الاستفادة من الغازات المنبعثة من خطوط الإنتاج في توليد الطاقة الكهربائية (Waste Heat Recovery – WHR)

(شركة أسمنت بربر BCC)

إعداد:

1/ عبد الله صلاح عبد الله.

2/ عبد العزيز حسين محمد.

3/ أبو بكر عبد الله محمد.

4/ الطيب رجب رمضان.

مشروع تكميلي لنيل درجة البكالاريوس في الهندسة الميكانيكية

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبد الله البدي

مارس 2022

الاستفادة من الغازات المنبعثة من خطوط الإنتاج في توليد الطاقة الكهربائية (Waste Heat Recovery – WHR)

(شركة أسمنت بربر BCC)

إعداد:

1/ عبد الله صلاح عبد الله – 17889996 .

2/ عبد العزيز حسين محمد – 888465.

3/ أبو بكر عبد الله محمد – 17889905.

4/ الطيب رجب رمضان – 17888573.

إشراف

د/ مدحت فكتور

مشروع تكميلي لنيل درجة البكالاريوس في الهندسة الميكانيكية

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبد الله البدي

مارس 2022

الآية

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

قَالَ تَعَالَىٰ:

﴿ يَرْفَعِ ٱللَّهُ ٱلَّذِينَ ءَامَنُوا۟ مِنكُمْ وَٱلَّذِينَ أُوتُوا۟ ٱلْعِلْمَ دَرَجَٰتٍ ۚ وَٱللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴿١١﴾ ﴾

صدق الله العظيم

سورة المجادلة الآية (11)

الإهداء

إلى من تعبت في راحتي وشقيت لسعادتي . . .

إلى نبع الحب والحنان إلى البلسم الشافي . . .

أمي الحبيبة

إلى من أعطاني ولم يزل يعطيني بلا حدود . . .

إلى من أحمل اسمه بكل افتخار . . .

والدي العزيز

إلى من شاطرني أفراحي وأتراحي . . .

وأعانوني بقلوبهم وعقولهم . . .

أخواني وأخواتي

إلى من صاغوا لنا علمهم حروفاً وفكرهم منارة تنير لنا مسيرة العل والنجاح

إلى أساتذتي الكرام

الشكر والعرفان

ومن حق النعمة الذكر، وأقل جزاء المعروف الشـكر، الشـكر أولاً لله العلي القدير الذي وفقنا في إتمام هذا البحث، الذي نتمنى أن يكون إضافة جديدة في هذا المجال.

والشكر مقدم إلى الشموع التي تحترق من أجل إنارة الطريق لنا ومن اجل رفعتنا ألا وهم أساتذتنا في قسـم الهندسـة الميكانيكية، فلكم منا كل الحب والاحترام والتقدير. ونتمنى أن ينفع الله بكم عباده وأن تتحقق أمنياتكم جميعاً.

ونخص بالشكر **د/ مدحت فكتور**.

الذي يألو جهداً في مسـاعدتنا في هذا البحث والذي رعاه وجمَّله بملاحظته القيمة والمفيدة حتى خرج بهذه الصورة.

وجزاه الله عنا كل خير، وله منا كل التقدير والاحترام.

كما نشكر. . .

المهندسين في شركة أسمنت بربر.

المهندسين في شركة أسمنت عطبرة.

الذين لم يبخلوا علينا بعلمهم وخبراتهم.

الفهرس

الآية..... III
الإهداء..... IV
الشكر والعرفان..... V
الفهرس..... VI
فهرس الأشكال..... VIII
فهرس الجداول..... IX
الملخص..... X
1.الباب الأول: المقدمة..... 11
1.0 المقدمة..... 12
1.1 الأهداف..... 14
2.الباب الثاني: صناعة الإسمنت..... 15
2.1 مراحل صناعة الأسمنت..... 17
2.1.1 المرحلة الأولى: المحاجر Quarry..... 17
2.1.2 المرحلة الثانية: الكسارات Crushers..... 17
2.1.3 المرحلة الثالثة: الطواحين Raw mills..... 18
2.1.4 المرحلة الرابعة الأفران: Rotary Kilns..... 19
2.1.5 المرحلة الخامسة: الطحن النهائي: Cement Mills..... 20
2.1.6 المرحلة السادسة: التعبئة: Packing..... 20
3.الباب الثالث: الطاقة المستفادة..... 22
3.1 الطاقة الشمسية..... 23
3.2 طاقة المد والجزر (طاقة القمرية)..... 24
3.3 طاقة الرياح:..... 25
3.4 الطاقة المولدة من مساقط المياه:..... 26
3.5 الطاقة الناتجة عن الحرارة المنبعثة من حرق النفايات:..... 27
3.6 الحرارة المولدة من مداخن المصانع:..... 28
3.7 طاقة البخار..... 28
4.الباب الرابع: اختيار مكونات وحدة الطاقة..... 31
4.1 طبيعة الغازات المنبعثة من مصانع الأسمنت..... 33

4.1.1 الغازات الصاعدة من مبرد الكلنكر 34
4.1.2 الغازات المنبعثة من برج التبادل الحراري (المسخن الأولي – Preheater): 35
4.2 مكونات وحدة إنتاج الطاقة: 36
4.2.1 مقدمة..... 36
4.2.2 الغلاية (Boiler):..... 38
4.2.3 التوربين (Turbine)..... 39
4.2.4 المكثف (Condenser)..... 40
4.2.5 المولد (Generator)..... 41
4.2.6 خزان إمداد الماء (Tank)..... 41
4.2.7 أجهزة القياس والتحكم (Metering and Control Devices) 41
4.2.8 برج التبريد (Cooling Tower)..... 41
4.3 مبدأ التصميم: 42
4.4 اختيار النظام الحراري ومعدلات تدفق وحرارة البخار (Thermodynamic System and Parameters of Steam Pressure)..... 44
4.4.1 أولاً: غلاية المبادل الحراري..... 44
4.4.2 ثانياً: غلاية مبرد الكلنكر 46
4.4.3 ثالثاً: التوربين:..... 47
4.4.4 رابعاً: المولد:..... 47
4.5 نظرية عمل محطة الطاقة..... 47
5.الباب الخامس: النتائج والمناقشة 50
5.1 النتائج والمناقشة 51
6.الخاتمة والتوصيات 54
الخاتمة:..... 55
التوصيات: 57
المراجع..... 58

فهرس الأشكال

الشكل (2.1) مراحل صناعة الأسمنت في مصنع أسمنت بربر 21
الشكل (3.1) يوضح مخطط الطاقة الشمسية..... 24
الشكل (3.2) نموذج مبسط لإنتاج الطاقة الكهربائية من المد والجذر 25
الشكل (3.3) يوضح الأجزاء الرئيسية لتوربين الرياح..... 26
الشكل (3.4) نموذج مبسط لإنتاج الطاقة الكهربائية من مساقط المياه 27
الشكل (3.5) يوضح نموذج مبسط لإنتاج الطاقة الكهربائية من حرق النفايات 28
الشكل (4.1) يوضح مخطط مبسط لوحدة الطاقة..... 33
الشكل (4.2) رسم مبسط للفرن ومبرد الكلنكر..... 35
الشكل (4.3) شكل مبسط للمبادل الحراري (المسخن الأولي) والفرن 36
الشكل (4.4) مخطط مبسط لوحدة إنتاج الطاقة..... 37
الشكل (4.5) يوضح غلاية المبادل الحراري..... 45
شكل (4.6) مخطط تفصيلي لمحطة WHR..... 49

فهرس الجداول

جدول (1-4) يوضح خصائص البخار الناتج من غلاية المبادل الحراري..... 46
جدول (2-4) يوضح خصائص البخار الناتج من غلاية مبرد الكلنكر 46
جدول (3-4) يوضح خصائص البخار في التوربين 47

الملخص

جاء هذا البحث ليدرس كيفية الاستفادة من كمية الحرارة المهدرة والمضرة بالبيئة، وذلك في توليد الطاقة الكهربائية. بالإضافة إلى تقليل التلوث البيئي وإمكانية تصنيف تلك الطاقة والاستفادة منها كطاقة بديلة ومن ثم الحصول على كمية وخصائص الحرارة المنبعثة من صناعة الأسمنت. والاستفادة منها في توليد البخار، ومن ثم استعمالها كقوة محركة للتوربين البخاري، وتوليد الطاقة الكهربائية من مولد كهربائي يتم توصيله بالتوربين.

الباب الأول

المقدمة

الفصل الأول

1.0 المقدمة

أصبح الإسمنت ذا أهمية في حياتنا اليومية؛ لأنه يعتبر المادة الأساسية في مواد البناء والتعمير. تعتبر ولاية نهر النيل من أكثر الولايات التي توجد بها مصانع الأسمنت حيث ترسل تلك المصانع كميات مقدَّرة من الطاقة الحرارية للفضاء كطاقة ضائعة غير مستفادة.

جاء هذا البحث ليدرس كمية الحرارة المهدرة والمضرة للبيئة وذلك بالاستفادة من تلك الحرارة في توليد الطاقة الكهربائية بالإضافة إلى تقليل الضرر البيئي. ولإمكانية تصنيف تلك الطاقة والاستفادة منها كطاقة بديلة تم عرض كل أنماط الطاقة البديلة باعتبارها متاحة للاستفادة منها في توليد الطاقة الكهربائية، شأنها في ذلك شأن الغازات الصاعدة من الصناعة. ومن ثم يتم الحصول على كمية وخصائص الحرارة المنبعثة من صناعة الأسمنت والاستفادة منها في توليد البخار ومن ثم يتم استعمالها كقوى محركة للتوربين البخاري وتوليد لطاقة الكهربائية من مولد كهربائي يتم إلحاقه بالتوربين.

يعتبر توليد البخار من الحرارة الكامنة في غازات الصناعة مسلكا مستخدماً وهي ما يسمى بالـ (*Waste Heat Recovery Boiler*) وقد استخدمت الشركات الرائدة في هذا المجال جداول الاستفادة منه ولكل نموذج من نماذج الحرارة الصاعدة من أنواع الصناعة المختلفة وهو كذلك يحتاج إلى استنباط القوانين الرياضية المطلقة لكل عموميات كميات الحرارة وخصائص الحرارة المنبعثة من الصناعة بشكل مطلق.

تنتج كمية من الحرارة من مداخن المصـــنع وتتركز في المبادل الحراري للفرن ومبرد الكلنكر. تنتج تلك الحرارة نتيجة لحرق المادة الخام داخل الفرن وذلك لتعرضها لكمية هائلة من الحرارة لإتمام عملية الحرق

وإنتاج الكلنكر، أيضاً هنالك كمية من الحرارة ناتجة عن تبريد الكلنكر قبل الدخول لمرحلة أخرى نتيجة التبريد بواسطة مراوح. وسوف نعمل على الاستفادة من تلك الحرارة.

عادة ما يتم استخدام جزء من تلك الحرارة بإرجاعه إلى طاحونة الخام لتعمل على تجفيف أولي للمادة، أمام بعض المصانع تستخدم الفيرنس. يتم استخدام جزء من تلك الحرارة في التسخين المبدئي للوقود (الفيرنس). كمية الحرارة المستخدمة في الحالتين يستمد جداً مقارنة بالكمية الكلية المنبعثة.

الغازات المنبعثة من مداخن المصانع والتي كون مصدرها الوقود من بترول وفحم وأخشاب. تتم الاستفادة منها في توليد الطاقة والتي يمكن من خفض استعمال الوقود التقليدي آنف الذكر.

في هذا البحث سوف نتعرض لدراسة إحدى أنواع الطاقة صُنفت كطاقة بديلة وهي استخدام الحرارة المنبعثة من مداخن المصانع، وسوف تكون الدراسة على مصنع شركة أسمنت بربر *Berber Cement Company*.

1.1 الأهداف

- الاستفادة من الغازات المنبعثة من مداخن المصانع في إنتاج طاقة كهربائية.
- الحد من انبعاث غازات الاحتباس الحراري من خلال الاعتماد على أنواع الطاقة البديلة.
- تحسين كفاءة الاستفادة من الوقود.
- توفير الوقود في التشغيل الذاتي للمصانع.
- دراسة كمية الحرارة المهدرة والمضرة للبيئة في المصانع.
- خفض نســـبة الكربون المنبعث من احتراق الوقود (تقليل الكربون CO_2) الذي أثر على المناخ بصورة أثرت على كل بقاع العالم من ارتفاع درجة حرارة كوكب الأرض.

الباب الثاني

صناعة الأسمنت

الباب الثاني

2.0 صناعة الأسمنت

استخدم القدماء في الماضي البعيد خليطاً من الجير والطمي والرمل في إقامة مبانيهم، فقد استخدمه قدماء المصريين بالفعل منذ 2600 عام، وأتقن الرومان صناعته خلال القرن الأول الميلادي حيث اكتشفوا أن إضافة التربة البركانية المأخوذة من منطقة بزولي بالقرب من نابلس، تمكنهم من الحصول على خليط يصلح للتحكم في المياه الجوفية.

لقد أصبحنا نعرف الآن أن تلك التربة المأخوذة من بزولي، التي استخدم اسمها بقدر من التحريف (بزلان) ليطلق على ذلك الصخر السليكوني البركاني، تحتوي على نسبة 90% – 60 من الرمل، و 40% – 10 من الجير، على حسب مصدرها. وتم بالفعل اكتشاف آثار قديمة في عدة مدن رومانية كبقايا الأسمنت الجاف تعود لتلك الحقبة التاريخية.

في عام 1796م اكتشف العالم جميس باركر أن جزيرة شايبي في بريطانيا، الأسمنت السهل (وهو عبارة عن جير مميه أو إسمنت طبيعي ينصهر بسرعة عند درجة حرارة عن 900°C كسائر الجير الطبيعي العادي) وأعطاه اسم الاسمنت الروماني.

وفي العام 1824م اكتشف العالم البريطاني جويف اسبالين أودع براءة لصناعة الجير المميه وأطلق عليه الأسمنت البورتلاندي ونسبة إلى أعالي شبه جزيرة بورتلاند الموجودة على ضفاف بحر المانش الذي يفصل بين فرنسا وبريطانيا.

إن أول مصنع للأسمنت اخترع بواسطة *dupont et demarlé* في سنة 1846م في منطقة *boutlogne-sur-mer* ولقد تطورت بعد شهور مواد جديدة (فرن حركي الدوران حول نفسه) مكسر لكريات الكلنكر وبعد ذلك تطورت صناعة الأسمنت دون توقف.

2.1 مراحل صناعة الأسمنت

2.1.1 المرحلة الأولى: المحاجر Quarry

يتم اســـتخراج الخام من المحاجر وذلك عبر التقصـــي أولاً يتم تنقيب المحجر وعلى تلك الثقوب بالمتفجرات لنسف واجهة المحجر للحصول على كتل من الحجر تتراوح أبعادها (300 *mm* – 1400 *mm*).

يتم التحكم في تلك الأبعاد عبر آلات تكســـير (Jack hammer) بعد ذلك يتم نقل الخام إلى الكسارات عبر آليات نقل خاصة.

2.1.1.1 مكونات محجر الأسمنت:

1/ محاجر الحجر الجيري: Limestone

وهو المكون الرئيسي يسمى لمادة الأسمنت.

2/ محاجر الطفلة أو الطينة: Clay

غالباً توجد في شفاف الأنهار.

3/ محاجر الجبص: Gypsum

وتتكون من الجبص الأبيض.

أحياناً في بعض المصـــانع تســـتخدم أنواع أخرى من المواد الإضـــافية مع الحجر مثل خام الحديد Iron ore والطينة الصحراوية desert clay.

2.1.2 المرحلة الثانية: الكسارات Crushers

يتم منها تســكر كتل الحجر إلى أحجام صــغيرة (50 *mm* – 150 *mm*) يتم نقل الحجر بعد ذلك إلى مخازن الحجر المدروش توطئة لعقلة ولمقادير محددة إلى طاحونة الخام.

يمكن استخدام عدة أنواع من الكسارات منها:

- كسارة شواكيش Hammer crusher.

- الكسارة الصدمية Impact crusher.
- الكسارة الفكية Jaw crusher.
- الكسارة المخروطية Cone crusher.
- وتعتبر كسارة السكاكين من الكسارات الأكثر شيوعاً واستخداماً في مصانع الأسمنت حيث يتم فيها ضبط أبعاد الحجر عن طريقة حساب المسافة بين الشاكوش والإطار الخارجي.

- **مرحلة التخليط: Pre-blinding**

وهي مرحلة ما قبل طحن المواد الخام ومنها يتم تخليط المواد الخام الأولى (كل مادة على حدة) لتكون المادة أكثر تجانساً مع بعضها البعض وتعطي نسبة مكونات متشابهة. يستخدم في ذلك تقنية وهي المواد غير آلية تسمى Material stubary رصاص المواد وفيها يتم رص كل مادة في لوحة (pile) وبذلك تكون المواد جاهزة للطحن نسبة معينة ويتم تغذيتها على آليات reclaimer أو متحركة مثل اللوادر.

2.1.3 المرحلة الثالثة: الطواحين Raw mills

يتم تغذية المواد في طاحونة الخام عبر ضبطها حسب النسب المطلوبة في محطة تنسيب *Preparation station* حسب توجيهات ضبط الجود، مثلاً الحجر الجيري %(85-15) الطفلة.

بعد ذلك طحن الخام وتحويله إلى بدرة وتغذيته في صهاريج (*Silo*) يتم التحكم في درجة تهوية تلك البدرة عن طريق فرازة ملحقة بطاحونة الخام للحصول على النعومة المطلوبة.

يتم الاستفادة من الغازات المنبثة من الفرن لتسخين الطاحونة وذلك لتسهيل عملية الطحن في حالة عدم استخدام الغازات المنبعثة من الفرن يتم تسخين الطاحونة عبر آلية تسمى Hot gas ويستخدم فيها حرق الديزل أو زيت الفيرنس.

يتم تزويد صهاريج تخزين المواد بمنظومة تعمل على تخليط المواد داخل الصهاريج وذلك للحصول على خلية أكثر تجانساً.

2.1.4 المرحلة الرابعة الأفران: Rotary Kilns

الفرن الدوار عبارة عن فرن اسطواني طويلة مبطن من الداخل بطوب حراري ويدور ببطء حول محور يميل قليلاً على المستوى الأفقي ليسمح هذا الميل بدفع الخليط المحترق إلى الأمام ويكون في مؤخرة الفرن شعلة الاحتراق التي تولد درجة حلالة عالية جداً كافية لحرق الخليط وتصل درجة حرارة الفرن إلى 1420°C.

وتتولد عن الطرف الأمامي (المخرج) من الفرن غازات احتراق عالية الحرارة تنبعث إلى الجزء الأعلى (المدخل) من الفرن في تيار معاكس لحركة محتويات الفرن المندفعة إلى أسفل، تخرج الغازات العالية الحرارة مسحوبة بواسطة مراوح إلى جزء أعلى يسمى التسخين الأولي *Preheated* والذي يستخدم الحرارة المسحوبة من الفرن في تجفيف أو إزالة الرطوبة من الخليط المستقبل من طاحونة الخام لترفع من درجة حرارته. بعض تلك الحرارة تخرج بكمية كبية إلى الهواء الجوي ولا يتم الاستفادة منها ونحن بصدد استخدام هذه الحرارة للاستفادة منها في توليد الطاقة الكهربائية.

كل تلك المرحلة (مرحلة الحرق في الفرن) مرحلة تبريد الكلنكر (ناتج حرق البدرة) الذي يخرج بدرجات حرارة عالية في شكل كتل ملتهبة (شديدة الإحمرار) يتم دفع الكلنكر بواسطة الحركة الدائرة وميلان الفرن إلى المبرد بحيث يتم تبريد الكلنكر بواسطة مراوح (مبرد هوائي) عند جرجة حرارة 1400°C إلى ما بين (200 – 600)°C.

الحرارة الناتجة من الكلنكر منبعثة التبريد تخرج بواسطة قوة في نهاية المبرد إلى الهواء الجوي دون الاستفادة منها أيضاً. والتي سوف نستخدمها مع الحرارة الناتجة من التسخين الاولي لنفس الغرض.

هذه الحرارة مبدئياً نستخدمها في غلايات لتسخين المياه لإنتاج البخار واستخدام البخار الناتج في توليد الطاقة الكهربائية بواسطة توربين بخاري ومولد كهربائي.

2.1.5 المرحلة الخامسة: الطحن النهائي: Cement Mills

وفي هذه المرحلة يتم الطحن النهائي لإنتاج منتج الأسمنت الذي يتكون من الكلنكر (منتج الفرن) مع الجبص واللذان يتم تغذيتهما بعد خلطهما حسب نسب معينة عبر محطة التنسيب. مثلاً الكلنكر 95% الجبص 5%.

ويتم التحكم في جودة الأسمنت من خلال درجة النعومة ويتم تركيب فلاتر (مرشحات) بمخارج الطواحين للتخلص من غبار الأسمنت والتحكم في درجة النعومة ويتم أيضاً استخدام منظومة التسخين *Hot gases* التي تساعد في طحن الخليط وتقليل نسبة الرطوبة في الأسمنت.

تستخدم في مرحلة الطحن النهائي نوعين من الطواحين:

1/ الطواحين الرأسية: Vertical mills

وفيها تكون تقنية الطحن عبر ضغط المواد بين جزأين معدنيين جزء متحرك والآخر ثابت يتم ضغط الأجزاء بعضها عبر نظام هيدروليكي. وتتميز الطواحين الرأسية لإنتاج العالي الذي يكون حوالي 100 – 140 *t/h* وأقل استهلاك للطاقة الكهربائية.

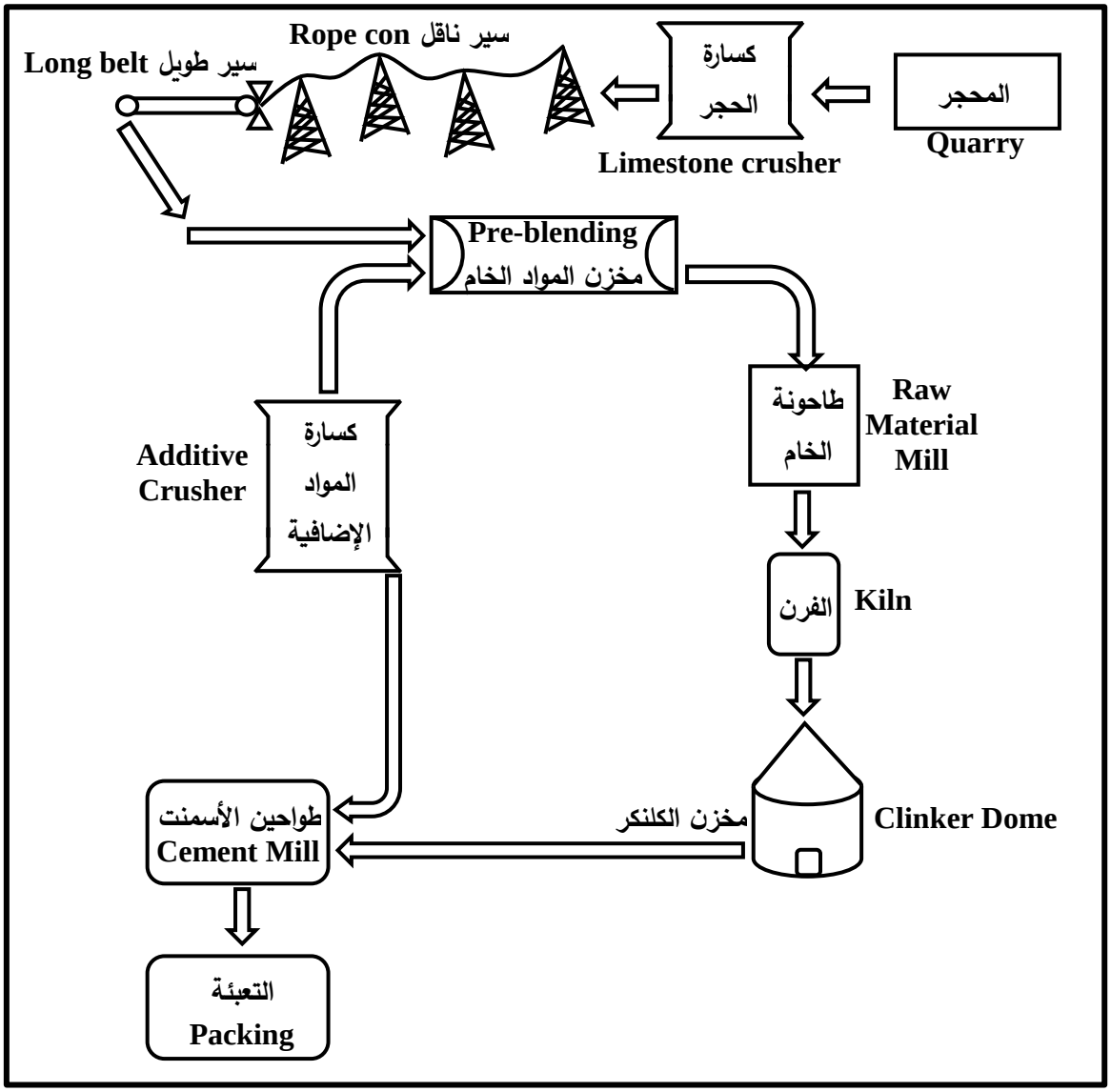
2/ الطواحين الأفقية: Horizontal Mill

فيها تكون تقنية الطحن عبر اسقاط كرات معدنية *Balls* بأوزان معينة وتتميز هذه الطواحين للعمل لساعات تشغيل طويلة مستمرة. إلا أنها أقل إنتاج من الطواحين الرأسية وأكثر استهلاكاً للطاقة الكهربائية.

بعد انتهاء عملية الطحن يكون الناتج بدرة الأسمنت يتم تخزينها بصوامع التعبئة.

2.1.6 المرحلة السادسة: التعبئة: Packing

يتم تعبئة الأسمنت حسب الطلب بطريقتين أما صورة سائبة أو في شاحنات الأسمنت السائبة *Bulk Transport* أو تعبئته في أكياس بأوزان معينة.



الشكل (2.1) مراحل صناعة الأسمنت في مصنع أسمنت بربر

الباب الثالث

الطاقة المستفادة

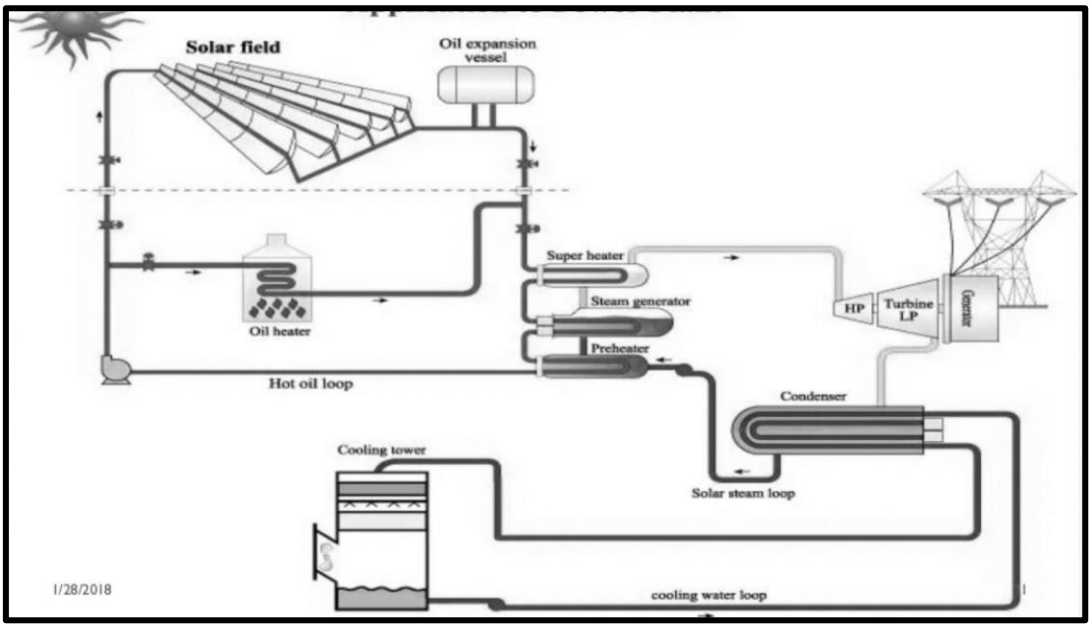
الباب الثالث

3.0 الطاقة المستفادة

في هذا الفصل سوف نستعرض أنواع الطاقة البديلة (المتجددة) التي يمكن الاستفادة منها بإنتاج طاقة بكميات أكبر من المنتجة حالياً من أنواع الطاقة الأخرى. وتعتبر من أنواع الطاقة النقية (صديقة البيئة) أو تلك التي تعمل على خفض تلوث البيئة متجدد ومتوفرة ولها عدة أنواع نذكرها:

3.1 الطاقة الشمسية

هي الضوء المنبعث والحرارة الناتجة عن الشمس والتي قام الإنسان بتسخيرها لمصلحته في العصور القديمة باستخدام مجموعة من وسائل التكنلوجيا التي تتطور باستمرار. لم يتم استخدام سوى جزء بسيط من الطاقة المتوفرة في حياتنا. يتم توليد طاقة كهربائة بواسطة محركات كهربائية أو محولات فولتوضوئية. يستقبل كوكب الأرض 174 بيتا واط من الإشعاعات الشمسية القادمة إليها (الإشعاع الشمسي) بينما ينعكس 30% من هذه الإشعاعات عائداً للفضاء ويمتص الباقي بواسطة السحب والمحيطات والكتل الأرضية كما يمكن تحويل ضوء الشمس المباشر إلى كهرباء عن طريق استخدام محولات فولتوضوئية والتي تستخدم بشكل أساسي بإمداد الأجهزة الصغيرة والمتوسطة بالكهرباء بدأ من الآلة الحاسبة التي يتم تشغيلها بواسطة خلية شمسية في المنازل التي لا تحتوي على شبكة كهرباء يتم إمدادها بالكهرباء بواسطة مجموعة من الخلايا الفولتوضوئية تعتبر الطاقة الشمسية من أنظف أنواع الطاقة البديلة وتولد طاقة كهربائية عالية يمكن الاستفادة منها بنسبة كبيرة.



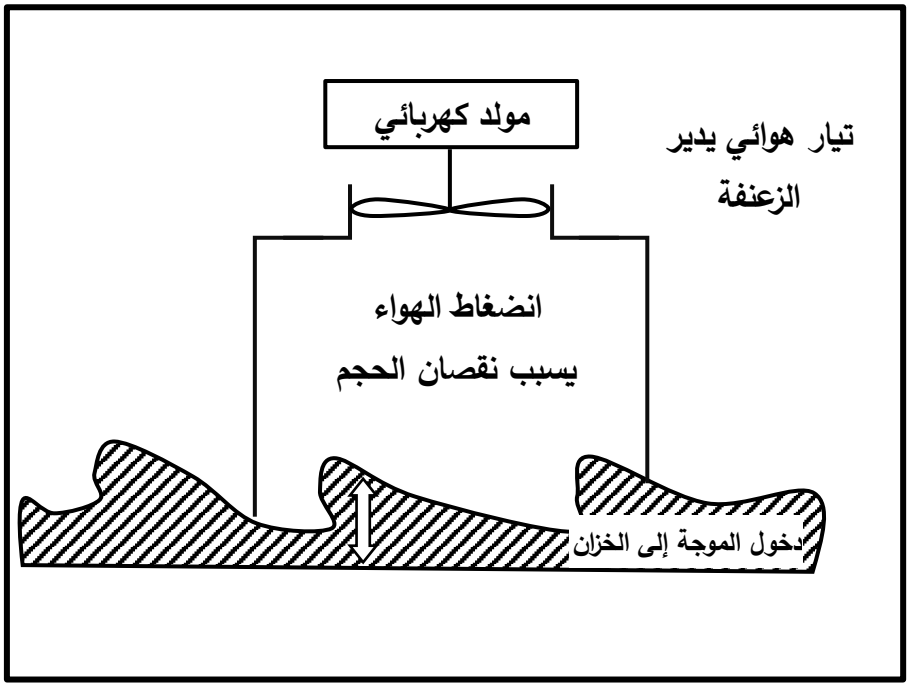
الشكل (3.1) يوضح مخطط الطاقة الشمسية

3.2 طاقة المد والجزر (طاقة القمرية)

هي نوع من أنواع طـاقـة الحركـة التي تكون مخزونـة في التيـارات النـاتجـة عن المـد والجزر والناتجة بطبيعة الحال عن جاذبية القمر والشـــمس ودوران الأرض حول محورها وتصـــنف على أنها طاقة متجددة.

بدأت الكثير من الدول الســاحلية الاســتفادة من الطاقة الحركية لتوليد طاقة كهربائية لتقيل التلوث الناتج من المحطات الحرارية التي تعمل بالفحم أو البترول.

من أهم إيجابيات هذه الطاقة كونها متجددة فهي من مصـــادر الطاقة التي لا تفنى، وتعتبر طاقة نظيفة غير مضـــرة والتي لا تســـبب تلوث في كل مراحلها ومتوفرة بكميات كبيرة جداً في أغلب البلدان قليلة التكلفة في إنتاجها بعد التكلفة الابتدائي والطاقة المسـتخرجة ذات مرور عالي، وبالرغم من تلك المميزات نجد بعض العيوب أو السـليبات ومن أهمهم ارتفاع التكلفة الابتدائية (الإنشـائية) وهي تكلفة إقامة محطات الطاقة الحرارية الأرضية.

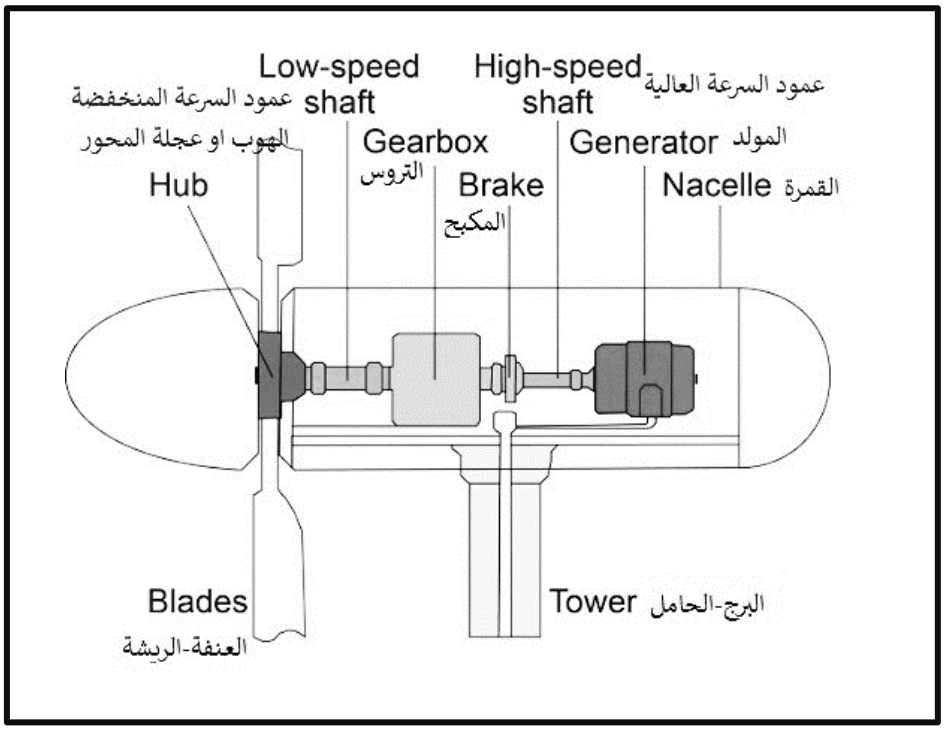


الشكل (3.2) نموذج مبسط لإنتاج الطاقة الكهربائية من المد والجذر

3.3 طاقة الرياح:

تعرف بأنها عملية تحويل طاقة الرياح إلى شكل من أشكال الطاقة سهلة الاستخدام غالباً كهربائية باستخدام مروحيات (توربينات هوائية). يتم تحويل حركة الرياح التي تدير التوربينات عن طريق تحويل دوران هذه الأخيرة إلى كهرباء بواسطة مولدات كهربائية.

نجد ان هذه الطاقة مجموعة من المميزات في أنها تعتبر مصـــــدر مثالي للطاقة. ولا تخلف أي غازات ضـارة أو نفايات خطيرة وحركة الرياح المسـتمرة تمكنها من تحويلها إلى طاقة توربينية دورانية منتظمة وباستخدام مولدات كهربائية تتحول إلى طاقة كهربائية.



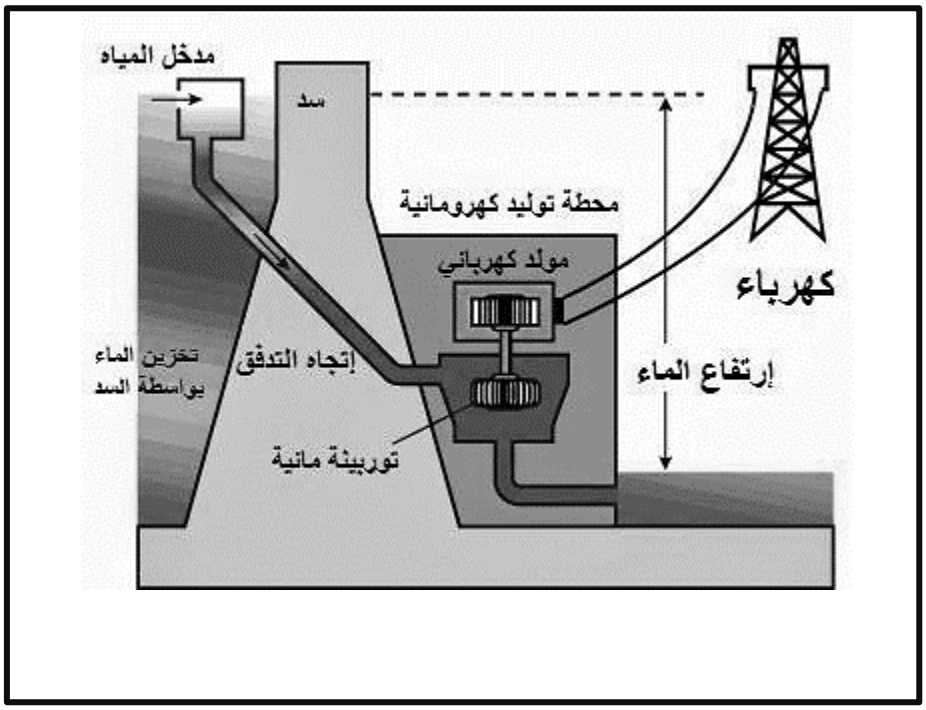
الشكل (3.3) يوضح الأجزاء الرئيسية لتوربين الرياح

3.4 الطاقة المولدة من مساقط المياه:

تعتبر مصادر المياه مصدر جيد لتوليد الطاقة الكهربائية ويمكن التوليد من وجود الماء في أماكن مرتفعة كالبحيرات ومجاري الأنهار ويتم ذلك بالانحدار أو تساقط المياه بسرعة.

إذا كان مجرى النهر منحدراً كبيراً فيمكن عمل تحويرة النهر في اتجاه أحد الوديان المجاورة وعمل شلال اصطناعي أما اذا كان الانحدار حقيقياً فيلزم عمل سدود في الأماكن المناسبة من مجرى النهر لتخزين المياه. تنشأ محطات التوليد بالقرب من هذه السدود كما هو الحال في مجرى نهر النيل.

الشلالات الطبيعية تستخدم مباشرة في توليد الكهرباء، نظرية التوليد تتم بناءً على تحويل الطاقة الكامنة في المياه إلى طاقة حركة وتسلط على ريش توربينة والتي بدورها تحرك محور التربين ومنها إلى المولد.

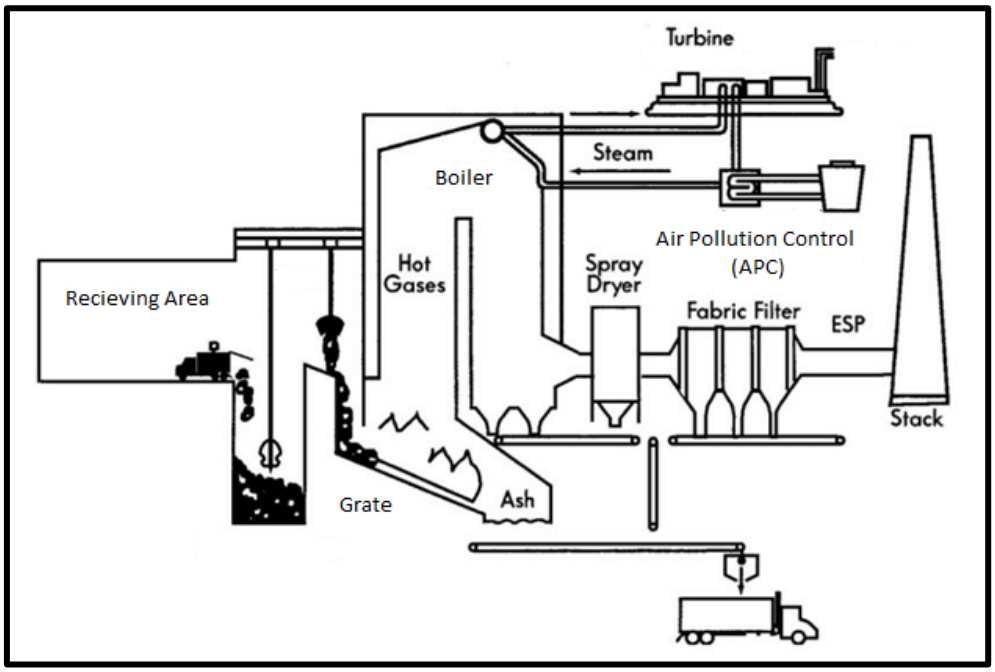


الشكل (3.4) نموذج مبسط لإنتاج الطاقة الكهربائية من مساقط المياه

3.5 الطاقة الناتجة عن الحرارة المنبعثة من حرق النفايات:

نتيجة للقلق المتزايد من مسألة معالجة النفايات الصلبة والبحث عن مصادر جديدة أصبحت اليوم مسألة إنتاج طاقة من النفايات أكثر بروزاً في مجال معالجة النفايات. أقدم الطرق وأكثرها انتشاراً من طرق معالجة النفايات هي حرق النفايات والحصول على الحرارة الناتجة. هذه العملية تخفف من كمية النفايات الصلبة التي لا بد من معالجتها. علماً بأن الحرق يواجه نقداً بخصوص التلوث الذي يخلفه خاصة التلوث الناتج عن غازات العادم ومن النواتج العرضية لعملية الحرق.

يعتبر توليد الطاقة الكهربائية من حرق النفايات وسيلة متطورة واقتصادية وهي تتم في معامل مخصصة يتم فيها فصل المواد غير القابلة للحرق مثل المعادن والزجاج ثم نوجد المواد العضوية المتبقية إلى منظومات إنتاج الوقود. وتعتبر هذه أكثر سهولة من عمليات الفصل الميكانيكي المعقدة التي يتم فيها استخدام الرماد كمادة تحرق مع الفحم لأغراض توليد الطاقة.



الشكل (3.5) يوضح نموذج مبسط لإنتاج الطاقة الكهربائية من حرق النفايات

3.6 الحرارة المولدة من مداخن المصانع:

من المشاكل الكبيرة في مجال الطاقة التي أرهقت الباحثين مشكلة الطاقة المهدرة أو المفقودة في جميع أنحاء العالم وهنالك أكثر من 60% من الطاقة المفقودة في شكل حرارة مهدرة والمنتجة من مداخن المصانع والآلات والسيارات.

تعتمد معظم المصانع على مولدات داخلية لإنتاج الطاقة الكهربائية وهذه المولدات عادة ما تبعث كمية من الحرارة من المداخن. كما أن معظم المصانع تعتمد على استخدام الحرارة في عمليات الحرق أو التسخين والتي بدورها تبعث كمية من الحرارة عبر مداخنها. يتم الاستفادة من تلك الحرارة في توليد طاقة كهربائية إضافية باستخدام الغلايات والتوربينات. كما يمكن الاستفادة منها في أغراض التدفئة.

3.7 طاقة البخار

المحرك البخاري هو محرك يستفيد من بخار الماء المضغوط ذي درجة الحرارة العالية لتحويل الطاقة الحرارية إلى عمل ميكانيكي وطاقة حركة.

مصطلح المحرك البخاري قد يشير أيضاً إلى كامل القاطرة البخارية والسكك الحديدية التي تعمل بمحرك بخاري. استخدمت محركات البخار في محطات الضخ والقاطرات البخارية والسفن وتعتبر المحركات البخارية أساسية للثورة الصناعية وشاهد على ذلك الاستخدام الواسع في تشغيل الآلات في المصانع والمطاحن على الرغم من اختراع محركات الاحتراق الداخلي والمحركات الكهربائية وحلها محل المحركات البخارية.

وتعتبر التوربينات البخارية تقنياً نوعاً من المحركات البخارية وهي تستخدم على نطاق واسع لتوليد الكهرباء حوالي 66% من مجمل الطاقة الكهربائية في العام تولد باستخدام التوربينات البخارية.

المحرك البخاري يتطلب المرجل لتسخين الماء وتحويله إلى بخار وتمارس قوة البخار كل الضغط المرتفع لدفع المكبس في أسطوانة كما في محرك السكك الحديدية أو في التوربينات تلك الحركة التي يمكن تسخيرها لدفع العجلات أو الآلات والتوربينات التي تولد الكهرباء عن طريق توصيلها بمولد الكهرباء.

من مميزات المحرك البخاري أن يمكن استخدام مصادر عديدة للحرارة معله لتوليد البخار في المرجل ورفع درجة حرارته ولكن الأكثر شيوعا هو احتراق الفحم والحطب أو منتجات النفط.

تنتشر محطات التوليد الخباري اعتماداً على القرب من شواطئ البحار أو مجاري الأنهار وكذلك على القرب من مصادر الوقود ومراكز استهلاك الطاقة الكهربائية.

وتستعمل هذه المحطات الأنواع المتوفرة سابقة الذكر من الوقود. ويتم أولاً في تلك المحطات تحويل طاقة الوقود الكيميائية إلى طاقة حرارية في اللهب الناتج من الاحتراق والتي تعمل على رفع درجة حرارة وضغط المياه الموجودة في المراجل لتحول إلى بخار والذي يتم تحميصه ثم يعمل هذه البخار على إدارة محور التوربينات ويربط محور المولد الكهربائية ربطاً

مباشـراً مـع محـور التوربينـات البخاريـة فيـدور المولـد بـنفس السـرعة ليقطـع المجـال المغناطيسـي الناشـئ علـى العضـو الـدوَّار مـن المولـد فيظهـر علـى طرفـي الجـزء الثابـت مـن المولـد فـرق جهـد وبـذلك تتحـول الطاقـة الميكانيكيـة الموجـودة علـى المحـور المولـد إلـى طاقـة كهربائيـة علـى أطـراف التوليـد للمولد.

تمتـاز المحطـات البخاريـة بإمكانيـة الحصـول علـى طاقـة كهربائيـة عاليـة لكميـات وقـود قليلـة ورخـص الوقـود المسـتخدم مـع تكاليفهـا الأوليـة وكـذلك تكـاليف الصـيانة والتوليـد ليسـت مرتفعـة والمسـاحة المطلوبـة للمحطـة صـغيرة لكنهـا تعـاني مـن عيـوب أهمهـا أن التلـوث البيئـي النـاتج عنهـا وكذلك انخفض كفاءتها وتحتاج لى كميات كبرة من مياه التبريد.

ويجدر إلى أنه يجب بناء هذه المحطات بعيداً عن التجمعات السكانية (على الأقل مسافة 1 كلم).

الأجـزاء الرئيسـية بصـفة عامـة تعتبـر بسـيطة لمحطـة التوليـد البخاريـة وهـي فـرن الاحتـراق (المحرقة). الغلايات، وحدت توليد البخار والتوربينة والمكثف والمولد الكهربائي.

الباب الرابع

اختيار مكونات وحدة الطاقة

الباب الرابع

4.0 اختيار مكونات وحدة الطاقة

في هذه الباب سوف نتناول بصورة مفصلة المرحلة الرابعة من مراحل صناعة الأسمنت وهي مرحلة الأفران *Kilns* وذلك لمعرفة حجم الغازات المنبعثة ومقدار حراتها للاستفادة منها في عملية توليد الطاقة.

منظومة الفرن الدوَّار بمصانع الاسمنت هي منظومة تتكون من عدة مراحل وهي كالآتي:

- منظومة تغذية الفرن *kiln feed*.
- منظومة المسخن الأولي *Preheater*.
- الفرن الدوار *Rotary kiln*.
- المبرد *Cooler*.

يقوم الفرن بإنتاج الكنلكر عن طريق حرق المواد الخام ابتداء من كلسنتها في المسخن الأولي ثم تفاعلها داخل الفرن لإنتاج الكلنكر ثم تبريدها تبريدا مفاجئاً لمنع التفاعل العكسي للمواد.

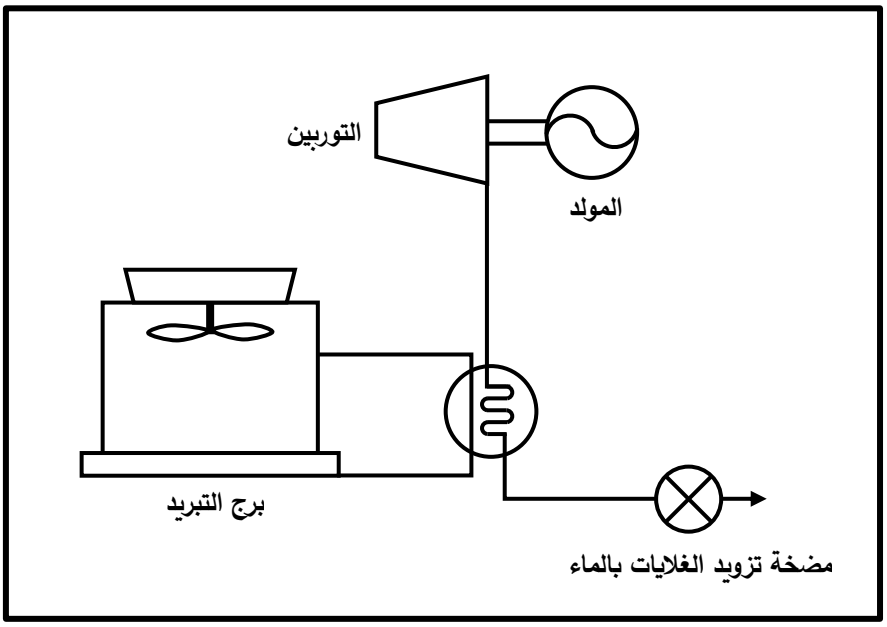
وعملية الحريق بالطبع تعتمد على الأكسجين والوقود وليكون الحرق ممتازاً كل ذرات المواد لابد من عملية توسيع لمساحة سطح المواد. وذلك عن طريق تصميم السايلكولونات التي تقوم بعمل دوامة للمواد لزيادة مساحة سطحها المعرضة للحرارة.

وهنا يأتي دور مراوح السحب لخلق الدوامة مع سحب المروحة يتم سحب حرارة تخرج بصورة غير مستفادة منها إلى الفلتر الرئيسي هذا من جانب أما الجانب الآخر فهو المبرد كما ذكرنا يقوم بعملية التبريد المفاجئ لمنع التفاعل العكسي وبالتالي جودة منتج ممتازة هذا التبريد للكلنكر بالطبع يصحبه خروج كمية كبيرة من الحرارة من حبيبات الكلنكر التي تسقط من الفرن بحرارة تتراوح بين (1400 – 1500)°C وتخرج من المبرد بما يتراوح بين (90 – 120)°C هذا

الفقد في الحرارة يعاد سحبه للمسخن الأولي عن طريق *Tertiary* وجزء آخر يتم سحبه عن طريق فلتر المبرد وهذا القدر من الحرارة غير مستفاد منه.

إذن هنالك نفقطتان بهما حرارة تهدر ولا يستفاد منها وأيضاً إذا ارتفعت يمكن أن تدمر الفلتر تماماً. وهذا ما نعمل عليه في هذا البحث الاستفادة من هذه الحرارة.

وأيضاً نشير إلى أن مصدر هذين الحرارات من شعلة ضخمة عند مخرج الفرن وشعلتان عند مخرج الفرن وشعلتان عند المكلسن بالمسخن الأولي ونسبة استهلاك الوفود بالشعلة الرئيسية 40% وفي الشعلتين 60%.



الشكل (4.1) يوضح مخطط مبسط لوحدة الطاقة

4.1 طبيعة الغازات المنبعثة من مصانع الأسمنت

طبقاً للمعلومات المتاحة من مصنع أسمنت بربر مكان الدراسة تقدر الإنتاجية بمعدل 4000 Ton per day من الكلنكر.

وسوف نوضح كمية درجات الحرارة المنبعثة حسب أجهزة القياس المركبة على مدخل ومخرج الفرن.

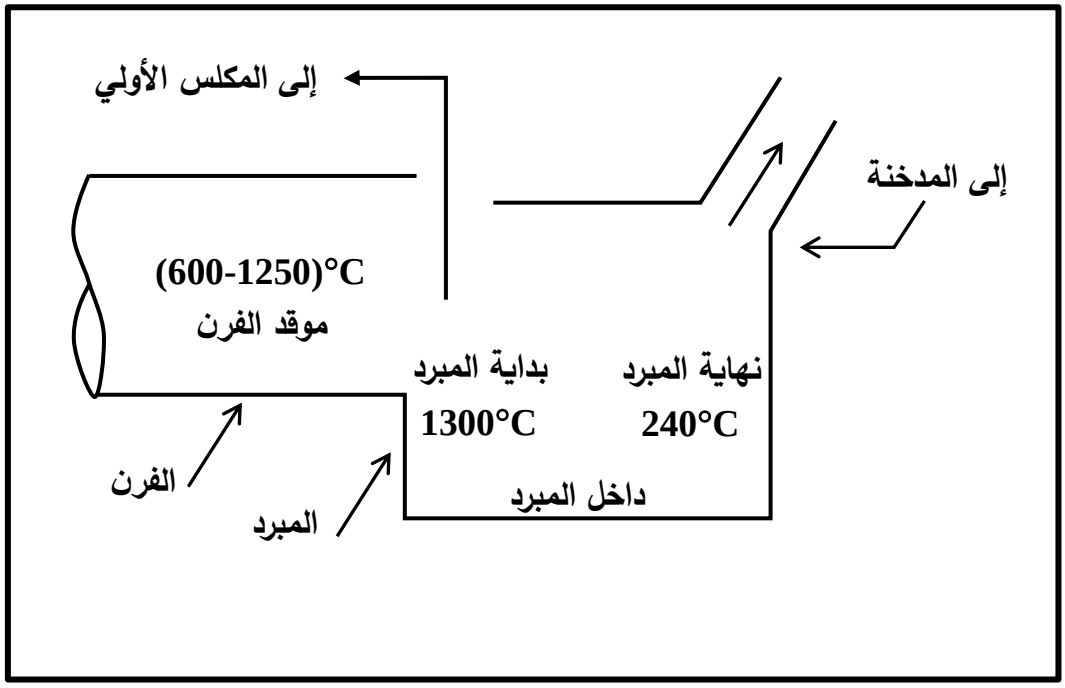
وتســـحب هذه الغازات الســـاخنة دون التأثير على عملية الإنتاج. أي لا تؤثر على كمية الهواء الثانوية والساخن الذي ساعد على الاحتراق في الموقد الرئيسي للفرن وموقد المكنس الأولي.

4.1.1 الغازات الصاعدة من مبرد الكلنكر

من المعلومات المتاحة من مصنع أسمنت بربر يكون توزيع الحرارة داخل المبرد كالآتي:

- عند ســـقوط الكلنكر على المبرد تكون درجة حرارة الغازات الســـاخنة في حدود (1200 – 1350)°C.
- هذا الهواء يتم توزيعه بين الهواء الثانوية داخل الفرن والمكنس الأولي في مدخل الفرن بواسطة أنبوب يمتد من المبرد إلى المكنس الأولي. والمتبقي من الغازات الساخنة تتراوح درجة حرارة بين (150 – 100)°C. عند مخرج الكلنكر. وبأخذ المتوسط بين درجة الحرارة عند بداية المبرد (لحظة سقوط الكلنكر) ونهاية المبرد (مخرج الكلنكر) نتيجة للاختلاط تكون درجة الحرارة بين (1200 – 1000)°C على طول المبرد ليخرج من مدخنة المبرد وهذا حسب ما تسجله أجهزة رصد الحرارة في المبرد للاستفادة من المدخنة (150 – 100)°C.

يتم عمل مخرجين لأخذ الهواء (الساخن للغلاية) أحدهما عند موقع الحرارة العالية (عند سقوط الكلنكر في بداية الفرن) والآخر عند درجة الحرارة المتوسطة. والرسم التالي يوضح ذلك.



الشكل (4.2) رسم مبسط للفرن ومبرد الكلنكر

إجمـــالي الغـــازات مـــن مبـــرد الكلنكـــر تعـــادل معـــدل الغـــازات أو كميـــة الغـــازات *Gas flow* = 350000 *Nm/hr* وذلـك حسـب قـراءة الأجهـزة لقيـاس تـدفق الهـواء والحـرارة الكامنـة فيه والمركبة على تلك المواقع من المبرد.

وهذه الحرارة والكمية أعلاه للهواء الساخن يمكن استخدامها في غلاية لإنتاج البخار.

4.1.2 الغازات المنبعثة من برج التبادل الحراري (المسخن الأولي – Preheater):

الغازات الخارجة من الفرن تمر بربر التبادل الحراري ويتم الاستفادة من جزء منها وتتصاعد الكمية المتبقية إلى الهواء الجوي وهي عبارة عن طاقة مهدرة أيضاً.

تصـاعد تلك الغازات السـاخنة عبر برج التبادل يقابها مرور المواد اخلام عبر السـيكلونات لتغذي الفرن وجزء من تلك الحرارة يستفاد منها في إزالة رطوبة المواد الخام (تسخين) وطرح غاز CO_2 فيما يعرف بعملية الكلسنة *Calcination*.

أيضـــاً من المعلومات المتاحة من المصـــنع لكميات الهواء الســـاخن عبر مدخنة المبادل الحراري ودرجة حرارته كما هي منعكسة على أجهزة الرصد كما يلي:

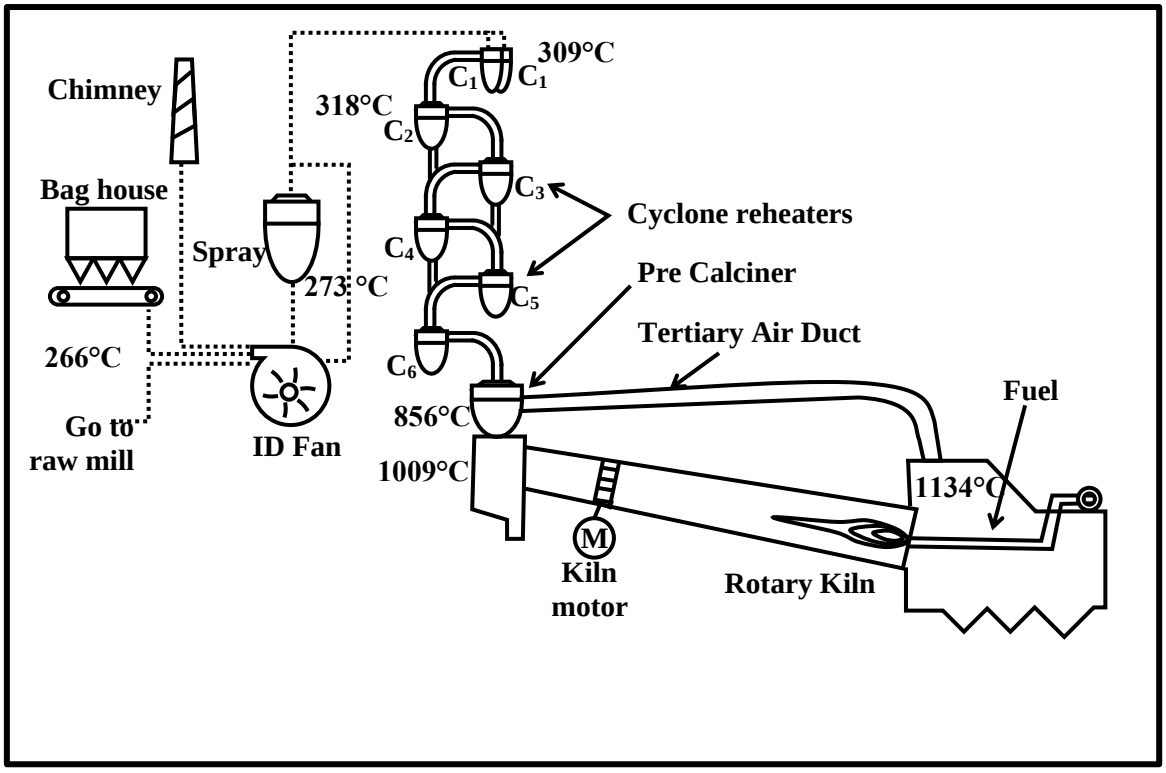
Gas flow = 315800 Nm^3/h

درجة حرارة الغاز:

Gas temperature = 310 °C

وهذه الحرارة الكمية أعلاه يمكن إدخالها في غلاية لإنتاج البخار.

وتشير إلى أنه تم قياس معدل الإنسياب عند ضغط درجة حرارة قياسية *N = Normal*.



الشكل (4.3) شكل مبسط للمبادل الحراري (المسخن الأولي) والفرن

4.2 مكونات وحدة إنتاج الطاقة:

4.2.1 مقدمة

يعتبر بخار المار (*Steam*) من أقدم وسائل نقل الطاقة الحرارية. حيث أن ناقل مثالي للحرارة ويمتاز بسهولة التحكم في محتواه ال حراري. لكل وحدة حجمية بالإضافة إلى إمكانية نقله في أنابيب بسهولة كما يكن التحكم في خواصه ومعاملته معاملة الغازات وذلك بالتحكم في درجة الحرارة والضغط ويستخدم بخار الماء في التسخين وإنتاج قدرة لشتى الأغراض الميكانيكية.

هذا البحث بصدد اختيار (*Selection*) وحدة بخارية من المتوقع تنفيذها على مصنع أسمنت بربر مستقبلاً بالاستفادة من الغازات والأبخرة الساخنة المتصاعدة من المبادل الحراري ومبرد الكلنكر بالمصنع

لإنتاج طاقة كهربائية والاستفادة منها.

مكونات وحدة القدرة البخارية بصورة عامة:

1/ الغلاية Boiler.

2/ التوربينة Turbine.

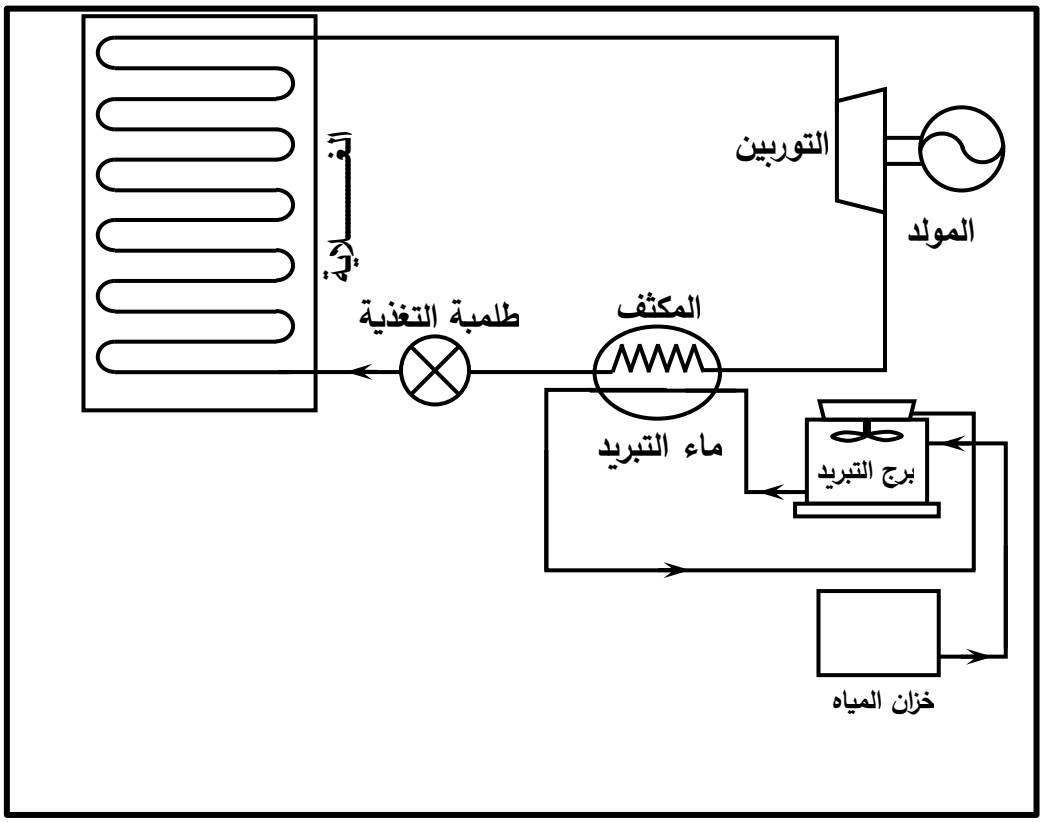
3/ المكثف Condenser.

4/ خزان الماء Tank.

5/ المولد Generator.

6/ أجهزة القياس والتحكم Metering and Control Devices.

7/ برج التبريد Cooling Tower.



الشكل (4.4) مخطط مبسط لوحدة إنتاج الطاقة

4.2.2 الغلاية (Boiler):

تعتبر الغلاية الوحدة الأساسية لتوليد إمداد البخار، حيث يتم التبادل الحراري بين الغازات الساخنة الناتجة من المصدر الحراري والماء لإنتاج البخار.

توجد عدة أنواع من الغلايات هي:

1/ غلايات انابيب اللهب:

وفي هذا النوع يتم توليد البخار عن طريق التبادل الحراري بين الماء والغازات الساخنة الناتجة من احتراق الوقود تمر هذه الغازات عبر أنابيب متصلة بفرن الغلاية ومحاطة بالماء ومغمورة به تتصرف الغازات الساخنة بعد الاستفادة من طاقتها الحرارية من مؤخرة الغلاية إلى المدخنة وتوجد عدة أنواع لغلايات أنابيب اللهب (رأسية – أفقية).

2/ غلايات أنابيب المياه:

في غلايات أنابيب المياه داخل الأنابيب والغازات تمر خارج الانابيب حيث تنتقل الحرارة من الغازات الساخنة خلال جدار الأنابيب إلى الماء لترتفع درجة حرارته ويتحول إلى بخار يشمل هذا النوع من الغلايات على عدد كبير من الأنابيب الصغيرة نسبياً للحصول على سطح تسخين كبير والاستفادة القصوى من الطاقة الحرارية للوقود.

يوجد نوع من غلايات أنابيب المياه يستخدم الحرارة الثانوية (غير المستفادة منها) تلك الحرارة الناتجة من أفران الحرق كما في مصانع الأسمنت ومصانع الصلب وغازات العادم في التوربينات الغازية تعرف بغلايات الحرارة المهدرة.

والميزة الأساسية لهذا النوع من الغلايات الاستفادة من الملوثات (العوادم) وذلك بتقليلها والاستفادة من الحرارة الكامنة فيها لإنتاج البخار بدون قيمة تذكر.

4.2.3 التوربين (Turbine)

هو الوحدة الأساسية المناط بها تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية. حيث يتمدد البخار عبر النفث ليخرج بسرعة عالية، تقوم بإدارة دوَّار لإنتاج شغل ميكانيكي. يتكون الدوَّار من ريش مثبتة على عجلة متصلة بعمود لنقل الحركة، حيث يوجه النفث اتجاه الريش وعندما يغادر البخار النفث يقل ضغطه وتقل درجة حرارته.

بعد أن يصطدم البخار بالريش تقل سرعته لتتحول إلى طاقة ميكانيكية في عمود الدوَّار. يمكن زيادة الطاقة بزيادة انسياب البخار.

المكونات الأساسية للتوربين.

- الدوَّار.
- النفث.
- مصدر البخار.

تصنف التوربينات البخارية إلى نوعين هما:

1/ توربينات منفردة:

تشتمل على عجلة دوَّار يدخل البخار إلى التوربين ويتمدد ويقل ضغطه في مرحلة واحدة.

2/ توربينات متعددة المراحل:

يمر بخار التوربينات متعددة المراحل بأكثر من مرحلة وتتعدد فيها عجلات الريش وتكون هذه العجلات في حاوية واحدة ومثبتة في عمود واحد، الميزة الأساسية في استخدام التوربينات متعددة المراحل في أنها تؤمن في كل مرحلة سرعات دخول البخار التي تسمع بالوصول إلى أعلى مردود حراري، بالإضافة لامتياز بأنه يمكن سحب البخار للتدفئة وإعادة تسخين مياه التغذية مما يرفع القيمة الاقتصادية الحرارية لوحدة التوربين البخارية بأكملها.

وتشمل هذه التوربينات توربينات تكثيفية وأخرى غير تكثيفية. وتعتبر توربينات عدم التكاثف هي الأكثر استخداماً لتطبيقات عملية البخار وهي شائعة في مصافي التكرير ووحدات تدفئة المناطق ومصانع الورق ومرافق تحلية مياه البحر، حيث كميات كبيرة من عملية ضغط البخار تكون متاحة، أما التوربينات التكثيفية هي الأكثر شيوعاً في محطات توليد الطاقة الكهربائية وهذه التوربينات يستفيد من بخار العادم في حالة مكثفة جزئياً عند ضغط أقل بكثير من الغلاف الجوي إلى مكثف.

4.2.4 المكثف (Condenser)

يستخدم المكثف لخفض ضغط البخار أدنى ما يمكن (أقل بكثير الضغط الجوي) وذلك للحصول على أعلى مردود حراري وهو عبارة عن مبادل حراري يتم توصيله مع وصلة المخرج من التوربين حيث يساق البخار الخارج من التوربين بعد إنجاز عمله من المكثف يتحول إلى ماء عند تلامسه مع جدران أنابيب ماء التبريد.

تصنيف المكثفات إلى ثلاثة أنواع:

1/ المبخر:

يمكن تعريف المبخر على أنه المكان الذي يتم فيه سحب الحرارة بواسطة المادة المبردة من الهواء ثم طردها بعد ذلك في المكثف لكي يكمل دورة التبريد فإن بخار المادة المبردة الخارج من المبخر يكون بخار مشبع ويدخل مجدداً إلى الضاغط.

2/ المكثف السطحي:

هو مكثف شائع الاستخدام لمبادل حراري أنبوبي غلافي لتبريد المياه يتم تركيبه على مخرج التوربين البخارية لتكثيف البخار الخارج في محطات الطاقة. هذا المكثف هو مبادل حراري يحول البخار من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة عند ضغط يكون أقل من الضغط الجوي.

3/ مكثف الحقن:

يمكن اســـتخدام الهواء لتبريد البخار بدلاً من الماء في حالة عدم توفرها لكن المكثف المســـتخدم للهواء يكون ثمنه عالي جداً أما المكثف المستخدم للماء في التبريد فيصل بالبخار إلى ضغط منخفض جداً عن الذي يصل له في حالة المكثف المستخدم للهواء.

4.2.5 المولد (Generator)

هو عبارة عن جهاز ميكانيكي يحول الطاقة الحركية الناتجة عن عمود التوربين إلى طاقة كهربائية بوجود مجال مغناطيسي، ويعمل المولد الكهربائي على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي والذي هو الأساس في توليد التيار الحثي. ويتميز هذا النوع من المولدات الكهربائية بقدرته المرتفعة التي يمكن أن تصل إلى 1500 ميجاواط من إنتاج الكهرباء.

4.2.6 خزان إمداد الماء (Tank)

عبارة عن حاوية يتم فيها تخزين الماء لإمداد الوحدة بالكمية اللازمة من الماء لتشغيلها.

4.2.7 أجهزة القياس والتحكم (Metering and Control Devices)

تكمن أهمية وجود أجهزة القياس والتحكم لقياس تغيرات خواص البخار والماء أثناء عملية التشغيل في حماية المحطة من المخاطر الناتجة من ارتفاع درجات الحرارة والضغط. ويتم التحكم في الضغط باستخدام صمام أمان يعمل على تنفيس البخار للحصول على القيمة المطلوبة للضغط كما أنه يستخدم صمام ماء ويتم اتجاه واحد للتحكم في إمداد الماء ويتم استخدام جهاز لقياس منسوب الماء في مواقعه المختلفة ومنظم قوى (*Load governor*) للتحكم في حرارة المنظومة وفق الأحمال الواقعة عليها.

4.2.8 برج التبريد (Cooling Tower)

هو عبارة عن برج إنشائي مغلق يتم فيه تدوير الهواء الجوي داخله ليقوم بتبريد كميات كبيرة من المياه الساخنة بواسطة التلامس المباشر حيث يحيط الهواء بقطرات الماء المتساقطة من الرشاشات فيتسبب بتبخير بعض من قطرات الماء فيقوم الماء المتبخر بامتصاص حرارة التبخير الكامنة للماء المتبقي وبذلك

يبرده. ويقوم الهواء أيضـاً بامتصـاص كمية صـغيرة من الحرارة المحسـوسـة للماء المتبقي ويتم تجمع الماء المبرد في حوض أسفل برج التبريد والذي بعدئذٍ يعاد تدويره.

4.3 مبدأ التصميم:

الجدير بالذكر أن مصـنع أسمنت بربر (مكان الدراسـة) بالسـودان به خط إنتاج واحد للكلنكر سـعة متوسط حوالي *Ton\day* 4000 للإنتاج. هنالك كمية حرارة هائلة غير مستفاد منها ناتجة عن حرق الكلنكر في الفرن ومن تبريده بعد خروجه من الفرن من مبرد الكلنكر.

- محطة القدرة باسـتخدام اسـترجاع الحرارة المهدرة يجب ألا تؤثر على اسـتهلاك الحرارة من خط الإنتاج.
- تشغيل محطة قدرة (*WHR*) يجب ألا تؤثر إنتاج الأسمنت الطبيعي العادي في المصنع.
- لا يتم السعي وراء تحقيق رقم قياس بل يجب الوضع في الاعتبار أن الكمية اللازمة من الحرارة للصناعة (إنتاج الأسمنت) قد أخذت.
- تطبيق تقنية جديدة ناضـــجة وموثوق بها لزيادة الطاقة وبالتالي تكون محطة القدرة باســـتخدام استرجاع الطاقة ذات منفعة ولها عدة محاسن.
- اختيار نظام ناضج وموثوق به وبتطبيق عالمي وسهولة في التشغيل والصيانة.

يعتمد إنتاج الطاقة من حرارة الغازات الناتجة عن مبرد الكلنكر والمبادل الحراري للفرن على مرور الغازات الساخنة من تلك المصادر عبر غلايات ناتج الحرارة (*By product heat*) من مولدات الحرارة في المجالات الصناعة المختلفة أو ما يسمى بـ (*Waste Heat Boiler*).

يعرف الحصـــان البخاري (*Boiler Horse Power*) بالقدرة على إنتاج البخار المشـــبع لعدد (15.649 *kg\hr*) من الماء عند درجة تعادل 100°C.

وعليه فإن الحصان البخاري الواحد يعادل 132.839 kcal.

حيث cal اختصـــار للكلمة *Calorie* ســـعرة حرارية ويعبر عنه بمســـاحة ســـطح حراري تعادل ($9.29\ m^2$) وهذه المســـاحة في الغلايات الحديثة يمكن أن تنتج ما بين ($22.68\ m^3 - 226.8\ m^3$) من البخار.

تعرف الاسطح الحرارية للغلايات بأنها الأسطح المعرضـة لناتج الاحتراق لأنواع الوقود المختلفة أو الغازات الساخنة الناتجة كخصائص حرارة عن التطبيقات الصناعية المختلفة.

بالرجوع لمخططات إنتاج البخار من حرارة مبردات وأبراج التبادل الحراري لمصـانع الأسمنت هنالك نظامان للاستفادة من البخار المولد من فائض الغازات الصناعية.

1/ نظام البخار المنفرد (Single Pressure System)

نظـام ضـغط البخـار المنفـرد يطبـق حاليـة علـى أنظمـة إنتـاج الطاقـة الحراريـة وذلـك بجمـع نـاتج البخـار مـن غلايـة المبـرد وغلايـة المبـادل الحـراري وإدخالـه فـي التـوربين البخـاري وتحريكـه لإنتـاج الطاقـة الكهربائيـة، يعبـر بعـدها إلـى المكثـف لتحويلـه إلـى مـاء ومتبقـي الغـازات تـزود بـه مرحلـة المـاء السـاخن بالغلايـات (*Water stage boiler hot*) ومـن ثـم تـزود منطقـة إنتـاج البخـار بالغلايات الخاصة بالمبرد والمبادل الحراري وبذلك تكتمل الدورة الحرارية لوحدة إنتاج الطاقة.

وتكمن مزايا هذا النظام في أن التوربين البخاري تتم تغذيته بخط بخار واحد. يجمع البخار الناتج من غلاية المبادل الحراري. ويعتبر من أبسط النظم وبمعدل تشغيل أعلى وباستهلاك منخفض للبخار.

2/ نظام ضغط البخار المزدوج (Dual Pressure System)

في هذا النظام واستناداً على فائض الحرارة من مختلف مصـادرها لمصـانع الأسـمنت تنتج غلايات فائض حرارة الأفران بخار عالي الضـغط ومنخفض الضـغط وبعد إنتاج البخار عالي الضـغط والمرسـل إلى مدخل الضـغط العالي بالتوربين تظل هنالك بقية من حرارة الغازات الصـاعدة من غلاية الضـغط العالي تحول

لإنتاج بخاري بضغط منخفض يرسل إلى مدخل الضغط المنخفض بالتوربين البخاري وهو النظام المتبع في إنتاج الطاقة من فائض غازات الأسمنت.

4.4 اختيار النظام الحراري ومعدلات تدفق وحرارة البخار (Thermodynamic System and Parameters of Steam Pressure)

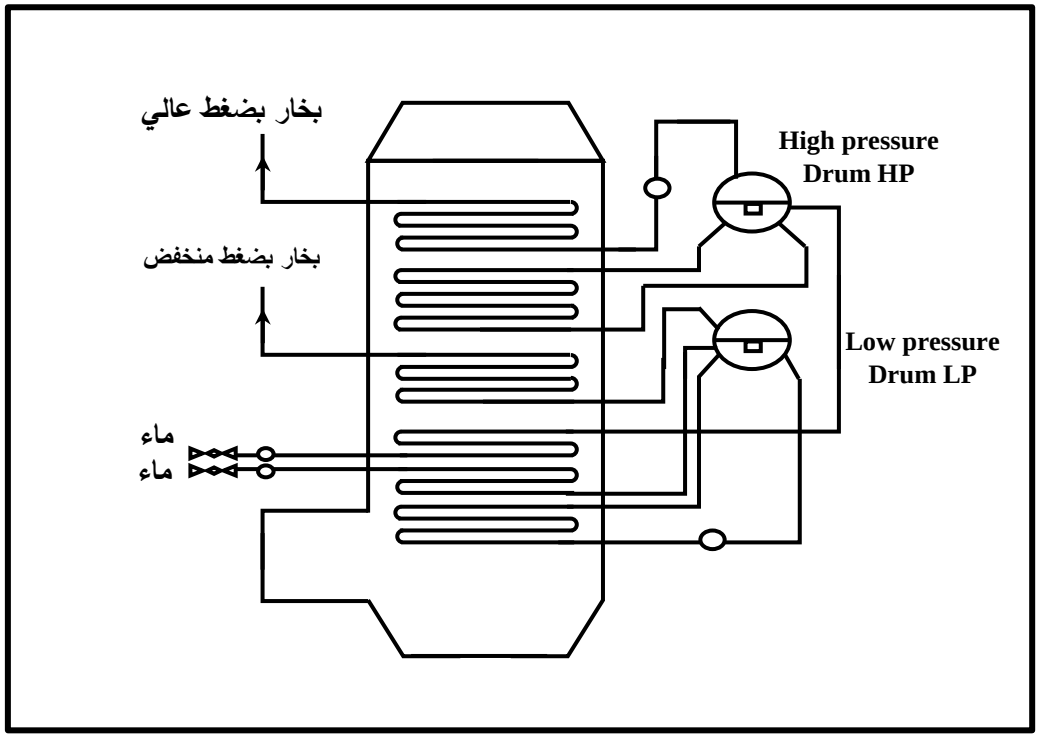
يعتبر نظام الضغط المزدوج هو الأفضل والأمثل للتطبيق في الاستفادة من الغازات عند مخرج مبرد الكلنكر ومخرج السيكلون العلوي في المبادل الحراري. واستناداً على الخبرة التراكمية للشركات العالمية في إنتاج الطاقة من فائض حرارة أفران الأسمنت والمراجع التي تعنى بتصميم الغلايات فإن معدلات تدفق البخار والحرارة الكامنة فيه من مصدريه آنفا الذكر ونسبة لطول الخط الناقل للغازات الساخنة من المبرد حتى الغلاية ستنخفض درجة الحرارة بمعدل 15°C حسب القياس من عند المخرج من المبرد حتى الغلاية. لتكون معطيات الغازات الساخنة لإنتاج البخار من غلاية المبرد في حدود 21300 nm^3/hr بدرجة حرارة 365 °C.

وبالمثل فإن تسريب الغازات الساخنة الصاعدة بمعدل 5°C كما هو منعكس على أجهزة القياس بالفرن ليكون تدفق الغازات بمعدل 311060 nm^3/hr وبدرجة حرارة 285 °C. قياساً على أجهزة الفرن.

من خلال التجارب التي أجرتها الشركات الرائدة في هذا المجال فإن تدفق الغازات الساخنة بالمعدلات سابقة الذكر وبالحرارة الكامنة فيها ولهذا النوع من الغلايات *Waste Heat Recovery Boilers* يمكن أن تنتج طاقة البخار بالمعدلات أدناه:

4.4.1 أولاً: غلاية المبادل الحراري

نوعية غلاية المبادل الحراري هي غلاية أنابيب مياه. تكون الأنابيب أفقية ويدخل عليها الغاز الساخن في شكل عمودي من أعلاه إلى أسفل.



الشكل (4.5) يوضح غلاية المبادل الحراري

1/ خصائص البخار الناتج من الغلاية:

(ذو الضغط العالي والضغط المنخفض) موضحة في الجدول التالي:

أما خصائص الغازات الساخنة كالآتي:

Inlet gas flow 311060 Nm^3/hr.

Inlet gas temperature 285 °C.

Outlet gas temperature 170 °C.

جدول (4-1) يوضح خصائص البخار الناتج من غلاية المبادل الحراري

Equipment	Item	Parameters	Unit
Preheater Boiler	Main steam pressure	1.1	Mbar
	Main steam temperature	265	°C
	Main steam flow	16.32	T/hr
	Low steam pressure	0.3	Mbar
	Low steam temperature	170	°C
	Exhaust gas temperature	170	°C
	Low steam flow	4.40	T/hr

4.4.2 ثانياً: غلاية مبرد الكلنكر

هي أيضاً غلاية أنابيب مياه أفقية يدخل عليها الغاز في شكل عمودي من أعلى إلى أسفل.

خصائص الغازات الساخنة كالآتي:

Inlet gas flow 21300 Nm^3/hr.

Inlet gas temperature 365 °C.

Outlet gas temperature 115 °C.

جدول (4-2) يوضح خصائص البخار الناتج من غلاية مبرد الكلنكر

Equipment	Item	Parameters	Unit
Cooler Boiler	Main steam pressure	1.0	Mbar
	Main steam temperature	325	°C
	Main steam flow	17.48	T/hr
	Low steam pressure	0.3	Mbar
	Low steam temperature	150	°C
	Low steam flow	2.5	T/hr

4.4.3 ثالثاً: التوربين:

من نوع التوربين التكثيفي وبسعة MW 7.5.

جدول (3-4) جدول يوضح خصائص البخار في التوربين

Equipment	Item	Parameters	Unit
Turbine	Inlet steam flow	33.8	T/hr
	Inlet steam Pressure	0.95	$Mbar$
	Inlet steam temperature	340	$°C$
	Main steam flow	17.48	T/hr
	Supplementary steam flow	6.9	T/hr
	Supplementary steam temperature	153	$°C$
	Supplementary steam pressure	0.25	$Mbar$

4.4.4 رابعاً: المولد:

بما أن إنتاجية المحطة kW 6420 حسب التجارب التي أجرتها الشركات الرائدة في هذا المجال لذلك لابد من وضح سماحية أعلى للمولد من جانب السلامة:

$$6420\ 1.17 = 7511.14\ kW.$$

وبذلك تكون سعة المولد kW 7.5.

4.5 نظرية عمل محطة الطاقة

يتم سحب الحرارة من المبادل الحراري ومبرد الكلنكر وإدخالها إلى غلايات من نوع غلايات أنابيب المياه والتي بدورها تنتج خطي بخار (خط بخار منخفض الضغط وخط بخار عالي الضغط).

ينتج البخار عالي الضغط من الاستخدام الأولي للحرارة حيث تكون كمية الحرارة كبيرة ويرسل إلى مدخل الضغط العالي في التوربين. تظل كمية من الحرارة الصاعدة من غلايات

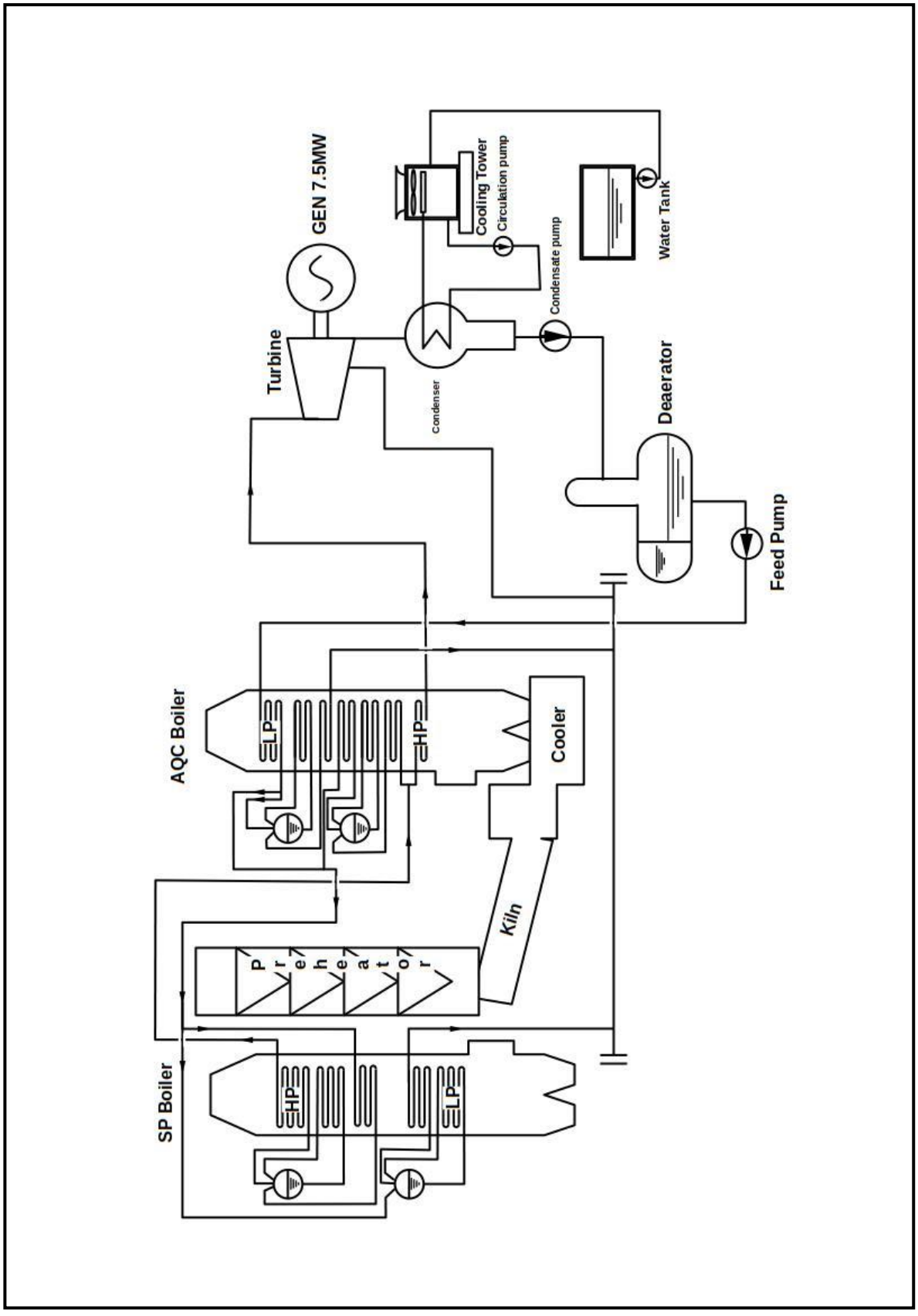
الضـــغط العـــالي والتـــي مكـــن إنتـــاج بخـــار مـــنخفض الضـــغط منهـــا وإرســـالها إلـــى مـــدخل الضـــغط المنخفض في التوربين وهذا النظام هو المتبع في إنتاج الطاقة.

يمكن القول أن كلا الغلايتين تنتج خطين من البخار (عالي ومنخفض) يتلاقى خطي ضغط البخار العالي عند نقطة ويرســـلان إلى مدخل الضـــغط العالي بالتوربين كما يتم نفس العملية بالنســـبة للمنخفض ويدخلان بمدخل البخار المنخفض بالتوربين البخاري.

يدخل البخار المحمص إلى التوربين البخاري فيحرك ريش التوربين والذي بدوره يحرك عمود الإدارة الذي يتصل معه مولد كهربائي.

يخرج البخـار من التوربين إلى مكثف يتم فيـه التكثيف. ويتم التبـادل دخـل المكثف مع برج تبريـد ومنها إلى طلمبة المكثف والتي تغذي الغلايات بالماء.

جزء من بخار الماء يتكون في خط الضغط المنخفض والذي يسحب من الخط إلى فرازة هواء حيث يتم فصـــل الهواء من الماء ليتصـــاعد الهواء إلى الغلاف الجوي والاحتفاظ بالمياه والاســـتفادة منها في تغذية الغلايات بواسطة طلمبة تغذية الغلايات.



شكل (4.6) مخطط تفصيلي لمحطة WHR

الباب الخامس

النتائج والمناقشة

الباب الخامس

5.0 النتائج والمناقشة

5.1 النتائج والمناقشة

تجدر الإشارة إلى أنه تمت الاستعانة بجداول الشركات الرائدة في هذا المجال. إذا استطاعت تلك الشركات ومن خلال التجارب الواقعية استخلاص حجم ومواصفات البخار لكل مدى لتدفق الغازات بالحرارة المصاحبة لها ولم تتخلص بعد القوانين التي يمكن تطبيقها على كل مصدر حراري صناعي.

كما بينا سابقاً الأهداف من المشروع والتي تتلخص في الاستفادة من فاقد الحرارة في مصانع الأسمنت وكانت الدراسة على مصنع أسمنت بربر لتوليد طاقة كهربائية.

تم الحصول على الحرارة في شكل غازات صاعدة من منطقتين وهما المبادل الحراري ومبرد الكلنكر. الفكرة الأساسية هي الاستفادة من تلك الحرارة في تسخين مياه داخل غلاية لإنتاج كمية من البخار المحمص تدخل على توربين بخاري لإنتاج الطاقة الكهربائية بواسطة مولد متصل معه.

وبالرجوع إلى تجارب الشركات الرائدة في هذا المجال تم عمل غلايتين في مخارج كل من المبرد والمبادل الحراري. الغلايتين من نوع غلايات أنابيب المياه التي تستخدم الحرارة المهدرة والتي تحتوي على خطين لإنتاج البخار، خط البخار ذو الضغط العالي وخط البخار ذو الضغط المنخفض وذلك للاستفادة القصوى من كمية البخار المنتج في كلا خطي البخار العالي والمنخفض يدخلان إلى توربين تكثيفي ثم إلى الغلايات مرة أخرى.

والإمداد الرئيسي للمياه من محطة مياه المصنع بجانب مكونات تلك الدورة.

يقدر إنتاج الطاقة الكهربائية لهذا المشروع حوالي 6500 kW وذلك بالاستفادة من الحرارة المهدرة بمصنع أسمنت بربر.

وعلى الصـعيد العالمي تجدر الإشـارة إلى أنه قامت شـركة أسـمنت رأس الخيمة في يوليو 2012 وقَّعت عقداً لإنشـاء محطة توليد الكهرباء وذلك بالاسـتفادة من حرارة الأفران لتلبية احتياجات ومصـانعها من الطاقة حيث يوفر ما يصل إلى 60% من الطاقة للمصنع بتكلفة تصل إلى نحو 280 مليون درهم.

ويعد من المشـاريع الكبرى في هذا المجال لتخفيض انبعاث ثاني أكسـيد الكربون في الغلاف الجوي في المنطقة. اذ تخفض المحطة الصديقة للبيئة انبعاث الكربون في الجو بمقدار 200 ألف طن سنوياً. وتنتج المحطة 33 ميغاوات من الطاقة الكهربائية في حين تسـتهلك أسـمنت الخليج حالياً 52 ميغاوات. ما يوفر 60% تقريباً من احتياجات الشركة من الكهرباء بتكلفة منخفضـة ما يحقق عائداً اقتصـادياً كبيراً للشركة توفيره الطاقة بتكلفة زهيدة. حيث تشكل الكهرباء إحدى الكلف الأساسية للإنتاج في مصانع الأسمنت.

على الصـعيد المحلي في سـبتمبر 2014 أكملت شـركة أسـمنت عطبرة العمل في محطة الطاقة وذلك بالاسـتفادة من الغازات الخارجة من خطوط الإنتاج بتكلفة بلغت حوالي (20 – 15) مليون دولار حيث تنتج المحطة حوالي 7.5 ميغاواط.

ويبلغ إجمال حمل المصـنع حوالي 28 ميقاواط في حالة الحمل الكامل أي أن محطة الطاقة تغطي حوالي 25.25% من حمل المصنع الكلي.

وتنتج الشركة ما بين (4800 – 4500) طن في اليوم من الكلنكر.

أما شـركة أسـمنت بربر مكان الدراسـة التي من المفترض أن ينفذ بها مشـروع محطة الطاقة وذلك بالاسـتفادة من الغازات المنبعثة من خطوط الإنتاج. حيث أن الحمل الكامل للمصـنع حوالي 23 ميغاواط، حيث يتم تغذية المصنع من كهرباء الهيئة العامة حيث يدفع المصنع شهرياً أكثر من 150 مليون جنيه بسعر 26 جنيه للكيلوواط الواحد.

من المتوقع عند تنفيذ مشـــروع الطاقة هذا أن ينتج 6.5 ميغاواط أي حوالي 28.26% من إجمال حمل المصـــنع. وهذا يعني أن تكلفة شـــراء الكهرباء من الشـــبكة القومية بعد تنفيذ هذا المشـــروع تقل بقيمة 42,390,000 جنيه لتصبح تكلفة شراء الكهرباء من الشبكة العامة في الشهر 107,610,000 جنيه.

الخاتمة والتوصيات

الخاتمة والتوصيات

الخاتمة:

تكونت خلال العقود القليلة الماضية كميات هائلة من الغازات الضارة في الغلاف الجوي والتي تكونت نتيجة لانبعاث الغازات الهائلة من المصانع ووسائل النقل وغيرها من نشاطات الإنسان اليومية جراء حرقه للوقود الاحفوري والفحم والنفايات بالإضافة إلى ما يتم إطلاقه من غازات المصانع والمناجم وغيرها.

وتعرف تلك الغازات بالغازات الدفيئة ومن أهمها ثاني أكسيد الكربون والميثان وغازات السوكس (SO_x) والنوكس (NO_x) وهذه الغازات الكيميائية الخطيرة يتسبب تراكمها في الغلاف الجوي للأرض إلى تراكم درجة الحرارة في الهواء الجوي وزيادة درجة حرارة كوكب الأرض بشكل عام، تتميز الدول الصناعية بمعدلات عالية لاستهلاك الطاقة مقارنة بالدول النامية وبالتالي هي المصدر الرئيسي لانبعاث غازات الاحتباس الحراري وعلى هذا فعليها الدور الأكبر في اتخاذ الإجراءات الضرورية للحد من انبعاث هذه الغازات والتي يمكن حصرها في اتجاهين أساسين:

1/ الحد من غازات الاحتباس الحراري من خلال الاعتماد على أنواع الطاقة البديلة وتحسين كفاءة الاستفادة من الوقود.

2/ زيادة المساحات الخضراء والتي تعتبر العامل الأساسي لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون.

فيما تم ذكره أعلاه فإن مداخن المصانع من المسببات الرئيسية بظاهرة الاحتباس الحراري. وبجانب الاستفادة من تلك الغازات في إنتاج طاقة كهربائية من خلال المشروع تهدف أيضاً في التقليل من انبعاث الغازات التي تسبب تلك الظاهرة.

ونشير إلى أن مشكلة العجز في الكهرباء الذي تشهده البلاد في الفترة الأخيرة ترتب عليه تخفيض كهرباء القطاع الصناعي وزيادة كبيرة في أسعارها. استقرار الكهرباء في المصانع وتوفرها يعني ذلك مزيداً من الإنتاج وفتح مزيد من خطوط الإنتاج والمشاريع المصاحبة بالمصنع.

أيضاً تعتبر التكلفة الإنشائية لمشاريع إعادة تدوير الطاقة تعتبر عالية ولكن بالمقابل التكلفة التشغيلية تعتبر منخفضة إذ أن فقط هنالك تكلفة الإضافات والمواد الكيميائية التي تضاف إلى الماء في وحدة معالجة المياه وتكلفة الصيانة الدورية والتي بالمقارنة مع الكهرباء المنتجة وسعرها اليوم لا تعتبر هذه التكاليف عالية.

يجب أيضاً الأخذ في الاعتبار أن هذه المحطة تستهلك كمية من الماء بالتالي توفر مصدر رئيسي بصورة مستمرة لإمداد المحطة بالماء. ونشير إلى أن استهلاك المياه هنا يكون في برج التبريد (*Cooling water*).

أيضاً نجد أن هذه المحطة تعمل عند تشغيل الفرن في المصنع مما يعني في حالة الصيانة الدورية للفرن والتي أحياناً تستغرق وقت طويل تظل هذه المحطة متوقفة مما قد يؤثر على بعض الأجهزة والمعدات، وتعتبر فترة بداية تشغيل المحطة طويلة وكذلك فترة إيقاف المحطة بمعنى أننا في بداية التشغيل تسخن لساعات ولذلك الإيقاف معي يتم التبريد مما يعني هدر للمواد والطاقة.

التوصيات:

- قد تصل درجة ضغط البخار في الخط الرئيسي إلى 1 MPa مما يعني مزيداً من أخذ الاحتراز واختبار الأجهزة والمعدات عالية.
- في حالة إيقاف الفرن بصورة مفاجئة وبدون سابق تنسيق أو انقطاع التيار الكهربائي المغذي للفرن أيضاً بصورة مفاجئة يتطلب ذلك جاهة عالية لإيقاف المحطة بصورة آمنة.
- تزويد المحطة بوحدة إطفاء وسلامة خاصة وأننا نتعامل مع بخار بضغط درجة حرارة عالية.
- دراسة تأثير المحطة على طاحونة المواد (*Raw mill*) بصورة متعمقة باعتبار أن جزء من الغازات يستفاد منه في تسخين المواد بالطاحونة.

المراجع

- الطاقة، مصادرها، أنواعها واستخداماتها، دكتور مهندس/ محمد مصطفى الخياط.
- الطاقة المتجددة، دكتور/ علي جمعان.
- تكنولوجيا الطاقة البديلة، د/ سعود يوسف عياش.
- الأسمنت، جلال الحاج.
- Waste Heat Recovery Boiler Selection, (Boiler Operator's – Antony I. Kohn & Harry M. Spring.
- Waste Heat Recovery Boiler Selection, (Sinoma Energy Conservation Ltd, China).
- Waste Heat Recovery Boiler Selection, (Dalian East New Energy Development Co. Ltd.

مواقع على الشبكة العنكبوتية:

- archive.org
- www.ar.wikipedia.org.
- www.saudicement.com.sa.