مؤشرات ومعايير كفاءة وأداء محطات توليد الكهرباء
Efficiency & Performance Indicators & Standards

إعداد المهندس عدنان بهجت جليل آغا
محطة كهرباء الدبس الغازية

Email Koprlo1@gmail.com

مؤشرات ومعايير كفاءة وأداء محطات التوليد الكهربائية :

Efficiency & Performance Indicators & Standards

يمكـن التعبيـــــر عن أداء محطـــــــة لتوليـــد الكهربـــاء من خلال بعض عوامل الأداء المشتركة وكما يلي :

١- معدل الحرارة (كفاءة الطاقة) (Energy Efficiency) Heat Rate وهو الأداء الحراري للمحطة (Kcal / KW.H)

٢- الكفاءة الحرارية Thermal Efficiency (%)

٣- عامل السعة Capacity Factor (%)

٤- عامل الحمل Load Factor (%)

٥- الكفاءة الاقتصادية Economic Efficiency (ID/MW.H)

٦- الكفاءة التشغيلية Operational Efficiency (%)

٧- عامل الاتاحية (التوافرية) Availability Factor (%)

٨- الاستهلاك الذاتي للوحدة Self Consumption (%)

٩- معدل استهلاك الوقود Fuel Consumption Rate (M^3/MW.H)

١٠- إنتاجية العامل (MW.H/Person)

١١- عامل الإستخدام أو الإنتفاع Utilization Factor (%)

١٢- عامل الوثوقية أو الإعتمادية Reliability Factor (%)

١٣- عامل الخدمة Service Factor (%)

١٤- عامل التوقف المبرمج Scheduled Outage Factor (%)

١٥- عامل التوقف الاضطراري Forced Outage Factor (%)

معدل الحـــرارة Heat Rate لوحـــدة توليـد كهربائيـــــة : هي كمية الطاقة الكيماوية المطلوب تجهيزها للوحدة لغرض إنتاج وحدة طاقة كهربائية واحدة أو هي الكمية الحقيقية من الوقود المطلوبة لإنتاج (1 KW.H) ، وهي تعبر عن كفاءة تحويل الطاقة

مثال :- أذا تم في وحدة توليد كهربائية تحويل ١٠٠% من الطاقة الكيمياوية الموجودة في الوقود المجهز للوحدة إلى طاقة كهربائية فأن المعدل الحراري للوحدة يساوي (٨٦٠) كيلو سعره/كيلو واط ساعة (Kcal / KW.H)

Kcal = وحدة قياس الطاقة وخاصة الطاقة الحرارية (السعرة الحرارية)

الطاقة الكيمياوية عادة تقاس بوحدات كيلو سعرة Kcal أو وحدات كيلو جول KJ

1 Kcal = 4.184 KJ

والطاقة الكهربائية تقاس بوحدات كيلو واط ساعة KW.H

لذلك تكون وحدات المعدل الحراري كيلو سعرة / كيلو واط ساعة (Kcal / KW.H)

إن المعدل الحراري للوحدة أو للمحطة Heat Rate (H.R.) مؤشر مهم جداً لتقييم كفاءة الوحدة الحرارية لذا يجب أن يكون هدف ومسعى أية محطة تشغيل الوحدة التوليدية ضمن الحدود التصميمية للمعدل الحراري قدر الإمكان ، إضافة إلى أن تحسين المعدل الحراري للمحطة يساعد على تقليل التلوث الناجم من تشغيل الوحدات .

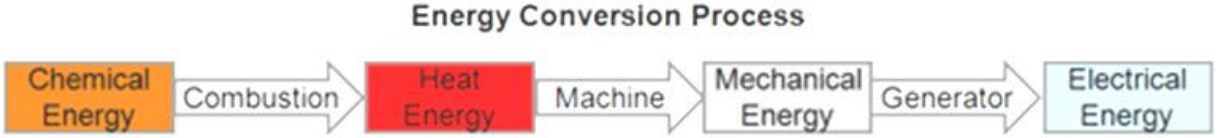
تحويل الطاقة الكيمياوية الموجودة في الوقود المجهز للمحطة إلى طاقة كهربائية يتم انجازه خلال أربع عمليات (خطوات) رئيسية :-

١- الطاقة الكيمياوية (Chemical Energy)في الوقود تتحول إلى طاقة حرارية (Thermal Energy)بالاحتراق .

٢- الطاقة الحرارية (Thermal Energy) تتحول إلى طاقة حركية (Kinetic Energy) حركة وسرعة الغازات

٣- الطاقة الحركية (Kinetic Energy) تتحول إلى طاقة ميكانيكية (Mechanical Energy) تدوير التوربين

٤- أخيرا الطاقة الميكانيكية (Mechanical Energy) تتحول إلى طاقة كهربائية (Electrical Energy) بالمولدة



وفي كل عملية من العمليات أعلاه فأن قسم من الطاقة تفقد إلى المحيط أو البيئة ، حيث أن قسم من الوقود لا يتم احتراقه وقسم من الطاقة الحرارية تفقد إلى المدخنة ثم إلى الجو وقسم إلى مياه التبريد للتوربين وقسم من الطاقة الحركية والميكانيكية تولد وتنتج حرارة بدلا من الكهرباء بسبب الاحتكاك والتصادم بريش التوربين وأخيراً فأن قسم من الطاقة الكهربائية تفقد في المحولات الرئيسية والمعدات الكهربائية التي تربط المحطة بشبكة النقل وفي تشغيل الأجهزة المساعدة .

حسب تحويل الوحدات فأن :- 1KW.H = 860 Kcal

ولكن في الواقع عند تحويل الوقود إلى طاقة كهربائية فأن قسم من الطاقة ستفقد بسبب عدم كفاءة العمليات الجارية أثناء توليد الكهرباء ، عدم الكفاءة هذه يتم التعبير عنه بحساب معدل الحرارة الذي يشير إلى الكمية الحقيقية المطلوبة من الوقود لإنتاج وحدة كهربائية واحدة (KW.H)

الكفاءة الحرارية Thermal Efficiency : هي نسبة إجمالي الطاقة الكهربائية الناتجة من كمية معينة من إجمالي الطاقة الحرارية للوقود ، لذلك هي تختلف عن كفاءة الطاقة كونها تشمل الحرارة Heat كمدخلات والقدرة Power كمخرجات .

العلاقة بين معدل الحرارة والكفاءة الحرارية هي :

$$\eta_{act} = \frac{860}{\text{Heat rate}} \times 100$$

مثال :- أذا كان معدل الحرارة = 3000 Kcal فأن الكفاءة الحرارية $= \frac{860}{3000} = 28.66\%$

تعاريف :-

- القيمة الحرارية للوقود Fuel Heating value : هي كمية الطاقة الناتجة لحرق ١كغم من المادة
  وحدة القياس $Kcal/m^3$
  للغاز الطبيعي (8600 – 10000) $Kcal/m^3$
  (أي كمية الحرارة المتحررة أثناء احتراقها)
- الطاقة الحرارية Heat Energy : كمية الحرارة المتحررة على شكل طاقة عند احتراق مول واحد من المادة بشكل كامل في وجود كمية وافرة من الأوكسجين عند الظروف القياسية
  وحدة القياس (Kcal) ، الظروف قياسية (1bar , 25C°)
- صرفيات (إستهلاك الوقود) Fuel consumption : كميات الوقود المستهلكة في الوحدة التوليدية .
  وحدة القياس m^3 .

Heat Energy = Heating value x Fuel consumption

لشهر تشرين الثاني / 2013 كانت صرفيات الغاز الطبيعي وإنتاج المحطة والقيمة الحرارية لوقود الغاز الطبيعي في محطة كهرباء الدبس الغازية كما يلي :

Fuel consumption = 13291182 m^3
Total production = 34750 MW.H
Heating value = 9623 Kcal / m^3

Heat Energy = 127901044386 Kcal

$$\text{Heat Rate} = \frac{\text{Heat Energy}}{\text{Total Production}} =$$

Heat Rate = 3680.605 Kcal / KW.H

ويمكن حساب معدل الحرارة من العلاقة التالية :

$$\text{Heat Rate} = \frac{\text{Fuel Flow Rate x Fuel Heating value}}{\text{Power output (KW)}}$$

$$\text{Power output} = \frac{34750}{24 \times 30} = 48.3 \text{ MW} = 48300 \text{ KW}$$

Fuel Flow Rate = 18459.975 M^3/H

Heat Rate = 3678 Kcal / MW.H

$$\eta_{act} = \frac{\text{Power output (KW)}}{\text{Fuel Flow x Heating value}} \times 100$$

وبعد تحويل وحدة Kcal إلى KW.H تكون الكفاءة الحرارية الحقيقية :

$$\eta_{act} = 0.23367 \times 100$$

$$= 23.367 \%$$

ويمكن حساب الكفاءة الحرارية الحقيقية للمحطة من العلاقة التالية مباشرة بعد تحويل (KW.H) إلى (Kcal) :

$$\eta_{act} = \frac{860}{\text{Heat rate}} \times 100$$

$$\eta_{act} = \frac{860}{3680.605} \times 100$$

$$= 0.2337 \quad = 23.37\%$$

التـــحويـــــلات

1Kcal = 4 Btu
1Kcal = 4.1868KJ
1MW.H = 3600000 KJ
1 MW.H = 860050.647427 Kcal
1KW.H = 860 Kcal
1Kcal = 0.001163 KW.H
1MW = 1341.022 HP
HP = Horsepower
1bar = 100kpa
1bar = 1 atm

الكفاءة الحرارية لمختلف أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية :

نوع المحطة	الكفاءة الحرارية	الملاحظات
المحطات البخارية Steam Turbine Power Plants	38 – 47 %	
المحطات الغازية Gas Turbine Power Plants	20 – 35 %	في الفترة الأخيرة وبالتقدم التكنولوجي في علم المواد materials والديناميكية الهوائية تم تحقيق كفاءات أعلى من 35 %
محطات الدورة المركبة (CCGT) Combined Cycle	50 – 60 %	
المحطات النووية Nuclear Power Plants	33 – 36 %	
محركات الديزل Diesel Engines	35 – 42 %	
المحطات الكهرومائية Hydro Power Plants	85 – Up to 95 %	
محطات الطاقة الشمسية Solar Thermal System	12 % Annually	
محطات الكتلة الحيوية Biomass	30 – 40 %	
محطات الطاقة الجوفية (الحرارية الأرضية) Geothemal Power Plants	15 – 35 %	
محطات طاقة الرياح Wind Turbine Power Plants	Up to 35 %	
محطات طاقة المد والجزر Tidal Power Plants	Up to 90 %	

معامل السعة Capacity factor : -

معامل السعة لمحطة كهرباء هي النسبة بين معدل الحمل Average Load (MW) والحمل التصميمي الأقصى للمحطة Rated Load (MW) خلال فترة زمنية معينة

$$C.F. = \frac{\text{Average Load}}{\text{Rated Load}} \times 100$$

C.F. = Capacity Factor (%)

يتم اعتماد السعة المتاحة (المعتمدة) القصوى Max. Dependable Capacity للمحطة بدلا من السعة التصميمية القصوى في حساب معامل السعة حيث يؤخذ بنظر الاعتبار مدى تقادم عمر المحطة بمرور الزمن ، في هذه الحالة تكون المعادلة كما يلي : -

$$C.F. = \frac{\text{Average Load}}{\text{Max. Dependable Capacity}} \times 100$$

إن معامل السعة تتغير حسب نوع الوقود وتصميم المحطة

مثال :- محطة توليد كهرباء الدبس بسعة متاحة قصوى (90 MW) أنتجت (36200 MW.H) خلال (٣٠يوم) فكم هي معامل السعة للمحطة خلال هذه الفترة ؟

الجواب : - تكون قيمة الإنتاج للمحطة لو عملت بطاقتها القصوى طيلة الـ (٣٠ يوم)

$90 \times 30 \times 24 = 64800$ MW.H

$$C.F. = \frac{36200 \text{ MW.H}}{64800 \text{ MW.H}} \times 100 = 55.86\%$$

إن محطات الكهرباء دائما تكون معامل السعة لها اقل من (100%) وذلك للأسباب التالية :-

١- المحطة خارج العمل أو الخدمة .
٢- قلة إنتاج المحطة بسبب فشل أو عطل في إحدى الأجهزة أو المعدات أو بسبب الصيانات الروتينية أو لأسباب طارئة كانخفاض ضغط الوقود .
٣- انخفاض الطلب على الكهرباء .

معامل السعة يعتبر مؤشر لمدى إمكانية تحميل الوحدة ، مشاكل التحميل ، سياسات التشغيل .

معامل الحمل Load Factor : هي النسبة بين معدل الحمل (MW) وحمل الذروة Peak Load (MW) خلال فترة زمنية معينة

$$L.F. = \frac{\text{Average Load}}{\text{Peak Load}} \times 100$$

حمل الذروة = أقصى حمل حققته المحطة خلال فترة زمنية معينة أو الحد الأقصى من الطلب على الطاقة الكهربائية ، وتختلف قيمة معامل الحمل باختلاف نوع تصميم المحطة ونوع الوقود المستخدم ويعتبر مؤشر عن مدى إمكانية تحميل الوحدة ، مشاكل التحميل ، سياسات التشغيل .

ملاحظة : - يجب عدم الخلط بين معامل السعة ومعامل الحمل فالفرق واضح بينهما وعلى الأغلب فان قيمة معامل السعة تعبر عن الأداء النظري للمحطة بينما قيمة معامل الحمل تعبر عن الأداء التشغيلي للمحطة .

الكفاءة الاقتصادية أو كلفة الإنتاج Economic Efficiency :

هي النسبة بين كلف الإنتاج (مصاريف المحطة) وبين الإنتاج الأجمالي للمحطة (MW.H) خلال فترة زمنية معينة

$$\eta_{eco} = \frac{\text{Production Costs}}{\text{Total Production}} \quad (ID/MW.H)$$

كلف الإنتاج (المصاريف) تشمل كلف (الوقود ، الرواتب والأجور ، المواد الاحتياطية ، الخدمات بكافة أنواعها وغيرها) بالدينار أو عملات أخرى

مثال : أنتجت محطة كهرباء الدبس خلال شهر كانون الثاني / ٢٠١٥ طاقة كهربائية (46190 MW.H)
وبلغت مصاريف المحطة خلال نفس الشهر (1,261,714,983) دينار عراقي فكم هي كلفة انتاج الـ (MWH) الواحدة ؟

$$\eta_{eco} = \frac{\text{المصاريف}}{\text{الإنتاج}} = \frac{1.261.714.983}{46190}$$

كلفة الإنتاج =27,315.760 ID/MW.H

تقريبا نسبة(70%) من كلفة إنتاج الطاقة الكهربائية في محطات توليد الكهرباء يشغلها كلفة شراء الوقود المستخدم في التشغيل .

إن كلفة إنتاج (توليد) الكهرباء في المحطات الجديدة (حديثة النصب)يشمل ما يلي:

١. كلفة رأس المال.
٢. رسوم التمويل
٣. تكاليف الإنتاج أو التشغيل (بما في ذلك الوقود و الصيانة)

تكون كلفة الإنتاج في المحطات القديمة (بعد مرور ٢٠-٣٠ سنة) اقل منها في المحطات الحديثة النصب و التشغيل لان كلفة رأس المال و رسوم التمويل يكون قد تم دفعها و تسديدها .

ملاحظة: رأس المال يشمل تكاليف تصنيع و شحن المعدات و بناء ونصب المحطة و مرافقها وتكاليف المسافة من خطوط النقل والتضاريس و بعد المسافة من مصادر الوقود و أخرى .

تختلف كلفة إنتاج الكهرباء حسب نوع الوقود المستخدم فهي تكون عالية للوقود الاحفوري Fossil Fuel(النفط الخام ومشتقاته ، الغاز الطبيعي ، الفحم) والوقود الحيوي Biomass Fuel . و تكون منخفضة للوقود النووي Nuclear Fuel و تكون صفر عند استخدام مصادر الطاقة المتجددة Renewables Energy (الرياح و المياه و الشمس ، حركة الأمواج و المد و الجزر ، الطاقة الحرارية الأرضية (الجوفية) .

الكفاءة التشغيلية Operational Efficiency :

هي النسبة بين الإنتاج الكلي للطاقة الكهربائية (MW.H) خلال فترة زمنية معينة و بين الإنتاج الأقصى المحتمل للطاقة الكهربائية (MW.H) (Max. Potential Energy) في حالة اشتغال المحطة بشكل مستمر 100% و بدون أي توقف خلال نفس الفترة الزمنية المعينة .

$$\eta_{Op} = \frac{\text{Total Production}}{\text{Max. Potential Production}} \times 100$$

الكفاءة التشغيلية بشكل عام هي تعبير عن معامل السعة وفي بعض الأحيان تعبر عن معامل الحمل .

الإتاحية أو التوافرية أو التواجدية (Availability) لأي نظام تقني تعرف على أنها احتمال أو مدى تواجد هذا النظام في حالة عمل إذا ما تم طلبه لإتمام مهمة ما في وقت يحدد عشوائيا . بكلمات أخرى ، هي نسبة الوقت الذي يشتغل فيه النظام بشكل طبيعي . تعتبر الإتاحية أوعامل الإتاحية Availability Factor في محطات التوليد مهمة حيث تعتبر المؤشر الاقتصادي الكبير و يأتي بالدرجة الأولى في تقييم إنتاجية محطات التوليد وأعتبر في العقد الأخير أهم من الكفاءة الحرارية .

كما يمكن التعبير عن الإتاحية لوحدة وظيفية ما بأنها نسبة المجموع الكلي للوقت الذي يمكن فيه استخدام الوحدة الوظيفية في فترة زمنية معينة الى طول هذه الفترة .

على سبيل المثال ، إذا تمكنت وحدة وظيفية من العمل لمدة ١٠٠ ساعة في الأسبوع (١٦٨ ساعة) فإن إتاحية هذه الوحدة سوف تكون ١٠٠\١٦٨ . بشكل عام في تقييم أداء محطات الطاقة ، **معامل الإتاحية** هو التناسب بين مقدار الوقت الذي تكون فيه المحطة قادرة على إنتاج الطاقة الكهربائية خلال فترة زمنية محددة وبين مقدار تلك الفترة الزمنية المحددة . يرتبط هذا المعامل بشكل وثيق بتكرارية توقف عمل المحطة نتيجة الأعطال أوالصيانة الدورية .

معامل الإتاحية للوحدة % (A.F.) :

$$\text{Availability factor \%} = \frac{\text{Available Hours}}{\text{Period Hours}} \times 100$$

زمن اتاحية الوحدة (Available Hours) = زمن الخدمة + زمن الاحتياطي (ساعة)
زمن الخدمة = هو الزمن الذي تكون فيه الوحدة متصلة بالشبكة الكهربائية . (ساعة)
زمن الأحتياطي = هو الزمن الذي تكون فيه الوحدة متاحة (جاهزة) ولكن غير متصلة بالشبكة الكهربائية . (ساعة)
زمن الفترة (Period Hours) = هو مجموع أزمان (الخدمة + الأحتياطي + الخروج الأضطراري + الخروج للصيانة + الخروج المخطط) . (ساعة)
ويظهر هذا المؤشر مدى جهوزية الوحدة للتشغيل عند الطلب وأهمية هذا المؤشر تعني مجابهة الأحمال عند الطلب أو فترات الذروة وتحسن هذا المعامل يعني وجود قدرات إضافية متاحة أي توفير رأس مال المستثمر ويعتبر مؤشر إيجابي على تحسن أداء عمليات الصيانة للوحدة التوليدية . ولكن يجب الأخذ في نظر الإعتبار إنخفاض القدرات الفعلية للوحدة حيث تعتبر الوحدة متاحة حتى لو كانت القدرة المنتجة أقل كثيرا من القدرة الفعلية المتاحة .

مثال : في محطة كهرباء الدبس الغازية ، كان مجموع عدد ساعات الخدمة في شهر كانون الثاني / ٢٠١٥ يساوي (٧١٥ ساعة) وحيث أن عدد ساعات الشهر يساوي (٧٤٤ ساعة) ، لذا فأن معامل الأتاحية للمحطة يساوي 96.102% .

يمكن أحتساب معامل الأتاحية عن طريق حساب إنتاج الوحدة (MW.H) كما في المعادلة التالية :

A.F. = (Available Cpacity / Max. Dependable Capaciyt) x 100

حيث أن :

Available Capacity (A.Cap.) = السعة المتاحة (MW.H)

Max. Dependable Capacity (Max. Dep. Cap.) = السعة القصوى المعتمدة للمحطة (MW.H) وقيمتها تعتمد على مدى تقادم عمر المحطة بمرور الزمن .

يتم حساب السعة المتاحة من المعادلة التالية : A.Cap. = (Max. Dep. Cap.) – (Total Outage Cap.)

حيث أن :

Total Outage Cap. (MW.H) = إجمالي السعة المعطلة أو المتوقفة عن العمل بسبب توقفات الصيانة المخططة (Planned Outage) وتوقفات الصيانة الأضطرارية (Forced Outage) والتحديدات في السعة (Limitation) .

ويتم أحتساب السعة المعطلة كما يلي :

إجمالي السعة المعطلة (MW.H) = السعة القصوى المعتمدة للمحطة (MW) × [عدد ساعات التوقف المخطط + عدد ساعات التوقف الأضطراري] .

أما بالنسبة لكمية السعة أو الطاقة المعطلة بسبب التحديدات فيتم أحتسابها كما يلي :

١- مقدار التحديد لكل وحدة توليدية (MW) = السعة المعتمدة القصوى للوحدة – السعة الفعلية المتحققة للوحدة

٢- مقدار التحديد لكل وحدة (MW) × مدة التحديد (ساعة) .

وبصورة عامة يمكن إحتساب معامل الأتاحية كما في المعادلة التالية :

معامل الأتاحية = [الفترة الكلية – (فترة التوقف المبرمج + فترة التوقف الأضطراري) \ الفترة الكلية] × ١٠٠

ان قيمة معامل الأتاحية تتغير بشكل كبير إعتمادا على نوع الوقود المستخدم في تشغيل المحطة وعلى تصميم المحطة وعلى كيفية وظروف التشغيل . معظم المحطات الحرارية التي تستخدم الفحم Coal والطاقة الحرارية الأرضية Geothermal energy والطاقة النووية Nuclear energy لها معامل إتاحية يتراوح بين (70 % - 90 %) . المحطات الجديدة لها معامل إتاحية عالية كونها محطات ذات تصميم وتكنولوجيا محسنة ومتطورة ولكن الصيانات الوقائية Preventive Maintenance لا تقل أهمية عن التحسينات في التصميم والتكنولوجيا . أن محطات الكهرباء الغازية لها معامل إتاحية عالية نسبيا يتراوح بين (80% - 99%) كونها محطات حمل ذروة بالأساس (Peaking Power Plants) إضافة إلى إستخدامها في المرحلة الأولى بمحطات الدورة المركبة (Combined Cycle Plants)

معدل صرفيات أو استهلاك الوقود (Fuel Consumption Rate) : F.C.R.

هو النسبة بين كمية الوقود المستهلكة في تشغيل المحطة (M^3) إلى إجمالي الطاقة المنتجة (MW.H) .

$$F.C.R. = \frac{\text{Fuel Consumption Quantity}}{\text{Total Production}} \qquad (M^3 / MW.H)$$

يظهر هذا المؤشر (سياسات التشغيل - معامل التقادم للوحدة - تقييم أعمال الصيانة التي تتم للوحدة - الكفاءة الحقيقية للوحدة أي كفاءة تحويل الطاقة الحرارية للوقود إلى طاقة كهربائية) .
كمية أستهلاك الوقود لانتاج الكيلو واط.ساعة تقدر بكمية (٠,٣) لتر للوقود السائل و (٠,٣) مترمكعب للغاز الطبيعي

إنتاجية العامل (Worker productivity) MW.H/PERSON :

هي النسبة بين إجمالي الطاقة المنتجة للمحطة (MW.H) إلى مجموع عدد العاملين في المحطة (Person) .

$$\text{Worker Productivity} = \frac{\text{Total Production}}{\text{Total No. Workers}} \quad (\text{MW.H / Person})$$

النسبة أعلاه تعكس ما ينتجه العامل من وحدات الأنتاج (MW.H) خلال فترة زمنية معينة .
يظهر هذا المؤشر (كمية الأنتاج للشخص الواحد – إنخفاض معنويات العاملين – إنخفاض إنتاجية العمل – فائض في عدد العاملين Over - staffing) .
لمعرفة متطلبات أي مشروع من عدد الآلات وعدد العمال لتحقيق الإنتاج المستهدف ، يتم إستخدام المعادلات التالية :
عدد الآلات = حجم الإنتاج المستهدف \ طاقة الإنتاج للآلة (يضاف هامش العطلات وأعمال الصيانة)
عدد عمال الإنتاج = حجم الإنتاج المستهدف × زمن إنتاج الوحدة \ عدد ساعات العمل

الأستهلاك الذاتي للوحدة (Self Consumption) % :

هو النسبة بين كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة في مساعدات الأنتاج (MW.H) إلى إجمالي الطاقة المنتجة (MW.H)

$$\text{Self Consumption \%} = \frac{\text{Auxiliary Consumption}}{\text{Generated Energy}} \times 100$$

Auxiliary Consumption (MW.H) : هي الطاقة الكهربائية المستهلكة داخليا للمعدات والأجهزة المساعدة في المحطة و جميع ملحقاتها مثل (المضخات ، الضاغطات ، المراوح ، أجهزة التبريد والتسخين ، أجهزة التكيف ، الأنارة وغيرها) . إضافة إلى الضياعات وفروقات المقاييس الكهربائية (Losses & Meter Error) التي تحدث في المحولات الرئيسية والمعدات الكهربائية التي تربط المحطة بشبكة النقل أو المستهلكين في حالة وجود المحطة بالقرب من المحطة الثانوية وإرتباط خطوط النقل مباشرة بالمحطة الثانوية وعدم وجود مقاييس على المحولات الرئيسية والخطوط .
أن نسبة الإستهلاك الذاتي تعتمد على نوع المحطة وانتاجها وحجم مرافقها وخدماتها .

معامل الإستخدام أو الإنتفاع (U.F. (Utilization Factor % :

هي نسبة كمية الطاقة الكهربائية المتولدة من المحطة أو الوحدة التوليدية خلال فترة زمنية معينة إلى السعة التصميمية القصوى مضروبا بزمن الخدمة خلال نفس الفترة الزمنية المعينة .

$$\text{U.F.} = \frac{\text{Energy Generated}}{\text{Rated Cpacity x Service Hours}} \text{ x } 100$$

حيث أن :
Energy Generated = Production = الطاقة الكهربائية المتولدة (MWH) .
Rated Capacity = السعة التصميمية القصوى (MWH) . يتم اعتماد السعة المتاحة (المعتمدة) القصوى Max. Dependable Capacity للمحطة بدلا من السعة التصميمية القصوى حيث يؤخذ بنظر الاعتبار مدى تقادم عمر المحطة بمرور الزمن .

Service Hours = زمن الخدمة = هو الزمن الذي تكون فيه الوحدة متصلة بالشبكة الكهربائية . (ساعة)

ويمكن حساب معامل الإستخدام من المعادلة التالية :

$$U.F. = \frac{\text{Total Generation}}{\text{Available Capacity}} \times 100$$

Total Generation إجمالي إنتاج الوحدة (MW.H) .
Available Capacity السعة المتاحة للوحدة (MW.H) .

معامل الوثوقية أو الإعتمادية (Reliability Factor) R.F. % :

إن طبيعة إنتاج واستهلاك الطاقة الكهربائية ذات خصوصية معينة تختلف عن باقي الصناعات الأخرى حيث يتم إنتاج الطاقة الكهربائية بقدر الطلب عليها من قبل المستهلكين آنيا و لا يمكن خزنها لحين الطلب عليها أو تعويض النقص في القدرة الكهربائية لفترة معينة فيما بعد انتهاء فترة الحاجة إليها وبسبب هذه الخاصية تبرز أهمية درجة وثوق إنتاج الطاقة الكهربائية ثم نقلها و توزيعها . و بصورة خاصة وثوق استمرارية تجهيز الطاقة الكهربائية إلى المعامل الإنتاجية التي تعتبر ذات أهمية قصوى . وكلما كانت الاحتمالية قليلة فأن الوحدة تعتبر ذو درجة وثوق منخفضة وفي حالة كون احتمالية بقاء الوحدة في العمل صفر فأن توقف الوحدة مؤكدة خلال الفترة المعينة المذكورة و كلما ازدادت احتمالية بقاء الوحدة كلما زاد وثوقها حتى تبلغ الاحتمالية (١) فأن وثوق الوحدة يعتبر (١٠٠%) أي إن احتمالية استمرار الوحدة بالعمل خلال فترة معينة يكون (١٠٠%) .
الموثوقية هي قدرة الوحدة التوليدية على الإستمرار بالإنتاج ضمن الشروط المحددة خلال فترة زمنية محددة . ومعامل الوثوقية هي النسبة بين السعة القصوى المعتمدة للوحدة (MW.H) مطروحا منها السعة المعطلة عن العمل بسبب التوقفات الإضطرارية (MW.H) وبين السعة القصوى المعتمدة للوحدة (MW.H) .

$$R.F. = \frac{\text{Max. Dep. Cap.} - \text{Forced Outage Capcity}}{\text{Max. Dep. Cap.}} \times 100$$

حيث أن :
Forced Outage Capcity = السعة المعطلة عن العمل بسبب التوقفات الإضطرارية (MWH) .
= السعة القصوى المعتمدة للوحدة (MW) × عدد ساعات التوقفات الإضطرارية .

عامل الخدمة (Service Factor) S.F. % :

هي نسبة زمن إشتغال المحطة أو الوحدة التوليدية (زمن الخدمة بالساعات) إلى زمن الفترة (زمن الفترة بالساعات) .

$$S.F. = \frac{\text{Service Hours}}{\text{Period Hours}} \times 100$$

وسبق أن تم تعريف زمن الخدمة وزمن الفترة .
يتم حساب عامل الخدمة لمعرفة نسبة فترة الاشتغال للوحدة من الفترة الكلية ومقارنة ذلك مع الفترات الزمنية من عمر الوحدة ومع الوحدات الأخرى أو بين المحطات و يدخل في الحسابات الاقتصادية لمنظومة محطات الكهرباء .

عامل التوقف المبرمج (Planned or Scheduled Outage Factor) P.O.F. % :

هي نسبة زمن التوقف المبرمج للمحطة أو الوحدة التوليدية (زمن التوقف بالساعات) إلى زمن الفترة (زمن الفترة بالساعات) .

$$P.F. = \frac{\text{Planned Outage Hours}}{\text{Period Hours}} \times 100$$

عامل التوقف الأضطراري (Forced Outage Factor) F.O.F % :

هي نسبة زمن التوقف الأضطراري للمحطة أو الوحدة التوليدية (زمن التوقف بالساعات) إلى زمن الفترة (زمن الفترة بالساعات) .

$$P.F. = \frac{\text{Forced Outage Hours}}{\text{Period Hours}} \times 100$$

معدل التوقف الأضطراري (Forced Outage Rate) F.O.R. % :

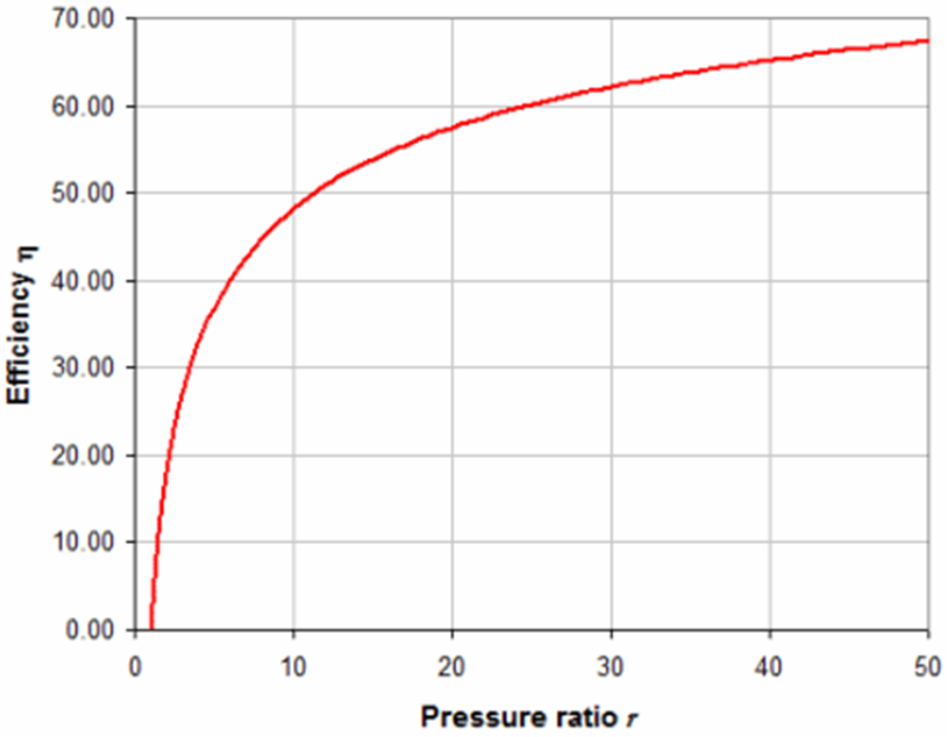
هي نسبة زمن التوقف الأضطراري للمحطة أو الوحدة التوليدية (زمن التوقف بالساعات) إلى مجموع زمن الأشتغال وزمن التوقف الأضطراري (الزمن بالساعات) .

$$P.F. = \frac{\text{Forced Outage Hours}}{\text{Service Hours + Forced Outage Hours}} \times 100$$

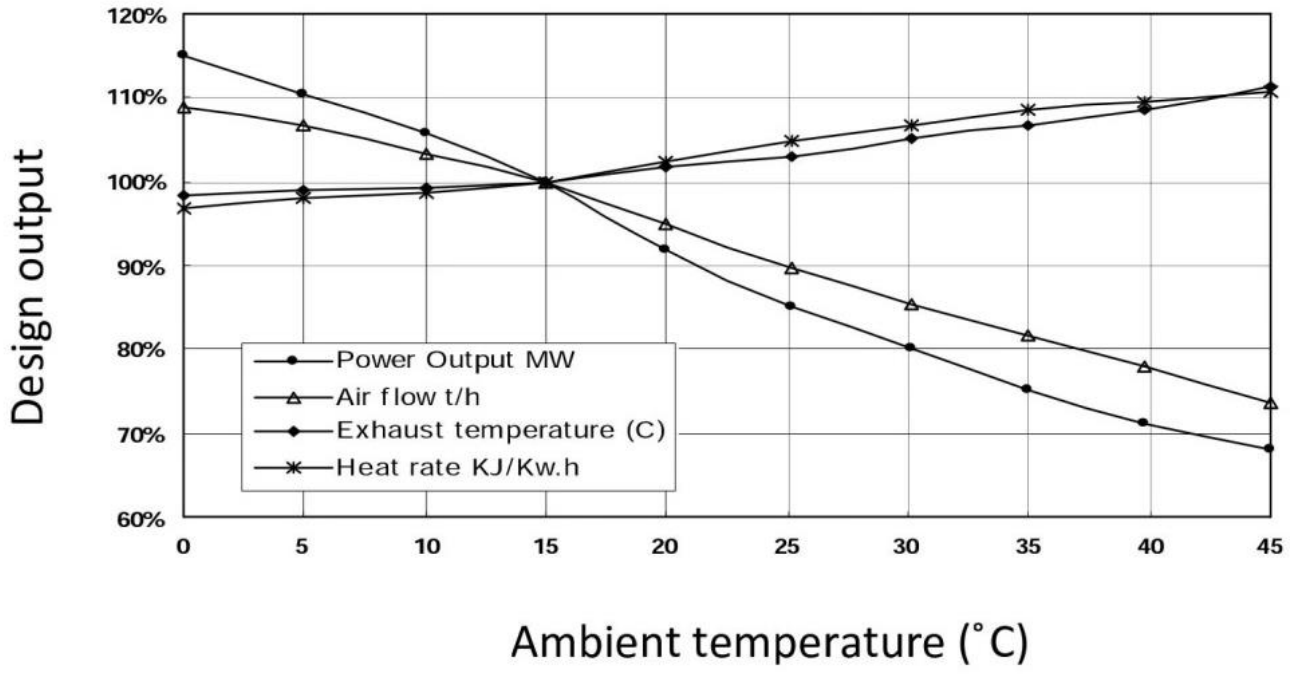
يظهر هذا المؤشر معدل الخروج الإضطراري للوحدة لكل (١٠٠ ساعة تشغيل) ويعتبر تقييما لنتائج أعمال الصيانة والتشغيل . في حالة عدم تحسن هذا المؤشر فسوف يؤثر ذلك سلبيا على حمل الوحدة وعلى معدلات وحسابات ساعات الصيانة وبالتالي زيادة في النفقات التشغيلية والإستثمارية .

مخططات تأثير الظروف التشغيلية على كفاءة وأداء التوربين الغازي :

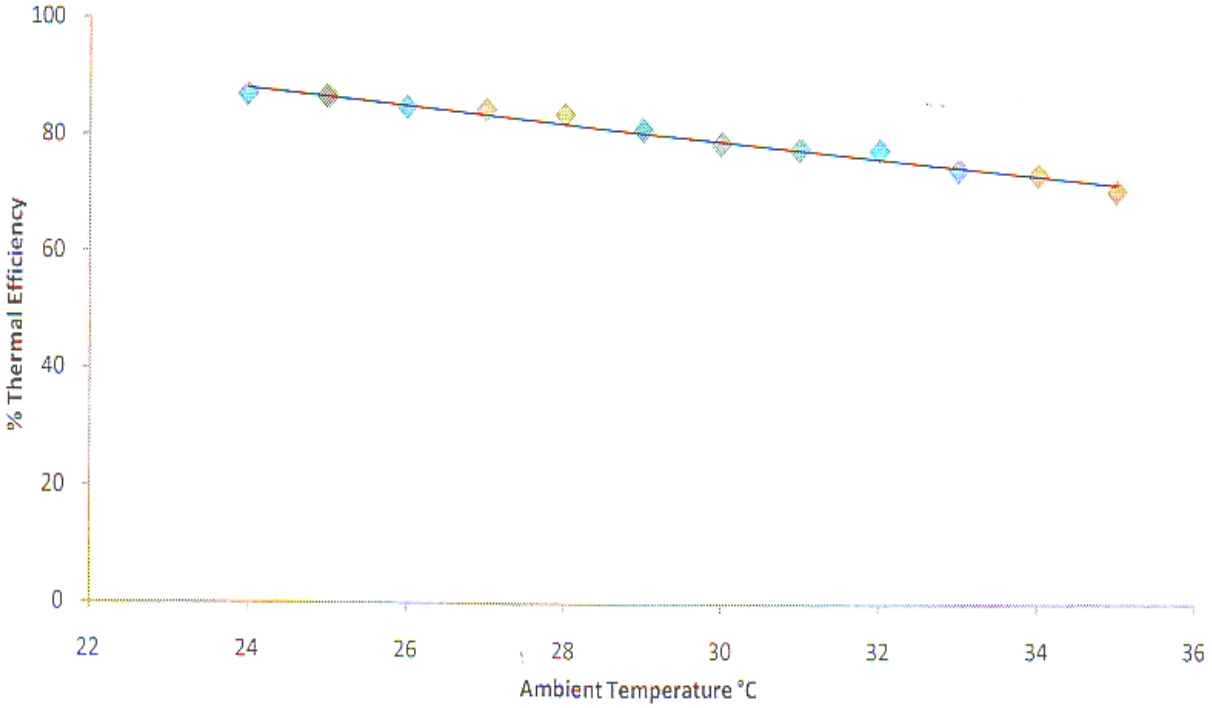
Gas Turbine Efficiency & Performance Diagrams



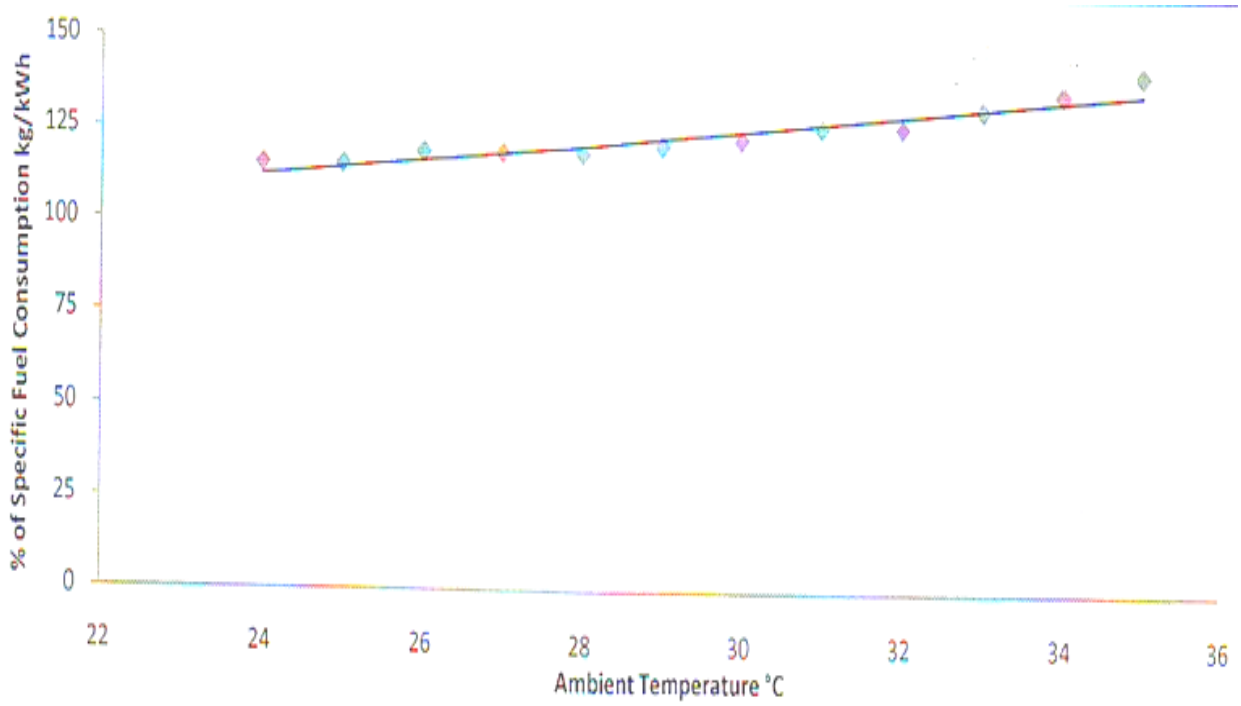
تأثير نسبة الإنضغاط على الكفاءة الحرارية لدورة التوربين الغازي المثالية



تأثير درجة حرارة الجو على أداء التوربين الغازي



تأثير درجة حرارة الحو على الكفاءة الحرارية للتوربين الغازي



تأثير درجة حرارة الجو على الإستهلاك النوعي للوقود SFC في التوربين الغازي

تأثير درجة حرارة الجو على أداء التوربين الغازي
Effect of ambient temperature on the performance of gas turbine

زيادة درجة حرارة الجو Ambient Temperature		الأداء Performance
Decrease	Increase	
	YES	شغل الضاغطة (Wc) Compressor Work
	YES	درجة حرارة دخول التوربين Turbine Inlet Temperature
YES		الكفاءة الحرارية % Thermal Efficiency
YES		القدرة المتولدة (MW) Power Output
	YES	الإستهلاك النوعي للوقود (SFC) Specific Fuel Consumption
	YES	معدل الحرارة Heat Rate
YES		معدل جريان الهواء (m) Air Flow Rate
	YES	درجة حرارة العادم Exhaust Temperature
Yes		الطاقة الحرارية الضائعة (Q_{exh}) Wasted Thermal Energy

١. عند درجة حرارة الجو (T = 45ºC) يقل ($\dot{m}_a$) للهواء بسبب نقصان كثافة **Density** هواء الجو (بصعود درجة حرارة الجو يقل ($\dot{m}$) للهواء الخارج من الضاغطة)

٢. ايضا تقل القدرة الناتجة (**P out**) Power Output بارتفاع درجة حرارة الجو بسبب نقصان($\dot{m}$) للهواء الذي يؤثر بدوره على نسبة الضغط (**rp**) Pressure Ratio و شغل التوربين (**WT**) و في النهاية يؤثر على القدرة المتولدة(**P out**) .

٣. الكفاءة الحرارية تقل بسبب انخفاض القدرة المتولدة و زيادة الاستهلاك النوعي للوقود **SFC** .
٤. زيادة الاستهلاك النوعي للوقود **SFC** بسبب انخفاض نسبة الضغط (**rp**) وشغل الطاقة (**Wc**) مما يجعل من الضروري زيادة في معدل الكتلي لجريان الوقود(**$\dot{m}_f$**) لغرض الوصول و الحفاظ على درجة حرارة دخول التوربين ثابتة T3 Firing Temperature
٥. زيادة درجة حرارة غازات العادم T4 و تمثل الطاقة الحرارية الضائعة Q exhaust في غازات العادم المطروحة الى الجو كمية كبيرة م يقارب(66%) من اجمالي الطاقة المضافة (المجهزة) Qin الى الدورة بدون الاستفادة منها في عمليات حرارية او طاقة اخرى

نستنتج من اعلاه

١. ان القدرة الناتجة Pout تقل بارتفاع درجات حرارة الجو و خاصة في الصيف في الاشهر حزيران ،تموز ،اب ،ايلول ، تشرين الاول .
٢. ان كمية الطاقة الحرارية الضائعة (المهدورة) الى الجو تعادل تقريبا ضعفي كمية الطاقة المنتجة.

البيانات التصميمية للتوربين الغازي في محطة كهرباء الدبس الغازية :

Design data of Gas Turbine type FIAT TG .20 (ISO- Condition)

ISO- Condition : 15C° , 1 bar , Relative Humidity - 60 %
Simple open cycle gas turbine with one shaft
Output Power = 38 MW
Heat Rate = 3007 Kcal/KW.H
Specific Fuel Consmption (SFC) = 0.26 Kg/KW.H = 0.343 m^3/KW.H
Thermal Efficiency = 28.6 %
Rated Rotation Speed = 4918 rpm
Speed Reduction Ratio = 4918/3000
Air Capacity (ISO – Condition) = 161.4 Kg/s (Mass Flow Rate) at 15 C° , 1 bar
Air Speed = 2 m/s (approx..)
Compression Ratio = 11/1
Air Compression Stages = 18
Expansion Stages = 3
Combustor Baskets = 8
Length of Unit = 9.5 m
Width of Unit = 3 m
Weight of Turbine Rotor = 16000 Kg
Length of Rotor = 6500 mm
Weight of Turbine = 59000 Kg
Maximum Capability = 45000 KW
Exhaust Gas Flow Rate = 164 Kg/s

جدول تحويل أهم الوحدات المستخدمة في مجال الطاقة
important units of energy and their conversion factors

	kJ	kcal	kWh	kg ce	kg oe	m³ natural gas
1 kJ	1	0.2388	0.000278	0.000034	0.000024	0.000032
1 kcal	4.1868	1	0.001163	0.000143	0.0001	0.00013
1 kWh	3 600	860	1	0.123	0.086	0.113
1 kg ce	29 308	7 000	8.14	1	0.7	0.923
1 kg oe	41 868	10 000	11.63	1.428	1	1.319
1 m³ natural gas	31 736	7 580	8.816	1.083	0.758	1

Units of energy overview

Unit	Name	Conversion to kJ or kWh
J	joule	1 000 J = 1 000 Ws = 1 kJ
cal	calorie	1 000 cal = 1 kcal = 4.186 kJ
Wh	watt hour	1 Wh = 3.6 kJ
(kg) ce	(kilogram) coal equivalent	1 kg ce = 29 308 kJ
(kg) oe	(kilogram) oil equivalent	1 kg oe = 41 868 kJ
m³ natural gas	cubic meter natural gas	1 m³ natural gas = 31 736 kJ
BTU	British Thermal Unit	1 BTU = 0.000293071 kWh = 1.05506 kJ
kpm	kilogram force meter (Kilopondmeter)	1 kpm = 2.72e-6 kWh = 0.00980665 kJ

1 kg of natural gas = 50,020 BTU
1 m3 of natural gas = 35,300 BTU
1 ft3 of natural gas = 1,000 BTU

جدول يوضح القيم الحرارية Heating Vlue لبعض أنواع الوقود

Properties of some common fuels and hydrocarbons

Fuel (phase)	Formula	Molar mass, kg/kmol	Density,[1] kg/L	Enthalpy of vaporization,[2] kJ/kg	Specific heat,[1] c_p kJ/kg · K	Higher heating value,[3] kJ/kg	Lower heating value,[3] kJ/kg
Carbon (*s*)	C	12.011	2	—	0.708	32,800	32,800
Hydrogen (*g*)	H_2	2.016	—	—	14.4	141,800	120,000
Carbon monoxide (*g*)	CO	28.013	—	—	1.05	10,100	10,100
Methane (*g*)	CH_4	16.043	—	509	2.20	55,530	50,050
Methanol (*ℓ*)	CH_4O	32.042	0.790	1168	2.53	22,660	19,920
Acetylene (*g*)	C_2H_2	26.038	—	—	1.69	49,970	48,280
Ethane (*g*)	C_2H_6	30.070	—	172	1.75	51,900	47,520
Ethanol (*ℓ*)	C_2H_6O	46.069	0.790	919	2.44	29,670	26,810
Propane (*ℓ*)	C_3H_8	44.097	0.500	335	2.77	50,330	46,340
Butane (*ℓ*)	C_4H_{10}	58.123	0.579	362	2.42	49,150	45,370
1-Pentene (*ℓ*)	C_5H_{10}	70.134	0.641	363	2.20	47,760	44,630
Isopentane (*ℓ*)	C_5H_{12}	72.150	0.626	—	2.32	48,570	44,910
Benzene (*ℓ*)	C_6H_6	78.114	0.877	433	1.72	41,800	40,100
Hexene (*ℓ*)	C_6H_{12}	84.161	0.673	392	1.84	47,500	44,400
Hexane (*ℓ*)	C_6H_{14}	86.177	0.660	366	2.27	48,310	44,740
Toluene (*ℓ*)	C_7H_8	92.141	0.867	412	1.71	42,400	40,500
Heptane (*ℓ*)	C_7H_{16}	100.204	0.684	365	2.24	48,100	44,600
Octane (*ℓ*)	C_8H_{18}	114.231	0.703	363	2.23	47,890	44,430
Decane (*ℓ*)	$C_{10}H_{22}$	142.285	0.730	361	2.21	47,640	44,240
Gasoline (*ℓ*)	$C_nH_{1.87n}$	100–110	0.72–0.78	350	2.4	47,300	44,000
Light diesel (*ℓ*)	$C_nH_{1.8n}$	170	0.78–0.84	270	2.2	46,100	43,200
Heavy diesel (*ℓ*)	$C_nH_{1.7n}$	200	0.82–0.88	230	1.9	45,500	42,800
Natural gas (*g*)	$C_nH_{3.8n}N_{0.1n}$	18	—	—	2	50,000	45,000

[1]At 1 atm and 20°C.
[2]At 25°C for liquid fuels, and 1 atm and normal boiling temperature for gaseous fuels.
[3]At 25°C. Multiply by molar mass to obtain heating values in kJ/kmol.

جدول يوضح قيم الحرارة النوعية Specific Heat والكثافة Density للهواء عند الضغط الجوي 1.01325 bar

Temperature (*K*)	Specific Heat		Ratio of Specific Heats	Density1)
	- c_p - (*kJ/kgK*)	- c_v - (*kJ/kgK*)	- *k* - (c_p/c_v)	- ρ - (kg/m^3)
175	1.0023	0.7152	1.401	2.017
200	1.0025	0.7154	1.401	1.765
225	1.0027	0.7156	1.401	1.569
250	1.0031	0.7160	1.401	1.412

Temperature (*K*)	Specific Heat		Ratio of Specific Heats - *k* - (c_p/c_v)	Density[1] - ρ - (kg/m^3)
	- c_p - (*kJ/kgK*)	- c_v - (*kJ/kgK*)		
275	1.0038	0.7167	1.401	1.284
300	1.0049	0.7178	1.400	1.177
325	1.0063	0.7192	1.400	1.086
350	1.0082	0.7211	1.398	1.009

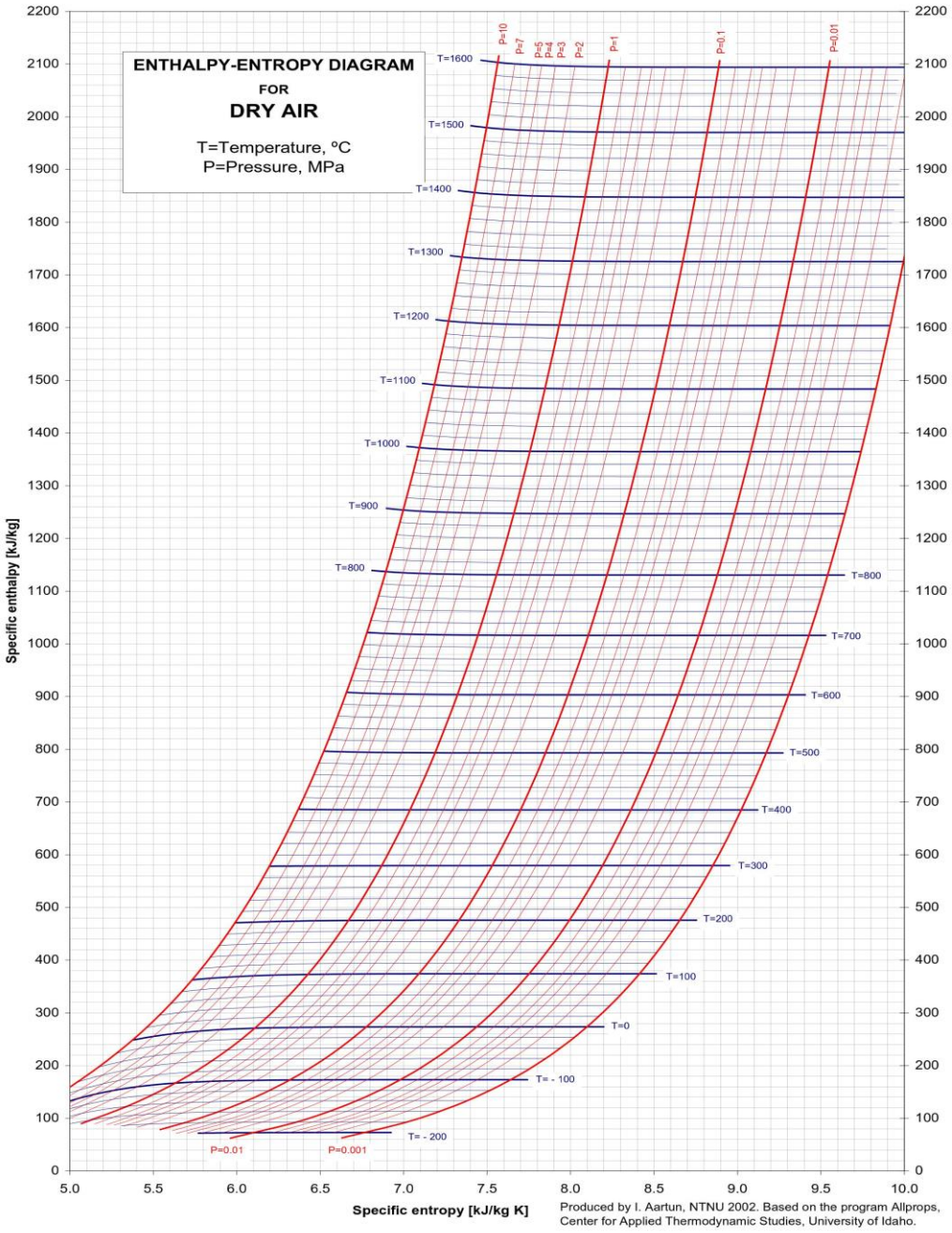
[1] At pressure *1 atm*

نسبة الهواء – الوقود (A/F) Air – Fuel Ratio :

هي الكمية المطلوبة من الهواء والوقود لحدوث الأحتراق الكامل كيميائيا ، مثلا لمحركات البنزين Gasoline Engines تكون نسبة الهواء الى الوقود المكافئة 14.7/1 فهذا يعني 14.7جزء من الهواء الى جزء 1 من الوقود .

$AFR = m_{air} / m_{fuel} = 1 / FAR$

Fuel	**Ratio by mass**	**Ratio by volume**	**Percent fuel by mass**
Propane (LP)	15.67 : 1	23.9 : 1	6.45%
Natural gas	17.2 : 1	9.7 : 1	5.8%
n-Butanol	11.2 : 1	—	8.2%
Methanol	6.47 : 1	—	15.6%
Methane	17.19 : 1	9.52 : 1	5.5%
Hydrogen	34.3 : 1	2.39 : 1	2.9%
Gasoline	14.7 : 1	—	6.8%
Ethanol	9 : 1	—	11.1%
Diesel	14.5 : 1	—	6.8%



مخطط موللر للهواء الجاف وفيه قيم الأنثالبي والأنتروبي Mollier Diagram For Dry Air