



## A Practical Study to Develop the Performance of a Water Cooler by Using Surplus Water to Reduce Electricity Power Consumption

Ihsan Kadhom Abbas Al-Naimi

Directorate of Scientific Affairs Department, Ministry of Education

E-mail: [ihsan\\_kad@yahoo.com](mailto:ihsan_kad@yahoo.com)

Received:	27/10/2021	Accepted:	11/5/2022	Published:	15/5/2022
-----------	------------	-----------	-----------	------------	-----------

### Abstract

A 45-liter two-tap water cooler with a half-ton hermetic compressor and refrigerant R-22 was developed by taking a benefit of cold water in excess of the consumer's need (Surplus water) and spraying it on the condenser of the refrigeration cycle of the device, with special design of a water drain pipe and a perforated basin fixed above the condenser and a bottom one that is fixed under the condenser to collect excess water. This design was implemented to reject condensing heat with a shorter time and drawing less electric current then lower electrical energy consumption compared to without using of surplus water. The study shows, the temperature of water decrease from (28°C) to the required degree of (4°C) after 70 minutes, while it reaches this degree after 52 minutes when using the cold surplus water under the same conditions. The results of the experiments show a large decreasing in the electricity energy consumption when using surplus water by 31% and this percentage reaches to 37% in severe running conditions, then this reduction in the electricity energy consumption can be used to provide more energy and reduce the problem of global warming. In addition, it decrease the time to cool water by 32% in severe running conditions and thus increasing the number of consumers of cold water, especially when water coolers were placed in crowded areas such as schools, colleges, and others in the summer season.

**Keywords:** Water Cooler, Water Temperature, Refrigerant (R-22), Surplus Water, Global Warming, Electricity Power Consumption



## دراسة عملية لتطوير أداء براد ماء بالإفادة من ماء الفضلة لتخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية

إحسان كاظم عباس النعيمي

مدير قسم الشؤون العلمية / التعليم المهني – وزارة التربية

E-mail: ihsan\_kad@yahoo.com

Received: 27/10/2021 Accepted: 11/5/2022 Published: 15/5/2022

### الخلاصة

تم تطوير براد ماء ذي حنفيتين بسعة ٤٥ لتر/ ساعة يعمل بضغوط مغلقة سعته نصف طن تبريد وبمائع تثليج R-22 بالاعتماد على الماء البارد الزائد عن حاجة المستهلك (ماء الفضلة) ورشه على المكثف (Condenser) لدورة التثليج في الجهاز، من خلال تصميم إضافي لأنبوب تصريف الماء وقاعدة متقبة تثبت فوق المكثف وأخرى سفلى تثبت تحت المكثف لتجميع الماء الزائد. نفذ هذا التصميم لغرض طرد حرارة المكثف بوقت أقصر وسحب تيار كهربائي أقل وبالتالي انخفاض في استهلاك الطاقة الكهربائية مقارنة مع الحالة الاعتيادية (دون الإفادة من ماء الفضلة). تبين الدراسة أن في الحالة الاعتيادية يصل الماء من درجة حرارة (28°C) إلى الدرجة المطلوبة (4°C) بعد مرور ٧٠ دقيقة، بينما يصل الماء لهذه الدرجة بعد مرور ٥٢ دقيقة وبظروف التشغيل نفسها. أظهرت نتائج التجارب بانخفاض استهلاك الطاقة الكهربائية في حالة الإفادة من ماء الفضلة بحدود ٣١%، وتصل هذه النسبة إلى ٣٧% في ظروف التشغيل القاسية. وبالتالي سيساهم التخفيض باستهلاك الطاقة الكهربائية في توفير المزيد من الطاقة والحد من مشكلة الاحترار العالمي (Global Warming). فضلاً عن تقليل الوقت المستغرق لتبريد الماء لتصل إلى ٣٢% في ظروف التشغيل القاسية، وبالتالي فإن ذلك يتيح في زيادة عدد المستهلكين للماء البارد لاسيما عند وضعه في المناطق المزدحمة مثل المدارس والكليات وغيرها في موسم الصيف.

**الكلمات الدالة:** براد ماء، درجة حرارة الماء، مائع تثليج R-22، ماء الفضلة، استهلاك الطاقة الكهربائية، الاحترار العالمي

### المقدمة:

يحتاج الإنسان البالغ السليم إلى ماء الشرب بحدود (٣٠ إلى ٤٠) مليلتر لكل كيلوغرام من جسمه، أي بحدود (٢ إلى ٤) لتر يومياً [1]، وبزيادة عدد سكان الأرض ازداد الطلب وبشكل مضطرب على الماء النقي الصالح للشرب والذي أدى إلى زيادة كبيرة جداً في استهلاك الطاقة الكهربائية المطلوبة لتشغيل برادات الماء المختلفة، ولهذا بدأت الكثير من الشركات بتصنيع برادات ماء بتصاميم حديثة متنوعة وبألوان جميلة تواكب التطور وتتناغم مع التصاميم المعمارية للمباني لتغطي حاجة المستخدم.

إن جميع المدارس والكليات والمصانع والمؤسسات فضلاً على الدور السكنية تستخدم برادات الماء بكثرة لاسيما في بلدنا العراق الذي يُعد من البلدان الحارة صيفاً لحاجة المواطن إلى ماء بارد صالح للشرب والذي يكون مستساغاً عند درجة حرارة باردة نسبياً تتراوح ما بين (4-8°C) [2]، إذ يكون الماء في هذه الدرجة منعشاً للإنسان.



يواجه العالم اليوم تحديات حقيقية في موضوع الاحترار العالمي (الاحتباس الحراري) (Global Warming) وهذه الظاهرة تسبب الكثير من المشاكل الطبيعية المعروفة لدى الجميع [3]، ومن هنا بدأت الحاجة لإجراء البحوث العلمية الرصينة لغرض محاولة تقليل تأثير هذه الظاهرة من خلال التقنين باستهلاك الطاقة الكهربائية [4]، ناهيك عن مشكلة توافر الطاقة الكهربائية لبعض بلدان العالم ومنها العراق الذي يعاني من نقص حاد في إنتاج الطاقة الكهربائية.

إن تصنيع برادات الماء بدأ مع بداية إنتاج وتصنيع منظومات التثليج (Refrigeration Systems) المتنوعة في بداية القرن الماضي [5] مثل تصنيع أجهزة برادات المواد الغذائية (الثلاجات) والمجمدات المنزلية ومكيفات الهواء والمنظومات التجارية والصناعية المختلفة، وقد تم تطوير برادات الماء بشكل مستمر خلال الحقبة الزمنية الطويلة من خلال تحسين كفاءتها وتجميل أشكالها. ولا يكاد يخلو أي دار عصري أو حتى القروي في الوقت الحاضر من هذه الأجهزة [6].

لوحظ في كثير من الأحيان أن الإنسان ولاسيما في بلداننا العربية والذي يرغب بشرب ماء بارد من براد ماء يقوم بملء القدر بالكامل ثم يسكب الماء الزائد عن حاجته (ماء الفضلة) (Drain) البارد في المكان المخصص في واجهة البراد ومن ثم يُجمع هذا الماء ويُصرّف إلى أنابيب تصريف مياه المجاري، ولعدم تكرار العديد من المستهلكين للماء البارد بالخسارة الناجمة عن هذا السلوك الخاطيء بالرغم من حملات التوعية المستمرة الهادفة إلى الحفاظ على مصادر مياه الشرب فإن ذلك سيؤدي إلى خسارة في الماء النقي الذي تم صرف جهد كبير ومال غزير لغرض وصوله للمستهلك بصورته النقية، ناهيك عن استهلاك شديد للطاقة الكهربائية لتبريده. ومن هذه الملاحظة وردت فكرة الإفادة من ماء الفضلة لتقنين استهلاك الطاقة الكهربائية ولحين وصول مجتمعاتنا لحالة الوعي الكامل وتجاوز مثل هذا السلوك غير المسؤول. إن بحدود 60% من الماء البارد لا تتم الإفادة منه ويصرف كماء فضلة إلى شبكة المجاري بسبب سوء الاستخدام، وهذا ما ورد في مراجع (أشري) ASHRAE (الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء) من كتابها [7]، إذ أُدرج كيفية الإفادة من ماء الفضلة البارد ومن ثم تصنيع برادات ماء تعمل على هذا المبدأ من خلال عمل مبادل حراري بين الماء المغذي للبراد وماء الفضلة.

إن هدف الدراسة الحالية هو كيفية الإفادة من الماء البارد والزائد عن حاجة الإنسان (ماء الفضلة) الذي تم سحبه من براد الماء وعدم هدره بتصريفه إلى أنابيب مياه المجاري لتقنين استهلاك الطاقة الكهربائية المصروفة فعلاً في تبريده. إذ يجمع هذا الماء من المكان المخصص له في واجهة البراد ومن ثم يرش على مكثف دورة التبريد من خلال تصميم معين لأنبوب ومشبك لغرض تبريد المكثف تبريداً إضافياً ليسرّع من طرد حرارة مائع التثليج المار في المكثف وتغيير طوره من الغاز إلى السائل بوقت اقصر ناهيك عن انخفاض في ضغط التكثيف وبالتالي استهلاك أقل للطاقة الكهربائية بشكل ملحوظ. ستم في هذه الدراسة وصف نوع جهاز براد الماء المستخدم ومواصفاته والتحوير الذي أجري عليه بتبديل بعض أجزائه لتحسين كفاءته ومن ثم شرح للتجارب العملية التي أجريت، ومن ثم استعراض الحسابات المطلوبة والنتائج المستحصلة من التجارب العملية وتقييمها لغرض سرد مجموعة من أهم الاستنتاجات المستخلصة عن هذه الدراسة.



## الجانب العملي

## مكونات جهاز براد الماء (نموذج الدراسة)

تم استخدام هيكل لبراد ماء نوع حساوي (كويتي الصنع) ذي حنفتين بخزان ٤٥ لتر شكل رقم (١) وقد جهز بالمعدات والأجزاء الآتية بعد أن تم اختيارها بحسب الخبرة العملية المتراكمة والمنشورات العلمية لمعدات أجهزة التبريد والتكييف:

١. الضاغط (Compressor): ضاغط فرنسي موديل (AG5510F) ترددي محكم الغلق (Hermetic) سعته بحدود نصف طن تبريد، ذو أسطوانتين يعمل بمائع R-22 شكل رقم (٢)، والجدول (١) يمثل قدرة الضاغط بحسب درجة حرارة المبخر [8]، ويتوافق الضاغط بالعمل مع أداة تمدد من نوع الأنبوبة الشعرية ومكثف من النوع الأنابيب المزعفة المبرد بالهواء القسري.
٢. المكثف (Condenser): هو مكثف بالحمل القسري الشكل رقم (٣)، عبارة عن مبادل حراري من نوع الأنابيب النحاسية المزعفة برفائق الألمنيوم، يتم تبريده باستخدام مروحة ذات قدرة (50 W). يتكون المكثف من أنبوب نحاسي مزعنف بقطر (1/4 in) ويعدد صفوف (١٥) ولكل صف أربعة خطوط بطول (15 cm) ليصبح الطول الكلي للأنبوب يساوي (26.4 m)، علماً أنه من اختيار شركة حساوي المصنعة للبراد.
٣. أداة التمدد (Capillary Device): استخدمت الأنبوبة الشعرية كأداة تمدد وذلك لصغر سعة منظومة جهاز براد مائع والذي يوصى عادةً باستخدامها مثل هذه الحالات [6]، وفي هذا المشروع تم اختيار أنبوتين شعريتين مزدوجتين من النحاس بقطر خارجي (0.109 in) وقطر داخلي (0.042 in) وبطول (1.65 m)، لقد تم اختيار هذا القياس بموجب الجداول المعتمدة من قبل آشري ASHRAE [7] كما هو موضح في شكل رقم (٤)، وذلك بتقاطع مقدار الحرارة المطرودة من المكثف وهي بحدود (8000 Btuh) ودرجة حرارة المبخر القياسي مثل هذه الحالات عند درجة (7.2°C) مع قياس قطر الأنبوبة الشعرية ذات القطر الداخلي (0.059 in) والذي يعادل مساحة المقطع نفسها للأنبوتين الشعريتين المتوفرتين في الأسواق المحلية المذكورة أعلاه. ومن نقطة التقاطع هذه نسقط خط شاقولي لإيجاد طول الأنبوتين الشعريتين. إن هذا الاختيار كان متطابقاً أيضاً مع مقدار تدفق مائع التثليج ومقدار التبريد الفائق والمذكورة في المصدر نفسه أعلاه.
٤. المبخر (Evaporator): وهو من نوع المبخرات ذات التمدد المباشر والذي فيه يتحول جميع سائل مائع التثليج الداخل في المبخر إلى حالة البخار [9]. وهو من اختيار شركة حساوي المصنعة للبراد كما مبيّن في شكل رقم (٥)، إذ استخدم مبخر من نوع الملف (Coil) بعدد (٢) ملف، يتكون من أنبوب بقطر (5/16 in) وبطول (13.8 m) لكل ملف فيكون الطول الكلي للملف (27.6 m). الأنبوب مصنوعاً من الفولاذ المقاوم للتآكل (Stainless Steel) ويسمى في الأسواق المحلية بالنوع الغذائي. إن هذا المعدن موصليته للحرارة واطئة نسبياً وتساوي (20 W/m.°C)، وبالرغم من ذلك تم



اختياره لمقاومته العالية للتآكل وذلك للحفاظ على الماء في الخزان بنقاوته وعدم التلوث بسبب أن كل الملف مغمور في الماء.

٥. خزان الماء (Water Tank): عبارة عن متوازي مستطيلات بأبعاد (60 cm × 30 cm × 33 cm) مصنوع من صفائح الفولاذ المقاوم للتآكل (Stainless Steel) ومنسوب الماء يتم بتنظيم الطوافة بارتفاع (25 cm) لذا تكون سعة الخزان (45 l). يغلف الخزان من الخارج بطبقة من مادة الستايروبور العازلة وبسمك (1 in) من الجوانب كافة عدا السطح العلوي تجنباً لسقوط الشوائب في الماء [10].

٦. مروحة المكثف (Condenser Fan): مروحة بثلاث ريش مثبتة على قاعدة خلف المكثف ومحركها بالمواسفات الآتية:

$$\text{القدرة} = 50 \text{ W} , \text{ التيار} = 0.3 \text{ A} , \text{ السرعة} = 950 \text{ rpm}$$

٧. أجهزة السيطرة والتحكم (Control System): الشكل رقم (٦) يمثل مخطط للدائرة الكهربائية للجهاز، وهي عبارة عن الأجزاء والمكونات الآتية:

أ- منظم درجة الحرارة (Thermostat): لغرض التحكم بدرجة حرارة ماء الشرب المرغوبة وهو من النوع الميكانيكي ذي البصلة ياباني الصنع.

ب- مفتاح الضغط العالي والضغط الواطئ (High and Low Pressure Switch): مفتاح الضغط العالي لقطع التيار الكهربائي عن الجهاز عند ارتفاع الضغط العالي لمائع التثليج في منطقة الضغط العالي في منظومة التثليج عن الحد المقرر والذي هو بحدود (400 psig) والذي عادةً يحدث بسبب وجود عطل بمروحة المكثف أو بسبب وجود أتربة وشوائب كثيرة على المكثف. أما مفتاح الضغط الواطئ هو لإيقاف الجهاز عن العمل في حالة انخفاض الضغط لمائع التثليج في منطقة الضغط الواطئ في منظومة التثليج عن الحد المقرر والذي هو بحدود (35 psig) [11]. وهذا يحدث بسبب حدوث حالة تسرب لمائع التثليج أو لحدوث انسداد داخل مجرى مائع التثليج أو لانجماد الماء داخل الخزان مما يؤدي إلى انخفاض شديد في ضغط التبخير لمائع التثليج. الصمامين من نوع Danfoss الدنماركي.

ج- متسعة الضاغط (Capacitor): يلحق بالضاغط متسعة تربط مع الملف الابتدائي للضاغط لغرض مساعدة الضاغط عند اشتغاله بعد توقفه في كل مرة وهي بسعة (35 μF).

### تهيئة براد الماء للتجارب

بعد عملية نصب وشد جميع الأجزاء الميكانيكية والكهربائية لبراد الماء وقبل البدء بالتجارب المطلوبة قيد الدراسة تم تنفيذ الإجراءات الآتية لغرض تهيئة براد الماء للتشغيل:

١. استبدال زيت الضاغط وبحسب المواصفات الخاصة بزيت الضاغط والمتوافقة مع مائع التثليج (R-22) بالكمية المحددة من قبل الشركة المصنعة للضاغط.



٢. لحام أجزاء منظومة التثليج كافة بشكل متقن لمنع حدوث التسرب (Leakage).
٣. إخواء منظومة التثليج (تفريغ) بمضخة الإخواء (Vacuum Pump) ولمدة نصف ساعة إلى أن وصل ضغط الإخواء بحدود (30 in Hg) تحت الضغط الجوي. ومن ثم إبقاء المنظومة تحت الإخواء لمدة ساعتين للتأكد من عدم وجود تسرب في مناطق اللحام أو في أجزاء منظومة التثليج.
٤. شحن براد الماء بمائع التثليج (R-22) بكمية مناسبة لسعة المنظومة ومقدارها (180 g)، وكانت ضغوط التشغيل طبيعية.
٥. تثبيت مقاييس ضغط من نوع بوردون (Bordon) لقراءة الضغط العالي على أنبوب الدفع (Discharge) أي قبل دخول مائع التثليج للمكثف وكذلك مقياس آخر للضغط اللواطي على أنبوب السحب (Suction) أي بعد خروج مائع التثليج من المبخر لتسجيل مقادير الضغط العالي واللواطي في كل وقت من أوقات التجارب. وكذلك تم تثبيت مقاييس حراريين رقميين (Digital Thermometer) لقراءة درجات الحرارة وتم معايرتهما مع مقياس حرار زئبقي. المقياس الأول لقراءة درجة حرارة المكثف، وثبت في منتصف المكثف على أحد أنابيبه وتم عزله مع ذلك الأنبوب عن الجو المحيط حتى تتم قراءة المعدل الوسطي لدرجة حرارة المكثف، بينما مقياس الحرارة الآخر هو لقياس درجة حرارة الماء في الخزان أي لقراءة درجة حرارة المبخر وقد تم غمر الحساس داخل الماء وفي قعر الخزان. لقد تم معايرة مقاييس الضغوط ودرجة الحرارة بحسب المعايير الصحيحة للتجارب العلمية مع مقاييس أخرى قد تم معايرتها في مختبرات خاصة.
٦. لقد تم قراءة مقدار التيار الكهربائي المسحوب من قبل الضاغط وذلك بتثبيت مقياس تيار من نوع ذي الفك ياباني الصنع (Clamp meter) على أحد خطوط تغذية الضاغط، وتم معايرته مع أكثر من مقياس تيار الإلكتروني.

#### وبعد تنفيذ الإجراءات أعلاه كافة أصبح براد الماء جاهزاً للتجارب العلمية.

#### الإفادة من ماء الفضلة البارد

- إن من أهم أسباب عطب ضواغط الأجهزة المنزلية مثل برادات الماء هو ارتفاع درجة حرارتها بسبب زيادة الحمل (التيار المسحوب) نتيجة ارتفاع درجة حرارة الجو لاسيما في بلدنا العراق إذ تزداد درجة الحرارة في بعض أيام الصيف الحارة عن (50°C) مما يسبب مشاكل عديدة [12] ومنها:
١. تزداد أوقات اشتغال الأجهزة لمدد طويلة جداً بسبب الفرق الشاسع بين درجة حرارة الجو المحيط ودرجة حرارة ماء الشرب المرغوبة لاسيما إذا وضع براد الماء في خارج البناية (جو غير مكيف). علماً أن ماء الشرب البارد الموجود في خزان البراد سوف ترتفع درجة حرارته حتى في حالة عدم سحب الماء للشرب من قبل الأشخاص نتيجة انتقال الحرارة بجميع طرائقها (التوصيل والحمل والإشعاع) [9].
  ٢. ارتفاع استهلاك الماء من قبل المستفيدين بسبب ارتفاع درجة حرارة الجو لحاجة الإنسان إلى الماء البارد في الأيام الحارة وبكثرة بسبب فقدانه للسوائل وبالتالي سوف تزداد مدة اشتغال الجهاز.



٣. إن ارتفاع درجة حرارة الجو المحيط بالبراد لا تساعد في طرد الحرارة من المكثف وبالتالي سوف تبقى نسبة من مائع التثليج بدون تكثيف أي يبقى المائع بطور البخار وتزداد هذه النسبة كلما كانت درجة حرارة الجو أعلى، مما يؤدي إلى ارتفاع الضغط العالي (ضغط التكثيف) وعليه سوف يزداد الحمل على الضاغط ويزداد التيار المسحوب من قبل الضاغط وترتفع درجة حرارته بشكل مضطرب مما يؤثر على المادة العازلة للملف الكهربائي داخل الضاغط وهذا يؤدي إلى نقصان عمره التشغيلي الافتراضي.

وللأسباب أعلاه مجتمعة وردت فكرة الإفادة من ماء الفضلة البارد نتيجة لزيادة أعداد الضواغط المعطوية في الأجهزة المنزلية ومنها برادات الماء بشكل غير اعتيادي خلال فصل الصيف. وهذا ما تم تأشيريه عند التعامل المباشر مع ورش تصليح وصيانة الأجهزة المنزلية خلال أوقات العمل والخبرة الطويلة في هذا المجال. انطلقت فكرة الإفادة من ماء الفضلة من المبدأ المعتمد نفسه في مكيفات الهواء الجدارية، إذ تصمم فيها ريشة مروحة المكثف (الخلفية) يعمل إطار بعرض (8 mm) تقريباً يحمل الماء المتكثف من الجو عند المبخر في تقعر صغير بقاعدة المكيف خلف المكثف، وتقوم الريشة المحملة بالماء برش الماء على سطح المكثف عند دورانها فتساعد بطرد حرارة المكثف من خلال تبخر قطرات الماء الذي تحتاجه عملية التبخر هذه إلى الحرارة الكامنة لتبخير الماء التي تسحب من حرارة المكثف.

إن أكثر من نصف الكمية من الماء البارد لا تتم الإفادة منه ويصرف كماء فضلة بسبب سوء الاستخدام وكما ورد في مرجع أشري [7]. استعرض الكتاب وكما تم ذكره في المقدمة طريقة الإفادة من ماء الفضلة بعمل مبادل حراري بين أنبوب تصريف مياه الفضلة وأنبوب الماء المغذي للبراد بحيث تتخفف درجة حرارة الماء المغذي نسبياً. وهذه الفكرة لا تؤدي إلى تحسين كفاءة الجهاز بشكل ملحوظ ولا سيما في الأجواء الحارة للأسباب الآتية:

١. خروج ماء الفضلة بسرعة وهذا الوقت غير كافٍ لانتقال الحرارة بينه وبين الماء المغذي.
٢. تُصنع أنابيب ماء الفضلة والمغذي عادةً من مواد لدائنية وهي بطبيعتها مواد عازلة للحرارة، فتكون نسبة التبادل الحراري ضعيفة جداً.
٣. عدم توافق موقع مد أنبوب ماء الفضلة مع أنبوب مغذي الماء معاً ولا سيما في برادات الماء ذات الخزان العلوي كالمستخدم نموذجاً في هذا المشروع.

٤. من خلال الخبرة العملية تم ملاحظة إن ارتفاع درجة حرارة الماء المغذي لن يؤثر بشكل كبير على الضاغط إنما فقط زيادة في مدة اشتغاله، بينما التأثير السلبي الكبير على الضاغط هو نتيجة ارتفاع درجة حرارة المكثف وارتفاع ضغوط التشغيل.

أما في هذا المشروع ونتيجة لضعف الإفادة من ماء الفضلة البارد المقترحة من قبل (أشري) تعززت فكرة الإفادة من ماء الفضلة البارد من خلال تصميم طريق تصريف الماء نحو المكثف بدلاً من تصريفه مباشرة إلى شبكة المجاري. إذ تم تصميم قاعدتين (حوضين) من البلاستيك بعرض المكثف وطوله، ثبتت القاعدة الأولى في أعلى المكثف وتكون مثقبة لغرض توزيع الماء بشكل قطرات على طول وجميع أنابيب المكثف. في حين ثبتت القاعدة الثانية تحت المكثف وتستخدم لتجميع قطرات الماء غير المتبخرة فيها وتصريف جزء من هذا الماء إلى شبكة المجاري عن طريق تثبيت أنبوب التصريف عند النهاية



العلوية لهذه القاعدة لضمان بقاء ماء يغطي الجزء السفلي من أنابيب المكثف لزيادة كفاءته وكما هو موضح في الشكل رقم (٧).

## النتائج والمناقشة

### حسابات الإفادة من ماء الفضلة

تم تهيئة براد الماء ووضعه داخل ورشة عمل قسم تكييف الهواء والتثليج في إعدادية الكرخ المهنية وكانت درجة الحرارة داخل الورشة مرتفعة نسبياً كون أجهزة التبريد المعتمدة فيها هي مبردات الهواء (Air Cooler)، ودرجة حرارة الماء المغذي للبراد ثابتة ومقدارها (28°C)، وقد تم تنفيذ خمس تجارب في كلا الحالتين الإفادة وعدم الإفادة من ماء الفضلة البارد وبأوقات وأيام مختلفة للحصول على قراءات مختلفة بحسب ظروف التشغيل، إذ كانت ظروف التشغيل في التجربة الأولى اعتيادية بحيث كانت درجة حرارة المكثف عند بداية التشغيل هي (38°C)، أما التجارب اللاحقة فتم تشغيل براد الماء بارتفاع درجة الحرارة أي بظروف غير اعتيادية، إذ كانت درجة حرارة المكثف في بداية التشغيل كالآتي: (40°C)، (43°C)، (44°C)، (45°C) على التوالي. وقد تم تسجيل درجة حرارة المكثف ومقادير الضغط الواطئ والعالي والتيار المسحوب والزمن المستغرق من بداية التشغيل لغاية وصول الماء البارد في الخزان إلى درجة حرارة مقدارها (4°C) ضمن مديات معينة من درجة حرارة الماء المبرد وهي كالآتي: (28°C)، (20°C)، (10°C)، (8°C)، (6°C)، (4°C). ولم يتم اختيار درجات الحرارة هذه بشكل عشوائي، إنما أُختيرت بشكل مدروس وبحسب درجات الحرارة المرغوبة لشرب الماء البارد في فصل الصيف والتي تتراوح بين (10°C) و (4°C)، أما اختيار درجة الحرارة الثانية (20°C) فهي تقريباً وسطية بين درجتين ولعدم وجود قراءات مختلفة كثيراً لاسيماً مع سحب التيار مع الدرجة الأولى، فضلاً على انحدار درجات الحرارة وضغوط التشغيل والتيار كان بشكل سلس (Smooth Slop) معها.

الجدول رقم (٢ - أ) يبين القراءات المسجلة للتجربة الأولى في حالة عدم الإفادة من ماء الفضلة البارد، إذ يوضح الجدول إن الزمن المستغرق للوصول إلى الدرجة المطلوبة (4°C) هو (٧٠) دقيقة. في حين أن الزمن المستغرق للوصول إلى هذه الدرجة عند الإفادة من ماء الفضلة البارد مقداره (٥٢) دقيقة وكما هو موضح في الجدول رقم (٢ - ب).

ويلاحظ انخفاض في مقدار التيار المسحوب خلال مدة التشغيل ضمن الحالة الواحد بسبب انخفاض في درجة حرارة الماء وهذا يعني انخفاض درجة حرارة المبخر وبالتالي انخفاض في مقدار الضغط الواطئ الذي يسبب انخفاض في مقدار التيار المسحوب. إذ يتناقص التيار في حالة عدم الإفادة من ماء الفضلة من (4.8 A) ليصل إلى (4.2 A). بينما يزداد مقدار التناقص في حالة الإفادة من ماء الفضلة البارد ليصل إلى مقدار (3.8 A) عند نهاية مدة التشغيل. مما سيكون له تأثير إيجابي إضافياً في تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية مع تقليل الزمن المستغرق للوصول إلى درجة حرارة الماء المطلوبة.

تؤكد القراءات المسجلة في الجداول رقم (٣، ٤، ٥، ٦) على تقليل الزمن المستغرق للوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة للماء البارد في حالة استخدام ماء الفضلة البارد وكذلك انخفاض التيار المسحوب من قبل الضاغط وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية بالرغم من ارتفاع درجات حرارة الجو داخل الورشة.



## مقدار التخفيض في معدل استهلاك الطاقة الكهربائية

إن مقدار استهلاك الطاقة الكهربائية عند تشغيل أي جهاز يُحسب بموجب المعادلة الآتية [13]:

$$(1) \quad \text{Energy (kW.h)} = \frac{\text{Volt (V)} \times \text{Current (A)} \times \text{Time (min)}}{1000 \times 60} \times \cos \phi$$

حيث أن:

$\text{Energy}$ : الطاقة الكهربائية المستهلكة،  $k$ : كيلو =  $10^3$ ،  $W$ : واط،  $h$ : ساعة

$V$ : فولت مقدار فرق الجهد = 220،  $A$ : أمبير وهو مقدار التيار الكهربائي المسحوب

$min$ : دقيقة وهو مقدار زمن الاشتغال في كل مدة،  $\cos \phi$ : معامل قدرة الضاغط

بما أن معامل قدرة الضاغط ( $\cos \phi$ ) ستكون تقريباً ثابتة في كل مراحل تشغيل الجهاز لذا سوف يهمل هذا الحد لكون المطلوب النهائي هو إيجاد نسبة وليس قيمة، لذا تصبح المعادلة رقم (1) كما يأتي:

$$(2) \quad \text{kVA.h} = \frac{\text{Volt (V)} \times \text{Current (A)} \times \text{Time (min)}}{1000 \times 60}$$

ولكون التيار الكهربائي المسحوب غير ثابت مع الزمن كما موضح في جداول النتائج، لذا ستصبح المعادلة الأخيرة

رقم (2) هي مجموع المدد الزمنية بحسب مقدار التيار وكالاتي [14]:

$$(3) \quad \text{kVA.h} = \frac{\text{Volt (V)}}{1000 \times 60} \sum \text{Current (A)} \times \text{Time (min)}$$

بما أن فرق الجهد تقريباً ثابت عند التشغيل وهو بطور واحد (Single Phase) ويساوي 220 V فتصبح المعادلة

رقم (3) كالاتي:

$$(4) \quad \text{kVA.h} = \frac{220}{60000} \sum \text{Current (A)} \times \text{Time (min)}$$

نتائج التجربة الأولى:

أ- حالة عدم الإفادة من ماء الفضة:

$$\text{kVA.h} = \frac{220}{60000} \sum 4.8 \times 42 + 4.4 \times 15 + 4.3 \times 13 = 1.186$$

ب- حالة الإفادة من ماء الفضة:

$$\text{kVA.h} = \frac{220}{60000} \sum 4.8 \times 10 + 4.4 \times 12 + 4.2 \times 7 + 4.1 \times 9 + 4.0 \times 14 = 0.818$$

ج- الفرق باستهلاك الطاقة الكهربائية:

$$D_p = 1.186 - 0.818 = 0.368 \text{ kVA.h}$$



د- النسبة المئوية لتخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية:

$$\% = \frac{D_p}{1.186} \times 100\% = \frac{0.368}{1.186} \times 100\% \approx 31\%$$

#### مقدار التقليل في الزمن المستغرق

الوقت المستغرق للوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة وهي (4°C) في التجربة الأولى حالة بدون الإفادة من ماء الفضلة يساوي ٧٠ دقيقة.

أما الوقت المستغرق في حالة الإفادة من ماء الفضلة يساوي ٥٢ دقيقة.

الفرق بين الحالة الأولى والثانية يساوي:

$$D_t = 70 - 52 = 18 \text{ min}$$

والنسبة المئوية لتقليل الزمن في التجربة الأولى يساوي:

$$\% = \frac{D_t}{70} \times 100\% = \frac{18}{70} \times 100\% \approx 26\%$$

وباعتماد الحسابات أنفسها أعلاه لجميع التجارب الخمس التي أجريت تكون النتائج كما موضح في الجدول رقم (٧).

#### المناقشة

الشكل رقم (٨) منحنيات توضح العلاقة بين التيار المسحوب خلال زمن تشغيل براد الماء من بداية التشغيل لغاية وصول درجة حرارة ماء الشرب المطلوبة وهي (4°C) للتجارب كافة. ولكي تكون فكرة الدراسة واضحة للقارئ سيتم مناقشة الشكل رقم (٩) الذي يبين العلاقة المذكورة أعلاه وللتجربتين الأولى والخامسة فقط. إن الفرق بين التجربتين هو ظروف تشغيل براد الماء، إذ أن ظروف التشغيل في التجربة الأولى كانت اعتيادية بدرجة حرارة خارجية اعتيادية وهذا مثبت في درجة حرارة المكثف لحظة تشغيل البراد وكانت مقدارها (38°C) كما موضح في الجدول رقم (٢). أما في التجربة الخامسة كانت ظروف التشغيل غير اعتيادية، إذ أن درجة حرارة المكثف في لحظة التشغيل كانت (45°C) كما هو موضح في الجدول رقم (٦) وهذا يتبين من خلال المنحنيات الموضحة في الشكل. إذ أن منحنيين التجربة الأولى (الظروف الاعتيادية) لحالي عدم الإفادة والإفادة من ماء الفضلة هي أوطأ من منحنيين التجربة الخامسة (الظروف غير الاعتيادية)، وبمعنى آخر أن مقدار التيار الكهربائي المسحوب في حالة ظروف التشغيل الاعتيادية أقل من مقدار التيار المسحوب عند التشغيل في الظروف غير الاعتيادية.

ومع هذا، في التجربة الواحدة يتبين وبشكل ملحوظ التأثير الإيجابي للاستفادة من ماء الفضلة البارد عندما يتم رشه على المكثف من خلال هبوط التيار الكهربائي المسحوب من قبل الضاغط والموضح في المنحنيين باللونين الأخضر والأزرق مقارنةً بالمنحنيين ذي اللونين البنفسجي والجوزي من الشكل في التجربتين الأولى والخامسة. وهذا بالتالي يعني أن مقدار التيار المسحوب من قبل الضاغط هو أقل وذلك سيؤدي بالتالي إلى انخفاض استهلاك الطاقة الكهربائية بشكل كبير وهذا هو الهدف



الرئيس من هذه الدراسة، إذ يتبين من خلال الحسابات المذكورة أنفاً إن نسبة انخفاض استهلاك الطاقة الكهربائية في حالة التشغيل بالظروف الاعتيادية كانت ٣١% وهي نسبة كبيرة لا يمكن إهمالها لاسيما في ظروف بلدنا العراق الذي يعاني من شحة في إنتاج الطاقة الكهربائية. وكذلك بالإجراء نفسه يتبين من خلال المقارنة في الأرقام المسجلة والحسابات التي أجريت أن نسبة انخفاض استهلاك الطاقة الكهربائية حتى في تجربة التشغيل بالظروف غير الاعتيادية كالتجربة الخامسة كانت بمقدار ٣٧% وهي نسبة لا يستهان بها مطلقاً. والملاحظ إن نسبة التخفيض في استهلاك الطاقة الكهربائية تزداد مع ارتفاع درجات الحرارة وهذا يحصل حقيقةً بكثرة لاسيما في الكليات والمدارس وبعض المؤسسات الحكومية والتجارية عند وضع براد الماء في مناطق غير مكيفة وفي موسم الصيف الحار.

الشكل رقم (١٠) يبين العلاقة بين درجة حرارة الماء والزمن المستغرق لحين وصولها لدرجة (4°C) وخلال مدة التشغيل للتجربة الأولى والخامسة كنموذج لباقي التجارب. إن الزمن المستغرق للوصول لدرجة حرارة الماء المطلوبة في التجربة الأولى هو أقل منه في التجربة الخامسة وهذا يأتي نتيجة لارتفاع درجة حرارة الجو الخارجي في التجربة الخامسة عن الأولى والذي يسبب بفقدان لبرودة الماء خلال مدة التشغيل نتيجة زيادة في انتقال الحرارة من الجو الخارجي إلى داخل خزان الماء مما يزيد بالتالي زمن الوصول لدرجة حرارة الماء المطلوبة. ومع هذا، يلاحظ أن زمن التشغيل باستخدام ماء الفضلة لتبريد المكثف قد انخفض بشكل كبير للتجربتين بظروفها الاعتيادية وغير الاعتيادية. إن نسبة تقليل زمن التشغيل كانت ٢٦% و ٣٢% للتجربة الأولى والخامسة على التوالي. وهذا يعني إن نسبة تقليل الزمن تزداد كلما ارتفعت درجة حرارة الجو المحيط ببراد الماء.

إن نسبة تقليل زمن الوصول لدرجة حرارة الماء المرغوبة مفيد عملياً لاسيما في فصل الصيف، إذ يزداد الطلب من قبل المستهلكين على الماء البارد وبالتالي عند استخدام ماء الفضلة البارد لتبريد مكثف براد الماء سيلبي أغلب طلبات المستهلكين وعدم الانتظار لوقت طويل حتى يبرد ماء الشرب حتى في حالة ازدياد الطلب على الماء البارد.

وبالجدير بالذكر هنا، يلاحظ أن المنحنيات في هذا الشكل تتحدر بشدة لغاية ٣٠ دقيقة في التجربة الأولى ولغاية ٤٠ دقيقة في التجربة الخامسة ومن ثم يكون انحدارها قليل جداً بعد ذلك الوقت، وأن هذا يأتي كما مثبت علمياً هو بسبب طول المدة الزمنية لانخفاض درجة حرارة الماء عندما تكون فرق درجات الحرارة عالية بين درجة حرارة الماء داخل الخزان ودرجة حرارة الجو مما يزيد من كمية الحرارة المنتقلة من الجو إلى داخل الخزان [15].

#### الاستنتاجات

إن العالم اليوم يعاني بشكل كبير من مشكلة الاحترار العالمي (GW) التي يسببها ازدياد في انبعاث الغازات الدفيئة الناتجة من النشاط البشري في كافة مجالات الحياة ومنها ازدياد الطلب على إنتاج الطاقة الكهربائية التي ما زال نسبة كبيرة من إنتاجها يتم بالطرائق التقليدية وهي طريقة اشتعال الوقود الأحفوري الذي يسبب بانبعاث كبير في غاز ثاني أكسيد الكربون وغيرها من الغازات الدفيئة [4]. وكذلك إن بعض البلدان ومنها بلدنا العراق تعاني من شحة في إنتاج الطاقة الكهربائية مما يتطلب زيادة الجهد في كيفية انخفاض نسبة استهلاك الطاقة الكهربائية. إن هذه الدراسة قدمت محاولة جديرة بالاهتمام في كيفية انخفاض استهلاك الطاقة الكهربائية عند تشغيل برادات الماء الذي ازداد استخدامها مؤخراً في جميع مرافق الحياة.



إن من أهم الاستنتاجات التي تم استنباطها من هذه الدراسة هي كالاتي:

١. يزداد استهلاك الطاقة الكهربائية كلما ارتفعت درجة حرارة الجو المحيط بتشغيل براد الماء، ويزداد الزمن المستغرق للحصول على الماء البارد بدرجة الحرارة المرغوبة، وهذا يحدث عند وضع الجهاز خارج الحيز المكيف لاسيما في موسم الصيف.
٢. تنخفض نسبة استهلاك الطاقة الكهربائية عند استخدام ماء الفضلة البارد لتبريد مكثف براد الماء، ومع هذا تزداد نسبة التخفيض من ٣١% إلى ٣٧% كلما ارتفعت درجة حرارة الجو المحيط بالجهاز.
٣. يقل الزمن المستغرق للوصول إلى درجة حرارة ماء الشرب المرغوبة عند استخدام ماء الفضلة البارد لتبريد مكثف براد الماء، ومع هذا تزداد نسبة نقصان الزمن من ٢٦% إلى ٣٢% كلما ارتفعت درجة حرارة الجو المحيط بالجهاز.
٤. إن اختيار نوع الضاغط وسعته وقطر وطول الأنبوبة الشعرية ونوع المبخر ونوع المكثف ومروحته تم بشكل مناسب جداً وكان له الدور الفعال الواضح من خلال تسجيل قيم مثالية للضغطين الواطئ والعالي والتيار المسحوب فضلاً على درجات الحرارة للمبخر والمكثف أثناء التجارب العملية عند تشغيل براد الماء.
٥. إن التصميم والتنفيذ الجيدين لطريقة رش ماء الفضلة على المكثف كان له الأثر الإيجابي الواضح من خلال ما ورد أعلاه بمقادير نسب التخفيض في استهلاك الطاقة الكهربائية ونقصان الزمن.

#### التوصيات

بالإمكان مستقبلاً الاستمرار في تطوير هذا المشروع لمواكبة التزايد على الطلب على أجهزة برادات الماء مع التقليل في مقدار استهلاك الطاقة الكهربائية وبنفس الوقت التقليل في مشكلة تعاظم الاحترار العالمي وكذلك مشكلة استنزاف طبقة الأوزون (Ozone Depletion). أدناه أهم التوصيات المقترحة في هذا الموضوع:

١. استبدال مائع التثليج R-22 بمائع متوافق بالاشتغال مع هذا المائع مثل R-290, R-404A, R-407A/B/D/E باتباع إجراءات إعادة التهيئة للجهاز (Retrofit) جميعاً المعروفة ومنها تنظيف أجزاء دورة التثليج كافة وغسلها لغرض التخلص من زيت الضاغط القديم ثم استبدال الزيت بزيت متوافق مع مائع التثليج الجديد [16].
٢. تثبيت صمام يسمح بمرور ماء الفضلة البارد إلى المكثف فقط عندما ترتفع درجة حرارته وذلك بوضع متحسس إضافي بين أنابيب زعانف المكثف الذي ينقل إشارة كهربائية لتشغيل الصمام تجنباً لطفح الماء الزائد في القاعدة السفلية تحت المكثف.

#### التشكرات

يشكر الباحث ملاك قسم تكييف الهواء والتثليج في إعدادية الكرخ المهنية كافة لتقديم المساعدة بإنجاز هذا المشروع.



## References

- [1] Elkaim, Yuri, "The Truth about How Much Water You Should Really Drink," Sep. 2013, U.S. News & World Report, Retrieved at <http://health.usnews.com/health-news/blogs/eat-run/2013/09/1>
- [2] Boulze, D., Montastruc, P., Cabnac, M., "Water Intake, Pleasure and Water Temperature in Humans", *Physiology & Behavior journal*, vol. 30, iss. 1, pp. 97-102. Jan. 1983.
- [3] United Nations Environment Programme, "Emissions Gap Report 2019" UNEP, Nairobi, (2019). <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>
- [4] Aizebeokhai, A. P., "Global Warming and Climate Change: Realities, Uncertainties and Measures", *International Journal of Physical Sciences*, Vol. 4 (13) pp. 868-879. Dec. 2009. Available online at <http://www.academicjournals.org/IJPS>
- [5] Carson, James K., *Refrigeration: Theory and Applications*, 1<sup>st</sup>. Ed., bookbone.com. ISBN 978-87-403-0363-6, 2013.
- [6] الجودي، خالد أحمد، مبادئ هندسة تكييف الهواء والتثليج، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة البصرة، ١٩٨٦.
- [7] ASHRAE, *Equipment Handbook*, . ASHRAE, N. Y, 1979.
- [8] Tecumseh, *Catalogue*, group 1, section 3, p. 31, 1985.
- [9] Jennings, Burgess H., *Environmental Engineering: Analysis and Practice*, International Textbook Company. 7<sup>th</sup>. Printing. New York, 1970.
- [10] تاج الدين، ضياء، آلات التبريد، كلية الهندسة الميكانيكية، الطبعة الثانية، منشورات جامعة حلب، ١٩٨٨.
- [11] عبد المتعال، أحمد، الثلجات والفریزرات المنزلية ومبردات الماء " الطبعة الأولى، منشورات مكتبة الجزيرة، ٢٠٠١.
- [12] جبل، محمد حسان، "التغييرات الأدائية والتصميمية المرافقة لاستبدال مائع تبريد قديم (R12) بمائع تبريد أمين على طبقة الأوزون (R134a) في منظومة تبريد براد ماء صغير"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد ٢٧، العدد ١١، ٢٠٠٩.
- [13] Hughes, E., *Electrical Technology*, 5<sup>th</sup> Ed., Longman Group Ltd, 1977.
- [14] E. Gates, *Introduction to Basic Electricity and Electronics Technology*, Delmar Cengage Learning, 1<sup>st</sup>. Ed., NY, USA, 2014.
- [15] ASHRAE, *Fundamentals Handbook*, ASHRAE, NY, USA, 1983.
- [16] Whitman, B. Johnson, B., Tomczyk, J., Silberstein, E., *Refrigeration & Air Conditioning Technology*, 6<sup>th</sup> Edition, Delmar Cengage Learning, 2009.



جدول رقم (١) قدرة الضاغط بحسب درجة حرارة المبخر

٩.٤	٧.٢	٥	٥-	١٠-	°C درجة حرارة المبخر
٢٢٠٠	٢٠٢٠	١٤٨٠	١١٤٠	٨٥٠	kca/h
٨٨٠٠	٨٠٨٠	٥٩٢٠	٤٥٦٠	٣٤٠٠	Btu/h

جدول رقم (٢) قراءات التجربة الأولى

أ- بدون الإفادة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	مدة الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البدائية	٤.٨	٢٤٠	٦٨	٣٨	٢٨
دافئ	١٢	٤.٨	٢٥٨	٦٦	٤٥	٢٠
تعرق	٣٠	٤.٨	٢٨٥	٦٢	٤٨	١٠
تعرق شديد	٤٢	٤.٤	٢٦٠	٥٥	٤٤	٨
تعرق شديد	٥٧	٤.٣	٢٥٥	٥٤	٤٤	٦
تعرق شديد	٧٠	٤.٢	٢٤٥	٥٢	٤٣	٤

ب- بالإفادة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	مدة الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البدائية	٤.٨	٢٤٠	٦٨	٣٨	٢٨
دافئ	١٠	٤.٤	٢٣٦	٦٢	٤٠	٢٠
تعرق	٢٢	٤.٢	٢١٥	٥٥	٤٠	١٠
تعرق شديد	٢٩	٤.١	٢١٠	٥٢	٤٠	٨
تعرق شديد	٣٨	٤.٠	٢٠٥	٥١	٤٠	٦
ظهور تلج	٥٢	٣.٨	١٩٠	٤٨	٣٧	٤

جدول رقم (٣) قراءات التجربة الثانية

أ- بدون الإفادة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	مدة الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البدائية	٥.٠	٢٦٥	٧٨	٤٠	٢٨
قليل البرودة	٣٠	٥.٤	٣٢٥	٨٠	٥٥	٢٠
بارد	٤٥	٥.٣	٣٢٠	٧٥	٥٣	١٠
ظهور تعرق	٥٠	٥.٠	٢٨٥	٦٤	٥٢	٨
تعرق شديد	٥٨	٤.٧	٢٦٠	٥٨	٥٢	٦
تعرق شديد	٧٥	٤.٦	٢٥٠	٥٦	٥٠	٤



## ب- بالإفادة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	مدة الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البداية	٥.٠	٢٦٥	٧٨	٤٠	٢٨
بارد	١٢	٤.٧	٢٤٥	٦٤	٤٢	٢٠
بارد جداً	٢٥	٤.٤	٢٢٥	٦٠	٤٠	١٠
تعرق	٣٤	٤.٣	٢١٥	٥٨	٤٠	٨
تعرق شديد	٤٢	٤.١	٢١٠	٥٢	٤٠	٦
تعرق شديد	٥٥	٣.٩	٢٠٠	٥٠	٣٨	٤

## جدول رقم (٤) قراءات التجربة الثالثة

## أ- بدون الإفادة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	مدة الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البداية	٥.١	٢٧٥	٧٨	٤٣	٢٨
قليل البرودة	٢٩	٥.٤	٣٢٥	٨٠	٥٥	٢٠
بارد	٤٤	٥.٣	٣١٥	٧٥	٥٥	١٠
بارد جداً	٥٤	٥.٠	٢٩٠	٦٦	٥٥	٨
تعرق	٦٦	٤.٨	٢٧٥	٦٠	٥٥	٦
تعرق شديد	٨٢	٤.٧	٢٦٥	٥٨	٥٣	٤

## ب- بالإفادة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	مدة الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البداية	٥.١	٢٧٥	٧٨	٤٣	٢٨
بارد	١٨	٤.٨	٢٥٥	٦٧	٤٣	٢٠
بارد جداً	٣٢	٤.٥	٢٣٥	٦٢	٤٢	١٠
تعرق	٤٠	٤.٤	٢٣٠	٦٠	٤٢	٨
تعرق شديد	٥٠	٤.٣	٢٢٠	٥٥	٤١	٦
تعرق شديد	٥٨	٤.١	٢١٠	٥٢	٤٠	٤



## جدول رقم (٥) قراءات التجربة الرابعة

أ- بدون الإفاداة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	مدة الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البداية	٥.٤	٢٩٠	٨٠	٤٤	٢٨
قليل البرودة	٣٣	٥.٥	٣٣٥	٨٢	٥٨	٢٠
بارد	٤٩	٥.٣	٣٢٠	٧٨	٥٦	١٠
بارد جداً	٥٩	٥.٢	٣٠٠	٧٠	٥٥	٨
تعرق	٧٣	٥.٠	٢٧٥	٦٥	٥٥	٦
تعرق شديد	٨٧	٤.٨	٢٧٠	٦٠	٥٤	٤

## ب- بالإفاداة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	مدة الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البداية	٥.٤	٢٩٠	٨٠	٤٤	٢٨
بارد	٢٠	٤.٩	٢٦٥	٦٨	٤٤	٢٠
بارد جداً	٣٥	٤.٦	٢٤٥	٦٦	٤٣	١٠
تعرق	٤٣	٤.٥	٢٣٥	٦٥	٤٣	٨
تعرق شديد	٥٢	٤.٤	٢٢٥	٥٨	٤٢	٦
تعرق شديد	٦٠	٤.٣	٢٢٠	٥٤	٤١	٤

## جدول رقم (٦) قراءات التجربة الخامسة

أ- بدون الإفاداة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	مدة الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البداية	٥.٤	٢٨٥	٨٠	٤٥	٢٨
قليل البرودة	٣٤	٥.٥	٣٤٠	٨٢	٥٨	٢٠
بارد	٥٠	٥.٤	٣٢٥	٨٠	٥٨	١٠
بارد جداً	٦٠	٥.٣	٣١٠	٧٤	٥٦	٨
تعرق	٧٥	٥.١	٢٩٠	٦٨	٥٥	٦
تعرق شديد	٩٠	٥.٠	٢٨٥	٦٤	٥٤	٤

## ب- بإفادة من ماء الفضلة

حالة خط السحب	زمن الاشتغال (دقيقة)	التيار (A)	الضغط العالي (psig)	الضغط الواطئ (psig)	درجة حرارة المكثف (°C)	درجة حرارة الماء (°C)
دافئ	البداية	٥.٤	٢٨٥	٨٠	٤٥	٢٨
بارد	٢٣	٥.٠	٢٦٥	٦٨	٤٤	٢٠
بارد جداً	٣٨	٤.٧	٢٥٠	٦٦	٤٤	١٠
تعرق	٤٥	٤.٥	٢٤٠	٦٣	٤٣	٨
تعرق شديد	٥٥	٤.٤	٢٣٠	٦٠	٤٣	٦
تعرق شديد	٦١	٤.٣	٢٢٠	٥٦	٤٢	٤

## جدول رقم (٧) النسبة المئوية لتخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية وتقليل الزمن

النسبة المئوية لتقليل الزمن (%)	الزمن المستغرق (دقيقة)		النسبة المئوية لتخفيض الطاقة الكهربائية (%)	استهلاك الطاقة الكهربائية (kVA.h)		رقم التجربة
	مع ماء الفضلة	بدون ماء الفضلة		مع ماء الفضلة	بدون ماء الفضلة	
٢٦	٥٢	٧٠	٣١	٠.٨١٨	١.١٨٦	١
٢٧	٥٥	٧٥	٣٤	٠.٩١١	١.٣٨٤	٢
٢٩	٥٨	٨٢	٣٥	١.٠٠٢	١.٥٣٥	٣
٣١	٦٠	٨٧	٣٦	١.٠٧٨	١.٦٩٤	٤
٣٢	٦١	٩٠	٣٧	١.١١٣	١.٧٦٦	٥

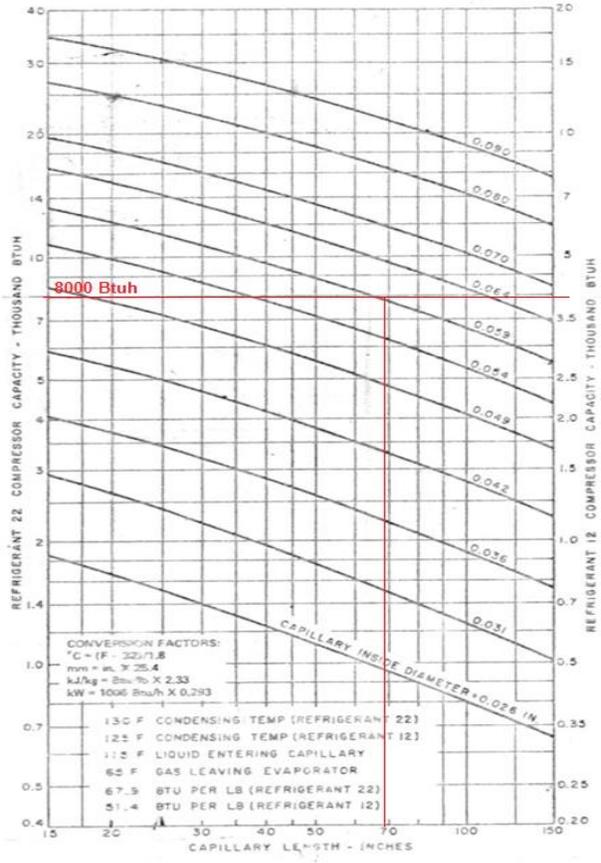


شكل رقم (٢) الضاغط المغلق



شكل رقم (١) براد الماء المستخدم

أنبوب تصريف  
ماء الفضلة  
باتجاه المكثف

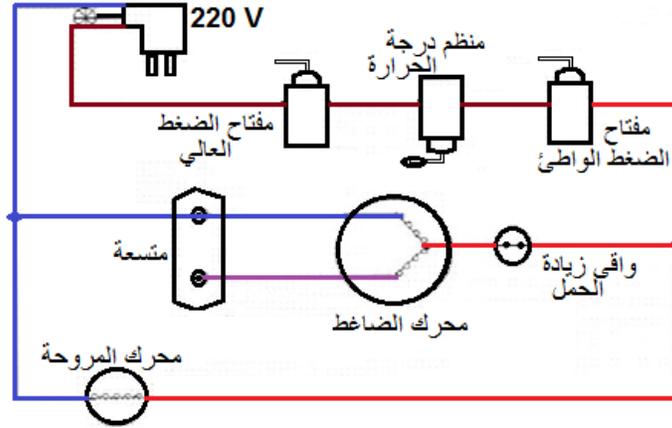


شكل رقم (٤) اختيار طول الأنبوبة الشعرية

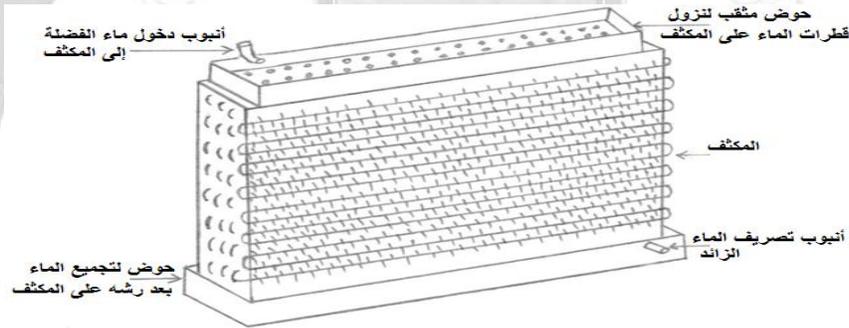
شكل رقم (٣) المكثف المزعنف



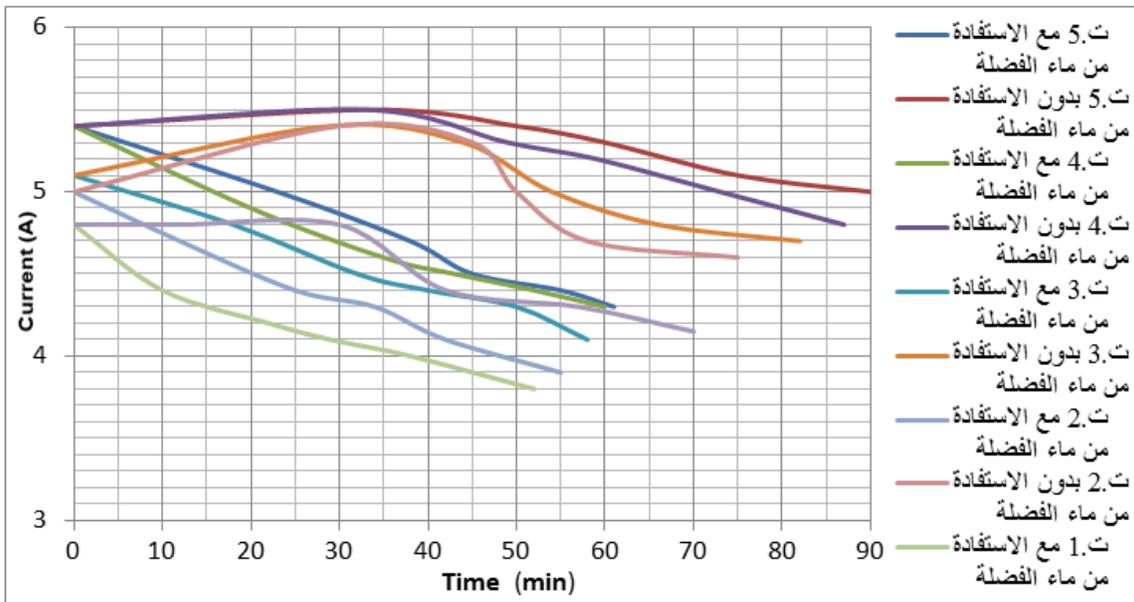
شكل رقم (٥) المبخر



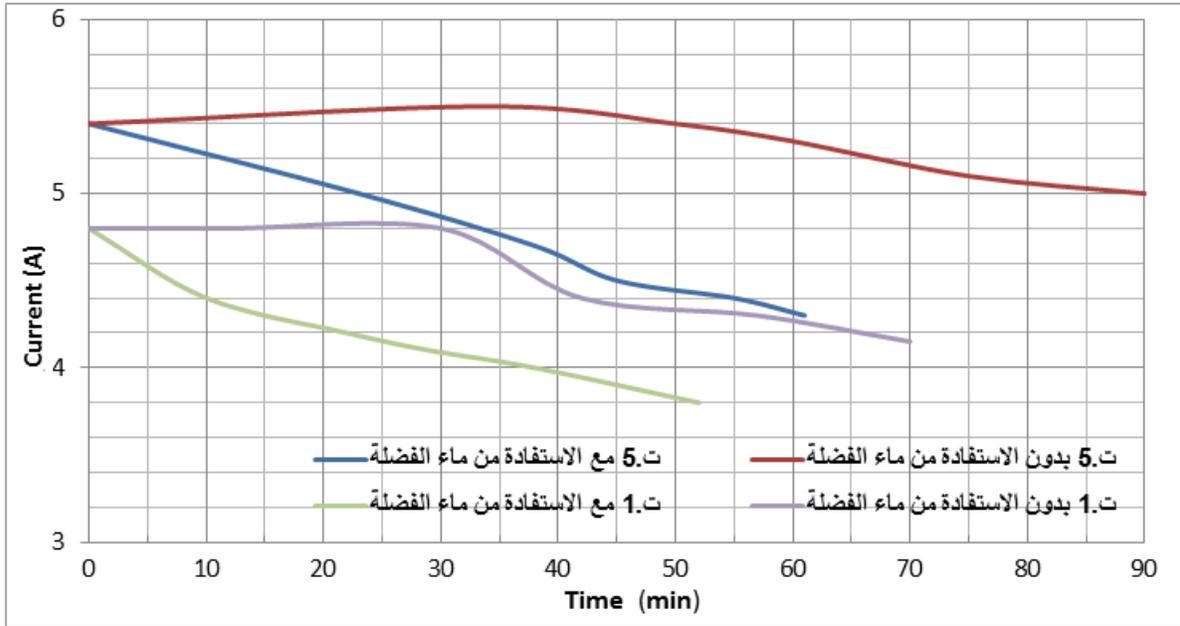
شكل رقم (٦) مخطط الدائرة الكهربائية للجهاز



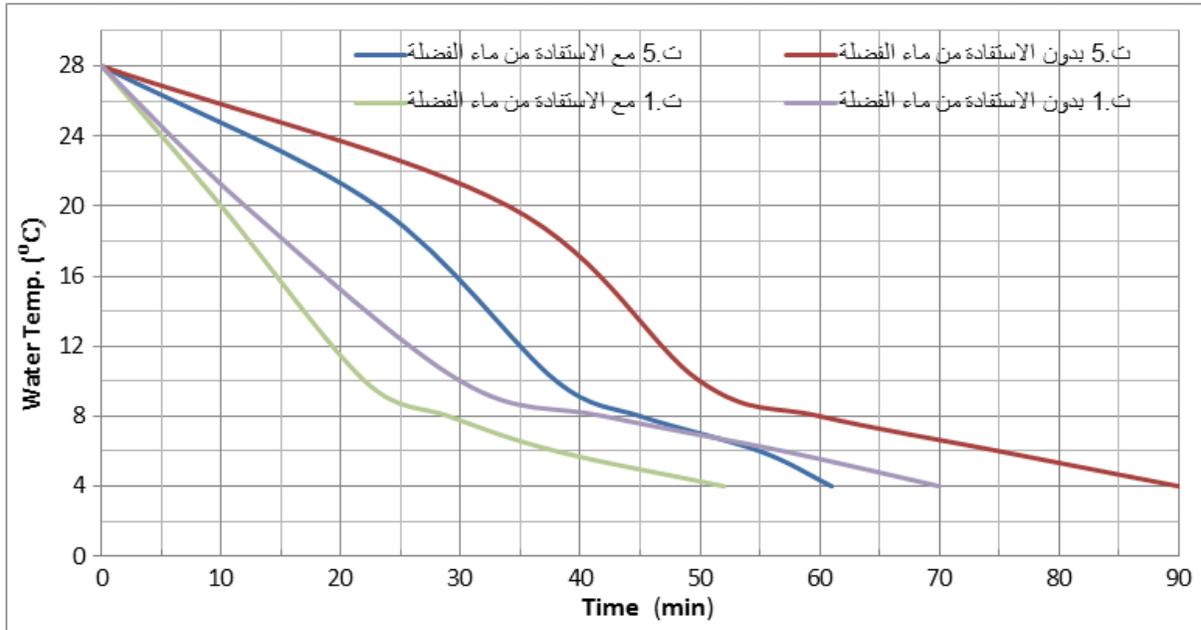
شكل رقم (٧) مخطط لمكثف براد الماء مع القاعدتين



شكل رقم (٨) العلاقة بين مقدار التيار المسحوب من قبل الضاغط خلال زمن معين للتجارب كافة



شكل رقم (٩) العلاقة بين مقدار التيار المسحوب من قبل الضاغط خلال زمن معين للتجربتين الأولى والخامسة



شكل رقم (١٠) العلاقة بين درجة حرارة ماء الشرب خلال زمن معين للتجربة الأولى والخامسة فقط