

المعهد العالي للطاقة  
قسم القوى الميكانيكية

اسم ورقم المقرر  
ديناميكا حرارية (٣)

إعداد  
د.م. محمد محمد حماد

إشراف ومراجعة  
م. علي الأنبعي

الطبعة الأولى

٢٠١٣/٢/١٧

## مقدمة

يسرنا أن نقدم لمتدربي المعهد العالي للطاقة هذا المقرر . وقد تم استخدام النظام

الدولي للوحدات (SI) System International d' unites

واستخدمت اللغة العربية حتى يصبح تتبع الموضوع سهلا على المتدرب مع الاحتفاظ

بالرموز والمصطلحات الإنجليزية ، وبالتالي وضعت جميع المعادلات باللغة الإنجليزية

، وذلك حتى تصبح هذه المعادلات مطابقة لمثيلاتها في المراجع باللغة الإنجليزية .

وقد تم عرض الأسس العلمية للمواضيع وتم ربط الأسس النظرية بالتطبيق العملي .

ختاما نقدم الشكر إلى السيد المهندس / علي الأنبي رئيس القسم على دعمه

وتشجيعه .

والله ولي التوفيق ،،،

# المحتوى

رقم الصفحة

٤

الباب الأول : دورات البخار

٥

١ - دورة كارنو

٨

أمثلة محلولة ١

١٢

٢ - دورة رانكن

أمثلة محلولة ٢

٢٠

٣٤

مسائل للمراجعة

٣٥

الباب الثاني : دورة رانكن المعدلة

٣٥

١ - دورة إعادة التسخين

٣٨

أمثلة محلولة ١

٤١

٢ - دورة الاستنزاف

٤٨

أمثلة محلولة ٢

٩١

مسائل للمراجعة

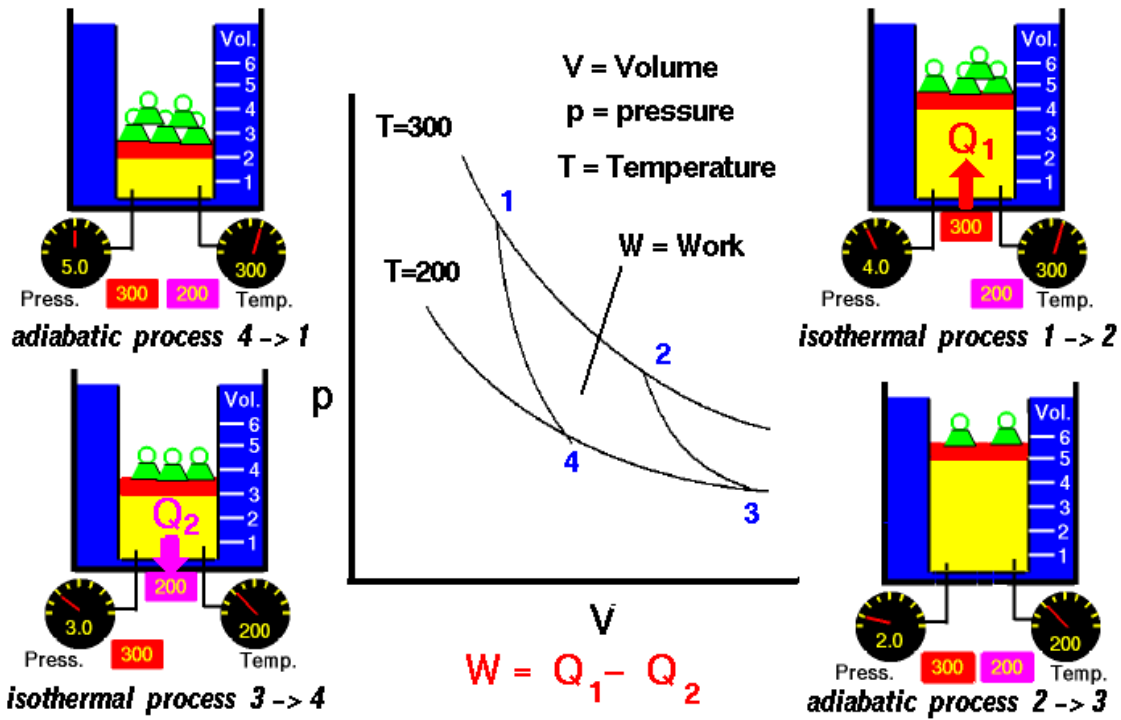
# الباب الأول

## دورات البخار

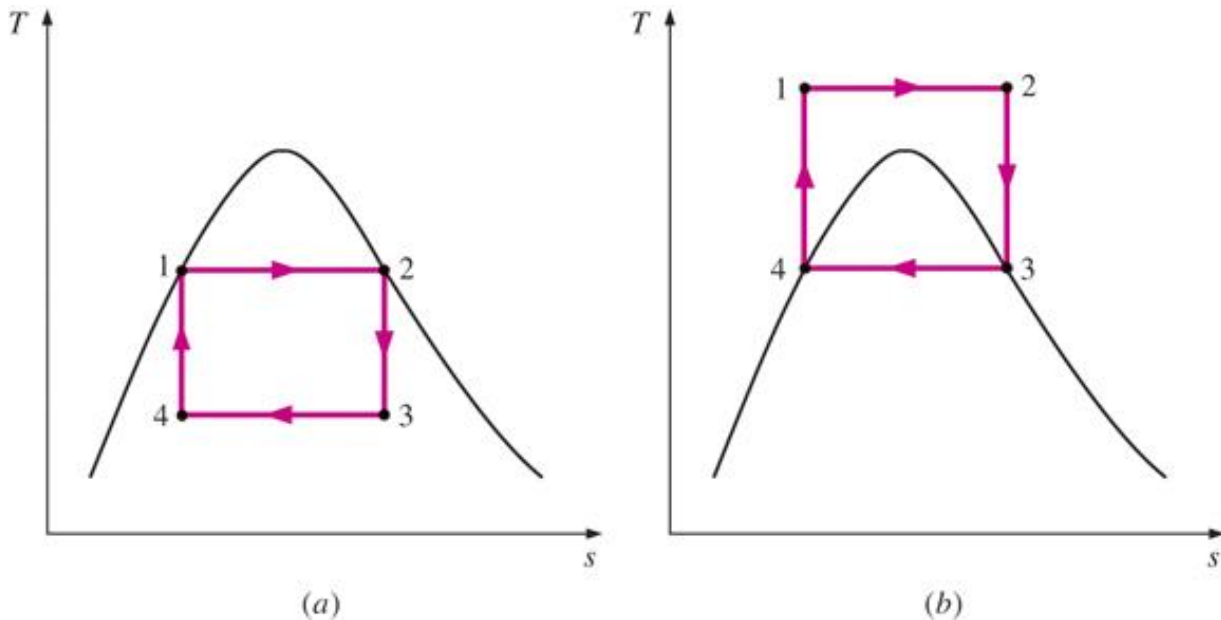
دورات البخار  
Steam Cycles

# Carnot Cycle

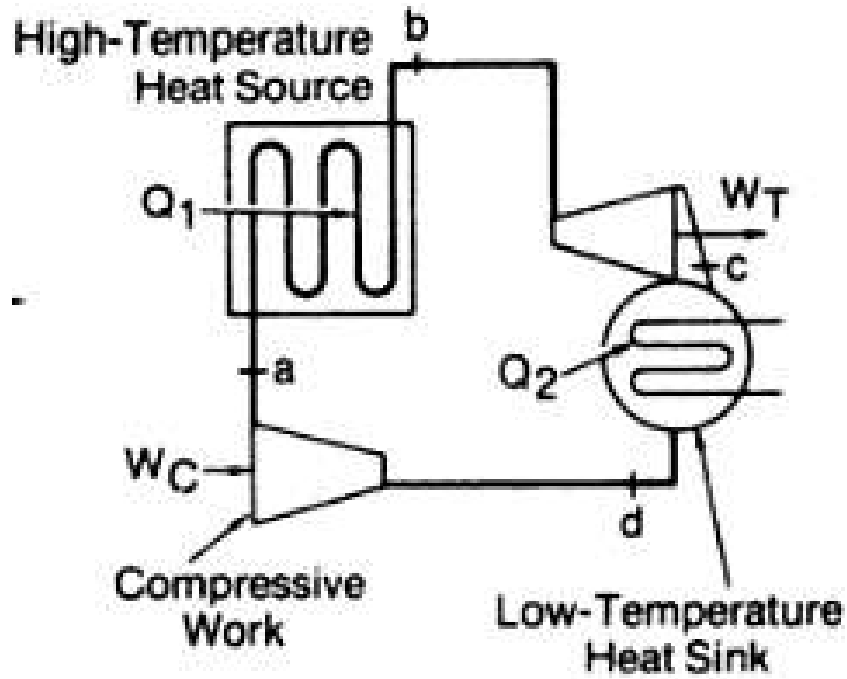
# ١ - ١ دورة كارنو



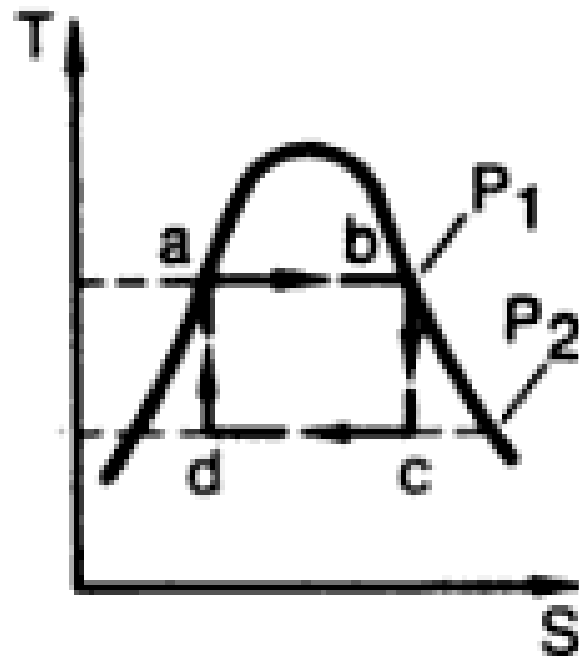
شكل (١-١) رسم تخطيطي لإجراءات دورة كارنو



شكل (١-٢) إجراءات دورة كارنو على منحنى درجة الحرارة والانتروبي



شكل ( ١-٣ ) رسم تخطيطي لوحدة بخارية بسيطة



شكل ( ١-٤ ) إجراءات دورة كارنو على منحنى درجة الحرارة والانتروبي

إجراءات الدورة موضحة بالشكل (١-٤):

إنضغاط عند ثبوت الانتروبي (أديباتيكيا)

d-a Compression at constant entropy (Isentropic)

إضافة حرارة عند ثبوت درجة الحرارة

a-b Heat added at constant temperature (Isothermal)

تمدد عند ثبوت الانتروبي (أديباتيكيا)

b-c Expansion at constant entropy (Isentropic)

طرد حرارة عند ثبوت درجة الحرارة

c-d Heat rejected at constant temperature (Isothermal)

Compressor work ( $w_c$ ) =  $h_2 - h_1$

Turbine work ( $w_t$ ) =  $h_3 - h_4$

Heat added ( $q_a$ ) =  $h_3 - h_2$

Heat rejected ( $q_r$ ) =  $h_4 - h_1$

Net work ( $w_{net}$ ) =  $w_t - w_c$

معادلة الاتزان الحراري لمحطة توليد القدرة البخارية هي:

$$q_a + w_c = q_r + w_t$$

الكفاءة الحرارية لدورة كارنو:

$$\eta_{th} = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}} = \frac{T_3 - T_1}{T_3} = 1 - \frac{T_1}{T_3}$$

where:

$T_{min}$  &  $T_{max}$  in K

من المعادلة السابقة يتضح أن كفاءة دورة كارنو تزداد مع:

أ- زيادة درجة حرارة التشبع في الغلاية

ب- انخفاض درجة حرارة التشبع في المكثف

$$Work\ Ratio = \frac{Net\ Work}{Turbine\ Work}$$

$$Specific\ Steam\ Consumption = \frac{3600}{Net\ Work}$$

عمليا لا يمكن اعتبار دورة كارنو دورة بخارية لمحطة توليد القدرة البخارية وذلك للأسباب التالية:

- 1- صعوبة عملية ضخ البخار الرطب (حيث لا بد من استخدام ضاغط ويحتاج إلى شغل أكبر بكثير من شغل المضخة)، وأيضا لصعوبة إجراء عملي الضخ والتكثيف معا.
- 2- صعوبة عملية التحميص قبل دخول التوربينة (حيث أنه من الصعوبة أن البخار يسخن ويتمدد في نفس الوقت).
- 3- الكفاءة محددة بدرجة حرارة المرجل ودرجة حرارة المكثف وكلاهما محدد (المعدن المصنوع منه المرجل والتوربينة أما المكثف محدد بدرجة حرارة مياه التبريد).
- 4- شغل التوربينة محدد (حيث لا يمكن إجراء التحميص كما ذكر في الفقرة ٢).

أمثلة محلولة ١ :

مثال ( ١ - ١ )

أحسب الكفاءة الحرارية لدورة كارنو إذا علمت أن درجة حرارة الدخول للتوربين

( 500C ) ودرجة حرارة البخار الخارج من التوربين ( 21 C ) .

Data :

$$T_{\max} = 500 + 273 = 773 \text{ K}$$

$$T_{\min} = 21 + 273 = 294 \text{ K}$$

Req :

$$\eta_{th} = ?$$

Solution:

$$\eta_{th} = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}} = \frac{773 - 294}{773}$$

$$\therefore \eta_{th} = 61.96$$

مثال (٢-١):

آلة بخارية تعمل بين ضغطي (0.5 bar, 10 bar) وتستخدم بخار مشبع بمعدل استهلاك نوعي (10 kg/kW hr).

احسب:

أ- كفاءة دورة كارنو المثالية

ب- الكفاءة الحقيقية

**Data :**

$$P_c = 0.5 \text{ bar} = 50 \text{ kpa}, \quad P_b = 10 \text{ bar} = 1 \text{ Mpa}, \quad S.S.C = 10 \text{ kg / kW hr}$$

Re q.:

$$1) \eta_c = ? \quad 2) \eta_a = ?$$

**Solution :**

*From Steam Table, At  $P_c = 50 \text{ kpa}$*

$$T_1 = 81.33 \text{ C} = 354.33 \text{ K}, \quad h_1 = h_f = 340 \text{ kJ / kg}$$

*From Steam Table, At  $P_b = 1 \text{ Mpa}$*

$$T_3 = 179.91 \text{ C} = 452.91 \text{ K}, \quad h_3 = h_g = 2778.1 \text{ kJ / kg}$$

$$a) \eta_c = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = 1 - \frac{354.33}{452.91} = 0.218$$

$$b) \because S.S.C = \frac{3600}{w_{net}} \Rightarrow w_{net} = \frac{3600}{S.S.C}, \quad q_a = h_3 - h_2$$

$$\therefore \eta_a = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{3600}{S.S.C(h_3 - h_2)} = \frac{3600}{10(2778.1 - 340)}$$

$$\therefore \eta_a = 0.148$$

مثال (٣-١):

دورة كارنو، تعمل بمعدل سرعان ثابت للبخار كمائع تشغيل، وكانت كمية الحرارة المضافة (1000 kJ/min). أثناء إجراء إضافة الحرارة تحول مائع التشغيل من ماء مشبع إلى بخار مشبع عند درجة حرارة (300 C). الحرارة المطروقة عند درجة حرارة (60 C).

احسب:

- 1- كسر الجفاف عند بداية ونهاية إجراء طرد الحرارة.
- 2- معدل سرعان البخار.
- 3- الكفاءة الحرارية للدورة.
- 4- القدرة المتولدة.

**Data :**

$$Q_a = 1000 \text{ kJ / min}, T_b = 300 \text{ C} = 573 \text{ K}, T_c = 60 \text{ C} = 333 \text{ K}$$

**Req Steam Table.:**

$$1) X_1, X_4 \quad 2) \dot{m}_s \quad 3) \eta_{th} \quad 4) Power$$

**Solution :**

**From Steam Table, At  $T_b = 300 \text{ C}$  :**

$$S_1 = S_2 = 3.2534 \text{ kJ / kgK}, S_3 = S_4 = 5.7045 \text{ kJ / kgK}, h_{fg} = 1404.9 \text{ kJ / kg}$$

**From Steam Table, At  $T_c = 60 \text{ C}$  :**

$$S_f = 0.8312 \text{ kJ / kgK}, S_g = 7.9096 \text{ kJ / kgK}$$

$$1) X_1 = \frac{S_1 - S_f}{S_g - S_f} = \frac{3.2534 - 0.8312}{7.9096 - 0.8312} = 0.343$$

$$X_4 = \frac{S_4 - S_f}{S_g - S_f} = \frac{5.7045 - 0.8312}{7.9096 - 0.8312} = 0.688$$

$$2) Q_a = \dot{m}_s \times h_{fg} \Rightarrow \dot{m}_s = \frac{Q_a}{h_{fg}} = \frac{1000}{1404.9} \Rightarrow \dot{m}_s = 0.712 \text{ kg / min}$$

$$3) \eta_{th} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}} = 1 - \frac{333}{573} \Rightarrow \eta_{th} = 41.88\%$$

$$4) \eta_{th} = \frac{Power}{Q_a} \Rightarrow Power = \eta_{th} \times Q_a = .4188 \times \frac{1000}{60}$$

$$\therefore Power = 6.98 \text{ kW}$$

مثال (٤-١):

محطة بخارية تعمل طبقاً لدورة كارنو، بمعدل سريان للبخار (50 kg/min). درجة حرارة المصدر (350 C) وأثناء إجراء إضافة الحرارة يتحول الماء المشيع إلى بخار مشيع جاف. كفاءة الدورة (25 %)

احسب:

-1 ضغط المكثف.

-2 القدرة المتولدة.

**Data :**

$$\dot{m} = 50 \text{ kg / min}, \quad T_b = 350 \text{ C} = 623 \text{ K}, \quad \eta_c = 0.25$$

**Req.:**

1)  $P_c$ ,      2) *Power*

**Solution :**

$$1) \eta_c = 1 - \frac{T_c}{T_b} \Rightarrow 0.25 = 1 - \frac{T_c}{623}$$

$$T_c = 467.25 \text{ K} = 194.25 \text{ C}$$

*From Steam Table, At  $T_c = 194.25 \text{ C} \Rightarrow P_c = 1.4 \text{ Mpa}$*

*2) From Steam Table, At  $T_b = 350 \text{ C} \Rightarrow h_{fg} = 893.4 \text{ kJ / kg}$*

$$\because \eta_c = \frac{\text{Power}}{Q_a} \Rightarrow \text{Power} = \eta_{th} \times Q_a, \quad Q_a = \dot{m} \times h_{fg}$$

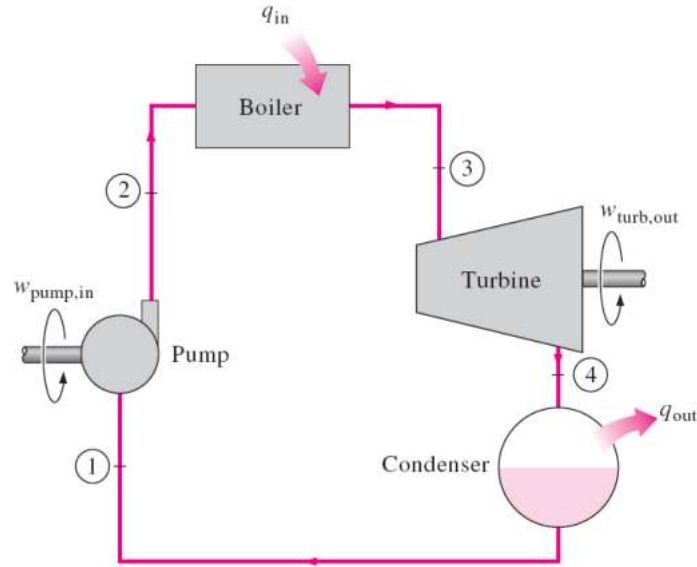
$$\text{Power} = 0.25 \times 893.4 \times \frac{50}{60} \Rightarrow \text{Power} = 186.11 \text{ kW}$$

## 2- Rankine Cycle

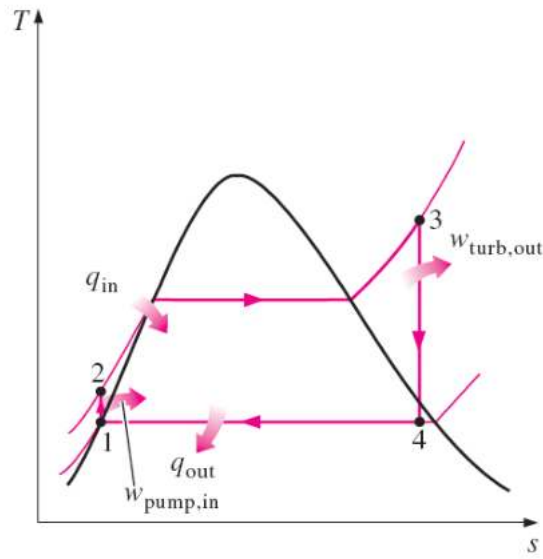
## ١-٢- دورة رانكن

نظرا لعدم صلاحية دورة كارنو كدورة بخارية، أدى ذلك إلى ظهور دورة رانكن التي يمكن اعتبارها دورة بخارية مثالية لمحطة توليد القدرة البخارية.

للحصول على دورة رانكن الموضحة بالشكل (٢-٣)، يستمر تكثيف البخار حتى نصل إلى حالة الماء المشبع (نقطة ١) وبالتالي تكون عملية الضخ للماء فقط (يمكن استخدام مضخة). ويمكن أيضا تحميص البخار عند ثبوت الضغط.



شكل (١-٥) محطة بخارية بسيطة



شكل (٦-١) إجراءات دورة رانكن

### إجراءات الدورة :

- ١-٢ انضغاط عند ثبوت الإنتروبي ( في المضخة ) .
- 1-2 Compression at constant entropy ( in pump )
- ٢-٣ إضافة حرارة عند ثبوت الضغط ( في المرجل ) .
- 2-3 Heat added at constant pressure ( in Boiler )
- ٣-٤ تمدد عند ثبوت الإنتروبي ( في التوربينة )
- 3-4 Expansion at constant entropy ( in turbine )
- ٤-١ طرد حرارة عند ثبوت الضغط ( في المكثف )
- 4-1 Heat rejected at constant pressure ( in condenser )

١) تعتبر دورة البخار السابقة دورة مغلقة وذلك لان المتكاثف يتم ضغطه إلى الغلاية حيث يتم تحويله إلى بخار محمص ليتمدد في التوربينة ثم يتكاثف ويتم ضغطه إلى الغلاية مرة أخرى وهكذا.

٢) هناك بعض المفقودات من البخار خلال الدورة وهناك أيضا جزء من البخار يذهب إلى الأجزاء المساعدة في المحطة ولذلك توجد خزانات مياه التعويض لتعويض النقص الذي يحدث في المياه نتيجة للأسباب السابقة.

٣) يتم تبريد المكثف عن طريق مياه البحر حيث تمر مياه البحر خلال أنابيب المكثف ويمر البخار الخارج من التوربين حول الأنابيب فيفقد حرارته ويتحول إلى متكاثف وبذلك ترتفع درجة حرارة مياه البحر ويتم طردها مرة أخرى إلى البحر ، ولذلك يجب أن تكون المحطات البخارية بجوار مصادر مائية لسهولة عملية التكثيف ولكن إذا كانت المياه غير متوفرة بجوار المحطة فلا بد من استخدام أبراج التبريد وذلك لتبريد المياه الخارجة من المكثف وإعادتها مرة أخرى لتكثيف البخار وتكون دورة التبريد مغلقة .

٤) في محطات توليد الطاقة نلاحظ وجود ثلاث دوائر أساسية

أ- دورة الهواء والوقود : **Air & Fuel Cycle**

وفيها يتم سحب الهواء عن طريق مراوح ويتم تسخينه عن طريق مسخن الهواء الدوار والمسخن البخاري وبعد تسخينه يدخل الفرن ليختلط بالوقود ( سائل أو غاز ) وتتم عملية الاحتراق ثم تخرج غازات نواتج الاحتراق بعد مرورها على المحمص الابتدائي والمحمص الثانوي والموفر ومسخن الهواء إلى الجو عن طريق المدخنة .

ب - دورة البخار **Steam Cycle**

يخرج البخار المحمص من المحمص الثانوي إلى التوربين البخاري حيث يتمدد داخله

( تتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية ) ويخرج البخار من التوربين إلى المكثف ليتم تكثيفه ويتجمع في بئر المياه الساخنة وتضغطه المضخة إلى الغلاية مرة أخرى .

ج- دورة مياه تبريد للمكثف: **Condenser Cooling Water Cycle**

تمر مياه التبريد داخل أنابيب المكثف لتأخذ الحرارة من البخار وتطردها مرة أخرى.

$$w_t = h_3 - h_4$$

$$w_p = h_2 - h_1$$

$$w_{net} = W_t - W_c$$

$$q_a = h_3 - h_2$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a}$$

$$S.S.C = \frac{3600}{w_{net}} \text{ kg / kW hr}$$

$$Power = m_{steam} \times w_{net} \text{ kW}$$

$$S.H.R = S.S.C \times q_a = \frac{3600}{\eta_{th}}$$

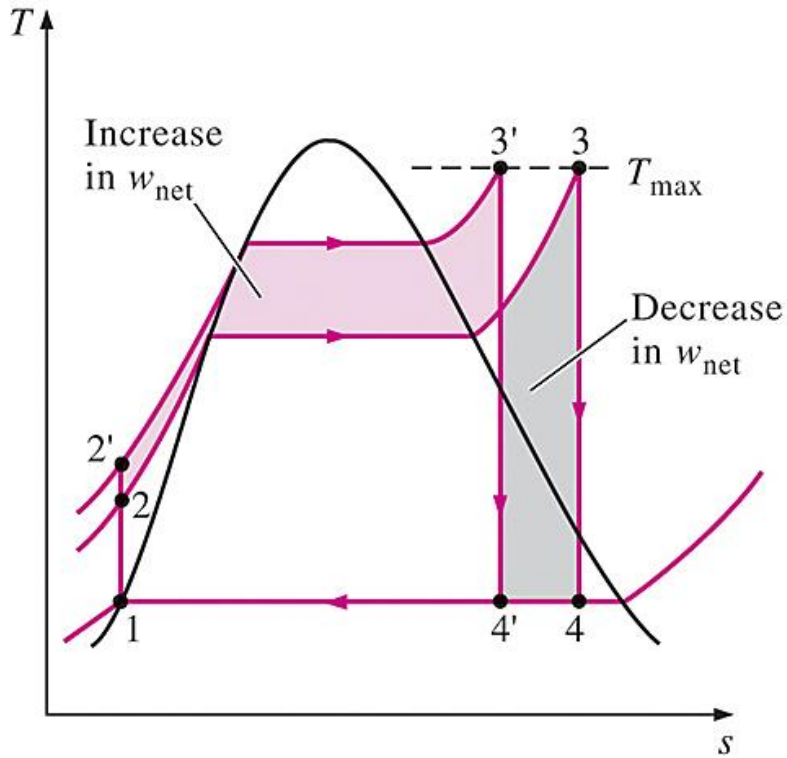
علميا تتراوح قيمة المعدل النوعي للحرارة ((S.H.R = 12 – 18 Mj/kW hr) وتتراوح قيمة

الاستهلاك النوعي للبخار (2- 4 kg/kW hr)

## ٣-٢ تأثير محددات البخار على أداء الدورة البخارية:

المحددات الأساسية للبخار والتي تؤثر على أداء الدورة البخارية هي: ضغط المرجل، ضغط المكثف، ودرجة حرارة التحميص عند دخول التوربينة.

### ١-٣-٢ تأثير ضغط المرجل Effect of boiler pressure



شكل (١-٧) تأثير ضغط المرجل

في الشكل (١-٧) نفرض أن ضغط المكثف ثابت ودرجة حرارة التحميص عند دخول التوربينة أيضا ثابتة. ونزيد ضغط المرجل من  $P_b$  إلى  $P_b$

نلاحظ أن شغل التوربينة يزداد بزيادة ضغط المرجل وبالتالي تزداد الكفاءة الحرارية.

الجدول التالي يبين ضغط المرجل والكفاءة الحرارية لدورة رانكن، حيث ضغط المكثف ثابت

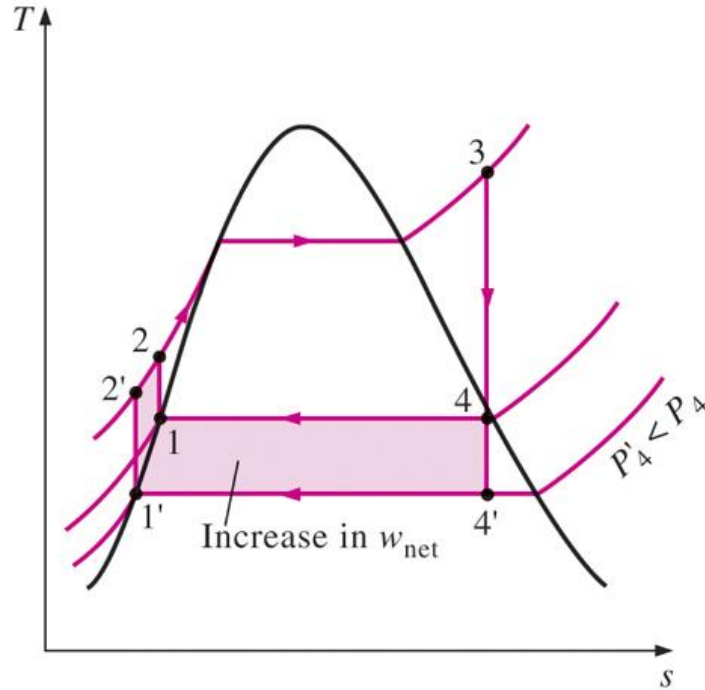
(0.04 bar) ودرجة الحرارة عند مدخل التوربينة (400 C)

$P_b$	bar	20	30	60	100
$\eta_{th}$	%	34.9	36.7	39.4	41.2

يلاحظ من الشكل (٧-١) أن كسر الجفاف يقل مع زيادة ضغط المرجل وثبات كل من ضغط المكثف ودرجة حرارة دخول التوربينة، ويجب معرفة أن كسر الجفاف عند مخرج التوربينة يجب أن لا يقل عن 85% وذلك للزيادة عمر التوربينة لأن زيادة محتوى الرطوبة عند مخرج التوربينة يؤدي إلى تآكل ريش التوربينة.

### Effect of condensation pressure

### ٢-٣-٢ تأثير ضغط التكثيف



### شكل (٨-١) تأثير ضغط التكثيف

في الشكل (٨-١) نفرض أن ضغط المرجل ثابت ودرجة حرارة التخميص عند دخول التوربينة أيضا ثابتة. ونخفض ضغط المكثف من  $P_c$  إلى  $P'_c$ . نلاحظ أن شغل التوربينة يزداد بتقليل ضغط المكثف وبالتالي تزداد الكفاءة الحرارية.

الجدول التالي يبين العلاقة بين ضغط المكثف والكفاءة الحرارية لدورة رانكن، حيث ضغط المرجل

ثابت (30 bar) ودرجة الحرارة عند مدخل التوربينة (400 C)

$P_c$	bar	1	0.1	0.08	0.06	0.04	0.02
$\eta_{th}$	%	25.5	33.9	34.7	35.5	36.7	38.5

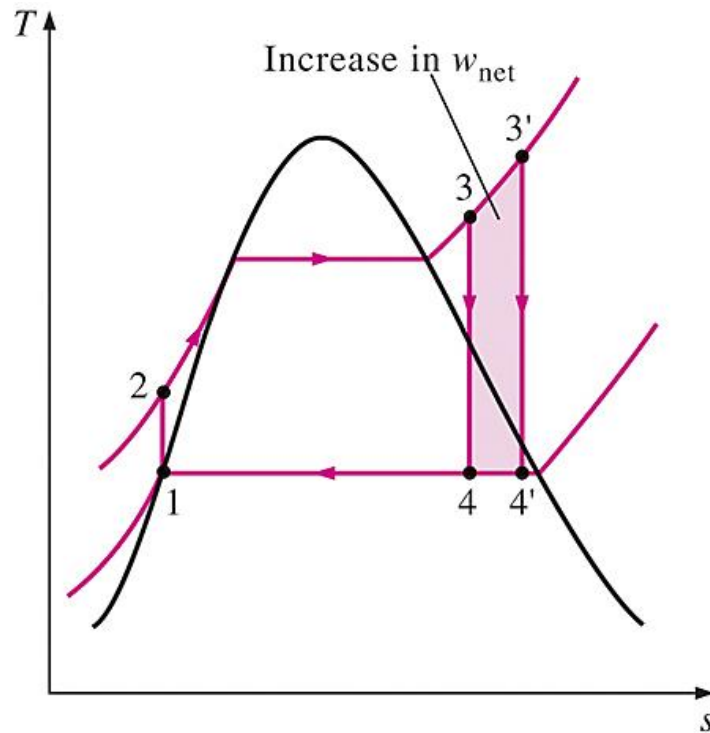
يلاحظ من الشكل (٨-١) أن كسر الجفاف يقل مع تقليل ضغط المكثف وثبات كل من ضغط المرجل ودرجة حرارة دخول التوربينة، ويجب معرفة أن كسر الجفاف عند مخرج التوربينة يجب أن لا يقل

عن 85% وذلك للزيادة عمر التوربينة لأن زيادة محتوى الرطوبة عند مخرج التوربينة يؤدي إلى تآكل ريش التوربينة.

فرق درجات الحرارة الاقتصادي لمياه التبريد بالمكثف يتراوح بين ١١ و ١٤ م

## Effect of super heated

## ٣-٣-٢ تأثير درجة حرارة التحميص temperature



شكل (٩-١) تأثير درجة حرارة التحميص

في الشكل (٩-١) نفرض أن ضغط المكثف ثابت ضغط المرجل أيضا ثابت. ونزيد درجة حرارة

التحميص عند دخول التوربينة من  $t_3$  إلى  $t_3'$

نلاحظ أن شغل التوربينة يزداد بزيادة درجة حرارة التحميص وبالتالي تزداد الكفاءة الحرارية.

الجدول التالي يبين العلاقة بين درجة حرارة التحميص والكفاءة الحرارية لدورة رانكن، حيث ضغط

المكثف ثابت (0.04 bar) وضغط المرجل أيضا ثابت

$T_3$	bar	300	350	400	450	500	550	600
$\eta_{th}$	%	35.2	35.6	36.2	37.0	37.6	38.4	39.2

يلاحظ من الشكل (٩-١) أن كسر الجفاف يزداد مع زيادة درجة حرارة التحميص وثبات كل من

ضغط المكثف وضغط المرجل.

يجب أن تعرف أن زيادة درجة حرارة البخار عند دخول التوربينة من (C 450) إلى (C 550) تعمل على زيادة كفاءة الوحدة البخارية البسيطة حوالي (7%).  
في محطات توليد القدرة البخارية القديمة كانت درجة حرارة البخار عند دخول التوربينة تتراوح بين (400,450C). وحاليا تصل إلى (C 550)، ومع تقدم تكنولوجيا إنتاج مكونات التوربينات البخارية نأمل في رفع درجة حرارة البخار إلى (C 600).

### *اختيار المحددات الأساسية للبخار*      *Selection of main steam parameters*

عند اختيار المحددات الرئيسية للدورة البخارية، يجب أن نأخذ في الاعتبار النقاط التالية:

- 1- يجب أن يتراوح كسر الجفاف عند مخرج التوربينة بين 85% و 90% وذلك لتقليل تآكل ريش التوربينة، وخاصة لمرحلة الضغط المنخفض وبالتالي العمل على زيادة العمر الافتراضي للتوربينة.
- 2- يجب أن تكون درجة حرارة البخار عند مدخل التوربينة أقل من درجة الحرارة التي يتحملها معدن ريش التوربينة.
- 3- يجب أن تكون درجة تكثيف البخار أكبر من درجة حرارة مياه التبريد (مياه البحر) بحوالي (C 10-15).

أمثلة محلولة ٢ :

مثال (١-٢) :

في دورة رانكن، تستقبل التوربينة البخار المحمص بضغط (2 Mpa) ودرجة حرارة (400 C)، وضغط البخار العادم (4 kpa)، إذا كانت الكفاءة الداخلية للتوربينة (0.8) والكفاءة الميكانيكية للتوربينة (0.98) وكفاءة المولد (0.96). احسب الكفاءة الكلية للوحدة.

**Data :**

$$P_1 = P_4 = P_c = 4 \text{ kPa}, \quad P_2 = P_3 = P_b = 2 \text{ Mpa}, \quad T_3 = 400 \text{ C}$$

$$\eta_t = 0.8, \quad \eta_{mt} = 0.98, \quad \eta_g = 0.96$$

**Re q. :**

**Total Efficiency ( $\eta_o$ )**

**Solution :**

**From Steam Table, At 4 kPa :**

$$v_f = 0.001004 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$h_f = 121.46 \text{ kJ} / \text{kg} \quad h_g = 2554.4 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$s_f = 0.4226 \text{ kJ} / \text{kgK} \quad s_g = 8.4746 \text{ kJ} / \text{kgK}$$

$$h_1 = h_f = 121.46 \text{ kJ} / \text{kg}, \quad w_p = v_f (P_2 - P_1)$$

$$w_p = 0.001004 (2000 - 4) = 2 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_p = 121.46 + 2 = 123.46 \text{ kJ} / \text{kg}$$

**From Steam Table, At 2 Mpa, 400 C :**

$$h_3 = 3247.6 \text{ kJ} / \text{kg} \quad s_3 = 7.1271 \text{ kJ} / \text{kgK}$$

$$\therefore s_3 = s_4 \Rightarrow s_4 = 7.1271 \text{ kJ} / \text{kgK}$$

$$\therefore s_4 < s_g \quad \therefore \text{Point 4 is wet steam}$$

$$X_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{7.1271 - 0.4226}{8.4746 - 0.4226} = 0.833$$

$$h_4 = h_f + X_4 (h_g - h_f) = 121.46 + 0.833 (2554.4 - 121.46) \\ = 2148 \text{ kJ} / \text{kg}$$

$$w_t = h_3 - h_4 = 3247.6 - 2148 = 1099.6 \text{ kJ / kg}$$

$$w_{net} = w_t - w_p = 1099.6 - 2 = 1097.6 \text{ kJ / kg}$$

$$q_a = h_3 - h_2 = 3247.6 - 123.46 = 3124.14 \text{ kJ / kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1097.6}{3124.14} = 0.35$$

$$\begin{aligned} \eta_o &= \eta_{th} \times \eta_{mt} \times \eta_t \times \eta_g \\ &= 0.35 \times 0.98 \times 0.8 \times 0.96 = 0.264 \end{aligned}$$

مثال ( ٢-٢ ):

احسب الكفاءة الحرارية ومعدل الاستهلاك النوعي للبخار لدورة رانكن تستخدم بخار محمص وتعمل بين ضغطين ( 0.04 bar , 30 bar ) وأعلى درجة حرارة للبخار المحمص ( 300 C )  
أحسب أيضا كمية الماء اللازمة كل ساعة لتكثيف البخار إذا كان الارتفاع في درجة حرارة المكثف ( 10 C ) علما بأن القدرة المتولدة ( 4 MW ) .

**Data:**

$$P_3 = 30 \text{ bar} = 3 \text{ Mpa}$$

$$T_3 = 300 \text{ C}$$

$$P_4 = 0.04 \text{ bar} = 4 \text{ MPa}$$

$$\Delta T_w = 10 \text{ C}$$

$$\text{Power} = 4 \text{ MW}$$

**Req:**

$$\eta_{th} = ?$$

$$\text{S.S.C} = ?$$

$$m_w = ?$$

**Solution:**

From steam table at 3 MPa & 300 C :

$$\therefore h_3 = 2993.5 \text{ Kj/Kg}$$

$$s_3 = 6.539 \text{ Kj/Kg}$$

From steam tables at P = 4 KPa :

$$h_f = 121.46 \text{ Kj/Kg} \quad h_g = 2554.4 \text{ Kj/Kg}$$

$$s_f = 0.4226 \text{ Kj/Kg} \quad s_g = 8.4746 \text{ Kj/Kg}$$

$$\therefore s_3 = s_4 = 6.539 \text{ Kj/Kg}$$

$$X_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.539 - 0.4226}{8.4746 - 0.4226} = .76$$

$$X_4 = 0.76$$

$$\therefore h_4 = h_f + X_4 ( h_g - h_f )$$

$$\begin{aligned} \therefore h_4 &= 121.46 + 0.74 ( 2554.4 - 121.46 ) \\ &= 1970.49 \text{ Kj}\backslash\text{Kg} \end{aligned}$$

$$h_1 = h_f \quad \text{at 4 KPa}$$

$$\therefore h_1 = 121.46 \text{ Kj}\backslash\text{Kg}$$

$$\therefore W_p = h_2 - h_1 = v_f ( P_2 - P_1 ) * 100$$

$$\begin{aligned} \therefore h_2 &= h_1 + V_f ( P_2 - P_1 ) \\ &= 121.46 + 0.001 ( 3000 - 4 ) = 124.46 \text{ Kj}\backslash\text{Kg} \end{aligned}$$

$$\therefore w_t = h_2 - h_1 = 124.46 - 121.46 = 3 \text{ Kj}\backslash\text{Kg}$$

$$w_t = h_3 - h_4 = 2993.5 - 1970.5 = 1023 \text{ Kj}\backslash\text{Kg}$$

$$w_{net} = w_t - w_p = 1023 - 3 = 1020 \text{ Kj}\backslash\text{Kg}$$

$$q_a = h_3 - h_2 = 2993.5 - 124.46 = 2869 \text{ Kj}\backslash\text{Kg}$$

مثال (٢-٣)

احسب الكفاءة الحرارية لدورة رانكن المثالية إذا علمت أن ضغط البخار عند دخول التوربينة 6 MPa ودرجة حرارته 350°C وضغط المكثف 10 kPa .

$$P_2 = P_3 = 6 \text{ MPa} \quad T_3 = 350^\circ\text{C}$$

$$P_1 = P_4 = 10 \text{ kPa}$$

$$[ h_3 = h_g \text{ at } 6 \text{ MPa} = 3043 \text{ kJ/kg} ]$$

$$[ s_3 = s_g \text{ at } 6 \text{ MPa} = 6.3335 \text{ kJ/(kg K)} ]$$

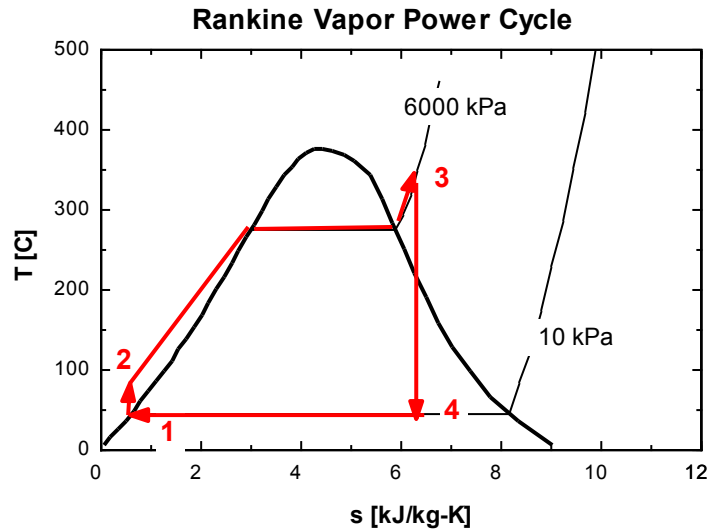
$$[ h_1 = h_f \text{ at } 10 \text{ kPa} = 191.83 \text{ kJ/kg} ]$$

$$[ v_1 = v_f \text{ at } 10 \text{ kPa} = 0.00101 \text{ m}^3/\text{kg} ]$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_{pump} = \dot{m}_2 h_2$$

$$\dot{W}_{pump} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$



$$\begin{aligned} w_{pump} &= v_1 (P_2 - P_1) \\ &= 0.00101 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} (6000 - 10) \text{ kPa} \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \text{ kPa}} \\ &= 6.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Now,  $h_2$  is found from

$$\begin{aligned}
 h_2 &= w_{pump} + h_1 \\
 &= 6.05 \frac{kJ}{kg} + 191.83 \frac{kJ}{kg} \\
 &= 197.88 \frac{kJ}{kg}
 \end{aligned}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}$$

$$\dot{m}_2 h_2 + \dot{Q}_{in} = \dot{m}_3 h_3$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}(h_3 - h_2)$$

$$\begin{aligned}
 q_{in} &= \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_3 - h_2 \\
 &= (3004.3 - 197.88) \frac{kJ}{kg} \\
 &= 2806.4 \frac{kJ}{kg}
 \end{aligned}$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}$$

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{W}_{turb} + \dot{m}_4 h_4$$

$$\dot{W}_{turb} = \dot{m}(h_3 - h_4)$$

$$\text{at } P_4 = 10 \text{ kPa: } s_f = 0.6483 \frac{kJ}{kg}; s_g = 8.1502 \frac{kJ}{kg}$$

is  $s_4 < s_f$  ?

is  $s_f < s_4 < s_g$  ?

is  $s_g < s_4$  ?

$$s_4 = s_f + x_4 s_{fg}$$

$$x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.335 - 0.6493}{7.5009} = 0.758$$

$$h_4 = h_f + x_4 h_{fg}$$

$$= 191.83 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 0.758(2584.7 - 191.83) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 2005.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

The turbine work per unit mass is

$$w_{turb} = h_3 - h_4$$

$$= (3004.3 - 2005.63) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 998.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

The net work done by the cycle is

$$w_{net} = w_{turb} - w_{pump}$$

$$= (998.7 - 6.05) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 992.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

The thermal efficiency is

$$\begin{aligned}\eta_{th} &= \frac{w_{net}}{q_{in}} \\ &= \frac{992.6 \frac{kJ}{kg}}{2806.4 \frac{kJ}{kg}} \\ &= 0.354 \text{ or } 35.4\%\end{aligned}$$

مثال (٤-٢):

احسب كفاءة دورة رانكن، إذا كان دخول التوربينة بخار مشبع بضغط (10 bar)، ووضعت البخار العادم (30 kpa)، وكسر الجفاف عند الخروج من التوربينة (0.82).

**Data :**

$$P_b = 10 \text{ bar} = 1 \text{ Mpa} (\text{ Saturated Steam }), \quad P_c = 30 \text{ kpa}$$

$$X_4 = 0.82$$

**Re q. :**

**Rankine Efficiency ( $\eta_R$ )**

**Solution :**

**From Steam Table, At 30 kPa :**

$$v_f = 0.001022 \text{ m}^3 / \text{ kg}$$

$$h_f = 289.23 \text{ kJ} / \text{ kg} \quad h_g = 2625.3 \text{ kJ} / \text{ kg}$$

$$s_f = 0.9439 \text{ kJ} / \text{ kgK} \quad s_g = 7.7686 \text{ kJ} / \text{ kgK}$$

$$h_1 = h_f = 289.23 \text{ kJ} / \text{ kg}, \quad w_p = v_f (P_2 - P_1)$$

$$w_p = 0.001022(1000 - 30) = 0.99 \text{ kJ} / \text{ kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_p = 289.23 + 0.99 = 290.22 \text{ kJ} / \text{ kg}$$

**From Steam Table, At 1 Mpa,**

$$h_3 = h_g = 2778.1 \text{ kJ} / \text{ kg}$$

$$h_4 = h_f + X_4 (h_g - h_f) = 289.23 + 0.82(2625.3 - 289.23) \\ = 2204.8 \text{ kJ} / \text{ kg}$$

$$w_t = h_3 - h_4 = 2778.1 - 2204.8 = 573.3 \text{ kJ} / \text{ kg}$$

$$w_{net} = w_t - w_p = 573.3 - 0.99 = 572.31 \text{ kJ} / \text{ kg}$$

$$q_a = h_3 - h_2 = 2778.1 - 290.22 = 2487.88 \text{ kJ} / \text{ kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{572.31}{2487.88} \Rightarrow \eta_{th} = 23\%$$

مثال (٥-٢):

في محطة بخارية بسيطة تعمل طبقاً لدورة رانكن، تستقبل التوربين البخار المحمص بضغط (3 Mpa) ودرجة حرارة (400 C)، ويتمدد أديباتيكياً حتى ضغط المكثف، ويخرج المتكاثف من المكثف ماء مشبع درجة حرارته (30 C)، إذا علمت أن معدل استهلاك البخار (18000 kg/hr)، والارتفاع في درجة حرارة مياه التبريد (10 C).

احسب:

١- الكفاءة الحرارية للوحدة.

٢- قدرة الوحدة.

٣- معدل سريان مياه التبريد.

**Data :**

$$P_2 = P_3 = P_b = 3 \text{ Mpa}, \quad T_3 = 400 \text{ C}$$

$$T_1 = T_4 = 30 \text{ C}, \quad \dot{m}_s = 18000 \text{ kg / hr}, \quad \Delta T_w = 10 \text{ C}$$

**Re q. :**

1 – Thermal Efficiency ( $\eta_{th}$ )

2 – Power

3 –  $\dot{m}_w$

**Solution :**

**From Steam Table, At 30 C :**

$$v_f = 0.001004 \text{ m}^3 / \text{kg}, \quad p_c = 4.246 \text{ kpa}$$

$$h_f = 125.79 \text{ kj / kg} \quad h_g = 2556.3 \text{ kj / kg}$$

$$s_f = 0.4369 \text{ kj / kgK} \quad s_g = 8.4533 \text{ kj / kgK}$$

$$h_1 = h_f = 125.79 \text{ kj / kg}, \quad w_p = v_f (P_2 - P_1)$$

$$w_p = 0.001004(3000 - 4.246) = 3 \text{ kj / kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_p = 125.79 + 3 = 128.79 \text{ kj / kg}$$

**From Steam Table, At 3 Mpa, 400 C :**

$$h_3 = 3230.9 \text{ kj / kg} \quad s_3 = 6.9212 \text{ kj / kgK}$$

$$\because s_3 = s_4 \Rightarrow s_4 = 6.9212 \text{ kj / kgK}$$

$\because s_4 < s_g \quad \therefore \text{point 4 is wet steam}$

$$X_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.9212 - 0.4369}{8.4533 - 0.4369} = 0.809$$

$$h_4 = h_f + X_4(h_g - h_f) \\ = 125.79 + 0.809(2556.3 - 125.79) = 2092.07 \text{ kJ / kg}$$

$$w_t = h_3 - h_4 = 3230.9 - 2092.07 = 1138.83 \text{ kJ / kg}$$

$$w_{net} = w_t - w_p = 1138.83 - 3 = 1135.83 \text{ kJ / kg}$$

$$q_a = h_3 - h_2 = 3230.9 - 128.79 = 3102.11 \text{ kJ / kg}$$

$$1 - \eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1135.83}{3102.11} \times 100 \Rightarrow \eta_{th} = 36.61\%$$

$$2 - \text{Power} = \dot{m}_s \times w_{net} = \frac{18000}{3600} \times 1135.83 = 5679.15 \text{ kW}$$

3 - heat loss from steam = heat gain to cooling water

$$\dot{m}_s(h_4 - h_1) = \dot{m}_w \times C_{p_w} \times \Delta T_w$$

$$\frac{18000}{3600} (2092.07 - 125.79) = \dot{m}_w \times 4.18 \times 10$$

$$\dot{m}_w = 235.2 \text{ kg / s} \quad \text{or : } \dot{m}_w = 846.72 \text{ ton / hr}$$

مثال (٦-٢):

محطتان بخاريتان تعملان طبقاً لدورة رانكن، لهما المواصفات التالية:

المحطة الأولى: يدخل البخار للتوربين بضغط (100 bar)، ومشبع جاف، وضغط المكثف (0.075 bar)

المحطة الثانية: يدخل البخار للتوربين بضغط (40 bar)، ودرجة حرارة (311 C) (درجة حرارة التشبع عند ١٠٠ بار)، وضغط المكثف (0.075 bar)

احسب:

١- كفاءة رانكن لكل محطة.

٢- قارن بين المحطتين من حيث كمية الحرارة المضافة مع افتراض أن شغل التوربين في كل من المحطتين متساوي.

Data :

$$\text{For Plant (1)} \quad P_2 = P_3 = 100 \text{ bar} = 10 \text{ Mpa}, \quad x_3 = 1$$

$$P_4 = 0.075 \text{ bar} = 7.5 \text{ kpa}$$

$$\text{For Plant (2)} \quad P_2 = P_3 = 40 \text{ bar} = 4 \text{ Mpa}, \quad T_3 = 311 \text{ C}$$

$$P_4 = 0.075 \text{ bar} = 7.5 \text{ kpa}$$

Req. :

1- Thermal Efficiency ( $\eta_{th}$ ) For Each Plant

$$2 - \frac{Q_{a_1}}{Q_{a_2}}$$

Solution :

For Plant (1) :

From Steam Table, At  $P = 7.5 \text{ kpa}$  :

$$v_f = 0.001008 \text{ m}^3 / \text{kg},$$

$$h_f = 168.79 \text{ kJ/kg} \quad h_g = 2574.8 \text{ kJ/kg}$$

$$s_f = 0.5764 \text{ kJ/kgK} \quad s_g = 8.2515 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_1 = h_f = 168.79 \text{ kJ/kg}, \quad w_p = v_f (P_2 - P_1)$$

$$w_p = 0.001008(10000 - 7.5) = 10 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_p = 168.79 + 10 = 178.79 \text{ kJ/kg}$$

From Steam Table, At 10 Mpa :

$$h_3 = h_g = 2724.7 \text{ kJ/kg} \quad s_3 = s_g = 5.6141 \text{ kJ/kgK}$$

$$\because s_3 = s_4 \Rightarrow s_4 = 5.6141 \text{ kJ/kgK}$$

$\because s_4 < s_g \therefore$  point 4 is wet steam

$$X_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{5.6141 - 0.5764}{8.2515 - 0.5764} = 0.656$$

$$h_4 = h_f + X_4(h_g - h_f)$$

$$= 168.79 + 0.656(2574.8 - 168.79) = 1747.13 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{t_1} = h_3 - h_4 = 2724.7 - 1747.13 = 977.57 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{net_1} = w_t - w_p = 977.57 - 10 = 967.57 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{a_1} = h_3 - h_2 = 2724.7 - 178.79 = 2545.91 \text{ kJ/kg}$$

$$1 - \eta_{th_1} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{967.57}{2545.91} \times 100 \Rightarrow \eta_{th} = 38\%$$

For Plant (2):

From Steam Table, At  $P = 7.5 \text{ kpa}$ :

$$v_f = 0.001008 \text{ m}^3/\text{kg},$$

$$h_f = 168.79 \text{ kj/kg} \quad h_g = 2574.8 \text{ kj/kg}$$

$$s_f = 0.5764 \text{ kj/kgK} \quad s_g = 8.2515 \text{ kj/kgK}$$

$$h_1 = h_f = 168.79 \text{ kj/kg}, \quad w_p = v_f(P_2 - P_1)$$

$$w_p = 0.001008(4000 - 7.5) = 3.96 \text{ kj/kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_p = 168.79 + 3.96 = 172.75 \text{ kj/kg}$$

From Steam Table, At  $4 \text{ Mpa}$ :

$T$	$h$	$s$
300	2960.7	6.3615

311	$h_3$	$s_3$
-----	-------	-------

350	3092.5	6.5821
-----	--------	--------

$$\frac{s_3 - 6.3615}{6.5821 - 6.3615} = \frac{311 - 300}{350 - 300}$$

$$\therefore s_3 - 6.3615 = 0.0485 \Rightarrow s_3 = 6.41 \text{ kj/kgK}$$

$$\frac{h_3 - 2960.7}{3092.5 - 2960.7} = \frac{311 - 300}{350 - 300}$$

$$h_3 - 2960.7 = 28.996 \Rightarrow h_3 = 2989.696 \text{ kj/kg}$$

$$\therefore s_3 = s_4 \Rightarrow s_4 = 6.41 \text{ kj/kgK}$$

$\therefore s_4 < s_g \therefore$  point 4 is wet steam

$$X_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.41 - 0.5764}{8.2515 - 0.5764} = 0.76$$

$$h_4 = h_f + X_4(h_g - h_f)$$

$$= 168.79 + 0.76(2574.8 - 168.79) = 1997.36 \text{ kj/kg}$$

$$w_{t_2} = h_3 - h_4 = 2989.696 - 1997.36 = 992.33 \text{ kj/kg}$$

$$w_{net_2} = w_t - w_p = 992.33 - 3.96 = 988.37 \text{ kj/kg}$$

$$q_{a_2} = h_3 - h_2 = 2989.696 - 172.75 = 2816.946 \text{ kj/kg}$$

$$1 - \eta_{th_2} = \frac{w_{net_2}}{q_{a_2}} = \frac{988.37}{2816.946} \times 100 \Rightarrow \eta_{th} = 35.08\%$$

$$\therefore w_{t_1} = w_{t_2} \Rightarrow \therefore \dot{m}_{s_1} \times 977.57 = \dot{m}_{s_2} \times 992.33 \quad \therefore \dot{m}_{s_1} = 1.015 \dot{m}_{s_2}$$

$$\frac{Q_{a_1}}{Q_{a_2}} = \frac{\dot{m}_{s_1} \times q_{a_1}}{\dot{m}_{s_2} \times q_{a_2}} = \frac{1.015 \times 2545.91}{2816.946} = 0.917$$

## مسائل للمراجعة

1- المطلوب هو تعيين تأثير ضغط العادم للتوربين على أداء دورة رانكن والتي تستعمل بخار الماء. يدخل البخار للتوربين عند ضغط (3.5 M pa) ودرجة حرارة (350 C). احسب كفاءة الدورة وكسر الجفاف للبخار الخارج من التوربين لضغوط عادم التوربين التالية: (5,10,50,100 k pa).

ارسم العلاقة بين الكفاءة الحرارية وضغط بخار العادم.

2- المطلوب هو تعيين تأثير ضغط دخول التوربين على أداء دورة رانكن والتي تستعمل بخار الماء. يدخل البخار للتوربين عند درجة حرارة (350 C) وضغط المكثف (10 k pa). احسب كفاءة الدورة وكسر الجفاف للبخار الخارج من التوربين لضغوط دخول التوربين التالية: (1,3.5,6,10 M pa).

ارسم العلاقة بين الكفاءة الحرارية وضغط الدخول للتوربين.

3- المطلوب هو تعيين تأثير درجة حرارة الدخول للتوربين على أداء دورة رانكن والتي تستعمل بخار الماء. يدخل البخار للتوربين عند ضغط (3.5 M pa) وتخرج عند ضغط (10 k pa). احسب كفاءة الدورة وكسر الجفاف للبخار الخارج من التوربين عند درجات حرارة الدخول للتوربين التالية:

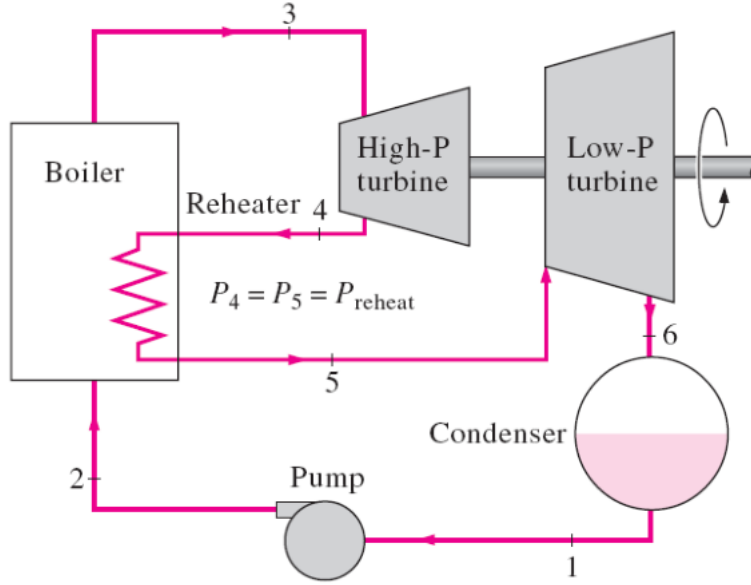
(بخار مشبع, 350, 500, 800 C).

ارسم العلاقة بين الكفاءة الحرارية وضغط بخار العادم.

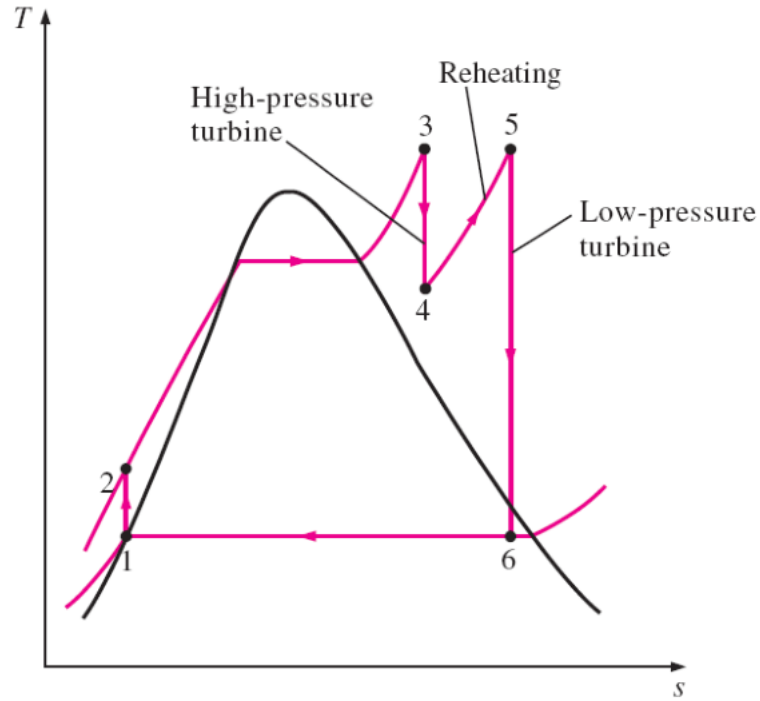
الباب الثاني: دورة رانكن المعدلة

Reheat Cycle

١-٢ دورة إعادة التسخين :



شكل (٢-١) شكل تخطيطي لوحدة بخارية بها إعادة تسخين



شكل (٢-٢) منحنى درجة الحرارة والانتروبي لإجراءات دورة إعادة التسخين

يوضح الشكل (١-٢) محطة توليد قدرة بخارية تستخدم التمدد المتعدد المراحل (Multi-stage) مع إعادة التسخين (Reheating) بين مراحل التمدد

إذا بدأ تمدد البخار في التوربين وهو مشبع جاف فإن كمية الماء التي يحويها البخار عند نهاية التمدد تكون كبيرة وقد تزيد عن ١٠% خصوصا إذا الضغط مرتفع لأن نقطة بداية التمدد تنتقل إلى اليسار كلما ارتفع الضغط كذلك يساعد على ازدياد نسبة الماء خفض الضغط الخلفي باستخدام المكثفات ووجود الماء مع البخار سبب في خفض كفاءة التوربين والأخطر من ذلك يسبب نحر لريش التوربين .

يمكن تجميع البخار في المرجل إلى درجة حرارة عالية وذلك لتجنب تكثف البخار في التوربين أثناء التمدد ولكن لا يمكن تنفيذ ذلك علميا لأنه أعلى درجة حرارة مسموح بها بالنسبة لمعدن التوربين ( 600 - 650 C ) ، ولذلك فالطريقة العلمية المتبعة لتقليل التكثيف هي أن يتمدد بخار محمص ( عند درجة حرارة مناسبة ) في مرحلتين أو أكثر مع إعادة تجميعه بثبوت الضغط بين المراحل كما هو مبين بالشكل .

تتمتع دورة إعادة التسخين بمميزات التالية:

1- محتوى الرطوبة (Moisture Content) عند نهايات عمليات التمدد بسيط وفي الحدود المسموح بها، خاصة لمرحلة الضغط المنخفض وهذا بدوره يقلل من تآكل وصدئ ريش التوربينة ويعمل على زيادة عمرها الافتراضي.

2- دورة إعادة التسخين كفاءتها أكبر من كفاءة دورة رانكن المناظرة لها بحوالي ٤ إلى ٥% . أثبتت الحسابات الدقيقة لدورة إعادة التسخين ذات مرحلتين للتمدد ومرحلة واحدة لإعادة التسخين، توقف كفاءة الدورة على قيمة الضغط المتوسط (ضغط إعادة التسخين) كما هو موضح بالشكل (٢-٢) . مع زيادة الضغط المتوسط تزداد الكفاءة إلى قيمة عظمى (عند الضغط المتوسط الأمثل) ثم تقل بعد ذلك.

أثبتت الحسابات الدقيقة أن كفاءة دورة إعادة التسخين تكون أكبر ما يمكن عندما يكون الضغط المتوسط الأمثل (ضغط إعادة التسخين) يساوي ربع قيمة ضغط البخار في المرجل في حالة التمدد الأديباتيكي خلال التوربينة.

عمليا تحتوي معظم المحطات على إعادة تسخين واحد أو اثنين. تسمح دورة إعادة التسخين باستخدام ضغط البخار في الغلاية أعلى من الضغط الحرج لبخار الماء المساوي (221.2 bar). وتوجد حاليا محطات توليد قدرة بخارية فيها ضغط البخار في المرجل أكبر من (300 bar).

أهمية إعادة التسخين :

- ١- تحسين الكفاءة للتوربين
- ٢- تقليل تكاثف البخار أثناء التمدد
- ٣- تحسين الكفاءة الحرارية للوحدة
- ٤- زيادة شغل التوربين

$$w_t = (h_3 - h_4) + (h_5 - h_6)$$

$$w_p = (h_2 - h_1)$$

$$w_{net} = W_t - W_p$$

$$q_a = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a}$$

أمثلة محلولة ١

مثال ( ٢-١ )

محطة بخارية تعمل طبقا لدورة اعادة التسخين ضغط المرجل ( 90 bar )  
وضغط المكثف ( 0.1 bar ) درجة حرارة البخار عند مدخل التوربين ( 400C )  
يتمدد البخار في المرحلة الأولى للتوربين إلى ضغط ( 20bar ) ثم يعاد تسخينه تحت  
ثبوت الضغط إلى درجة حرارة ( 350C ) أحسب الكفاءة الحرارية للدورة والإستهلاك  
النوعي للبخار :

Data :

$$P_3 = 90 \text{ bar} = 9 \text{ MPa} \quad , \quad T_3 = 400 \text{ C}$$

$$P_4 = 20 \text{ bar} = 2 \text{ MPa} \quad , \quad T_5 = 350 \text{ C}$$

$$P_6 = 0.1 \text{ bar} = 10 \text{ KPa}$$

Req :

$$\eta_{th} = ? \quad , \quad \text{S.S.C} = ?$$

Solution :

From steam tables at 9 MPa 400 C :

$$h_3 = 3117.8 \text{ Kj/Kg}$$

$$s_3 = 6.2854 \text{ Kj/Kg}$$

From steam table at 2 MPa :

$$h_f = 906.44 \text{ Kj/Kg} \quad , \quad h_g = 2600.3 \text{ Kj/Kg}$$

$$s_f = 2.4474 \text{ Kj/Kg} \quad , \quad s_g = 6.3409 \text{ Kj/Kg}$$

$$\therefore s_3 = s_4 = 6.2854 \text{ Kj/Kg}$$

$$\therefore s_4 < s_g \text{ at } 2 \text{ MPa}$$

$\therefore$  Steam at point (4) is a wet steam .

$$X_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.2854 - 2.4474}{6.3409 - 2.4474}$$

$$\therefore X_4 = 0.986$$

$$\therefore h_4 = h_f + X ( h_g - h_f )$$

$$\therefore h_4 = 906.44 + 0.986 ( 2600.3 - 906.44 )$$

$$= 2576.6 \text{ Kj/Kg}$$

from steam tables at 2 MPa & 350 C :

$$h_5 = 3137 \text{ Kj/Kg}$$

$$s_5 = 6.9563 \text{ Kj/Kg}$$

$$\therefore s_5 = s_6 = 6.563 \text{ Kj/Kg}$$

from steam tables at 10 KPa :

$$h_f = 191.83 \text{ Kj/Kg} , \quad h_g = 2584.7 \text{ Kj/Kg}$$

$$s_f = 0.6493 \text{ Kj/Kg K} , \quad s_g = 8.1502 \text{ Kj/Kg K}$$

$$\therefore s_6 < s_g \text{ at 10 KPa}$$

Steam at point (6) is a wet Steam .

$$X_6 = \frac{s_6 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.563 - 0.6493}{8.1502 - 0.6493}$$

$$X_6 = 0.788$$

$$\therefore h_6 = h_f + X_6 ( h_g - h_f )$$

$$\therefore h_6 = 191.83 + 0.788 ( 2584.7 - 191.83 ) = 2078.4 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_1 = h_f \text{ at 0.1 bar} = 191.83 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_2 = h_1 + v_f ( P_2 - P_1 )$$

$$= 191.83 + 0.001 ( 9000 - 10 ) = 200.83 \text{ Kj/Kg}$$

$$w_t = ( h_3 - h_4 ) + ( h_5 - h_6 )$$

$$= ( 3117.8 - 2576.6 ) + ( 3137 - 2078.4 )$$

$$= 1599.83 \text{ Kj/Kg}$$

$$w_p = h_2 - h_1$$

$$= 200.83 - 191.83 = 9 \text{ Kj/Kg}$$

$$w_{net} = w_t - w_p$$

$$= 1599.83 - 9 = 1590.83 \text{ Kj/Kg}$$

$$q_a = ( h_3 - h_2 ) + ( h_5 - h_4 )$$

$$= ( 3117.8 - 200.83 ) + ( 3137 - 2576.6 )$$

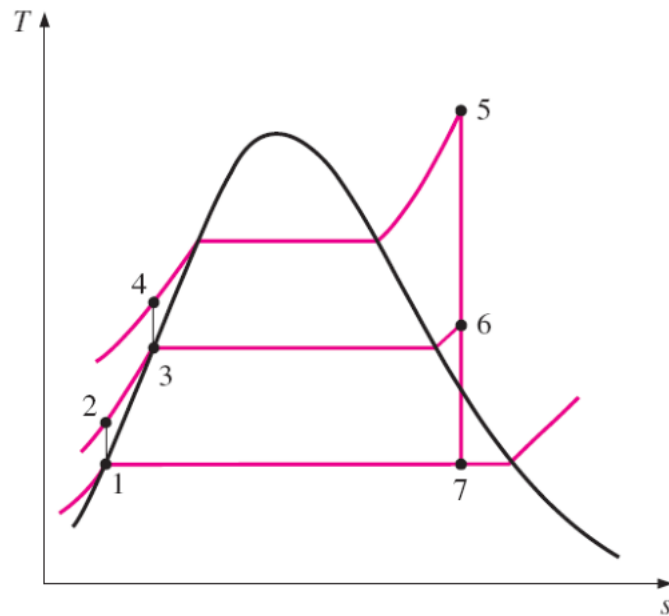
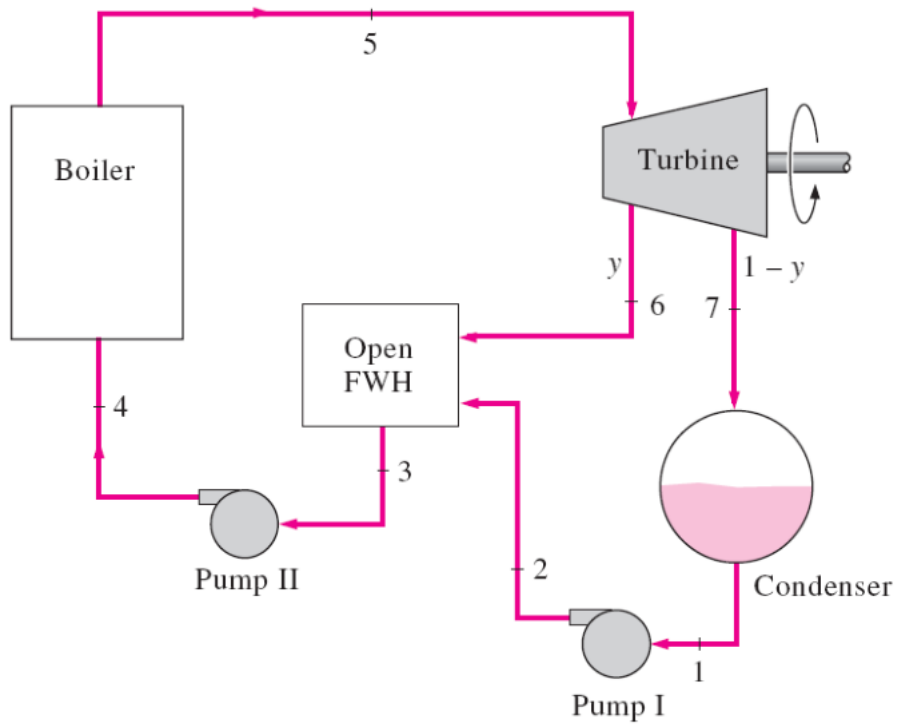
$$= 3477.37 \text{ Kj/Kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1590.83}{3477.37} = 45.74\%$$

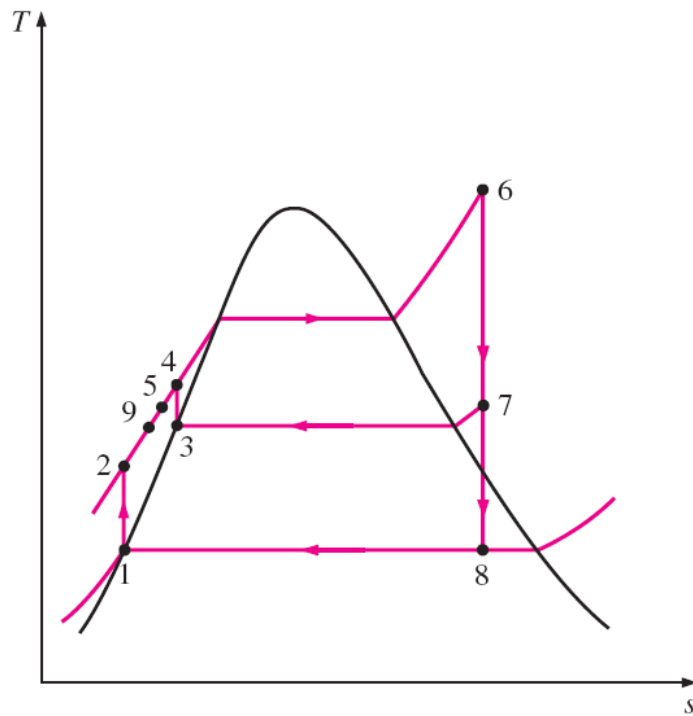
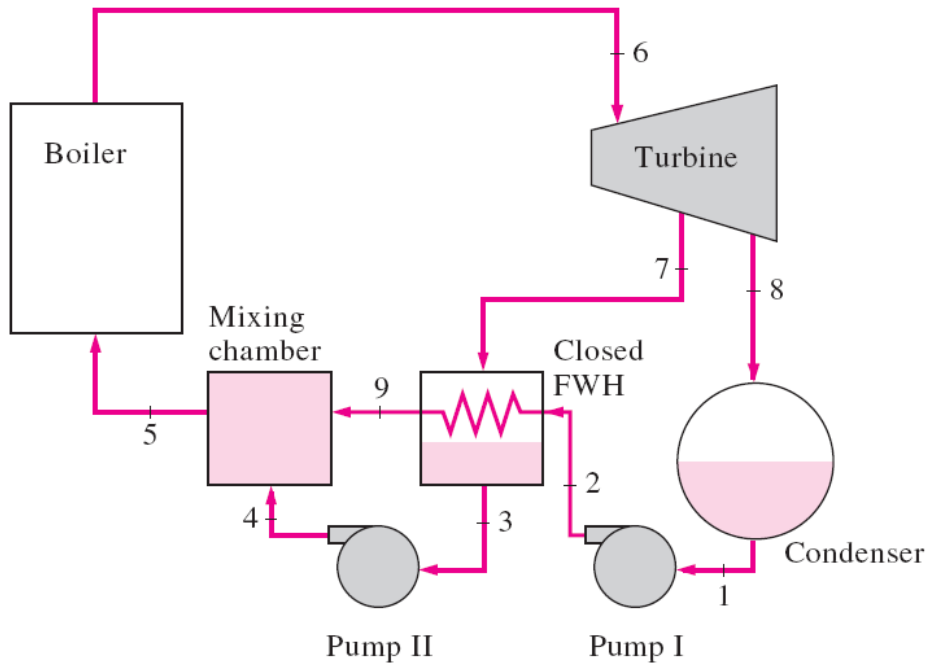
$$S.S.C = \frac{3600}{w_{net}} = \frac{3600}{1590.83} = 2.263 \text{ Kg \ KW hr}$$

2-2- دورة استرجاع الحرارة ( الاستنزاف )

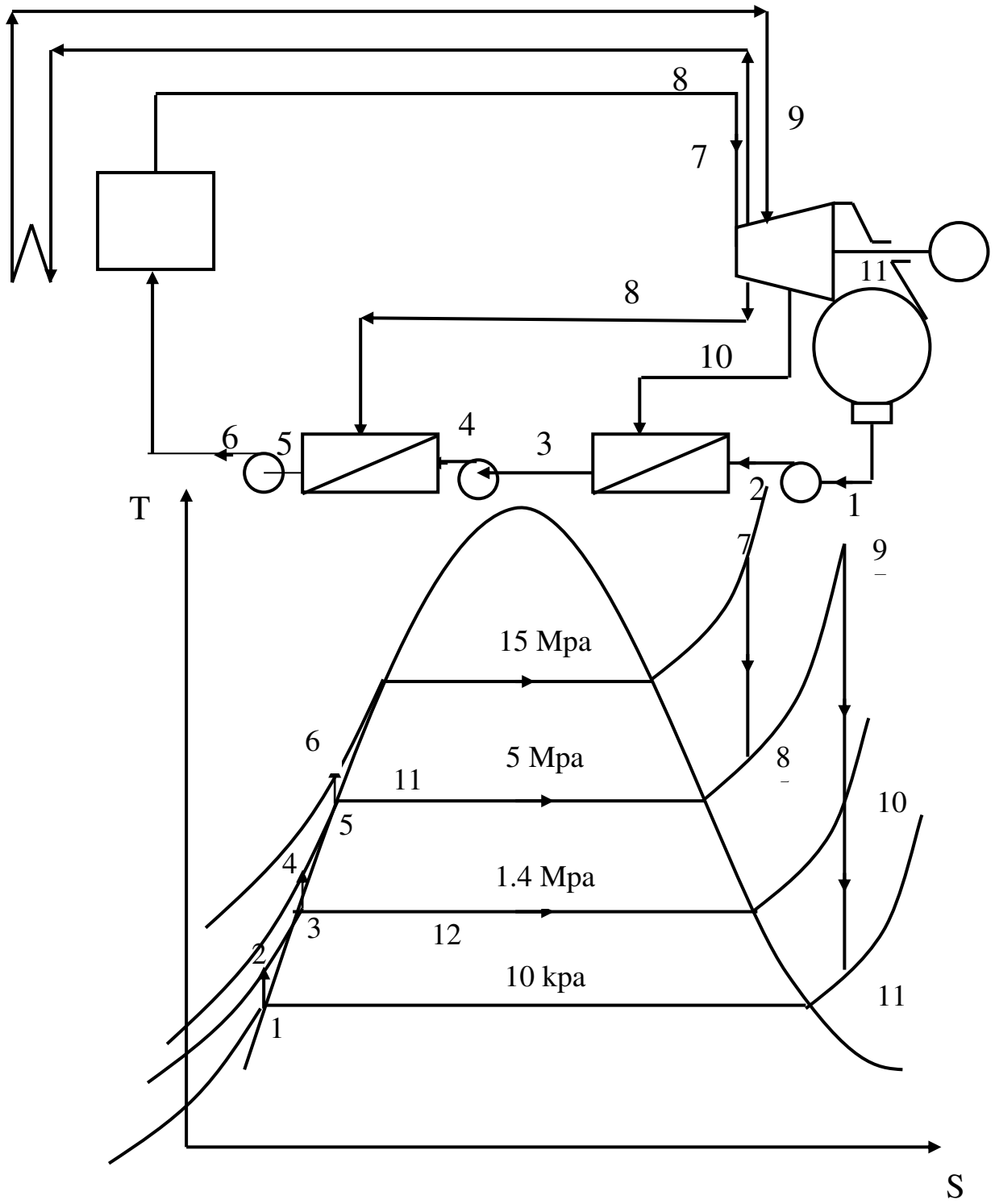
Regenerative Cycle



شكل (٣-٢) اجراءات دورة الاستنزاف لوحدة بها مسخن واحد من النظام المفتوح



شكل (٤-٢) اجراءات دورة الاستنزاف لوحدة بها مسخن واحد من النظام المغلق



شكل (٥-٢) اجراءات دورة الاستنزاف لوحدة بها مسخنين من النظام المفتوح



## الفرق بين مسخنات مياه التغذية من النظام المفتوح

(Open Feed Water Heater) ومسخنات مياه التغذية من النظام المغلق ( Closed )

: (Feed Water Heater)

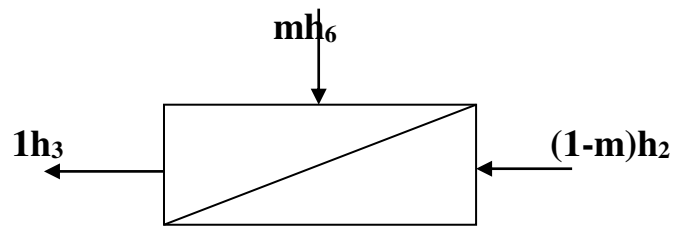
مسخنات مياه التغذية من النوع المغلق	مسخنات مياه التغذية من النوع المفتوح	م
لا يتم الخلط	يتم خلط البخار المستنزف مع مياه التغذية	١
لا يحتاج	يحتاج لمضخة إضافية مع كل مسخن	٢
معامل انتقال الحرارة أقل من المفتوح	معامل انتقال الحرارة مرتفع	٣
معقد التركيب وغالي الثمن	بسيط التركيب ورخيص الثمن	٤

لاحظنا من دراسة دورة رانكن شكل ( ٣-٢ ) أن الماء البارد يتم تسخينه في المرجل أولاً من نقطة ٢ إلى درجة حرارة التشبع ويكون متوسط درجة أثناء هذا الإجراء أقل بكثير من درجة الحرارة أثناء إجراء التبخير ويلاحظ أن متوسط درجة الحرارة التي تضاف عندها الحرارة في دورة رانكن أقل من درجة الحرارة في دورة كارنو المناظرة .

يلاحظ أيضاً بالنسبة لدورة رانكن أن جزء كبيراً جداً من الطاقة التي تدخل إلى التوربين يطرد في المكثف ولا يستعاد إلا جزء صغير منه ليعاد إلى المرجل . ولو أمكن استرجاع جزء من هذه الحرارة والاستفادة به في تسخين ماء تغذية المرجل لأدى ذلك إلى تحسين ملحوظ في الكفاءة الحرارية .

يتم استنزاف كمية من البخار من التوربين ( بعد أن يتم التمدد جزئيا ويستخدم هذا البخار في تسخين مياه التغذية إلى درجة حرارة متوسطة بين درجة الحرارة في المكثف ودرجة الحرارة في المرجل ) .

### Heat Balance for F. W. H (Feed Water Heater) :



$$mh_6 + (1-m)h_2 = 1 * h_3$$

$$mh_6 + h_2 - mh_2 = h_3$$

$$\dot{m}(h_6 - h_2) = h_3 - h_2$$

$$\therefore \dot{m} = \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2}$$

$$m * h_5 + 1 * h_2 = m * h_7 + 1 * h_3$$

$$m ( h_5 - h_7 ) = ( h_3 - h_2 )$$

$$\therefore m = \frac{h_3 - h_2}{h_5 - h_7}$$

Where ;

**m** : Amount of bleed Steam

$$W_t = ( h_5 - h_6 ) + ( 1 - m ) ( h_6 - h_7 )$$

$$W_p = (1-m) ( h_2 - h_1 ) + (h_4 - h_3)$$

$$W_{net} = W_t - W_p$$

$$q_a = ( h_5 - h_4 )$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_a}$$

أمثلة محلولة ٢ :

مثال ( ٥-٢ )

محطة توليد قوي ، يولد البخار في المرجل عند ضغط ( 50 bar ) ويحمص إلى درجة حرارة ( 400C ) يستنزف جزء من البخار عند ضغط ( 5 bar ) لتسخين مياه التغذية فإذا كان ضغط المكثف ( 0.05 bar ) أوجد :

١- كتلة البخار المستنزف

٢- الكفاءة الحرارية للوحدة .

**Data:**

$$P_4 = 50 \text{ bar} = 5 \text{ MPa} \quad , \quad T_4 = 400 \text{ C}$$

$$P_5 = 5 \text{ bar} = 0.5 \text{ MPa} \quad , \quad P_6 = 0.05 \text{ bar} = 5 \text{ KPa}$$

**Req :**

$$(1) m = ?$$

$$(2) \eta_{th} = ?$$

**Solution :**

from steam tables at 5 Mpa , 400 C :

$$h_4 = 3195.7 \text{ Kj/Kg}$$

$$s_4 = 6.6459 \text{ Kj/Kg K}$$

From steam tables at 0.5 MPa :

$$h_f = 640.23 \text{ Kj/Kg} \quad , \quad h_g = 2748.7 \text{ Kj/Kg}$$

$$s_f = 1.8607 \text{ Kj/Kg K} \quad , \quad s_g = 6.8213 \text{ Kj/Kg K}$$

$$\therefore s_4 = s_5 = 6.6459 \text{ Kj/Kg K}$$

$$\therefore s_5 < s_g \text{ at } 5 \text{ bar}$$

$\therefore$  Steam at point (5) is wet Steam

$$X_5 = \frac{s_5 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.6459 - 1.8607}{6.8213 - 1.8607}$$

$$X_5 = 0.965$$

$$h_5 = h_f + X_5 ( h_g - h_f )$$

$$h_5 = 640.23 + 0.965 ( 2748.7 - 640.23 ) \\ = 2674.9 \text{ Kj/Kg}$$

from steam tables at 5KPa :

$$h_f = 137.82 \text{ Kj/Kg} \quad , \quad h_g = 2561.5 \text{ Kj/Kg}$$
$$s_f = 0.4764 \text{ Kj/Kg K} \quad , \quad s_g = 8.3951 \text{ Kj/Kg K}$$

$$\therefore s_5 = s_6 = 6.6459 \text{ Kj/Kg}$$

$$\therefore s_6 < s_g \text{ at } 0.05 \text{ bar}$$

$\therefore$  Steam at point ( 6 ) is wet Steam

$$X_6 = \frac{s_6 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.6456 - 0.4764}{8.3951 - 0.4764}$$

$$X_6 = 0.779$$

$$h_6 = h_f + X_6 ( h_g - h_f )$$
$$= 137.82 + 0.779 ( 2561.5 - 137.82 )$$
$$= 2025.8 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_1 = h_f \text{ at } 0.05 \text{ bar}$$

$$\therefore h_1 = 137.82 \text{ Kj/Kg}$$

$$\therefore h_2 = h_1 + v_f ( P_2 - P_1 )$$
$$= 137.82 + 0.001 ( 5000 - 5 )$$
$$h_2 = 142.82 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_3 = h_7 = h_8 = h_f \text{ at } 5 \text{ bar}$$

$$\therefore h_3 = h_7 = h_8 = 640.23 \text{ Kj/Kg}$$

Heat balance for F.W.H :

$$1) m = \frac{h_3 - h_2}{h_5 - h_7} = \frac{640.23 - 142.82}{2674.9 - 640.23}$$

$$m = 0.244 \text{ Kg bleed / Kg steam}$$

$$w_t = ( h_4 - h_5 ) + ( 1 - m ) ( h_5 - h_6 )$$
$$= ( 3195.7 - 2674.9 ) + ( 1 - 0.244 ) ( 2674.9 - 2025.8 )$$
$$= 1011.5 \text{ Kj/kg}$$

$$w_p = h_2 - h_1$$
$$= 142.82 - 137.82$$
$$= 5 \text{ Kj/Kg}$$

$$W_{\text{net}} = W_t - W_p = 1011.5 - 5$$

$$W_{\text{net}} = 1006.5 \text{ Kj/Kg}$$

$$q_a = 2555.47 \text{ Kj/Kg}$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{net}}}{q_A} = \frac{1006.5}{2555.47}$$

$$\eta_{\text{th}} = 39.38 \%$$

مثال (٦-٢):

وحدة بخارية تعمل طبقا لدورة الاستنزاف، إذا علمت أن البخار المحمص يدخل التوربين بضغط (3 Mpa) ودرجة حرارة (500 C) وضغط المكثف (10 kpa) تحتوي على مسخن مياه التغذية من النوع المفتوح ويستقبل البخار المستنزف عند ضغط (0.5 Mpa). احسب الكفاءة الحرارية

من جداول البخار نحصل على الخواص التالية:

State	P kPa	T °C	h kJ/kg	s kJ/(kg K)	v m <sup>3</sup> /kg
1	10		191.8		0.00101
2	500				
3	500		640.2		0.00109
4	500				
5	3000		500	3456.5	7.2338
6	500		2941.6	7.2338	
7	10		2292.7	7.2338	

The work for pump 1 is calculated from

$$\begin{aligned}w_{pump\ 1} &= v_1(P_2 - P_1) \\&= 0.00101 \frac{m^3}{kg} (500 - 10) kPa \frac{kJ}{m^3 kPa} \\&= 0.5 \frac{kJ}{kg}\end{aligned}$$

Now,  $h_2$  is found from

$$\begin{aligned}h_2 &= w_{pump\ 1} + h_1 \\&= 0.5 \frac{kJ}{kg} + 191.8 \frac{kJ}{kg} \\&= 192.3 \frac{kJ}{kg}\end{aligned}$$

$$y = \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2}$$

$$= \frac{(640.2 - 192.3) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{(2941.6 - 192.3) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0.163$$

The work for pump 2 is calculated from

$$w_{pump\ 2} = v_3 (P_4 - P_3)$$

$$= 0.00109 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} (3000 - 500) \text{ kPa} \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \text{ kPa}}$$

$$= 2.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Now,  $h_4$  is found from

$$h_4 = w_{pump\ 2} + h_3$$

$$= 2.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 640.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 643.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\begin{aligned}
\dot{m}_5 h_5 &= \dot{W}_{turb} + \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_7 h_7 \\
\dot{W}_{turb} &= \dot{m}_5 [h_5 - y h_6 - (1-y) h_7] \\
w_{turb} &= \frac{\dot{W}_{turb}}{\dot{m}_5} = h_5 - y h_6 - (1-y) h_7 \\
&= [3456.5 - (0.163)(2941.6) - (1-0.163)(2292.7)] \frac{kJ}{kg} \\
&= 1058.0 \frac{kJ}{kg}
\end{aligned}$$

The net work done by the cycle is

$$\begin{aligned}
\dot{W}_{net} &= \dot{W}_{turb} - \dot{W}_{pump\ 1} - \dot{W}_{pump\ 2} \\
\dot{m}_5 w_{net} &= \dot{m}_5 w_{turb} - \dot{m}_1 w_{pump\ 1} - \dot{m}_3 w_{pump\ 2} \\
\dot{m}_5 w_{net} &= \dot{m}_5 w_{turb} - \dot{m}_5 (1-y) w_{pump\ 1} - \dot{m}_5 w_{pump\ 2} \\
w_{net} &= w_{turb} - (1-y) w_{pump\ 1} - w_{pump\ 2} \\
&= [1058.0 - (1-0.163)(0.5) - 2.7] \frac{kJ}{kg} \\
&= 1054.9 \frac{kJ}{kg}
\end{aligned}$$

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5$$

$$\dot{m}_4 h_4 + \dot{Q}_{in} = \dot{m}_5 h_5$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_5 (h_5 - h_4)$$

$$q_{in} = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}_5} = (h_5 - h_4)$$

$$\begin{aligned}q_{in} &= h_5 - h_4 \\ &= (3456.5 - 642.9) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 2813.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

The thermal efficiency is

$$\begin{aligned}\eta_{th} &= \frac{w_{net}}{q_{in}} \\ &= \frac{1054.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{2813.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ &= 0.375 \text{ or } 37.5\%\end{aligned}$$

مثال (٧-٢)

وحدة بخارية تعمل طبقا لدورة الاستنزاف، بها مسخن واحد لمياه التغذية من النوع المفتوح. إذا

علمت أن:

ضغط المرجل (15 MPa) و درجة حرارة دخول التوربينة ( $600^{\circ}\text{C}$ ) وضغط المكثف (20 KPa) وضغط الاستنزاف (3 MPa).

ارسم:

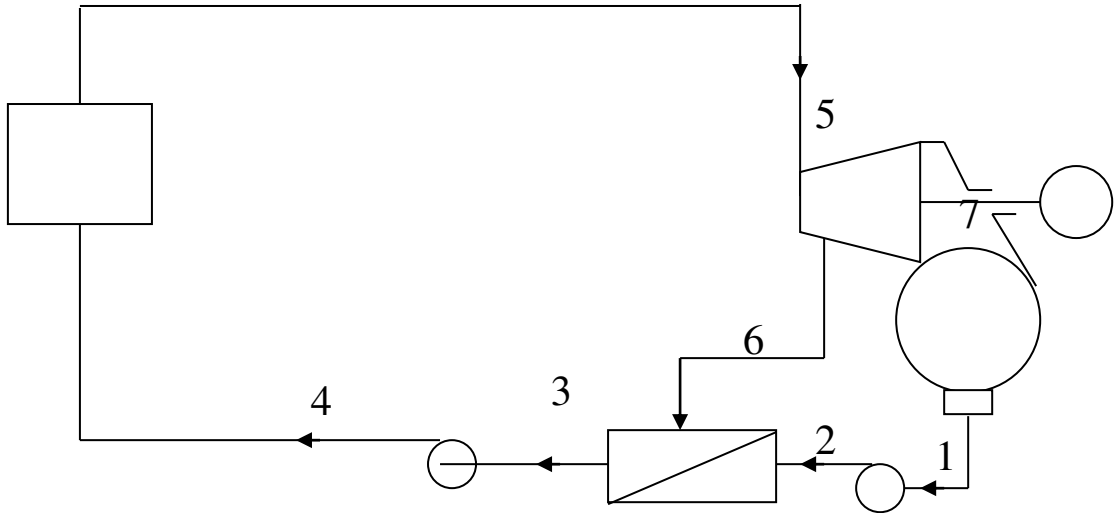
1- رسما تخطيطيا للوحدة

2- منحنى درجة الحرارة و الانتروبي مبينا عليه إجراءات الدورة

احسب:

1- كمية البخار المستنزف

2- الكفاءة الحرارية للوحدة





$$h_5 = 3582.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_5 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_5 = s_6$$

$$\Rightarrow s_6 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_6 > s_g$  (Point 6 is super-heated steam)

$$\therefore h_6 = 3104 \text{ KJ/Kg}$$

$$\therefore s_5 = s_7 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

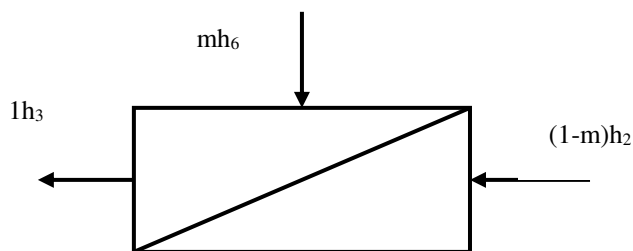
$\therefore s_7 < s_g$  (Point 7 is wet steam)

$$X_7 = \frac{s_7 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.6776 - 0.8320}{7.9085 - 0.8320} = 0.826$$

$$h_7 = h_f + X_7(h_g - h_f) = 251.4 + 0.826(2609.7 - 251.4)$$

$$\boxed{h_7 = 2199.355 \text{ KJ/Kg}}$$

الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية



$$mh_6 + (1-m)h_2 = h_3$$

$$m(h_6 - h_2) = h_3 - h_2$$

$$m = \frac{h_3 - h_2}{h_6 - h_2}$$

$$\Rightarrow m = 0.264$$

$$m = \frac{1008.42 - 254.43}{3104 - 254.43}$$

$$w_p = (1-m)(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) \\ = (1 - 0.264) 3.03 + 14.604$$

$$\Rightarrow w_p = 16.834 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_t = (h_5 - h_6) + (1-m)(h_6 - h_7) \\ = (3582.3 - 3104) + (1 - 0.264)(3104 - 2199.355)$$

$$\boxed{w_t = 1144.118 \text{ KJ/Kg}}$$

$$q_a = h_5 - h_4 = 3582.3 - 1023.024 = 2559.276 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{net} = w_t - w_p = 1144.118 - 16.834$$

$$\boxed{w_{net} = 1127.284 \text{ KJ/Kg}}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1127.284}{2559.276}$$

$$\boxed{\eta_{th} = 0.44}$$

مثال (٨-٢)

وحدة بخارية تعمل طبقا لدورة الاستنزاف، بها مسخن واحد لمياه التغذية من النوع المفتوح. إذا علمت أن:

ضغط المرجل (15 MPa) ودرجة حرارة دخول التوربينة ( $600^{\circ}\text{C}$ ) وضغط المكثف (20 KPa) و ضغط الاستنزاف (5 MPa).

ارسم:

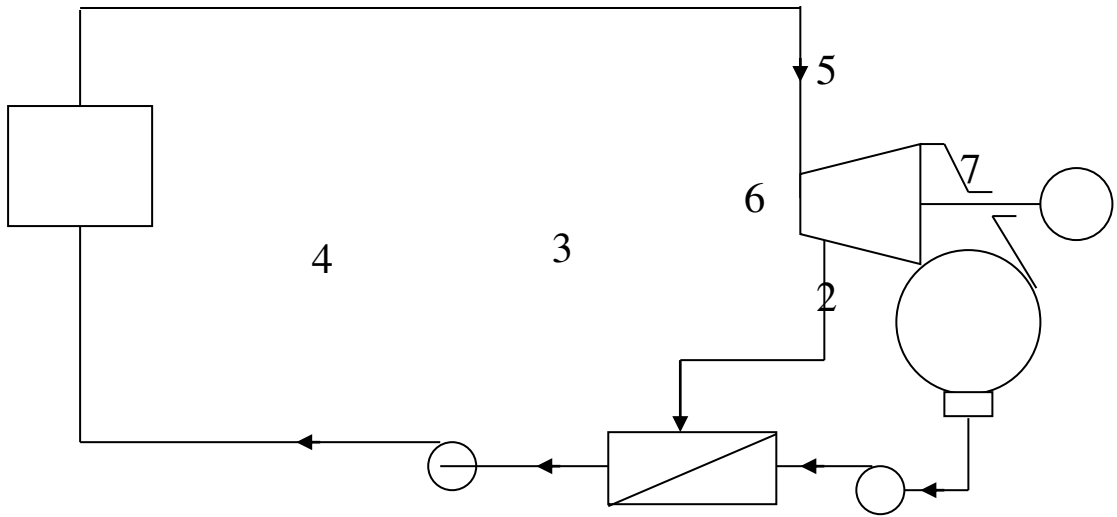
1- رسما تخطيطيا للوحدة

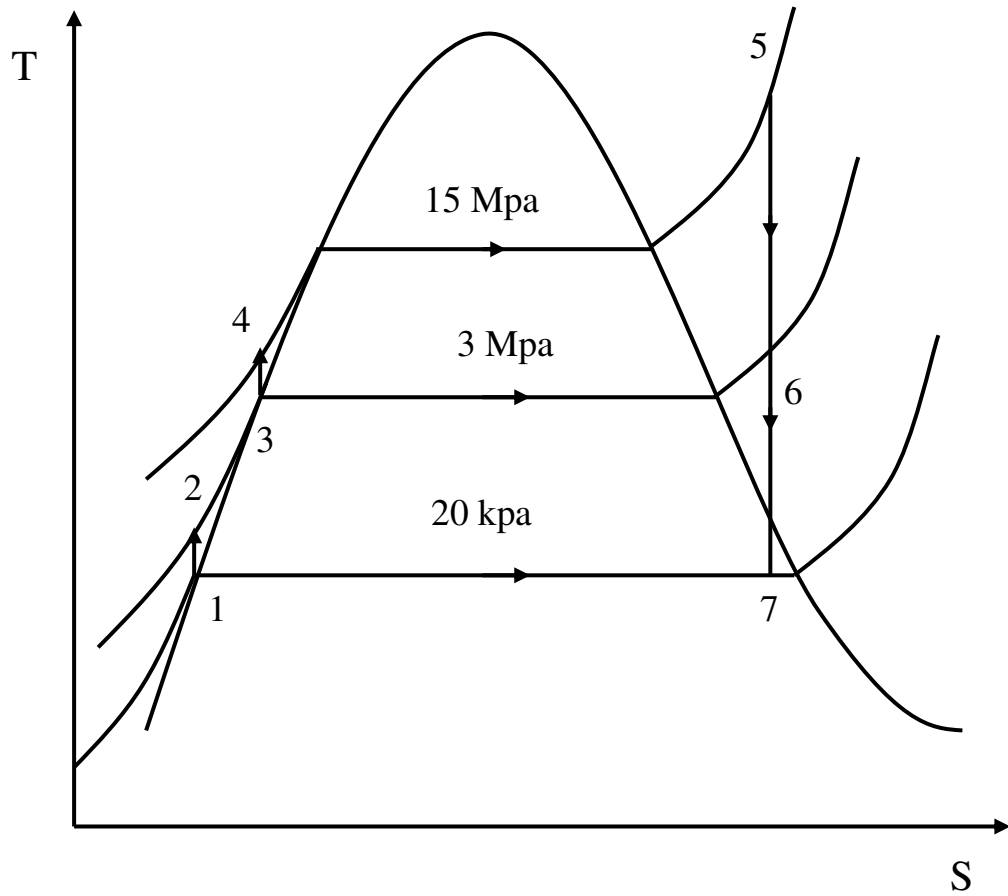
2- منحنى درجة الحرارة والانتروبي مبينا عليه إجراءات الدورة

احسب:

1- كمية البخار المستنزف

2- الكفاءة الحرارية للوحدة





من جداول البخار عند ضغط (20 KPa)

$$v_f = 0.001017 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 251.4 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 0.8320 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2609.7 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_g = 7.9085 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$h_1 = h_f = 251.4 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{p1} = v_f(p_2 - p_1) = 0.001017(5000 - 20) = 5.064 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{p1} = 251.4 + 5.064 = 256.464 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (5 MPa)

$$v_f = 0.001286 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 2.9202 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2794.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_g = 5.9734 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$h_3 = h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{p2} = v_f(p_4 - p_3) = 0.001286(15000 - 5000) = 12.86 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_4 = h_3 + w_{p2} = 1154.23 + 12.86 = 1167.09 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (15 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$h_5 = 3582.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_5 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_5 = s_6$$

$$\Rightarrow s_6 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_6 > s_g$  (Point 6 is super-heated steam)

$$\therefore h_6 = 3195.7 \text{ KJ/Kg}$$

$$\therefore s_7 = s_5$$

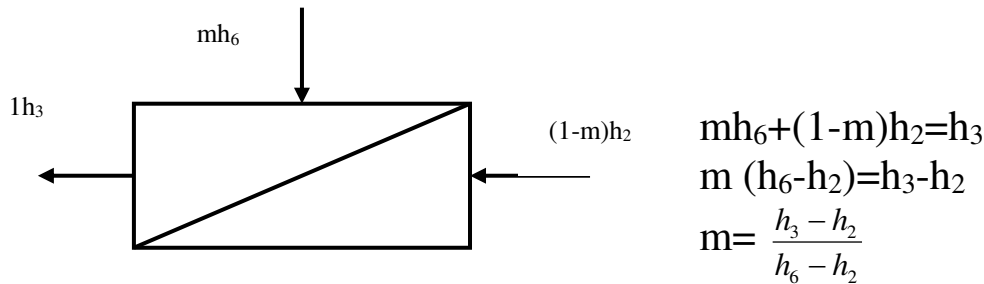
$$\Rightarrow s_7 = 6.776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$X_7 = \frac{s_7 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.6776 - 0.8320}{7.9085 - 0.8320} = 0.826$$

$$h_7 = h_f + X_7(h_g - h_f) = 251.4 + 0.826(2609.7 - 251.4)$$

$$\boxed{h_7 = 2199.35 \text{ KJ/Kg}}$$

الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية



$$m = \frac{1154.23 - 256.464}{3195.7 - 256.464}$$

$$\Rightarrow m = 0.305$$

$$w_p = (1-m)(h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) = (1-0.305) 5.064 + 12.86$$

$$\boxed{w_p = 16.777 \text{ KJ/Kg}}$$

$$w_t = (h_5 - h_6) + (1-m)(h_6 - h_7)$$

$$= (3582.3 - 3195.7) + (1-0.305)(3195.7 - 2199.35)$$

$$\boxed{w_t = 1079.06 \text{ KJ/Kg}}$$

$$w_{net} = w_t - w_p = 1079.06 - 16.777$$

$$\boxed{w_{net} = 1062.286 \text{ KJ/Kg}}$$

$$q_a = h_5 - h_4 = 3582.3 - 1167.09 = 2415.21 \text{ KJ/Kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1062.286}{2415.21}$$

$$\boxed{\eta_{th} = 0.439}$$

مثال (٢-٩)

وحدة بخارية تعمل طبقا لدورة الاستنزاف، بها مسخن واحد لمياه التغذية من النوع المفتوح. إذا علمت أن:

ضغط المرجل (15 MPa) ودرجة حرارة دخول التوربينة ( $600^{\circ}\text{C}$ ) وضغط المكثف (20 KPa) و  
ضغط الاستنزاف (3 MPa).

ارسم:

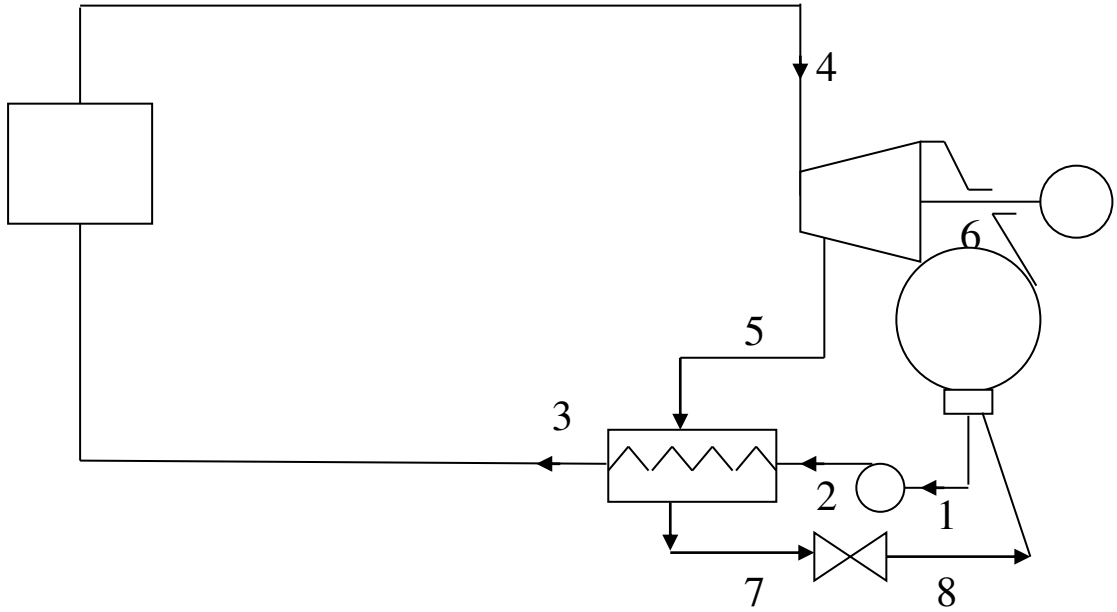
1- رسما تخطيطيا للوحدة

2- منحنى درجة الحرارة والانتروبي مبينا عليه إجراءات الدورة

احسب:

1- كمية البخار المستنزف

2- الكفاءة الحرارية للوحدة





من جداول البخار عند ضغط (15 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$h_4 = 3582.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_4 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_4 = s_5$$

$$\Rightarrow s_5 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_5 > s_g$  (Point 5 is super-heated steam)

$$\therefore h_5 = 3115.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$\therefore s_4 = s_6$$

$$\Rightarrow s_6 = 6.776 \text{ KJ/Kg.K}$$

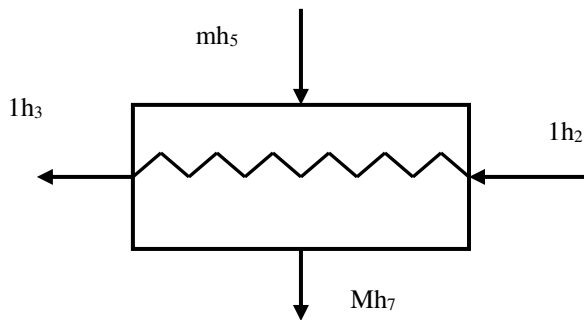
$\therefore s_6 < s_g$  (Point 6 is wet steam)

$$X_6 = \frac{s_6 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.6776 - 0.8320}{7.9085 - 0.8320} = 0.826$$

$$h_6 = h_f + X_6(h_g - h_f) = 251.4 + 0.826(2609.7 - 251.4)$$

$$h_7 = 2199.35 \text{ KJ/Kg}$$

الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية المغلق



$$mh_5 + h_2 = mh_7 + h_3$$

$$m(h_5 - h_7) = h_3 - h_2$$

$$m = \frac{h_3 - h_2}{h_5 - h_7}$$

$$\Rightarrow m = 0.352$$

$$m = \frac{1008.42 - 266.634}{3115.3 - 1008.42}$$

$$w_t = (h_4 - h_5) + (1 - m)(h_5 - h_6)$$

$$= (3582.3 - 3115.3) + (1 - 0.352)(3115.3 - 2199.35)$$

$$w_t = 1060.53 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{net} = w_t - w_p = 1060.53 - 15.234$$

$$w_{net} = 1045.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$q_a = h_4 - h_3 = 3582.3 - 1008.42 = 2573.88 \text{ KJ/Kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1045.3}{2573.88}$$

$$\eta_{th} = 0.406$$

مثال (١٠-٢)

وحدة بخارية تعمل طبقا لدورة الاستنزاف، تحتوي على مسخنين لمياه التغذية وإعادة تسخين، مسخن الضغط المرتفع من النوع المفتوح أما مسخن الضغط المنخفض من النوع المغلق، إذا علمت أن:  
ضغط المرجل (15 Mpa) ودرجة حرارة دخول توربينة الضغط المرتفع (600 C)  
ضغط الاستنزاف لمسخن الضغط المرتفع (5 Mpa)  
ضغط الاستنزاف لمسخن الضغط المنخفض (1.4 Mpa)  
وإعادة تسخين عند ضغط (5 Mpa) إلى درجة حرارة (600 C) و ضغط المكثف (10 kpa)  
القدرة المتولدة من الوحدة (150 MW) والارتفاع في درجة حرارة مياه التبريد (20 C) والحرارة النوعية لمياه التبريد (4.18 kJ/kg K)  
ارسم:

1- رسم تخطيطي للوحدة.

2- منحنى درجة الحرارة والانتروبي مبينا عليه إجراءات الدورة.

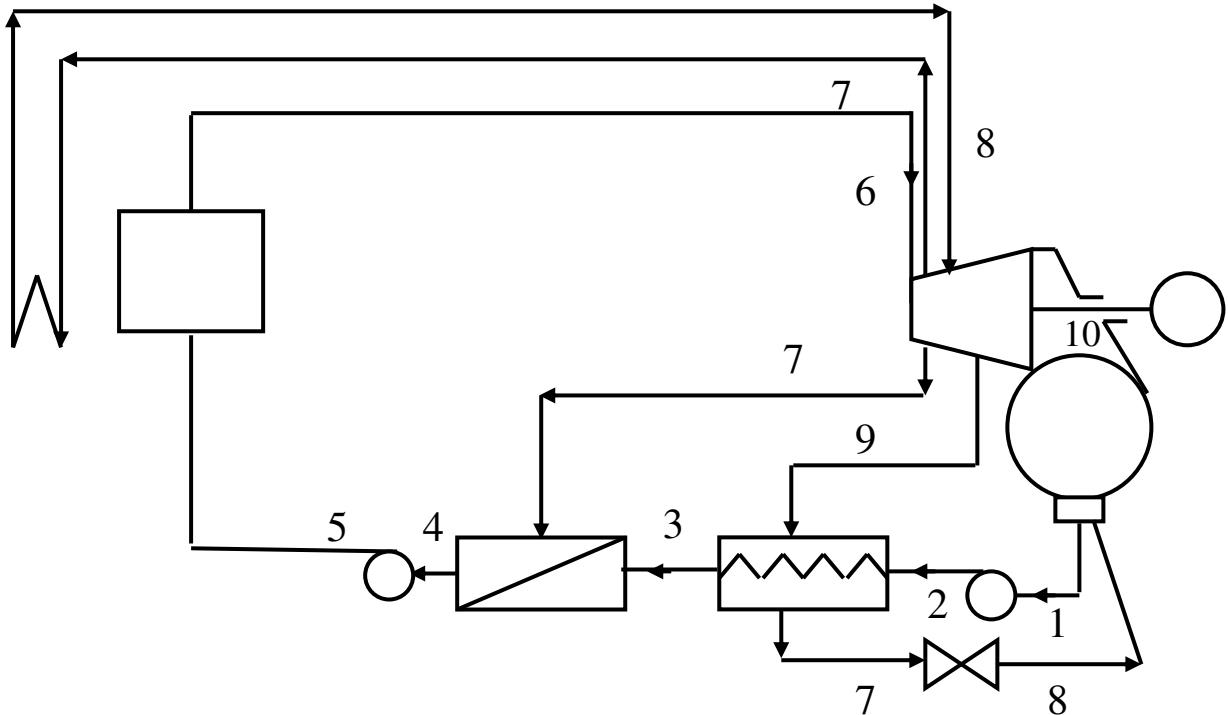
احسب:

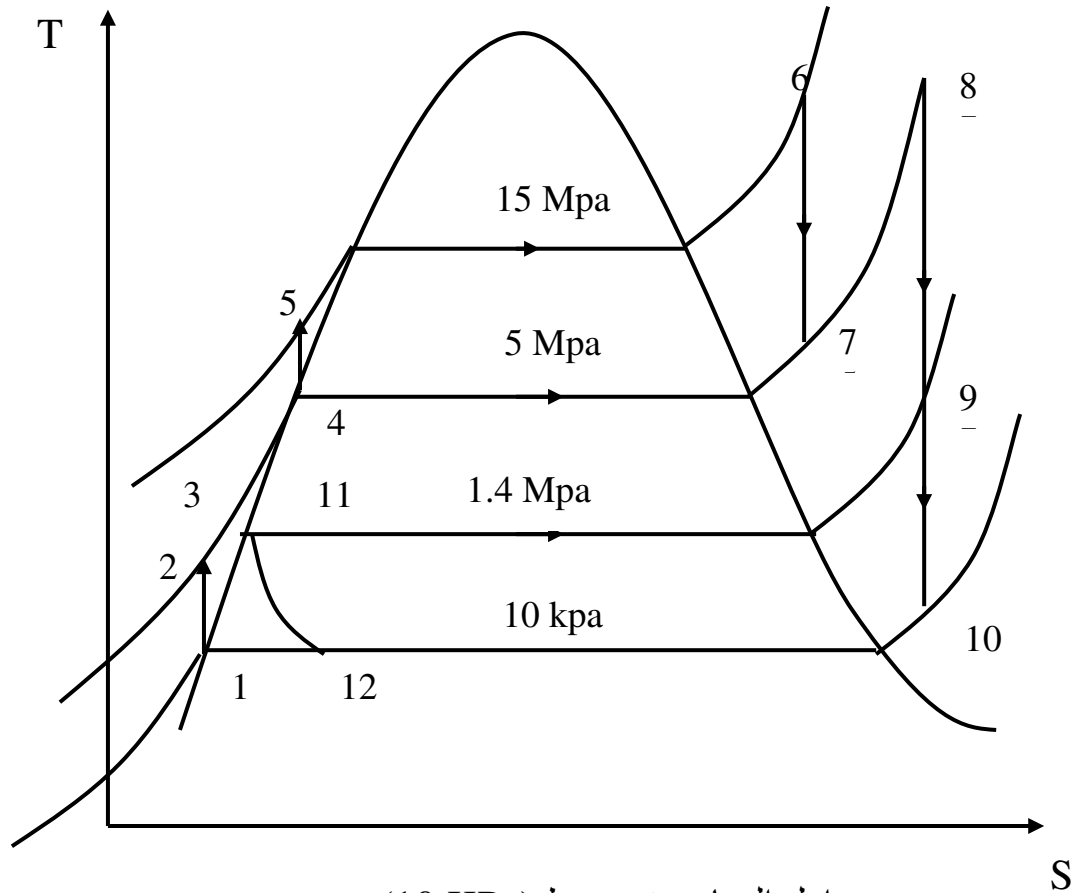
1- نسبة البخار المستنزف لمسخني مياه التغذية ( $m_1, m_2$ )

2- الشغل الصافي.

3- الكفاءة الحرارية.

4- معدل سريان مياه التبريد.





من جداول البخار عند ضغط (10 KPa)

$$v_f = 0.00101 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 0.6493 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2584.7 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_g = 8.1502$$

$$h_1 = h_f = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{p1} = v_f(p_2 - p_1) = 0.00101 (5000 - 10) = 5.0399 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{p1} = 191.83 + 5.0399 = 196.86 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (1.4 MPa)

$$v_f = 0.001149 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 830.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 2.2842 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2790.0 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_g = 6.4695$$

$$h_3 = h_{11} = h_{12} = h_f = 830.3 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (5 MPa)

$$v_f = 0.001286 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_g = 2794.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 2.9202 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$s_g = 5.9734$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_4 = h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{p2} = v_f(p_5 - p_4) = 0.001286 (15000 - 5000) = 12.86 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_5 = h_4 + w_{p2} = 1154.23 + 12.86 = 1167.09 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (15 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$h_6 = 3582.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_6 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_6 = s_7$$

$$\Rightarrow s_7 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_7 > s_g$  (Point 7 is super-heated steam)

$$\therefore h_7 = 3195.7 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (5 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$h_8 = 3666.5 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_8 = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_8 = s_9$$

$$\Rightarrow s_9 = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_9 > s_g$  (Point 9 is super-heated steam)

$$\therefore h_9 = 3257.5 \text{ KJ/Kg}$$

$$\therefore s_8 = s_{10} \Rightarrow s_{10} = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_{10} < s_g$  (Point 10 is wet steam)

$$X_{10} = \frac{s_{10} - s_f}{s_g - s_f} = \frac{7.2589 - 0.6493}{8.1502 - 0.6493} = 0.881$$

$$h_{10} = h_f + X_{10}(h_g - h_f) = 251.4 + 0.881(2584.7 - 191.83)$$

$$h_{10} = 2299.948 \text{ KJ/Kg}$$

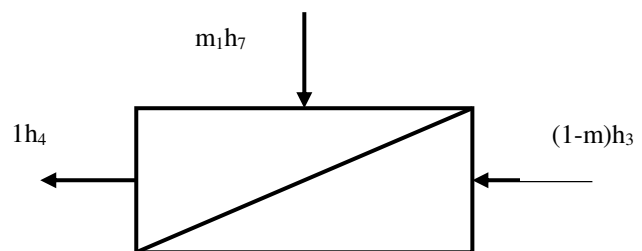
الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية المفتوح

$$m_1 h_7 + (1 - m_1) h_3 = h_4$$

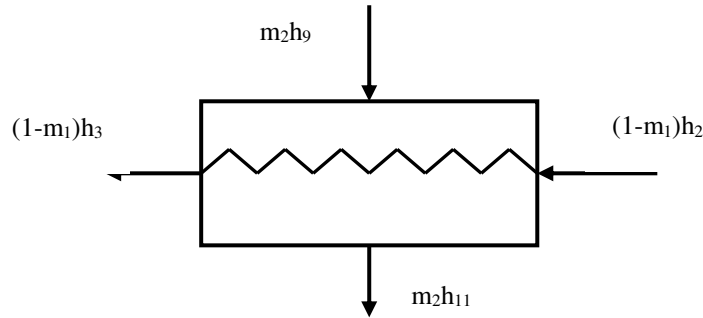
$$m_1 (h_7 - h_3) = h_4 - h_3$$

$$m_1 = \frac{h_4 - h_3}{h_7 - h_3}$$

$$m_1 = \frac{1154.23 - 830.3}{3195.7 - 830.3}$$



الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية المغلق



$$m_2 h_9 + (1 - m_1) h_{12} = (1 - m_1) h_3 + m_2 h_{11}$$

$$m_2 (h_9 - h_{11}) = (1 - m_1) (h_3 - h_2)$$

$$m_2 = \frac{(1 - m_1) (h_3 - h_2)}{h_9 - h_{11}}$$

$$m_2 = \frac{(1 - 0.1369)(830.3 - 196.86)}{3257.5 - 830.3} \Rightarrow m_2 = 0.2253$$

$$w_p = (1 - m_1) w_{p1} + 1(w_{p2})$$

$$= (1 - 0.1369) \times 5.0399 + 12.86 = 17.21 \text{ kj}$$

$$w_t = 1 (h_6 - h_7) + (1 - m_1) (h_8 - h_9) + (1 - m_1 - m_2) (h_9 - h_{10})$$

$$= (3582.3 - 3195.7) + (1 - 0.1369)(3666.5 - 3257.5)$$

$$+ (1 - 0.1369 - 0.2253)(3257.5 - 2299.94)$$

$$= 1350.334 \text{ kj/kg}$$

$$w_t = 1350.334 \text{ KJ/Kg}$$

$$W_{net} = w_t - w_p = 1350.334 - 17.21$$

$$W_{net} = 1333.12 \text{ KJ/Kg}$$

$$q_a = (h_6 - h_5) + (1 - m_1) (h_8 - h_7)$$

$$= (3582.3 - 1167.09) + (1 - 0.1369)(3666.5 - 3195.7)$$

$$q_a = 2821.557 \text{ KJ/Kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1333.12}{2821.557}$$

$$\eta_{th} = 0.472$$

$$\dot{m}_s = \frac{\text{power}}{w_{net}} = \frac{150000}{1333.12} = 112.518 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_w C_{pw} \Delta t_w = \dot{m}_s (h_{10} - h_1) (1 - m_1 - m_2)$$

$$\dot{m}_w = \frac{112.518(2299.948 - 191.83)(1 - 0.1369 - 0.2253)}{4.18 \times 20}$$

$$\dot{m}_w = 1809.65 \text{ kg/s}$$

مثال (١١-٢)

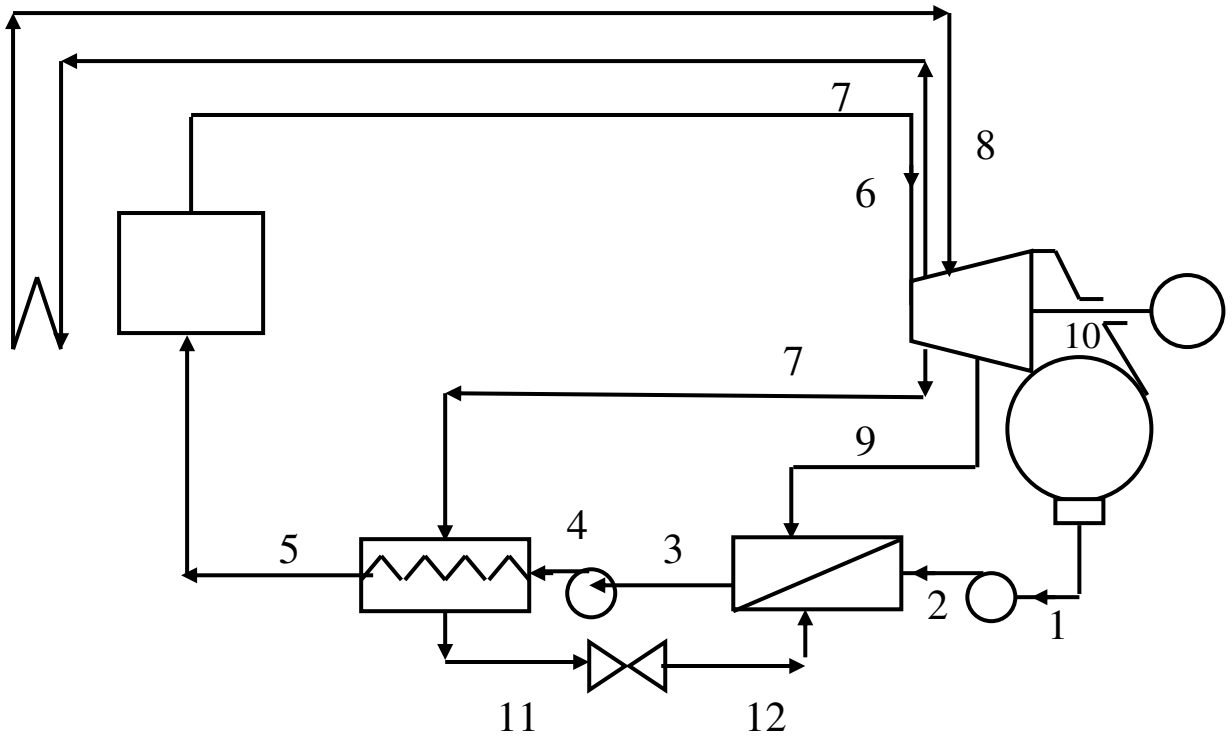
وحدة بخارية تعمل طبقا لدورة الاستنزاف، تحتوي على مسخنين لمياه التغذية وإعادة تسخين، مسخن الضغط المرتفع من النوع المغلق أما مسخن الضغط المنخفض من النوع المفتوح، إذا علمت أن:  
ضغط المرجل (15 Mpa) ودرجة حرارة دخول توربينة الضغط المرتفع (600 C)  
ضغط الاستنزاف لمسخن الضغط المرتفع (5 Mpa)  
ضغط الاستنزاف لمسخن الضغط المنخفض (1.4 Mpa)  
وإعادة تسخين عند ضغط (5 Mpa) إلى درجة حرارة (600 C) و ضغط المكثف (10 kpa)  
القدرة المتولدة من الوحدة (150 MW) والارتفاع في درجة حرارة مياه التبريد (20 C) والحرارة النوعية لمياه التبريد (4.18 kJ/kg K)

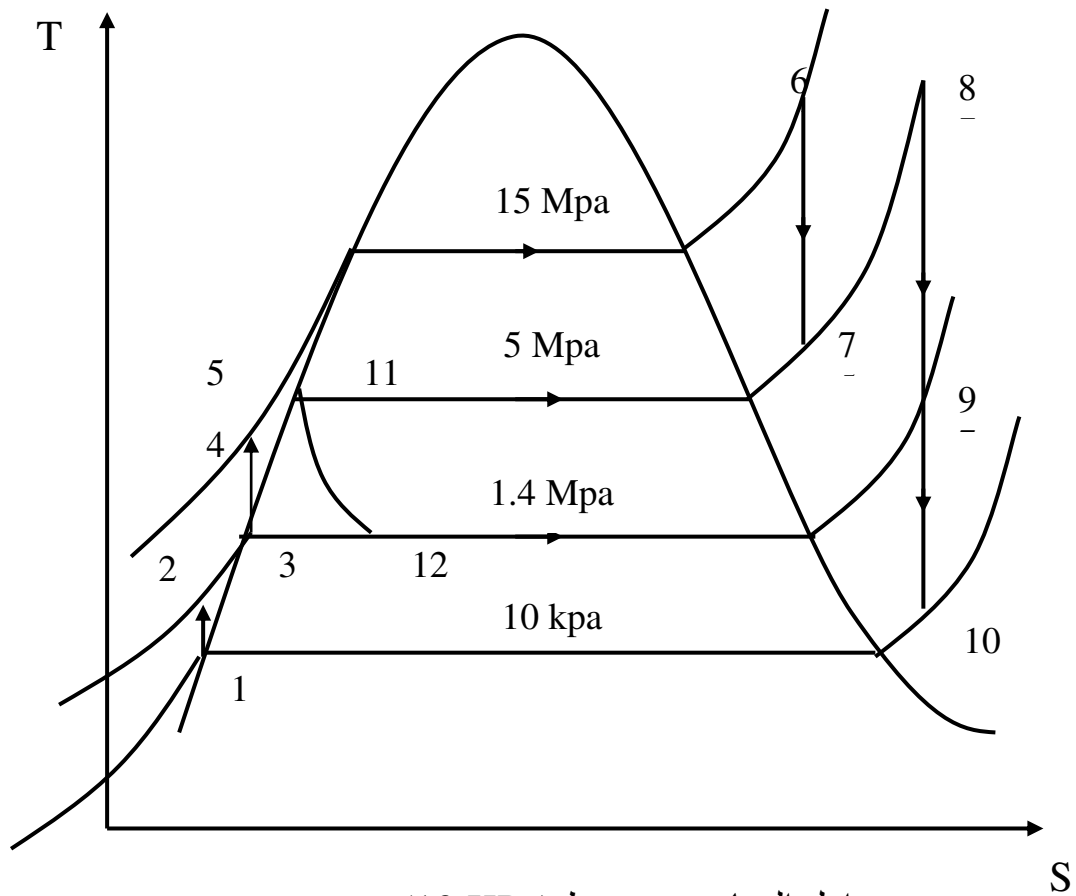
ارسم:

- 1- رسم تخطيطي للوحدة.
- 2- منحنى درجة الحرارة والانتروبي مبينا عليه إجراءات الدورة.

احسب:

- 1- نسبة البخار المستنزف لمسخني مياه التغذية (  $m_1, m_2$  )
- 2- الشغل الصافي.
- 3- الكفاءة الحرارية.
- 4- معدل سريان مياه التبريد.





من جداول البخار عند ضغط (10 KPa)

$$v_f = 0.00101 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 0.6493 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_1 = h_f = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{p1} = v_f(p_2 - p_1) = 0.00101 (1400 - 10) = 1.403 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{p1} = 191.83 + 1.403 = 193.233 \text{ KJ/Kg}$$

(1.4 MPa) من جداول البخار عند ضغط

$$v_f = 0.001149 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 830.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 2.2842 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_3 = h_f = 830.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{p2} = v_f(p_4 - p_3) = 0.001149 (15000 - 1400) = 15.626 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_4 = h_3 + w_{p2} = 830.3 + 15.626 = 845.926 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (5MPa)

$$v_f = 0.001286 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 2.9202 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2794.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_g = 5.9734$$

$$h_5 = h_{11} = h_{12} = h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (15 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$h_6 = 3582.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_6 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_6 = s_7$$

$$\Rightarrow s_7 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_7 > s_g$  (Point 7 is super-heated steam)

$$\therefore h_7 = 3195.7 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (5 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$h_8 = 3666.5 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_8 = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_8 = s_9$$

$$\Rightarrow s_9 = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_9 > s_g$  (Point 9 is super-heated steam)

$$\therefore h_9 = 3257.5 \text{ KJ/Kg}$$

$$\therefore s_8 = s_{10} \Rightarrow s_{10} = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

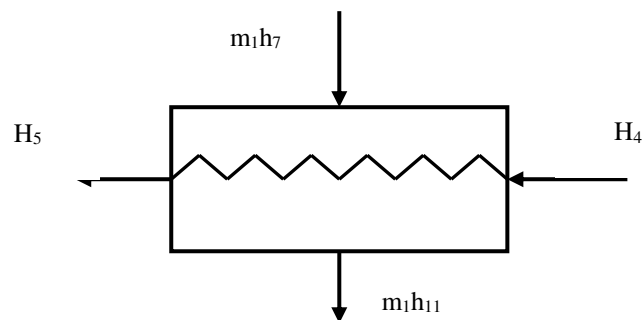
$\therefore s_{10} < s_g$  (Point 10 is wet steam)

$$X_{10} = \frac{s_{10} - s_f}{s_g - s_f} = \frac{7.2589 - 0.6493}{8.1502 - 0.6493} = 0.881$$

$$h_{10} = h_f + X_{10}(h_g - h_f) = 251.4 + 0.881(2584.7 - 191.83)$$

$$h_{10} = 2299.948 \text{ KJ/Kg}$$

الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية المغلق



$$m_1 h_7 + h_4 = m_1 h_{11} + h_5$$

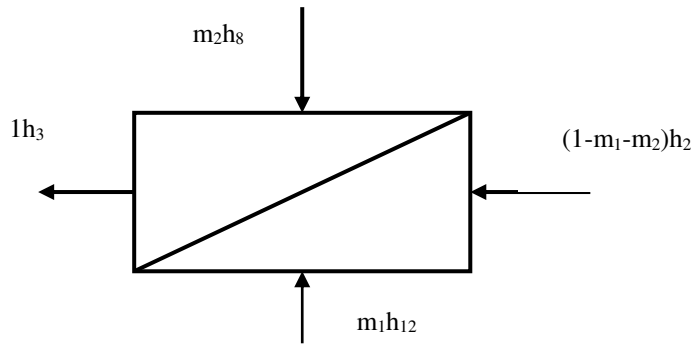
$$m_1 (h_7 - h_{11}) = h_5 - h_4$$

$$m_1 = \frac{h_5 - h_4}{h_7 - h_{11}}$$

$$m_1 = \frac{1154.23 - 845.62}{3195.7 - 1154.23}$$

$$\Rightarrow m_1 = 0.1511$$

الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية المفتوح



$$m_2 h_8 + (1 - m_1 - m_2) h_2 + m_1 h_{12} = h_3$$

$$m_2 (h_8 - h_2) = (h_3 - h_2) + m_1 (h_2 - h_{12})$$

$$m_2 = \frac{(h_3 - h_2) + m_1 (h_2 - h_{12})}{h_8 - h_2}$$

$$m_2 = \frac{(830.3 - 193.233) + 0.1511(193.233 - 1154.23)}{3666.5 - 193.233}$$

$$\Rightarrow m_2 = 0.166$$

$$w_p = (1 - m_1 - m_2) w_{p1} + 1(w_{p2})$$

$$= (1 - 0.1511 - 0.166) \times 1.403 + 15.626 = 16.598 \text{ kj}$$

$$w_t = 1(h_6 - h_7) + (1 - m_1)(h_8 - h_9) + (1 - m_1 - m_2)(h_9 - h_{10})$$

$$= (3582.3 - 3195.7) + (1 - 0.1511)(3666.5 - 3257.5) + (1 - 0.1511 - 0.166)(3257.5 - 2299.94)$$

$$= 1393.594 \text{ kj/kg}$$

$$w_t = 1393.594 \text{ KJ/Kg}$$

$$W_{net} = w_t - w_p = 1393.594 - 16.618$$

$$W_{net} = 1377.002 \text{ KJ/Kg}$$

$$q_a = (h_6 - h_5) + (1 - m_1)(h_8 - h_7)$$

$$= (3582.3 - 1167.09) + (1 - 0.1511)(3666.5 - 3195.7)$$

$$q_a = 2827.732 \text{ KJ/Kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1377.002}{2827.732}$$

$$\eta_{th} = 0.486$$

$$\dot{m}_s = \frac{\text{power}}{w_{net}} = \frac{150000}{1377.002} = 107.568 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_w C_{pw} \Delta t_w = \dot{m}_s (h_{10} - h_1)(1 - m_1 - m_2)$$

$$\dot{m}_w = \frac{107.568(2299.948 - 191.83)(1 - 0.1511 - 0.166)}{4.18 \times 20}$$

$$\dot{m}_w = 160391.618 \text{ kg/s}$$

مثال (١٢-٢)

وحدة بخارية تعمل طبقا لدورة الاستنزاف، تحتوي على مسخنين لمياه التغذية من النوع المفتوح وإعادة تسخين، إذا علمت أن:

ضغط المرجل (15 Mpa) ودرجة حرارة دخول توربينة الضغط المرتفع (600 C)

ضغط الاستنزاف لمسخن الضغط المرتفع (5 Mpa)

ضغط الاستنزاف لمسخن الضغط المنخفض (1.4 Mpa)

وإعادة تسخين عند ضغط (5 Mpa) إلى درجة حرارة (600 C) وضغط المكثف (10 kpa)

القدرة المتولدة من الوحدة (150 MW) والارتفاع في درجة حرارة مياه التبريد (20 C) والحرارة

النوعية لمياه التبريد (4.18 kJ/kg K)

ارسم:

1- رسم تخطيطي للوحدة.

2- منحنى درجة الحرارة والانتروبي مبينا عليه إجراءات الدورة.

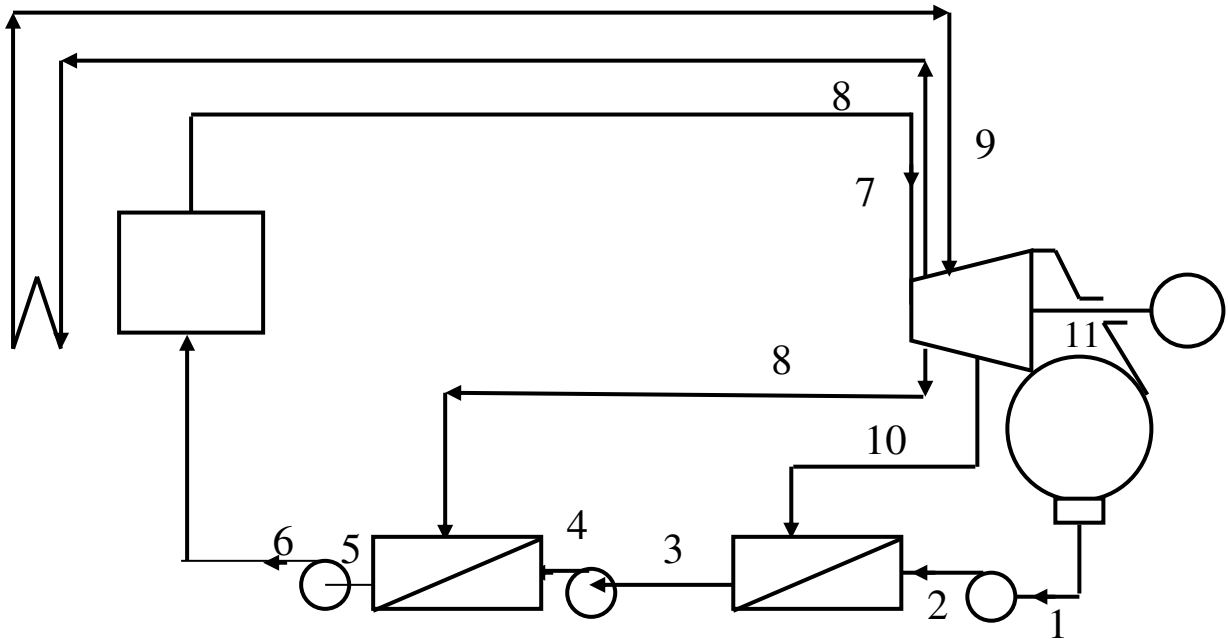
احسب:

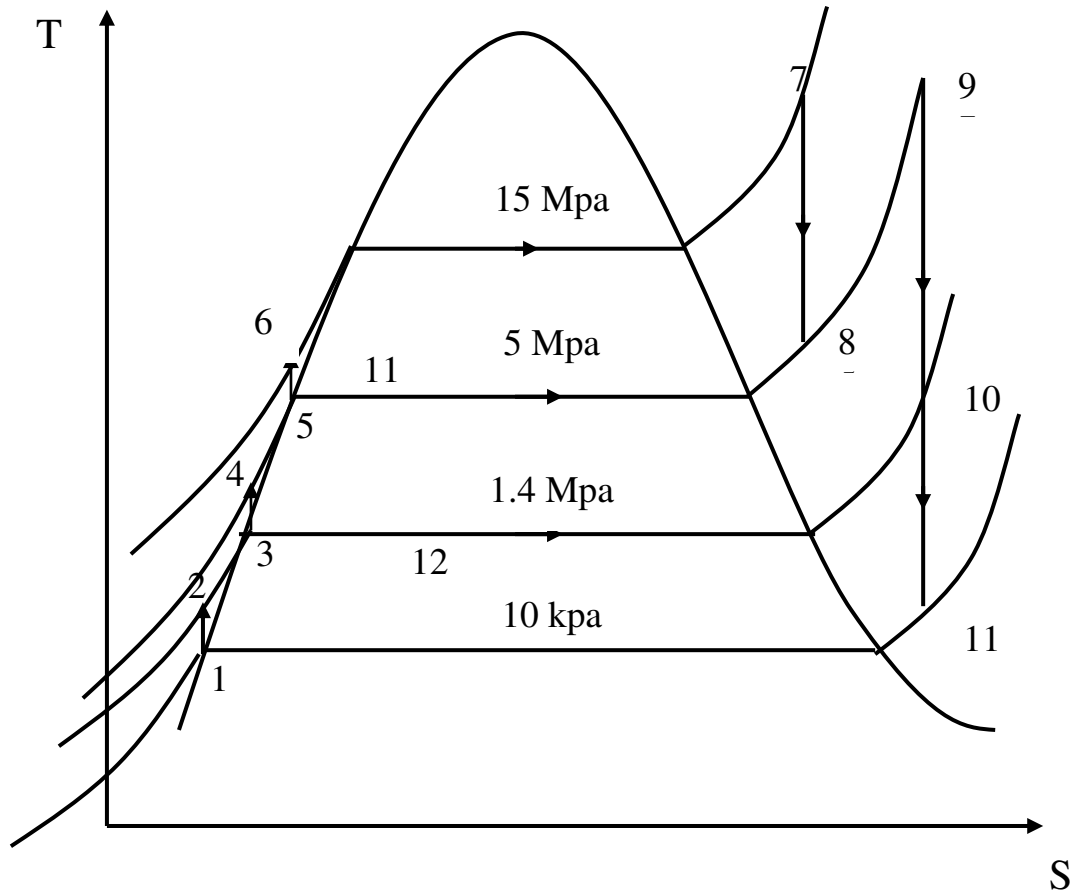
1- نسبة البخار المستنزف لمسخني مياه التغذية ( $m_1, m_2$ )

2- الشغل الصافي.

3- الكفاءة الحرارية.

4- معدل سريان مياه التبريد.





من جداول البخار عند ضغط (10 KPa)

$$v_f = 0.00101 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 0.6493 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2584.7 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_g = 8.1502$$

$$h_1 = h_f = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{p1} = v_f(p_2 - p_1) = 0.00101 (1400 - 10) = 1.403 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{p1} = 191.83 + 1.403 = 193.233 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (1.4 MPa)

$$v_f = 0.001149 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 830.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 2.2842 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2790.0 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_g = 6.4695$$

$$h_3 = h_f = 830.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{p2} = v_f(p_4 - p_3) = 0.001149 (5000 - 1400) = 4.136 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_4 = h_3 + w_{p2} = 830.3 + 4.136 = 834.436 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (5 MPa)

$$v_f = 0.001286 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_g = 2794.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 2.9202 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$s_g = 5.9734$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_5 = h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{p3} = v_f(p_6 - p_5) = 0.001286 (15000 - 5000) = 12.86 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_6 = h_5 + w_{p3} = 1154.23 + 12.86 = 1167.09 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (15 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$h_7 = 3582.3 \text{ KJ/Kg} \quad s_7 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_7 = s_8 \Rightarrow s_8 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_8 > s_g$  (Point 8 is super-heated steam)

$$\therefore h_8 = 3195.7 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (15 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$h_9 = 3666.5 \text{ KJ/Kg} \quad s_9 = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_9 = s_{10} \Rightarrow s_{10} = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$\therefore s_{10} > s_g$  (Point 10 is super-heated steam)

$$\therefore h_{10} = 3257.5 \text{ KJ/Kg}$$

$$\therefore s_9 = s_{11} \Rightarrow s_{11} = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

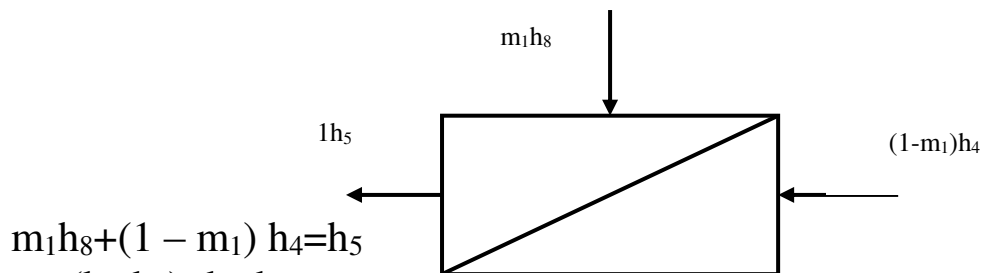
$\therefore s_{11} < s_g$  (Point 11 is wet steam)

$$X_{11} = \frac{s_{11} - s_f}{s_g - s_f} = \frac{7.2589 - 0.6493}{8.1502 - 0.6493} = 0.881$$

$$h_{11} = h_f + X_{11}(h_g - h_f) = 251.4 + 0.881(2584.7 - 191.83)$$

$$h_{10} = 2299.948 \text{ KJ/Kg}$$

الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية (الضغط المرتفع)



$$m_1 h_8 + (1 - m_1) h_4 = h_5$$

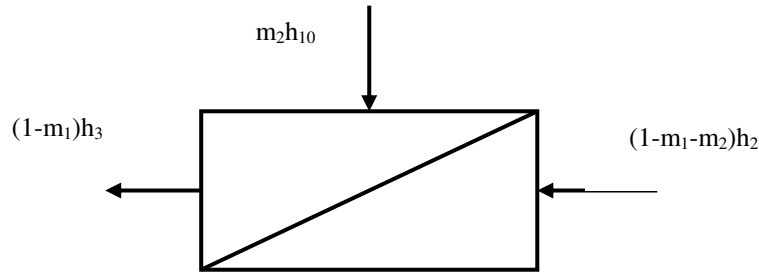
$$m_1 (h_8 - h_4) = h_5 - h_4$$

$$m_1 = \frac{h_5 - h_4}{h_8 - h_4}$$

$$m_1 = \frac{1154.23 - 834.436}{3195.7 - 834.436}$$

$$\Rightarrow m_1 = 0.135$$

الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية (الضغط المنخفض)



$$m_2 h_{10} + (1 - m_1 - m_2) h_2 = (1 - m_1) h_3$$

$$m_2 (h_{10} - h_2) = (1 - m_1) (h_3 - h_2)$$

$$m_2 = \frac{(1 - m_1) (h_3 - h_2)}{h_{10} - h_2}$$

$$m_2 = \frac{(1 - 0.135)(830.3 - 193.233)}{3257.5 - 193.233} \Rightarrow m_2 = 0.1798$$

$$w_p = (1 - m_1 - m_2) w_{p1} + (1 - m_1) (w_{p2}) + 1 (w_{p3})$$

$$= (1 - 0.135 - 0.1798) \times 1.403 + (1 - 0.135) \times 4.136 + 12.86 = 17.398 \text{ kj}$$

$$w_t = 1 (h_7 - h_8) + (1 - m_1) (h_9 - h_{10}) + (1 - m_1 - m_2) (h_{10} - h_{11})$$

$$= (3582.3 - 3195.7) + (1 - 0.135) (3666.5 - 3257.5) + (1 - 0.135 - 0.1798) (3257.5 - 2299.94)$$

$$= 1396.499 \text{ kj/kg}$$

$$w_t = 1396.499 \text{ KJ/Kg}$$

$$W_{net} = W_t - W_p = 1396.499 - 17.398$$

$$W_{net} = 1379.101 \text{ KJ/Kg}$$

$$q_a = (h_7 - h_6) + (1 - m_1) (h_9 - h_8)$$

$$= (3582.3 - 1167.09) + (1 - 0.135) (3666.5 - 3195.7)$$

$$q_a = 2822.45 \text{ KJ/Kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1379.101}{2822.45}$$

$$\eta_{th} = 0.488$$

$$\dot{m}_s = \frac{\text{power}}{w_{net}} = \frac{150000}{1379.101} = 108.76 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_w C_{pw} \Delta t_w = \dot{m}_s (h_{11} - h_1) (1 - m_1 - m_2)$$

$$\dot{m}_w = \frac{108.76 (2299.948 - 191.83) (1 - 0.135 - 0.1798)}{4.18 \times 20}$$

$$\dot{m}_w = 1879.209 \text{ kg/s}$$

مثال (١٣-٢)

وحدة بخارية تعمل طبقا لدورة الاستنزاف، تحتوي على مسخنين لمياه التغذية من النوع المغلق وإعادة تسخين، إذا علمت أن:

ضغط المرجل (15 Mpa) ودرجة حرارة دخول توربينة الضغط المرتفع (600 C)

ضغط الاستنزاف لمسخن الضغط المرتفع (5 Mpa)

ضغط الاستنزاف لمسخن الضغط المنخفض (1.4 Mpa)

وإعادة تسخين عند ضغط (5 Mpa) إلى درجة حرارة (600 C) وضغط المكثف (10 kpa)

القدرة المتولدة من الوحدة (150 MW) والارتفاع في درجة حرارة مياه التبريد (20 C) والحرارة

النوعية لمياه التبريد (4.18 kJ/kg K)

ارسم:

3- رسم تخطيطي للوحدة.

4- منحنى درجة الحرارة والانتروبي مبينا عليه إجراءات الدورة.

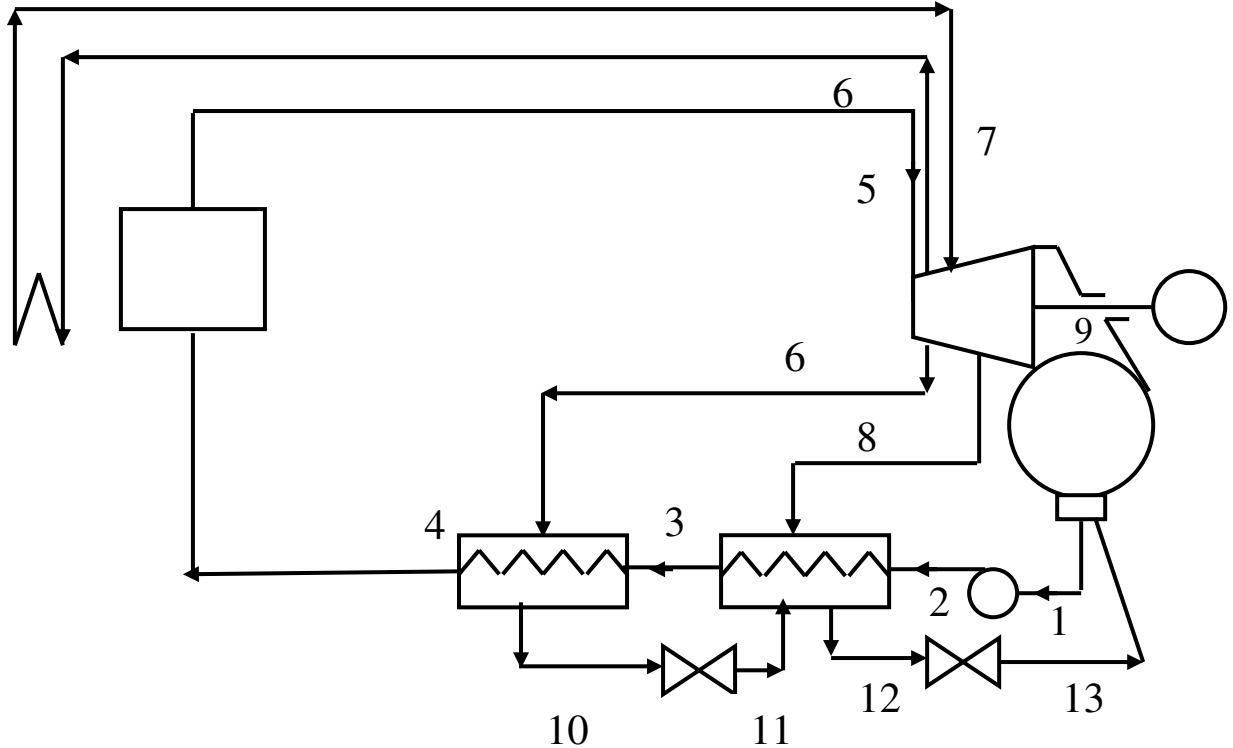
احسب:

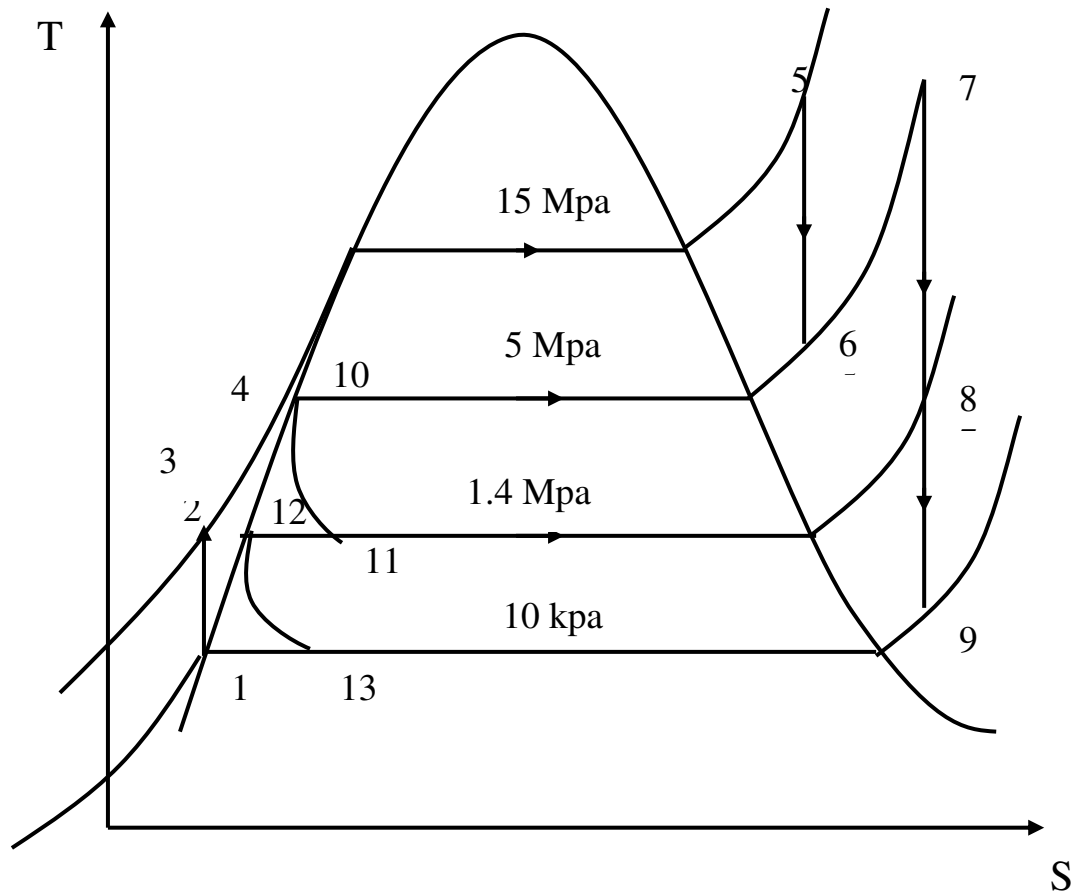
1- نسبة البخار المستنزف لمسخني مياه التغذية ( $m_1, m_2$ )

2- الشغل الصافي.

3- الكفاءة الحرارية.

4- معدل سريان مياه التبريد.





من جداول البخار عند ضغط (10 KPa)

$$v_f = 0.00101 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$\text{KJ/Kg}$$

$$s_f = 0.6493 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2584.7$$

$$s_g = 8.1502$$

$$h_1 = h_f = 191.83 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_p = v_f(p_2 - p_1) = 0.00101 (15000 - 10) = 15.139 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_p = 191.83 + 15.139 = 206.969 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (1.4 MPa)

$$v_f = 0.001149 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 830.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 2.2842 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2790.0 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_g = 6.4695$$

$$h_3 = h_f = 830.3 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (5MPa)

$$v_f = 0.001286 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_f = 2.9202 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\text{KJ/Kg.K}$$

$$h_g = 2794.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_g = 5.9734$$

$$h_4 = h_{10} = h_{11} = h_f = 1154.23 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (15 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$H_o = 3582.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_5 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_5 = s_6$$

$$\Rightarrow s_6 = 6.6776 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_6 > s_g \text{ (Point 6 is super-heated steam)}$$

$$\therefore h_6 = 3195.7 \text{ KJ/Kg}$$

من جداول البخار عند ضغط (5 MPa) ودرجة حرارة (600°C)

$$h_7 = 3666.5 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_7 = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_7 = s_8$$

$$\Rightarrow s_8 = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_8 > s_g \text{ (Point 8 is super-heated steam)}$$

$$\therefore h_8 = 3257.5 \text{ KJ/Kg}$$

$$\therefore s_7 = s_9 \Rightarrow s_9 = 7.2589 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\therefore s_9 < s_g \text{ (Point 9 is wet steam)}$$

$$X_9 = \frac{s_9 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{7.2589 - 0.6493}{8.1502 - 0.6493} = 0.881$$

$$h_9 = h_f + X_9(h_g - h_f) = 251.4 + 0.881(2584.7 - 191.83)$$

$$h_9 = 2299.948 \text{ KJ/Kg}$$

الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية (الضغط المرتفع)

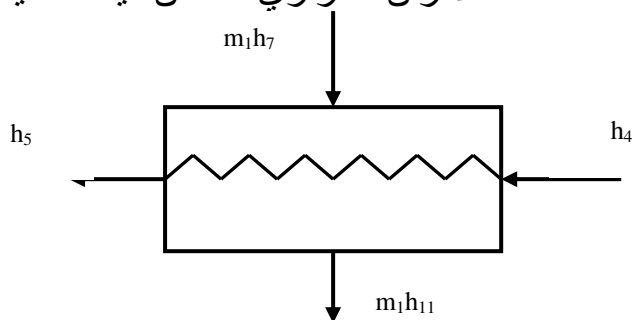
$$m_1 h_6 + h_3 = h_4 + m_1 h_{10}$$

$$m_1 (h_6 - h_{10}) = h_4 - h_3$$

$$m_1 = \frac{h_4 - h_3}{h_6 - h_{10}}$$

$$m_1 = \frac{1154.23 - 830.3}{3195.7 - 1154.23}$$

$$\Rightarrow m_1 = 0.158$$



الاتزان الحراري لمسخن مياه التغذية (الضغط المنخفض)

$$m_2 h_8 + m_1 h_{10} = (m_1 + m_2) h_{12}$$

$$m_2 (h_8 - h_{12}) = (m_1 + m_2) (h_{12} - h_{10})$$

$$m_2 = \frac{(m_1 + m_2) (h_{12} - h_{10})}{h_8 - h_{12}}$$

$$m_2 = \frac{(0.158 + m_2) (830.3 - 1154)}{3257.5 - 830.3}$$

$$\Rightarrow m_2 = 0.235$$

$$w_p = 15.139 \text{ kj}$$

$$w_t = 1 (h_5 - h_6) + (1 - m_1)(h_7 - h_8) + (1 - m_1 - m_2)(h_8 - h_9)$$

$$= (3582.3 - 3195.7) + (1 - 0.158)(3666.5 - 3257.5) + (1 - 0.158 - 0.235)(3257.5 - 2299.94)$$

$$= 1312.212 \text{ kj/kg}$$

$$w_t = 1312.212 \text{ KJ/Kg}$$

$$w_{net} = w_t - w_p = 1312.212 - 15.139$$

$$w_{net} = 1297.073 \text{ KJ/Kg}$$

$$q_a = (h_5 - h_4) + (1 - m_1)(h_7 - h_6)$$

$$= (3582.3 - 1154.23) + (1 - 0.158)(3666.5 - 3195.7)$$

$$q_a = 2824.48 \text{ KJ/Kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_a} = \frac{1297.073}{2824.48}$$

$$\eta_{th} = 0.459$$

$$\dot{m}_s = \frac{\text{power}}{w_{net}} = \frac{150000}{1297.073} = 115.644 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_w C_{pw} \Delta t_w = \dot{m}_s (h_9 - h_1) (1 - m_1 - m_2)$$

$$\dot{m}_w = \frac{115.644 (2299.948 - 191.83) (1 - 0.135 - 0.1798)}{4.18 \times 20}$$

$$\dot{m}_w = 1770.11 \text{ kg/s}$$