



الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

الترموديناميكي الهندي

الدكتور المهندس مفيد العفيف

٢٠١٧ - ٢٠١٨

المحتويات

الصفحة

الموضوع

II	المقدمة.....
X	مقدمة الى ديناميك الحرارة.....
XI	الرموز والوحدات المستخدمة.....
1. الفصل الأول	
الوحدات والتعاريف (25-1)	
1	1.1 - الابعاد والوحدات والرموز.....
1	1.2 - النظام العالمي للوحدات.....
9	امثلة محلولة.....
10	1.3 - تعاريف ومفاهيم أساسية
18	امثلة محلولة.....
20	1.4 - التحليل البصري والتحليل المجهري.....
21	1.5 - الخواص الترموديناميكية.....
21	1.5.1 - الخواص المستقلة وغير المستقلة
21	1.5.2 - الخواص المركزية والشاملة
22	1.6 - مخطط الحالة.....
23	1.7 - دالة الحالة ودالة المنبار
23	1.8 - التوازن الترموديناميكي
25	1.9 - العملية والاجراء.....
2. الفصل الثاني	
الضغط ودرجة الحرارة (44 - 26)	
26	2.1 - المفهوم الميكانيكي للضغط.....
27	2.2 - الضغط الذي يسبب عمق المائع.....
27	2.3 - الضغط الجوي
28	2.4 - مقياس الضغط الجوي والباروميتر
30	2.5 - المانوميتر
32	امثلة محلولة.....
33	2.6 - المانوميتر المائل
33	2.7 - مقياس بوردن
34	2.8 - درجة الحرارة.....

35	- الحرارة ودرجة الحرارة والتوازن الحراري.....
35	- مقاييس درجات الحرارة.....
39	امثلة ومسائل محلولة.....

الفصل الثالث

الطاقة (71 - 45)

45	- الطاقة.....
45	- مصادر وأشكال الطاقة
46	- الطاقة المخزنة.....
49	- الطاقة المنتقلة او العابرة.....
49	- حفظ الطاقة.....
52	- الشغل والحرارة.....
52	- خلفية تاريخية.....
53	- العلاقة بين الحرارة والشغل
54	- اشارة ووحدات الحرارة والشغل
57	- اشكال الشغل
57	- الشغل الديناميكي
58	- الشغل الازاهي.....
59	- الشغل الصافي
61	- القدرة الميكانيكية.....
61	- اشكال الشغل الميكانيكي
63	- المفهوم الترموديناميكي للحرارة
64	- الحرارة النوعية
67	امثلة محلولة ومسائل

4. الفصل الرابع

خواص الغاز . . . مازات (72-84)

72	- الغازات الحقيقة والمثالية.....
74	- قانون بويل
75	- قانون شارل ودرجة الحرارة المطلقة.....
77	- المحرار او المقاييس الغازي ذو الضغط او الحجم الثابت
78	- المعادلة العامة للغاز المثالي
80	- الانثالبي

81	.....	4.7 - العلاقة بين الحرارتين النوعيتين
82	.....	امثلة محوولة
		5. الفصل الخامس
		القانون الاول لدیناميك الحرارة (159-85)
85	.....	5.1 - القانون الاول لدیناميك الحرارة
85	.....	5.2 - تجربة جول
86	.....	5.3 - صيغ القانون الاول
88	.....	5.4 - معادلة الطاقة
89	.....	5.5 - العمليات شبه الساكنة
90	.....	5.6 - نتائج القانون الاول
91	.....	5.7 - الطاقة الداخلية او قانون جول
92	.....	امثلة محوولة
98	.....	5.8 - الاجراءات الاجرائية (الانظمة المغلقة)
99	.....	5.9 - تطبيقات القانون الاول على الانظمة المغلقة
99	.....	5.9.1 - عملية ثبوت الحجم
100	.....	5.9.2 - عملية ثبوت الضغط
101	.....	5.9.3 - عملية ثبوت درجة الحرارة
101	.....	5.9.4 - العملية الايدياباتية
106	.....	5.9.5 - العملية البولتروبية
111	.....	امثلة محوولة
		6. الفصل السادس
		الانظمة المفتوحة (216-160)
160	.....	6.1 - الانظمة المفتوحة
160	.....	6.2 - الشغل الصافي
161	.....	6.2.1 - شغل عمود الادارة
161	.....	6.2.2 - شغل او طاقة الجريان
163	.....	6.3 - معادلة الطاقة في الانظمة المفتوحة
165	.....	6.4 - تطبيقات القانون الاول على الانظمة المفتوحة
165	.....	6.4.1 - المرجن والمكتفات المخارق
167	.....	6.4.2 - الضاغط والتوربين
168	.....	6.4.3 - تسلسل العمليات في الضاغط والتوربين

9. الفصل التاسع

الانتروبي (324-277)

277	.....	9.1- الانتروبي
277	.....	9.2- مخطط درجة الحرارة - الانتروبي (T-S)
280	.....	9.3- الانتروبي دالة الحالة
281	.....	9.4- متباعدة كلوزيوس
283	.....	9.5- تغير الانتروبي في العملية الadiabاتية والانشرمولية الانعكاسية واللانعكاسية
284	.....	9.6- الكفاءة الايزنتروبية
287	.....	امثلة محلولة
294	.....	9.7- تغير الانتروبي في العمليات الانعكاسية
299	.....	9.8- دورة كارنو على مخطط (T-S)
300	.....	امثلة محلولة ومسائل

10. الفصل العاشر

الخلاد . ط الغازية مة (370-325)

325	.....	10.1- العناصر والمركبات والخلائط
325	.....	10.2- الذرة والكتلة الذرية النسبية (الوزن الذري)
325	.....	10.3- الكتلة الجزيئية والكتلة الجزيئية النسبية (الوزن الجزيئي)
326	.....	10.4- الجزيء الغرامي او المول
327	.....	10.5- فرضية وعدد افوكادرو
327	.....	10.6- الخلائق الغازية
328	.....	10.7- خواص الخلائق الغازية
328	.....	10.8- ضغط الخليط والضغوط الجزيئية
329	.....	10.9- الجزيء الغرامي او (المولي) للخليل
330	.....	10.10- الحجم المولي وثابت الغاز العام
331	.....	10.11- النسبة الجزيئية الغرامية (النسبة المولية)
333	.....	10.12- معدل الكتلة الجزيئية النسبية (الكتلة المولية) للخليل
333	.....	10.13- التحليل الحجمي والوزني
334	.....	امثلة محلولة
335	.....	10.14- الطاقة الداخلية ، الانثالبي ، الحرارة النوعية والانتروبي للخليل
336	.....	10.15- الحرارة النوعية الجزيئية الغرامية (الحرارة النوعية المولية)

337	.....	10.16 - معدل الحرارة النوعية الجزيئية الغرامية للخلط الغازي
338	.....	10.17 - تغير الانتروبي نتيجة خلط الغازات المثالية
339	.....	10.18 - خلائط الغازات المثالية ذات درجات حرارة وضغط مختلفة
340	.....	امثلة مخطولة ومسائل
371	.....	المراجع

مع بدايات القرن التاسع عشر ظهر علم ديناميك الحرارة (الترمودينامكis) الثغر الذي يشمل ديناميك الحرارة العام او الفيزيائي، الكيميائي، الاحصائي، ثم ديناميك الحرارة الهندسي الذي بهمنا في الهندسة الحرارية لاز يه تم بما يأتي :

1. دراسة الطاقة (الحرارة والشغل) وتحولاتها من شكل لأخر، أي التحول المتبادل بين الطاقة الحرارية والميكانيكية الذي يحدث مثلاً في المحركات الحرارية ، التوربينات الغازية او البخارية ... الخ ، وكذلك انتقال الحرارة بوساطة أجهزة التكييف بأس تعامل الطاقة الميكانيكية.
2. دراسة التغيرات في خواص او سلوك المائع (Fluid) عندما يتضيق او يتمدد ، يسخن او يبرد . وقد يكون المائع غازاً (مثل الهواء) أو بخاراً (مثل بخار الماء) ، أو سائلاً أو خليطاً من هذه المواد شرطية أن لا تتفاعل مع بعضها كيميائياً .
3. دراسة العلاقة بين تغير خواص المائع وكميات الشغل والحرارة المسببة لهذا التغير .

يستند هذا العلم الى أربعة مبادئ او قوانين أساسية وجدت بالتجربة وليس بالاشتقاق الرياضي ،

هذه القوانيين هي :

1. القانون الصفرى : وهو قانون التوازن الحراري الذي بموجبه يتم تعريف درجة الحرارة ، سمي بالصفرى لأن صياغته جاءت بعد صياغة القانون الاول .
2. القانون الاول : وهو صيغة خاصة من صيغ قانون حفظ الطاقة .
3. القانون الثاني : يحدد اتجاه سير العمليات ، أي اتجاه انتقال الطاقة ونسبة تحويل الطاقة المنتقلة .
4. القانون الثالث : يحدد الانتروبي ويبيّن استحاله الوصول لدرجة الصفر المطلق .

لذلك يستعمل مهندسو الميكانيك هذا العلم بتصميم المحركات الحرارية كمحطات توليد الطاقة ، المحركات الترددية والنفاثة والصواريخ، التوربينات الغازية والبخارية، مراجل البخار ، الضواغط ، اجهزة التكييف وغيرها . هنا أصبح من الضروري للمهندس الميكانيكي أن يلم بقوانين هذا العلم ويتفهم أسسه .

لقد كان تحويل الشغل الميكانيكي إلى حرارة معروفاً منذ القرن الثامن عشر . وفي منتصف القرن التاسع عشر اوجد العالم جول (Joule) العلاقة بين الشغل الميكانيكي والطاقة الحرارية ، وقد أسمى الكثير من العلماء في تطوير هذا العلم أمثال كارنو ، كيلفن ، كلوزيروس وغيرهم ، ومنذ ذلك القرن الماضي توسيع هذا العلم بحيث شمل جميع المكائن الحرارية وأجهزة التكييف .

الرموز والوحدات المستخدمة

الرمز	الكلمة	الوحدة	* الوحدة	
			SI	BU
A	Area	المساحة	m^2	ft^2
a	Acceleration	التعجيل	m/s^2	$ft/sec.^2$
C	Velocity	السرعة	m/s	$ft/sec.$
C	Specific heat	الحرارة النوعية	$J/kg.k$	$Btu/lbm.$
D	Diameter	القطر	m	ft
E	Energy	الطاقة	$J=N.m$	Ft.lb,Btu
F	Force	القوة	$N=kg.m/s^2$	$Lb,slug.ft/sec^2$
g	Local acceleration of gravity	التعجيل الارضي	m/s^2	ft/sec^2
H	Enthalpy	الانثالبي	kJ	Btu
h	Specific enthalpy	الانثالبي النوعي	kJ/kg	Btu/lbm
J	Mechanical equivalent of heat	المكافى الميكانيكي للحرارة	$kcal=427kg.m$	$778,2ft.lbf/Btu$
M	Molecular weight	الكتلة الجزيئية	$kg/kg.mol$	$Lbm/lbm.mole$
m	Mass	الكتلة	kg	Slug,lbm
m	Mass flow rate	معدل التدفق الكتائبي	kg/s	Slug/sec,lbm/sec.
N	Mole	الجزئي		
n	Polytropic index	الاس البولتروبي		
P	Pressure	الضغط	$Pa = N/m^2$	$Lb/in^2=psi$
P	Power	القدرة	$W = J/s$	Ft.lb/s,h.p
Q	Heat	الحرارة	kJ	Btu
Q̄	Heat rate	معدل الحرارة	$kJ/s = kW$	$Btu/sec.$
q	Heat per unit	الحرارة لكل وحدة كتلة	kJ/kg	Btu/Lbm

(System International) (SI)

* (English) (British units) (Bu)

R	Gas Constant	ثابت الغاز	kJ/.kg.K	Btu/ Lb. F
\bar{R}	Universal Gas Constant	الثابت العام للغازات	8.314kJ/kmol.K	1545 ft.lbf/mole.R
S	Entropy	الانتروبي	kJ / K	Btu /F
s	Specific Entropy	الانتروبي النوعي	kJ / kg . k	Btu/Lbm.ft
T	Absolute Temperature	درجة الحرارة المطلقة	K	F
T	Torque	العزم	N.m	Lbf . Ft
U	Internal Energy	الطاقة الداخلية	kJ	Btu
u	Specific Internal E .	الطاقة الداخلية النوعية	kJ / kg	Btu / Lbm
V	Volume	الحجم	m^3 , Liter	Ft ³
W	Work	الشغل	J= N.m	Ft . Lb
\dot{W}	Work Rate	معدل الشغل	kJ/s =kW	Lbf . Ft/s
w	Work per Unit mass	الشغل لكل وحدة كتلة	kJ/kg	Btu / Lbm
X	Displacement.	ازاحة عامة	m	Ft
Z	Hight	الارتفاع	m	Ft

172	.....	6.4.4- التوربينات الغازية
173	.....	6.4.5- المنفث (البوق) والناشر (المبد)
175	.....	6.4.6- محرك الطائرة الدفعي (النفاث)
179	.....	6.4.7- معادلة الاستمرارية
179	.....	6.4.8- انواع اخرى في الانظمة المفتوحة
185	.....	امثلة م حلولة

7. الفصل السابع

القانون الثاني لديناميك الحرارة (217-239)

217	.....	7.1- الاحتياك
218	.....	2.7- الانعكاسية او الاجراء الانعكاسي
219	.....	7.3- الاجراء الانعكاسي
221	.....	7.4- انواع الاجراءات اللانعكاسية
222	.....	7.5- المحرك الحراري
224	.....	7.6- كفاءة نظام تحويل الطاقة او كفاءة المحرك الحراري
225	.....	7.7- المحرك الحراري المعكوس (المضخة الحرارية)
226	.....	7.8- معامل الأداء
227	.....	7.9- القانون الثاني لديناميك الحرارة
229	.....	7.10- صيغ القانون الثاني
230	.....	7.11- تكافؤ (تماثل) نصي كلفن بلانك وكلوزيوس
232	.....	امثلة م حلولة ومسائل

8. الفصل الثامن

دورات القدرة (240-276)

240	.....	8.1- دورة الغاز المثالى
240	.....	8.2- مبادئ كارنو
242	.....	8.3- دورة كارنو
243	.....	8.4- الكفاءة الحرارية
245	.....	8.5- دورة كارنو المعكossaة
246	.....	8.6- دورة كارنو والمقاييس المطلقة لدرجة الحرارة
247	.....	امثلة م حلولة

بعض الرموز اليونانية :

الرمز		الرمز	
α	Alpha	\emptyset	Function , ph
β	Beta	π	النسبة الثابتة (باي)
γ	Gamma, Ratio of Specific heat	d	تفاضل (مشتق) (derivative)
Δ	Delta فرق محدد	θ	Theta
η	Efficiency , Etta الكفاءة	\int	Integration تكامل
ρ	Density , Rho الكثافة	Σ	Sigma , Summation جمع

مع بدايات القرن التاسع عشر ظهر علم ديناميك الحرارة (الtermodynamics) الذي يشمل ديناميك الحرارة العام او الفيزيائي، الكيميائي، الاحصائي، ثم ديناميك الحرارة الهندسي الذي يهمنا في الهندسة الحرارية لازم به بما يأتي :

1. دراسة الطاقة (الحرارة والشغل) وتحولاتها من شكل لآخر، أي التحول المتبادل بين الطاقة الحرارية والميكانيكية الذي يحدث مثلاً في المحركات الحرارية ، التوربينات الغازية او البخارية الخ ، وكذلك انتقال الحرارة بواسطة أجهزة التكييف بأسmeans تعمال الطاقة الميكانيكية.

2. دراسة التغيرات في خواص او سلوك المائع (Fluid) عندما ينضغط أو يتمدد ، يسخن أو يبرد . وقد يكون المائع غازاً (مثل الهواء) أو بخاراً (مثل بخار الماء) ، أو سائلًا أو خليطاً من هذه المواد شريطة أن لاتتفاعل مع بعضها كيميائياً .

3. دراسة العلاقة بين تغير خواص المائع وكثافات الشغل والحرارة المسببة لهذا التغير . يستند هذا العلم الى أربعة مبادئ أو قوانين أساسية وجدت بالتجربة وليس بالاشتقاق الرياضي ،

هذه القوانين هي :

1. القانون الصفرى : وهو قانون التوازن الحراري الذي بموجبه يتم تعريف درجة الحرارة ، سمي بالصفرى لأن صياغته جاءت بعد صياغة القانون الأول .

2. القانون الأول : وهو صيغة خاصة من صيغ قانون حفظ الطاقة .

3. القانون الثاني : يحدد اتجاه سير العمليات ، أي اتجاه انتقال الطاقة ونسبة تحويل الطاقة المنتقلة .

4. القانون الثالث : يحدد الانترودبي ويبيّن استحالة الوصول لدرجة الصفر المطلق . لذلك يستعمل مهندسو الميكانيك هذا العلم بتصميم المحركات الحرارية كمحطات توليد الطاقة ، المحركات الترددية والنفاثة والصواريخ ، التوربينات الغازية والبخارية ، مراجل البخار ، الضوابط ، اجهزة التكييف وغيرها . هنا أصبح من الضروري للمهندس الميكانيكي أن يلم بقوانين هذا العلم ويتفهم أسسه .

لقد كان تحويل الشغل الميكانيكي إلى حرارة معروفاً منذ القرن الثامن عشر . وفي منتصف القرن التاسع عشر اوجد العالم جول (Joule) العلاقة بين الشغل الميكانيكي والطاقة الحرارية ، وقد أسمى الكثير من العلماء في تطوير هذا العلم أمثال كارنو ، كيلفن ، كلوزبيوس وغيرهم ، ومنذ ذلك القرن الماضي توسع هذا العلم بحيث شمل جميع المكائن الحرارية وأجهزة التكييف .

الفصل الأول - الوحدات والتعاريف

Dimensions, Units & Symbols (1.1)

لكل علم مصطلحات تعبر عن المعاني الدقيقة المختلفة التي تختص به. وهذه الالفاظ كثيراً ما يختلف معناها الاصطلاحي عن معناها اللغوي العام، ومن هنا سميت بالمصطلحات، اما الرموز فـ تـأـنـ لكل علم مجموعة من الرموز تستعمل للدلالة على كميات او متغيرات او خواص (Properties) او وحدات (Units) مختلفة. وقد بـاتـ كـثـيرـ منـ هـذـهـ الرـمـوزـ العـلـمـيـةـ شـائـعـاـ وـمـشـتـرـكـاـ بـيـنـ مـخـتـلـفـ الـلـغـاتـ فيـ الـدـوـلـ الـمـقـدـمـةـ،ـ بـحـيـثـ اـتـخـذـ صـفـةـ عـالـمـيـةـ تـسـتـلـزـمـ الـأـبـقـاءـ عـلـيـهـ وـعـدـمـ تـرـجـمـتـهـ.ـ يـمـكـنـ مـلـاحـظـةـ الـأـبعـادـ اوـ الـكـمـيـاتـ الطـبـيـعـيـةـ اوـ الـمـقـادـيرـ الـفـيـزـيـاـوـيـةـ.ـ اـمـاـ الـوـحـدـةـ فـأـنـهـ تـحـدـدـ الـقـيـمـةـ الـعـدـدـيـةـ لـهـذـاـ الـبـعـدـ.ـ فـمـثـلـاـ الـزـمـنـ هـوـ الـبـعـدـ اـمـاـ الـثـانـيـةـ اوـ الـدـقـيـقـةـ اوـ الـسـاعـةـ فـهـيـ الـوـحـدـةـ.ـ وـجـ دـولـ رـقـمـ (1.1)ـ يـوـضـعـ هـذـهـ الـأـبعـادـ وـوـحدـاتـهـ فـيـ النـظـامـ الـعـالـمـيـ لـلـوـحدـاتـ.

جدول (1.1) الابعاد والوحدات والرموز

التعبير في SI	الوحدة		الابعاد (الكميات الفيزيائية)	
	الحرف الرمزي	الاسم	الحرف الرمزي	الاسم
s	s	الثانية	t	الزمن
$10^{-3} m^3$	L	اللتر	V	الحجم
kg	kg	الكيلوغرام	m	الكتلة
$kg \cdot m/s^2$	N	النيوتون	F	القوة
N/m^2	Pa	الباسكال	P	الضغط
N.m	J	الجول	E	الطاقة
J/s	W	الوات	P	القدرة
N.m	J	الجول	W	الشغل
N.m	J	الجول	Q	الحرارة

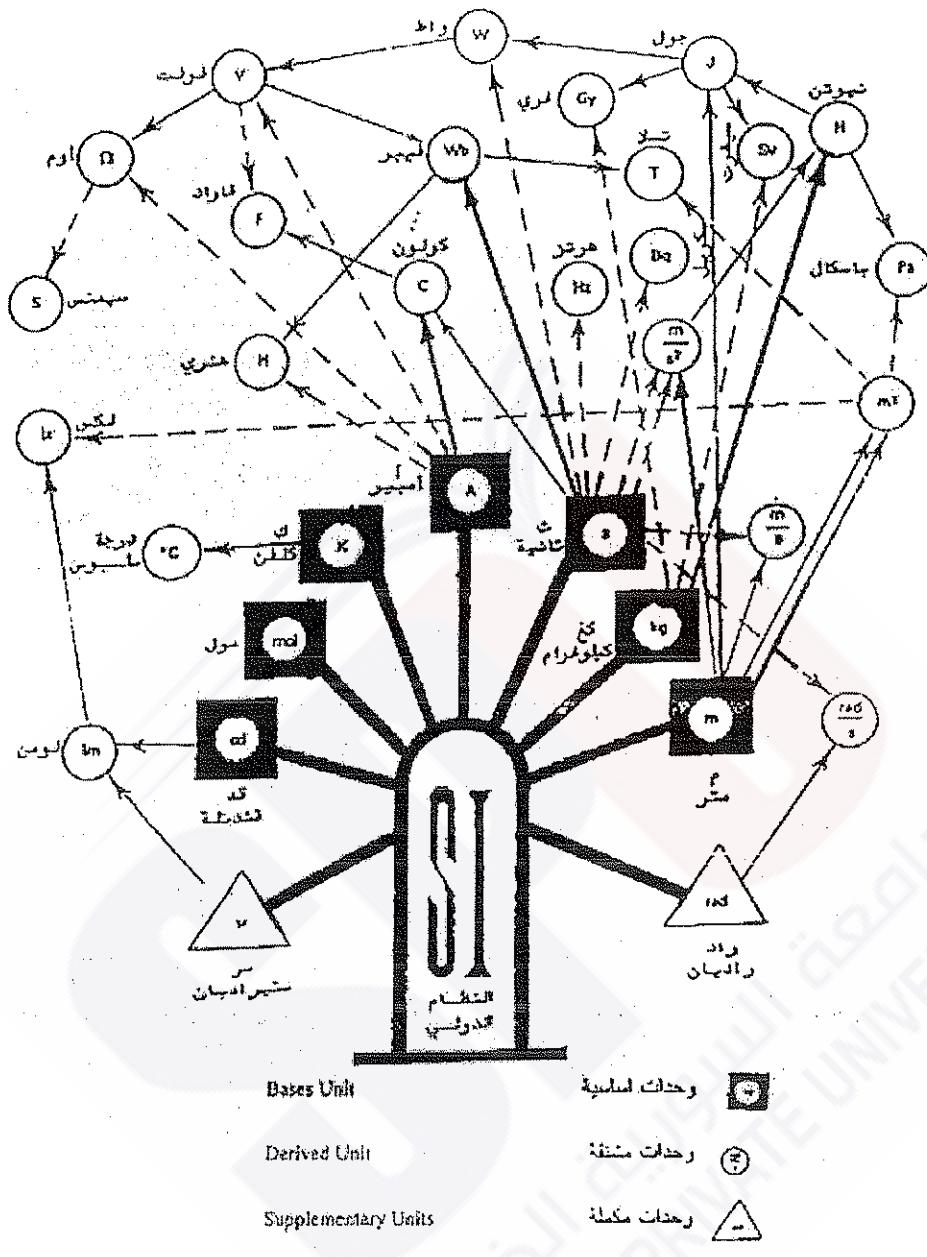
International System of Units (1.2)

في عام (1960) أقر المؤتمر العام الحادي عشر للمعايير والأوزان استعمال هذا النظام. بعد ذلك نال تباعاً إعتراف جميع الهيئات الدولية وأكثرية دول العالم. إن الحاجة إلى لغة عالمية للوحدات جعلت المنظمة العالمية لقياسات توصي باستعمال هذا النظام الذي يرمز له بـ . (SI). يتصف بكونه نظاماً

وحدات منسجماً، النظام المنسجم هو الذي يكون حاصل ضرب او قسمة وحدات أي كميتين فيه يمثل وحدة الكمية الناتجة، فمثلاً المتر وحدة الطول والمتر المربع وحدة المساحة ... الخ. هذا النظام يسمى أيضاً بالنظام المترى الهندسى.

جدول (1.2) الوحدات الأساسية والمساعدة

	الكمية Quantity	الرمز Symbol	Units			English
			SI			
الوحدات الأساسية						
1.	الطول Length	L	meter	m	foot	ft
2.	الكتلة Mass	m	Kilogram	kg	Slug or pound	Lbm
3.	الزمن Time	t	second	s	second	sec.
4.	Electric current التيار الكهربائي	I	ampere	A	Ampere	A
5.	Absolute Temperature درجة الحرارة المطلقة	T	Kelvin	K	RanKine	°R
6.	Amount of substance كمية المادة			kg-mole	Pound-mole	Lbm-mole
7.	Luminous intensity شدة الضوء (او الوميض)		candela	Cd	Candela	Cd
الوحدات المساعدة						
1.	Plane angle الزاوية المستوية		radian	Rad	Radian	Rad
2.	Solid angle الزاوية المجسمة		steradian	Sr	Steradian	Sr



تخرج الوحدة المشتقة من قرارات الوحدة في بذلة الاصير الوردة إلى قرارات المعايير العالمية، وذلك بشرط أن الوحدات فراغة في بذلة الاصير المعايير، وتقسام الناتج على الوحدات القراءة في بذلة المعايير المختلطة، مثلاً: 1 دارم = 1 جول/كيلو

شكل (1.1)- شجرة الوحدات

يتكون النظام من (7) وحدات أساسية ووحدتين مكملة او مساعدة والموضحة في جدول رقم (1.2). ومن مميزات هذا النظام انه يمكن اشتقاق وحدات أخرى تسمى بالوحدات المشتقة او المركبة، تشتق من الوحدات الأساسية تحتاج اليها في العلوم الهندسية، وذلك من خلال عمليات ضرب او قسمة للوحدات الأساسية، وكما موضح في شجرة الوحدات، شكل رقم (1.1)، او جدول رقم (1.3).

فمثلاً وحدة القوة هي النيوتن (N) الذي يعرف بأنه القوة التي تعجل كتلة كيلو غرام واحد (kg) متراً واحداً لكل مربع ثانية (m/s^2). فتصبح وحدة القوة ($N = kg \cdot m/s^2$)، ووحدة الدوران (N.m) ... الخ. وقد تختصر الوحدات المشتقة بمصطلح بسيط، فمثلاً وحدة الدوران (J) ... الخ، ووحدة القدرة (W = J/s) ووحدة الضغط (Pa = N/m²) ... الخ.

وهناك نظام آخر للوحدات قليل الاستعمال هو النظام البريطاني (British Units). فمثلاً وحدة الكتلة في هذا النظام (mass - mass) (Pound - mass) ورموزها (Lbm) يقابلها في نظام (SI) الكيلوغرام (kg). أما وحدة القوة في النظام البريطاني فهو البالوند الكلي (Kilogram - mass)، ورموزه (kg.m). يقابلها في نظام (SI) النيوتن (N) ووحدات أخرى، كما في جدول (1.3).

ان وحدة الكميات في نظام (SI) يقابلها وحدة كميات في النظام البريطاني، كما توضح جداول (1.2)، (1.3) الذي يبين وحدات بعض الكميات في النظائر. وجدول (1.4) يبين بعض الوحدات البريطانية. كما يمكن تحويل هذه الوحدات من نظام لآخر بموجب معامل التحويل المبينة في جدول (1.5)، أو بموجب الحسابات للأمثلة التي سترد لاحقاً.

جدول رقم (1.3) الوحدات المشتقة

الكمية	الرمز	Dimensions	Units	
			SI	English
المساحة Area	A	L^2	m^2	ft^2
الحجم Volume	V	L^3	m^3	ft^3
السرعة Velocity	C	L/t	m/s	$ft/sec.$
التعجيل Acceleration	a	L/t^2	m/s^2	ft/sec^2
Angular Velocity السرعة الزاوية	ω	t^{-1}	s^{-1}	sec^{-1}
القوة Force	F	$m \cdot L/t^2$	$kg \cdot m/s^2$ = N (newton)	$slug \cdot ft/sec^2$ = Lb (pound)
الكثافة Density	ρ	m/L^3	kg/m^3	$Slug/ft^3$
الوزن النوعي Specific weight		m/L^2t^2	N/m^3	Lb/ft^3
التردد Frequency	f	t^{-1}	s^{-1}	Sec^{-1}
الضغط Pressure	P	m/Lt^2	N/m^2 = Pa (pascal)	Lb/ft^2
طاقة، الشغل، العزم Energy, Work, Torque	E W T	mL^2/t^2	$N \cdot m = J$ (Joule)	$Ft \cdot Lb$
معدل الحرارة، القدرة Heat rate, Power	\dot{Q}	mL^2/t^3	J/s = W (watt)	Btu/sec.
تدفق كثائي Mass Flux	\dot{m}	m/t	kg/s	$Slug/sec.$
معدل التدفق Flow rate	\dot{V}	L^3/t	m^3/s	$ft^3/sec.$
الحرارة النوعية Specific heat	C	$L^2/t^2 \cdot T$	$J/kg \cdot K$	$Btu/slug \cdot {}^{\circ}R$

جدول (1.4) بعض الوحدات البريطانية

الرمز	الوحدة	الرمز	الوحدة
Btu	British-Thermal Unit وحدة حرارية بريطانية	h.p	Horse-Power قدرة حصانية
Cal	Calorie سورة	in	Inch الانج-عقدة
Ft	Foot القدم	mi	Mile Statute ميل ارضي
Ft.P	Foot-Pound	nmi	Mile Nautical ميل بحري-عقدة
Fath	Fathom قامة	oz	Ounce اونس

وحدات اخرى:

برميل نفط امريكي يعادل (159 L).	Barel
مكيل سعته (35 L).	Bushel
قيراط.	Carat
مكيل انكليزي يعادل (36.4 L).	Chaldron
مقاييس حجمي للخشب يعادل (128 ft^3).	Cord
حبة (قمح).	Grain
مكيل سعته (9.092 L).	PecK
PoundaL (PdL) = Lb.ft/s^2	

جدول (1.5) معامل التحويل

Quantity	Units		to Convert from		Conversion	
	English (E.)	SI	E. to SI	SI to E		
			multiply by			
Area	in ²	cm ²	6,452	0,1550	m ²	=1550 in ²
	ft ²	m ²	0,093	10,76		= 10.76 ft ²
	acre	ha	0,405	2,471		= 1.2 yd ² = 2.471.10 ⁻⁴ acres = 10 ⁻⁴ ha
Length	In	cm	2,54	0,394	m	سنتيمترية = 1.05.10 ⁻⁶
	Ft	m	0,305	3,281		= 5.4.10 ⁻⁴ nmi
	Mile	km	1,609	0,622		= 1.1 yd = 0.55 fath
Volume	in ³	cm ³	16.387	0,061	m ³	= 10 ³ L=10 ⁶ cm ³
	ft ³	m ³	0,028	35.32		= 1.31 yd ³
	US gallon	m ³	0,004	264.2	L	= 4 barely
Mass	=	L	3.785	0,264		L =10 ³ cm ³ =dcm ³
	Lbm	kg	0,454	2,205	kg	Br.gal. = 4.546 L
	Slug	kg	14.59	0,069		= 35.274 Ounce
Force	Lbf	N	4,448	0,225	N	= 10 ⁵ Dyn
	Kip(10 ³ Lb)	N	4448			= 3.6 Ounce
	Density	slug/ft ³	kg/m ³	515,4	1,94.10 ⁻³	kg/m ³ =0.001 g/cm ³
الكتلية	Lbf/ft ³	N/m ³			0,064	= 0.063 Lbm/ft ³
	Density					= 0.008 Lbm/US gal.
	WorK, Energy, Heat	ft.Lbf BTU BTU therm	J kJ kWh kWh	1.356 1.054 0.0003 29.3	0.738 0.948 3413 0.034	J = 0.239 Cal. = 10 ⁷ dyn.cm = 10 ⁷ Eng. = 0.102 kg.m therm = 10 Btu = 105.5 MJ Btu = 0.252kcal Lbf.ft = 0.138 kg.m
Power	h.p	kw	0,746	1,341	W	= 0.239 cal/s
Heat Rate	ft. Lbf/sec.	W	1.356	0.738		= 0,057 BTU/min.
	BTU/hour	W	0,293	3.414		metric h.p. = 0,736 kw 1Tref = 3kW=12000 BTU
Flow Rate	ft ³ /sec	m ³ /s	0,028	35.32		
	=	L/s	28.32	0.035		
Pressure	Lbf/in ²	kPa	6.895	0.145	kPa	= 10.2 cm H ₂ O
	Lbf/ft ²	kPa	0.048	20.89		= 4.015 in H ₂ O
	Foot of H ₂ O	kPa	2.983	0.335		= 0.75 cm Hg
	Inches of Hg	kPa	3.374	0.296		= 0.01 atm. = 10 ⁻² bar

Quantity	Units		to Convert from		Conversion
	English (E.)	SI	E. to SI	SI to E	
			multiply by		
					Pa = 7.5 torr atm. = 10 dyn/cm ² = 76 cm Hg = 1034 cm H ₂ O torr = mm Hg = 1/760 atm. kg/cm ² = 98100 Pa $\cong 0.1 \text{ MN/m}^2$
Velocity	ft/sec. Mile/hr =	m/s m/s km/hr	0.305 0.447 1.609	3.281 2.237 0.622	m/s = 3.6 km/h $= 6.2 \cdot 10^{-4} \text{ mi/s}$ $= 1.944 \text{ nmi}$
Acceleration	ft/sec. ²	m/s ²	0.305	3.281	
Temperature	F F	C K	0.55 (F-32) 0.55 (F-460)	1.8°C-32 1.8K-460	
Torque	Lbf.ft Lbf.in	N.m N.m	1.356 0.113	0.738 8.85	
Viscosity; Kinematic, Viscosity	Lbf.sec/ft ² Ft ² /sec.	N.s/m ² m ² /s	47.88 0.093	0.021 10.76	
C	Btu/Lbm.R	kJ/kg.K			Btu/Lbm.R=4.2 kJ/kg.K
μ	Btu/Lbm	kJ/kg			Btu/Lbm=2.326 kJ/kg
ν	m ³ /kg	Ft ³ /slug			m ³ /kg=515.384 ft ³ /slug

امثلة محلولة

(1.1)

اذا علمت ان:-

$$1 \text{ Lb}_f = 4.448 \text{ N} = 4.448 \times 10^{-3} \text{ kN}, 1 \text{ in} (\text{ان}) = 2.54 \text{ cm} = 0.0254 \text{ m}$$

$$\text{h.p} = 550 \text{ Lb}_f \cdot \text{ft/s}, 1 \text{ Lbm} = 0.454 \text{ kg}, 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ kW} = \text{kJ / s} = \text{kN.m/s}, 1 \text{ ft} (\text{قدم}) = 12 \text{ in}$$

حول:-

$$1 - \text{bar} \rightarrow \text{PSI} = \text{Lb}_f / \text{in}^2$$

$$2 - \text{h.p} \rightarrow \text{kW} = \text{kN} \cdot \text{m/s}$$

$$3 - \text{KW} \rightarrow \text{h.p}$$

$$4 - \rho_{\text{Hg}} \rightarrow \text{Lb}_m / \text{in}^3$$

$$5 - \text{kWh} \rightarrow \text{kJ}$$

$$6 - \text{kWh} \rightarrow \text{kcal}$$

$$1 - 1 \text{ bar} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^5 \times \frac{1}{\left(\frac{1}{0.0254}\right)^2 \text{ in}^2} = 10^5 \times \frac{0.225 \text{ Lb}_f}{1550 \text{ in}^2} = 14.5 \text{ Lb}_f / \text{in}^2$$

$$2 - \text{h.p} = 550 \times \text{Lb}_f \times \frac{\text{ft}}{\text{s}} = 550 \times 4.448 \times 10^{-3} \text{ kN} \times 12 \times 0.0254 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.74 \text{ kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$3 - \text{kW} = \text{kN} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1}{4.448 \cdot 10^{-3}} \text{ Lb}_f \times \frac{1}{12 \times 0.0254} \frac{\text{ft}}{\text{s}} = \frac{1000}{4.448} \text{ Lb}_f \times \frac{1}{0.3048} \text{ ft}$$

$$= 737.5 \text{ Lb}_f \times \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

$$4 - \rho_{\text{Hg}} = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 13600 \times \frac{1}{0.454} \text{ Lb}_m \times \frac{1}{\left(\frac{1}{0.0254}\right)^3 \text{ in}^3}$$

$$= 13600 \times 2.2 \text{ Lb}_m \times \frac{1}{61023.744 \text{ in}^3} = 0.49 \text{ Lb}_m / \text{in}^3$$

$$5 - \text{kWh} = \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times \text{h} = \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ}$$

$$6 - \text{kWh} = 3600 \text{ kJ} = 3600 \times \frac{1}{4.1868} = 859.845 \text{ kcal}$$

(9)