

انخفاض التردد وتأثيره على أداء محطات القدرة الحرارية

عمر خليل احمد

هيئة التعليم التقني / المعهد التقني / الحويجة / وحدة بحوث الطاقات المتجددة

omerkalil@yahoo.com

تاريخ قبول البحث: 2015 / 6 / 2

تاريخ استلام البحث: 2014 / 1 / 28

المخلص

يهدف البحث الحالي إلى دراسة تأثير انخفاض التردد في الشبكة الوطنية العراقية على أداء محطات القدرة الحرارية العاملة حيث تم اختيار محطة بيجي الحرارية كنموذج رياضي. بينت الدراسة إن انخفاض التردد الناتج من زيادة الحمل المؤثر في الشبكة الوطنية من (50 Hz) إلى (49 Hz) وأحياناً (48 Hz) يؤدي إلى انخفاض في الكفاءة الإجمالية للمحطة من (35.9%) إلى (33.5%) وانخفضت الكفاءة الإجمالية إلى حوالي 31.3% عندما كان تردد الشبكة الوطنية 48 Hz، نتيجة ارتباط هذا الانخفاض بأداء الأجهزة المساعدة في المحطة خصوصاً تلك التي تدار بالمحركات الحثية.

الكلمات الدالة: انخفاض التردد ، محطات القدرة الحرارية، أداء، تأثير.

Frequency reduction effect on the performance of thermal power plants

Omer K. Ahmad

Foundation of Technical education / Technical institute of Hawija / Unit of Renewable energies researches

omerkalil@yahoo.com

Received date : 28 / 1 / 2014

Accepted date : 2 / 6 / 2015

ABSTRACT

This research study the effect of frequency reduction of national electric net on the thermal power plant efficiency. The Baiji thermal station was selected as mathematical model. This study showed that the frequency reduction due to the increasing of load in the national electric net from 50 Hz to 49 Hz causes that the plant efficiency decrease from (35.9%) to the (33.5%), and the overall efficiency was decreased to 31.3% at 48 Hz because the relationship between this decreasing with the induction working motor in the plant.

Keywords: Frequency reduction, Performance, thermal power plant.

1. المقدمة (Introduction)

سببت الحروب التي خاضها العراق في تدمير البنية التحتية لمؤسسات الكهرباء ومحطات التوليد العاملة في القطر وأدى ذلك إلى عدم تجديد الأجهزة واندثارها والذي يؤثر بشكل كبير على دقة قراءة الأجهزة، وهذا يعني إن المنظومة الوطنية لم تكن مستقرة، واستمرت هذه الحالة منذ عام حرب الخليج الثانية عام 1991 وحتى الآن، دأبت فيها مؤسسات الكهرباء على تزويد المستهلكين بالقدرة الكهربائية رغم شحة هذه القدرة وعلى حساب الهبوط في الفولتية والتردد، لقد أدى ذلك إلى أثار سلبية على أداء محطات القدرة وهذا الحدث ليس جديدا من الناحية الفنية فلو رجعنا إلى الفترة التي تلت الحرب العالمية الثانية في أوروبا وأمريكا لوجدنا مشاكل مشابهة من حيث شحة التوليد وزيادة الحمل مما أدى إلى الاشتغال بفولتية واطئة وتردد دون المقنن وهذا خيار صعب وخطر في الوقت نفسه.

استخدم الباحث [1] ثلاثة أنواع مختلفة من الوقود والتي يكثر استخدامها في المحطات الحرارية وخاصة العراق وهي النفط الخام (Crude oil) وزيت الوقود الثقيل (Heavy fuel oil) والغاز الطبيعي (Natural gas) بهدف تحسين عملية الاحتراق في المرجل عن طريق دراسة بعض المتغيرات التشغيلية وتأثير الاحتراق غير التام ونسبة الهواء إلى الوقود على كفاءة المرجل وبين الباحث إن نسبة الهواء إلى الوقود هي المسيطر الرئيسي على عملية الاحتراق، وإن أفضل أداء للاحتراق عندما تكون نسبة الهواء إلى الوقود هي 1.05.

قام الباحث [2] بإجراء دراسة عملية لمحطة بيجي الحرارية وإجراء تحليل للمبادل الحراري في محطة كهرباء بيجي الحرارية واستخدم التحليل العددي لحل المعادلات التفاضلية وإيجاد التوزيع الحراري للمائع ومعدن الحشوة ودرس تأثير تغيير الكتلة بثلاث طرق مختلفة وقارن بين هذه الطرق.

كما درس الباحث [3] أداء محطة بيجي الغازية وتأثير نوعية الوقود المستخدم على كفاءة الوحدات الغازية الأولى والثالثة وأوضح الباحث إن الوقود الديزل يحسن من أداء المنظومة بالمقارنة مع الوقود الثقيل غير إن الكلفة العالية لهذا الوقود يجعل استخدامه غير مجدي من الناحية الاقتصادية، كما أشار الباحث إن الشبكة تعاني من انخفاض التردد على مدار اليوم إلا في أوقات متأخرة من الليل علما ان التردد المسموح (48.5-51.5)Hz وسبب هذا الانخفاض إلى زيادة استهلاك المحطات الغازية للوقود وبينت النتائج أيضا إن استهلاك الوقود النوعي يقل بزيادة الحمل واستخدام الوقود الثقيل يؤدي تحرير اكاسيد الكبريت بكميات كبيرة كون الوقود الثقيل يحوي على 4.5% كبريت.

درس الباحث [4] تأثير انخفاض التردد على مولد تزامني ثلاثي الطور والمحولة الكهربائية، حيث تستخدم هذه المولدات التزامنية ثلاثية الطور كوحدات أساسية في محطات توليد الطاقة الكهربائية، وهي المصدر الرئيسي لتغذية جهد التيار المتناوب. وأكد الباحث إن عمل المحركات التزامنية تحت تردد يقل عن 50 Hz يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارتها وبالتالي تقليل كفاءتها وأحيانا يؤدي إلى عطلها كما يؤدي إلى تقليل استطاعة محطات القدرة العراقية.

أشار الباحث [5] إلى مخاطر الاشتغال بتردد دون التردد المقنن على أداء المحطات الحرارية وأشار إلى إن مشاكل اشتغال المحطة الحرارية بتردد واطئ تنقسم إلى جانبين: الجانب الأول هو الاجهادات الاهتزازية لريش التوربين الطويلة لمرحلة الضغط الواطئ الأخيرة حيث إن تأثير هذه الاهتزازات يمكن ان يكون تراكميا او أنياً مع الزمن مما يؤدي إلى تكسر الريش وتمت دراستها بصورة تفصيلية من قبل الباحث [6]، إما الجانب الثاني والذي يختص بأداء الأجهزة المساعدة في

المحطة خصوصاً تلك التي تدار بالمحركات الحثية، حيث إن الاشتغال بتردد يقل عن التردد المقنن يؤدي إلى تقليل كفاءة وقدرة المحطة نتيجة انخفاض استطاعة وكفاءة الأجهزة المساعدة مثل أجهزة تغذية المرجل بالوقود والمراوح المزودة لهواء الاحتراق والضغوطات وغيرها فلم يتم دراستها بصورة تفصيلية وأشار إليها الباحث العزاوي بصورة سطحية ولذلك سوف سيتناول لبحث الحالي دراسة العلاقة الآتية بين التردد المقنن وأداء المحطة البخارية وحساب تأثير التردد على الخسائر الحرارية للمحطة.

2. موقع الدراسة

اعتمدت الدراسة على محطة بيجي الحرارية والتي تعتبر من أكبر المحطات في العراق وتقع محطة بيجي على الضفة اليمنى لنهر دجلة في منطقة الفتحة شمال شرق قضاء بيجي بمسافة عشرين كيلو متر وأنشأت هذه المحطة من قبل شركة ANSALDO الإيطالية على أساس دورة التسخين - الاسترجاع وتستمد مياه التغذية من مياه نهر دجلة وتتألف المحطة من ست وحدات توليدية قدرة كل منها (220 MW)، يقوم مرجل الوحدة بتوليد البخار وتجهيزه إلى التوربين بمعدل (670 ton/hr) عند ضغط 140 bar ودرجة حرارة 538°C وتعمل المحطة على أساس دورة إعادة التسخين - الاسترجاع المشتركة. يقوم مرجل الوحدة بتوليد البخار وتجهيزه إلى التوربين ليمر خلال مراحله الثلاث وهي:

1. توربين الضغط العالي (High pressure turbine).

2. توربين الضغط المتوسط (Intermediate pressure turbine).

3. توربين الضغط الواطئ (Low pressure turbine).

وفي نهاية مرحلة الضغط الواطئ يعاد بعض البخار إلى المرجل ليعاد تسخينه في معيد التسخين إلى الدرجة الأصلية نفسها (538°C) ويدخل إلى مرحلة الضغط المتوسط. تحتوي الوحدة على سبع مراحل لاستنزاف البخار و يبلغ ضغط المكثف (0.06 bar) ودرجة حرارة ماء تبريد المكثف 35°C والشكل (1) يوضح مخطط الدورة الحرارية للوحدات التوليدية العاملة في محطة بيجي الحرارية. أما المولد الكهربائي فهو مولد تيار متناوب (AC) ذو قدرة (275MVA) ويدور هذا المولد بسرعة مقدارها (3000 rev/min) ليعطي تردد (50 HZ) ويبرد هذا المولد بالهيدروجين لتقليل الخسائر الحرارية فيه.

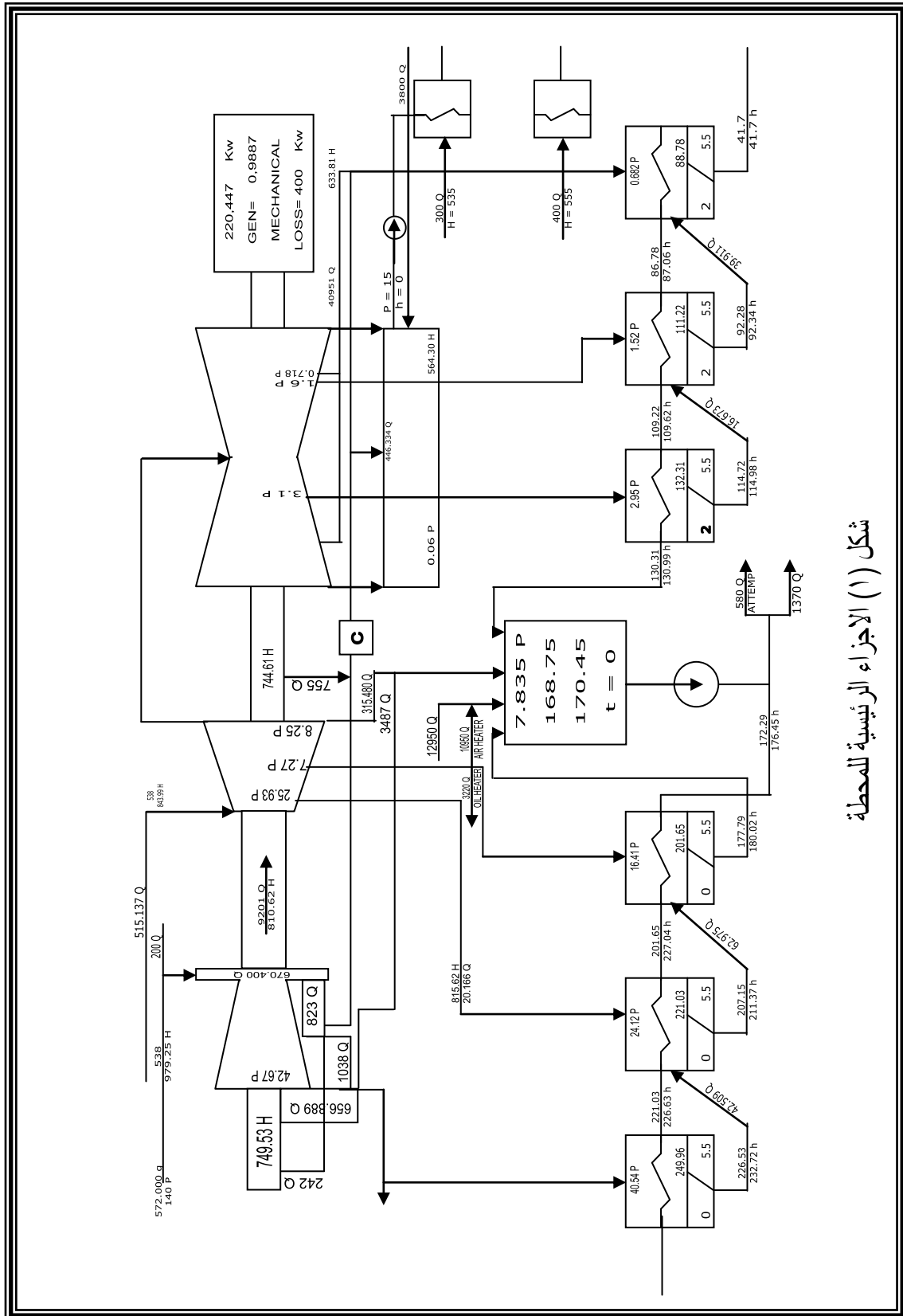
3. الطاقة الحرارية الداخلة الى المرجل

1. الطاقة الحرارية الناتجة من الاحتراق: إن عملية احتراق الوقود في الهواء يرافقه تحرر طاقة حرارية تسمى القيمة الحرارية الدنيا للوقود (LHV) ومن خلال التحليل الكيميائي للوقود يمكن إيجاد القيمة الحرارية الدنيا للوقود كما في المعادلة الآتية [7]:

$$LHV = 340.39C + 1017.3H + 62.8N + 191S - 98.3O - 25.12H_2O \quad (1)$$

ومن التحليل الكيميائي للوقود السائل المستخدم في المحطة المبين في الجدول (1) نستطيع حساب القيمة الحرارية الدنيا للوقود.

2. الطاقة الحرارية المكتسبة من الطاقة الحرارية المحسوسة للوقود والهواء حيث يسخن الوقود في مسخنات الوقود (Oilheater) لتسهيل عملية ترذيده لخلطه مع هواء الاحتراق، كما يسخن الهواء في محطات القدرة بواسطة مسخنات الهواء والتي تكون عادة من نوع (Regenerative type) والتي تتكون من جزء ثابت وجزء دوار يحمل سلال معدنية ويدور باتجاه غازات العادم وبهذا سيكتسب الحرارة الناتجة من غازات العادم ومن ثم تنقل هذه الحرارة الى الهواء الداخل الى غرفة الاحتراق وبذلك تقلل الحرارة المهدورة الى المحيط الخارجي ويكون دوران المحور بواسطة محرك كهربائي وبسرعة تتراوح من (1-3) دورة في الدقيقة [8] ويمكن تمثيل الطاقة الحرارية الكلية الداخلة الى المرجل بواسطة المعادلة الآتية:



شكل (١) الاجزاء الرئيسية للمحطة

$$H_O = \dot{m}_f * LHV + \dot{m}_a * C_{pa} * (T_a - T_{ref}) + \dot{m}_f * C_{pf} * (T_f - T_{ref}) \quad (2)$$

حيث إن T_{ref} هي درجة حرارة الهواء والوقود الداخل إلى مسخنات الهواء والوقود على التوالي وتؤخذ مساوية إلى 25 °C والتي لها تأثير كبير على أداء المحطة.

جدول (1): مواصفات الوقود

القيمة	الوحدات	الرمز	المواصفات
40291.5	kJ/kg	LHV	القيمة الحرارية السفلى
82.7	–	C	الكربون %
10.8	–	H	الهيدروجين %
6.1	–	S	الكبريت %
0.2	–	O	الأوكسجين %
0.15	–	N	النتروجين %
0.05	–	Ash	الرماد %
0	–	H ₂ O	الماء

4. الطاقة الحرارية الخارجة من المرجل

1. الطاقة الحرارية المستنزفة في المقتصد (Economizer system) لغرض رفع درجة حرارة الماء القادم من

المكتفات قبل دخوله الى المرجل لتقليل الطاقة الحرارية المصروفة وتحسب من المعادلة الآتية [9]:

$$H_{econo} = \dot{m}_{fw} (h_{fwout} - h_{fwin}) \quad (3)$$

2. الطاقة الحرارية اللازمة رفع درجة حرارة الماء الخارج من المقتصد إلى درجة الإشباع بالإضافة الى الطاقة الحرارية

الخارجة مع نواتج الاحتراق الصلبة المطروحة (Blow down) من أسفل المرجل وتحسب من المعادلة الآتية [9]:

$$H_{steam} = \dot{m}_s (h_s - h_{fwout}) + \dot{m}_{bd} (h_{bd} - h_{fwout}) \quad (4)$$

3. الطاقة الحرارية اللازمة لرفع انثالبية البخار المشبع إلى إلى انثالبية البخار المحمص وتحسب من المعادلة الآتية [9]:

$$H_{sh} = \dot{m}_s (h_{sh} - h_s) \quad (5)$$

4. الطاقة الحرارية المصروفة في مرحلة إعادة التسخين وتحسب من المعادلة الآتية [9]:

$$H_{rh} = \dot{m}_{rh} (h_{rhout} - h_{rhin}) \quad (6)$$

5. كفاءة المحطة

يمكن التعبير عن أداء المحطة الحرارية من خلال استخدام المفردات الآتية:

1. الكفاءة الحرارية: وهي تمثل النسبة بين صافي الشغل المنجز من التوربين إلى الطاقة الحرارية المنتقلة إلى البخار في المرجل ويمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية:

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{H_o} \quad (7)$$

2. معدل الحرارة: عند تغير حمل المحطة باستمرار فإنه من الأفضل استخدام معدل الحرارة بدلا عن الكفاءة الحرارية ويمكن إن يمثل بالعلاقة الآتية :

$$HR = \frac{3600}{\eta_{th}} \quad (8)$$

3. الكفاءة الإجمالية: يعبر عن الكفاءة الكلية للمحطة بالكفاءة الإجمالية والتي من خلالها تحسب كافة الخسائر في الدورة الحرارية، ويعبر عنها بالمعادلة الآتية [4] :

$$\eta_{overall} = \eta_{th} * \eta_b * \eta_g \quad (9)$$

حيث ان η_g كفاءة المولد الكهربائي للوحدة = 0.988

4. كفاءة المرجل: تعتمد كفاءة المرجل على كفاءة الاحتراق وكما موضح بالعلاقة الآتية:

$$\eta_b = f(\eta_{comp}) \quad (10)$$

وللتعبير عن كفاءة المرجل هناك طريقتان هما الطريقة المباشرة والطريقة غير المباشرة وبالتفصيل الآتي:

أ. الطريقة المباشرة:

تحسب كفاءة المرجل بأجراء القياسات المباشرة لكميات الوقود الداخلة وكميات البخار المتكونة في المرجل وفي هذه الحالة يتم تحديد كمية الحرارة التي تنتقل الى البخار بموجب العلاقة الآتية [10]:

$$H_1 = H_{econo} + H_{steam} + H_{super.heatsteam} + H_{reheats} \quad (11)$$

حيث ان :

H_{econo} كمية الحرارة المضافة الى الماء في المقتصد.

H_{steam} كمية الحرارة المضافة الى البخار في المرجل لتحويل الماء الى البخار .

$H_{super.heatsteam}$ كمية الحرارة المضافة لتحويل البخار المشبع الى بخار محمص.

H_{reheat} كمية الحرارة المضافة في مرحلة إعادة التسخين.

كما يمكن حساب كمية الحرارة الكلية الداخلة إلى المرجل من المعادلة (2) حيث ان معدل استهلاك الوقود (\dot{m}_f) يحسب من المعادلة الآتية:

$$\dot{m}_f = n_b * b \quad (12)$$

حيث ان: n_b عدد المشاعل العاملة في الوحدة الحرارية و b استهلاك الوقود لكل مشعل ب(kg/s).

وتكون كفاءة المرجل كآتية:

$$\eta_b = \frac{H_1}{H_o} \quad (13)$$

ب. الطريقة غير المباشرة:

تسمى هذه الطريقة بالطريقة العكسية ويتم فيها تحديد النسبة المئوية للخسائر الحرارية التي تحدث نتيجة عملية الاحتراق ويمكن التعبير عن كفاءة المرجل باستخدام الصيغة الآتية:

$$\eta_b = 100 - \sum losses\% \quad (14)$$

وتشمل هذه الخسائر ما يلي:

1. الخسائر الحرارية الخارجة مع غازات العادم الجافة (Dry flue gas losses). وتحسب من المعادلة الآتية[11]:

$$H_2 = \dot{m}_{dg} * Cp_{dg} * (T_{dg} - T_{ref}) \quad (15)$$

2. خسائر الاحتراق غير التام (Incomplete combustion losses) وتحسب كالآتي [11]:

$$H_3 = \dot{m}_f (7.58 * CO + 6.479 * H_2 + 21.5 * CH_4) * \frac{(C + 0.375 * S)}{0.536(RO_2 + CO + CH_4)} \quad (16)$$

وتمثل الرموز الكيميائية في هذه المعادلة النسب المئوية لغازات العادم.

3. الفقدان الحراري من خلال جدران المرجل والمقدر حسب توصيات الشركة المصنعة للمرجل في المحطة من المعادلة الآتية [11]:

$$H_4 = 0.003 * \dot{m}_f * H_o \quad (17)$$

4. الخسائر الحرارية الخارجة مع فضلات الاحتراق الصلبة من اسفل المرجل (Blow down) وتحسب من المعادلة الآتية [11]:

$$H_5 = \dot{m}_f (1 - \eta_{slag}) * \frac{A^i}{100} * Cp_{ash} (T_{dg} - T_{ref}) \quad (18)$$

حيث ان $\eta_{slag} = 0.05\%$ و $A^i = 0.05\%$ (ثابت تجريبية تعتمد على نوعية المرجل)

5. خسائر الرطوبة للهواء الداخل الى الاحتراق (Moisture in combustion air losses) وتحسب من المعادلة الآتية [11]:

$$H_6 = \dot{m}_a * w_a * (\Delta h) \quad (19)$$

حيث ان: $\Delta h = h_s - h_v$

6. خسائر الرطوبة الموجودة في الوقود (Moisture losses in fuel) وتنقسم إلى قسمين : القسم الأول هو رطوبة الوقود نفسه والثاني هي الرطوبة المتكونة نتيجة تفاعل الهيدروجين الموجود في تركيب الوقود مع الأوكسجين وتحسب من المعادلة الآتية [11]:

$$H_7 = \dot{m}_f * (23.68 * H_2 + 2.65 * H_2O) \quad (20)$$

6. العوامل المؤثرة على تردد المنظومة

إن مقدار التغير في القدرة لمقدار محدد من التغير في التردد في المنظومة الكهربائية هو ما يسمى بصلاية المنظومة (Stiffness) وكلما كانت المنظومة اصلب يمكن تجهيز قدرة اكبر بتغيير بسيط في التردد. يمكن تقرب العلاقة بين القدرة المجهزة و التردد بخط بسيط في المعادلة الآتية[5]:

$$K = \frac{dp}{df} \quad (21)$$

حيث إن (dp) مقدار التغير في القدرة و(df) مقدار التغير في التردد. عند حالات العجز في توليد القدرة يصار إلى الاشتغال بتردد دون التردد المقنن (50 هيرتز في الشبكة العراقية) وضمن الحدود المسموح بها ويغطي النقص بقطع القدرة عن المستهلكين وهذا الإجراء معمول به حالياً في الشبكة الوطنية في العراق ويسمى اسلوب القطع المبرمج، تشترك العوامل المبينة أدناه في تحديد التردد النهائي للمنظومة :

- 1- حجم المنظومة الكلي (Total demand): مجموع الاستهلاك الكلي في المنظومة الكهربائية.
 - 2- مقدار النقص في توليد المنظومة الكهربائية ومقدار التحميل الإضافي عندما تعاني من نقص في التوليد.
 - 3- ثابت العزم للمنظومة الكهربائية وعزم القصور الكلي للمنظومة .
 - 4- السعة التصميمية للوحدات العاملة في المنظومة الكهربائية ونسب تحميل هذه الوحدات.
 - 5- نوعية أحمال المستهلكين لمعرفة معامل انخفاض الاحمال (Load reduction factor-D-) مع التردد ومقدار حساسية التوربينات العاملة ومشاركة الوحدات عند انخفاض التردد (Speed drop action).
- وبأخذ العوامل أعلاه يمكن حساب مقدار الانخفاض في التردد من المعادلة الآتي [5] :

$$\Delta f = -\Delta L * \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) * K * f \quad (22)$$

$$\text{حيث إن : } T = \frac{M}{D}, \quad K = \frac{1}{D}$$

$$M = \text{عزم القصور الذاتي للمنظومة} = \frac{2I}{\omega_s} S_{system}$$

$$S_{system} = \text{سعة المولدة المربوطة.}$$

$I =$ ثابت القصور الذاتي للمنظومة = 5.847 (للمنظومة العراقية).

ان التوربينات البخارية تكون على محور واحد مع المولد وبذلك فان سرعة دورانها مرتبطة بسرعة دوران المولد والعكس

بالعكس وبما ان مولدات محطات القدرة هي مولدات تزامنية فان سرعتها تحكمها المعادلة الآتية [5]:

$$N_s = \frac{2 * f}{P} \quad (23)$$

فعندما يكون مقدار التردد (50 Hz) لمولد ذي قطبين تكون السرعة (3000) دورة في الدقيقة للمولد والتوربين ومن

الواضح ان العلاقة تتغير تبعاً لتردد المنظومة فعند انخفاض التردد بسبب زيادة الحمل فان سرعة المولد تنخفض مما يؤدي

إلى انخفاض سرعة التوربين.

7. النتائج

استخدم في هذه الدراسة برنامج حاسوبي [10] تم إعداده لبيان تأثير التردد على أداء الوحدات التوليدية البخارية في

محطة كهرباء بيجي وقد عملت الوحدات البخارية عملت وبصورة مستمرة تقريبا عند تردد (49Hz) وأحيانا عند (48Hz)

وهذا يعني ان سرعة دوران الأجهزة المساعدة سوف تنخفض بمقدار 2% وهذا يؤدي إلى التأثير على أداء محطات القدرة

وبالتفصيل الآتي:

7-1 تأثير انخفاض التردد على كفاءة المرجل:

يبين الشكل (2) تأثير انخفاض التردد على كفاءة المرجل بالطريقتين المباشرة وغير المباشرة ويلاحظ الانخفاض

الحاصل في كفاءة المرجل الناتج عن انخفاض التردد، وتنخفض هذه الكفاءة من 94% إلى 88-89% نتيجة لانخفاض

التردد، وهناك عوامل كثيرة تؤثر على كفاءة المرجل منها نوع الوقود المستخدم ودرجة حرارة الهواء والوقود ونسبة الوقود إلى

الهواء ويعود السبب الرئيسي في انخفاض كفاءة المرجل إلى زيادة استهلاك الوقود نتيجة لانخفاض التردد كما هو مبين في

الجدول (2)، فعندما تنخفض كمية استهلاك الوقود يؤدي ذلك إلى تواجد هواء زائد يخرج من المرجل دون ان يشارك في

عملية الاحتراق حاملا معه كمية من الحرارة إلى الخارج وهي تؤدي إلى زيادة الخسائر الحرارية ومن ثم نقصان الكفاءة،

كما ان انخفاض التردد يؤدي إلى قلة تجهيز الهواء وهذا يعني عدم حصول احتراق تام حيث ان الحرارة الناتجة من

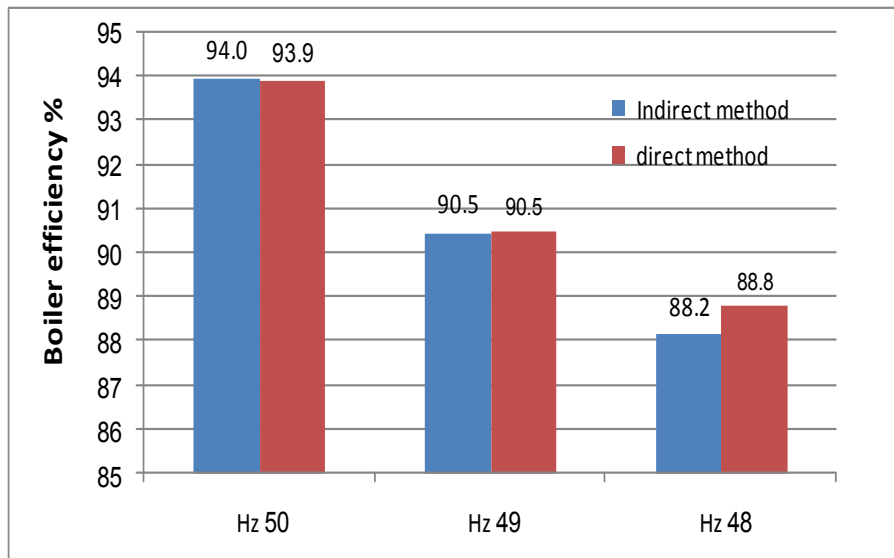
الاحتراق ستقل لوجود وقود غير محترق لعدم وجود الهواء المؤكسد الكافي ووجود ظاهرة التفكك، كما يؤدي انخفاض

التردد إلى زيادة درجة حرارة المحركات الكهربائية نتيجة هذه الانخفاض مما يعمل على تقليل كفاءتها وتزداد الطاقة المصروفة لتدوير مضخات الأجهزة المساعدة والتي تؤدي إلى زيادة الخسائر الحرارية في منظومة الطاقة في المحطة الحرارية كما مبين في الجدول (3). وتشكل خسائر العادم الجافة النسبة الأكبر من مجموع الخسائر الحرارية المحسوبة إذ تصل إلى 4.986 % عند التردد 50 Hz ويؤدي انخفاض التردد إلى التردد 48 Hz إلى زيادة نسبة هذه الخسائر لتصل إلى 9.12 %.

ومن جانب آخر فإن انخفاض التردد يؤدي إلى خفض كميات الطاقة المستنزفة في المرجل والتي من المفروض إن تحول إلى البخار المنتج وبالتالي تقليل الطاقة المخزونة في البخار وهذا يعني حصول انخفاض في الكفاءة الحرارية للمرجل وكما هو واضح في الجدول (4). كما إن انخفاض التردد يؤثر على كميات الحرارة المستنزفة في المحطة والتي يتم الاستفادة منها لتحويل الماء إلى بخار محمص من 535.317 MW إلى 498.7 MW نتيجة لانخفاض التردد من 50 Hz إلى 48 Hz. كما يلاحظ ان انخفاض التردد يؤدي إلى تقليل درجة حرارة الهواء الداخل إلى غرفة الاحتراق وهذا بدوره يقلل القدرة المتولدة كما يلاحظ من الجدول (4). وترتبط كفاءة المرجل بدرجة حرارة ماء التغذية الداخل إليه حيث يسبب تسخين ماء التغذية إلى تقليل معدل صرف الوقود مما يؤدي إلى حدوث انتظام في الاحتراق وحدث احتراق تام. كما يؤثر انخفاض سرعة مضخات المكثف إلى نقصان معدل سحب الحرارة من المكثف وبالتالي رفع درجة حرارة ماء التبريد المستخدم في تكثيف البخار في المكثف وبالتالي رفع ضغط المكثف وهذا يؤدي إلى خفض الكفاءة الحرارية والإجمالية للمكثف، وسجلت أدبيات تشغيل محطة بيجي الحرارية ارتفاع ضغط المكثف بصورة مستمرة.

جدول (2): تأثير انخفاض التردد على زيادة معدل استهلاك الوقود

التردد 48 Hz	التردد 49 Hz	التردد 50 Hz	الوحدات	القيم المحسوبة بالبرنامج
13.93	13.84	13.733	Kg/s	معدل صرف الوقود



شكل (2): تأثير التردد على كفاءة المرجل بالطريقتين المباشرة وغير المباشرة

جدول (3): تأثير التردد على الخسائر الحرارية في محطة الطاقة الحرارية

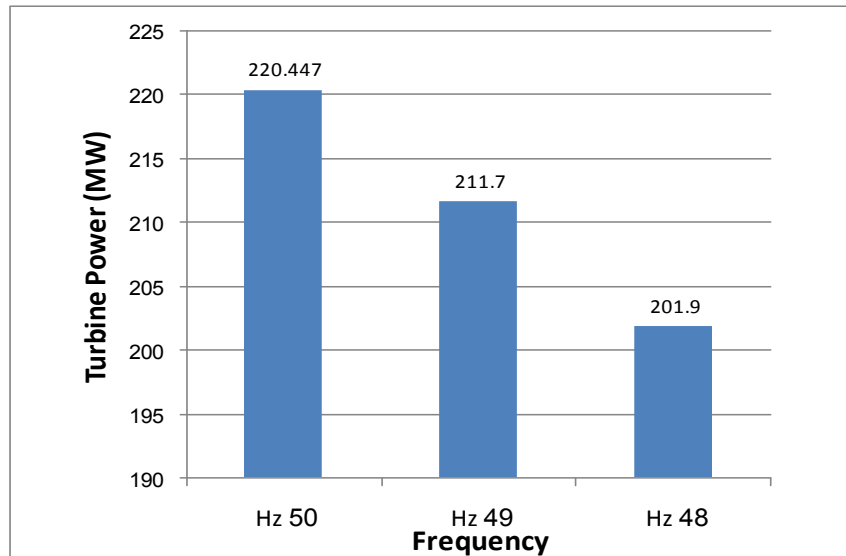
التردد 48 HZ	التردد 49 HZ	التردد 50 Hz	الخسائر المحسوبة بالبرنامج
9.12	7.43	4.986	النسبة المئوية لخسائر غازات العادم الجافة % (H_2)
0.082	0.06	0.0554	النسبة المئوية لخسائر الاحتراق غير التام % (H_3)
0.3	0.3	0.3	النسبة المئوية لفقدان الحرارة خلال جدران المرجل (H_4)
0.007	0.005	0.00013	النسبة المئوية لخسائر الفضلات الصلبة (Blow (H_5) % (down
0.24	0.176	0.086	النسبة المئوية لخسائر رطوبة الهواء الداخل الى الاحتراق % (H_6)
2.1	1.56	0.616	النسبة المئوية لخسائر رطوبة الوقود % (H_7)
11.85	9.531	6.044	النسبة المئوية لمجموع الخسائر %

جدول (4): تأثير التردد على كميات الطاقة المستنزفة في المرجل

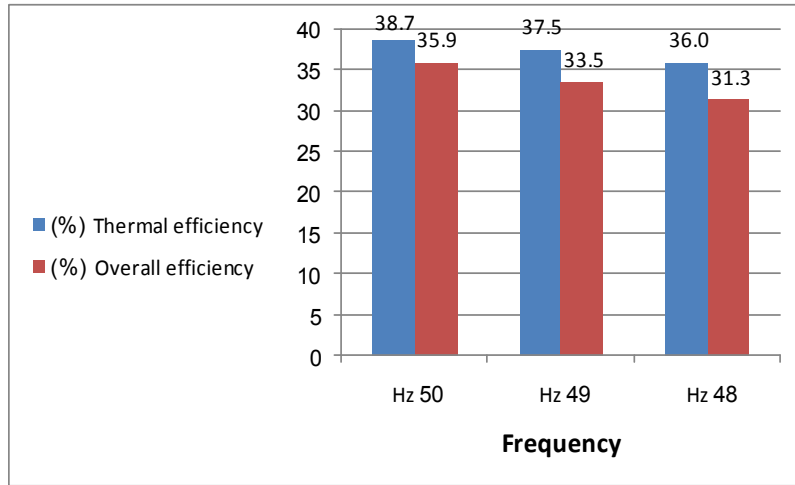
التردد 48 HZ	التردد 49 HZ	التردد 50 Hz	الوحدات	القيم المحسوبة بالبرنامج
561.6	565.1	569.736	MW	كمية الحرارة الداخلة الى المرجل (H_0)
43.2	45.1	46.945	MW	كمية الطاقة المستنزفة في المقتصد (H_{econo})
50.6	51.6	53.52	MW	كمية الطاقة اللازمة لتوليد البخار المشبع (H_{steam})
342.9	349.6	365.830	MW	كمية الطاقة اللازمة لتوليد البخار المحمص ($H_{sheatsteam}$)
62	65	69	MW	كمية الطاقة المستنزفة في عملية إعادة التسخين ($H_{reheats}$)
498.7	511.3	535.317	MW	الحرارة الكلية المستهلكة في المرجل (H_1)

7-2 تأثير انخفاض التردد على كفاءة التوربين والمحطة:

تعد المولدات التزامنية المصدر الرئيسي لتغذية جهد التيار المتناوب في محطات القدرة الكهربائية وان تردد القوة الدافعة التي تعطيها هذه المولدات يعتمد بالأساس على سرعة دورانها، أما المحولات الكهربائية فهي قلب محطات نقل وتوليد الكهرباء وأساس عملها هو الحث الكهرومغناطيسي وكفاءة عملها مرتبط أيضا بتردد الشبكة الوطنية. يسبب انخفاض التردد إلى زيادة درجة حرارة المولد الكهربائي المرتبط بالتوربين نتيجة قلة التهوية فيه مما يقلل القدرة المنتجة استنادا إلى المعادلة (9) وكما هو واضح من **الإشكال (3) و (4)**. حيث يلاحظ إن إنتاجية التوربين تقل بمقدار 8.2% و 3.63% نتيجة انخفاض التردد من 50 إلى (49 Hz) و (48 Hz) على التوالي. كما يسبب انخفاض التردد الى تقليل كفاءة محطة القدرة الإجمالية المحسوبة بموجب المعادلة (9) من 35.9% عند التردد الطبيعي (50 Hz) الى 33.5% و 31.3% عند الترددات (49 Hz و 48 Hz) على التوالي.



شكل (3): تأثير انخفاض التردد على إنتاجية التوربين



شكل (4): تأثير انخفاض التردد على كفاءة المحطة

8. الاستنتاجات والتوصيات

- 1- ان خيار وزارة الكهرباء بتقليل تردد الشبكة الوطنية ادى الى اثار سلبية على محطات القدرة نتيجة انخفاض كفاءتها.
- 2- إجراء دراسة شمولية لاستقرارية منظومة القدرة الكهربائية العراقية من حيث كمية الطاقة المستهلكة والمنتجة في العراق وطبيعة تغير الحمل يوميا او على طول السنة للتمكن من التحكم في هذه المتغيرات.
- 3- اجراء حسابات اقتصادية عن تأثير انخفاض التردد على إنتاجية الوحدة التوليدية واستهلاك الوقود في المحطة وتكاليف التشغيل السنوية.
- 4- اجراء دراسة عملية على نموذج مختبري لمحطة بخارية لتحديد هذا التأثير بصورة ادق نتيجة اعتماد الدراسة الحالية البرنامج الحاسوبي فقط.
- 5- دراسة تأثير انخفاض التردد على بقية انواع المحطات العاملة الكهربائية (الغازية والكهرومائية).

قائمة الرموز

الوحدات	المعنى	الرمز
kJ/kg	السعة الحرارية النوعية	Cp
-	معامل انخفاض الحمل	D
Hz	التردد	f
Hz	الانخفاض في التردد	Δf
W	كمية الطاقة الحرارية الداخلة الى المرجل	H _o
-	معدل الحرارة	HR
kJ/kg.sec	ثابت القصور الذاتي للمنظومة	I
kJ/kg	القيمة الحرارية الدنيا للوقود	LHV
kg/sec	معدل الجريان الكتلي	\dot{m}
J.sec/rad	عزم القصور الذاتي للمنظومة	M
Hz	السرعة التزامنية	Ns
-	عدد الاقطاب	P
-	سعة المولدة المربوطة	S _{system}
Sec	عنده Δf الزمن المطلوب معرفة	t
°C	درجة الحرارة	T
rad/sec	تردد التوربين	w _s
kg _{water} /kg _{dry air}	نسبة الرطوبة	w
J	شغل التوربين	W _{net}
-	الكفاءة	η

الرموز التحتية

الرمز	الدلالة
a	الهواء
b	المرجل
bd	الفضلات الصلبة الخارجة من المرجل
f	وقود
fw	الماء الداخل او الخارج من المقتصد
g	المولد
rhin	داخل الى معيد التسخين
rhout	خارج من معيد التسخين
s	بخار مشبع
sh	بخار محمص
slag	الخبث
v	عند درجة حرارة خروج العادم
w	ماء

المصادر (References)

- [1] وضاح حسين عبد الرزاق ، لدراسة تأثير أنواع مختلفة من الوقود على كفاءة المرجل البخاري" ، مجلة التقني ، المجلد 22، العدد (3)، 2009، الصفحات 1-19.
- [2] شامل محمد الطالب ، " دراسة انخفاض كفاءة مسخنات الهواء الدوارة في مرجل محطة بيجي البخارية " رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل، العراق، 2002.
- [3] احمد حسن احمد، لدراسة أداء محطة بيجي الغازية الوحدة الأولى والثالثة" ، مجلة تكريت للعلوم الهندسية، المجلد (17)، العدد (4)، كانون الأول 2010، الصفحات 45-55.

[4] M. H., Derwish, " *Investigation of Frequency Reduction Behavior on Three Phase Synchronous Generator And Transformer*", Anbar Journal for Engineering Sciences, , Vol.4, No.1, 2011, pp. 17–33.

[5] فائق جواد العزاوي، *تأثير الاشتغال بتردد دون التردد المقتن على محطات القدرة الحرارية* ، المؤتمر القطري الأول للهندسة الكهربائية، جامعة الموصل، العراق، 2000.

[6] عمر خليل احمد الجبوري، *دراسة أسباب تكسر ريش المراحل الأخيرة لريش التوربينات البخارية في محطة بيجي الحرارية*، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة تكريت، العراق، 2001.

[7] ثامر خليل إبراهيم الحديثي، *دراسة عملية الاحتراق في فرن المرجل في محطة بيجي الحرارية*، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة تكريت، العراق، 2001.

[8] رائد رشاد جاسم الدوري، *التحسين الكمي والنوعي لهواء الاحتراق في محطة بيجي الحرارية*، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة تكريت، العراق، 2000.

[9] Baiji Power plan document, Ansaldo Company, Italy, 1983.

[10] وضاح حسين عبد الرزاق الدوري، *دراسة اداء محطة كهرباء بيجي الحرارية من خلال التحليل الترموداينمي للوحدة التوليدية الثالثة*، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة تكريت، العراق، 2002.

[11] M.M., El-Wakil , Power plant technology, McGraw–Hill Book Company, 1985.

المؤلف

خليل احمد الجبوري: حاصل على شهادة البكالوريوس للعام 1999 من كلية الهندسة في جامعة تكريت وحصل على شهادة الماجستير في الهندسة الميكانيكية / قدرة من جامعة تكريت عام 2001 واكمل شهادة الدكتوراه في مجال الهندسة الميكانيكية / هندسة الحرارية من جامعة النهرين، له اهتمامات بحثية في النمذجة الرياضية لانتقال الحرارة وميكانيك الموائع ومنظومات الطاقة المتجددة، وحاليا أستاذ مساعد في هيئة التعليم التقني – المعهد التقني / الحويجة.

