.90	.91	.92	.93	.94	.95	.96
8	.06	.14	.26	.84	.85	.86	.87	.88	.89	.90	.91	.92	.93	.94	.95	.96	.97	.98
9	.05	.11	.21	.38	.87	.88	.89	.90	.91	.92	.93	.94	.95	.96	.97	.98	.99	1.00
10	.04	.10	.18	.30	.89	.89	.90	.91	.92	.93	.94	.95	.96	.97	.98	.99	1.00	1.01
11	.04	.08	.15	.25	.42	.91	.91	.92	.93	.94	.95	.96	.97	.98	.99	1.00	1.01	1.02
12	.03	.07	.13	.21	.34	.92	.92	.93	.94	.95	.96	.97	.98	.99	1.00	1.01	1.02	1.03
13	.03	.06	.11	.18	.28	.45	.93	.93	.94	.95	.96	.97	.98	.99	1.00	1.01	1.02	1.03
14	.03	.06	.10	.15	.23	.36	.94	.94	.95	.96	.97	.98	.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
15	.02	.05	.08	.13	.20	.03	.47	.95	.95	.96	.97	.98	.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
16	.02	.04	.07	.12	.17	.25	.38	.96	.96	.97	.98	.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05
17	.02	.04	.06	.10	.15	.21	.31	.49	.97	.97	.98	.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05
18	.01	.03	.06	.09	.13	.19	.26	.39	.97	.97	.98	.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05
19	.01	.03	.05	.08	.11	.16	.23	.33	.50	.50	.51	.52	.53	.54	.55	.56	.57	.58
20	.01	.03	.04	.07	.10	.14	.20	.28	.40	.40	.41	.42	.43	.44	.45	.46	.47	.48
21	.01	.02	.04	.06	.09	.12	.17	.24	.33	.33	.34	.35	.36	.37	.38	.39	.40	.41
22	.01	.02	.03	.05	.08	.11	.15	.20	.28	.28	.29	.30	.31	.32	.33	.34	.35	.36
23	.01	.02	.03	.05	.07	.09	.13	.18	.24	.24	.25	.26	.27	.28	.29	.30	.31	.32
24	.01	.01	.01	.03	.06	.08	.11	.16	.20	.20	.21	.22	.23	.24	.25	.26	.27	.28

جدول (4.7) ظروف التصميم الخارجية

الصيف							الشتاء		الارتفاع عن م.س. بحر	خط العرض خط الطول	البلد او المدينة
البصلة الرطبة			التغير اليومي	البصلة الجافة			99%	97.5 %			
1%	2.5 %	5%		1%	2.5%	5%					
21	20.5	20	14	36	34.5	33.5	0.5	2	777	31.57N 35.57E	الاردن عمان
19	18.5	18	18	36.5	35.5	34	-14.5	-13	1816	43.35N 69.12E	افغانستان كابل
26.5	26	25.6	8	32	31.5	31	21.5	22	8	6.11S 106.50E	اندونيسيا جاكارتا
24	23.5	23	15	39	38	36.5	-6.5	-4.5	1120	35.41N 51.25E	ايران طهران
28	27	27	18	46.5	45	43.5	4	5	2	30.21N 48.16E	عبادان
27	26.5	26	16	43	41	39.5	1.5	3	355	43.01N 71.35E	باكستان بيشاور
28	28	27	8	38	36.5	35	9.5	10.5	4	24.48N 66.59E	كراتشي
28.5	28	27	15	43	41.5	40.5	1.5	3	214	31.35N 74.20E	لاهور
24	23.5	23	9	33	31	30	-2	-1	18	40.58N 28.50E	تركيا اسطنبول
20	19.5	19	16	34.5	33.5	32	-13	-11	861	39.57N 32.53E	انقرة
25	24.5	23.5	-	39	37	35.5	4	5	66	36.47N 10.12E	تونس تونس
24.5	24	23.5	8	33.5	31.5	30	5.5	7	3	36.09N 5.22W	جبل طارق
25	24.5	24	8	35	33.5	31.5	6	7	59	36.46N 3.03E	جزائر جزائر
19	18.5	18	16	29	28	27	4	5	2364	9.02N 38.45E	حبشة اديس ابابا
18.5	18	17	15	28.5	27	26.5	4.5	5.5	2326	15.17N 38.55E	اسمره
29.5	29	28.5	12	41	39.5	38	14	15.5	6	21.28N 39.10E	السعودية جدة
25.5	25	24.5	18	43.5	42	41	3	4.5	591	24.39N 46.42E	الرياض
30	29.5	29	18	44	43.5	42	7	9	24	26.09N 50.09E	ظهران
25	24.5	24	17	43	41.5	40	11.5	13.5	390	15.37N 32.33E	السودان الخرطوم
22	-	21	19	39	38	36.5	-1.5	0	720	33.30N 36.20E	سوريا دمشق

تابع جدول (4.7) ظروف التصميم الخارجية

الصيف							الشتاء		الارتفاع عن م.س. بحر	خط العرض خط الطول	البلد او المدينة
البصلة الرطبة			التغير اليومي	البصلة الجافة			99%	97.5 %			
1%	2.5 %	5%		1%	2.5%	5%					
28	28	27	7	33	32	31.5	20.5	21	12	2.02N 49.19E	الصومال مقديشو
23	22	22	19	45	44	42	0	1.5	34	33.20N 44.24E	العراق بغداد
23	22	22	22	45.5	44.5	43.5	-1.5	0	223	36.19N 43.09E	الموصل
21	20.5	20.5	13	35	34.5	33.5	2	3.5	758	31.47N 35.13E	فلسطين القدس
23.5	23	22	9	35.5	34	33	4	5	11	32.06N 34.47E	تل ابيب
25.5	25	24.5	8	34	33	32	5.5	7	34	33.54N 35.28E	لبنان بيروت
25	24.5	24	7	36	34.5	33	5.5	7	25	32.06N 20.04E	ليبيا بنغازي
23	22	21.5	13	30	29	28.5	6	8	1381	18.55S 47.33E	مدغشقر تنتاريف
24.5	24	32.5	14	39	38	36.5	7	8	116	29.52N 31.20E	مصر القاهرة
23	22	21	28	43.5	32	30	4.5	5.5	50	33.35N 7.39W	المغرب دار البيضاء
28.5	28	28	6	39	38	36.5	20	21	3	12.50N 45.02E	اليمن عدن

حسابات
حمل التدفئة

Heating Load Calculations

* انتقال الحرارة من السطوح او الجدران المركبة

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} = \frac{dT}{R_T} = A.U.dT$$

$$R_T = \frac{1}{U} = \frac{1}{f_i} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \dots + \frac{1}{a_n} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} + \frac{1}{f_o}, (m^2 \cdot ^\circ C / W)$$

$R_a = \frac{1}{a}$ المقاومة الحرارية للمواصلة الحرارية لطبقات الهواء العمودية جدول (5.2).

$R_c = \frac{1}{C}$ المقاومة الحرارية للمواصلة الحرارية للمواد غير المتجانسة جدول (5.3).

$R_f = \frac{1}{f}$ المقاومة الحرارية لمعامل انتقال الحرارة عبر الطبقة الغشائية الرقيقة للهواء (h) الداخلية والخارجية.

f_o, f_i = جدول (5.3).

$R = \frac{x}{A.k}$ المقاومة الحرارية للجدار او السطح ($m^2 \cdot ^\circ C / W$).

$$\frac{R_{fi}}{R_i} = \frac{\Delta t_{fi}}{\Delta t_i} = \frac{t_i - t_s}{t_i - t_o}$$

* درجة حرارة سطح الجدار الداخلي (t_s)

جدول (5.1) الموصلية الحرارية (k) درجة حرارة ($^\circ C$) لمواد مختلفة

المادة	معامل التوصيل الحراري (k) ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
المعادن	202
	النيوم (نقي)
	73
	حديد (نقي)
	35
	رصاص (نقي)
	410
	فضة (نقي)
مواد صلبة غير معدنية	43
	فولاذ (1% كاربون)
	16.3
	فولاذ مقاوم للصدأ (Ni 8%, Cr 18%)
	385
	نحاس (نقي)
	93
	نيكل (نقي)
	1.83
	حجر رملي
سوائل	0.17
	خشب الصاج
	0.78
	زجاج النوافذ
	0.038
	صوف الزجاج
	41.6
كوارتز، مواز للمحور	
4.15	
مغنيسيت (كربونات المغنسيوم المتبلمرة)	
2.08 - 2.94	
مرمر	
0.059	
نشارة الخشب	
سوائل	8.21
	زئبق
	0.556
	ماء
0.073	
مائع التثليج (R-12)	
0.54	
نشادر (امونيا)	

تابع جدول (5.1) الموصلية الحرارية (k) درجة حرارة (°C) لمواد مختلفة

معامل التوصيل الحراري (W/m ² .°C)	المادة
0.024	بخار ماء مشبع
0.0146	ثنائي اوكسيد الكربون
0.024	هواء
0.175	هيدروجين
0.141	هليوم

جدول (5.2) معامل الموصلة الحرارية (a) لطبقات الهواء العمودية

سمك طبقة الهواء (mm)					متوسط درجة الحرارة (°C)
38.1	25.5	12.5	6.3	3.3	
معامل الموصلة (a) (W/m ² .°C)					
5.80	5.85	6.25	7.78	13.06	-6.7
6.05	6.08	6.52	8.09	13.54	-1.1
6.27	6.31	6.77	8.40	14.03	4.4
6.52	6.54	7.05	8.72	14.54	10.0
6.75	6.79	7.35	9.03	15.05	15.6
6.97	7.04	7.61	9.36	15.50	21.1
7.21	7.27	7.89	9.66	16.01	26.7
7.44	7.50	8.14	9.98	16.51	32.2
7.67	7.73	8.44	10.30	16.98	37.8
7.09	7.96	8.71	10.62	17.48	43.3
8.15	8.21	8.97	10.95	17.98	48.9
8.38	8.43	9.26	11.24	18.45	54.4
8.63	8.69	9.54	11.56	18.97	60.0

جدول (5.3) معاملات التوصيل الحراري (k)(W/m².°C) والموصلة الحرارية (W/m².°C) (C) للمواد الانشائية بدرجة حرارة 25°C تقريبا

1/C	C	1/k	k	ρ	المادة ومواصفاتها
0.37	2.73	-	-	-	السجاد, واللباد الليفي
0.01	113.6	-	-	-	بلاطات اسفلتية, لينوليوم, فنييل, مطاط
0.12	8.35	-	-	-	اسبست, سيراميك خشبية صلدة سمك (19mm)
-	-	1.73	0.578	1920	اسبست- سمنت
0.06	17.6	-	-	800	جبس او جص (9.5mm)
0.08	12.6	-	-	800	جبس او جص (12.7mm)
0.1	10.1	-	-	800	جبس او جص (15.9mm)
-	-	8.66	0.115	545	خشب رقائق (معاكس)
-	-	17.33	0.058	288	قطع الواح تشكيل معتادة او خافتة للصوت

تابع جدول (5.3)

1/C	C	1/k	k	ρ	المادة ومواصفاتها		
-	-	1.24	0.81	1680	جبس او جص ورمل	بياض ولبخ	
-	-	1.39	0.721	1860	سمنت ورمل		
-	-	0.77	1.3	2500	حجر جيرى (Limestone)	مواد انشائية	
-	-	-	2.1-2.9	2600	حجر رخام (المرمر)		
-	-	0.55	1.83	2200	حجر رملى (Sandstone)		
-	-	-	1.7-4	2640	غرانيت		
-	-	1.32	0.758	1920	خفيفة تشمل خلطة الصلصال, صخر صفائحي, صخور بركانية خبث وخرسانة خلوية	خرسانة	
-	-	1.94	0.516	1600			
-	-	2.77	0.361	1280			
-	-	4.09	0.245	960			
-	-	5.96	0.168	640			
-	-	9.91	0.101	320			
-	-	0.58	1.73	2240			خلطة الرمل والحصى والحجر
-	-	0.73	1.37	2000			خلطة حصى او حجر 4-2-1
-	-	1.39	0.72	1860			مونت السمنت
0.13	7.95	-	-	-			سمك (10cm)
0.20	5.11	-	-	-	سمك (20cm)		
0.23	4.43	-	-	-	سمك (30cm)		
0.18	5.45	-	-	577	سمك (20cm)	كتل خرسائية مجوفة خلطة الرمل والحصى (تجويفين مستطيلين)	
0.2	5.11	-	-	-	سمك (10cm)	كتل فخارية مجوفة	
0.33	3.07	-	-	-	سمك (20cm)		
0.44	2.27	-	-	-	سمك (30cm)		
1.94	0.517	-	-	4.8-32	سمك (7.6-8.9cm)	مواد عازلة حراريا بطانية من الياف معدنية مصنعة من الصخور او الخبث او الزجاج	
3.32	0.301	-	-	4.8-32	سمك (13.7-16.3cm)		
3.91	0.256	-	-	4.8-32	سمك (15.2-17.8cm)		
5.34	0.187	-	-	4.8-32	سمك (21.6-22.9cm)		
6.77	0.148	-	-	4.8-32	سمك (30.5cm)		
-	-	1.39	0.72	1920	بناء	طابوق	
-	-	0.77	1.3	2080	واجهه		
-	-	0.96	1.04	2000	ناري (500°C)		
-	-	0.93	1.07	2000	ناري (800°C)		
-	-	8.67	0.115	510	اخشاب (ابيض)	مواد متفرقة	
-	-	6.3	0.159	720	اخشاب (جوز, صاج, صلبة)		
-	-	1.33	0.75	-	اسفلت		
-	-	3.03	0.33	1500	رمل جاف		
0.011	97.5	-	-	-	لباد مانع الرطوبة		

تابع جدول (5.3)

1/C	C	1\k	k	ρ	المادة ومواصفاتها	
-	-	27.73	0.036	64-144	الياف زجاجية	
-	-	19.81	0.051	136	زجاج خلوي	
-	-	27.73	0.036	29	بوليستايرين - ممتد حببيات	
-	-	34.7	0.029	16		
-	-	28.9	0.035	24		
-	-	30.2	0.033	32		
-	-	43.3	0.023	24	بوليوريشين خلوي	
0.33	3.01	-	-	-	12.7 mm	بلاطات او النواح قطع من الياف الخشب او القصب خافته للصوت بسمك
0.22	4.54	-	-	-	19 mm	
-	-	26.7	0.038	21-32	ستايروفرم	
-	-	19.23	0.052	330	صوف	
-	-	26.3	0.038	24	صوف زجاجي	
-	-	25	0.04	160	صوف صخري	
-	-	22.2	0.045	45-120	فلين- حببيات	
-	-	16.95	0.059	140	نشارة الخشب	
0.108	$f= 9.26$	-	-	-	افقي- انتقال حرارة الى الاعلى	
0.163	$f= 6.13$	-	-	-	افقي- انتقال حرارة الى الاسفل	
0.121	$f= 8.29$	-	-	-	عمودي- انتقال حرارة افقي	
0.110	$f= 9.09$	-	-	-	مانل-45- انتقال حرارة الى اعلى	
0.133	$f= 7.5$	-	-	-	مانل-45- انتقال حرارة الى اسفل	
0.029	$f= 34.1$	-	-	-	السرعة (24 km/h) شتاءا	
0.044	$f= 22.7$	-	-	-	السرعة (12 km/h) صيفا	
-	-	1.28	0.78	2700	اعتيادي (3mm)	
0.16	6.25*	-	-	-	خارجي شتاءا	
0.17	5.91*	-	-	-	خارجي صيفا	
0.02	56.8	-	-	-	زجاج معماري	

* يشمل معامل المواصلة هنا طبقتي الهواء الداخلية والخارجية فهو يمثل معامل انتقال الحرارة الاجمالي للزجاج (U)

* تخلل الهواء

1- كمية الحرارة المحسوسة لتدفئة هواء الرطب التخلل (kW)

$$q_s = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p (t_i - t_o)$$

$$\dot{V} = m^3 / kg \quad \text{معدل هواء التخلل}$$

$$\rho = 1.2 kg / m^3 \quad \text{كثافة الهواء}$$

$$c_p = 1.017 kJ / kg \cdot ^\circ C$$

$$q_s = 1.22 \dot{V} (t_i - t_o)$$

2- كمية الحرارة الكامنة لتدفئة هواء الرطب التخلل (kW)

$$q_l = \dot{V} \cdot \rho \cdot (W_i - W_o) h_{fg}$$

$$\dot{V} = m^3 / kg \quad \text{معدل هواء التخلل}$$

$$\rho = 1.2 kg / m^3 \quad \text{كثافة الهواء}$$

من جدول (2.1) او معدل الحرارة الكامنة للتبخر $h_{fg} = 2450 kJ / kg$

$$q_l = 2940 \dot{V} (W_i - W_o) = \frac{\dot{V}}{v} (W_i - W_o) h_{fg}$$

3- كمية الحرارة الكلية لتدفئة هواء الرطب التخلل (kW)

$$q_t = q_s + q_l = \dot{V} \cdot \rho (h_i - h_o) = 1.2 \dot{V} (h_i - h_o)$$

* طريقة حساب هواء التخلل (\dot{V})

1- طريقة الشقوق (Cracks method)

$$\dot{V} (m^3/s) = (l) \text{ طول الشق بالمتر} * (m^3/s.m) \text{ من الشق} * (m^3/s.m) \text{ لكل متر طول من الشق}$$

2- طريقة تبديل الهواء (Air change method)

$$\dot{V} (m^3 / s) = VolumeSpace * n (4.6) / 3600$$

جدول (4.6) معدلات تغير الهواء المحتملة (n) بالطرق الاعتيادية للدور السكنية بمعزل عن التهوية المجهزة

نوع الغرفة	عدد مرات تغيير الهواء في الساعة (n)
غرف بدون شبابيك او ابواب خارجية	0.5
غرف بشبابيك او ابواب خارجية في جانب واحد	1
غرف بشبابيك او ابواب خارجية في جانبيين	1.5
غرف بشبابيك او ابواب خارجية في ثلاثة جوانب	2
مدخل البوابات	2

3- طريقة معاملات الضرب

معامل الضرب من الجدول (5.4) ادناه * حجم الغرفة = q_t

فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج (°C)				عدد الجدران بشبابيك	نوع الغرفة او المبنى
56	42	28	14		
9.32	7.04	4.66	2.38	بلا	(A) مكاتب, شقق, فنادق,
14.08	10.56	7.04	3.52	1	مباني متعددة الطوابق
27.94	20.91	13.97	7.04	2	
37.26	27.94	18.63	9.32	3 او 4	
55.89	41.92	27.94	13.97	ايا كان	(B) مدخل الابنية والاروقة
37.26 - 55.89	27.94 - 41.92	18.63 - 27.94	9.32 - 13.97	ايا كان	(C) مباني صناعية
18.63 - 27.94	13.97 - 20.91	9.31 - 13.97	4.66 - 7.04	ايا كان	(D) مساكن من جميع الانواع ولجميع الغرف
27.94 - 55.89	21.01 - 41.92	13.97 - 27.94	7.04 - 13.97	ايا كان	(E) معاهد دراسية او مباني عامة

* درجة حرارة المناطق الداخلية غير المكيفة (t_b) (°C)

$$t_{roof} = t_{B.L.} (1 + 0.036 \frac{y}{0.3}) \quad \text{1- بالحمل الحر, درجة الحرارة قرب السقف:}$$

$$t_{land} = t_{B.L.} (1 - 0.036 \frac{1.5}{0.3}) \quad \text{2- بالحمل الحر, درجة الحرارة عند الارضية:}$$

 $t_{B.L.}$: درجة الحرارة عند خط التنفس

y : ارتفاع السقف (m)

$$t_b = t_{B.L.} \quad \text{3- بالحمل القسري,}$$

* معدل درجة حرارة الغرفة المعتمدة في حسابات حمل التدفئة = $(t_{roof} + t_{land}) / 2$ (بالحمل الحر)

$$t_b = t_{B.L.} \quad \text{..... (بالحمل القسري)}$$

4- تبريد مع غرفة مجاورة غير مبردة: $t_b = t_i + 2/3(t_o - t_i)$

5- تدفئة مع غرفة مجاورة غير مدفئة: $t_b = t_i - 1/2(t_i - t_o)$

6- غرف مجاورة تحتوي على مصادر حرارية (طباقات, لوندري ...): $t_b = t_o + (5 \rightarrow 10)^{\circ}C$

7- الارضيات: $t_b = t_i - t_{soil}$ حيث ان: $t_{soil} = (10 \rightarrow 14)^{\circ}C$

الحمل الحراري للمناطق الداخلية غير المكيفة $q = U.A.(t_b - t_i)$

* للتدفئة بالهواء الساخن

معدل هواء التجهيز اللازم (\dot{V}) $q = 1.22\dot{V}(t_s - t_r)$, $t_s = t_r + (6 \rightarrow 10)^{\circ}C$

حسابات
حمل التبريد

Cooling Load Calculations

* الاحمال الحرارية

1- حمل تبريد الحيز من الكسب الحراري خلال السقوف الخارجية (حمل محسوس)

$$q = AU \cdot CLTD_c$$

$$CLTD_c = [[CLTD (6.2) + LM (6.5)]K + (25.5 - t_r) + (T_o - 29.4)] * f$$

LM معامل تصحيح لخط العرض والشهر.

K معامل تصحيح لون السقف = 1.0 للسقف الغامق او الفاتح في المناطق الصناعية.

= 0.5 للسقف الفاتح الدائم.

f معامل تصحيح لوجود تهوية بين السقف الثانوي والسقف المائل = 0.75 عند وجود التهوية.

= 1 عند عدم وجود تهوية.

(25.5 - T_R) تصحيح لدرجة حرارة الهواء الداخلية.

($T_o - 29.4$) تصحيح لدرجة حرارة الهواء الخارجية, حيث (T_o) معدل درجة حرارة الهواء الخارجية:

$$T_o = \frac{T_{o,max} - T_{o,min}}{2} = T_{o,max} - \frac{1}{2} \Delta T_{daily}$$

ملاحظة: تنطبق قيم الجدول (6.2) مباشرة للظروف التالية: سقف غامق, درجة حرارة التصميم الداخلية ($T_R = 25.5^\circ C$) والخارجية ($T_o,max = 35^\circ C$) بمدى تغير يومي ($\Delta T_{daily} = 11^\circ C$) ومعدل درجة حرارة خارجية ($T_o = 35^\circ C$) ولخط عرض (40°) شمالا في يوم (21) تموز.

جدول (6.2) فرق درجات حرارة حمل التبريد (CLTD) للسقوف مع سقف ثانوي

(Roof No.) description of construction	Weight kg/m ²	U-value W/m ² .°C	Solar Time, h																								Hour of Max. CLTD	Min. CLTD	Max. CLTD	Diff. CLTD
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
With suspended ceiling																														
(1) steel sheet with 25.4mm (or 50.8 mm) insulation	44 (49)	0.761 (0.522)	1	0	1	2	3	3	0	5	13	20	28	35	40	43	43	41	37	31	23	15	10	7	5	3	15	-3	43	46
(2) 25.4 mm wood with 25.4 mm insulation	49	0.653	11	8	6	5	3	2	1	2	4	7	12	17	22	27	31	33	35	34	32	28	24	20	17	14	17	1	35	34
(3) 101.6 mm I.W concrete	9	0.61	10	8	6	4	2	1	0	0	2	6	10	16	21	27	31	34	36	36	34	30	26	21	17	13	17	0	36	36
(4) 50.8 mm h.w concrete with 25.4 mm insulation	146	0.44	16	14	13	11	10	8	7	7	8	9	11	14	17	19	22	24	25	26	26	25	23	21	20	18	18	7	26	19
(5) 25.4 mm wood with 50.8 mm insulation	49	0.41	14	11	9	7	5	4	3	3	4	6	10	14	18	23	27	30	31	32	31	29	26	22	19	16	18	3	32	30
(6) 152.4 mm I.W concrete	12	0.619	18	15	13	11	9	7	6	4	4	4	6	9	12	16	20	24	27	29	30	30	28	26	23	20	20	4	30	26
(7) 63.5 mm wood with 25.4 mm insulation	3	0.545	19	18	16	14	13	12	10	9	8	8	9	10	12	14	17	19	21	23	24	25	24	23	22	21	20	8	25	17
(8) 203.2 mm I.W concrete	161	0.528	22	20	18	16	15	13	11	10	9	8	8	8	9	11	14	16	19	21	23	25	25	25	24	23	20	8	25	17
(9) 101.6 mm h.w concrete with 25.4 mm (or 50.8mm) insulation	259 (264)	0.727 (0.511)	17	16	15	14	13	13	12	11	11	11	12	13	15	16	18	19	20	21	21	21	21	20	19	18	19	11	21	10
(10) 63.5 mm wood with 50.8 mm insulation	3	0.409	19	18	17	16	14	13	12	11	10	10	10	11	12	14	16	18	19	21	22	23	23	22	22	21	21	10	23	13
(11) roof terrace system	0.36	0.466	17	16	16	15	15	14	13	13	13	12	12	13	13	14	15	16	16	17	18	18	19	18	18	18	21	12	19	7
(12) 152.4mm h.w concrete with 25.4 mm (or 50.8mm) insulation	36	0.1 (0.499)	16	16	15	15	14	13	13	12	12	12	12	13	14	15	16	17	18	18	19	19	19	18	18	18	20	12	19	7
(13) 101.6 mm wood with 25.4 mm (or 50.8mm) insulation	93 0.9	0.465 (0.363)	20	19	19	18	17	16	15	14	14	13	12	12	12	12	13	14	15	16	18	19	20	20	20	20	23	12	20	8

تابع جدول (6.2) بدون سقف ثانوي

(Roof No.) description of construction	Weight kg/m ²	U-value W/m ² .°C	Solar Time, h																								Hour of Max. CLTD	Min. CLTD	Max. CLTD	Diff. CLTD
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
Without suspended																														
(1) steel sheet with 25.4mm (or 50.8 mm) insulation	34 (39)	1.209 (0.704)	0	-1	-9	-9	-3	-9	3	11	12	92	30	00	03	00	03	32	33	92	12	10	2	2	3	1	10	-3	00	02
(2) 25.4 mm wood with 25.4 mm insulation	39	0.965	3	9	0	-1	-9	-9	-1	2	8	12	99	92	32	32	01	01	32	32	92	91	12	11	8	2	11	-9	01	03
(3) 101.6 mm I.W concrete	88	1.209	2	3	1	0	-1	-9	-9	1	2	11	18	92	31	31	32	00	00	32	39	92	12	10	10	2	11	-9	00	09
(4) 50.8 mm h.w concrete with 25.4 mm insulation	142	1.170 (0.693)	2	2	3	9	0	-1	0	9	1	11	12	93	98	33	31	32	32	30	30	92	90	11	19	10	11	-1	32	38
(5) 25.4 mm wood with 50.8 mm insulation	44	0.619	9	0	-9	-3	-0	-0	-0	-9	3	2	12	99	92	39	32	31	32	39	92	90	10	10	1	3	11	-0	31	00
(6) 152.4 mm I.W concrete	11	0.89	19	10	2	2	3	9	1	0	9	0	8	13	18	90	92	33	32	31	32	39	98	90	12	11	18	0	31	31
(7) 63.5 mm wood with 25.4 mm insulation	63	0.738	11	13	11	2	2	1	0	3	0	2	8	11	12	12	93	92	92	31	31	30	92	92	99	12	12	3	31	98
(8) 203.2 mm I.W concrete	151	0.715	90	12	10	19	10	8	1	2	0	0	2	2	11	10	18	99	92	98	30	30	92	92	92	99	90	0	30	91
(9) 101.6 mm h.w concrete with 25.4 mm (or 50.8mm) insulation	254 (224)	1.136 (0.682)	10	19	10	8	2	2	0	0	1	8	11	12	18	99	92	98	92	30	92	92	90	91	12	11	18	0	30	91
(10) 63.5 mm wood with 50.8 mm insulation	63	0.528	18	12	13	11	2	8	1	2	2	2	2	10	13	12	91	90	92	98	92	92	92	92	93	90	12	2	92	90
(11) roof terrace system	366	0.602	12	-1	12	10	19	11	2	8	2	8	8	10	19	12	18	90	99	90	92	91	92	90	99	91	90	2	91	12
(12) 152.4mm h.w concrete with 25.4 mm (or 50.8mm) insulation	366 (366)	1.090 (0.664)	18	11	10	19	11	10	2	8	8	2	10	19	12	12	90	99	90	92	92	92	90	99	90	12	12	8	92	12
(13) 101.6 mm wood with 25.4 mm (or 50.8mm) insulation	83 (88)	0.602 (0.443)	91	90	18	12	12	10	13	11	10	2	2	2	10	19	10	11	18	90	99	93	90	90	93	99	99	2	90	12

2- حمل تبريد الحيز من الكسب الحراري خلال الجدران الخارجية (حمل محسوس)

$$q = A.U.CLTD_c$$

$$CLTD_c = [CLTD (6.3), (6.4) + LM (6.5)]K + (25.5 - t_r) + (T_o - 29.4)$$

LM معامل تصحيح لخط العرض والشهر.

K معامل تصحيح لون السقف = 1.0 للجدران الغامقة او الفاتحة في المناطق الصناعية.

= 0.83 للجدران المتوسطة الدائمة.

= 0.65 للجدران فاتحة اللون الدائمة.

الالوان الغامقة: الازرق الغامق والاحمر غامق والاخضر غامق.

الالوان المتوسطة: الازرق الفاتح والاخضر الفاتح والاحمر الفاتح والقهوائي ولون الخرسانة.

الالوان الفاتحة: الابيض والاصفر الفاتح والبنّي الفاتح.

(25.5 - T_R) تصحيح لدرجة حرارة الهواء الداخلية.

($T_o - 29.4$) تصحيح لدرجة حرارة الهواء الخارجية, حيث (T_o) معدل درجة حرارة الهواء الخارجية:

$$T_o = \frac{T_{o,max} - T_{o,min}}{2} = T_{o,max} - \frac{1}{2} \Delta T_{daily}$$

ملاحظة: تنطبق قيم الجدول (6.4) مباشرة للظروف التالية: جدار غامق, درجة حرارة التصميم الداخلية ($T_R = 25.5^\circ C$) والخارجية ($T_{o,max} = 35^\circ C$) بمدى تغير يومي ($\Delta T_{daily} = 11^\circ C$) ومعدل درجة حرارة خارجية ($T_o = 35^\circ C$) ولخط عرض (40°) شمالا في يوم (21) تموز.

جدول (6.3) تصنيف الجدران حسب التركيب الانشائي

Type of Wall	Weight (kg/m ²)	U-Value (W/m ² .°C)	Group No.	Description of Construction
(1) طابوق واجهة على طابوق	101.6mm (4In) Face Brick + Brick			
	405	2.033	C	Air Space + 101.6mm (4In) Face Brick
	439	2.356	D	101.6mm (4In) Common Brick
	439	0.987-1.709	C	25.4mm (1In) Insulation or Air Space + 101.6mm (4In) Common Brick
	430	0.630	B	50.8mm (2In) Insulation + 101.6mm (4In) Common Brick
	635	1.714	B	203.2mm (8In) Common Brick
	635	0.874-1.379	A	Insulation or Air Space + 203.2mm (8In) Common Brick
(2) طابوق واجهة على خرسانة ثقيلة	101.6mm (4In) Face Brick + (H.W. Concrete)			
	459	1.98	C	Air Space +50.8mm (2In) Concrete
	474	0.658	B	50.8mm (2In) Insulation + 101.6mm (4In) Concrete
	698-928	0.625-0.636	A	Insulation or Air Space + 203.2mm (8In) or more Concrete
(3) طابوق واجهة على كتل خرسانية مجوفة خفيفة وثقيلة	101.6mm (4In) Face Block + (L.W. or H.W. Concrete Block)			
	303	1.811	E	101.6mm (4In) Block
	303	0.868-1.397	D	Insulation or Air Space + 101.6mm (4In) Block
	342	1.555	D	203.2mm (8In) Block
	356-434	1.255-1.561	C	25.4mm (1In) Insulation or Air Space +152.4mm (6In) or 203.2mm (8In) Block
434	0.545-0.607	B	50.8mm (2In) Insulation + 203.2mm (8In) Block	
(4) طابوق واجهة على كتل فخارية مجوفة	101.6mm (4In)Tile + (Clay Tile)			
	347	2.163	D	101.6mm (4In)Tile
	347	1.595	D	Air Space + 101.6mm (4In)Tile
	347	0.959	C	Insulation + 101.6mm (4In)Tile
	469	1.561	C	203.2mm (8In)Tile
	469	0.806-1.255	B	Air Space or 25.4mm (1In) Insulation + 203.2mm (8In)Tile
(5) خرسانة ثقيلة مع واجهة	H.W. Concrete Wall + (Finish)			
	308	3.321	E	101.6mm (4In) Concrete
	308	0.675-1.136	D	101.6mm (4In) Concrete + 25.4mm (1In) or 50.8mm (2In) Insulation
	308	0.675	C	101.6mm (4In) Concrete + 50.8mm (2In) Insulation
	532	2.782	C	203.2mm (8In) Concrete
	537	0.653-1.061	B	203.2mm (8In) Concrete + 25.4mm (1In) or 50.8mm (2In) Insulation
	537	0.653	A	203.2mm (8In) Concrete + 50.8mm (2In) Insulation
	762	2.390	B	304.8mm (12In) Concrete
762	0.642	A	304.8mm (12In) Concrete + Insulation	

تابع جدول (6.3) تصنيف الجدران حسب التركيب الانشائي

Type of Wall	Weight (kg/m ²)	U-Value (W/m ² .°C)	Group No.	Description of Construction
(6) كتل خرسانية مجوفة خفيفة وثقيلة مع واجهة	L.W. and H.W. Concrete Block + (Finish)			
	142	0.914-1.493	F	101.6mm (4In) Block + Insulation or Air Space
	142-181	0.596-0.647	E	101.6mm (4In) Block + 50.8mm (2In) Insulation
	229-249	1.669-2.282	E	203.2mm (8In) Block
	200-278	0.846-0.982	D	203.2mm (8In) Block + Insulation or Air Space
(7) كتل فخارية مجوفة مع واجهة	Clay Tile + (Finish)			
	190	2.379	F	101.6mm (4In) Tile
	190	1.720	F	101.6mm (4In) Tile + Air Space
	190	0.993	E	101.6mm (4In) Tile + 25.4mm (1In) Insulation
	195	0.625	D	101.6mm (4In) Tile + 50.8mm (2In) Insulation
	308	1.681	D	203.2mm (8In) Tile
	308	0.857-1.312	C	203.2mm (8In) Tile + Air Space or 25.4mm (1In) Insulation
	308	0.562	B	203.2mm (8In) Tile + 50.8mm (2In) Insulation
(8) جدران معدنية فاصلة	Metal Curtain Wall			
	24-29	0.516-1.306	B	With or Without Air Space + 25.4mm (1In) or 50.8mm (2In) or 72.2mm (3In) Insulation
(9) جدران خشنة	Frame Wall			
	78	0.459-1.010	G	25.4mm (1In) to 72.2mm (3In) Insulation

جدول (6.4) فرق درجات حرارة حمل التبريد (CLTD) للجدران

North Latitude Wall Facing	Group A Walls																								Solar Time, h	H of Max CLTD	Min CLTD	Max CLTD	Differ-CLTD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
N	8	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8	2	6	8	2	
NE	11	11	10	10	10	9	9	9	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11	11	11	22	8	11	3	
E	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	13	14	14	14	14	14	22	10	14	4	
SE	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	13	13	13	13	13	22	10	13	3	
S	11	11	11	11	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	11	11	11	23	8	11	3		
SW	14	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	9	9	10	10	10	10	11	12	13	13	14	24	9	14	5	
W	15	15	15	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	13	14	14	15	1	10	15	5
NW	12	12	11	11	11	11	10	10	10	9	9	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	11	11	11	1	8	12	4	

North Latitude Wall Facing	Group B Walls																								Solar Time, h	H of Max CLTD	Min CLTD	Max CLTD	Differ-CLTD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
N	8	8	8	7	7	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	7	7	8	8	8	8	8	24	5	8	3	
NE	11	10	10	9	9	8	7	7	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	11	12	12	12	11	11	21	7	12	5	
E	13	13	12	11	10	10	9	8	8	8	9	9	10	12	13	13	14	14	15	15	15	15	14	14	20	8	15	7	
SE	13	12	12	11	10	10	9	8	8	8	8	8	9	10	11	12	13	14	14	14	14	14	14	14	21	8	14	6	
S	12	11	11	10	9	9	8	7	7	6	6	6	6	7	8	9	10	11	11	12	12	12	12	12	23	6	12	6	
SW	15	15	14	13	13	12	11	10	9	9	8	8	7	7	8	9	10	11	13	14	15	15	16	16	24	7	16	9	
W	16	16	15	14	14	13	12	11	10	9	9	8	8	8	8	8	9	11	12	14	15	16	16	17	24	8	17	9	
NW	13	12	12	11	11	10	9	9	8	7	7	7	6	6	7	7	8	8	9	11	12	13	13	13	24	6	13	7	

North Latitude Wall Facing	Group C Walls																								Solar Time, h	H of Max CLTD	Min CLTD	Max CLTD	Differ-CLTD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
N	9	8	7	7	6	5	5	4	4	4	4	4	4	5	5	6	6	7	8	9	9	9	9	9	22	4	10	6	
NE	10	10	9	8	7	6	6	6	6	7	8	10	10	11	12	12	12	13	13	13	13	12	12	11	20	6	13	7	
E	13	12	11	10	9	8	7	7	8	9	11	13	14	15	16	16	17	17	16	16	16	15	14	13	18	7	17	10	
SE	13	12	11	10	9	8	7	6	7	7	9	10	12	14	15	16	16	16	16	16	16	15	14	13	19	6	16	10	
S	12	11	10	9	8	7	6	5	5	5	5	6	8	9	11	12	13	14	14	14	14	13	12	20	5	14	9		
SW	16	15	14	12	11	10	9	8	7	7	6	6	6	7	8	10	12	14	16	18	18	18	18	17	22	6	18	12	
W	17	16	15	14	12	11	10	9	8	7	7	7	7	7	8	8	9	11	13	16	18	19	20	19	22	7	20	13	
NW	14	13	12	11	9	8	7	6	6	5	5	6	6	6	7	9	10	12	14	17	18	17	16	15	22	5	15	10	

North Latitude Wall Facing	Group D Walls																								Solar Time, h	H of Max CLTD	Min CLTD	Max CLTD	Differ-CLTD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
N	8	7	7	6	5	4	3	3	3	3	4	4	5	6	6	7	8	9	10	11	11	10	10	9	21	3	11	8	
NE	9	8	7	6	5	5	4	4	6	8	10	11	12	13	13	13	14	14	14	14	13	13	12	11	10	19	4	14	10
E	11	10	8	7	6	5	5	5	7	10	13	15	17	18	18	18	18	18	17	17	16	15	13	12	16	5	18	13	
SE	11	10	9	7	6	5	5	5	7	10	12	14	16	17	18	18	18	18	17	17	16	15	14	12	17	5	18	13	
S	11	10	8	7	6	5	4	4	3	3	4	5	7	9	11	13	15	16	16	16	15	14	13	12	19	3	16	13	
SW	15	14	12	10	9	8	6	5	5	4	4	5	5	7	9	12	15	18	20	21	21	20	19	17	21	4	21	17	
W	17	15	13	12	10	9	7	6	5	5	5	5	6	6	8	10	13	17	20	22	23	22	21	19	21	5	23	18	
NW	14	12	11	9	8	7	6	5	4	4	4	4	5	6	7	8	10	12	15	17	18	17	16	15	22	4	18	14	

تابع جدول (6.4) فرق درجات حرارة حمل التبريد (CLTD) للجدران

North Latitude Wall Facing	Group E Walls																								Solar Time, h	H of Max CLTD	Min CLTD	Max CLTD	Differ-CLTD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
N	7	6	5	4	3	2	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	10	11	12	12	11	10	9	8	20	2	12	10	
NE	7	6	5	4	3	2	3	5	8	11	13	14	14	14	14	14	15	14	14	13	12	11	9	8	16	2	15	13	
E	8	7	6	5	4	3	3	6	10	15	18	20	21	21	20	19	18	18	17	15	14	12	11	9	13	3	21	18	
SE	8	7	6	5	4	3	3	4	7	10	14	17	19	20	20	20	19	18	17	16	14	13	11	10	15	3	20	17	
S	8	7	6	5	4	3	2	2	2	3	5	7	10	14	16	18	19	18	17	16	14	13	11	10	17	2	19	17	
SW	12	10	8	7	6	4	4	3	3	3	4	5	7	10	14	18	21	24	25	24	22	19	17	14	19	3	25	22	
W	14	12	10	8	6	5	4	3	3	4	4	5	6	8	11	15	20	24	27	27	25	22	19	16	20	3	27	24	
NW	11	9	8	6	5	4	3	3	3	3	4	5	6	7	9	11	14	18	21	21	20	18	15	13	20	3	21	18	

North Latitude Wall Facing	Group F Walls																								Solar Time, h	H of Max CLTD	Min CLTD	Max CLTD	Differ-CLTD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
N	5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6	8	9	11	12	12	13	13	13	11	9	7	6	19	1	13	12	
NE	5	4	3	2	1	1	3	8	13	16	17	16	16	15	15	15	15	14	13	12	10	9	7	6	11	1	17	16	
E	5	4	3	2	2	1	4	9	16	21	24	25	24	22	20	19	18	17	15	13	11	10	8	7	12	1	25	24	
SE	5	4	3	2	2	1	2	6	10	15	20	23	24	23	22	20	19	17	16	14	12	10	8	7	13	1	24	23	
S	5	4	3	2	2	1	1	1	2	4	7	11	15	19	21	22	21	19	17	15	12	10	8	7	16	1	22	21	
SW	8	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	6	10	14	20	24	28	30	29	25	20	16	13	10	18	1	30	29	
W	9	7	5	4	3	2	2	2	2	3	4	6	8	11	16	22	27	32	33	30	24	19	15	12	19	2	33	31	
NW	8	6	4	3	2	2	1	1	2	3	4	6	7	9	12	15	19	24	26	24	20	16	12	10	19	1	26	25	

North Latitude Wall Facing	Group G Walls																								Solar Time, h	H of Max CLTD	Min CLTD	Max CLTD	Differ-CLTD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
N	2	1	0	0	0	1	4	5	5	7	8	10	12	13	13	14	14	15	12	8	6	5	4	3	18	0	15	15	
NE	2	1	1	0	0	5	15	20	22	20	16	15	15	15	15	14	12	10	8	6	5	4	3	9	0	22	22		
E	2	1	1	0	0	6	17	26	30	31	28	22	19	17	17	16	15	13	11	8	7	5	4	3	10	0	31	31	
SE	2	1	1	0	0	3	10	18	24	27	28	27	23	20	18	16	15	13	11	8	7	6	4	3	11	0	28	28	
S	2	1	1	0	0	0	1	3	7	12	17	22	25	26	24	21	17	14	11	8	7	5	4	3	14	0	26	26	
SW	3	2	2	1	0	0	1	3	4	6	9	14	21	28	33	35	34	29	20	13	10	7	6	4	16	0	35	35	
W	4	3	2	1	1	1	1	3	5	6	8	10	15	23	31	37	40	37	27	16	11	8	6	5	17	1	40	39	
NW	3	2	1	1	0	0	1	3	4	6	8	10	12	15	20	26	31	31	23	14	10	7	5	4	18	0	31	31	

جدول (6.5) قيم (LM) لخط العرض والشهر للسقوف والجدران لتصحيح (CLTD)
(يستعمل مع الجدولين (6.2)(6.4) بموجب الملاحظات)

North Lat.	Month	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	FSE WSW	SE SW	SSE SSW	S	Horizontal
16	Dec	-2.2	-3.3	-4.4	-4.4	-2.2	-0.5	2.2	5.0	7.2	-5.0
	Jan / Nov	-2.2	-3.3	-3.8	-3.8	-2.2	-0.5	2.2	4.4	6.6	-3.8
	Feb / Oct	-1.6	-2.7	-2.7	-2.2	-1.1	0.0	1.1	2.7	3.8	-2.2
	Mar / Sept	-1.6	-1.6	-1.1	-1.1	-0.5	-0.5	0.0	0.0	0.0	-0.5
	Apr / Aug	-0.5	0.0	-0.5	-0.5	-0.5	-1.6	-1.6	2.7	-3.3	0.0
	May / Jul	2.2	1.6	1.6	0.0	-0.5	-2.2	-2.7	-3.8	-3.8	0.0
	Jun	3.3	2.2	2.2	0.5	-0.5	-2.2	-3.3	-4.4	-3.8	0.0
24	Dec	-2.7	-3.8	-5.0	-5.5	-3.8	1.6	1.6	0.5	7.2	7.2
	Jan / Nov	-2.2	-3.3	-4.4	-5.0	-3.3	1.6	1.6	5.0	7.2	6.1
	Feb / Oct	-2.2	-2.7	-3.3	-3.3	-1.6	0.5	1.6	3.8	5.5	3.8
	Mar / Sept	-1.6	-2.2	-1.6	-1.6	-0.5	0.5	0.5	1.1	2.2	1.6
	Apr / Aug	-1.1	-0.5	0.0	-0.5	-0.5	1.1	0.5	1.1	1.6	0.0
	May / Jul	0.5	1.1	1.1	0.0	0.0	1.6	1.6	2.7	3.3	0.5
	Jun	1.6	1.6	1.6	0.5	0.0	1.6	2.2	3.3	3.3	0.5
32	Dec	-2.7	-3.8	-5.5	-6.1	-4.4	-2.7	1.1	5.0	6.6	9.4
	Jan / Nov	-2.7	-3.8	-5.0	-6.1	-4.4	-2.2	1.1	5.0	6.6	8.3
	Feb / Oct	-2.2	-3.3	-3.8	-4.4	-2.2	-1.1	2.2	4.4	6.1	5.5
	Mar / Sept	-1.6	-2.2	-2.2	-2.2	-1.1	-0.5	1.6	2.7	3.8	2.7
	Apr / Aug	-1.1	-1.1	-0.5	-1.1	0.0	-0.5	0.0	0.5	0.5	0.5
	May / Jul	0.5	0.05	0.5	0.0	0.0	-0.5	-0.5	-1.6	-1.6	0.5
	Jun	0.5	1.1	1.1	0.5	0.0	-1.1	-1.1	-2.2	-1.6	1.1
40	Dec	-3.3	-4.4	-5.5	-7.2	-5.5	-3.8	0.0	3.8	5.5	-11.6
	Jan / Nov	-2.7	-3.8	-5.5	-6.6	-5.0	-3.3	0.5	4.4	6.1	-10.5
	Feb / Oct	-2.7	-3.8	-4.4	-5.0	-3.3	-1.6	1.6	4.4	6.6	-7.7
	Mar / Sept	-2.2	-2.7	-2.7	-3.3	-1.6	0.5	2.2	3.8	5.5	-4.4
	Apr / Aug	-1.1	-1.6	-1.1	-1.1	0.0	0.0	1.6	1.6	2.2	1.6
	May / Jul	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
	Jun	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	-0.5	-0.5	1.1
48	Dec	-3.3	-4.4	-6.1	-7.7	-7.2	-5.5	-1.6	1.1	3.3	-13.8
	Jan / Nov	-3.3	-4.4	-6.1	-7.2	-6.1	-4.4	-0.5	2.7	4.4	-13.3
	Feb / Oct	-2.7	-3.8	-5.5	-6.1	-4.4	-2.7	0.5	4.4	6.1	-10.0
	Mar / Sept	-2.2	-3.3	-3.3	-3.8	-2.2	-0.5	-0.2	4.4	6.1	-6.1
	Apr / Aug	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-0.5	0.0	2.2	3.3	3.8	-2.7
	May / Jul	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.5	0.5	1.6	1.6	2.2	0.0
	Jun	0.5	0.5	1.1	0.5	1.1	0.5	1.1	1.1	1.6	1.1

تابع جدول (6.5) قيم (LM) لخط العرض والشهر للسقوف والجدران لتصحيح (CLTD)
(يستعمل مع الجدولين (6.2)(6.4) بموجب الملاحظات)

North Lat.	Month	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	FSE WSW	SE SW	SSE SSW	S	Horizontal
56	Dec	-3.8	-5.0	-6.6	-8.8	-8.8	-7.7	-5.0	-2.7	-1.6	-15.5
	Jan / Nov	-3.3	-4.4	-6.1	-8.3	7.7	-6.6	-3.3	-0.5	1.1	-15.0
	Feb / Oct	-3.3	-4.4	-5.5	-6.6	5.5	-3.8	0.0	3.3	5.0	-12.2
	Mar / Sept	-2.7	-3.3	-3.8	-4.4	-2.7	-1.1	2.2	4.4	6.6	-8.3
	Apr / Aug	-1.6	-2.2	-2.2	-2.2	-0.5	0.5	2.7	3.8	5.0	-4.4
	May / Jul	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	1.1	2.7	3.3	3.8	-1.1
	Jun	1.1	0.5	1.1	0.5	1.6	1.6	2.2	2.7	3.3	0.5
64	Dec	-3.8	-5.0	-6.6	-0.8	-9.4	-10.0	-8.8	-7.7	-6.6	-16.6
	Jan / Nov	-3.8	-5.0	-6.6	-8.8	-8.8	-8.8	-7.2	-5.5	-4.4	-16.1
	Feb / Oct	-3.3	-4.4	-6.1	-7.7	-7.2	-5.5	-2.2	0.5	2.2	-14.4
	Mar / Sept	-2.7	-3.8	-5.0	-5.5	-3.8	-2.2	1.1	3.8	6.1	-11.1
	Apr / Aug	-1.6	-2.2	-2.2	-2.2	-0.5	0.5	2.7	5.0	6.1	-6.1
	May / Jul	0.5	0.0	0.5	0.0	1.6	2.2	3.3	4.4	5.5	-1.6
	Jun	1.1	1.1	1.1	1.1	2.2	2.2	3.3	3.8	5.0	0.0

- 2- حمل تبريد الحيز من الكسب الحراري خلال الزجاج (حمل محسوس)
 يمكن تقسيم الكسب الحراري الزجاجي الى:-
a - الكسب الحراري الشمسي النافذ الانى خلال الزجاج

$$q_{g1} = A * SC(6.9),(6.10),(6.11) * SHG_{max}(6.6) * CLF(6.7),(6.8)$$

جدول (6.6) الكسب الحراري الشمسي الاقصى $(SHG)_{max}$ (W/m^2)

20 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	91	91	161	636	536	252	292	236	526	238
Feb.	92	92	822	665	213	220	261	536	669	230
Mar.	102	166	615	531	262	266	560	620	353	295
Apr.	180	890	686	528	219	565	692	822	123	906
May.	162	322	621	526	526	621	391	120	133	293
June.	125	685	695	521	553	665	361	168	133	220
July.	161	391	626	528	559	656	326	152	135	222
Aug.	185	822	611	560	596	531	620	822	120	223
Sep.	116	166	601	503	210	210	582	652	350	252
Oct.	101	101	826	682	526	266	289	512	635	216
Nov.	91	91	151	429	622	754	786	722	666	726
Dec.	85	85	110	385	590	751	801	760	713	685

24 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	85	85	129	404	599	757	798	760	716	675
Feb.	95	95	252	521	694	770	767	672	606	786
Mar.	107	142	391	615	738	748	675	530	432	868
Apr.	117	278	502	659	719	669	533	338	237	893
May.	136	369	562	675	688	599	416	211	145	890
June.	174	401	581	675	669	565	369	174	136	880
July.	142	366	555	663	672	584	407	205	145	877
Aug.	120	274	492	640	694	644	511	325	227	874
Sep.	110	133	375	584	200	210	560	616	683	239
Oct.	92	92	869	608	555	262	261	563	690	220
Nov.	26	26	133	392	690	266	225	262	202	528
Dec.	28	28	91	363	652	232	229	229	262	582

28 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	79	79	110	369	577	741	792	779	751	618
Feb.	91	91	882	696	528	220	225	202	563	232
Mar.	106	189	355	695	289	262	592	626	696	235
Apr.	116	856	625	562	219	521	658	391	892	222
May.	185	353	663	555	591	516	666	858	123	223
June.	151	396	658	555	528	621	606	202	166	222
July.	129	360	635	656	678	599	442	252	180	870
Aug.	120	262	470	628	694	653	663	329	822	262
Sep.	102	180	360	656	591	213	528	662	625	202
Oct.	96	96	224	476	644	745	751	685	637	288
Nov.	82	82	110	363	571	732	229	252	261	516
Dec.	75	76	76	312	543	716	782	792	776	565

32 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	76	76	91	331	552	722	786	789	776	555
Feb.	85	85	205	470	647	764	782	732	697	685
Mar.	101	117	338	577	716	748	716	615	555	795
Apr.	114	252	461	631	716	691	590	445	363	855
May.	120	350	536	656	694	628	489	312	233	874
June.	139	385	555	656	675	596	439	262	189	871
July.	126	350	527	643	678	612	473	303	227	861
Aug.	117	249	445	615	691	663	571	429	350	836
Sep.	106	110	386	665	522	215	522	695	660	220
Oct.	22	22	199	661	516	232	266	210	522	528
Nov.	25	25	91	386	665	210	223	225	252	668
Dec.	59	59	59	856	611	522	225	296	296	692

36 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	69	69	76	284	524	691	779	795	795	489
Feb.	82	82	180	439	615	754	782	754	732	628
Mar.	95	104	312	555	704	751	732	650	606	751
Apr.	110	240	454	618	710	697	618	492	426	827
May.	120	338	530	644	694	644	521	366	293	858
June.	148	372	552	647	678	612	473	312	243	861
July.	123	338	521	634	681	628	508	357	284	846
Aug.	114	237	435	599	688	669	596	476	413	811
Sep.	98	98	300	527	663	719	704	631	590	726
Oct.	85	85	177	420	590	726	754	729	710	615
Nov.	69	69	76	274	514	678	767	782	782	486
Dec.	63	63	63	218	476	644	760	798	801	429

40 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	63	63	63	233	486	647	760	795	801	420
Feb.	76	76	158	407	587	738	776	770	760	568
Mar.	91	91	293	533	688	751	745	681	650	704
Apr.	107	224	441	599	707	704	640	536	486	795
May.	117	322	521	637	694	656	552	420	357	836
June.	151	357	543	647	681	628	508	366	300	842
July.	120	322	514	625	681	641	536	681	344	827
Aug.	110	224	426	584	681	675	618	536	470	779
Sep.	95	95	274	505	640	716	713	659	631	678
Oct.	79	79	154	388	568	710	751	745	738	588
Nov.	63	63	63	230	476	634	748	782	789	416
Dec.	57	57	57	189	476	593	732	786	798	357

44 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	47	47	47	167	372	552	681	754	773	268
Feb.	63	63	114	325	530	681	764	786	789	435
Mar.	82	82	252	486	644	738	754	732	719	593
Apr.	98	192	416	568	691	710	678	612	587	713
May.	110	306	498	631	290	675	606	514	473	779
June.	145	347	521	644	678	650	568	467	423	795
July.	117	303	492	618	675	659	590	498	461	770
Aug.	104	192	404	549	666	681	656	593	568	704
Sep.	85	41	227	454	290	704	719	704	694	574
Oct.	66	66	110	303	508	653	735	760	764	24
Nov.	47	47	492	164	363	543	669	738	757	268
Dec.	41	41	41	114	287	492	615	710	735	205

48 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	47	47	47	167	372	552	681	754	773	268
Feb.	63	63	114	325	530	681	764	786	789	435
Mar.	82	82	252	486	644	738	754	732	719	593
Apr.	98	192	416	568	691	710	678	612	587	713
May.	110	306	498	631	290	675	606	514	473	779
June.	145	347	521	644	678	650	568	467	423	795
July.	117	303	492	618	675	659	590	498	461	770
Aug.	104	192	404	549	666	681	656	593	568	704
Sep.	85	41	227	454	290	704	719	704	694	574
Oct.	66	66	110	303	508	653	735	760	764	24
Nov.	47	47	492	164	363	543	669	738	757	268
Dec.	41	41	41	114	287	492	615	710	735	205

تابع جدول (6.6) الكسب الحراري الشمسي الاقصى $(SHG)_{max}$ (W/m^2)

52 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	41	41	41	123	290	489	609	700	726	196
Feb.	57	57	91	268	492	637	741	779	789	363
Mar.	76	76	230	457	618	726	754	751	745	533
Apr.	95	177	404	558	678	707	694	644	628	666
May.	79	309	486	625	685	685	628	552	527	741
June.	142	350	508	637	675	663	593	511	480	764
July.	114	306	480	612	672	669	615	540	514	735
Aug.	101	177	391	533	656	681	669	622	609	656
Sep.	79	79	205	429	574	688	719	719	716	514
Oct.	60	60	88	252	467	606	710	751	757	360
Nov.	41	41	41	123	284	480	596	685	710	196
Dec.	32	32	32	60	230	401	543	628	659	133

56 Deg.										
	N shade	NNE/NNW	NE/NW	ENE/WNW	E/W	ESE/WSW	SE/SW	SSE/SSW	S	HOR
Jan.	32	32	32	66	233	398	533	612	647	126
Feb.	50	50	66	224	439	581	704	754	770	287
Mar.	69	69	205	429	584	707	751	760	760	470
Apr.	88	183	388	546	666	704	704	672	663	615
May.	114	312	470	615	678	688	650	590	571	700
June.	167	350	505	628	672	672	618	549	530	729
July.	117	309	464	606	666	675	634	577	558	697
Aug.	95	117	375	521	640	681	678	650	640	609
Sep.	73	73	183	398	540	666	650	726	729	454
Oct.	50	50	63	215	416	555	672	722	738	287
Nov.	32	32	32	66	227	385	521	599	631	126
Dec.	22	22	22	22	148	290	426	502	540	73

جدول (6.7) معامل حمل التبريد (CLF) للزجاج بدون تظليل داخلي

Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time, h																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N (Shaded)	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.75	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.53	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.49	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.72	0.72	0.70	0.70	0.75	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NNE	L	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.26	0.43	0.47	0.44	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.36	0.33	0.30	0.26	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.24	0.38	0.42	0.39	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.34	0.33	0.30	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.26	0.39	0.42	0.39	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
ENE	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.21	0.40	0.52	0.57	0.53	0.45	0.39	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.20	0.35	0.45	0.49	0.47	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.23	0.20	0.17	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.22	0.36	0.46	0.49	0.45	0.38	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
E	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.50	0.42	0.37	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.46	0.39	0.35	0.31	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.20	0.34	0.45	0.49	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
ESE	L	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.17	0.34	0.49	0.58	0.61	0.57	0.48	0.41	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06
	M	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.16	0.31	0.43	0.51	0.54	0.51	0.44	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09
	H	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.19	0.32	0.43	0.50	0.52	0.49	0.41	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11
SE	L	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.56	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
SSE	L	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.15	0.29	0.43	0.55	0.63	0.64	0.60	0.52	0.45	0.40	0.35	0.29	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08
	M	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.08	0.16	0.26	0.38	0.48	0.55	0.57	0.54	0.48	0.43	0.39	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12
	H	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.12	0.19	0.29	0.40	0.49	0.54	0.55	0.51	0.44	0.39	0.35	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13
S	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	H	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.37	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
SSW	L	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.27	0.39	0.52	0.62	0.67	0.65	0.58	0.46	0.36	0.28	0.23	0.19	0.15	0.12
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.25	0.35	0.46	0.55	0.59	0.59	0.53	0.44	0.35	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.27	0.37	0.46	0.53	0.57	0.55	0.49	0.40	0.32	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16

Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time, h																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
WSW	L	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.17	0.26	0.40	0.52	0.62	0.66	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15
	M	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.17	0.24	0.35	0.46	0.54	0.58	0.55	0.42	0.34	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.19	0.26	0.36	0.46	0.53	0.56	0.51	0.38	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
W	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.20	0.32	0.45	0.57	0.64	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.29	0.40	0.50	0.56	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
WNW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.26	0.40	0.53	0.63	0.62	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.24	0.35	0.47	0.55	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.25	0.36	0.46	0.53	0.52	0.38	0.30	0.24	0.20	0.18	0.16
NW	L	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.42	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.54	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	H	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.18	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15
NNW	L	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.27	0.29	0.30	0.33	0.44	0.57	0.62	0.44	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.10	0.12	0.15	0.18	0.21	0.23	0.26	0.27	0.28	0.31	0.39	0.51	0.56	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.26	0.28	0.28	0.31	0.38	0.49	0.53	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16
HOR	L	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.07	0.14	0.24	0.36	0.48	0.58	0.66	0.72	0.74	0.73	0.67	0.59	0.47	0.37	0.29	0.24	0.19	0.16	0.13
	M	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.11	0.16	0.24	0.33	0.43	0.52	0.59	0.64	0.67	0.66	0.62	0.56	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.15	0.20	0.28	0.36	0.45														

جدول (6.8) معامل حمل التبريد (CLF) للزجاج مع تظليل داخلي

Fenestration Facing	Solar Time, h																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.86	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10
NNE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.64	0.77	0.62	0.42	0.37	0.37	0.37	0.36	0.35	0.32	0.28	0.23	0.17	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
NE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
ENE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.52	0.76	0.80	0.71	0.52	0.31	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
E	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
ESE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.41	0.67	0.79	0.80	0.72	0.54	0.34	0.27	0.24	0.21	0.19	0.15	0.12	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
SE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.57	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.25	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
SSE	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.12	0.31	0.54	0.72	0.81	0.81	0.71	0.54	0.38	0.32	0.27	0.22	0.16	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
S	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.09	0.16	0.23	0.38	0.58	0.75	0.83	0.80	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
SSW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.09	0.14	0.18	0.22	0.27	0.43	0.63	0.78	0.84	0.80	0.66	0.46	0.25	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06
SW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.38	0.59	0.75	0.83	0.81	0.69	0.45	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
WSW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.23	0.44	0.64	0.78	0.84	0.78	0.55	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
W	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
WNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.22	0.43	0.65	0.80	0.84	0.66	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.82	0.69	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.11	0.17	0.22	0.26	0.30	0.32	0.33	0.34	0.34	0.39	0.61	0.82	0.76	0.17	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
HOR.	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.27	0.44	0.59	0.72	0.81	0.85	0.85	0.81	0.71	0.58	0.42	0.25	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06

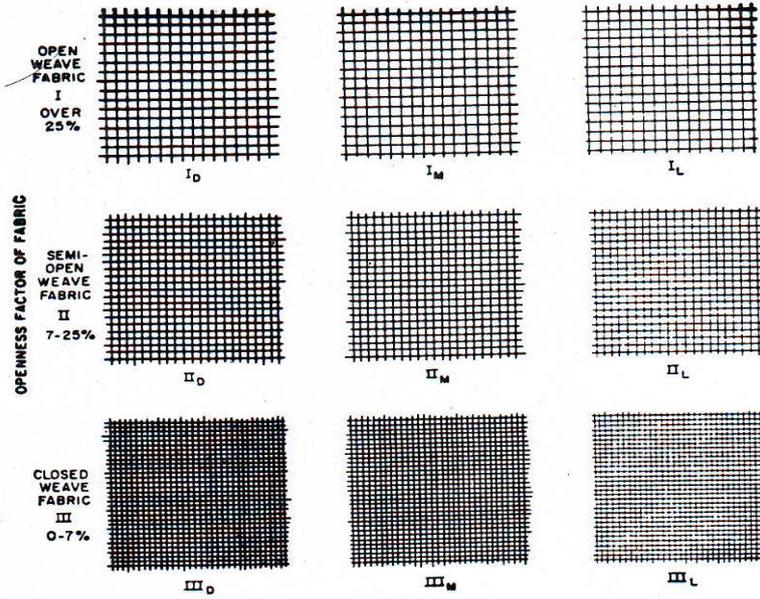
جدول (6.9) معامل التظليل (SC) لنوعية الزجاج المفرد والمزدوج العازل للحرارة (بدون حاجبات فينسية وستائر دوارة داخلية)

الزجاج المفرد			
معامل التظليل (SC)	الانفاذية	السلك (mm)	نوعية الزجاج
1.0	0.86	3	صاف (Clear)
0.94	0.78	6	
0.90	0.72	10	
0.87	0.67	12	
0.83	0.64	3	ماص للحرارة (Heat Absorbing)
0.69	0.46	6	
0.60	0.33	10	
0.53	0.24	12	
الزجاج المزدوج العازل للحرارة			
0.88	0.71	3	الزجاجتين الخارجية والداخلية صافيتين
0.81	0.61	6	
0.55	0.36	6	الخارجية ماصة والداخلية صافية

جدول (6.10) معامل التظليل (SC) مع وجود حاجبات فينيسية وستائر دوارة داخلية

ستائر دوارة			حاجبات فينيسية		الانفاذية	السمك	النوعية
شفافة	بيضاء	غامقة	فاتحة	متوسطة			
زجاج مفرد							
0.39	0.25	0.59	0.55	0.64	0.8-0.87	2.5-6	صاف
					0.71-0.8	6-12	صاف
					0.79-0.87	3-12	صاف منقش
					-----	3	ماص للحرارة منقش
0.36	0.3	0.45	0.53	0.57	0.71-0.74	5-5.5	ملون
					0.46	5-6	ماص للحرارة
					0.45-0.59	3-3.5	ملون
0.32	0.28	0.4	0.52	0.54	0.3-0.44	-----	ماص للحرارة او منقش
					0.24	10	ماص للحرارة
0.31	0.28	0.36	0.4	0.42	0.29-0.15	-----	ماص للحرارة
					0.24	-----	منقش
مظلي عاكس للحرارة معامل التظليل للزجاج بدون تظليل داخلي							
-----	-----	0.23	-----	0.25	-----	-----	SC = 0.3
-----	-----	0.29	-----	0.33	-----	-----	SC = 0.4
-----	-----	0.38	-----	0.42	-----	-----	SC = 0.5
-----	-----	0.44	-----	0.5	-----	-----	SC = 0.6
زجاج مزدوج عازل للحرارة							
الزجاجتين الخارجية والداخلية							
0.37	0.25	0.6	0.51	0.57	0.87	2.5-3	صافيتين
					0.8	6	
0.3	0.22	0.4	0.36	0.39	0.46-0.8	6	الخارجية ماصة للحرارة والداخلية صافية
مظلي عاكس للحرارة معامل التظليل للزجاج بدون تظليل داخلي							
-----	-----	0.18	-----	0.19	-----	-----	SC = 0.2
-----	-----	0.26	-----	0.27	-----	-----	SC = 0.3
-----	-----	0.33	-----	0.34	-----	-----	SC = 0.4

جدول (6.11) معامل التظليل (SC) مع ستائر القماشية للزجاج المفرد والمزدوج



الشكل 6.3 تصنيف الستائر القماشية .

- I - قماش بحيكة مفتوحة 25%
 II - قماش بحيكة نصف مفتوحة 25% - 7
 III - قماش بحيكة متقاربة 7% - 0
 D - خيوط حيكة غامقة اللون
 M - خيوط حيكة متوسطة اللون
 L - خيوط حيكة فاتحة اللون

متقاربة وغامقة جدا	I _D	I _M II _D	I _L III _D	II _M	II _L III _M	III _M	III _D	III _L	ناعمة وفاتحة جدا	SC*	الانفاذية	نوعية الزجاج	
زجاج مفرد													
0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.95	0.80	6mm	صافي
0.74	0.70	0.66	0.61	0.56	0.52	0.48	0.43	0.39	0.35	0.88	0.71	12mm	
0.57	0.54	0.52	0.49	0.46	0.44	0.41	0.38	0.36	0.33	0.67	0.46	6mm	ماص للحرارة
0.43	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	0.34	0.33	0.32	0.30	0.50	0.24	12mm	
0.57	0.54	0.51	0.49	0.46	0.43	0.41	0.38	0.36	0.33	0.60	-	مظلي عاكس للاشعاع	
0.46	0.44	0.42	0.41	0.39	0.38	0.36	0.34	0.33	0.31	0.50	-		
0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.40	-		
0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.20	0.30	-		
زجاج مزدوج													
0.66	0.62	0.58	0.56	0.52	0.48	0.45	0.42	0.37	0.35	0.83	0.64	خارجية وداخلية صافيتين بتجويف 12mm	
0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32	0.55	0.37	خارجية ماصة للحرارة والداخلية صافية	
0.38	0.37	0.37	0.36	0.34	0.32	0.31	0.29	0.28	0.28	0.40	-	مظلي عاكس للاشعاع	
0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24	0.24	0.30	-		
0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0.20	-		

b- الكسب الحراري الشمسي الانتقالي خلال الزجاج

$$q_{g2} = A.U.CLTD_c \quad (6.12)$$

c- الكسب الحراري الشمسي الكلي

$$q = (A).[(SC).(SHG)_{max}.(CLF) + U.CLTD_c]$$

جدول (6.12) فرق درجات حرارة حمل التبريد (CLTD) عبر الزجاج

وقت الشمس	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CLTD	1	0	-1	-1	-1	-1	0	1	2	3	4	5
وقت الشمس	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	1

ملاحظات:

1. تنطبق قيم الجدول (6.12) للظروف التالية:

درجة الحرارة الداخلية 25.5°C

درجة الحرارة الخارجية 35°C

مدى التغير اليومي $\Delta T_{daily} = 11.6^\circ\text{C}$

معدل درجة الحرارة الخارجية 29.4°C

2. تصحيح قيم الجداول للظروف المختلفة عن الفقرة (1) اعلاه بموجب المعادلة التالية:

$$CLTD_C = CLTD + (25.5 - t_i) + (T_o - 29.4)$$

$$T_o = \frac{T_{o,max} - T_{o,min}}{2} = T_{o,max} - \frac{1}{2} \Delta T_{daily}$$

3- حمل التبريد من تخلل الهواء (حمل محسوس وكامن)

كما وردة في فصل حسابات حمل التدفئة

4- حمل تبريد الحيز من المناطق المجاورة غير المكيفة (حمل محسوس)

كما وردة في فصل حسابات حمل التدفئة

5- حمل التبريد من مصادر الحرارة الداخلية (حمل محسوس وكامن)

a- الانارة الكهربائية: الانارة الاعتيادية

$q_t = q_1 * No.$ مصابيح الانابيب الفلورية

$q_t = 1.2 * q_1 * No.$ تتراوح شدة الاضاءة المطلوبة $(25-30) \text{W/m}^2$, $(CLF=1)$

b- شاغلو الحيز: كما وردة في فصل الانسان والبيئة المكيفة, جدول (4.3), (4.4)

b- المحركات الكهربائية: لحساب الكسب الحراري

$$1- \text{ من المعادلة } q = q_{\text{machine}} (kW) * (1 - \text{eff}) / \text{eff}$$

2- او مباشرة من جدول (6.16).

كفاءة المحرك : eff

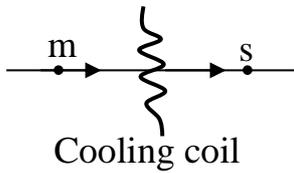
قدرة المحرك المكتوبة عليه : q_{machine}

6- حمل تبريد هواء التهوية (حمل محسوس وكامن)

$$q_t = q_s + q_l = \dot{V} \cdot \rho (h_i - h_o) = 1.2 \dot{V} (h_i - h_o)$$

لايجاد (\dot{V}) اما تعطى في السؤال او من جدول (4-5) معدلات التهوية لكل شخص (\dot{V}) (l/s)

7- حمل ملف التبريد (حمل محسوس وكامن)



Cooling coil

$$q = \dot{m} (h_m - h_s)$$

جدول (6.16) معدلات الكسب الحراري لبعض المحركات والمعدات الكهربائية

حرارة كامنة (W)	حرارة محسوسة (W)	الجهاز او العدة الكهربائية
-----	1760	جهاز استنساخ صغير
-----	3515	جهاز استنساخ كبير
350	190	جهاز تعقيم
250	750	حاوية قهوة كهربائية سعة 12 لتر
1060	1550	سخان صحون كهربائي
1065	1935	شواية كهربائية كبيرة
1170	2350	طباخ منزلي غازي
65	225	غلاية قهوة كهربائية (لكل موقد)
-----	1025	فرن غازي مع غطاء لسحب الهواء
-----	500	فرن كهربائي مع غطاء لسحب هواء
120	675	مجفف شعر
-----	194	0.25kW
-----	215	0.56 kW
-----	249	0.75 kW
-----	395	1.5 kW
-----	1065	5.6 kW
-----	2230	15 kW
-----	3690	30 kW
-----	6210	56 kW
125	495	مصباح بنزن الغازي
1930	820	مفلاة كهربائية عميقة
1020	1580	منضدة تسخين بخارية (للمتر المربع)
8	8	وجبة طعام

منظومات
تكييف الهواء

Air Conditioning Systems

* كمية الماء المثلج او الساخن المجهز لمعدات التبريد او التسخين والذي يحسب من خلال معرفة الحمل الكلي الاقصى على ذلك الملف:

$$q = \dot{m}_w \cdot c_{pw} \cdot (t_2 - t_1) = \dot{V}_w \cdot \rho_w \cdot c_{pw} \cdot (t_2 - t_1) = 4190 \dot{V}_w (t_2 - t_1)$$

في حالة التدفئة (حمل التدفئة على ذلك الملف او حمل التدفئة للحيز)
 في حالة التبريد (حمل ملف التبريد = حمل تبريد الحيز + الاحمال الاخرى)

$$c_{pw} = 4.19 \text{ kJ/kg}$$

$$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

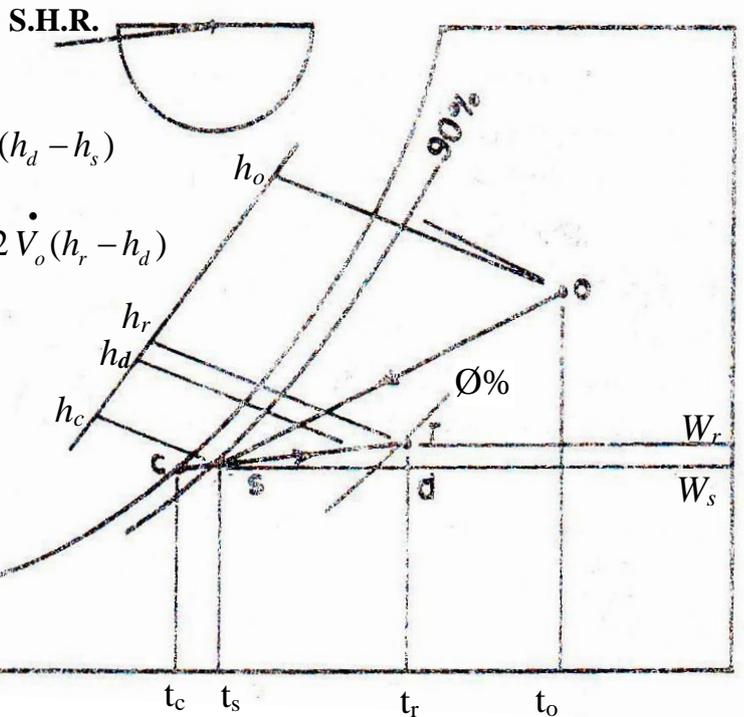
في حالة عدم اعطاء درجات الحرارة

1- في حالة التدفئة $(t_2 - t_1) = (80 - 70) = 10^\circ \text{C}$
 $= (70 - 65) \text{ or } (65 - 60) = 5^\circ \text{C}$

2- في حالة التبريد $(t_2 - t_1) = (10 - 5.5) = 4.5^\circ \text{C}$
 $= (11.1 - 5.5) = 6.5^\circ \text{C}$
 $= (12.2 - 5.5) = 6.7^\circ \text{C}$

* معدل تجهيز الهواء لحمل التبريد

1- منظومات الهواء الخارجى كليا



$$q_s = \dot{m}_o \cdot c_{pm} (t_r - t_s) = 1.22 \dot{V}_o (t_r - t_s) = 1.2 \dot{V}_o (h_d - h_s)$$

$$q_l = \dot{m}_o \cdot h_{vd} (W_r - W_s) = 2490 \dot{V}_o (W_r - W_s) = 1.2 \dot{V}_o (h_r - h_d)$$

$$q_t = \dot{m}_o (h_r - h_s) = 1.2 \dot{V}_o (h_r - h_s)$$

$$1 - BF = (t_r - t_s) / (t_r - t_c)$$

$$\dot{V}_o = \frac{q_s}{1.22(t_r - t_c)(1 - BF)}$$

2 - منظومات الهواء الراجع (الداخلي) كليا

$$q_s = \dot{m}_r \cdot c_{p_m} (t_r - t_s) = 1.22 \dot{V}_r (t_r - t_s) = 1.2 \dot{V}_r (h_d - h_s)$$

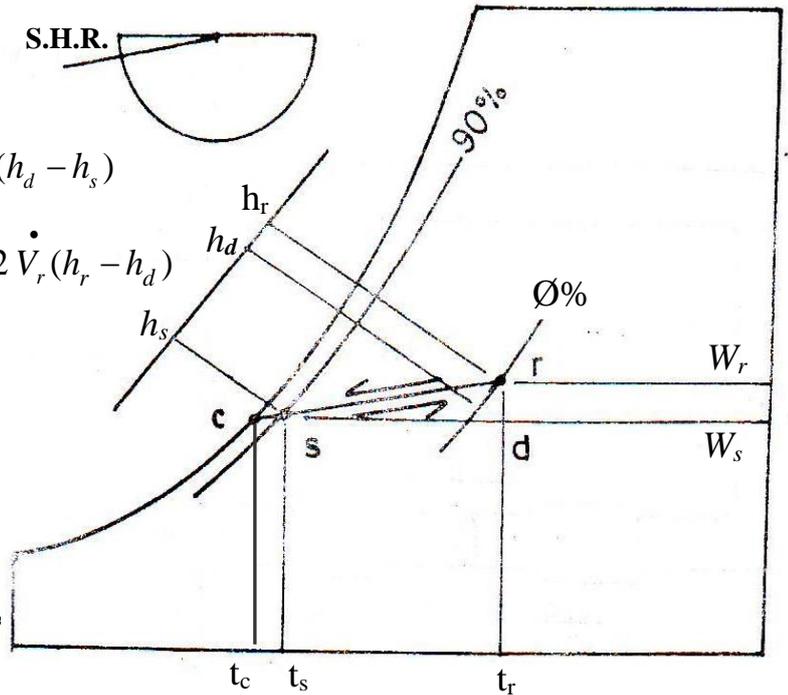
$$q_l = \dot{m}_r \cdot h_{vd} (W_r - W_s) = 2490 \dot{V}_r (W_r - W_s) = 1.2 \dot{V}_r (h_r - h_d)$$

$$q_t = \dot{m}_r (h_r - h_s) = 1.2 \dot{V}_r (h_r - h_s)$$

$$1 - BF = (t_r - t_s / t_r - t_c)$$

$$\dot{V}_r = \frac{q_s}{1.22(t_r - t_c)(1 - BF)}$$

حالة خاصة لهذه المنظومات فقط $q_{c.c.} = q_t = q_s + q_l$



3 - منظومات خليط الهواء الراجع والخارجي

$$q_s = \dot{m}_m \cdot c_{p_m} (t_r - t_s) = 1.22 \dot{V}_m (t_r - t_s) = 1.2 \dot{V}_m (h_d - h_s)$$

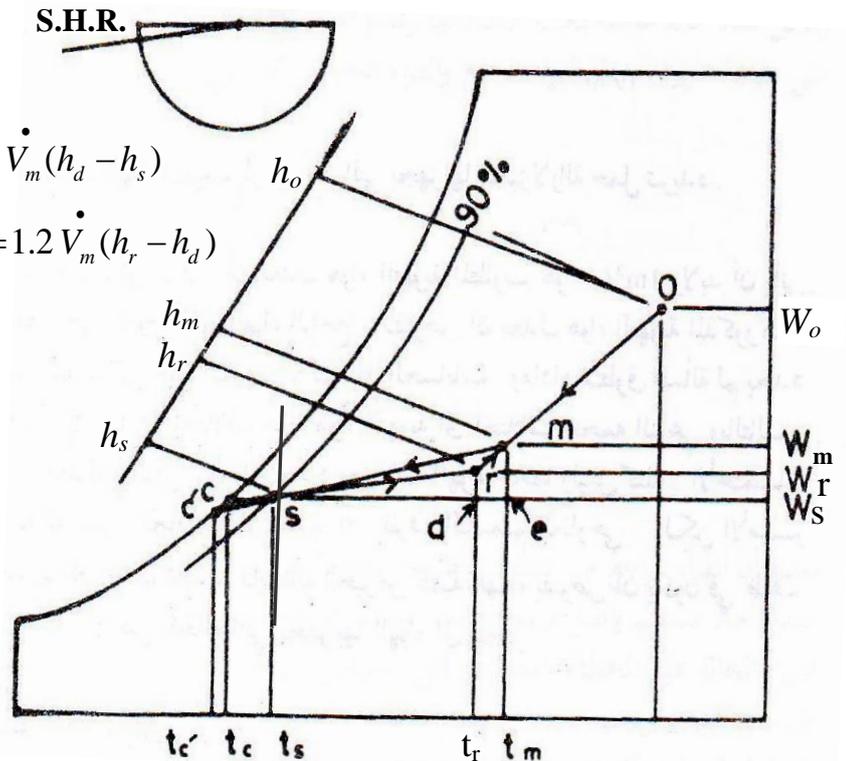
$$q_l = \dot{m}_m \cdot h_{vd} (W_r - W_s) = 2490 \dot{V}_m (W_r - W_s) = 1.2 \dot{V}_m (h_r - h_d)$$

$$q_t = \dot{m}_m (h_r - h_s) = 1.2 \dot{V}_m (h_r - h_s)$$

$$1 - BF = (t_r - t_s / t_r - t_c)$$

$$1 - BF = (t_m - t_s / t_m - t_c)$$

$$\dot{V}_m = \frac{q_s}{1.22(t_m - t_c)(1 - BF)}$$



في جميع انواع المنظومات (اذا لم يذكر قيمة الرطوبة النسبية لحالة التجهيز (s) فأنها تساوي 90 %).

* التبريد التبخيري للهواء (مبردات الهواء التبخرية او الصحراوية)

$$E = \frac{t_{1(o)} - t_{2(s)}}{t_{1(o)} - t_w}$$

$E = (75 - 80)\%$ مبردات الهواء التبخرية
 $= (90 - 95)\%$ اجهزة غسل الهواء المجهزة بمنفثات الرش (نوزلات)
 $= 70\%$ المبردات المصنوعة محليا لا تتجاوز الفعالية (الكفاءة)

$$q_s = \dot{m}_s \cdot c_{p_m} (t_r - t_s) = 1.22 \dot{V}_s (t_r - t_s) = 1.2 \dot{V}_s (h_d - h_s)$$

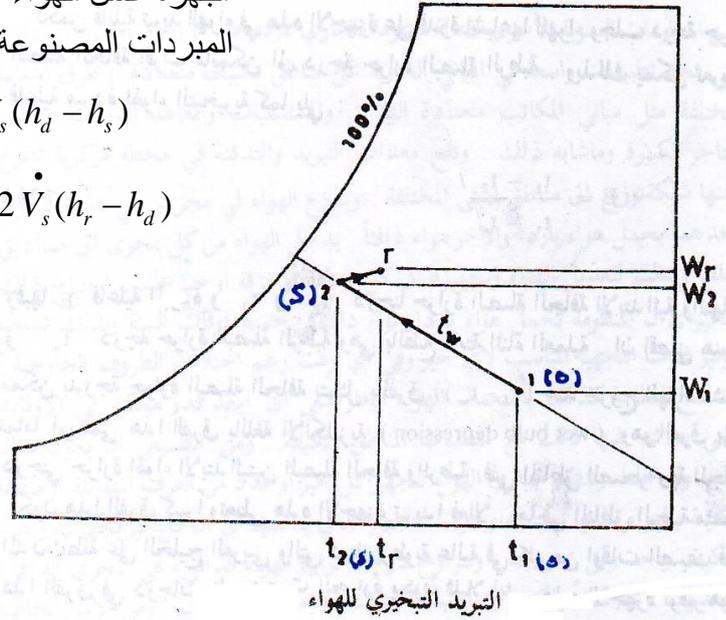
$$q_l = \dot{m}_s \cdot h_{vd} (W_r - W_s) = 2490 \dot{V}_s (W_r - W_s) = 1.2 \dot{V}_s (h_r - h_d)$$

$$q_t = \dot{m}_s (h_r - h_s) = 1.2 \dot{V}_s (h_r - h_s)$$

$$\dot{V}_s = \frac{q_s}{1.22(t_r - t_s)}$$

$$(t_r - t_s) = (2 - 5)^\circ C$$

$$h_2 = h_1 + (W_2 - W_1)h_{fw}$$



h_{fw} : المحتوى الحراري للماء المشبع عند درجة حرارة الاشباع الاديبياتي (t_w)

تصميم

منظومات توزيع الهواء

Duct Design

* لحساب معدل التدفق (\dot{V}):

$$\dot{V} = -4(N_3 \Delta p \cdot d^5)^{0.5} \text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7d} + \frac{N_4 \cdot d}{(N_3 \Delta p \cdot d^5)^{0.5}} \right) \quad (1- \text{من المعادلة (صعوبة الحل بها)})$$

\dot{V}	معدل (m^3/s)	ρ	كثافة الهواء (kg/m^3)
Δp	معدل هبوط الضغط (pa/m)	μ	اللزوجة المطلقة ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)
d	القطر الداخلي (m)	$N_3 = \pi^2/32 \dot{V}^{-1}$	
K_s	خشونة جدار المجرى المطلقة (m)	$N_4 = 1.255 \pi \mu / 4 \dot{V} = 0.98567 \mu \dot{V}^{-1}$	

2- او من مخطط اشري لتصميم مجاري الهواء (8.3) لانسياب الهواء (20°C) وضغط بارومتري القياسي.

والذي يشمل قيم كل من (Δp)(Pa/m), (\dot{V})(L/s), (V)(m/s), (d)(mm).

اذ يجري تصحيح لهبوط الضغط اذا كانت درجة حرارة الهواء تتجاوز ($\pm 11^\circ\text{C}$) عن (20°C), واختلاف الضغط عن الحدود الاعتيادية وكل الاتي:-

- يتم تصحيح هبوط الضغط من المعادلة الاتية:

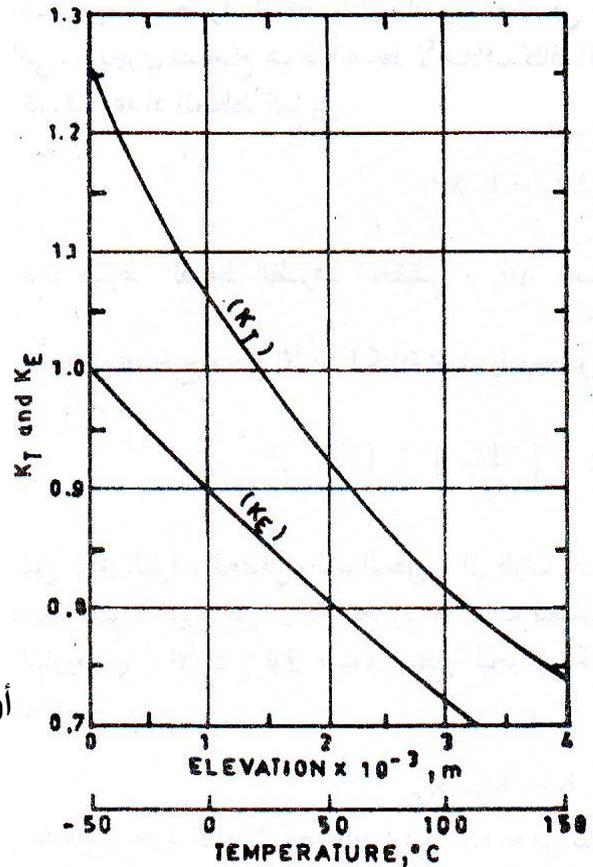
$$\Delta p_{corrected} = K \cdot \Delta p_{chart}$$

$$K = K_T \cdot K_E \quad (\text{معامل التصحيح الكلي})$$

$$K_T = \left(\frac{293}{273+T} \right)^{0.825} \quad (\text{معامل التصحيح درجة الحرارة})$$

$$K_E = \left(\frac{P_B(\text{kPa})}{101.3} \right)^{0.9} \quad (\text{معامل التصحيح الضغط})$$

أو يتم حساب معامل التصحيح درجة الحرارة (K_T) ومعامل التصحيح الضغط (K_E) من الشكل (8-4).



الشكل 8-4 معاملات تصحيح .

$$P_t = P_s + P_v = P_s + \frac{1}{2}(\rho V^2) \quad (\text{Pa})$$

لحساب الضغط الكلي

$$H_t = \frac{P_s}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2g} \quad (\text{m})$$

P_s (الضغط الاستاتيكي)

P_v (الضغط الحركي الديناميكي)

* طرق اختيار احجام مجاري الهواء

هنالك ثلاث طرق لحساب حجم مجاري الهواء (ماعدا منظومات السرعة العالية ومنظومات الصناعية)

اولا- طريقة تقليل السرعة (Velocity Reduction Method)

(تعد هذه الطريقة غير مرغوبة كليا في منظومات الاعتيادية او منظومات واطئة السرعة, ولكنها مفيدة وسهلة في المنظومات البسيطة مع بعض الخبرة). وتتلخص الطريقة بما يلي:

- 1- تحديد السرعة المناسبة للمجرى الرئيسي بعد المروحة من الجدول (8.1) او يذكر في السؤال [V (m/s)].
- 2- تحديد معدل تدفق الهواء لكل جزء من اجزاء المنظومة [V̇ (L/s or m³/s)].
- 3- ايجاد هبوط الضغط [Δp (pa/m)] وقطر المجرى [d (mm)] من المخطط اشري (8-3) لكل جزء من اجزاء المنظومة.
- 4- ايجاد هبوط الضغط الكلي [Δp (pa)] للمنظومة في حال توفر اطوال مجاري المنظومة والذي يساوي:

$$\Delta p(\text{الكلي}) = \Delta p(\text{المجرى الدليلي}) * L + \Delta p(\text{التراكيب الاخرى (الحنيات, فتحات التوزيع...)})$$

- 5- ايجاد مساحة مقطع المجرى [A(H*W)(m²)] لكل جزء من اجزاء المنظومة من خلال المعادلة:
(V̇ = V.A)

لسهولة الحل, يتم عمل الجدول البسيط ادناه:

الجزء	Q V̇ (L/s)	V (m/s)	Δp (pa/m)	d (mm)	A(H*W)(m ²)
A					

ثانيا- طريقة هبوط الضغط المتساوي (Equal Pressure Drop Method)

تتلخص الطريقة بما يلي:

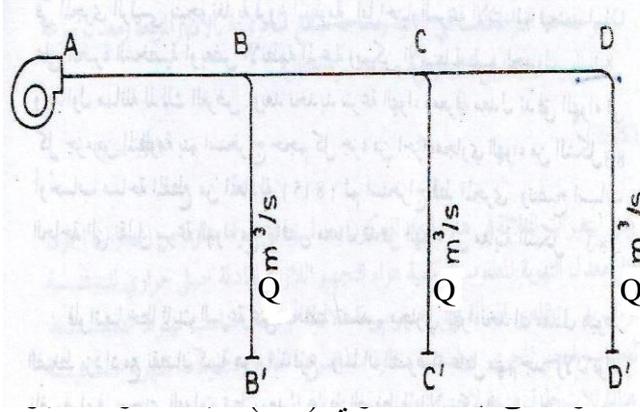
- 1- تحديد معدل هبوط الضغط [Δp (pa/m)] الثابت لكل جزء من اجزاء المنظومة من خلال: اما ان يعطى في السؤال, أو يساوي (0.5-1.5pa/m) للمنظومات الاعتيادية واطئة السرعة والذي عادة يأخذ (1 pa/m), أو من خلال تحديد سرعة الهواء الابتدائية في المجرى الرئيسي بعد المروحة من الجدول (8-1) ومعدل تدفق الهواء [(L/s or m³/s)] ومن ثم يتم تحديد معدل هبوط الضغط من مخطط اشري (8-3).
- 2- تحديد معدل تدفق الهواء [(L/s or m³/s)] لكل جزء من اجزاء المنظومة.
- 3- ايجاد سرعة الهواء [V (m/s)] وقطر المجرى [d (mm)] من مخطط اشري (8.3) لكل جزء من اجزاء المنظومة.
- 4- ايجاد هبوط الضغط الكلي [Δp (pa)] للمنظومة في حال توفر اطوال مجاري المنظومة والذي يساوي:

$$\Delta p(\text{Pa})(\text{الكلي}) = \Delta p(\text{Pa/m})(\text{المجرى الدليلي}) * L(\text{m}) + \Delta p(\text{التراكيب الاخرى (الحنيات, فتحات التوزيع...)})(\text{Pa})$$

لسهولة الحل, يتم عمل الجدول البسيط ادناه:

الجزء	Δp (pa/m)	V (m/s)	Q V̇ (L/s)	d (mm)	A(H*W)(m ²)
A	ثابت لكل جزء				

ثالثاً- طريقة الضغط المتوازن: والتي تستخدم مع طريقة هبوط الضغط المتساوي لحساب احجام المجاري الفرعية.



لحساب حجم اي المجرى وليكن (BB'):

$$\Delta p (AB)(Pa) = \Delta p (Pa/m) (\text{الثابت}) * L(AB)$$

$$\Delta p (BB')(Pa/m) = \Delta p (AB)(Pa) / L(BB')$$

والان من خلال قيمة $[\Delta p (BB')]$ ومعدل التدفق يت

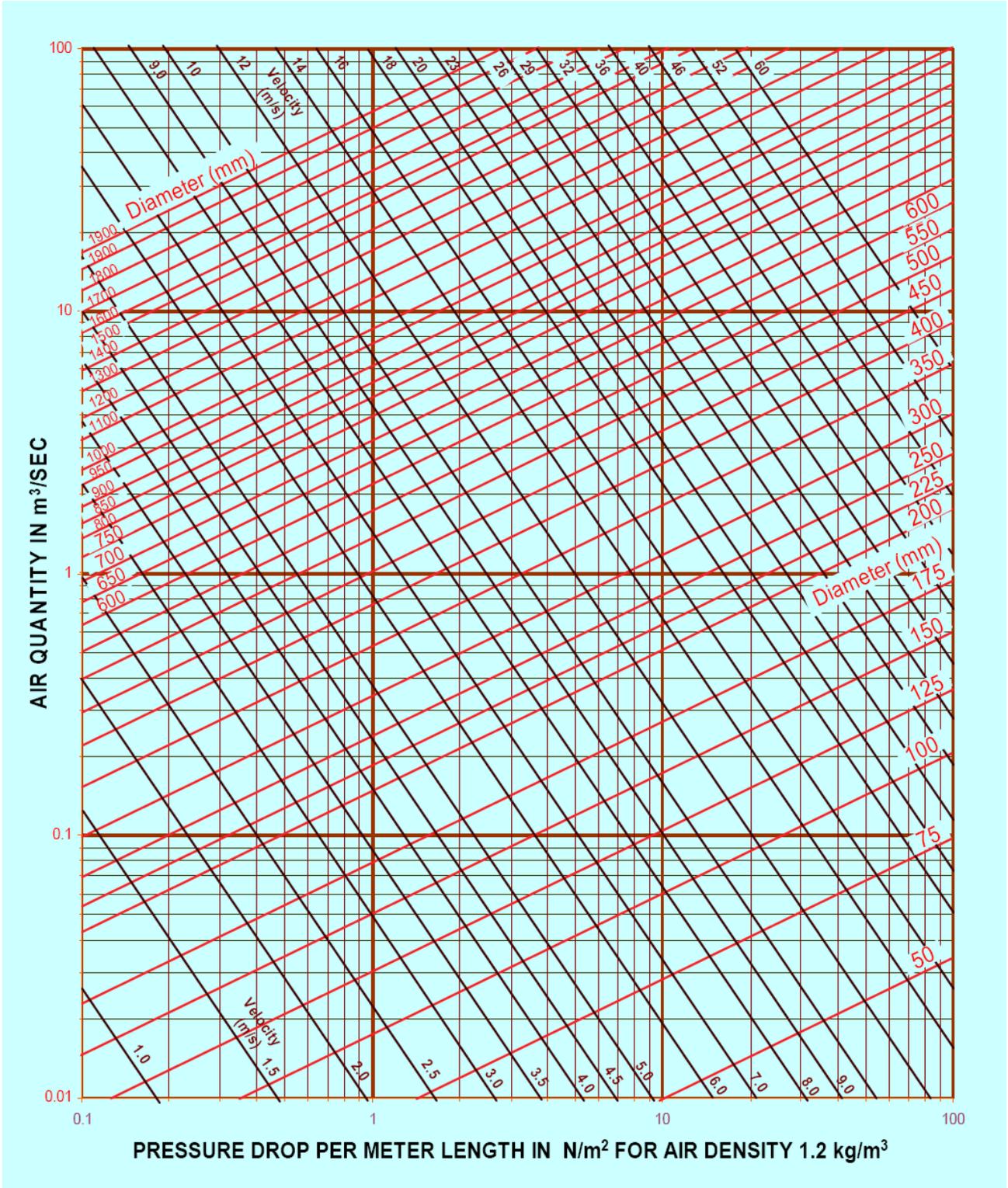
$[V (m/s)]$ قطر المجرى $[d (mm)]$.

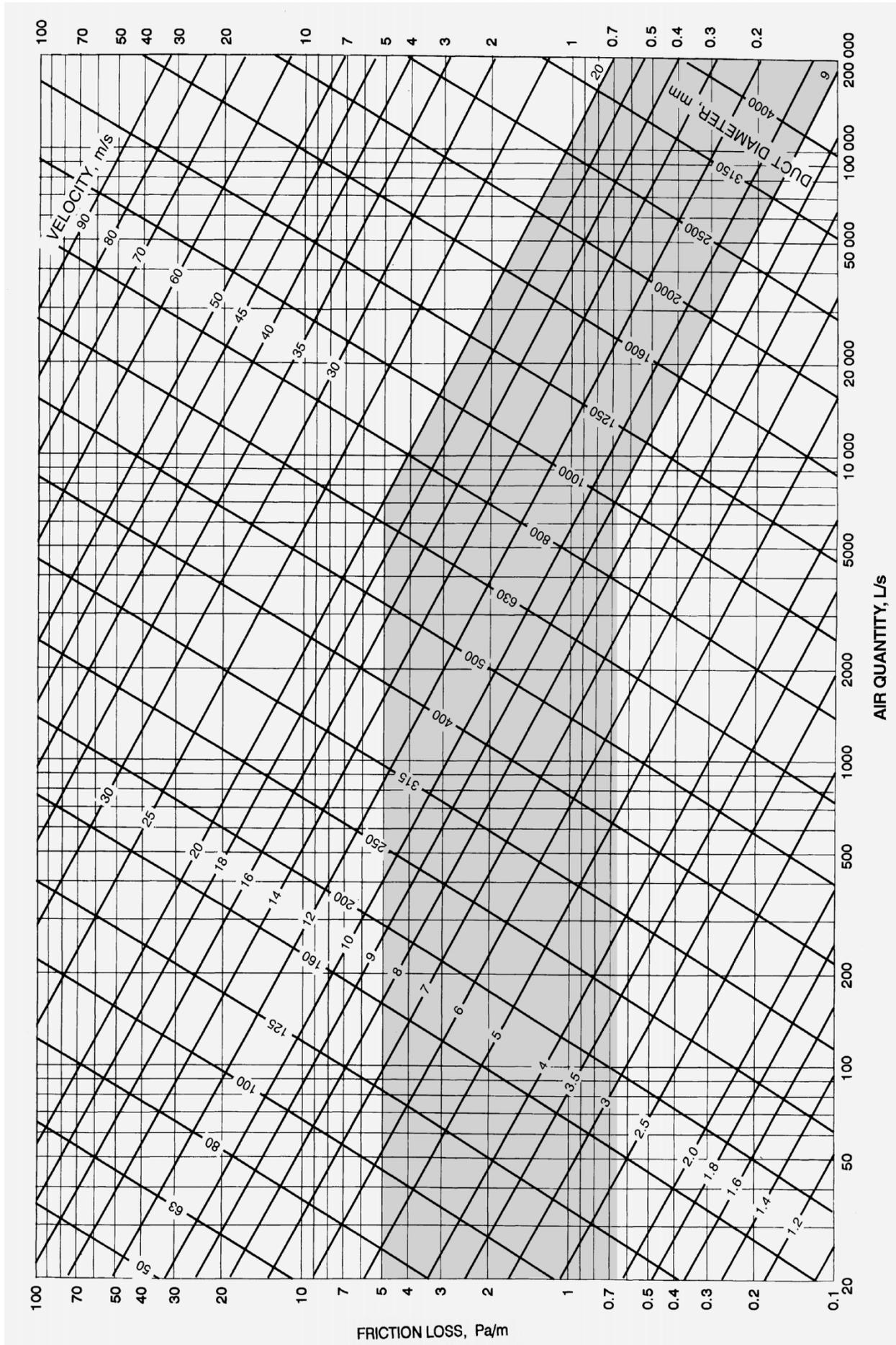
وبنفس الطريقة يتم حساب احجام مجاري الهواء الفرعية الاخرى.

جدول (8.1) سرع الهواء في المجاري (m/s)

السرع القصوى			السرع التصميمية			التطبيق
مباني صناعية	مدارس ومباني عامة	مساكن	مباني صناعية	مدارس ومباني عامة	مساكن	
6	4.5	4	5	4	3.5	مأخذ الهواء الخارجي
1.8	1.8	1.5	1.8	1.5	1.2	مرشحات الهواء
3.5	3	2.5	3	2.5	2.3	ملفات التدفئة
3	2.5	2.3	3	2.5	2.3	ملفات التبريد
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	اجهزة غسل الهواء
7	5	4.5	5	4	3.5	تركيب سحب الهواء
8 - 14	7 - 11	8.5	8 - 12	6 - 10	5 - 8	مخرج مروحة
6.5 - 11	5.5 - 8	5	6 - 9	5 - 6.5	3.5 - 4.5	مجرى هواء رئيسي
5 - 9	4 - 6.5	5.5 - 5	4 - 5	3 - 4.5	3	مجرى فرعي
5 - 8	4 - 6	4	4	3 - 3.5	2.5	مجرى فرعي مساعد

مخطط (8.3) أشري لتصميم مجاري الهواء





مخطط (8.3) تصميم مجاري الهواء

* ايجاد القطر المكافئ للمجرى المستطيل

1- يتم ايجاد القطر المكافئ من الجدول (8.3).

2- اما في حالة عدم توفر ابعاد المجرى في الجدول (8.3), فيتم استخدام المعادلة ادناه لايجاد القطر المكافئ للمجرى المستطيل.

$$d = 1.3 \frac{(H.W)^{0.625}}{(H+W)^{0.25}}$$

d : (m) قطر المجرى

H : (m) ارتفاع المجرى (الجانب القصير)

W : (m) عرض المجرى (الجانب الطويل)

3- يفضل ان لا تزيد نسبة الجانب الطويل (عرض المجرى W) الى الجانب القصير (ارتفاع المجرى H) عن (6m) أي: $W/H \leq 6$

جدول (8.3) المقطع الدائري المكافئ لمجرى هوائي مستطيل

width (mm)	Height (mm)																			
	100	125	150	175	200	220	250	270	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900
Circular equivalents duct diameter, mm																				
100	109																			
125	122	137																		
150	133	150	164																	
175	143	161	177	191																
200	152	172	189	204	219															
225	161	181	200	216	232	246														
250	169	190	210	228	244	259	273													
275	176	199	220	238	256	272	287	301												
300	183	207	229	248	266	283	299	314	328											
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383										
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437									
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492								
500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547							
550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601						
600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	496	533	567	598	628	656					
650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711				
700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765			
750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820		
800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875	
900	289	330	367	402	435	465	494	522	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984
1000	301	344	384	420	454	486	517	546	574	626	674	719	762	802	840	876	911	944	976	1037
1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086
1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133
1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177
1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1107	1146	1220
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1183	1260
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371
1900	387	444	496	544	590	633	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470
2200	410	470	525	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561
2500	430	494	552	606	658	706	753	797	840	920	996	1068	1136	1200	1262	1322	1379	1434	1488	1589
2600	437	501	560	616	668	717	764	810	853	935	1012	1085	1154	1220	1283	1344	1402	1459	1513	1617
2700	443	509	569	625	678	728	776	822	866	950	1028	1102	1173	1240	1304	1366	1425	1483	1538	1644
2800	450	516	577	634	688	738	787	834	879	964	1043	1119	1190	1259	1324	1387	1447	1506	1562	1670
2900	456	523	585	643	697	749	798	845	891	977	1058	1135	1208	1277	1344	1408	1469	1528	1586	1696

تابع جدول (8.3) المقطع الدائري المكافئ لمجرى هوائي مستطيل

width (mm)	Height (mm)																			
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900
Circular equivalents duct diameter, mm																				
1000	1093																			
1100	1146	1202																		
1200	1196	1256	1312																	
1300	1244	1306	1365	1421																
1400	1289	1354	1416	1475	1530															
1500	1332	1400	1464	1526	1584	1640														
1600	1373	1444	1511	1574	1635	1693	1749													
1700	1413	1486	1555	1621	1684	1745	1803	1858												
1800	1451	1527	1598	1667	1732	1794	1854	1912	1968											
1900	1488	1566	1640	1710	1778	1842	1904	1964	2021	2077										
2000	1523	1604	1680	1753	1822	1889	1952	2014	2073	2131	2186									
2100	1558	1640	1719	1793	1865	1933	1999	2063	2124	2183	2240	2296								
2200	1591	1676	1756	1833	1906	1977	2044	2110	2173	2233	2292	2350	2405							
2300	1623	1710	1793	1871	1947	2019	2088	2155	2220	2283	2343	2402	2459	2514						
2400	1655	1744	1828	1909	1986	2060	2131	2200	2266	2330	2393	2453	2511	2568	2624					
2500	1685	1776	1862	1945	2024	2100	2173	2243	2311	2377	2441	2502	2562	2621	2678	2733				
2600	1715	1808	1896	1980	2061	2139	2213	2285	2355	2422	2487	2551	2612	2672	2730	2787	2842			
2700	1744	1839	1929	2015	2097	2177	2253	2327	2398	2466	2533	2598	2661	2722	2782	2840	2896	2952		
2800	1772	1869	1961	2048	2133	2214	2292	2367	2439	2510	2578	2644	2708	2771	2832	2891	2949	3006	3061	
2900	1800	1898	1992	2081	2167	2250	2329	2406	2480	2552	2621	2689	2755	2819	2881	2941	3001	3058	3115	3170

* هبوط الضغط او الخسائر في الحنيات

1- يمكن حساب هبوط الضغط في الحنيات بوحدات (m) $H_d = C \left(\frac{V_2}{2g} \right)$

معامل الفقد الحركي: C علو الضغط الحركي: $V^2/2g$ هبوط الضغط الحركي (m): H_d

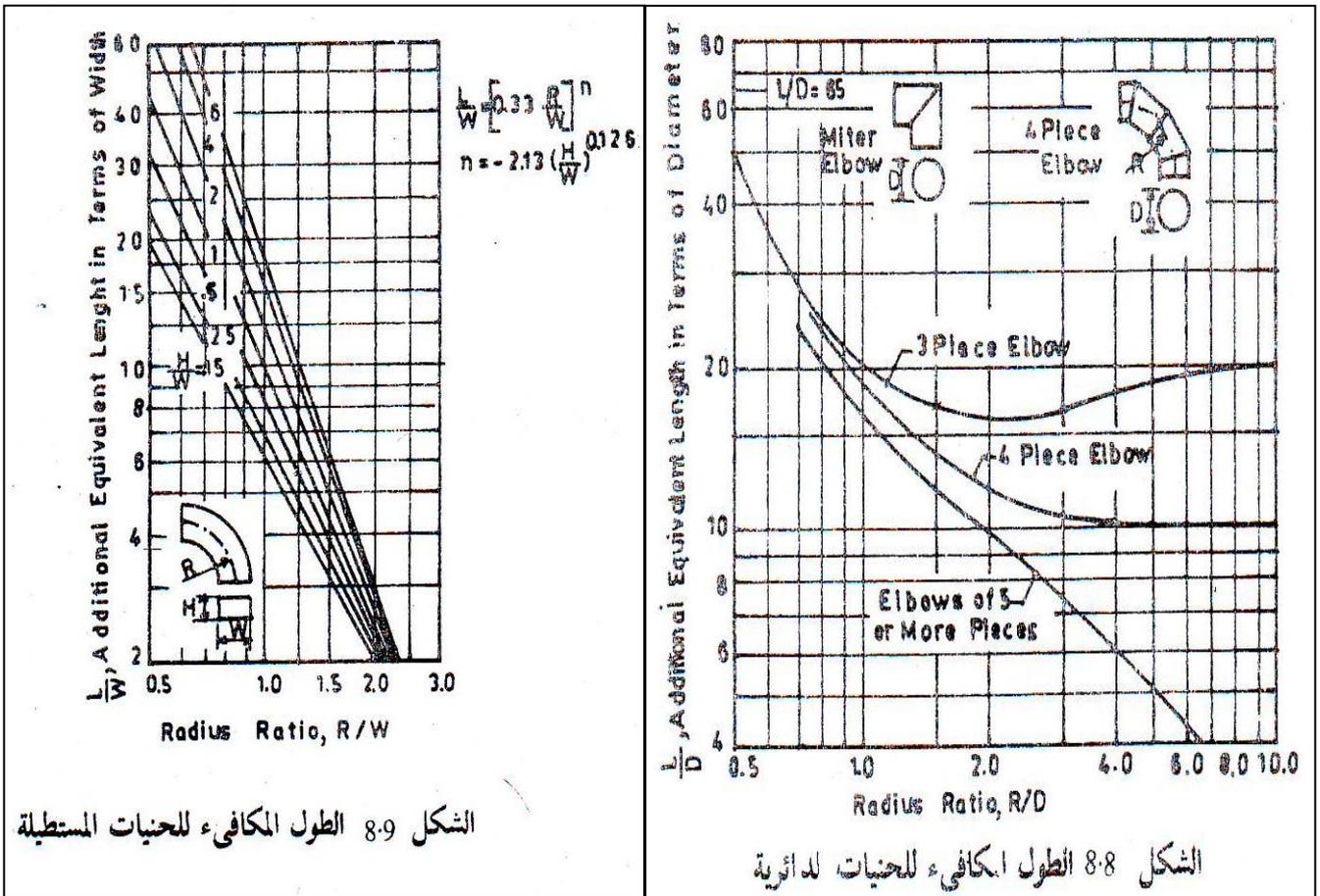
2- أو يمكن حساب هبوط الضغط الكلي في الحنيات بوحدات (Pa) او (Pa/m) $\Delta P_t = C_o \cdot P_v$

الضغط الحركي: P_v معامل الفقد: C_o هبوط الضغط الكلي: ΔP_t

ملاحظة: يمكن ايجاد قيمة معامل الفقد للتركيبات الدائرية من الجداول (8.10) والمستطيلة من الجداول (8.11)

3- يمكن حساب هبوط الضغط الكلي (ΔP_t) بوحدات (Pa) في الحنيات من خلال ايجاد الطول المكافئ $(L)(m)$ للحنيات الدائرية او المستطيلة بواسطة الشكلين (8.8), (8.9) ومن ثم ضربه بهبوط الضغط الكلي (ΔP_t) وحدات (Pa/m) من خلال المعادلة البسيطة.

$$\Delta P_t = \Delta P * L$$



* قدرة المروحة وقدرة الهواء

$$W_a = \dot{m} \cdot g \cdot H_t = \dot{V} \cdot P_t \quad \text{1- قدرة الهواء:}$$

$$W_a: (\text{W}) \text{ قدرة الهواء} \quad \dot{V}: (\text{m}^3/\text{s}) \text{ معدل التدفق الحجمي} \quad \dot{m}: (\text{kg}/\text{s}) \text{ معدل التدفق الكتلي}$$

$$H_t: (\text{m}) \text{ علو الهواء} \quad P_t = P_s + P_v: (\text{Pa}) \text{ الضغط الكلي} \quad \rho = 1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$P_s: (\text{Pa}) \text{ (8-3) الضغط الاستاتيكي من مخطط أشري} \quad P_v = 1/2 \rho (V_2^2 - V_1^2): (\text{Pa}) \text{ الضغط الحركي}$$

2- قدرة المروحة:

كفاءة المروحة: η_F قدرة المروحة (W): W_F

$$\eta_F = \frac{W_a}{W_F}$$

$$\eta_m = \frac{W_F}{W_m}$$

كفاءة محرك المروحة: η_m قدرة محرك المروحة (W): W_m

3- قدرة محرك المروحة:

* قوانين المراوح

$$\text{at } (N, \dot{V}) = \text{Const.} \quad \frac{(P, W_m)_1}{(P, W_m)_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad \text{-4}$$

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_{F1}}{N_{F2}} \quad \text{-1}$$

$$\text{at } (P) = \text{Const.} \quad \frac{(N, \dot{V}, W_m)_1}{(N, \dot{V}, W_m)_2} = \frac{\sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1}} \quad \text{-5}$$

$$\frac{(P_s, P_v, P_t)_1}{(P_s, P_v, P_t)_2} = \frac{(N_{F1})^2}{(N_{F2})^2} \quad \text{-2}$$

$$\text{at } (\dot{m}) = \text{con.} \quad \frac{(N_F, \dot{V}, P)_1}{(N_F, \dot{V}, P)_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{W_{m1}^2}{W_{m2}^2} \quad \text{-6}$$

$$\frac{W_{m1}}{W_{m2}} = \frac{(N_{F1})^3}{(N_{F2})^3} \quad \text{-3}$$

* مبادئ توزيع الهواء

- يمكن التعبير عن الحث بعبارة الزخم $m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V_3$

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 \rightarrow$$

$$\dot{V}_1 \cdot V_1 + \dot{V}_2 \cdot V_2 = (\dot{V}_1 + \dot{V}_2) \cdot V_3$$

الرموز السفلية تشير الى: (1) الرئيسي, الخارج من فتحة توزيع الهواء.

(2) الثانوي, هواء الغرفة المستحث.

(3) الكلي = (الرئيسي + الثانوي).

قدرة محرك المروحة (W): W_m

جداول (8.10) لايجاد معامل الفقد الحركي للمقاطع الدائرية

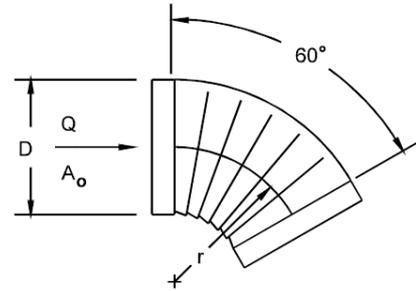
FITTING LOSS COEFFICIENTS

Fittings to support Examples 8 and 9 reprinted here. For the complete fitting database see the *Duct Fitting Database* (ASHRAE 1984).

ROUND FITTINGS

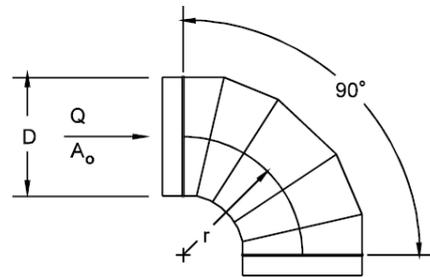
CD3-6 Elbow, Pleated, 60 Degree, $r/D = 1.5$

D, mm	100	150	200	250	300	350	400
C_o	0.45	0.34	0.27	0.23	0.20	0.19	0.19



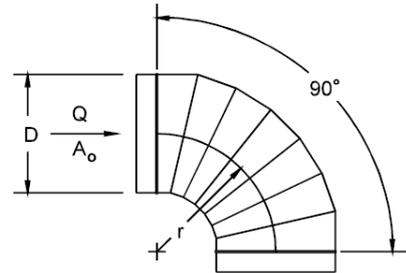
CD3-9 Elbow, 5 Gore, 90 Degree, $r/D = 1.5$

D, mm	75	150	230	300	380	450	530	600	690	750	1500
C_o	0.51	0.28	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12



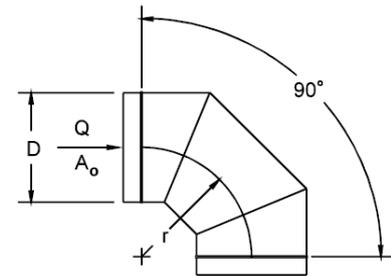
CD3-10 Elbow, 7 Gore, 90 Degree, $r/D = 2.5$

D, mm	75	150	230	300	380	450	690	1500
C_o	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.03



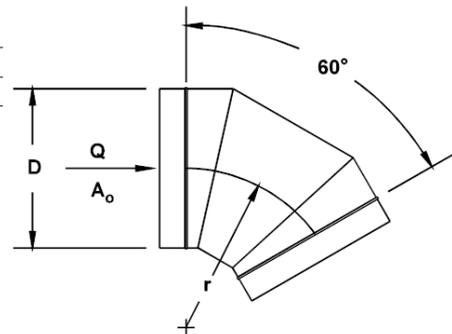
CD3-12 Elbow, 3 Gore, 90 Degree, $r/D = 0.75$ to 2.0

r/D	0.75	1.00	1.50	2.00
C_o	0.54	0.42	0.34	0.33



CD3-13 Elbow, 3 Gore, 60 Degree, $r/D = 1.5$

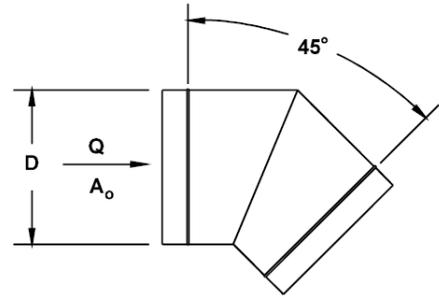
D, mm	75	150	230	300	380	450	530	600	690	750	1500
C_o	0.40	0.21	0.16	0.14	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09



تابع جداول (8.10) لايجاد معامل الفقد الحركي للمقاطع الدائرية

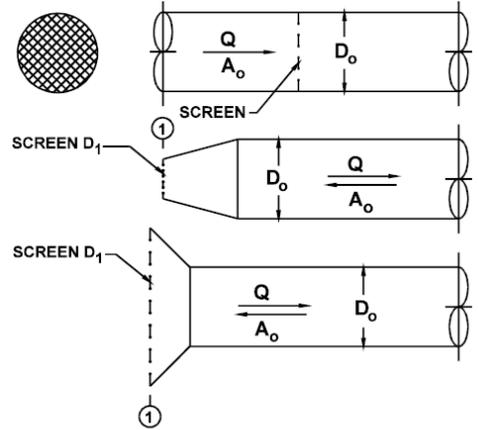
CD3-17 Elbow, Mitered, 45 Degree

D, mm	75	150	230	300	380	450	530	600	690	1500
C _o	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34



CD6-1 Screen (Only)

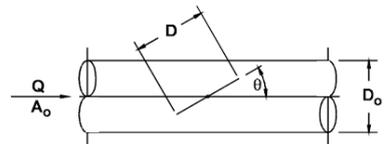
A ₁ /A _o	C _o Values														
	n														
0.2	155.00	102.50	75.00	55.00	41.25	31.50	24.25	18.75	14.50	11.00	8.00	3.50	0.00	0.00	0.00
0.3	68.89	45.56	33.33	24.44	18.33	14.00	10.78	8.33	6.44	4.89	3.56	1.56	0.00	0.00	0.00
0.4	38.75	25.63	18.75	13.75	10.31	7.88	6.06	4.69	3.63	2.75	2.00	0.88	0.00	0.00	0.00
0.5	24.80	16.40	12.00	8.80	6.60	5.04	3.88	3.00	2.32	1.76	1.28	0.56	0.00	0.00	0.00
0.6	17.22	11.39	8.33	6.11	4.58	3.50	2.69	2.08	1.61	1.22	0.89	0.39	0.00	0.00	0.00
0.7	12.65	8.37	6.12	4.49	3.37	2.57	1.98	1.53	1.18	0.90	0.65	0.29	0.00	0.00	0.00
0.8	9.69	6.40	4.69	3.44	2.58	1.97	1.52	1.17	0.91	0.69	0.50	0.22	0.00	0.00	0.00
0.9	7.65	5.06	3.70	2.72	2.04	1.56	1.20	0.93	0.72	0.54	0.40	0.17	0.00	0.00	0.00
1.0	6.20	4.10	3.00	2.20	1.65	1.26	0.97	0.75	0.58	0.44	0.32	0.14	0.00	0.00	0.00
1.2	4.31	2.85	2.08	1.53	1.15	0.88	0.67	0.52	0.40	0.31	0.22	0.10	0.00	0.00	0.00
1.4	3.16	2.09	1.53	1.12	0.84	0.64	0.49	0.38	0.30	0.22	0.16	0.07	0.00	0.00	0.00
1.6	2.42	1.60	1.17	0.86	0.64	0.49	0.38	0.29	0.23	0.17	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00
1.8	1.91	1.27	0.93	0.68	0.51	0.39	0.30	0.23	0.18	0.14	0.10	0.04	0.00	0.00	0.00
2.0	1.55	1.03	0.75	0.55	0.41	0.32	0.24	0.19	0.15	0.11	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00
2.5	0.99	0.66	0.48	0.35	0.26	0.20	0.16	0.12	0.09	0.07	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00
3.0	0.69	0.46	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
4.0	0.39	0.26	0.19	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
6.0	0.17	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00



n = free area ratio of screen
A_o = area of duct
A₁ = cross-sectional area of duct or fitting where screen is located

CD9-1 Damper, Butterfly

D/D _o	C _o Values											
	θ											
0.5	0.19	0.27	0.37	0.49	0.61	0.74	0.86	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04
0.6	0.19	0.32	0.48	0.69	0.94	1.21	1.48	1.72	1.82	1.89	1.93	2.00
0.7	0.19	0.37	0.64	1.01	1.51	2.12	2.81	3.46	3.73	3.94	4.08	6.00
0.8	0.19	0.45	0.87	1.55	2.60	4.13	6.14	8.38	9.40	10.30	10.80	15.00
0.9	0.19	0.54	1.22	2.51	4.97	9.57	17.80	30.50	38.00	45.00	50.10	100.00
1.0	0.19	0.67	1.76	4.38	11.20	32.00	113.00	619.00	2010.00	10350.00	99999.00	99999.00



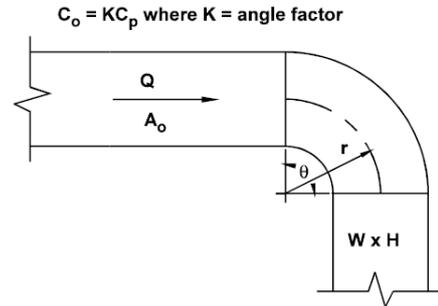
جداول (8.11) لاجاد معامل الفقد الحركي للمقاطع المستطيلة

RECTANGULAR FITTINGS

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

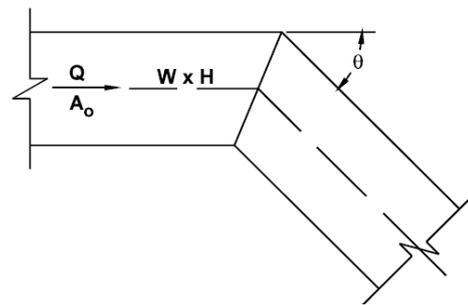
r/W	C _p Values										
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
0.50	1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

θ	Angle Factor K										
	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K	0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40



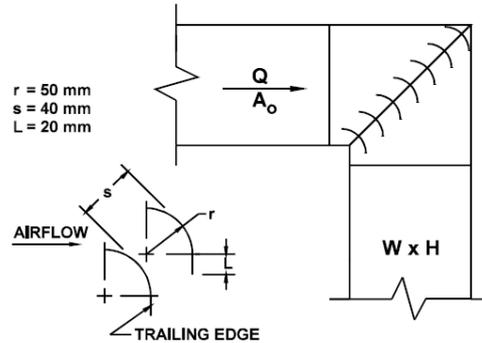
CR3-6 Elbow, Mitered

θ	C _o Values										
	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	8.00
20	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
30	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11
45	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.31	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24
60	0.60	0.59	0.57	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41	0.39	0.38
75	0.89	0.87	0.84	0.81	0.77	0.73	0.67	0.63	0.61	0.58	0.57
90	1.30	1.27	1.23	1.18	1.13	1.07	0.98	0.92	0.89	0.85	0.83



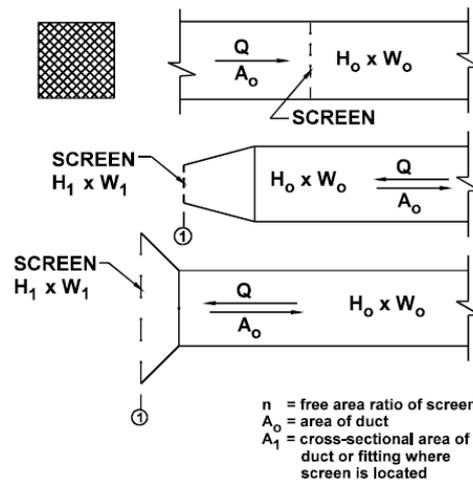
CR3-10 Elbow, Mitered, 90 Degree, Single-Thickness Vanes (Design 2)

C_o = 0.12



CR6-1 Screen (Only)

A ₁ /A _o	C _o Values												
	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.90	1.00
0.2	155.00	102.50	75.00	55.00	41.25	31.50	24.25	18.75	14.50	11.00	8.00	3.50	0.00
0.3	68.89	45.56	33.33	24.44	18.33	14.00	10.78	8.33	6.44	4.89	3.56	1.56	0.00
0.4	38.75	25.63	18.75	13.75	10.31	7.88	6.06	4.69	3.63	2.75	2.00	0.88	0.00
0.5	24.80	16.40	12.00	8.80	6.60	5.04	3.88	3.00	2.32	1.76	1.28	0.56	0.00
0.6	17.22	11.39	8.33	6.11	4.58	3.50	2.69	2.08	1.61	1.22	0.89	0.39	0.00
0.7	12.65	8.37	6.12	4.49	3.37	2.57	1.98	1.53	1.18	0.90	0.65	0.29	0.00
0.8	9.69	6.40	4.69	3.44	2.58	1.97	1.52	1.17	0.91	0.69	0.50	0.22	0.00
0.9	7.65	5.06	3.70	2.72	2.04	1.56	1.20	0.93	0.72	0.54	0.40	0.17	0.00
1.0	6.20	4.10	3.00	2.20	1.65	1.26	0.97	0.75	0.58	0.44	0.32	0.14	0.00
1.2	4.31	2.85	2.08	1.53	1.15	0.88	0.67	0.36	0.40	0.31	0.22	0.10	0.00
1.4	3.16	2.09	1.53	1.12	0.84	0.64	0.49	0.38	0.30	0.22	0.16	0.07	0.00
1.6	2.42	1.60	1.17	0.86	0.64	0.49	0.38	0.29	0.23	0.17	0.13	0.05	0.00
1.8	1.91	1.27	0.93	0.68	0.51	0.39	0.30	0.23	0.18	0.14	0.10	0.04	0.00
2.0	1.55	1.03	0.75	0.55	0.41	0.32	0.24	0.19	0.15	0.11	0.08	0.04	0.00
2.5	0.99	0.66	0.48	0.35	0.26	0.20	0.16	0.12	0.09	0.07	0.05	0.02	0.00
3.0	0.69	0.46	0.33	0.24	0.18	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.02	0.00
4.0	0.39	0.26	0.19	0.14	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00
6.0	0.17	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00



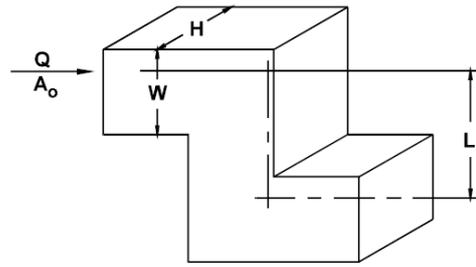
n = free area ratio of screen
A_o = area of duct
A₁ = cross-sectional area of duct or fitting where screen is located

تابع جداول (8.11) لايجاد معامل الفقد الحركي للمقاطع المستطيلة

CR3-17 Elbow, Z-Shaped

		C_p Values													
		L/W													
H/W		0.0	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	4.0	8.0	10.0	100.0
0.25	0.00	0.68	0.99	1.77	2.89	3.97	4.41	4.60	4.64	4.60	3.39	3.03	2.70	2.53	
0.50	0.00	0.66	0.96	1.72	2.81	3.86	4.29	4.47	4.52	4.47	3.30	2.94	2.62	2.46	
0.75	0.00	0.64	0.94	1.67	2.74	3.75	4.17	4.35	4.39	4.35	3.20	2.86	2.55	2.39	
1.00	0.00	0.62	0.90	1.61	2.63	3.61	4.01	4.18	4.22	4.18	3.08	2.75	2.45	2.30	
1.50	0.00	0.59	0.86	1.53	2.50	3.43	3.81	3.97	4.01	3.97	2.93	2.61	2.33	2.19	
2.00	0.00	0.56	0.81	1.45	2.37	3.25	3.61	3.76	3.80	3.76	2.77	2.48	2.21	2.07	
3.00	0.00	0.51	0.75	1.34	2.18	3.00	3.33	3.47	3.50	3.47	2.56	2.28	2.03	1.91	
4.00	0.00	0.48	0.70	1.26	2.05	2.82	3.13	3.26	3.29	3.26	2.40	2.15	1.91	1.79	
6.00	0.00	0.45	0.65	1.16	1.89	2.60	2.89	3.01	3.04	3.01	2.22	1.98	1.76	1.66	
8.00	0.00	0.43	0.63	1.13	1.84	2.53	2.81	2.93	2.95	2.93	2.16	1.93	1.72	1.61	

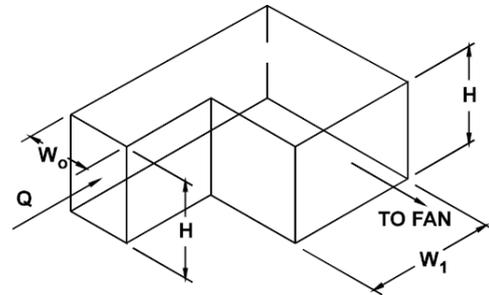
		Reynolds No. Correction Factor K_r									
		$Re/1000$									
		10	20	30	40	60	80	100	140	500	
K_r		1.40	1.26	1.19	1.14	1.09	1.06	1.04	1.00	1.00	



$C_o = K_r C_p$
 where K_r = Reynolds no. correction factor

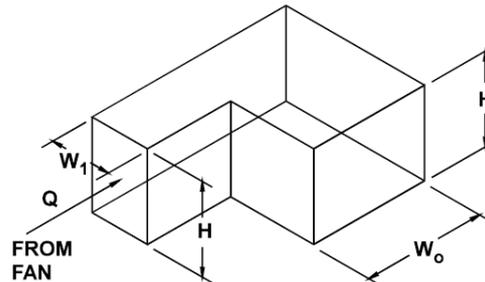
ER3-1 Elbow, 90 Degree, Variable Inlet/Outlet Areas, Exhaust/Return Systems

		C_o Values						
		W_1/W_o						
H/W_o		0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0
0.25	1.76	1.43	1.24	1.14	1.09	1.06	1.06	
1.00	1.70	1.36	1.15	1.02	0.95	0.90	0.84	
4.00	1.46	1.10	0.90	0.81	0.76	0.72	0.66	
100.00	1.50	1.04	0.79	0.69	0.63	0.60	0.55	



SR3-1 Elbow, 90 Degree, Variable Inlet/Outlet Areas, Supply Air Systems

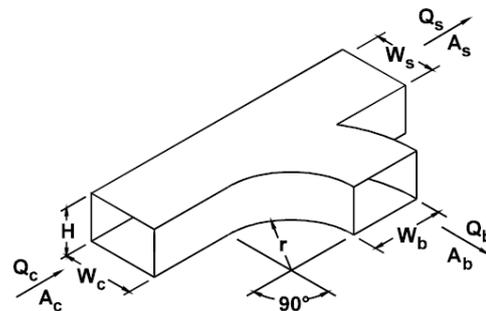
		C_o Values						
		W_o/W_1						
H/W_1		0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0
0.25	0.63	0.92	1.24	1.64	2.14	2.71	4.24	
1.00	0.61	0.87	1.15	1.47	1.86	2.30	3.36	
4.00	0.53	0.70	0.90	1.17	1.49	1.84	2.64	
100.00	0.54	0.67	0.79	0.99	1.23	1.54	2.20	



SR5-1 Smooth Wye of Type $A_s + A_b \geq A_c$, Branch 90° to Main, Diverging

		C_o Values									
		Q_b/Q_c									
A_s/A_c	A_b/A_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
0.50	0.25	3.44	0.70	0.30	0.20	0.17	0.16	0.16	0.17	0.18	
	0.50	11.00	2.37	1.06	0.64	0.52	0.47	0.47	0.47	0.48	
	1.00	60.00	13.00	4.78	2.06	0.96	0.47	0.31	0.27	0.26	
0.75	0.25	2.19	0.55	0.35	0.31	0.33	0.35	0.36	0.37	0.39	
	0.50	13.00	2.50	0.89	0.47	0.34	0.31	0.32	0.36	0.43	
	1.00	70.00	15.00	5.67	2.62	1.36	0.78	0.53	0.41	0.36	
1.00	0.25	3.44	0.78	0.42	0.33	0.30	0.31	0.40	0.42	0.46	
	0.50	15.50	3.00	1.11	0.62	0.48	0.42	0.40	0.42	0.46	
	1.00	67.00	13.75	5.11	2.31	1.28	0.81	0.59	0.47	0.46	

		C_s Values									
		Q_s/Q_c									
A_s/A_c	A_b/A_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
0.50	0.25	8.75	1.62	0.50	0.17	0.05	0.00	-0.02	-0.02	0.00	
	0.50	7.50	1.12	0.25	0.06	0.05	0.09	0.14	0.19	0.22	
	1.00	5.00	0.62	0.17	0.08	0.08	0.09	0.12	0.15	0.19	
0.75	0.25	19.13	3.38	1.00	0.28	0.05	-0.02	-0.02	0.00	0.06	
	0.50	20.81	3.23	0.75	0.14	-0.02	-0.05	-0.05	-0.02	0.03	
	1.00	16.88	2.81	0.63	0.11	-0.02	-0.05	0.01	0.00	0.07	
1.00	0.25	46.00	9.50	3.22	1.31	0.52	0.14	-0.02	-0.05	-0.01	
	0.50	35.00	6.75	2.11	0.75	0.24	0.00	-0.10	-0.09	-0.04	
	1.00	38.00	7.50	2.44	0.81	0.24	-0.03	-0.08	-0.06	-0.02	



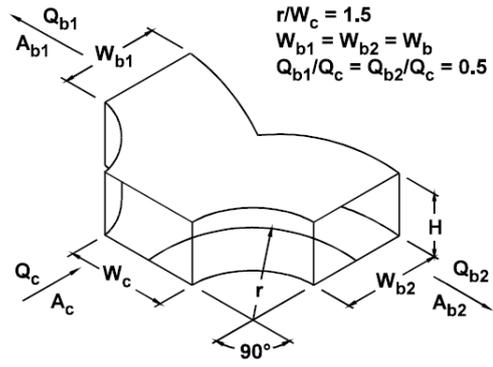
$r/W_b = 1.0$
 $A_s = A_b \geq A_c$

تابع جداول (8.11) لايجاد معامل الفقد الحركي للمقاطع المستطيلة

SR5-14 Wye, Symmetrical, Dovetail, $Q_b/Q_c = 0.5$,
Diverging

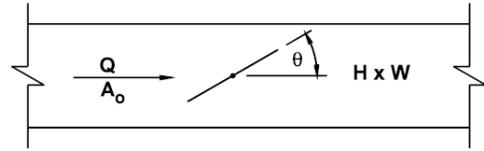
A_b/A_c	0.5	1.0
C_b	0.30	1.00

Branches are identical: $Q_{b1} = Q_{b2} = Q_b$, and $C_{b1} = C_{b2} = C_b$



CR9-1 Damper, Butterfly

H/W	C_o Values									
	θ									
	0	10	20	30	40	50	60	65	70	90
0.12	0.04	0.30	1.10	3.00	8.00	23.00	60.00	100.00	190.00	99999
0.25	0.08	0.33	1.18	3.30	9.00	26.00	70.00	128.00	210.00	99999
1.00	0.08	0.33	1.18	3.30	9.00	26.00	70.00	128.00	210.00	99999
2.00	0.13	0.35	1.25	3.60	10.00	29.00	80.00	155.00	230.00	99999



تصميم
منظومات الانابيب
Piping Design

* حساب حجم خزان التمدد

حجم خزان التمدد = نسبة الزيادة في حجم الماء من الجدول (1.9) + الحجم الكلي لماء المنظومة

جدول (1.9) تمدد الماء

درجة الحرارة (°C)	نسبة الزيادة في حجم الماء %
38	0.6
52	1.2
66	1.8
79	2.8
93	3.5
107	4.5

* تصميم منظومة أنابيب الماء

1- حساب معدل تدفق الماء (\dot{V}) او (\dot{m})

$$q = \dot{m}_w \cdot c_{pw} \cdot (t_2 - t_1) = \dot{V}_w \cdot \rho_w \cdot c_{pw} \cdot (t_2 - t_1) = 4190 \dot{V} (t_2 - t_1)$$

في حالة التدفئة (حمل التدفئة على ذلك الملف + حمل التدفئة للحيث)
 في حالة التبريد (حمل ملف التبريد = حمل تبريد الحيث + الاحمال الاخرى)

$$c_{pw} = 4.19 \text{ kJ/kg}$$

$$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

في حالة عدم اعطاء درجات الحرارة

$$\begin{aligned} \text{في حالة التدفئة - 1} \quad (t_2 - t_1) &= (80 - 70) = 10^\circ \text{C} \\ &= (70 - 65) \text{ or } (65 - 60) = 5^\circ \text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{في حالة التبريد - 2} \quad (t_2 - t_1) &= (10 - 5.5) = 4.5^\circ \text{C} \\ &= (11.1 - 5.5) = 6.5^\circ \text{C} \\ &= (12.2 - 5.5) = 6.7^\circ \text{C} \end{aligned}$$

2- اختيار السرعة (v) المناسبة لتدفق الماء في حالة عدم اعطائها في السؤال من مخطط (9.6) تصميم منظومات الانابيب وكمايلي:

$$d \leq 50 \text{ mm (2In)} \quad v < 1.25 \text{ m/s}$$

$$d > 50 \text{ mm (2In)} \quad 1.25 \text{ m/s} < v \leq 2.5 \text{ m/s}$$

يمكن ان تزداد السرعة اكثر من هذه القيم اعلاه للانابيب الكبيرة.

3- يتم اختيار الطول المكافئ الكلي لاطول انبوب في المنظومة, (كما وردة في حسابات مجاري الهواء).

4- يتم اختيار الطول المكافئ للحنيات والتراكيب الاخرى من الجدول (9.1) بـ(foot) ثم يحول بـ(m), حيث ان كل (3.28 foot = 1m).

جدول (9.1) الطول المكافئ لتراكيب الانابيب بالقدم

حجم الانابيب عقدة (ملمتر)						الاحجام	
0.75(20)	1(25)	1.25(35)	1.5(40)	2(50)	3(80)	التراكيب	
1.6	2.1	2.6	3.1	4.5	6.5	90°	عكس
1.1	1.5	1.8	2.2	2.9	4.5	45°	
0.8	1.0	1.3	1.6	2.1	3.0	90° طويل	
2.8	3.8	4.7	5.6	7.5	13	100% تحويل جانبي	تقسيم
6.3	8.3	10.4	12.5	16.7	25	50% تحويل جانبي	
14.3	18.7	23.4	28.1	37.5	56	33% تحويل جانبي	
25	33.3	41.6	49.8	66.7	100	25% تحويل جانبي	
18.7	25	33.8	36.8	50	66	كروي (مفتوح)	صمام
0.8	1.0	1.3	1.6	2.1	3.0	بوابي (مفتوح)	
1.6	2.1	2.6	3.1	4.2	6.5	سداد (مفتوح)	
3.6	4.2	5.2	6.2	8.3	12.5	زاوي (مفتوح)	
0.6	0.8	1.0	1.3	1.7	2.5	مصغر	
4.7	6.3	7.8	9.4	12.5	19	وحدة تدفئة	

5- اختيار حجم الانابيب الرئيسة والفرعية من مخطط (9.6) تصميم احجام الانابيب من معرفة معدل تدفق الماء \dot{m} (kg/s) وسرعته [V (m/s)] او هبوط ضغطه.

$$H = \frac{2 \cdot f \cdot l \cdot u^2}{g \cdot d}$$

لحساب علو الضغط

H	علو الضغط (m)(Pressure head)	g	(9.81m/s ²) التعجيل الارضي
f	معامل الاحتكاك	d	قطر المجرى (m)
l	طول المجرى (m)	u	سرعة المائع (m/s)

* لحساب معدل التدفق (\dot{m}):

1- من المعادلة (صعوبة الحل بها)

$$\dot{m} = M = -4(N_3 \cdot \Delta p \cdot d^5)^{0.5} \cdot \text{Log} \left(\frac{K_s}{3.7d} + \frac{N_4 \cdot d}{(N_3 \cdot \Delta p \cdot d^5)^{0.5}} \right)$$

2- او من مخطط (9.6) لتصميم الانابيب, والذي يشمل قيم كل من (V)(m/s), (\dot{m})(L/s), (Δp)(Pa/m), (d)(mm), مع معامل تصحيح درجة حرارة الماء (K).

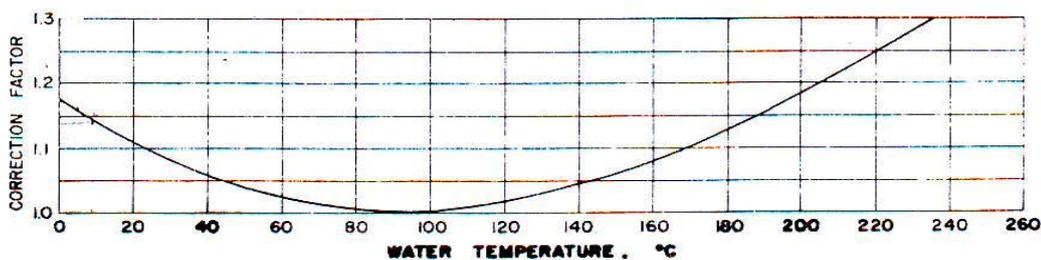
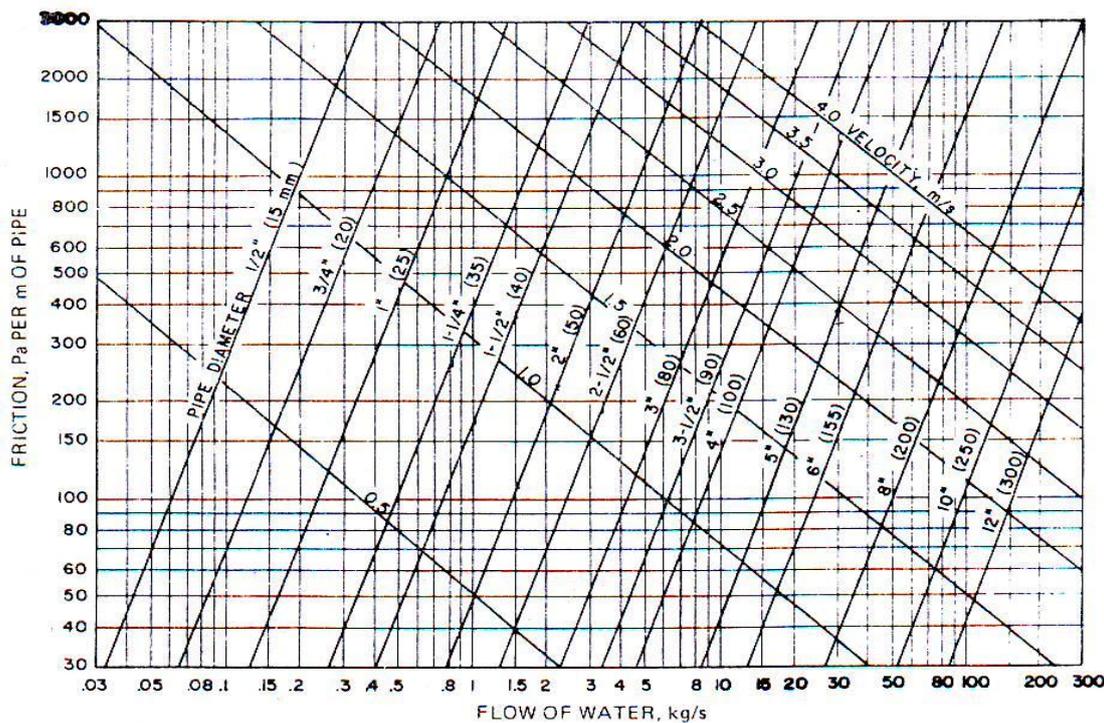
$$\Delta p_{corrected} = K \cdot \Delta p_{chart}$$

يتم تصحيح هبوط الضغط من المعادلة الاتية:

لسهولة الحل, يتم عمل الجدول البسيط ادناه:

الجزء	$Q \dot{v}$ (L/s)	V (m/s)	Δp (pa/m)	d (mm)
A				
B				
C				

مخطط (9.6) تصميم الانابيب



* مضخات الماء

1- علو الضغط الكلي

$$H = (H_d + \frac{V_d^2}{2g}) - (H_s + \frac{V_s^2}{2g})$$

H_d, V_d = علو الضغط وسرعة الماء عن خط الدفع
 H_s, V_s = علو الضغط وسرعة الماء عن خط السحب

2- الضغط الكلي للمضخة

$$P_t = \rho \cdot g \cdot H = (P_d + \frac{1}{2} \rho \cdot V_d^2) - (P_s + \frac{1}{2} \rho \cdot V_s^2)$$

P_d = الضغط عن خط الدفع
 P_s = الضغط عن خط السحب

في المنظومات المغلقة

1- عند ربط خزان التمدد على جهة سحب المضخة فإن الضغط (وهو اوطىء ضغط استاتي في المنظومة)

يساوي: $P_s = P_o = \rho \cdot g \cdot h_o$
 حيث ان (h_o) ارتفاع مستوى الماء في خزان التمدد.

2- عند ربط خزان التمدد على جهة دفع المضخة فإن الضغط (وهو اعلى ضغط استاتي في المنظومة)

يساوي: $P_d = P_o = \rho \cdot g \cdot h_o$
 حيث ان (h_o) ارتفاع مستوى الماء في خزان التمدد.

في المنظومات المفتوحة

يربط خزان التمدد على جهة سحب المضخة فإن الضغط يساوي: $P_s = P_o = \rho \cdot g \cdot h_o$
 حيث ان (h_o) ارتفاع مستوى الماء في خزان التمدد.

قدرة المضخة: $W_p = \dot{m} \cdot g \cdot H_t = \dot{V} \cdot P_t$

كفاءة المضخة: $\eta_P = \frac{W_p}{W_m}$ حيث ان (W_m) قدرة محور دولااب المضخة (الماكنة).

* قوانين المضخات

$$\frac{W_{m1}}{W_{m2}} = \frac{(N_{F1})^3}{(N_{F2})^3} \quad -3$$

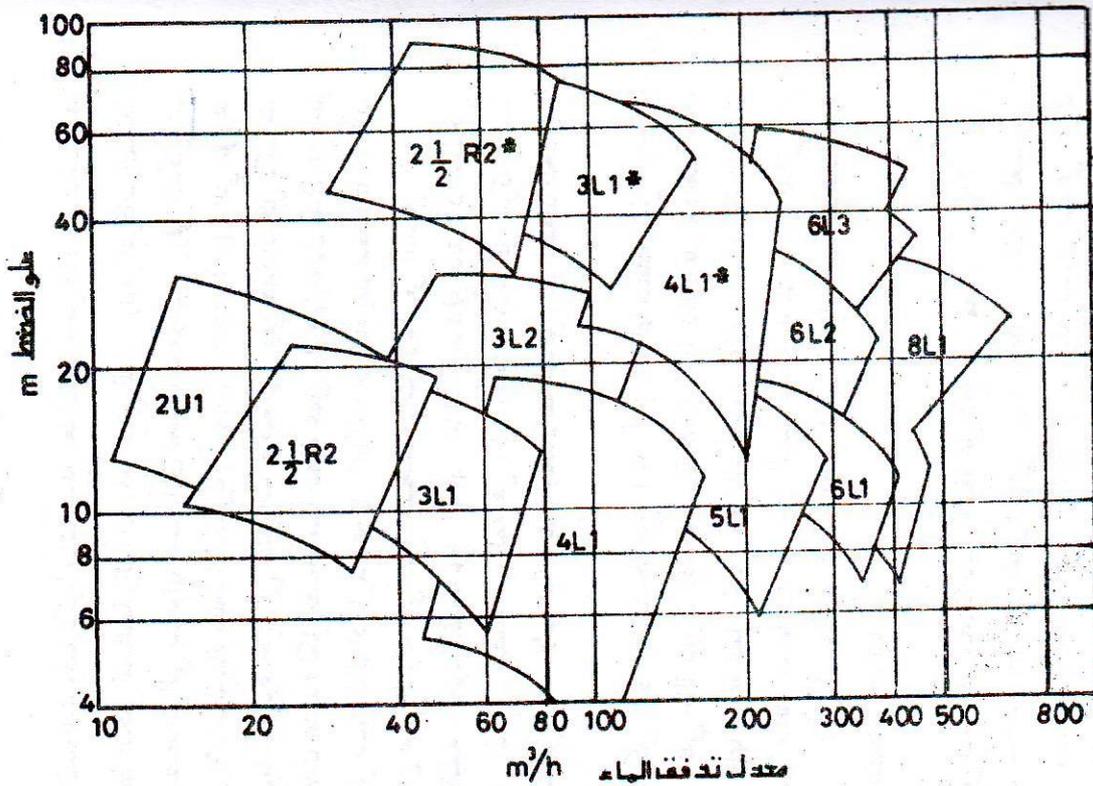
$$\frac{(P_s, P_v, P_t)_1}{(P_s, P_v, P_t)_2} = \frac{(N_{F1})^2}{(N_{F2})^2} \quad -2$$

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_{F1}}{N_{F2}} \quad -1$$

ملاحظات

- 1- يتم اختيار مضخة مخطط (9.7) التي توفر علو ضغط يعادل علو الضغط الاستاتي في منظومة الانابيب بما فيها من صمامات وتقاسيم وتراكيب اخرى.
- 2- تدور المحركات والمضخات في البلدان التي يكون فيها التيار الكهربائي (50Hz) بسرعة (1450rpm) و (2900rpm), ويستحسن ان نستعمل السرعة الادنى لاطالة عمرها.
- 3- يكون الضغط الحركي على جانبي المضخة قليل جدا مقارنة مع الضغط الاستاتي في جميع المضخات عموما, لذا يهمل الضغط الحركي في الجانبين في حال عدم ذكره في السؤال ويؤخذ فرق الضغط الاستاتي للمضخة هو نفسه يساوي الضغط الكلي.

مخطط (9.7) لمنحنيات اداء المضخات ذات سرع (1450rpm) والمؤشرة بنجمة (2900rpm)



منظومات التثليج

Refrigeration System

طرق التثليج

1- ارتفاع درجة حرارة المبرد (coolant)

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_h - t_c) = \dot{m} (h_h - h_c)$$

2- تغير الحالة (Change of phase)

3- تمدد الغاز الطبيعي (Ideal gas expansion)

- عملية الخنق الادياباتي

$$q - W = \frac{1}{2}(u_2^2 - u_1^2) + (h_2 - h_1) + (Z_2 - Z_1)$$

$$(h_2 - h_1) = 0$$

$$c_p(t_2 - t_1) = 0$$

$$t_2 = t_1$$

أ- اذا كان تغيير الطاقة الكامنة = 0
تغيير الطاقة الحركية = 0
الشغل = 0

ب- اذا كان تغيير الطاقة الحركية $\neq 0$

$$\frac{1}{2}u_2^2 + h_2 = \frac{1}{2}u_1^2 + h_1$$

ج- اذا كان تمدد الغاز المثالي ينتج شغلا

$$W = (h_1 - h_2)$$

دورة التثليج الانضغاطية

1- دورة تثليج كارنو

$$Q_1 = Q_{in} = T_1(S_1 - S_4) \quad (kJ/kg) \quad \text{حاصل التثليج}$$

$$X = \dot{m} \cdot Q_1 = \dot{m} \cdot Q_{in} = \dot{m} \cdot T_1(S_1 - S_4) \quad (kW) \quad \text{حاصل التثليج}$$

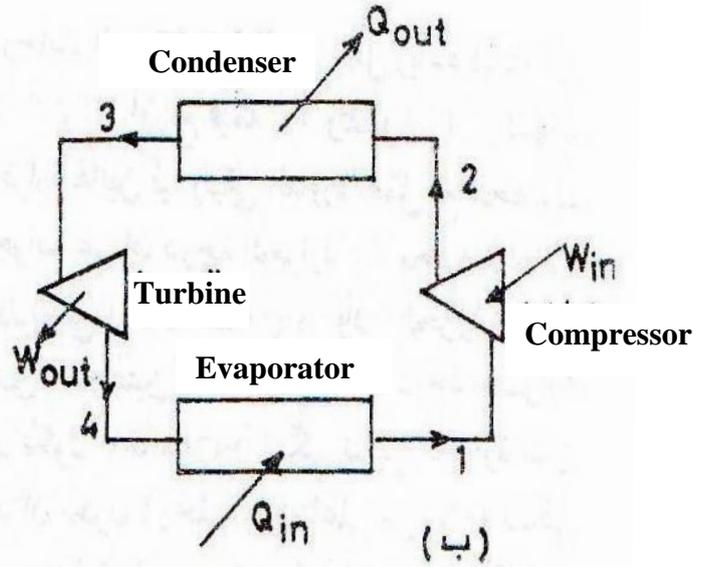
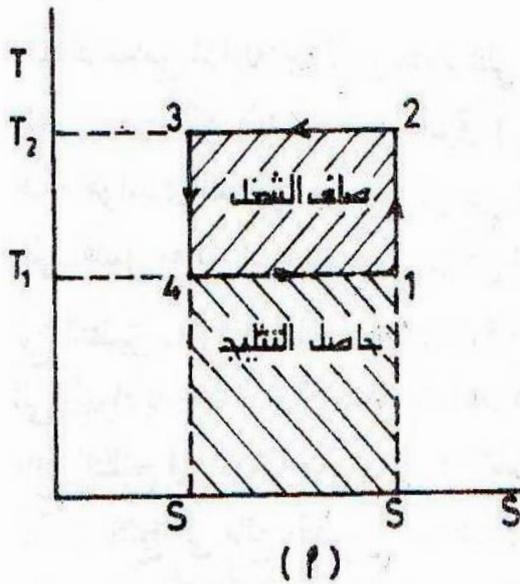
$$Q_2 = Q_{out} = T_2(S_2 - S_3) \quad (kJ/kg) \quad \text{الحرارة المطروحة}$$

$$W = Q_2 - Q_1 = (T_2 - T_1) \cdot (S_1 - S_4) \quad (kJ/kg) \quad \text{شغل الضاغط}$$

$$W = \dot{m} \cdot (Q_2 - Q_1) = \dot{m} \cdot (T_2 - T_1) \cdot (S_1 - S_4) \quad (kW)$$

$$C.O.P. = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad \text{معامل اداء ثلاجة كارنو}$$

$$C.O.P._h = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = C.O.P. + 1 \quad \text{معامل اداء المضخة الحرارية (مضخة كارنو الحرارية)}$$



دورة تثليج كارنو

Ideal-Standard-Vapor Compression Cycle

2- دورة تثليج الانضغاطية المثالية

$$Q_{in} = Q_{ref.} = Q_{evap.} = (h_1 - h_4) \quad (kJ/kg)$$

حاصل التثليج

$$Q_{out} = Q_{cond.} = (h_2 - h_3) \quad (kJ/kg)$$

الحرارة المطروحة

$$W = (h_2 - h_1) \quad (kJ/kg)$$

شغل الضاغط

$$C.O.P. = \frac{Q_{in}}{W} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{X (kW)}{W (kW)}$$

$$C.O.P._h = \frac{Q_{out}}{W} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

$$\dot{m} = \frac{X (kW)}{h_1 - h_4 (kJ/kg)} \quad (kg/s)$$

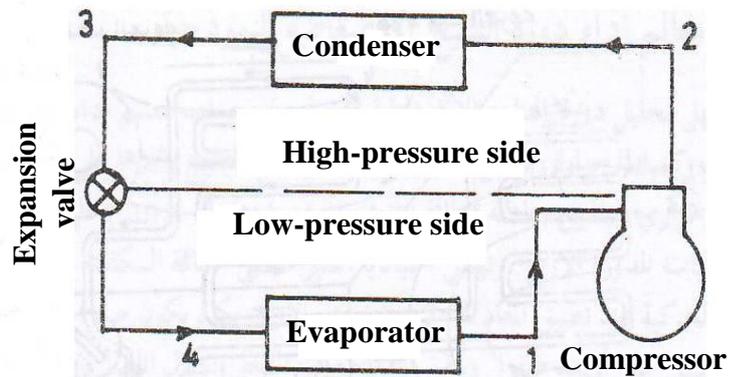
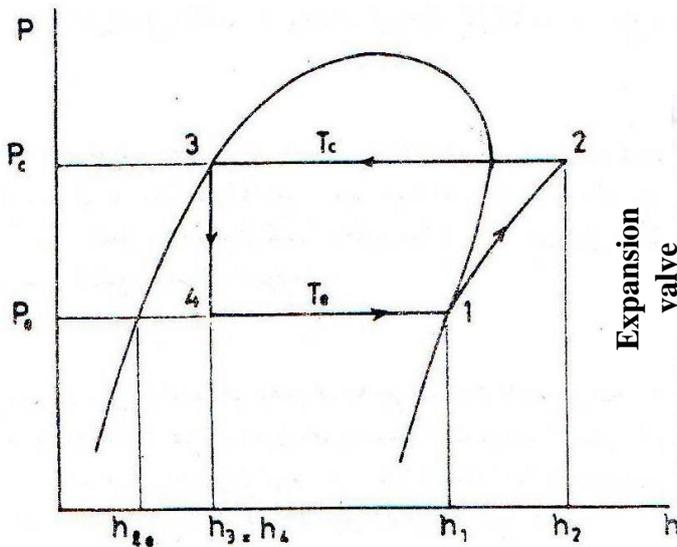
$$\dot{m} = \frac{1 (kW)}{h_1 - h_4 (kJ/kg)} \quad (kg/s.kW)$$

$$\dot{V}_1 = \dot{m} \cdot v_1 = \pi \cdot r^2 \cdot L \cdot \frac{N}{60} * \text{No. of Piston} \quad (m^3/s) \quad (\text{Piston displacement})$$

أزاحة الضاغط او معدل تدفق الحجمي لمائع التثليج

$$f = \frac{h_3 - h_{le}}{h_1 - h_{le}}$$

نسبة الجفاف او نسبة غاز التذير
(flash gas)



دورة تثليج الانضغاطية المثالية

* تبريد سائل التثليج تبريدا فانقا وتحميص بخاره

عند وجود مبادل حراري ضمن دورة التثليج

$$h_3 - h_4 = h_1 - h_6$$

$$Q_{in} = Q_{ref.} = Q_{evap.} = (h_6 - h_5) \quad (kJ/kg)$$

$$Q_{out} = Q_{cond.} = (h_2 - h_3) \quad (kJ/kg)$$

$$W = (h_2 - h_1) \quad (kJ/kg)$$

$$C.O.P. = \frac{Q_{in}}{W} = \frac{h_6 - h_5}{h_2 - h_1} = \frac{X}{W} \quad (kW)$$

$$C.O.P._h = \frac{Q_{out}}{W} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

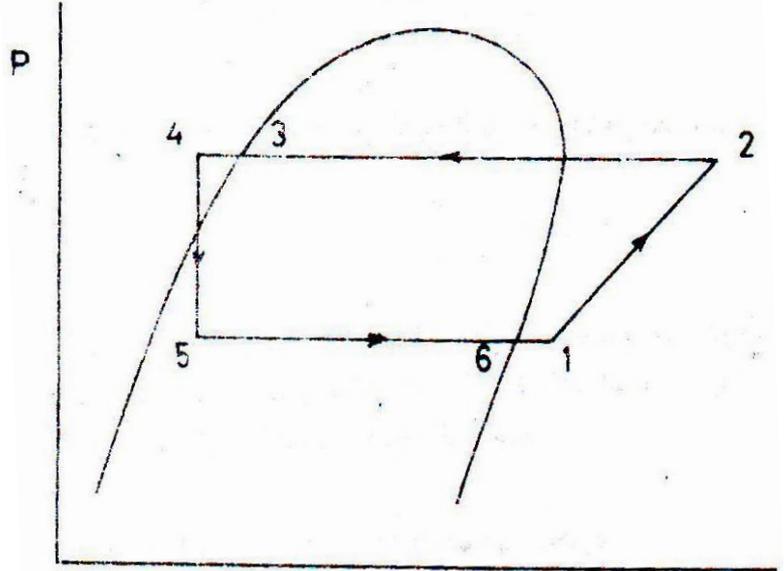
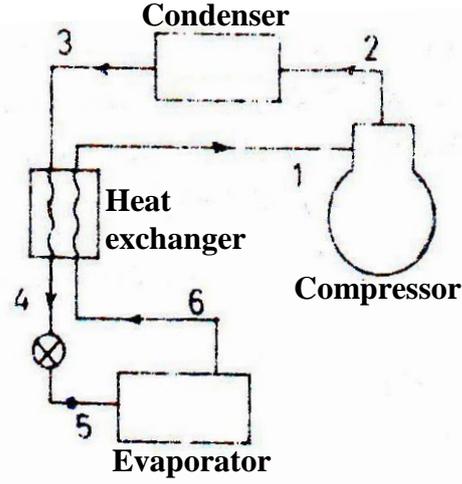
$$\dot{m} = \frac{X}{h_6 - h_5} \quad (kg/s)$$

$$\dot{m} = \frac{1}{h_6 - h_4} \quad (kg/s.kW)$$

$$\dot{V}_1 = \dot{m} \cdot v_1$$

$$= \pi \cdot r^2 \cdot L \cdot \frac{N}{60} * \text{No. of Piston} \quad (m^3/s)$$

$$f = \frac{h_4 - h_{1e}}{h_6 - h_{1e}}$$



دورة تبريد سائل التثليج تبريدا فانقا
وتحميص بخاره

* شغل الانضغاط من قوانين الغاز المثالي

في حال اعتبار بخار مائع التثليج غازا مثاليا، فإن قانون الغاز المثالي ينطبق عليه، وكما يلي:

$$P \cdot v = R \cdot T$$

$$P_1 \cdot v_1^n = P_2 \cdot v_2^n = \text{Con.}$$

$$w = \frac{n}{n-1} \cdot P_1 v_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (\text{J/kg}) \text{ if } P(\text{Pa}), v(\text{m}^3/\text{kg}) \quad (\text{Shaft work})$$

$$W = \frac{X}{Q_{ref.}} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot P_1 v_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (\text{W}) \text{ if } X(\text{kW}), Q_{ref.}(\text{kJ/kg}), P(\text{Pa}), v(\text{m}^3/\text{kg})$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$\eta_c = 1 + C - C \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Clearance volumetric})$$

جدول (10.1) يبين قيمة (n) لمجموعة أبخرة موائع التثليج شائعة الاستعمال

مائع التثليج	R-11	R-12	R-22	R-113	R-114	R-717
T (°C)	30	10	30	71	43	21
n	1.11	1.13	1.16	1.08	1.09	1.31

وفيما يلي جداول ومخططات خواص موائع التثليج لكل من R-12, R-22, R-717, R134a لمختلف درجات الحرارة والضغوط والمتمثلة بـ

h_f (kJ/kg)

h_v (kJ/kg)

S_f (kJ/kg.K)

S_v (kJ/kg.K)

V_f (m³/kg)

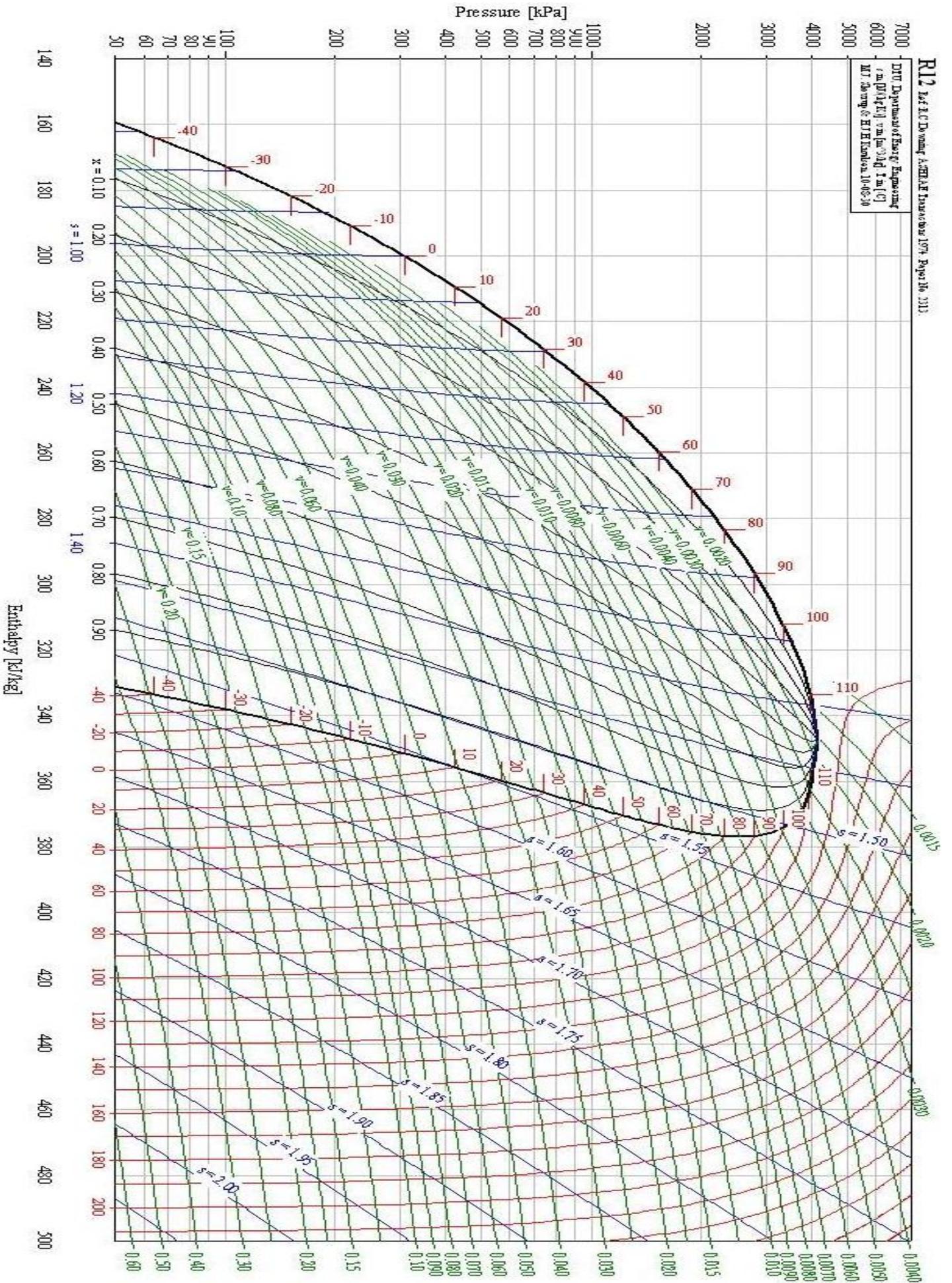
V_g (m³/kg)

جدول (10.2) خواص مائع التثليج (R-12) المشبع

T (°C)	P (kPs)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	S _f (kJ/kg.K)	S _g (kJ/kg.K)	V _f .10 ⁻³ (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)
-60	22.62	146.46	324.24	0.7797	1.6138	0.6369	0.63801
-58	25.37	148.19	325.17	0.7878	1.6104	0.639	0.57361
-56	28.37	149.93	326.11	0.7958	1.6072	0.6412	0.51689
-54	31.66	151.67	327.04	0.8038	1.604	0.6433	0.46681
-52	35.24	153.42	327.97	0.8117	1.601	0.6456	0.42249
-50	39.15	155.16	328.9	0.8196	1.5982	0.6478	0.38316
-48	43.39	156.91	329.83	0.8274	1.5954	0.6501	0.3482
-46	47.99	158.66	330.76	0.8351	1.5928	0.6524	0.31704
-44	52.98	160.42	331.69	0.8428	1.5902	0.6547	0.2892
-42	58.36	162.18	332.62	0.8504	1.5878	0.6571	0.26429
-40	64.17	163.94	333.55	0.858	1.5855	0.6595	0.24195
-38	70.43	165.71	334.47	0.8655	1.5832	0.6619	0.22187
-36	77.16	167.48	335.39	0.873	1.5811	0.6644	0.20379
-34	84.38	169.25	336.32	0.8804	1.579	0.6669	0.18748
-32	92.13	171.03	337.23	0.8878	1.577	0.6694	0.17274
-30	100.41	172.8	338.15	0.8951	1.5751	0.672	0.1594
-28	109.27	174.59	339.06	0.9024	1.5733	0.6746	0.1473
-26	118.72	176.37	339.97	0.9096	1.5716	0.6772	0.1363
-24	128.8	178.17	340.88	0.9168	1.5699	0.6799	0.1263
-22	139.53	179.96	341.79	0.924	1.5683	0.6827	0.11718
-20	150.93	181.76	342.69	0.9311	1.5668	0.6854	0.10886
-18	163.05	183.56	343.59	0.9381	1.5653	0.6883	0.10126
-16	175.89	185.37	344.48	0.9452	1.5639	0.6911	0.09429
-14	189.5	187.18	345.37	0.9521	1.5626	0.694	0.08791
-12	203.9	189	346.26	0.9591	1.5613	0.697	0.08204
-10	219.12	190.82	347.14	0.966	1.56	0.7	0.07666
-8	235.19	192.64	348.02	0.9729	1.5588	0.7031	0.0717
-6	252.14	194.48	348.89	0.9797	1.5577	0.7062	0.06712
-4	270.01	196.31	349.76	0.9865	1.5566	0.7094	0.0629
-2	288.82	198.15	350.63	0.9933	1.5556	0.7126	0.059
0	308.61	200	351.48	1	1.5546	0.7159	0.0554
2	329.4	201.85	352.34	1.0067	1.5536	0.7192	0.05205
4	351.24	203.71	353.19	1.0134	1.5527	0.7226	0.04895
6	374.14	205.58	354.03	1.02	1.5518	0.7261	0.04608
8	398.15	207.45	354.86	1.0266	1.551	0.7296	0.0434
10	423.3	209.33	355.69	1.0332	1.5502	0.7333	0.04092
12	449.62	211.21	356.52	1.0398	1.5494	0.7369	0.0386
14	477.14	213.1	357.33	1.0463	1.5486	0.7407	0.03644
16	505.91	215	358.14	1.0529	1.5479	0.7445	0.03443
18	535.94	216.91	358.94	1.0594	1.5472	0.7484	0.03254

تابع جدول (10.2) خواص مائع التثليج (R-12) المشبع

T (°C)	P (kPs)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	S _f (kJ/kg.K)	S _g (kJ/kg.K)	V _f .10 ⁻³ (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)
20	567.29	218.83	359.73	1.0658	1.5465	0.7524	0.03078
22	599.98	220.74	360.52	1.0723	1.5459	0.7565	0.02914
24	634.05	222.67	361.3	1.0787	1.5452	0.7607	0.02759
26	669.54	224.62	362.07	1.0851	1.5446	0.765	0.02615
28	706.47	226.57	362.82	1.0915	1.544	0.7694	0.02479
30	744.9	228.53	363.57	1.0979	1.5434	0.7738	0.02351
32	784.85	230.51	364.31	1.1043	1.5428	0.7784	0.02231
34	826.36	232.49	365.04	1.1107	1.5423	0.7831	0.02118
36	869.48	234.49	365.76	1.1171	1.5417	0.788	0.02012
38	914.23	236.5	366.46	1.1235	1.5411	0.7929	0.01912
40	960.66	238.53	367.15	1.1298	1.5406	0.798	0.01817
42	1008.8	240.57	367.83	1.1362	1.54	0.8032	0.01728
44	1058.7	242.62	368.5	1.1426	1.5395	0.8086	0.01644
46	1110.39	244.69	369.15	1.1489	1.5389	0.8141	0.01564
48	1163.92	246.77	369.78	1.1553	1.5383	0.8198	0.01489
50	1219.32	248.88	370.4	1.1617	1.5378	0.8257	0.01417
52	1276.64	251	371	1.1681	1.5372	0.8318	0.0135
54	1335.91	253.14	371.59	1.1745	1.5366	0.838	0.01285
56	1397.19	255.3	372.15	1.1809	1.536	0.8445	0.01224
58	1460.51	257.48	372.7	1.1874	1.5353	0.8512	0.01166
60	1525.92	259.68	373.22	1.1938	1.5346	0.8581	0.01111
62	1593.45	261.91	373.71	1.2003	1.5339	0.8653	0.01059
64	1663.16	264.17	374.19	1.2069	1.5332	0.8728	0.01009
66	1735.09	266.45	374.63	1.2134	1.5324	0.8806	0.00961
68	1809.28	268.76	375.05	1.22	1.5316	0.8887	0.00916
70	1885.78	271.1	375.43	1.2267	1.5307	0.8971	0.00873
72	1964.64	273.47	375.78	1.2333	1.5298	0.906	0.00831
74	2045.9	275.88	376.1	1.2401	1.5288	0.9153	0.00792
76	2129.62	278.32	376.37	1.2469	1.5277	0.925	0.00754
78	2215.84	280.81	376.6	1.2538	1.5266	0.9353	0.00717
80	2304.6	283.34	376.78	1.2607	1.5253	0.9461	0.00682
82	2395.97	285.91	376.91	1.2677	1.524	0.9576	0.00649
84	2490	288.54	376.98	1.2749	1.5225	0.9698	0.00616
86	2586.72	291.23	376.98	1.2821	1.5209	0.9828	0.00585
88	2686.2	293.97	376.91	1.2894	1.5191	0.9968	0.00555
90	2788.5	296.77	376.76	1.2969	1.5172	1.0119	0.00526
92	2893.66	299.67	376.5	1.3046	1.515	1.0282	0.00498
94	3001.73	302.65	376.13	1.3124	1.5125	1.0461	0.0047
96	3112.79	305.73	375.62	1.3204	1.5098	1.0659	0.00443
98	3226.88	308.92	374.95	1.3287	1.5066	1.088	0.00417
100	3344.06	312.26	374.08	1.3373	1.503	1.1131	0.00390



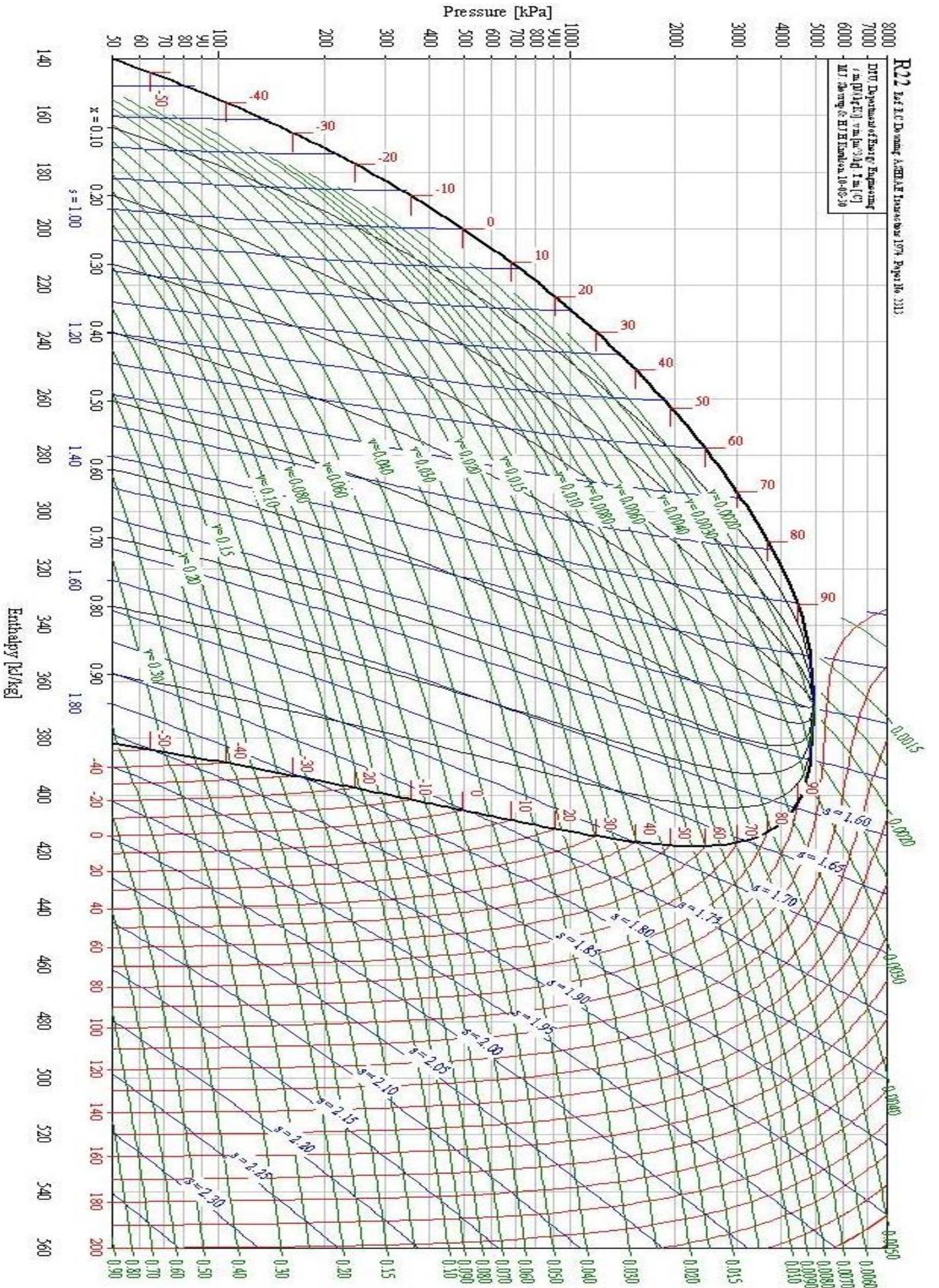
R12 Ref. AC Drawing ASHRAE Transactions 1979, Paper No. 211J
 DTU Department of Energy Engineering
 1. m. (P. H. L.) - m. (P. H. L.) - 1. m. (P. H. L.)
 DTU - m. (P. H. L.) - 10-02-20

جدول (10.3) خواص مائع التثليج (R-22) المشبع

T (°C)	P (kPs)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	S _f (kJ/kg.K)	S _g (kJ/kg.K)	V _f .10 ⁻³ (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)
-60	37.48	134.75	379.12	0.7324	1.8789	0.6821	0.53724
-58	41.96	136.77	380.09	0.7419	1.8728	0.6846	0.48369
-56	46.86	138.8	381.06	0.7512	1.8669	0.6872	0.43643
-54	52.21	140.84	382.02	0.7606	1.8611	0.6899	0.39462
-52	58.04	142.88	382.98	0.7699	1.8555	0.6925	0.35755
-50	64.39	144.94	383.93	0.7791	1.8501	0.6952	0.32461
-48	71.28	147.01	384.88	0.7883	1.8448	0.698	0.29526
-46	78.75	149.09	385.82	0.7975	1.8397	0.7008	0.26907
-44	86.82	151.19	386.76	0.8066	1.8347	0.7036	0.24564
-42	95.55	153.29	387.69	0.8157	1.8298	0.7064	0.22464
-40	104.95	155.4	388.62	0.8248	1.8251	0.7093	0.20578
-38	115.07	157.52	389.54	0.8339	1.8205	0.7123	0.18881
-36	125.94	159.66	390.45	0.8429	1.8161	0.7153	0.17351
-34	137.61	161.8	391.36	0.8518	1.8117	0.7183	0.15969
-32	150.11	163.96	392.26	0.8608	1.8075	0.7214	0.14719
-30	163.48	166.13	393.15	0.8697	1.8034	0.7245	0.13586
-28	177.76	168.31	394.03	0.8786	1.7993	0.7277	0.12558
-26	192.99	170.5	394.91	0.8874	1.7954	0.7309	0.11623
-24	209.22	172.7	395.77	0.8963	1.7916	0.7342	0.10772
-22	226.48	174.91	396.63	0.905	1.7879	0.7375	0.09995
-20	244.83	177.13	397.48	0.9138	1.7842	0.7409	0.09286
-18	264.29	179.37	398.31	0.9226	1.7807	0.7443	0.08637
-16	284.93	181.61	399.14	0.9313	1.7772	0.7478	0.08042
-14	306.78	183.87	399.96	0.9399	1.7738	0.7514	0.07497
-12	329.89	186.14	400.77	0.9486	1.7705	0.755	0.06996
-10	354.3	188.42	401.56	0.9572	1.7672	0.7587	0.06535
-8	380.06	190.71	402.35	0.9658	1.764	0.7625	0.0611
-6	407.23	193.02	403.12	0.9744	1.7609	0.7663	0.05719
-4	435.84	195.33	403.88	0.983	1.7578	0.7703	0.05357
-2	465.94	197.66	404.63	0.9915	1.7548	0.7742	0.05023
0	497.59	200	405.37	1	1.7519	0.7783	0.04714
2	530.83	202.35	406.09	1.0085	1.749	0.7825	0.04427
4	565.71	204.72	406.8	1.0169	1.7461	0.7867	0.04162
6	602.28	207.09	407.5	1.0254	1.7433	0.791	0.03915
8	640.59	209.48	408.18	1.0338	1.7405	0.7955	0.03685
10	680.7	211.88	408.84	1.0422	1.7378	0.8	0.03472
12	722.65	214.3	409.49	1.0506	1.7351	0.8046	0.03273
14	766.5	216.7	410.13	1.0589	1.7325	0.8094	0.03087
16	812.29	219.15	410.75	1.0672	1.7299	0.8142	0.02914
18	860.08	221.6	411.35	1.0756	1.7273	0.8192	0.02752

تابع جدول (10.3) خواص مائع التثليج (R-22) المشبع

T (°C)	P (kPs)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	S _f (kJ/kg.K)	S _g (kJ/kg.K)	V _f .10 ⁻³ (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)
20	909.93	224.07	411.93	1.0839	1.7247	0.8243	0.02601
22	961.89	226.56	412.49	1.0922	1.7221	0.8295	0.02459
24	1016.01	229.05	413.03	1.1005	1.7196	0.8349	0.02326
26	1072.34	231.57	413.56	1.1087	1.7171	0.8404	0.02201
28	1130.95	234.1	414.06	1.117	1.7146	0.8461	0.02084
30	1191.88	236.65	414.54	1.1253	1.7121	0.8519	0.01974
32	1255.2	239.22	415	1.1335	1.7096	0.8579	0.01871
34	1320.97	241.8	415.43	1.1418	1.7071	0.8641	0.01774
36	1389.24	244.41	415.84	1.15	1.7046	0.8705	0.01682
38	1460.06	247.03	416.22	1.1583	1.7021	0.8771	0.01595
40	1533.52	249.67	416.57	1.1666	1.6995	0.8839	0.01514
42	1609.65	252.34	416.89	1.1748	1.697	0.8909	0.01437
44	1688.53	255.03	417.18	1.1831	1.6944	0.8983	0.01364
46	1770.23	257.74	417.44	1.1914	1.6918	0.9058	0.01295
48	1854.8	260.49	417.66	1.1998	1.6892	0.9137	0.01229
50	1942.31	263.25	417.85	1.2081	1.6865	0.9219	0.01167
52	2032.84	266.05	417.99	1.2165	1.6838	0.9304	0.01108
54	2126.46	268.88	418.09	1.2249	1.681	0.9394	0.01052
56	2223.23	271.74	418.15	1.2333	1.6781	0.9487	0.00999
58	2323.24	274.64	418.15	1.2418	1.6752	0.9585	0.00948
60	2426.57	277.58	418.1	1.2504	1.6722	0.9687	0.009
62	2533.29	280.57	417.99	1.259	1.669	0.9796	0.00854
64	2643.49	283.6	417.81	1.2677	1.6658	0.991	0.0081
66	2757.26	286.68	417.56	1.2765	1.6624	1.0031	0.00768
68	2874.7	289.82	417.24	1.2854	1.6588	1.0161	0.00728
70	2995.9	293.03	416.82	1.2944	1.6551	1.0298	0.00689
72	3120.96	296.31	416.3	1.3035	1.6512	1.0446	0.00652
74	3250.01	299.69	415.67	1.3129	1.647	1.0606	0.00616
76	3383.16	303.13	414.91	1.3224	1.6425	1.078	0.00581
78	3520.54	306.71	414	1.3322	1.6377	1.097	0.00548
80	3662.29	310.42	412.91	1.3422	1.6325	1.1181	0.00515
82	3808.56	314.29	411.6	1.3527	1.6267	1.1416	0.00483
84	3959.51	318.36	410.02	1.3637	1.6203	1.1684	0.00452
86	4115.35	322.7	408.1	1.3753	1.613	1.1994	0.0042
88	4276.27	327.4	405.72	1.3878	1.6046	1.2363	0.00389
90	4442.53	332.6	402.67	1.4015	1.5945	1.2823	0.00357
92	4614.4	338.65	398.52	1.4175	1.5815	1.3436	0.00322
94	4792.22	346.35	392.13	1.4379	1.5626	1.4384	0.00282



جدول (10.4) خواص مائع التثليج (R-717) المشبع

T (°C)	P (kPs)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	S _f (kJ/kg.K)	S _g (kJ/kg.K)	V _f .10 ⁻³ (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)
-60	21.9	-67.44	1373.91	-0.102	6.6601	1.4006	4.70212
-58	24.94	-58.73	1377.4	-0.0614	6.6136	1.4052	4.16371
-56	28.32	-50.01	1380.85	-0.0211	6.5682	1.4099	3.69649
-54	32.08	-41.28	1384.27	0.019	6.5239	1.4146	3.28992
-52	36.24	-32.53	1387.66	0.0587	6.4805	1.4194	2.93517
-50	40.85	-23.77	1391.02	0.0981	6.4382	1.4242	2.62482
-48	45.92	-14.99	1394.34	0.1372	6.3967	1.429	2.35264
-46	51.51	-6.2	1397.63	0.176	6.3562	1.434	2.11333
-44	57.64	2.6	1400.87	0.2146	6.3166	1.4389	1.90242
-42	64.36	11.42	1404.08	0.2529	6.2778	1.444	1.71612
-40	71.71	20.25	1407.25	0.2909	6.2398	1.4491	1.55117
-38	79.73	29.1	1410.38	0.3286	6.2026	1.4542	1.4048
-36	88.47	37.97	1413.46	0.3661	6.1662	1.4594	1.27465
-34	97.97	46.84	1416.51	0.4033	6.1305	1.4647	1.15868
-32	108.28	55.74	1419.5	0.4403	6.0956	1.4701	1.05513
-30	119.46	64.64	1422.46	0.477	6.0613	1.4755	0.96249
-28	131.54	73.57	1425.36	0.5135	6.0277	1.481	0.87945
-26	144.6	82.5	1428.22	0.5497	5.9947	1.4865	0.80488
-24	158.67	91.45	1431.04	0.5857	5.9623	1.4921	0.73779
-22	173.82	100.42	1433.8	0.6214	5.9305	1.4978	0.67733
-20	190.11	109.4	1436.51	0.657	5.8994	1.5036	0.62274
-18	207.6	118.39	1439.17	0.6923	5.8687	1.5094	0.57338
-16	226.34	127.4	1441.78	0.7273	5.8386	1.5154	0.52866
-14	246.41	136.43	1444.34	0.7622	5.8091	1.5214	0.4881
-12	267.85	145.46	1446.84	0.7968	5.78	1.5275	0.45123
-10	290.75	154.52	1449.29	0.8312	5.7514	1.5336	0.41769
-8	315.17	163.58	1451.68	0.8653	5.7233	1.5399	0.38712
-6	341.17	172.66	1454.01	0.8993	5.6957	1.5463	0.35921
-4	368.83	181.76	1456.29	0.9331	5.6685	1.5527	0.33371
-2	398.22	190.87	1458.51	0.9666	5.6417	1.5593	0.31037
0	429.41	200	1460.66	1	5.6153	1.5659	0.28898
2	462.48	209.14	1462.76	1.0332	5.5893	1.5727	0.26935
4	497.5	218.3	1464.8	1.0661	5.5637	1.5795	0.25131
6	534.54	227.47	1466.77	1.0989	5.5384	1.5865	0.23471
8	573.7	236.67	1468.68	1.1315	5.5135	1.5936	0.21943
10	615.04	245.87	1470.52	1.1639	5.489	1.6008	0.20533
12	658.64	255.1	1472.3	1.1961	5.4647	1.6081	0.19232
14	704.59	264.34	1474.02	1.2281	5.4408	1.6155	0.18029
16	752.98	273.6	1475.66	1.26	5.4172	1.6231	0.16916
18	803.88	282.89	1477.24	1.2917	5.3939	1.6308	0.15885

تابع جدول (10.4) خواص مائع التثليج (R-717) المشبع

T (°C)	P (kPs)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	S _f (kJ/kg.K)	S _g (kJ/kg.K)	V _f .10 ⁻³ (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)
20	857.38	292.19	1478.74	1.3232	5.3708	1.6386	0.14929
22	913.56	301.51	1480.17	1.3546	5.3481	1.6466	0.14041
24	972.52	310.86	1481.53	1.3859	5.3255	1.6547	0.13216
26	1034.34	320.23	1482.82	1.4169	5.3033	1.663	0.12449
28	1099.11	329.62	1484.03	1.4479	5.2812	1.6714	0.11734
30	1166.93	339.04	1485.16	1.4787	5.2594	1.68	0.11069
32	1237.88	348.48	1486.21	1.5093	5.2377	1.6888	0.10447
34	1312.06	357.96	1487.19	1.5398	5.2163	1.6978	0.09867
36	1389.55	367.33	1488.09	1.5699	5.1952	1.7069	0.09327
38	1470.47	376.86	1488.89	1.6002	5.1741	1.7162	0.0882
40	1554.89	386.43	1489.61	1.6303	5.1532	1.7257	0.08345
42	1642.93	396.02	1490.25	1.6604	5.1325	1.7355	0.079
44	1734.67	405.66	1490.79	1.6904	5.1119	1.7454	0.07483
46	1830.22	415.34	1491.23	1.7203	5.0914	1.7556	0.07092
48	1929.68	425.06	1491.59	1.7501	5.0711	1.766	0.06724
50	2033.14	434.82	1491.84	1.7798	5.0508	1.7767	0.06378
52	2140.72	444.63	1491.99	1.8095	5.0307	1.7876	0.06053
54	2252.52	454.5	1492.04	1.8391	5.0106	1.7988	0.05747
56	2368.64	464.42	1491.98	1.8687	4.9906	1.8103	0.05458
58	2489.19	474.39	1491.81	1.8983	4.9707	1.8221	0.05186
60	2614.27	484.43	1491.52	1.9278	4.9508	1.8343	0.04929

جدول (10.5) خواص مائع التثليج (R-134a) المشبع

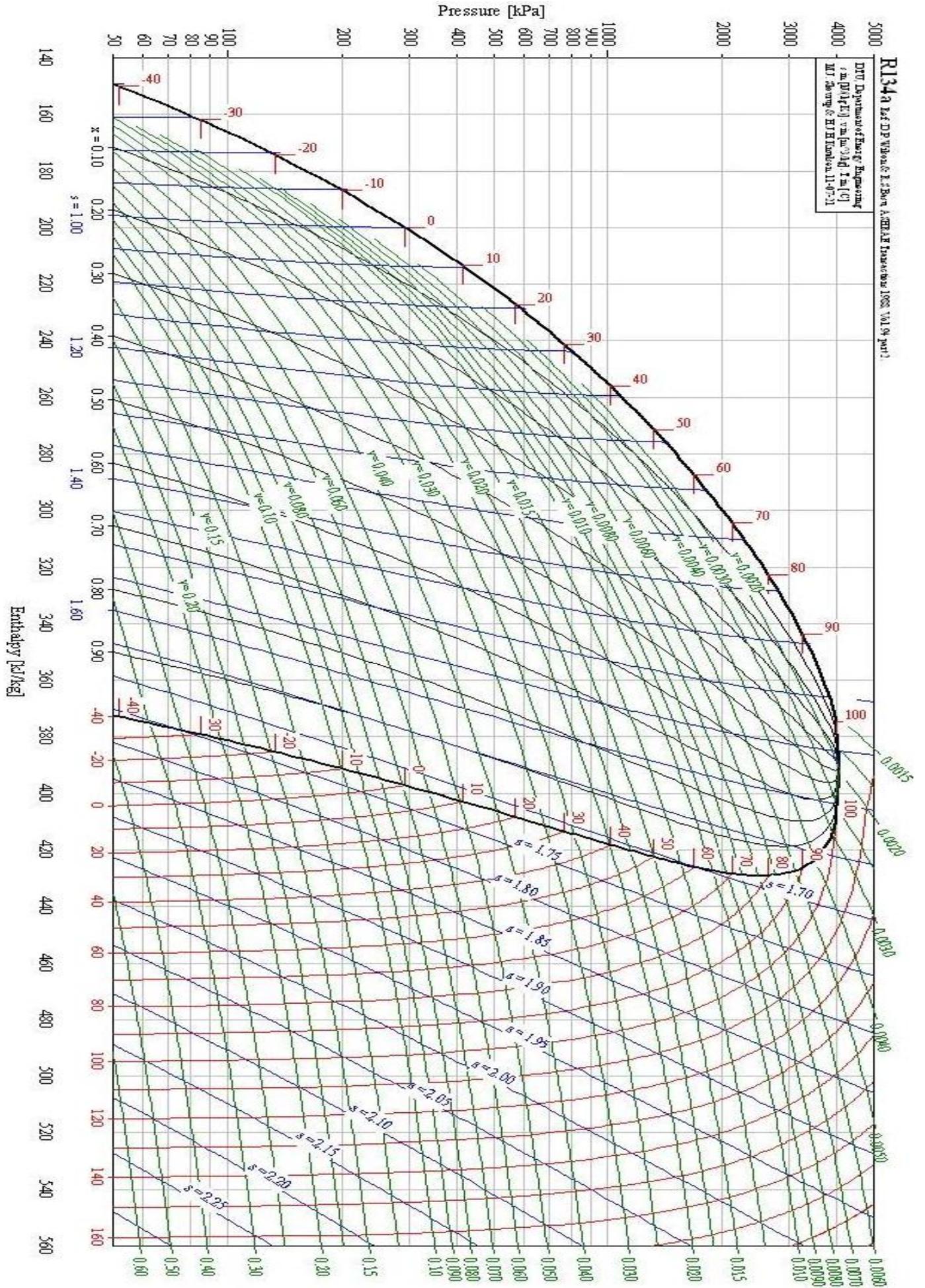
T (°C)	P (kPs)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	S _f (kJ/kg.K)	S _g (kJ/kg.K)	V _f .10 ⁻³ (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)
-60	16.32	127.27	360.22	0.7014	1.7942	0.6787	1.0502
-59	17.39	128.37	360.85	0.7065	1.7921	0.68	0.98961
-58	18.51	129.47	361.48	0.7116	1.79	0.6812	0.9331
-57	19.7	130.58	362.11	0.7167	1.7879	0.6825	0.88037
-56	20.95	131.68	362.75	0.7218	1.7859	0.6838	0.83113
-55	22.26	132.8	363.38	0.727	1.7839	0.6851	0.78511
-54	23.64	133.91	364.01	0.7321	1.782	0.6864	0.74209
-53	25.1	135.04	364.65	0.7372	1.7801	0.6877	0.70182
-52	26.62	136.16	365.28	0.7423	1.7783	0.689	0.66413
-51	28.22	137.29	365.91	0.7473	1.7765	0.6903	0.62881
-50	29.9	138.42	366.54	0.7524	1.7747	0.6917	0.5957
-49	31.66	139.56	367.18	0.7575	1.773	0.693	0.56464
-48	33.5	140.7	367.81	0.7626	1.7713	0.6944	0.53549
-47	35.43	141.85	368.44	0.7676	1.7696	0.6957	0.50812
-46	37.45	142.99	369.07	0.7727	1.768	0.6971	0.48239
-45	39.56	144.15	369.7	0.7778	1.7664	0.6985	0.4582
-44	41.77	145.3	370.33	0.7828	1.7648	0.6998	0.43545
-43	44.08	146.47	370.96	0.7879	1.7633	0.7012	0.41403
-42	46.5	147.63	371.59	0.7929	1.7618	0.7026	0.39385
-41	49.01	148.8	372.22	0.7979	1.7604	0.7041	0.37484
-40	51.64	149.97	372.85	0.803	1.7589	0.7055	0.35692
-39	54.38	151.15	373.48	0.808	1.7575	0.7069	0.34001
-38	57.24	152.33	374.11	0.813	1.7562	0.7083	0.32405
-37	60.22	153.51	374.74	0.818	1.7548	0.7098	0.30898
-36	63.32	154.7	375.37	0.8231	1.7535	0.7113	0.29474
-35	66.55	155.89	375.99	0.8281	1.7523	0.7127	0.28128
-34	69.91	157.09	376.62	0.8331	1.751	0.7142	0.26855
-33	73.4	158.29	377.24	0.8381	1.7498	0.7157	0.25651
-32	77.04	159.49	377.87	0.8431	1.7486	0.7172	0.24511
-31	80.81	160.7	378.49	0.848	1.7474	0.7187	0.23431
-30	84.74	161.91	379.11	0.853	1.7463	0.7202	0.22408
-29	88.81	163.13	379.73	0.858	1.7452	0.7218	0.21438
-28	93.05	164.35	380.35	0.863	1.7441	0.7233	0.20518
-27	97.44	165.57	380.97	0.8679	1.743	0.7249	0.19645
-26	101.99	166.8	381.59	0.8729	1.742	0.7264	0.18817
-25	106.71	168.03	382.21	0.8778	1.741	0.728	0.1803
-24	111.6	169.26	382.82	0.8828	1.74	0.7296	0.17282
-23	116.67	170.5	383.44	0.8877	1.739	0.7312	0.16571
-22	121.92	171.74	384.05	0.8927	1.738	0.7328	0.15896
-21	127.36	172.99	384.67	0.8976	1.7371	0.7345	0.15253
-20	132.99	174.24	385.28	0.9025	1.7362	0.7361	0.14641
-19	138.81	175.49	385.89	0.9075	1.7353	0.7378	0.14059
-18	144.83	176.75	386.5	0.9124	1.7345	0.7394	0.13504

تابع جدول (10.5) خواص مائع التثليج (R-134a) المشبع

T (°C)	P (kPs)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	S _f (kJ/kg.K)	S _g (kJ/kg.K)	V _f .10 ⁻³ (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)
-17	151.05	178.01	387.11	0.9173	1.7336	0.7411	0.12975
-16	157.48	179.27	387.71	0.9222	1.7328	0.7428	0.12471
-15	164.13	180.54	388.32	0.9271	1.732	0.7445	0.11991
-14	170.99	181.81	388.92	0.932	1.7312	0.7463	0.11533
-13	178.08	183.09	389.52	0.9369	1.7304	0.748	0.11095
-12	185.4	184.36	390.12	0.9418	1.7297	0.7498	0.10678
-11	192.95	185.65	390.72	0.9467	1.7289	0.7515	0.10279
-10	200.73	186.93	391.32	0.9515	1.7282	0.7533	0.09898
-9	208.76	188.22	391.92	0.9564	1.7275	0.7551	0.09534
-8	217.04	189.52	392.51	0.9613	1.7269	0.7569	0.09186
-7	225.57	190.82	393.1	0.9661	1.7262	0.7588	0.08853
-6	234.36	192.12	393.7	0.971	1.7255	0.7606	0.08535
-5	243.41	193.42	394.28	0.9758	1.7249	0.7625	0.0823
-4	252.74	194.73	394.87	0.9807	1.7243	0.7644	0.07938
-3	262.33	196.04	395.46	0.9855	1.7237	0.7663	0.07659
-2	272.21	197.36	396.04	0.9903	1.7231	0.7682	0.07391
-1	282.37	198.68	396.62	0.9952	1.7225	0.7701	0.07135
0	292.82	200	397.2	1	1.722	0.7721	0.06889
1	303.57	201.33	397.78	1.0048	1.7214	0.774	0.06653
2	314.62	202.66	398.36	1.0096	1.7209	0.776	0.06427
3	325.98	203.99	398.93	1.0144	1.7204	0.7781	0.0621
4	337.65	205.33	399.5	1.0192	1.7199	0.7801	0.06001
5	349.63	206.67	400.07	1.024	1.7194	0.7821	0.05801
6	361.95	208.02	400.64	1.0288	1.7189	0.7842	0.05609
7	374.59	209.37	401.21	1.0336	1.7184	0.7863	0.05425
8	387.56	210.72	401.77	1.0384	1.7179	0.7884	0.05248
9	400.88	212.08	402.33	1.0432	1.7175	0.7906	0.05077
10	414.55	213.44	402.89	1.048	1.717	0.7927	0.04913
11	428.57	214.8	403.44	1.0527	1.7166	0.7949	0.04756
12	442.94	216.17	404	1.0575	1.7162	0.7971	0.04604
13	457.69	217.54	404.55	1.0623	1.7158	0.7994	0.04458
14	472.8	218.92	405.1	1.067	1.7154	0.8016	0.04318
15	488.29	220.3	405.64	1.0718	1.715	0.8039	0.04183
16	504.16	221.68	406.18	1.0765	1.7146	0.8062	0.04052
17	520.42	223.07	406.72	1.0813	1.7142	0.8085	0.03927
18	537.08	224.44	407.26	1.0859	1.7139	0.8109	0.03806
19	554.14	225.84	407.8	1.0907	1.7135	0.8133	0.0369
20	571.6	227.23	408.33	1.0954	1.7132	0.8157	0.03577
21	589.48	228.64	408.86	1.1001	1.7128	0.8182	0.03469
22	607.78	230.05	409.38	1.1049	1.7125	0.8206	0.03365
23	626.5	231.46	409.91	1.1096	1.7122	0.8231	0.03264
24	645.66	232.87	410.42	1.1143	1.7118	0.8257	0.03166
25	665.26	234.29	410.94	1.119	1.7115	0.8283	0.03072

تابع جدول (10.5) خواص مائع التثليج (R-134a) المشبع

T (°C)	P (kPs)	h _f (kJ/kg)	h _g (kJ/kg)	S _f (kJ/kg.K)	S _g (kJ/kg.K)	V _f .10 ⁻³ (m ³ /kg)	V _g (m ³ /kg)
26	685.3	235.72	411.45	411.45	1.7112	0.8309	0.02982
27	705.8	237.15	411.96	411.96	1.7109	0.8335	0.02894
28	726.75	238.58	412.47	412.47	1.7106	0.8362	0.02809
29	748.17	240.02	412.97	412.97	1.7103	0.8389	0.02727
30	770.06	241.46	413.47	413.47	1.71	0.8416	0.02648
31	792.43	242.91	413.96	413.96	1.7097	0.8444	0.02572
32	815.28	244.36	414.45	414.45	1.7094	0.8473	0.02498
33	838.63	245.82	414.94	414.94	1.7091	0.8501	0.02426
34	862.47	247.28	415.42	415.42	1.7088	0.853	0.02357
35	886.82	248.75	415.9	415.9	1.7085	0.856	0.0229
36	911.68	250.22	416.37	416.37	1.7082	0.859	0.02225
37	937.07	251.7	416.84	416.84	1.7079	0.862	0.02162
38	962.98	253.18	417.3	417.3	1.7077	0.8651	0.02102
39	989.42	254.67	417.76	417.76	1.7074	0.8682	0.02043
40	1016.4	256.16	418.21	418.21	1.7071	0.8714	0.01986
41	1043.94	257.66	418.66	418.66	1.7068	0.8747	0.0193
42	1072.02	259.16	419.11	419.11	1.7065	0.8779	0.01877
43	1100.67	260.67	419.54	419.54	1.7062	0.8813	0.01825
44	1129.9	262.19	419.98	419.98	1.7059	0.8847	0.01774
45	1159.69	263.71	420.4	420.4	1.7056	0.8882	0.01726
46	1190.08	265.24	420.83	420.83	1.7053	0.8917	0.01678
47	1221.05	266.77	421.24	421.24	1.705	0.8953	0.01632
48	1252.63	268.32	421.65	421.65	1.7047	0.8989	0.01588
49	1284.82	269.86	422.05	422.05	1.7044	0.9026	0.01544
50	1317.62	271.42	422.44	422.44	1.7041	0.9064	0.01502
51	1351.05	272.98	422.83	422.83	1.7037	0.9103	0.01461
52	1385.1	274.55	423.21	423.21	1.7034	0.9142	0.01421
53	1419.8	276.13	423.59	423.59	1.703	0.9182	0.01383
54	1455.15	277.71	423.95	423.95	1.7027	0.9223	0.01345
55	1491.16	279.3	424.31	424.31	1.7023	0.9265	0.01309
56	1527.83	280.9	424.66	424.66	1.7019	0.9308	0.01273
57	1565.17	282.51	424.99	424.99	1.7015	0.9351	0.01239
58	1603.2	284.13	425.32	425.32	1.7011	0.9396	0.01205
59	1641.92	285.75	425.64	425.64	1.7007	0.9441	0.01172
60	1681.34	287.39	425.96	425.96	1.7003	0.9488	0.01141



منظومات التثليج الامتصاصية الاساسية

دورة بروميد الليثيوم- ماء الامتصاصية

1- يتم استخراج تركيز محلول بروميد الليثيوم- ماء من مخطط الاتزان (13.3).

2- يتم استخراج المحتوى الحراري لمحلول بروميد الليثيوم- ماء من المخطط (13.4).

3- يتم استخراج المحتوى الحراري للماء كالاتي:

A - من الجدول (2.1) لحالته السائلة وبخاره المشبع.

B - اذا كان بخاره محمصا، من جداول البخار المحمص او من المعادلة التالية،

$$h = h_a + Wh_v = (1.007t - 0.026) + W(2501 + 1.84t) \quad \text{لمدى } (0 \leq T \leq 60)^\circ\text{C}$$

$$h = h_a + Wh_v = 1.005t + W(2501 + 1.84t) \quad \text{لمدى } (-10 \leq T \leq 0)^\circ\text{C}$$

او بالطريقة التقريبية:

المحتوى الحراري لبخار الماء المحمص = المحتوى الحراري للتحميص + المحتوى الحراري بخار الماء المشبع

المحتوى الحراري للتحميص = فرق درجات حرارة التحميص * الحرارة النوعية لبخار الماء = $(c_{pm} \cdot \Delta T)$

$$1- \text{كتلة مائع التثليج يدور بمعدل ثابت} \quad m_2 = m_4 = m_5 = \frac{1}{h_5 - h_4}$$

2- معدل تدوير بروميد الليثيوم بين المولد ووعاء الامتصاص

$$3- \text{اتزان الكتلة الكلي} \quad m_1 = m_2 + m_3$$

$$4- \text{المكثف} \quad q_c = m_2 \cdot (h_2 - h_4)$$

5- وعاء الامتصاصية

$$q_a = m_5 \cdot h_5 + m_3 \cdot h_3 - m_1 \cdot h_1$$

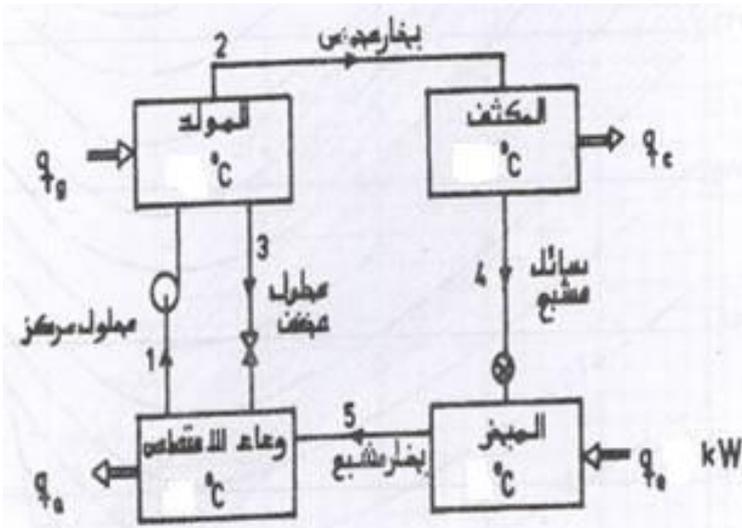
6- المولد

$$q_g = m_2 \cdot h_2 + m_3 \cdot h_3 - m_1 \cdot h_1$$

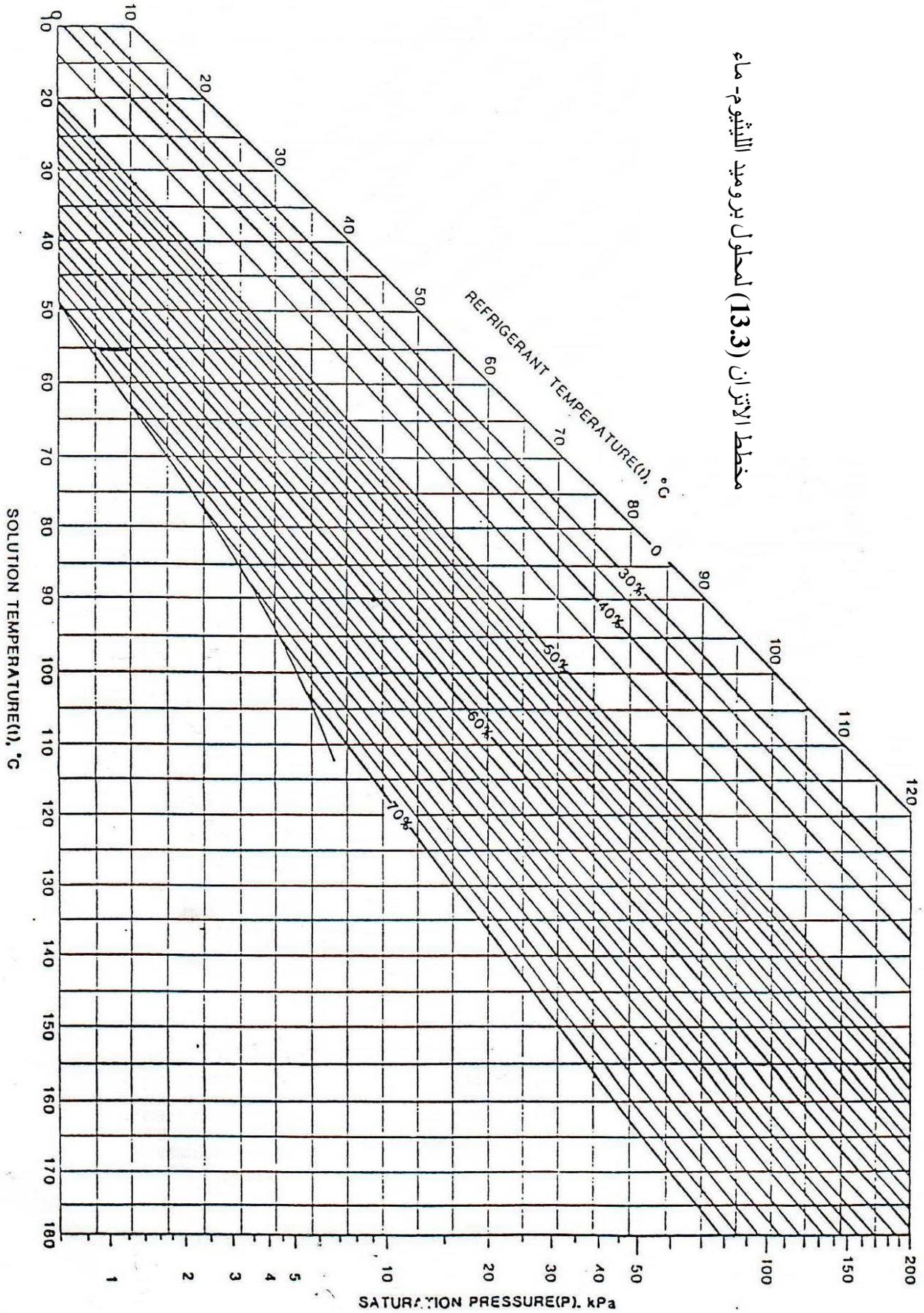
7- اتزان الدورة الحراري

$$Q_{\text{supplied}} = q_g + q_e \quad (\text{الحرارة المجهزة})$$

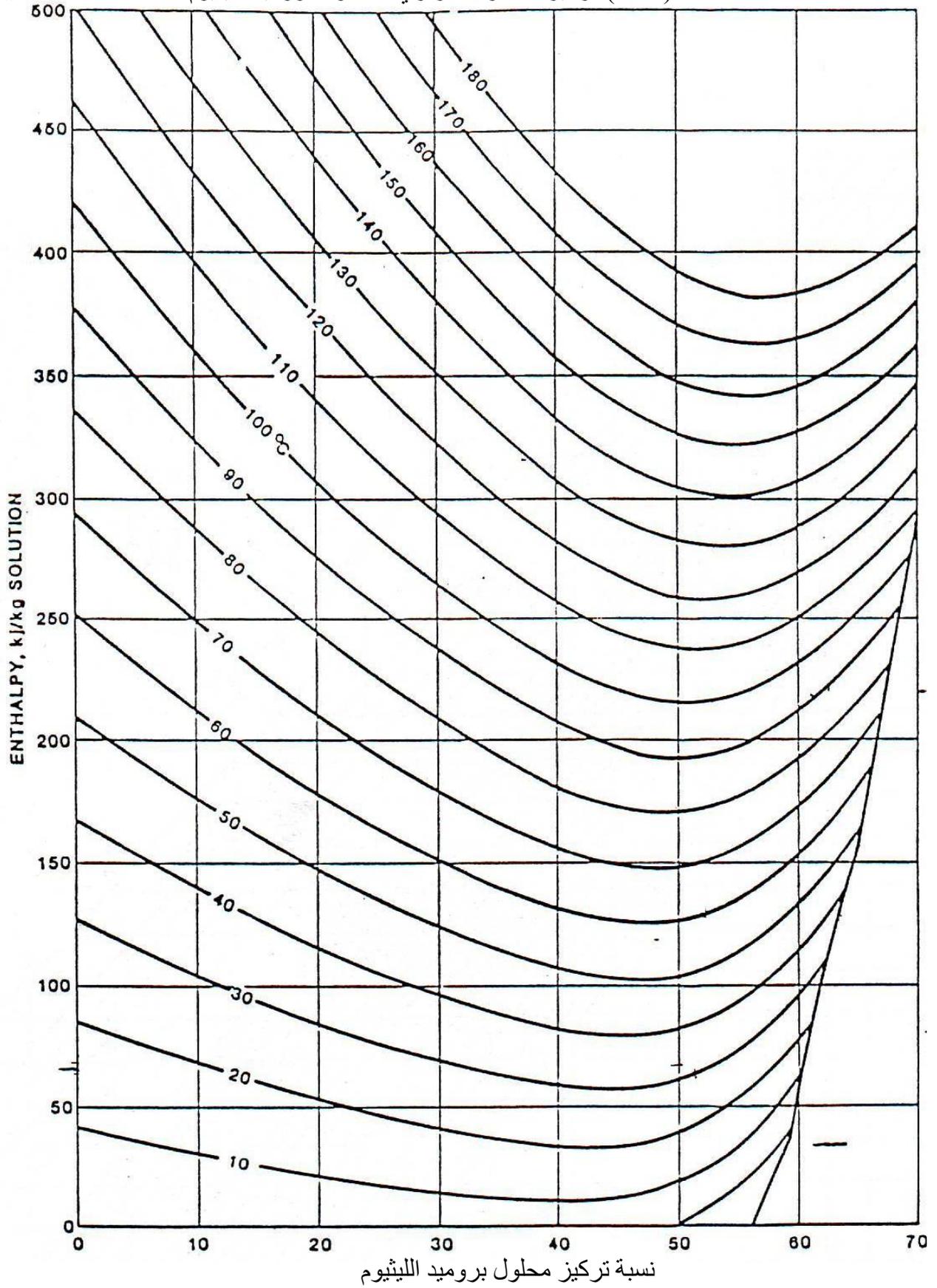
$$Q_{\text{rejected}} = q_a + q_c \quad (\text{الحرارة المطروحة})$$



مخطط الاتزان (13.3) لمحلول بروميد الليثيوم- ماء



مخطط (13.4) تركيز- محتوى حراري للمحلول بروميد الليثيوم



دورات الهواء للتثليج

1- دورة الهواء المغلقة للتثليج

$$X = \dot{m} \cdot Q_{ref.} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_3)$$

$$Q_c = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_1 - T_4)$$

$$\begin{aligned} W_{comp.} &= \left(\frac{n}{n-1}\right) \cdot \dot{m} \cdot (P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1) && \text{شغل الانضغاط البوليتروبي (n)} \\ &= \left(\frac{n}{n-1}\right) \cdot \dot{m} \cdot R \cdot (T_2 - T_1) && (kW) \\ &= \left(\frac{n}{n-1}\right) \cdot \left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right) \cdot \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{comp.} &= \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) && \text{شغل الانضغاط الانتروبي (n=\gamma)} \\ &= \dot{m} \cdot c_p \cdot T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] && (kW) \end{aligned}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\begin{aligned} W_{exp.} &= \left(\frac{n}{n-1}\right) \cdot \dot{m} \cdot (P_3 \cdot v_3 - P_4 \cdot v_4) && \text{شغل التمدد البوليتروبي (n)} \\ &= \left(\frac{n}{n-1}\right) \cdot \dot{m} \cdot R \cdot (T_3 - T_4) && (kW) \\ &= \left(\frac{n}{n-1}\right) \cdot \left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right) \cdot \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_3 - T_4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{exp.} &= \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_3 - T_4) && \text{شغل التمدد الانتروبي (n=\gamma)} \\ &= \dot{m} \cdot c_p \cdot T_3 \left[\left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] && (kW) \end{aligned}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$W_{net} = W_{comp.} - W_{exp.}$$

$$= \left(\frac{n}{n-1}\right) \cdot \left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right) \dot{m} \cdot c_p \cdot [(T_2 - T_1) - (T_3 - T_4)]$$

البوليتروبي (n)

$$= \dot{m} \cdot c_p \cdot [(T_2 - T_1) - (T_3 - T_4)]$$

الانتروبي (n=γ)

$$P.D. = \dot{V}_1 = \dot{m} \cdot v_1 = \pi \cdot r^2 \cdot L \cdot \frac{N}{60} * \text{No. of Piston}, (m^3 / s)$$

أزاحة الضاغط (Piston displacement) او معدل تدفق الحجمي لمائع التثليج

$$E.D. = \dot{V}_4 = \dot{m} \cdot v_4 = \pi \cdot r^2 \cdot L \cdot \frac{N}{60} * \text{No. of Piston}, (m^3 / s)$$

أزاحة آلة التمدد (Expander displacement) او معدل تدفق الحجمي لمائع التثليج

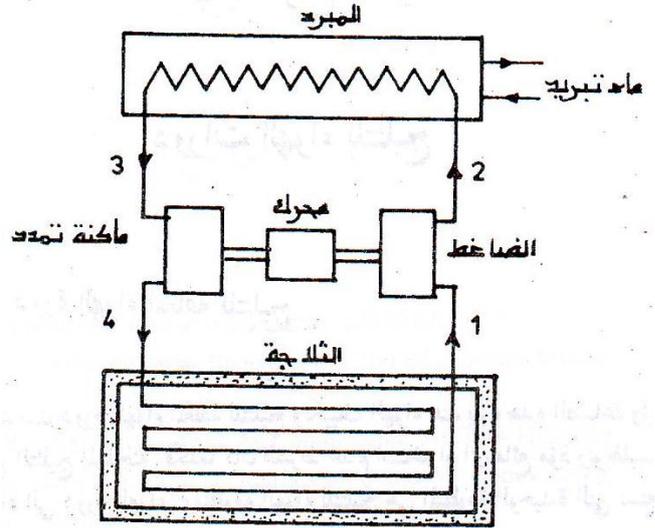
$$C.O.P. = \frac{Q_{ref.}}{W_{net.}} = \frac{T_1 - T_4}{(T_2 - T_1) - (T_3 - T_4)}$$

$$\eta_{comp.} = \frac{(T_2 - T_1)}{(T_2' - T_1)}$$

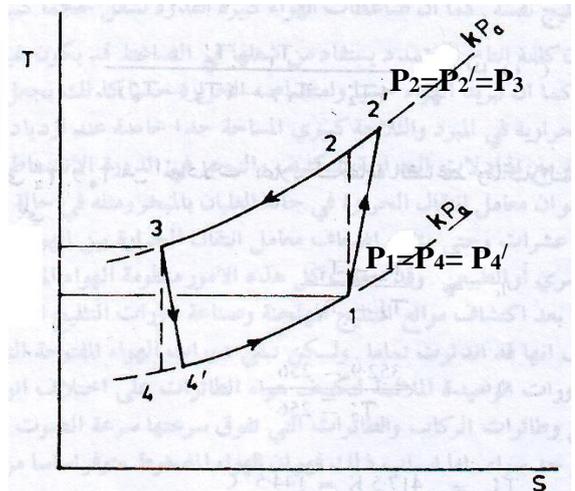
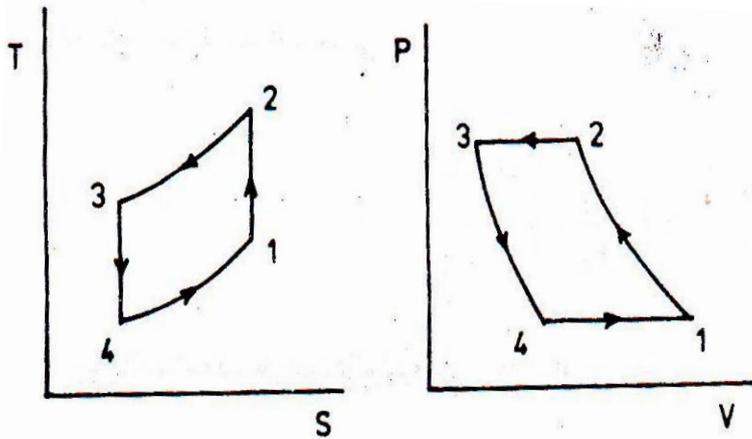
$$\eta_{exp.} = \frac{(T_3 - T_4)}{(T_3' - T_4)}$$

$$E = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_{air}}$$

فعالية المبادل الحراري



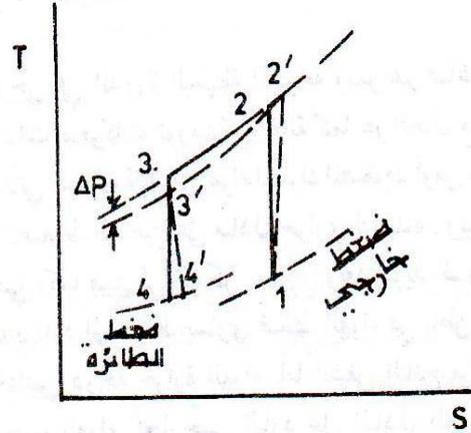
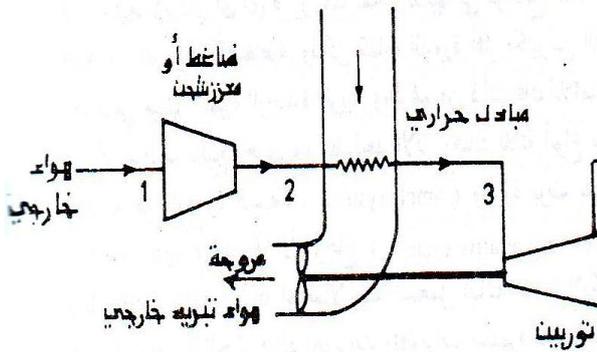
دورة الهواء المغلقة للتثليج



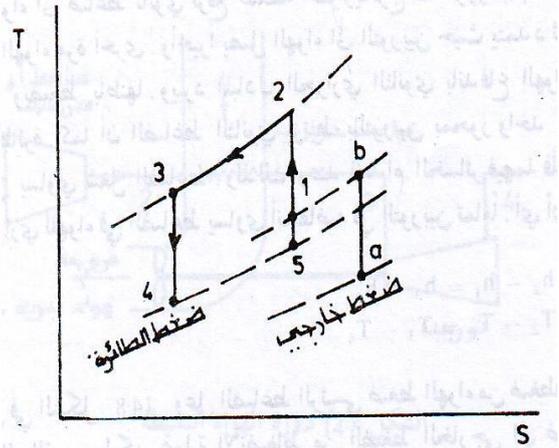
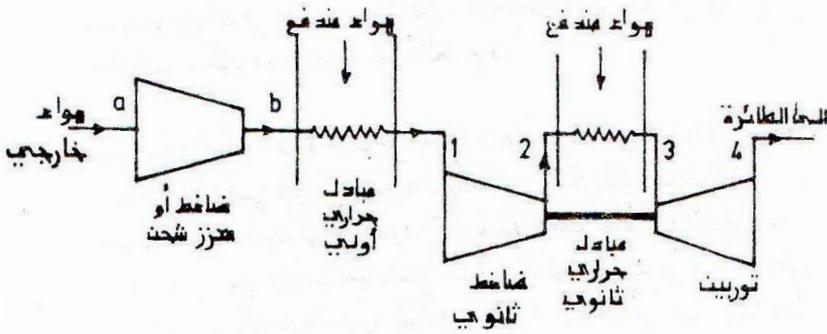
دورة برينتون المعكوسة

ملاحظة مهمة جدا لجميع دورات الهواء للتثليج: يجب مراعاة استبدال (4) و(2) و(3) بـ(4') و(2') و(3') و(3')

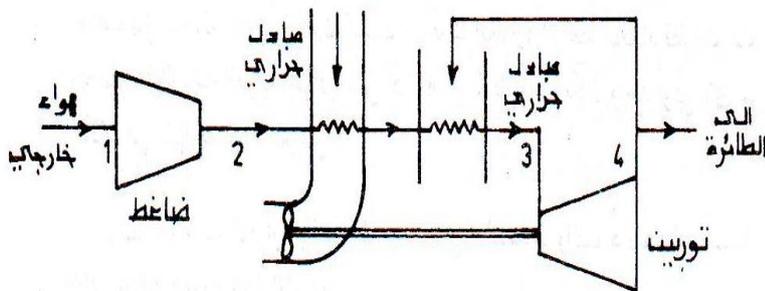
2- دورة الهواء البسيطة للتثليج



3- دورة بوت ستراب للتثليج $W_{comp1-2} = W_{tur.3-4} \rightarrow h_2 - h_1 = h_3 - h_4 \rightarrow T_2 - T_1 = T_3 - T_4$
 في حال انعدام الخسائر



4- دورة الاسترجاع للتثليج



المصادر

- 1- د.خالد احمد الجودي "مبادئ هندسة تكييف الهواء والتثليج" كلية الهندسة - جامعة البصرة - الطبعة الثانية (1991).
- 2- المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني, الادارة العامة لتصميم وتطوير المناهج "التكييف المركزي - أنظمة توزيع الهواء والماء وجودة الهواء الداخلي" الوحدة الثانية, المملكة العربية السعودية.
- 3- وزارة الاعمار والاسكان, الدائرة الفنية لمشروع المدونة العراقية "المدونة العراقية للتبريد" (2012).
- 4- **ASHRAE Handbook 1989 Fundamentals (SI) Edition.**
- 5- **ASHRAE Handbook 1984 Fundamentals (SI) Edition.**
- 6- Morten Juel Skovrup "**Refrigeration Utilities**" Software Version 2.84, Department of Energy Engineering - Technical University of Denmark, 2000.