

الخلاصة:

الباب الأول: أبراج التبريد وطريقه عملها

وفيه

- مقدمة عن أبراج التبريد.
- أسباب استخدام أبراج التبريد.

الباب الثاني: أنواع أبراج التبريد

وفيه

- أبراج التيار الطبيعي وأنواعه وخواصه وميزاته وعيوبه.
- الأبراج الميكانيكية واستخداماتها وأنواعها.
- الأبراج التبخيرية.
- تصنيف أبراج التبريد تبعاً لسريان الهواء.

الباب الثالث: تصميم واختيار أبراج التبريد

وفيه

- الحشو وطريقة تصميمه وفائدته.
- العوامل التي تتحكم في أداء أبراج التبريد.
- سعة برج التبريد.
- العوامل التي تعتمد عليها اختيار أبراج التبريد.
- الحمل الحراري لبرج التبريد.
- تركيبات (مكونات) أبراج التبريد.

الباب الرابع: صيانة أبراج التبريد

وفيه

- الصيانة الدورية.
- فحص الأجزاء الميكانيكية.
- تنظيف برج التبريد ودهانه.
- المياه المفقودة في برج التبريد.
- معالجة مياه أبراج التبريد.
- معالجة مياه أبراج التبريد باستخدام بدائل محلية.

الباب الخامس: ابراج التبريد والطاقة

وفيه

- طرق التحكم في معدل سريان الهواء.

الباب الأول

أبراج التبريد وطريقة عملها

أبراج التبريد وطريقة عملها

المقدمة:

تنقسم المكثفات المستخدمة في دورات التبريد أو التكييف إلى الأقسام الرئيسية التالية:

- مكثفات مائية.
- مكثفات هوائية.
- مكثفات تبخيرية.

ولكن قد تضطر لاستخدام كميات كبيرة من الماء في وحدات التكييف المائية الكبيرة أو قد تكون في حاجة لتقليل كمية المياه ما أمكن لارتفاع ثمنها.

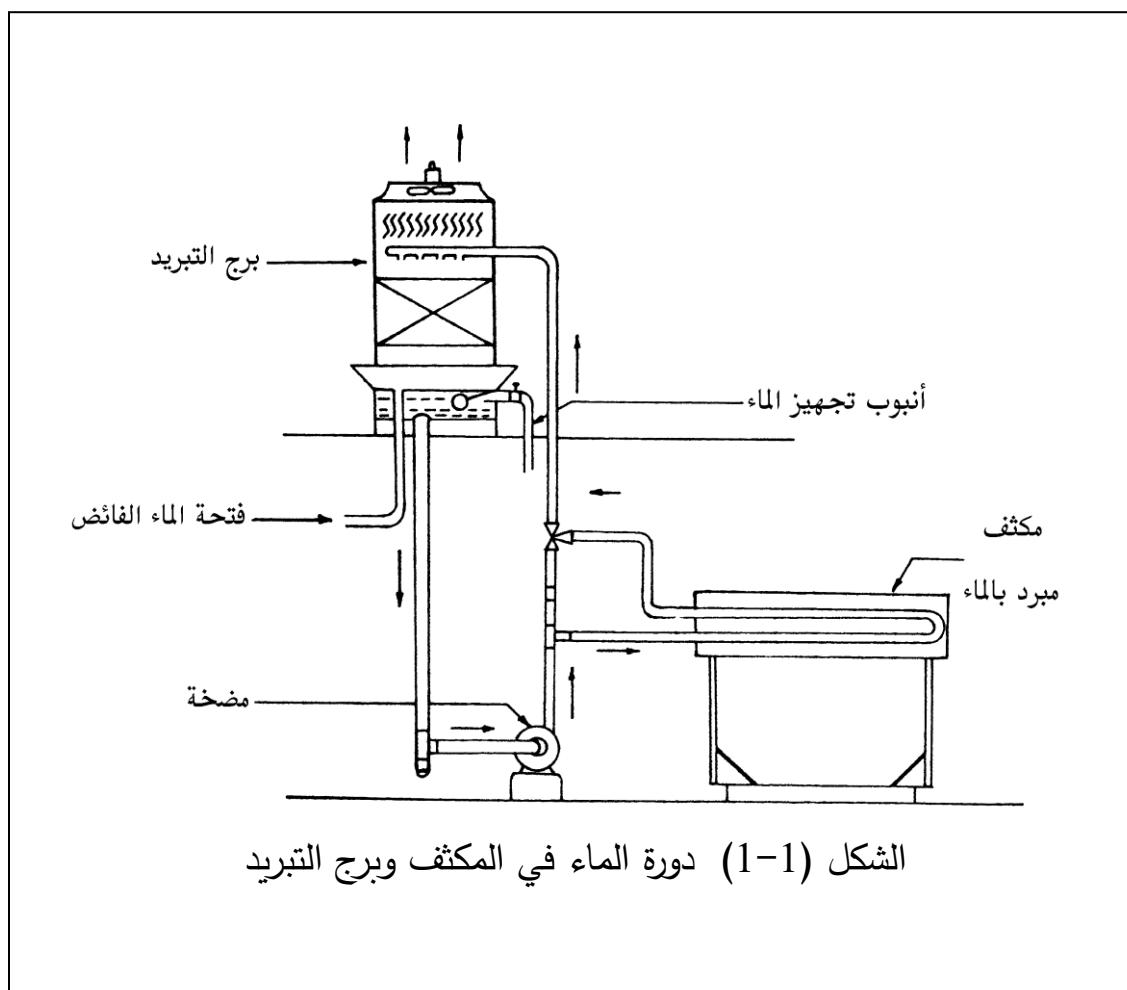
وفي مثل هذه الحالات نحتاج بجوار المكثف إلى برج لإعادة استخدام الماء بعد تخليصه هو الآخر من الحرارة التي امتصها من دورة التبريد بدلا من تبريد هذا الماء بعد خروجه من المكثفات المائية العادية .

•تبنى نظرية أبراج التبريد على فكرة قديمة ورغم قدمها فهي جيدة التطبيق .

فتبنى نظرية تبريد المياه الآتية من عملية التكييف أي القادمة أو الخارجة من المكثف على أساس تعريضها للهواء أو بمعنى أدق تعريض سطح المياه للهواء فقط ,هذه العملية ستبرد الهواء ولكن ببطء ومثل ذلك هو تبريد المياه الموجودة على سطح البرك والمستنقعات , وهناك طريقة أسرع برش الماء أو تذرره في الهواء .

وأياً كانت الطريقة أو الطرق فكلها تتضمن تعريض سطح الماء للهواء ولكن عند درجات مختلفة في الكفاءة EFFICENCY

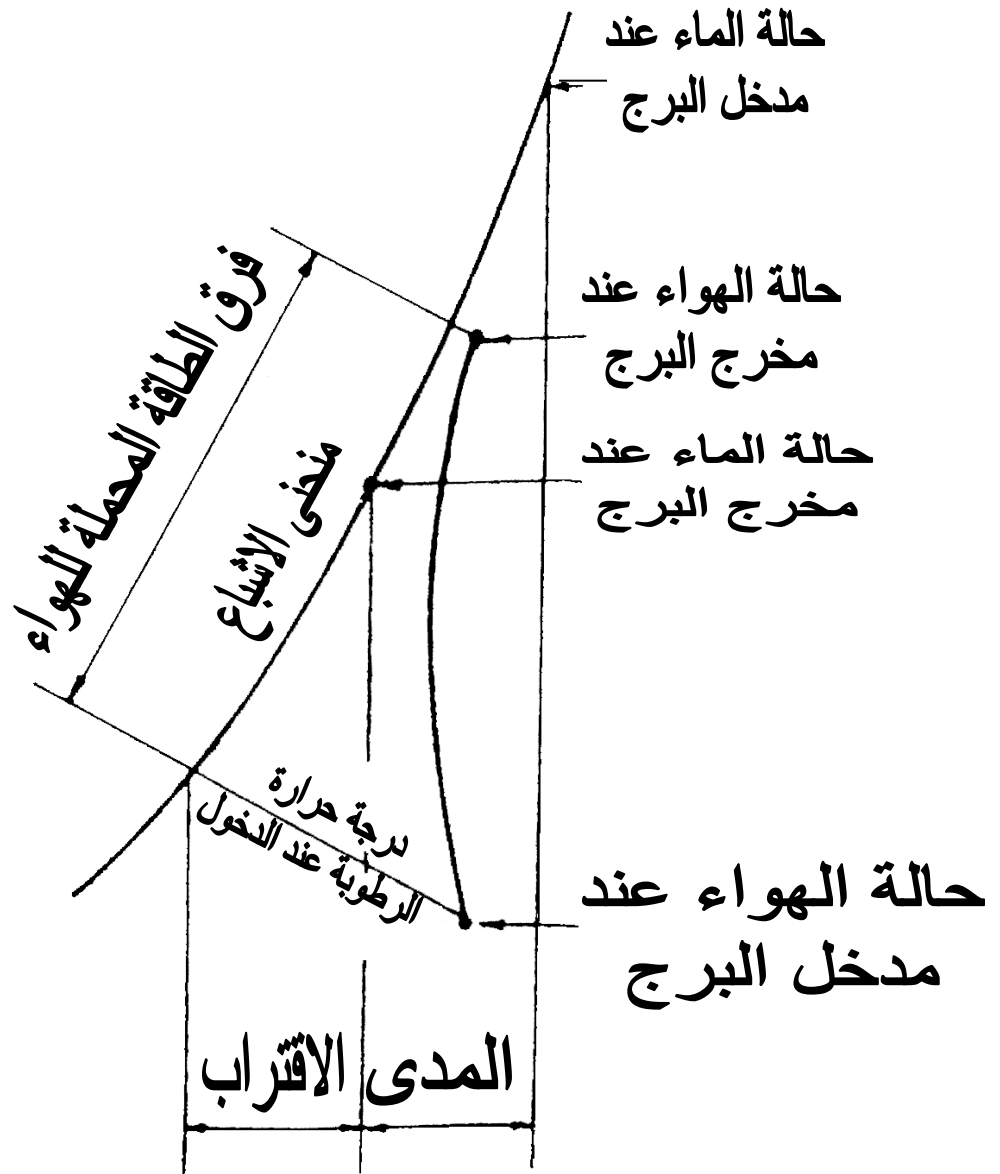
تستخدم أبراج التبريد مع المكثفات المبردة بالماء لخفض درجة حرارة الماء المستخدم كوسيط تكثيف بعد اكتسابه الطاقة الحرارية المفقودة من المكثف . يضخ الماء الساخن الخارج من المكثف ويدخل إلى برج التبريد من الأعلى ويوزع بشكل متساوي على شكل قطرات حتى يسقط في حوض البرج بحيث يصبح في تماس من الهواء المار داخل البرج ، وبعد أن يبرد يرجع مرة أخرى إلى داخل المكثف كما في الشكل (1-1).



تتم عملية التبريد داخل البرج نتيجة تبخر بعض الماء في أثناء تساقطه ، اذ سيأخذ الحرارة اللازمة لتبخره من كتله الماء الباقية التي ستخفص درجة حرارتها . وسيحمل الهواء المطرود إلى خارج البرج معه البخار الناتج ، وبالإضافة إلى ذلك فإن جزءاً من الحرارة المحسوسة ينتقل من الماء إلى الهواء ، لذا ترتفع درجة حرارة الهواء الخارج من البرج وكمية الرطوبة أيضا .

فمن الواضح أن فعالية برج التبريد تتوقف لدرجة كبيرة على درجة الحرارة الرطبة للهواء عند الدخول إلى البرج مقاسه بالترموتر المبتل ، فكلما كانت درجة حرارة الهواء بالترموتر المبتل عند الدخول منخفضة زادت فعالية البرج .

يسمى الفرق بين درجة حرارة الماء الداخل للبرج والخارج منه مدى التبريد *cooling range* . وللاحتفاظ بالتوازن في مجموعة المكثف يجب أن يكون مدى التبريد في البرج مساوياً للارتفاع في درجة حرارة الماء في المكثف ، فيما عدا حالة استخدام ممر جانبي للمكثف يعمل على منع كمية من الماء المار على البرج من المرور على المكثف ويسمى الفرق بين درجة حرارة الماء الخارج من البرج ودرجة حرارة البصلة الرطبة للهواء عند الدخول بالاقتراب *approach* إن معدل انتقال الحرارة خلال البرج يعتمد على درجة حرارة البصلة الرطبة للهواء الداخل ، والشكل (1-2) يمثل مخطط خواص الهواء موضحاً عليه مدى التبريد والاقتراب وعملية التبريد في البرج .



الشكل (1-2)

مخطط خواص الهواء موضحاً عليه مدى التبريد والاقتراب وعملية التبريد في البرج

أسباب استخدام أبراج التبريد :

1- في وحدات التبريد والتكثيف الكبيرة مثل محطات التكييف المركزية central air conditioning حيث يلزم كمية كبيرة من الماء لتبريد سائل التبريد .

2- إذا كانت درجة حرارة الماء الداخل للمكثف مرتفعة نسبيا فيلزم في هذه الحالة كمية كبيرة من المياه سواء أكانت وحدة التبريد متوسطة أو كبيرة .

3- في حالة ارتفاع ثمن المياه في بعض البلدان.

الباب الثاني

أنواع أبراج التبريد

أنواع أبراج التبريد

أبراج التبريد عبارة عن مبادلات حرارية تعمل على التبريد المياه بالتبخير في حيز محدود وبكفاءة عالية . يتوقف أداء البرج على تيار السحب (Draft) اللازم لسريان الهواء خلال البرج .

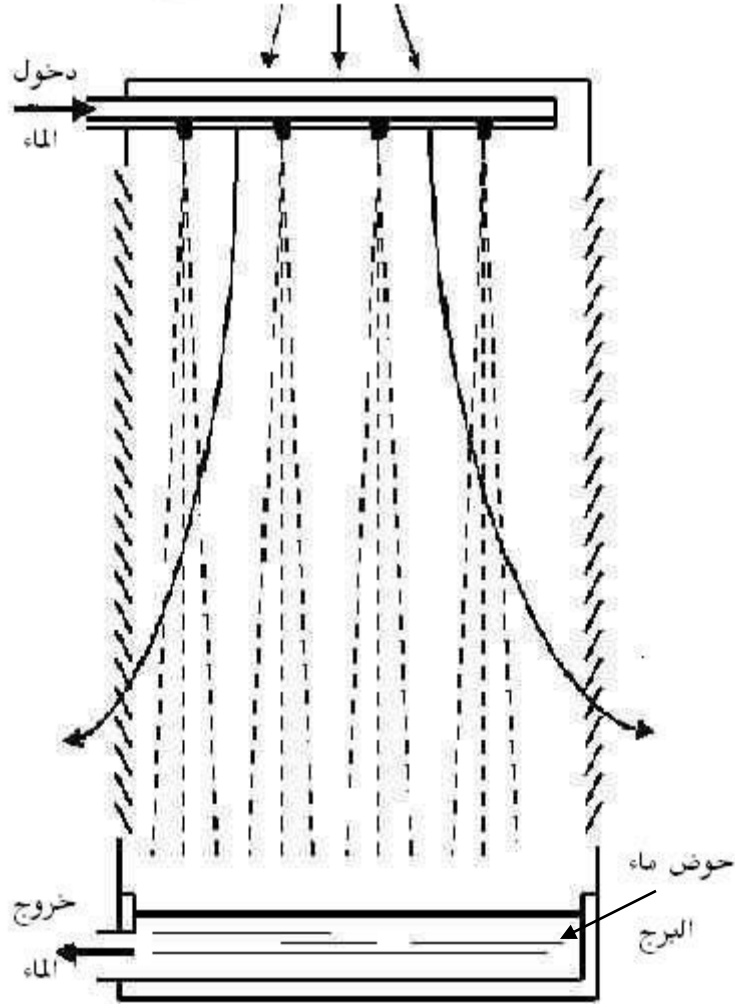
تصنف أبراج التبريد إلى :

أولاً: أبراج التيار الطبيعية (Atmospheric draft towers)

وهذه الأبراج تكون حركة الهواء فيها بدون آلات ميكانيكية (مراوح) وإنما تحدث بفعل طبيعي نتيجة فرق الكثافة للهواء وتسمى بأبراج التبريد الجوية .

وهذه الأبراج على نوعين:

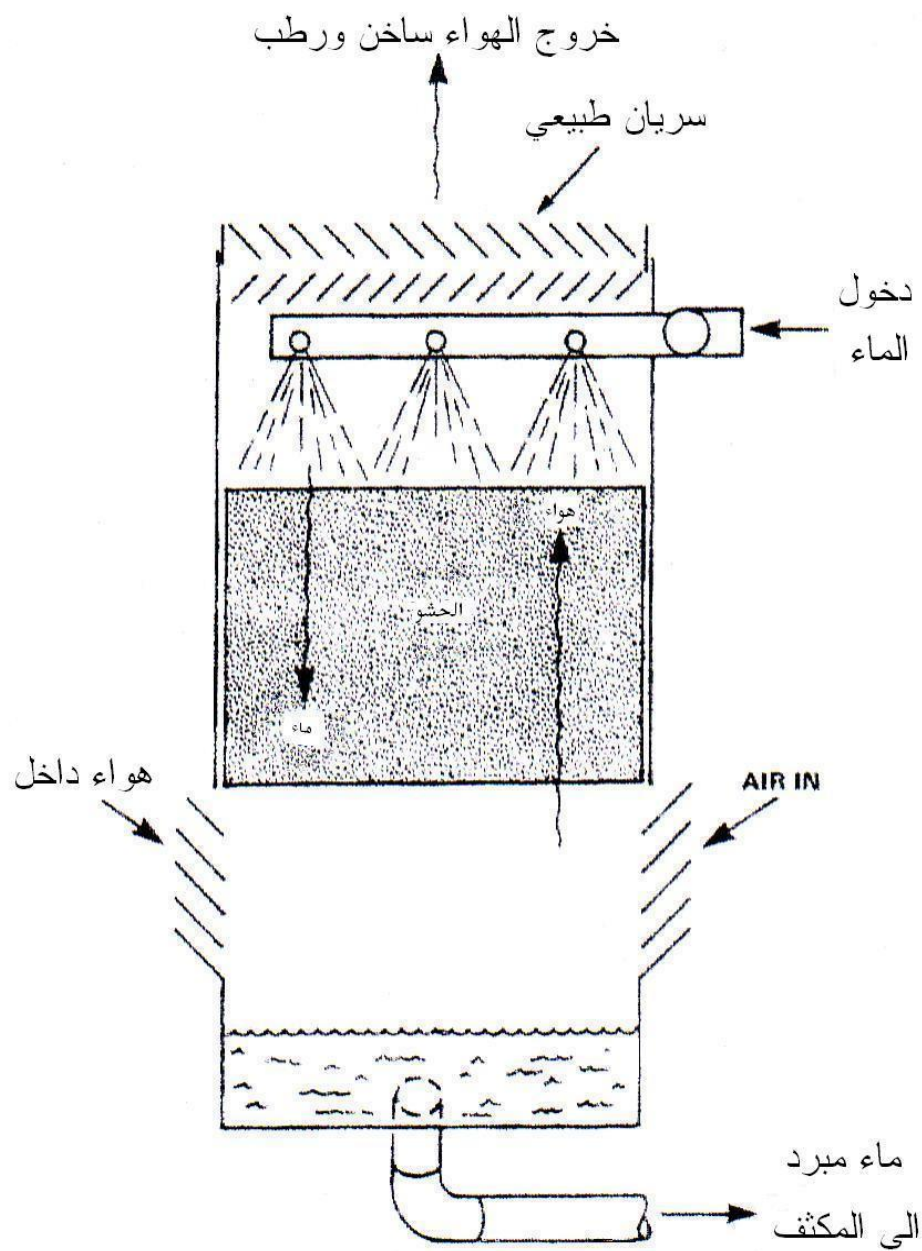
أ- النوع الأول يستخدم فالات رش spray nozzles تعمل على نفث الماء الداخل إلى البرج من الأعلى على شكل قطرات صغيرة ليسقط إلى حوض ماء البرج في الأسفل الشكل (2-1).



الشكل (2-1) برج طبيعي يستخدم فالات لرش الماء داخل البرج

ب- أما النوع الثاني فيستخدم سطوحاً أو حشوة fill لزيادة السطح المبتل في البرج وتحويل الماء إلى قطرات وكذلك لتقليل سرعة سقوط هذه القطرات إلى حوض البرج . إن هذا النوع ذو كفاءة أكبر من النوع الأول بنحو 20 - 30 % كما في الشكل (2-2).

• يجب أن تنصب أبراج التيار الطبيعي خارج المباني أو أعلى الأسطح بحيث يمر عليها الهواء بحرية .



الشكل (2-2) برج تبريد طبيعي يستخدم حشوة

• كفاءة الأبراج الطبيعية منخفضة لأنها تتأثر بشدة واتجاه الرياح وبالتالي تكون الأبراج الطبيعية ذات حجم وارتفاع كبيرين .

خواص برج التبريد ذو التيار الطبيعي natural draft :

- 1- مساحة كبيرة.
- 2- مكان يكون مفتوح.
- 3- مكان لا يكون فيه الهواء راكداً.

مميزات برج التبريد ذو التيار الطبيعي:

- 1- سهولة الأداء .
- 2- رخص التكاليف.
- 3- رخص الصيانة.

عيوبه:

- 1- يتطلب مساحة أكبر .
- 2- لابد من تواجده في مكان مرتفع لتكون سرعة الهواء اكبر.
- 3- لا يركب إلا في الأماكن المفتوحة.

ثانياً: أبراج ميكانيكية (Forced draft) :

وتسمى أيضاً بأبراج التبريد ذات التيار الهوائي القسري (الجبري) ، وهي شائعة الاستعمال في هندسة التكييف والتبريد للهواء .
وتمتاز هذه الأبراج بأنها أقل حجماً وأقل وزناً وكفاءة أعلى ولها مقدرة على مواجهة الحمل عند تغير درجات الحرارة للهواء .

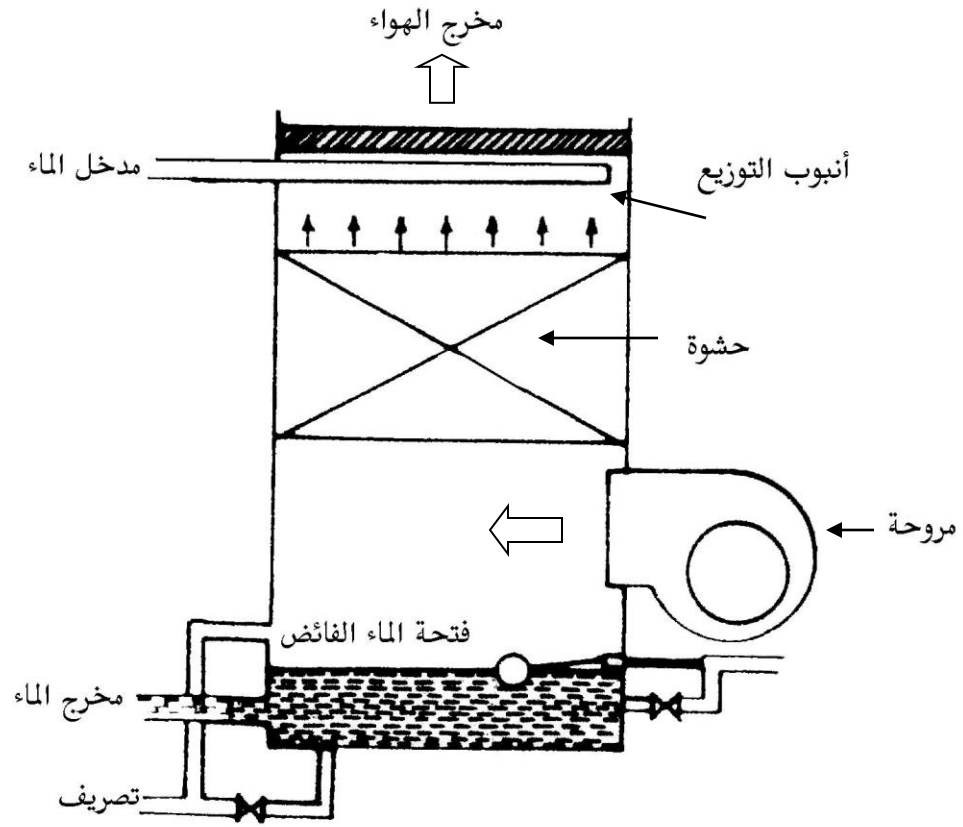
ويستخدم هذا النوع من الأبراج في الحالات الآتية :

- 1- في الحالات التي يتعذر وجود مساحة كبيرة له .
- 2- عدم وجود مساحات مفتوحة مواجهة للريح .
- 3- في الأماكن التي يكون فيها الهواء راكداً .

تصنف الأبراج الميكانيكية إلى :

أ - أبراج تيار الدفع:

تعمل المروحة على دفع الهواء خلال البرج ويكون ضغط الهواء داخل البرج اكبر من الضغط الجوي ، وتوضع المروحة عند مدخل برج التبريد . كما في الشكل (2-3) :

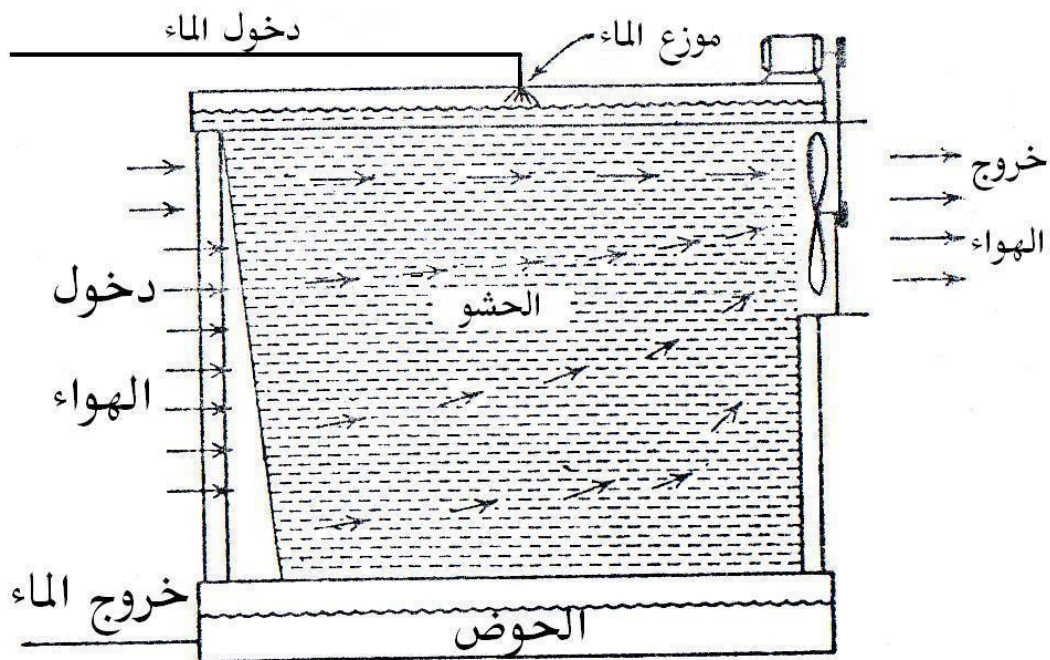


الشكل (2-3) برج تيار الدفع

ب - أبراج تيار السحب (Induced draft)

تعمل المروحة على سحب الهواء من البرج . يكون ضغط الهواء داخل البرج اقل من الضغط الجوي . أي أن ضغط الهواء داخل البرج يكون سالب وموجب في حالة الدفع حيث توضع المروحة في نهاية البرج .

كما في الشكل (2-4) :

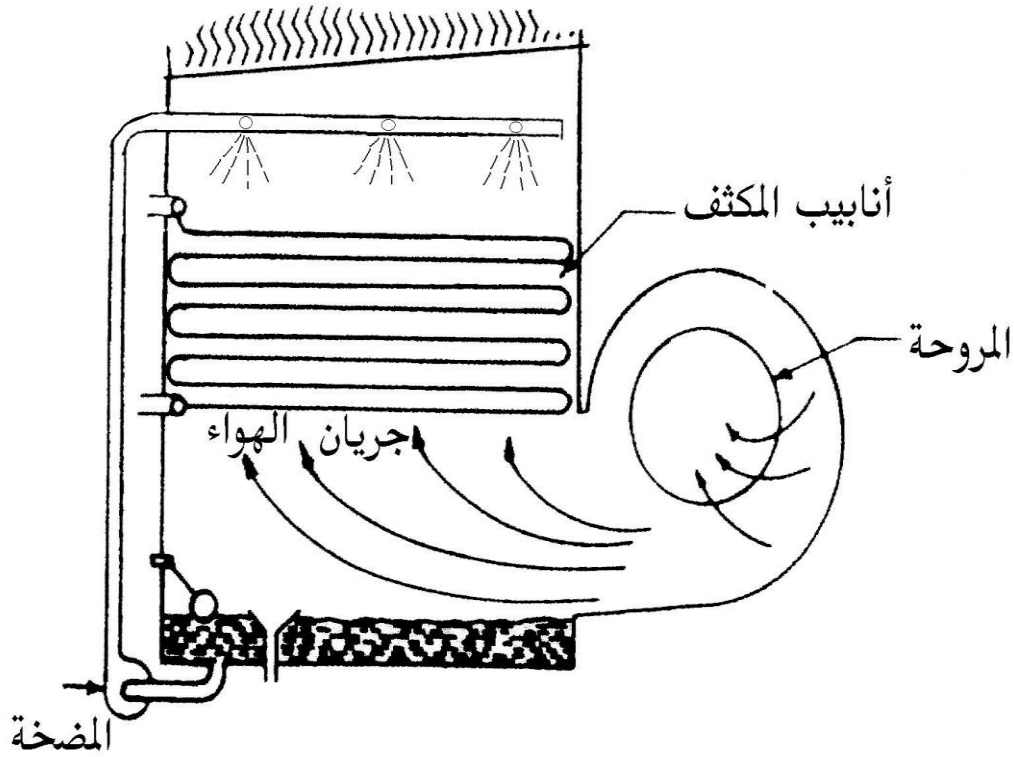


الشكل (2-4) برج تيار السحب

- تكون المروحة في حالة الدفع من النوع الطارد عن المركز أو المحوري بينما في حالة السحب تكون من النوع الترددي .
- تستخدم مع أبراج التبريد موانع (Eliminators) لمنع خروج قطرات مياه مع الهواء الخارج من البرج.
- يسخن الماء الساخن القادم من المكثف إلى أعلى البرج حيث يتم رشه إلى أسفل البرج بواسطة مجموعة من الرشاشات .
- انخفاض الضغط الأمثل للرشاشات هو 50 كيلو نيوتن / متر مربع.
- تحتوي أبراج التبريد عادة على حشو من الخشب (Decking) لزيادة مساحة السطح المبلل ولتذرية المياه إلى قطرات صغيرة والعمل على تباطئي سقوط القطرات إلى قاع الحوض .

ثالثاً: الأبراج التبخيرية :

وهذا البرج كما في الشكل (2-5) مثل الأنواع السابقة ألا إن المكثف يكون داخل البرج ، وهنا يكون وسيط التكثيف عبارة عن الماء والهواء معاً .
ومن حسنات هذا النوع هو الكفاءة العالية في التكثيف ، أما سيئاته فهو الحاجة إلى كمية وسيط تبريد كبيرة .



الشكل (2-5) برج تبخيري

يمكن تصنيف أبراج التبريد تبعاً لسريان إلى ثلاثة أنواع :

1- أبراج ذات سريان متوازي :

وفيها يسرى الماء والهواء في نفس الاتجاه إلى اسفل .

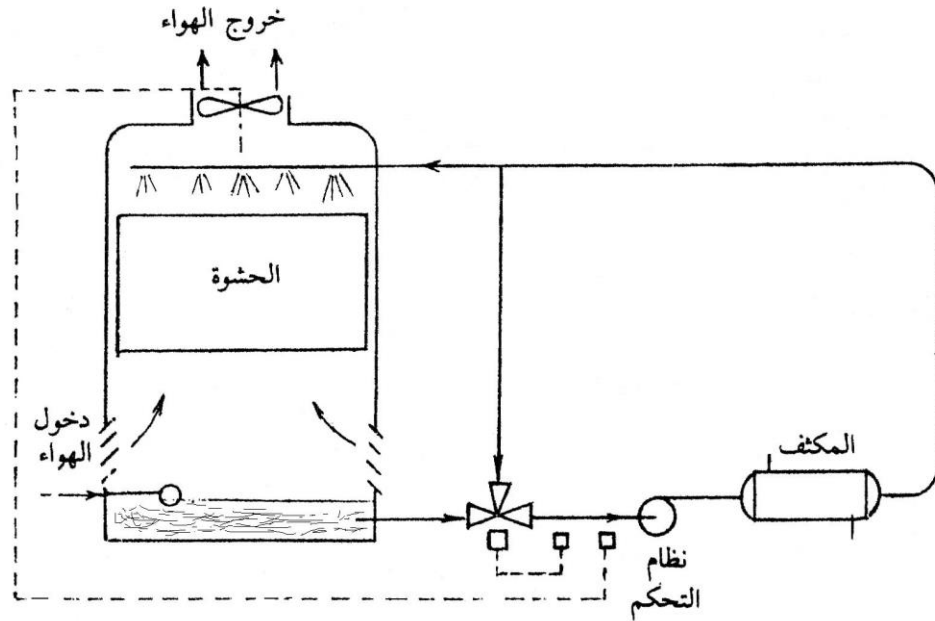
2- أبراج ذات سريان متعاكس :

وفيها تسرى المياه إلى اسفل والهواء إلى أعلى .

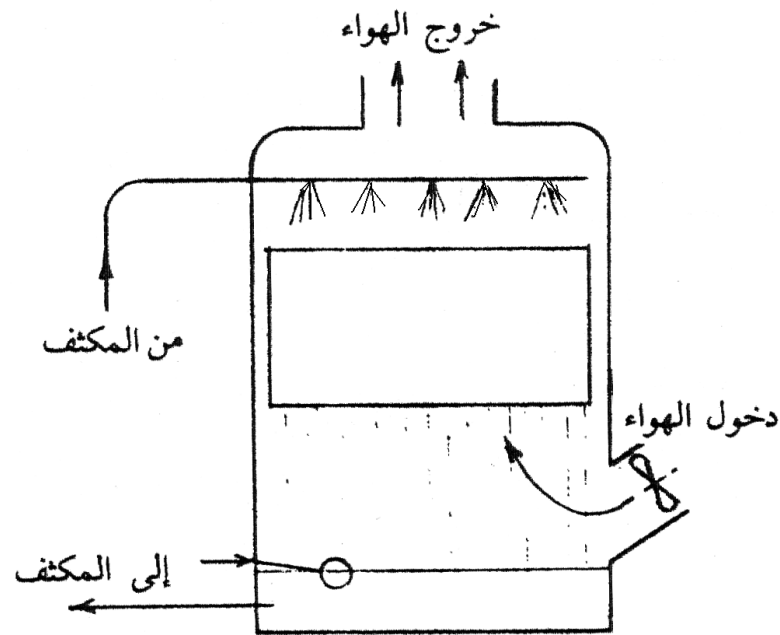
3- أبراج ذات سريان متعامد :

وفيها يسري الهواء أفقياً والماء رأسياً إلى اسفل .

- فأبراج التبريد ذات الجريان المتعاكسة المستخدمة أساساً في تطبيقات تكييف الهواء يكون جريان الهواء فيها بصورة عمودية أو بصورة معاكسة لسقوط الماء , وجريان الهواء أما أن يكون بالدفع أو بالسحب بمروحة كما في الشكلين (2-6A) و (2-6B)

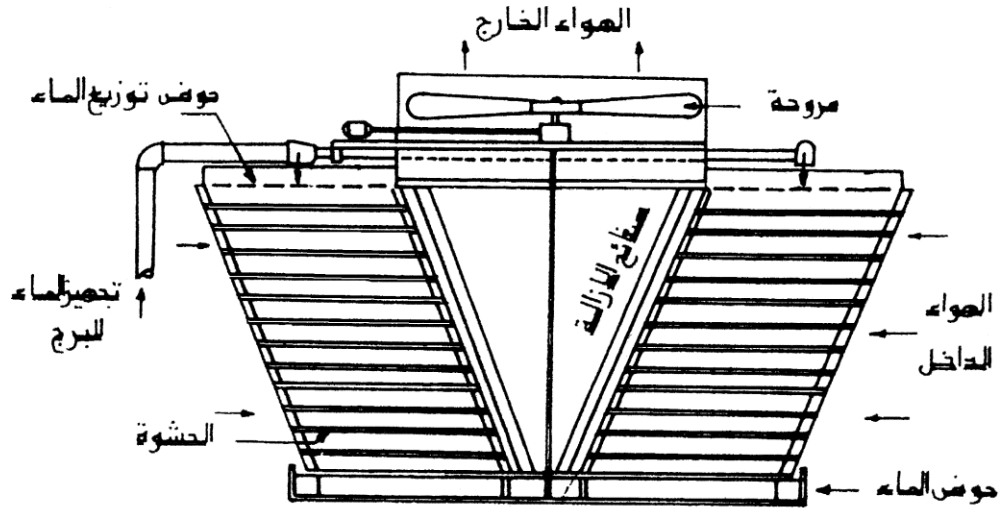


الشكل (2-6A) برج التبريد ذو الجريان المعاكس بالسحب



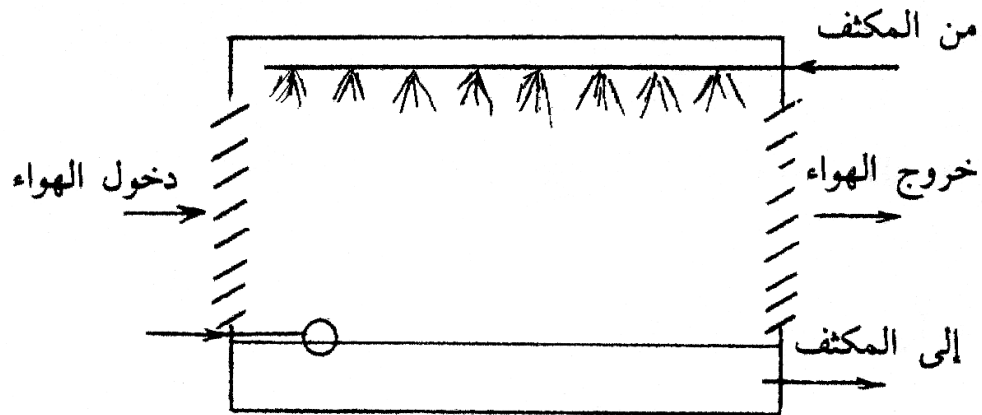
الشكل (2-6B) برج التبريد ذو الجريان المعاكس بالدفع

- أما الأبراج ذات الجريان العرضي المستخدمة في تطبيقات تكييف الهواء والتطبيقات الصناعية فيكون جريان الهواء فيها بصورة أفقية متعامداً مع جريان الماء الشكل (2-7) . وميزتها أنها ذات انخفاض ضغط قليل من جانب الهواء بالنسبة إلى مساحة سطح انتقال كبيرة . وكذلك يكون توزيع تيار الهواء والماء فيها منتظماً ، وهي غالباً ما تكون ذات تيار هواء مستحث ، والمراوح المستخدمة معها ذات جريان محوري.



الشكل (2-7) برج تبريد ذو جريان عرضي

- برج التبريد المتعامد : حيث يكون اتجاه جريان الهواء متعامد مع اتجاه سقوط الماء كما في الشكل (2-8)، حيث يكون ارتفاع البرج هنا اصغر مما هو في برج التبريد ذو الجريان المعاكس . وتعتبر هذه ميزة في الحالات التي تتطلب ارتفاعات قليلة للبرج .



الشكل (6-8) برج التبريد المتعامد

الباب الثالث

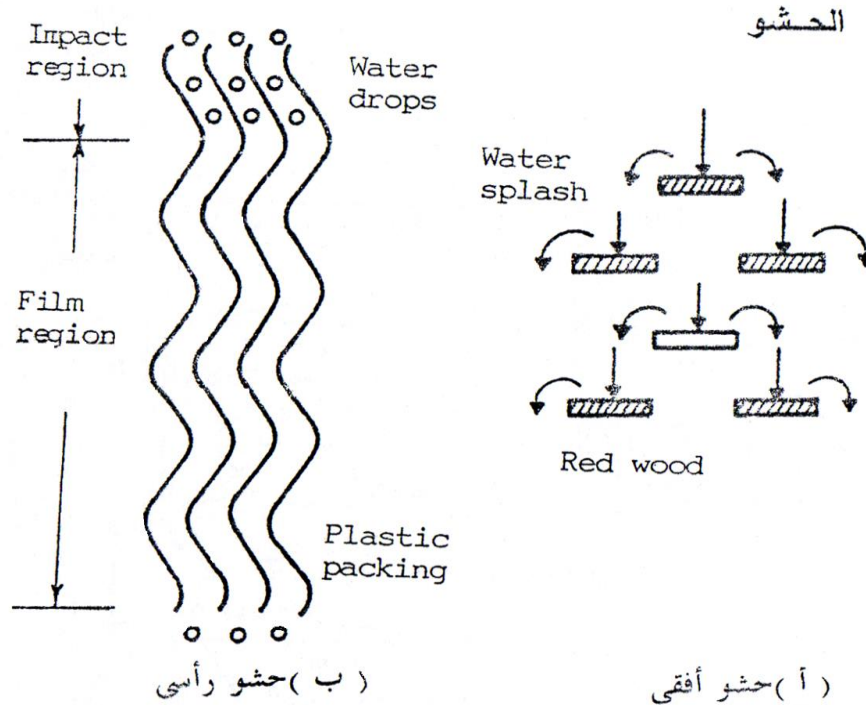
تصميم واختيار أبراج التبريد

تصميم واختيار أبراج التبريد

تتوقف كفاءة برج التبريد على ما يلي:

1. درجة الحرارة الرطبة للهواء عند دخوله في البرج.
 2. مساحة سطح المياه المعرضة للهواء وفترة تعرضها.
 3. سرعة سريان الهواء خلال البرج.
 4. إتجاه سريان الهواء بالنسبة المتساقطة (متوازي ، متعاكس أو متعامد) .
- يصنع إطار البرج من زوايا من الصلب وألواح من الصاج المجلفن أو الصلب الغير قابل للصدأ .

طريقة تصميم الحشو في داخل البرج:



الشكل (1-3) طريقة تصميم الحشو

فائدة المكعبات الخشبية (الحشو):

أ- تكسير عمود الماء (الرشاشات) وهذه تمكن الهواء من ملامسة اكبر قدر من الذرات.

ب-زيادة السطح المبتل (أي نشر الماء على اكبر قدر من المساحات).

ج- تمكين الماء من اخذ وقت كاف للانتقال من أعلى البرج إلى اسفل وبذلك يعطيه فرصة اكبر ليبرد.

تتحكم في أداء برج التبريد نفس العوامل التي تؤثر في تبخر الماء في الهواء وهي:

- 1-سرعة الهواء خلال البرج .
- 2-مساحة الماء السطحية المعرضة لكل وحدة حجمه من الهواء وطول مدة تعرضها .
- 3-متوسط الفرق بين ضغط البخار في الهواء والماء في البرج .
- 4-اتجاه انسياب الهواء بالنسبة للسطح المعرض من الماء .

يشمل السطح المعرض للماء على ما يلي :

1. سطح الماء الموجود في حوض البرج .
2. جميع الأسطح المبتلة في البرج .
3. جميع أسطح قطرات الماء المتساقطة خلال البرج .

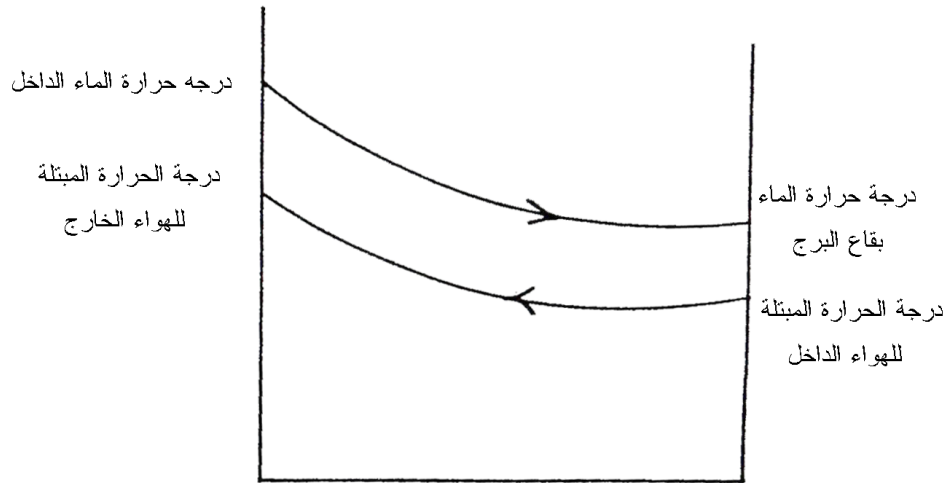
سعة برج التبريد : cooling tower capacity

سعة أي برج معناها كمية الحرارة التي يطردها سائل التبريد أو التي ينبغي أن يطردها سائل التبريد .

وكمية الحرارة التي ينبغي أن يطردها سائل التبريد هي كمية الحرارة التي يمتصها المبخر + كمية الحرارة الناتجة عن شغل الضاغط.

ويلاحظ أن درجة الحرارة النهائية للماء عند حوض برج التبريد تتوقف على ارتفاع هذا البرج بفرض أن سرعة الرياح ثابتة .

كما إن الماء الخارج من المكثف يبرد عادة إلى درجة تقترب من درجة الحرارة المبتلة للهواء الداخل للبرج ولكنها لا تصل إلى هذه الدرجة كما هو موضح بالشكل (2-3).



الشكل (2-3) علاقة بين درجات الحرارة للماء والهواء

وتصل هذه الدرجة عادة إلى درجة أعلى من درجة الحرارة المبتلة للهواء الخارجي بقدر يتراوح من 5-10 ف متوقفة على سعة البرج وكمية المياه وطريقة تصميم البرج.

فمثلا يمكننا أن نعطي كمية حرارة إلى كمية من الماء ويمكن أن نعطي نفس كمية الحرارة إلى كمية مضاعفة من الماء ولكن سيكون الفرق بين درجتي حرارة الدخول والخروج من الأولى ضعف الثانية ففي تلك التي تستخدم فيها كمية مياه أكبر سيكون الفرق بين درجتي الحرارة أصغر وبالتالي تكون درجة الحرارة النهائية للماء عند حوض البرج أقرب إلى درجة الحرارة المبتلة للهواء الداخل منها لو استخدمنا كمية من الماء نصف الكمية الأولى ولهذا السبب يتضح لنا لماذا نستخدم المياه ذات الكمية الكبيرة في برج التبريد .

عوامل اختيار أبراج التبريد:

- 1-سعة برج التبريد المطلوبة.
 - 2-درجة الحرارة بالترموتر المبتل للتصميم .
 - 3-درجة حرارة الماء المطلوبة عند الخروج عن برج التبريد . (درجة حرارة الماء عند الدخول للمكثف أو الاقتراب للبرج) .
- أو :

- 1-معدل التدفق المطلوب على البرج (لتر / ث) .
- 2-درجة الحرارة بالترموتر المبتل للتصميم .
- 3-درجتي حرارة المطلوبتين عند الدخول للبرج والخروج منه (مدى تبريد البرج والاقتراب منه) .

الحمل الحراري لبرج التبريد :

يحسب الحمل الحراري لبرج التبريد من المعادلة التالية :

$$Q_{ct} = M'_w . CP . (T_{in} - T_{out})$$

حيث :

$\dot{M}_w$: تدفق الماء المراد تبريده بـ kg/sec.

CP : الحرارة النوعية للماء.

T_{in} : درجة حرارة الماء الداخل للبرج.

T_{out} : درجة حرارة الماء الخارج من البرج.

إن كمية الحرارة التي يفقدها الماء المطلوب تبريده يكتسبها ماء التبخر في البرج ، فإذا كانت كتلة الماء المبخرة في البرج ($\dot{M}$) فإن الحمل الحراري للبرج أيضا يمكن حسابه من المعادلة التالية :

$$Q_{ct} = \dot{M} \cdot L.H$$

حيث :

L.H : الحرارة الكامنة لتبخر الماء وتساوي 550 kcal/kg .

مثال :

يتدفق الماء في برج تبريد بمعدل 2 kg/sec حيث يدخل بدرجة حرارة $36^\circ C$ ويخرج بدرجة حرارة $31^\circ C$ أوجد :

1. الحمل الحراري للبرج .

2. معدل تبخر الماء .

$$\begin{aligned} 1- Q_{ct} &= \dot{M}_w \cdot CP \cdot (T_{in} - T_{out}) \\ &= (2) (1) (36 - 31) \\ &= 10 \text{ kcal/sec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2- M &= Q_{ct} / L.H \\ &= 10 / 550 \\ &= 0.018 \text{ kg/sec} \end{aligned}$$

تركيبه (برج التبريد)

يتكون غلاف البرج الخارجي من المعدن أو ألياف الزجاج أو الاسبستوس أو الخشب أو الخرسانه أو من مجموعة من هذه المواد . ويفضل استعمال اقل المواد عرضه للصدأ لغلاف البرج وللحشوة . يدخل الماء إلى البرج من الأعلى ويوزع خلاله بطرق مختلفة فقد يتم بالرش بوساطة الأحواض المخرمة أو المجاري المحززة في جوانبها أو بطرق أخرى عديدة والغرض من هذا التوزيع واحد وهو تحويل الماء رذاذ ناعم ونشره بالتساوي خلال مقطع البرج .

تحتوي معظم الأبراج كما ذكرنا سابقا على حشوة من الفولاذ المقاوم للصدأ أو اللدائن أو الخشب الأحمر ، تعمل على تحويل الماء الذي يمر عليها إلى رذاذ عن طريق توفير مساحة سطحية مبتلة كبيرة يساعد على سرعة التبخر . بالإضافة إلى ذلك فإنها تجعل الماء يسير بطريق متعرج مما يزيد من فترة وجوده في تماس مع هواء البرج.

ونظرا لسرعة الهواء العالية داخل البرج تستخدم صفائح إزالة eliminator لاستخلاص قطرات الماء التي قد تتجرف مع تيار الهواء إلى خارج البرج ، ويعتمد كمية الماء المنجرفة على تصميم البرج وسرعة الهواء .

الباب الرابع

صيانة أبراج التبريد

صيانة أبراج التبريد

الصيانة الدورية:

يلزم فحص الأجزاء الميكانيكية شهريا :

1. إذا كانت مراوح البرج من النوع الذي يدار عن طريق أقشطه . فان مقدار شد القشط يجب أن يفحص ويضبط حسب الحاجة .
2. يجب المحافظة على جميع مرابط البرج بحيث تكون مثبتة بشكل جيد.
3. يلزم فحص بلف العوامة ويضبط حسب الحاجة .

يلزم تنظيف برج التبريد ودهانه سنويا :

1. يجب رفع الأوساخ والرواسب الموجودة بالأحواض ومصافي المليء والسحب .
2. يجب كشط وتنظيف ودهان جميع الأسطح المعدنية الخارجية التي يكون قد حدث بها قشور على الأقل مرة كل عام باستعمال دهان بطانة جيد (PRIMER) ثم يغطي السطح الخارجي للبرج بدهان مقاوم للصدأ.
3. يجب فحص الجزء الداخلي من البرج . وقم بإصلاح أي تلف بمواد الحشو أو أجزاء الحوض ، وإذا كان من الضروري رفع الحشو ، فانه يجب تركيب الحشو الجديد في المكان الأصلي حتى نحصل على توزيع ماء منتظم .
4. يجب تنظيم ريش المروحة وان تدهن إذا لزم الأمر.
5. إذا كان من الضروري معالجة الماء كيماويا لمنع تكون الأوساخ في دائرة برج التبريد ، فانه يلزم استشارة أخصائي في معالجة الماء .
6. يجب منع نمو العفن داخل برج التبريد الذي يعمل على تخفيض انتقال الحرارة ويسد الدائرة .وتستعمل لذلك مادة (بنتا كلوروفينوليت الصوديوم) التي لها فعالية قوية لقتل مسببات هذا العفن.

المياه المفقودة في برج التبريد:

هناك ثلاثة مصادر لفقد المياه خلال أبراج التبريد :

1- المياه المتبخرة نتيجة تبريد باقي المياه الساخنة وهي في حدود 1 % من معدل سريان المياه خلال البرج .

2- سحب قطرات المياه (Water drift) مع الهواء الخارج من البرج .

3- تصفية المياه (Water bleed – off) من قاع البرج للتحكم في نسبة تركيز الأملاح في مياه في حدود 1 % من معدل سريان المياه خلال البرج .

- يجب تعويض برج التبريد بنفس معدل المياه المفقودة ليظل مستوى المياه في حوض البرج ثابت .

معالجة مياه برج التبريد:

توجد الكائنات العضوية الحية كالطحالب (Algae) والبكتريا والفطريات (bacteria and fungi) والكائنات نباتية بكميات متفاوتة ونوعيات مختلفة في جميع مصادر المياه الطبيعية ونتيجة لتعرضها للهواء الجوي فإنها تنمو وتؤدي إلى تقليل كفاءة أبراج التبريد كنتيجة لنمو الطحالب والفطريات على الجدران مما يتعارض مع توزيع المياه، يلزم لنمو

الطحالب توافر غاز ثاني أكسيد الكربون الذائب في الماء وكذلك ضوء الشمس وتنشيط الطحالب عادة في أبراج التبريد والمبردات والمرشحات المفتوحة والخزانات . وتنمو الطحالب عادة في اتجاهات طويلة منبسطة ولذا فان التخلص منها في داخل المواسير بعد نموها قد يسبب حاجزاً لتدفق المياه لذا يجب مقاومتها قبل دخولها إلى المواسير . ينتج عن نمو الطحال والرواسب الرخوة في باطن خزانات المياه وأحواض الترسيب أضرار جسمية على المرشحات والمضخات . كذلك تحول بكتريا أكسدة الكبريت (عنصر الكبريت) الذي يتواجد في المياه الطبيعية إلى حامض الكبريتيك إي يعتبر من أسباب تآكل أبراج التبريد .

ولكن وجود بكتريا النترة (nitrifying bacteria) يفيد في أكسدة الشوائب الأمونيومية وتحويلها إلى نترات والتي بدورها تساعد على عمليات الهدم للمواد العضوية التي تدخل إلى دوائر المياه مع مياه التعويض حيث تمت هذه العمليات بالأكسجين اللازم للهدم والأكسدة ويمكن منع نمو الطحالب وذلك بمنع الضوء من الدخول بالإضافة إلى حقن مياه بكميات منتظمة من الكلور ويستفيد جزء كبير من الكلور المحقون في المياه في تنفيذ العمل الذي ينتج عنه التخلص من الأمونيا والمواد العضوية وفي حالة تواجد بكتريا اختزال الكبريتات أو في حالة انسداد فوهات التريز (Spray nozzles) أو تغطيتها بالطحالب فإنه يجب زيادة جرعات الكلور المحقون في مصدر المياه .

للحصول على أداء جيد لبرج التبريد يجب معالجة المياه من :

أ- القشور (Scales)

تنشأ القشور نتيجة ترسب المواد الصلبة غير المذابة في المياه على الأسطح الخارجية للأنايب. العلاج الوحيد لمنع تكون القشور هو تصفية المياه (Blow down) وبالتالي المحافظة على نسبة تركيز مقبولة للمواد الصلبة في المياه الجارية .

ب- الصدأ (Corrosion)

ينشا الصدأ نتيجة تحلل المعادن بالتفاعلات الكيميائية بين ، الهواء والمعدن الصلبة في المياه الجارية . العلاج الوحيد للصدأ هو تحكم في قيمة اس الهيدروجين (PH) وجعله اقل من العدد 7 وبالتالي تصبح المياه الجارية غير حمضية . يتم التحكم بإضافة مواد كيميائية مثل الكرومات ، البولي فوسفات والنيترات للمياه الجارية .

ج- النمو العضوي (Organic growth)

تغطى الطحالب (Algae) والفطريات (Fungi) للأسطح المبتلة وتتلف خشب الحشو وبالتالي تنخفض السعة التبريدية للبرج. ولعلاج ذلك إضافة مواد كيميائية مثل الكلور للمياه الجارية .

د - الأتربة (Dirt)

مصدر الأتربة هو الهواء المحيط ببرج التبريد . تتجمع الأتربة في قاع البرج على هيئة طين (Silt) . العلاج الوحيد للأتربة هو وضع فلتر على مداخل الهواء والتنظيف الميكانيكي لقاع برج التبريد .

معالجة مياه أبراج التبريد باستخدام بدائل محلية :

يؤدي تلوث مياه الأبراج بالطحالب إلى نتائج سلبية عديدة أهمها:-

1- أن انسداد حشوات أبرج التبريد بالطحالب يؤدي إلى التقليل من مساحتها السطحية وبالتالي من كفاءتها.

2- أن نمو الطحالب وغزارتها وانسيابها في شبكة دورة الماء المبرد يؤدي إلى انسداد المصافي (filters) المربوطة على الشبكة وبالتالي إلى حدوث خلل في طبيعة عمل الأبراج.

3- أن كثرة الطحالب تؤدي إلى زيادة المحتوى الأكسجيني في مياه البرج مما يسبب في تأثير تآكل على أجزاء البرج.

أما أهم طرق المعالجة التي تجري لأبراج التبريد للتقليل من توليد الطحالب فهي:-
إضافة المواد الكيماوية التي تقتل الطحالب على مياه البرج وبشرط فيها ان تبقى الدالة الحامضية للماء المستخدم في البرج متعادلة كي لا تؤثر سلبيا على هيكل البرج المصنوع غالبا من الحديد القابل للتفاعل مع الحوامض.

إجراء معالجات ميكانيكية على الأبراج وتشمل عمليات تجفيف الأحواض وإزالة الأطنان والطحالب العالقة بالقشط وغسل الحشوات باستمرار بعد تجفيفها وطرح المياه التي تغسل بها الأحواض وحشوات الأبراج خارج البرج مما يؤدي إلى هدر كميات كبيرة من المياه فضلا عن العمل الشاق والمضني لقشط الترسبات هذا إضافة إلى التوقفات الكثيرة ولفترات طويلة لأبراج التبريد لإجراء عمليات الصيانة.
طرح الماء المستخدم واستبداله باستمرار بماء جديد خال من الطحالب وفي هذا هدر كبير في المياه والطاقة لأن كمية الماء تصل في بعض الاحيان إلى مئات الآلاف من الأمتار المكعبة وهي عملية غير اقتصادية.

استخدام مبادلات أيونية لمعالجة الماء المستخدم في الابراج ولكن هذا لا يمنع من نمو الطحالب لوجود تماس مباشر بين الهواء والماء ولكنه يمنع من حدوث التكلسات.

المادة البديلة ومميزاتها:

إن غياب دراسة سابقة أو طريقة محلية معتمدة للقضاء على الأحياء المائية المترسبة عدا المستوردة سابقا وكذلك عدم توافر البديل المحلي لها أدى إلى البحث

عن مواد كيميائية مصنعة محليا ورخيصة الثمن ولا تتطوي على أضرار جانبية على الإنسان والبيئة ولها القدرة على منع نمو وتكاثر هذه الأحياء المائية.

أجريت هذه الدراسة على أبراج تبريد من النوع التبخيري كما تمت مقارنة المادة البديلة مع مادة حمضية كانت تستورد من الخارج واسمها التجاري (Nalco) وتضاف إليها مادة هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) لمعادلتها حامضيا مع قياس الدالة الحامضية لماء البرج وكانت مادة (Nalco) تضاف إلى ماء البرج بواقع 25 لتر/أسبوع وجرت محاولات عديدة لإزالة هذه الكائنات من خلال عمليات القشط والغسل ولفترات عديدة لموسم التشغيل كما أضيف العديد من المواد وغيرها ولكن تأثيرها كان غير ذي فعالية تذكر.

وبعد استخدام إحدى المواد الكيميائية التي تنتج محليا (من قبل وزارة الصناعة والمعادن الاردنية)، وهي مادة هايبوكلورات الصوديوم (Na OCL)، تم التوصل الى التركيز الملائم، وبالحدود التي لا تؤثر سلبيا على هيكلية برج التبريد وأجزائه والحشوات المستخدمة فيه، المصنوعة من صفائح البلاستيك، والمرتبطة على شكل شرائح، وأخذت عدة عينات من مياه البرج، وجرى تحليلها بيولوجيا للتعرف على نوع الطحالب النامية فيها.

واستخدمت عدة تراكيز من المادة البديلة وصولا إلى الحد الملائم. وتم اختبارها موقعا ولمدة عامين (موسمي تشغيل كاملين)، مع إزالة وقشط الطحالب المتبقية لمعرفة حجم الطحالب المتولدة، وتبين أن إضافة 4 لتر/أسبوعيا لكل حوض هي أفضل نسبة من المادة البديلة.

وجرى فحص المياه بعد كل موسم تشغيل لمعرفة مدى فعالية هذه المادة في الحوض، وكمية تطايرها. وكان الفقد فيها قليل جدا، ويكاد لا يذكر مع ضمان عدم تكاثر الطحالب في الأبراج.

وقد أظهرت المادة البديلة زيادة في كفاءة الابراج بنسبة 84% مقارنة بالمادة المستوردة وبنسبة 95% مقارنة مع العمليات الميكانيكية (القشط والغسل المستمر)

ولما كانت كمية المادة البديلة المضافة قليلة جدا مقارنة بالمادة المستوردة لذا تعتبر هذه الطريقة ذات جدوى اقتصادية فضلا عن التوصل إلى نوع المادة البديلة.

الاستنتاجات:

- 1-تعتبر المادة البديلة التي تضاف إلى أبراج التبريد وتنتج محليا ذات جدوى.
 - 2-إعتماد الطريقة البديلة للقضاء على الأحياء المائية المترسبة في أحواض أبراج التبريد.
 - 3-تحقيق وفرة في كمية المادة المضافة ذلك إلى أن المادة المستوردة كانت تضاف بواقع 25 لتر/اسبوعيا أما المادة البديلة فانها تضاف بواقع 4لتر/اسبوعيا
 - 4-لا تحتاج المادة البديلة إلى إضافات كيماوية للوصول إلى دالة حامضية متعادلة عند العمل ضمن الحدود والنسب التي تم التوصل إليها.
- إمكانية استخدام المادة البديلة لجميع أنواع أبراج التبريد وهي صالحة للعمل في جميع الظروف المناخية وتعمل لمديات حرارية واسعة.

الباب الخامس

أبراج التبريد والطاقة

أبراج التبريد والطاقة

التحكم في معدل سريان الهواء :

يوجد عدد من التقنيات المستخدمة لتصميم وضبط معدل سريان الهواء خلال أبراج التبريد، وكل منها يؤدي إلى توفير في الطاقة المستخدمة بدرجات متفاوتة.

التحكم التدرجي :

أبسط طرق التحكم التدرجي هو تشغيل مروحة برج التبريد وإيقافها بالتناوب. وإذا تمت هذه الطريقة يدوياً، فتكون درجة التحكم والوفّر في الطاقة غير مجدية، نظراً لاعتمادها على العامل الإنساني والجدول الزمني الخاص بالقائم على تشغيل برج التبريد. ويوجد نظام آخر أكثر تعقيداً، يتم من خلاله التحكم في تشغيل وإيقاف مروحة تمرير الهواء عن طريق مجس لدرجة حرارة الماء المعاد والذي تم تبريده من خلال البرج.

على الرغم من أن هذه الطريقة تؤدي إلى تحسين عملية التحكم في معدل سريان الهواء، إلا أنه توجد بعض المعوقات، ومعظمها تنتج من تكرار بدء حركة موتور المروحة. فعند كل مرة يبدأ فيها المحرك الدوران، يتم سحب كمية كبيرة من التيار خلال خطوط القوى الكهربائية. وهذا لا يؤدي فقط إلى حمل ذروة كبير في نظام توزيع القوى الكهربائية، بل يضيف إجهادات حرارية على العزل الحراري للمحرك الكهربائي مما يؤدي إلى قصر عمر ملفات الموتور. ولتفادي تلك المشكلة، فلا بد وأن توضع بعض الدوائر الكهربائية لتحديد عدد دورات الإيقاف والتشغيل التي يمر بها المحرك في الساعة. ويعتمد عدد دورات الإيقاف والتشغيل بدرجة كبيرة على حجم المحرك، فكلما كان حجمه كبيراً كلما سمح بعدد أقل من دورات الإيقاف والتشغيل.

ومع استخدام مبدئ حركة من النوع القياسي التقليدي، يحاول المحرك الكهربائي الوصول إلى السرعة الكلية كل مرة تقفل فيها دائرة مبدئ الحركة. وتؤثر الصدمة الميكانيكية الناتجة عن هذا على جميع مكونات النظام بما فيها برج التبريد ذاته. وهذا يفسر السبب في صدور المواصفات القياسية STD-111 من معهد أبراج التبريد والتي تنص على أن أقل معامل خدمة لمخفضات السرعة لأبراج التبريد من نوع المسننات المشطوبة الحلزونية هو -20.

المحركات ذات السرعتين :

وتضيف المحركات التي تدور على سرعتين تحسينات أكثر على عملية التحكم في معدل سريان الهواء خلال أبراج التبريد. وأكثر المحركات شيوعاً هي التي تعمل على سرعتين أما 1730 دورة في الدقيقة أو 865 دورة في الدقيقة. وقوانين سريان الهواء خلال المراوح تفسر توفير الطاقة المتاحة من عملية تغيير سرعة دوران محرك المروحة، فتوضح المعادلة التالية العلاقة بين سرعة دوران المروحة (C) ومعدل سريان الهواء (Mair).

$$C2 = Mair2$$

$$C1 = Mair1$$

وبما أن العلاقة بينهما هي علاقة تناسب طردي، فإن تخفيض سرعة دوران المروحة إلى النصف يؤدي إلى نصف معدل سريان الهواء. أما المعادلة التالية من قوانين المروحة فأنها توضح العلاقة بين قدرة المروحة (P) وسرعة دوران المروحة (C).

$$^2(C2) = P2$$

$$^2(C1) = P1$$

وبالتعويض بسرعتي دوران محرك المروحة الشائعتين 865، 1730 لفة في الدقيقة، يتضح أن خفض سرعة دوران المروحة بنسبة 50% من سرعة دورانها الكلية يؤدي إلى تخفيض الطاقة المستهلكة للمراوح إلى أقل من 15% من قدرتها عند السرعة الكلية، وهذا يوضح مدى الوفرة المتاحة في استهلاك الطاقة.

ولكن الفرق الواسع بين سرعتي دوران المحرك يجعل درجة التحكم محدودة. إلا أن السبب في شيوع هاتين السرعتين (865، 1730 لفة في الدقيقة) يرجع إلى انتشار استخدام المحركات من طراز 4 قطب: 8 قطب نظراً لانخفاض تكاليف تصنيعها عن نظيراتها من طراز 4 قطب : 6 قطب.

وأيضاً وكما في حالة التحكم التدرجي. فإنه عندما يكون التحكم يدوياً يصبح كل من الأداء والوفرة في الطاقة معتمداً كلياً على العامل الإنساني للتشغيل. ويتحسن الأداء والتحكم عندما يستخدم مجس لدرجة حرارة الماء المعاد لتغيير سرعة دوران المروحة. إلا

أن مشاكل الصدمات والإجهادات الحرارية والميكانيكية ما زالت تحدث خلال التدرج الفجائي بين السرعتين.

الأبراج المتعددة الخلايا:

توجد طريقة أخرى للتحكم في سعة برج التبريد، وهي استخدام أبراج التبريد متعددة الخلايا. وتعد هذه الطريقة مجدية اقتصادياً فقط في حالة المنشآت الكبيرة بحيث تبرر استخدام أكثر من خلية برج تبريد. فعند عدم الحاجة للسعة الكلية لأبراج التبريد، يمكن عزل خلية أو أكثر من أبراج التبريد.

وغالباً ما يكون هذا النوع من التحكم موسمياً، ولا تستطيع هذه التشكيلة أن تتكيف بطريقة جيدة مع نظم التحكم الأوتوماتيكي. ولا تتيح هذه الطريقة إمكانية وفر كبير في الطاقة بالقدر الذي تتيحه طريقة تغيير سرعة دوران المروحة. وهذا لأن المراوح في الخلايا التي لم يتم عزلها تظل تعمل عند الضغط الإستاتيكي الكامل. بينما تمارس المروحة التي تعمل عند سرعات أبطأ مقدار اقل من الضغط. ولتوضيح ذلك تتم المقارنة بين برج تبريد أحدهما عبارة عن خليتين والآخر عبارة عن خلية واحدة ولكن مزود بمحرك يعمل على سرعتين (1730، 850) لفة في الدقيقة). ولتخفيض حمل التبريد في كلاهما إلى نصف الحمل الكلي، يتم عزل خلية تبريد واحدة من خليتي برج التبريد الأول وبذلك ينخفض استهلاك الطاقة إلى 50% من الطاقة الكلية المستهلكة، بينما في البرج الآخر يتم خفض سرعة دوران المروحة من 1730 إلى 850 لفة في الدقيقة مما يؤدي إلى انخفاض استهلاك الطاقة إلى 12.5% من الطاقة المستهلكة عند الحمل الكلي لبرج التبريد. ونتيجة لذلك، فإن أبراج التبريد متعددة الخلايا تشتمل عادة على مراوح مزودة بمحركات متعددة السرعات بغرض تحسين كفاءة استهلاك الطاقة.

التحكم المستمر:

يوجد عدد مختلف من الطرق التي تؤدي إلى التحكم في أداء أبراج التبريد والتي تتيح إمكانية توفير أكثر في الطاقة المستخدمة.

المخمدات:

وتتيح هذه المخمدات التعديل المستمر والتحكم في معدل سريان الهواء خلال برج التبريد ليتلائم مع التغيرات في الحمل الحراري لأداء البرج والتغير في درجة حرارة الهواء الخارجي المقاسة بالترمو متر المبلل. وعندما تحد المخمدات من سريان الهواء، تنخفض القدرة الحصانية للمروحة، ولكن مقدار توفير في الطاقة المستخدمة يكون أقل من نظيره في الطرق الأخرى للتحكم في معدل سريان الهواء. وتضيف هذه المخمدات مشاكل أيضاً في الصيانة، ولا يوصي باستخدامها في أبراج التبريد التي تعمل في الأجواء المناخية شديدة البرودة والمتجمدة.

مروحة دافعة متغيرة الخطوة أوتوماتيكياً:

إن استخدام المروحة الدافعة متغيرة الخطوة أوتوماتيكياً يؤدي إلى تحكم أكثر كفاءة في معدل سريان الهواء. فبعكس مروحة برج التبريد القياسية والتي يتم ضبط خطواتها يدوياً مرة واحدة فقط خلال بدء التشغيل وعادة لا يتم إعادة ضبطها فيما بعد، يتم التحكم في خطوة ريشة هذه المراوح الدافعة عن طريق نظام الهواء المضغوط. وهذا يتيح إمكانية تغيير خطوة الريشة باستمرار وأثناء دوران المروحة لتلائم تغيرات ظروف التشغيل. وعندما يكون متاحاً تعديل برج تبريد كائن في الموقع بمروحة متغيرة الخطوة، فإن أثر هذا التعديل يتضح في الحال. وعلى الرغم من أن الوفرة في الطاقة يكون أكبر من مثيله في النظم الأخرى المذكورة فيما سبق إلا أن كفاءة المروحة تنخفض مع تغيير خطوة الريشة عند نفس سرعة الدوران. ومن الممكن استخدام مراوح متغيرة الخطوة ذات المحركات تعمل على سرعتين، وذلك لتلافي انخفاض كفاءة المروحة عند تغيير خطوة

الريشة. فعندما ينخفض سريان الهواء إلى النصف، يتم تخفيض سرعة دوران محرك المروحة بحيث يسمح بالعودة إلى الكفاءة العالية والمناظرة لوضع الخطوة الأولى للريش.

نواقل التيار ذو التيار المتغير:

تشير الدراسة التي قامت بها شركة مارلي Marley لأبراج التبريد إلى أن أكثر الطرق كفاءة بالنسبة للتحكم في مراوح أبراج التبريد هي عن طريق ضبط سرعة دوران المروحة لتلائم التغير في معدل سريان الهواء. وتناولت هذه الدراسة برج التبريد لنظام تكييف هواء سعة 400 طن تبريد ويعمل 11 ساعة في اليوم، 5 أيام في الأسبوع، بمدينة شيكاغو. وقد أظهرت النتائج أن التحكم في السرعة المتغيرة للمروحة يؤدي إلى استهلاك طاقة يناظر 20% من الطاقة المستهلكة في نظام الإيقاف والتشغيل المتناوبين للمروحة، ويناظر 50% مما تستهلكه المروحة ذات السرعتين، ويكافئ 75% من الطاقة المستهلكة في نظام تشغيل المروحة ذات الخطوة المتغيرة. فعند ضبط السرعة، تترك ريشة المروحة عند وضعها الأمثل بالنسبة للكفاءة، بينما تتغير سرعة المروحة لتلائم احتياجات برج التبريد من معدل سريان للهواء. ونتيجة لذلك، تصبح الطاقة الفعلية المطلوبة لتشغيل المراوح قريبة من مسار العلاقة التكميلية بين سرعة دوران المروحة والطاقة اللازمة، كما هو في قانون المراوح.

وهذه الطريقة لا تصاحبها المشاكل المتأصلة في طرق التحكم التدريجي، لأن عمليات ضبط سرعة المروحة تعتبر لا نهائية. وفي أغلب تطبيقات أبراج التبريد، تزود المراوح بمحركات حث من نوع التيار المتردد، نظراً لما تحتاجه من أعمال صيانة محدودة. وعلى ذلك يمكن استخدام نواقل التيار ذو التردد المتغير مع أبراج التبريد لدوران المراوح عند سرعات متغيرة تناسب التغير في أحمال التبريد. وبالتحكم في سرعة دوران مروحة

برج التبريد عن طريق نواقل التيار ذو التردد المتغير، تصبح فترة استرجاع الاستثمارات
في حدود من سنة إلى سنتين.

الخاتمة

نأمل من الله عز وجل أن يكون هذا المشروع قد أدى
الغرض منه وهو أن تعم الفائدة على جميع المهتمين في
هذا المجال.

ولا ننسى شكر كل من ساهم في إنجاز هذا المشروع
ومني أنا الطالب عمر حمزة عبد العزيز الطويل
خالص الشكر والتقدير إلى قسم الهندسة الميكانيكية

وحدات القياس المستخدمة في مجال التبريد والتكييف

NO	BTU / HR	KW / HR	T.O.N / HR	K.CAL / HR	KJ / HR
1	1000	0.293	0.083	249	1037
2	2000	0.586	0.166	498	2074
3	3000	0.879	0.249	748	3116
4	4000	1.172	0.332	997	4153
5	5000	1.465	0.416	1250	5207
6	6000	1.758	0.499	1499	6244
7	7000	2.051	0.582	1749	7286
8	8000	2.344	0.665	1998	8323
9	9000	2.637	0.748	2248	9365
10	10000	2.93	0.832	2500	10415
11	11000	3.223	0.915	2750	11456
12	12000	3.516	1	3000	12500
13	13000	3.809	1.081	3249	13535
14	14000	4.102	1.164	3498	14572
15	15000	4.395	1.284	3859	16076
16	16000	4.688	1.331	4000	16664
17	17000	4.981	1.414	4250	17705
18	18000	5.274	1.497	4500	18747

19	19000	5.567	1.581	4752	19796
20	20000	5.86	1.644	4941	20584
21	21000	6.153	1.747	5251	21875
22	22000	6.446	1.83	5500	22913
23	23000	6.739	1.913	5750	23954
24	24000	7.032	1.997	6000	24996
25	25000	7.325	2.08	6252	26045
26	26000	7.618	2.163	6500	27079
27	27000	7.911	2.246	6751	28124
28	28000	8.204	2.329	7000	29162
29	29000	8.479	2.408	7238	30153
30	30000	8.79	2.496	7500	31245

BTU / BRITSH TEMPRETURE UNIT

KW / Kilo watts

T.O.N / tons

(1 KW = 3413 BTU) & KJ / Kilo joules

المراجع:

1. دوسات ترجمة

د. محمد يوسف عفيفي.

د. عبد المنعم أحمد رزق.

2. مبادئ التبريد والتكييف

عدنان زيكان موسى.

حيان عبد الغني عبد الزهرة.

3. معدات التبريد الانضغاطي

د. رمضان أحمد محمود.

4. تكييف الهواء

د. محمد عدنان فرواتي.

5. مجلة نقابة المهندسين عدد 76 لسنة 2005

م. معن سعد الدين الدباغ.

6. مبادئ تكييف الهواء والتبريد

د. خالد جودة