# الباب الثامن

# البخـــار Steam

## توليد البخار وخواصه

## Steam Generation and Properties

---

**تكون بخار الماء :**

اذا وضعت وحدة وزنيه من الماء النقى فى اناء ذو غطاء عند درجة حرارة الصفر المئوى أو ٣٢°ف واضيفت الى الاناء كمية من الحرارة تحت ضغط ثابت فان درجة حرارة الماء سوف ترتفع تدريجيا الى ان يصل الماء الى درجة الغليان Boiling Point وتعتمد درجة حرارة الغليان على الضغط الموجود على الماء ، فنجد مثلا انه عند الضغط الجوى العادى أى ١٤ر٧ رطل/بوصه مربعه تكون درجة حرارة الغليان ٢١٢°ف (واحد كجم/سم$^{٢}$- درجة الغليان ١٠٠°م)، ويلاحظ انه كلما زاد الضغط زادت درجة حرارة الغليان .

وتعرف كمية الحرارة اللازمه لرفع درجة حرارة الماء من درجة التجمد (الصفر المئوى أو ٣٢°ف) الى درجة الغليان بحرارة السائل الظاهرية Sensible or Liquid Heat واذا استمر التسخين بعد وصول الماء الى درجة حرارة الغليان نجد ان درجة حرارة الماء سوف لاتتغير وتظل ثابته تحت ضغط ثابت . ويكون نتيجة للحرارة الممتصه ان يتحول الماء من الحالة السائله الى الحاله الغازيه بالتدريج وذلك تحت درجة حرارة وضغط ثابتين . وتعرف كمية الحرارة الممتصه بالحراره الكامنه Latent Heat واذا استمرت عمليةالتسخين يتحول جميع الماء الى بخار مشبع وتعرف هذه الحالة بحالة التشبع Saturation وتساوي درجة حرارة الغليان درجة حرارة التشبع Saturation Temperature واذا استمرت عملية التسخين بعد ذلك تتسبب فى رفع درجة حرارة البخار تحت نفس الضغط وتعرف هذه العمليه بعملية التحميص Superheating.

ويتلخص مما سبق انه يوجد هناك ثلاثة انواع من البخار :-

١- <u>البخار الجاف والمشبع</u> : <u>Dry and Saturated Steam</u>

وهو البخار الذى تكون نتيجة تبخر الماء تبخيرا كاملا بحيث لايوجد به أى اثر لقطرات الماء العالقه اى انه بخار خال تماما من الرطوبه . ودرجة حرارته تكون هى نفس درجة حرارة التبخير او الغليان او التشبع .



obeikandl.com

٢- البخار الرطب : Wet Steam

وهو بخار ماء به قطرات ماء عالقه نتيجة لعدم تبخره تبخرا كاملا . وتكون درجة حرارته هى نفس درجة حرارة التبخير او الغليان او التشبع .

٣- البخار المحمص : Superheated Steam

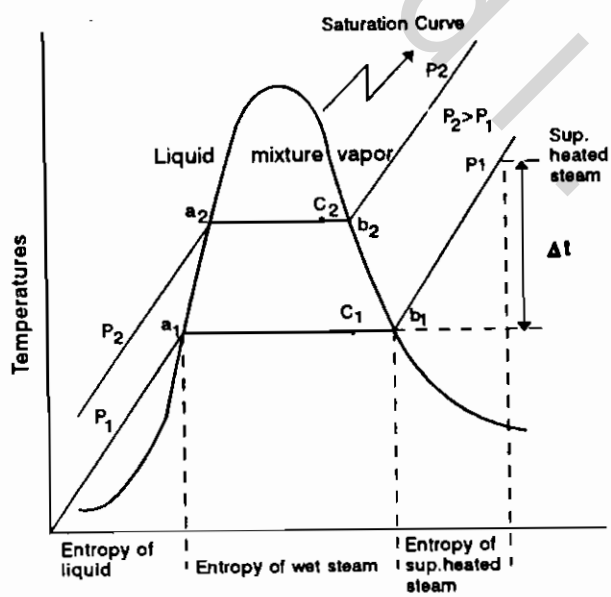
وهو بخار جاف ومشبع اكتسب درجة حرارة أكثر من حرارته الكامنه مما تسبب فى ارتفاع درجة حرارته عن درجة حرارة التبخير أو التشبع .

وكمية الحرارة الكامنه فى البخار عند ضغط ثابت تعتمد على نسبة الرطوبه الموجودة فيه اي على نسبة جفافه - وتعرف نسبة جفاف البخار او جودته (X)كالآتى :-

جودة البخار او نسبة جفاف البخار Dryness Fraction or Steam Quality

$$X = \frac{\text{Weight of dry steam}}{\text{Weight of wet steam mixture}} \qquad (8-1)$$

ويمثل الرسم البيانى الآتى (شكل ٨-١) العلاقه بين درجة الحرارة وانتروبيا البخار عند ضغوط مختلفه :-




شكل (٨-١) خريطة خصائص البخار



obeikandl.com

نقطة $a_1$ ، $a_2$ يمثلان نقطة الغليان عند ضغط $P_1$ ، $P_2$ على الترتيب
نقطة $b_1$ ، $b_2$ يمثلان نقطة التشبع عند ضغط $P_1$ ، $P_2$ على الترتيب
نقطة $c_1$ ، $c_2$ يمثلان حالة بخار رطب عند ضغط $P_1$ ، $P_2$ على الترتيب.

وتحسب الحرارة الكليه لوحدة وزنيه واحدة من البخار الرطب كالآتى:

$$i_{wet} = i' + XL \qquad (8-2)$$

والحراره الكليه فى وحدة وزنيه واحدة من البخار الجاف والمشبع

$$i_{D\&S} = i' + L \qquad (8-3)$$

والحراره الكلية لوحدة وزنيه واحدة من البخار المحمص

$$i_{S/H} = i' + L + Cp\,\Delta t \qquad (8-4)$$

حيث ان :

$i_{wet}$ = الحراره الكلية لوحدة وزنيه من البخار الرطب
B.T.U/Lb. or k.cal./kg.

$i_{D\&S}$ = الحراره الكلية لوحدة وزنيه من البخار الجاف
B.T.U/Lb. or k.cal./kg.

$i_{S/H}$ = الحراره الكليه لوحدة وزنيه من البخار المحمص
B.T.U/Lb. or k.cal./kg.

$i'$ = الحرارة الظاهريه للسائل لكل وحدة وزنيه
B.T.U/Lb. or k.cal./kg.

L = الحرارة الكامنه للبخار لكل وحدة وزنيه
B.T.U/Lb. or k.cal./kg

$c_p$ = الحراره النوعيه للبخار تحت ضغط ثابت
B.T.U/Lb. $^oF$ or k.cal./kg. $^oC$
= ٤٧ر. للبخار المحمص (كمتوسط عام).

X = جودة البخار الرطب او نسبة جفافه



obeikandi.com

$\Delta t$ = درجات حرارة التحميص عند ضغط ثابت

= درجة حرارة البخار المحمص – درجة حرارة التشبع

**استخدام جداول البخار :**

المعلومات الموجودة فى جداول البخار كانت نتيجة لتجارب على بخار الماء الجاف ، عند درجات حرارة وضغوط مختلفه . وهذه النتائج محتسبه ابتداء من درجة حرارة الصفر المئوى او درجة ٣٢°ف على حسب ما اذا كانت الجداول تتبع الوحدات المتريه او الوحدات البريطانيه وتشتمل هذه النتائج على المعلومات الآتيه :-

درجة حرارة التشبع (درجة الغليان) ، الضغط المطلق للبخار،الحرارة الكليه للبخار الجاف والمشبع ، الحرارة الظاهريه للسائل ، الحرارة الكامنه للبخار الجاف . وجميع هذه المعلومات منسوبه الى وحدة وزنيه واحدة من البخار الجاف .

ويجب عند استخدام جداول البخار حساب الضغط المطلق وذلك باضافةالضغط الجوى الى الضغط المانومترى قبل البدء فى عمل اى حسابات على البخار كما يجب الاخذ فى الاعتبار درجة حرارة (أو كمية الحرارة) الموجود عندها الماء المستخدم فى توليد البخار وذلك بطرح كمية الحرارة الموجودة عندها من الحرارة الظاهريه للسائل والمقيدة فى جداول البخار .

كما تبين جداول البخار بعض البيانات الاخرى مثل الحجم النوعى للسائل وللبخار الجاف .

**مثال :**

ما هى كمية الحرارة الكلية اللازمه لتوليد ١٠ كجم من بخار رطب جودته ٩٠٪ وضغطه ٤ كجم/سم$^{٢}$ اذا علمت ان الماء المستخدم فى توليد هذا البخار كان عند درجة حرارة قدرها ٦ر٤٣°م.

## الحـــل

من جداول البخار يمكن الحصول على المعلومات الاتيه لبخار عند ضغط مطلق ٤ كجم/سم$^2$ .

At $P = 4 \ kg/cm^2$

$i' = 143.7 \ kcal/kg \ vapor$

$L = 510.2 \ kcal/kg \ vapor$

$t_{sat} = 142.92 \ ^oC$

وحيث ان : $i_{wet} = i' + XL$

اذا كان توليد البخار من ماء عند الصفر المئوى

$\therefore i_{wet} = 143.7 - (1 \times 43.6) + (0.9 \times 510.2)$

$= 100.1 + 459.18 = 559.28 \ kcal/kg \ vapor$

$\therefore$ Total heat $= 10 \times 559.28 = 5592.8$ kcal.

**الحجم النوعى للبخار الرطب :**

الحجم النوعى هو عبارة عن حجم وحدة وزنيه واحدة من المادة . ويعتمد حجم وحدة وزنيه من البخار الجاف اعتمادا اساسيا على ضغط البخار ، ويمكن حسابها بدقه من التجارب العمليه المدونه فى جداول البخار .

فاذا كان الحجم النوعى للبخار الجاف عند ضغط P من جداول البخار يساوى $V_s$ متر مكعب لكل كجم بخار جاف فتكون كثافة البخار الجاف $1/V_s$

فاذا فرض ان البخار رطب ونسبة جفافه (X) فان الحجم النوعى للبخار الرطب يكون :

$$V_{wet} = X V_s + (1 - X) V_w \qquad (8-5)$$



obeikandl.com

حيث ان :

$V_s$ = الحجم النوعى للبخار الرطب المطلوب حسابه

$V_w$ = الحجم النوعى للماء السائل الموجود فى جداول البخار

وعند الضغوط المنخفضه يكون حجم الماء صغير جدا اذا ماقورن بحجم البخار وعلى ذلك فانه يمكن اهمال حجم الماء فى المعادلة السابقة وينتج عن ذلك ان :

$$V_{wet} = XV_s \qquad (8\text{-}6)$$

الحجم النوعى للبخار المحمص :

يمكن حساب الحجم النوعى للبخار المحمص من القانون الآتي :

$$V_{S/H} = \frac{1.253\,(i_{s/H} - 835)}{P} \quad ft^3/Lb \qquad (8\text{-}7)$$

$$V_{S/H} = \frac{0.01\,(i_{s/H} - 464)}{P} \quad m^3/kg. \qquad (8\text{-}8)$$

وهناك طريقة تقريبيه لحساب الحجم النوعى للبخار المحمص باعتباره غاز مثالى يتبع القانون العام للغازات كالآتى :-

$$V_{S/H} = V_S \frac{T_{s/H}}{T_s} \qquad (8\text{-}9)$$

حيث $T_{S/H}$ = درجة الحرارة المطلقه للبخار المحمص

$T_S$ = درجة حرارة التشبع المطلقـــــــه



obeikandl.com

# خلط البخار

## أولا : خلط البخار مع ماء :

ويمكن عمل الحسابات الخاصه بها وذلك بعمل موازنه حراريه ، قبل وبعد عملية الخلط ، اى ان الحرارة التى اكتسبها الماء نتيجة الخلط تساوي الحرارة التى فقدها البخار . فاذا فرض انه يراد خلط كمية من البخار مقدارها $m_1$ عند ضغط مطلق $P_1$ ونسبة جفاف البخار $X_1$ ، الى كمية من الماء مقدارها $m_2$ عند درجة حرارة $T_2$ ونتيجة لعملية الخلط فان البخار سوف يتكثف وتكون درجة حرارة المخلوط $T_3$ اقل من درجة حرارة التشبع للبخار $T_1$ .

$$\therefore m_1 [ ( i'_1 + X_1 L_1) - i'_3 ] = m_2 (i'_3 - i'_2) \qquad (8\text{-}10)$$

ومن هذه المعادله يمكن حساب $i'_3$ ومن جداول البخار يمكن الحصول على درجة حرارة المخلوط $T_3$ المناظرة.

## ثانيا : خلط بخار مع بخار عند ضغوط ودرجات حرارة مختلفه :

اذا فرض انه يوجد لدينا خزان به كمية من بخار $m_1$ عند ضغط $P_1$ ودرجة حرارة $T_1$ ونسبة جفافه $X_1$ . واضيفت الى هذا البخار كمية من بخار آخر وزنها $m_2$ عند ضغط $P_2$ ودرجة حرارة $T_2$ ونسبة جفاف $X_2$ ، والمطلوب معرفة درجة حرارة وضغط المخلوط . ويمكن حسابه على خطوتين :-

### ١- حجم الخزان ثابت

$$m_1 \; X_1 \; V_{s1} = (m_1 + m_2) \; X_3 \; V_{s3} \qquad (8\text{-}11)$$

حيث $X_3$ هى نسبة جفاف مخلوط البخار .

**٢- بعمل موازنه حراريه :** الحرارة الكلية الموجوده فى كل نوع بخار على حده قبل عملية الخلط تساوي الحراره الكلية الموجودة فى البخار الناتج عن عملية الخلط .



obeikandl.com

$$m_1 (i'_1 + X_1 L_1) + m_2 (i'_2 + X_2 L_2) = (m_1 + m_2)(i_3 + X_3 L_3) \quad (8\text{-}12)$$

وتحل المعادلتين السابقتين بطريقة الصواب والخطأ للوصول الى درجة الحرارة المطلوبه مع استخدام جداول البخار .

**ثالثا: مخلوط من البخار والهواء :**

ويستخدم فى هذه الحالة قانون دالتون للضغوط الجزئيه والتى سبق شرحها . فاذا اريد معرفة وزن الهواء الموجود فى مخلوط من البخار والهواء وفرض ان درجة حرارة المخلوط معلومه لدينا ، فتكون الخطوات كالآتى :-

١- انظر جداول البخار تحت درجة حرارة المخلوط ويكون الضغط المقابل هو الضغط الجزئى للبخار .

٢- يحسب الضغط الجزئى للهواء كالآتى :
الضغط الجزئى للهواء = الضغط الكلى للمخلوط - ضغط البخار الجزئى (المقابل لدرجة حرارة التشبع ) .

٣- وزن الهواء فى المخلوط يمكن حسابه من القانون العام للغازات .

$$PV = m.R.T. \quad (8\text{-}13)$$

حيث :

| | | |
|---|---|---|
| P | = | الضغط الجزئى للهواء |
| m | = | وزن الهواء فى المخلوط |
| T | = | درجة حرارة المخلوط |

## القيزانات البخاريه : STEAM BOILERS

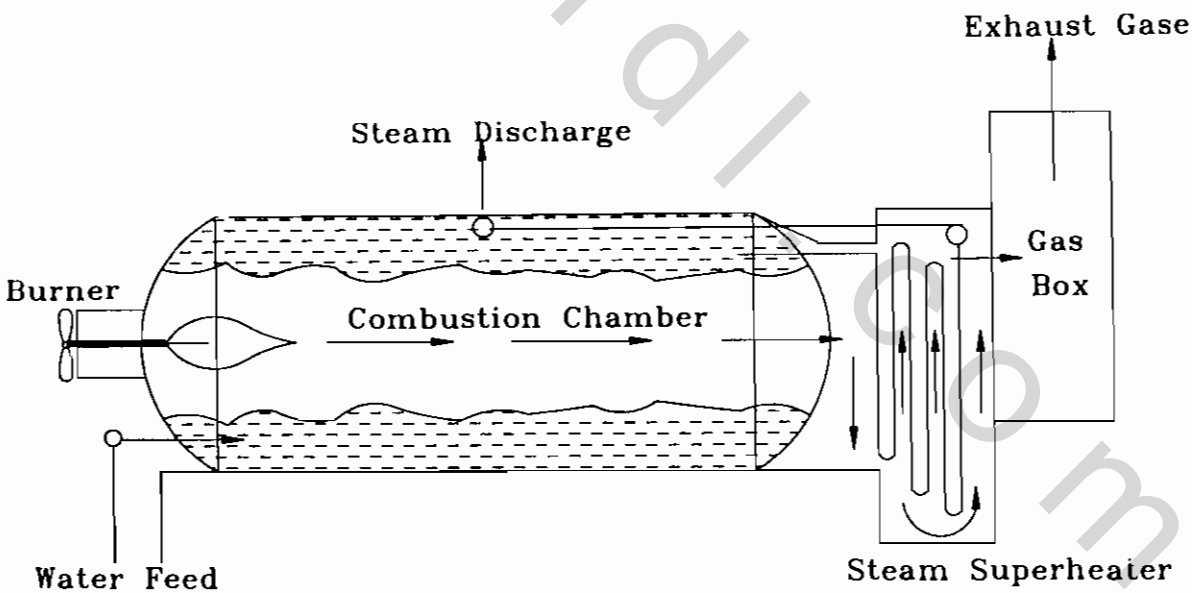
الغلايه او القيزان البخارى هى جهاز يستخدم فى توليد البخار تحت ضغط ثابت وتخزينه لاستعماله فى اغراض التسخين او فى توليد القوى المحركه .

ويتكون القيزان عادة من وعاء اسطوانى يسمى بالغلايه يحتفظ بالماء داخله لتوليد البخار منه وتخزينه تحت ضغط ثابت الى حين استخدامه ، وهذا الوعاء متصل بعدة مواسير افقيه أو رأسيه أو على ميل بغرض زيادة سطح التسخين المعرض للغازات الناتجه من احتراق الوقود داخل غرفة الاشتعال .

والقيزانات البخاريه يمكن تقسيمها عامة الى ثلاثة انواع رئيسيه :

١- القيزان الاسطوانى : Tank or Shell Boiler

وهذا النوع من القيزانات يستخدم لتوليد كمية صغيرة من البخار لاغراض التسخين فى المصانع الصغيره ويتكون من اسطوانه تحتوى على ماسورة او عدة مواسير لزيادة سطح التسخين (شكل ٨-٢).



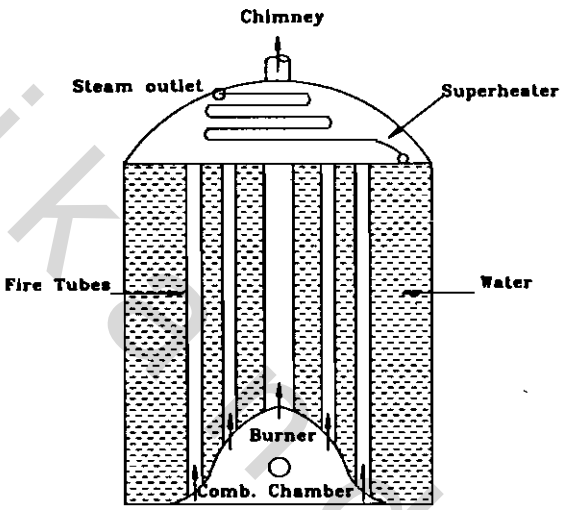

شكل (٨-٢) قطاع فى قيزان اسطوانى



obeikandl.com

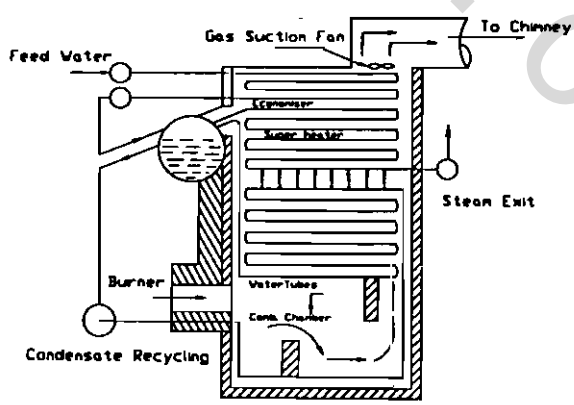
## ٢- القيزانات ذو انابيب اللهب : Fire-Tube Boiler

وهذا النوع من القيزانات (شكل ٨-٣) يتميز بان به عدة مواسير موصله من غرفة الاحتراق الى المدخنه حيث تمر الغازات الناتجه عن الاحتراق وتحيط بهذه المواسير المياه الذى يتولد منها البخار نتيجة لانتقال الحراره من الغازات الساخنه الى المياه خلال جدار المواسير .




شكل (٨-٣) قطاع فى قيزان أنابيب اللهب

## ٣- القيزان ذو انابيب المياه : Water-Tube Boiler

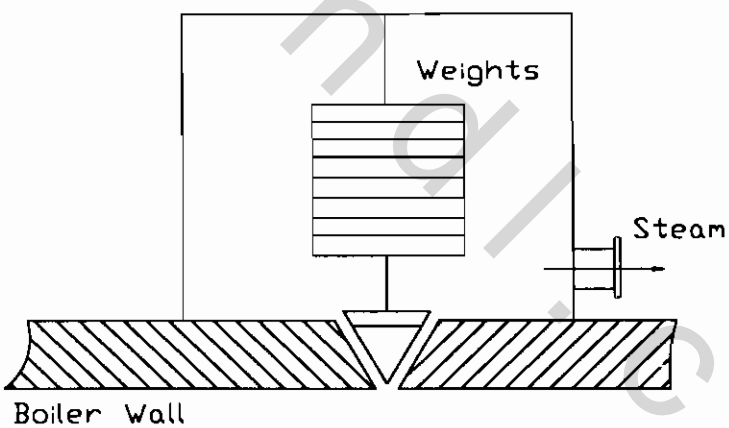



شكل (٨-٤) قطاع فى قيزان أنابيب المياه

وفى هذا النوع من القيزانات يمر الماء داخل شبكة من المواسير التى تعترض طريق مرور غازات الاحتراق الى المدخنه (شكل ٨-٤) . وهذا النوع يستخدم عادة لتوليد كمية كبيرة من البخار ويمكن استعماله فى التسخين او فى توليد القوى المحركه . ويمتاز هذا النوع بكفاءته العاليه فى تحويل كميات كبيرة من الماء الى بخار فى وقت قصير . وحتى يمكن زيادة كفاءة انتقال الحرارة من الغازات الناتجة عن الاحتراق تستخدم عادة مروحة لسحب هذه الغازات فتزيد من سرعة مرور الغازات على مواسير المياه ومواسير البخارالمحمص . ويمكن الاقتصاد فى كمية الوقود المستعمله باستخدام جزء من غازات الاحتراق فى تسخين مياه تغذية القيزان فى مبادل حرارى يسمى بالموفر Economizerوتستخدم طلمبة طاردة مركزيه فى ايجاد حركة مستمره للمياه داخل مواسير توليد البخار .

ولسلامة تشغيل القيزان ولكى يعمل بكفاءه عاليه يجب تزويده ببعض الاجزاء الاضافيه التى تعرف بمتممات القيزان وهى :

١- صمام الأمن **Safty Valve**

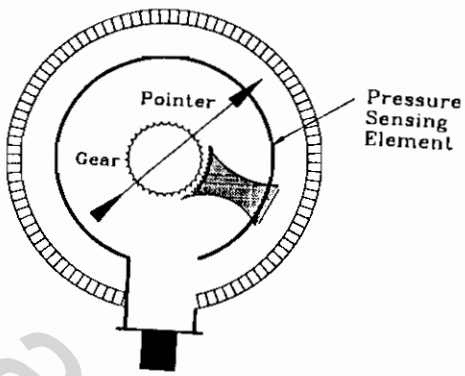



شكل (٨-٥) رسم مبسط لصمام أمن

وفائدته هو حفظ البخار داخل القيزان تحت ضغط معين ثابت بحيث اذا زاد الضغط عن حد معين يفتح الصمام حتى تتسرب كميه من البخار الى خارج القيزان (شكل ٨-٥) حتى لايؤدى ازدياد الضغط الى انفجار الغلايه . ويمكن كذلك بواسطة صمام الامن التحكم فى ضغط البخار وبذلك يمكن تنظيم درجة حرارة البخار اللازم فى

عمليات التسخين . ويظل صمام الامن مغلقا بواسطة ثقل متحرك فى طرف رافعه او عدة اثقال موضوعه مباشرة فوق الصمام ويوجد عادة صمامان لكل قيزان حتى اذا تعطل واحد يؤدى الآخر وظيفته .

## ٢- مقياس الضغط : Pressure Gauge




شكل (٨-٦) قطاع فى جهاز قياس ضغط البخار

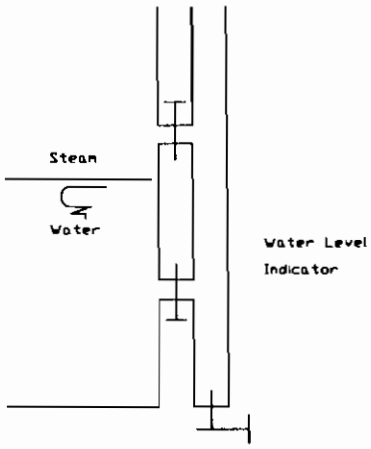
يوضع مقياس الضغط فى الجزء العلوى من الغلايه ليكون متصلا بالبخار المتكون حيث انه يقرأ ضغط البخار . وقراءة المقياس تبين الضغط المانومترى للبخار اى انه يجب اضافة الضغط الجوى للقراءه لمعرفة الضغط المطلق للبخار . وهناك مقاييس للضغط يبدا تدريجها من الضغط الجوى لتعطى مباشرة الضغط المطلق .

ويتكون مقياس الضغط (شكل ٨-٦) من شريط من معدن خاص يتأثر بضغط البخار فيتمدد كلما زاد الضغط وينكمش كلما قل الضغط عليه . وهذا الشريط متصل بواسطة تروس بمؤشر يتحرك فى حركة دائريه على قرص به تدريج .



obeikandl.com

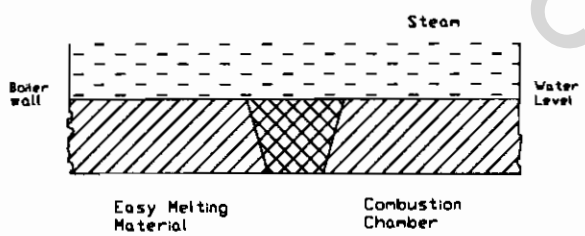
### ٣- زجاجة البيان : Water Level Indicator




شكل (٨-٧) زجاجة البيان

وتعمل بنظرية الاوانى المستطرقه وفائدتها بيان مستوى المياه فى وعاء القيزان وهى متصله بواسطة محابس بالجزء الذى يوجد به البخار والآخر بالجزء الذى يوجد به الماء (شكل ٨-٧) . وفى حالة ما اذا كسرت زجاجة البيان تقفل هذه المحابس حتى لايتسرب الماء والبخار خارج الغلايه . وكذلك تزود كل غلايه بزجاجتين للبيان حتى ما اذا كسرت واحدة يمكن استخدام الاخرى لبيان مستوى المياه .

### ٤- مسمار الأمن Safty Pln



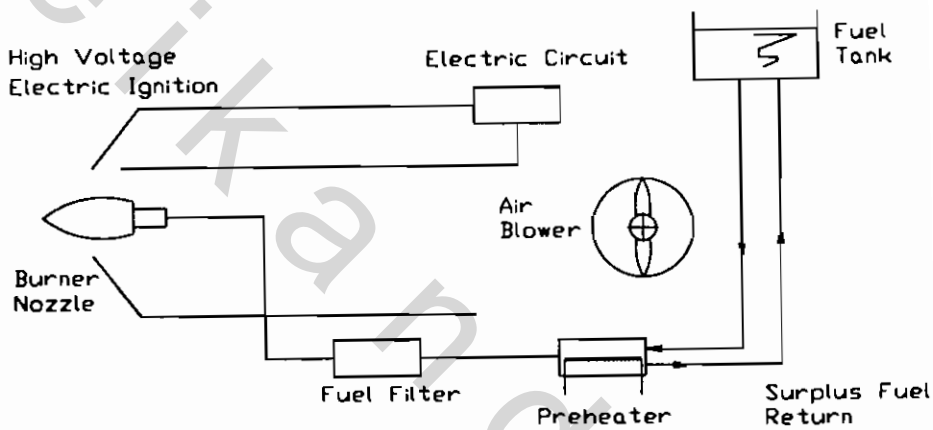

شكل (٨-٨) مسمار الأمن



obeikandl.com

وفائدته ضمان سلامة الغلايه فى حالة ما اذا انخفض مستوى الماء بها . ويوضع عادة فوق غرفة الاحتراق مباشرة وهو مصنوع من مادة سهلة الانصهار مثل الرصاص وطالما كان الماء يغطى طرف المسمار فى وعاء الغلايه فتكون درجة حرارة المسمار اقل من درجة انصهار معدنه حتى اذا انخفض مستوى الماء فى القيزان فيتعرض مسمار الامن (شكل ٨-٨) للحرارة الشديده الموجوده فى البخار زيادة على الحرارة التى يتعرض لها من الغازات الناتجة عن الاحتراق مما يسبب انصهاره واندفاع البخار الى بيت النار لاخماد الحريق متفاديا بذلك تعرض الغلايه للانفجار .

### ٥- جهاز اشعال الوقود (الولاعه ): Fuel Burner

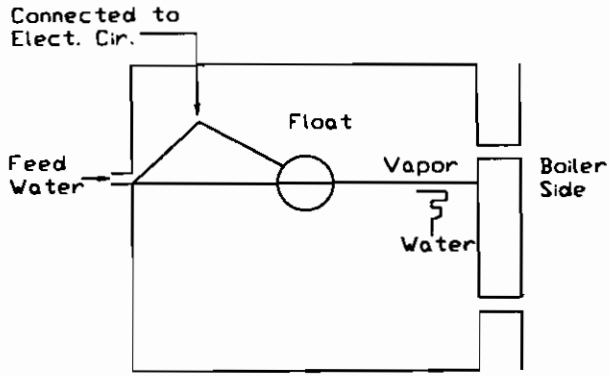



شكل (٨-٩) جهاز اشعال الوقود

هناك طرق متعددة لاشعال الوقود تعتمد اساسا على نوع وطبيعة الوقود فالقيزانات التى تستخدم الفحم تستعمل عادة سير حديدى ناقل يوزع الفحم على سطحه ثم يبدأ فى اشعال الفحم التى تنتقل منه الحرارة الى الشحنات التاليه . وفى مصانع شركة السكر بالجمهوريه تستعمل مصاصه القصب كوقود يتم احتراقه بواسطة اجهزة تلقيم وجنازير ناقله داخل غرفة احتراق القيزان .

ومعظم القيزانات التى تستخدم حاليا تستعمل الوقود السائل فى غرفة الاحتراق بواسطة الولاعه او جهاز الاشعال (شكل ٨-٩). وتتكون الولاعه من طلمبة ذات ازاحة ايجابيه (طلمبة ترسيه) لدفع الوقود الى الرشاش حيث يتحول الوقود السائل الى رزاز عند فوهة الرشاش (الفونيه) التى يوجد بها عدة ثقوب لتسهيل مهمة تفتيت السائل الى جزئيات دقيقه وتوجد مروحة مركبة على عامود موتور طلمبه الوقود ، فائدتها دفع الهواء داخل ماسورة الرشاش لتسهل عملية خلط الهواء برزاز الوقود الذى يشتعل عند حدوث شرارة كهربائية ذات جهد عال .

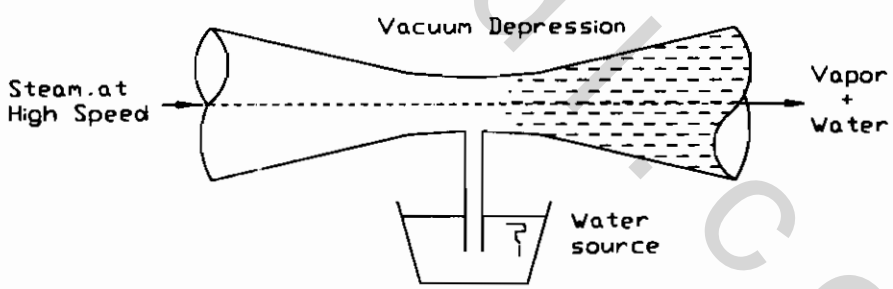
### ٦- العوامه : Float Control




شكل (٨-١٠) العوامه

وفائدتها تزويد الغلايه بالماء اللازم لتوليد البخار أتوماتيكيا عندما ينخفض مستوى الماء عن المنسوب اللازم . وتوجد العوامه فى صندوق متصل بفتحتين أحداهما للبخار والثانيه للماء فى وعاء الغلايه وتتصل رافعة العوامه بدائرة كهربائيه تقوم بتشغيل طلمبة تغذية الغلايه بالمياه وذلك فى حالة انخفاض مستوى الماء بها عن منسوب التشغيل .

### ٧- الشفاط او الحاقن : Water Injector




شكل (٨-١١) الشفاط أو الحاقن

ويستعمل عادة فى حالة توقف طلمبة المياه . وهو عبارة عن ماسورة بها اختناق يمرفيها البخار بسرعة عاليه (شكل ٨-١١) . وتتصل ماسورة المياه بعنق الاختناق الذى تحدث به منطقة ضغط منخفض (خلخلة) نتيجة لسرعة مرور البخار عند الاختناق ، ويتسبب عن ذلك سحب المياه الى داخل الماسوره ويمر مع البخار الى داخل الغلايه للنها .



obeikandl.com

## الحصان البخاري :

تقدر عادة قدرة الغلايه بالحصان البخارى (Boiler H.P.) Boiler Horse Power وهى ليس لها اى علاقه بالحصان الميكانيكى . ويعادل الحصان البخارى لغلاية كمية الحرارة اللازمه لتحويل ٥ر٣٤ رطل من الماء الى بخار فى الساعه الواحدة عند الضغط الجوى العادى (٧ر١٤ رطل/بوصه$^{٢}$) ودرجة حرارة ٢١٢$^{٥}$ف . وقد اتخذت هذه الوحده على اساس انها كمية الحرارة التى تنتج من سطح تبادل حرارى بالغلايه قدره ١٠ قدم مربع فى مدة ساعه واحده .

والحرارة الكامنه لرطل واحد من البخار عند ضغط ٧ر١٤ رطل/البوصه المربعه ودرجة حرارة ٢١٢$^{٥}$ف تساوى ٤ر٩٧٠ B.T.U/Lb .

Boiler H.P = 34.5 x 970.4 = 33479 BTU

وبالوحدات المتريه ، هى كمية الحرارة الناتجة من تحويل ٦٥ر١٥ كجم من الماء الى بخار فى الساعه الواحده عند الضغط الجوى العادى (٠٣ر١ كجم/سم$^{٢}$) ودرجة حرارة ١٠٠$^{٥}$م على اساس انها كمية حرارة تنتج من سطح تبادل حرارى قدره متر مربع فى الساعه .

وبذلك يكون الحصان البخارى بالوحدات المتريه :

Boiler H.P. = 15.65 x 539 = 8435.35 kcal.



obeikandl.com