

## دراسة تأثير التعرية على تكسر ريش التوربين البخاري في محطة بيجي الحرارية

د. مهند عبد الفتاح الظاهر	د. تحسين طه عثمان الفهوجي	د. عمر خليل احمد
استاذ مساعد	استاذ مساعد	مدرس
قسم الهندسة الميكانيكية	قسم الهندسة الميكانيكية	الكلية التقنية - كركوك
جامعة الانبار	جامعة كركوك	

### الخلاصة

تتعرض ريش المرحلة الأخيرة في التوربينات البخارية في محطة بيجي الحرارية إلى تعرية واضحة خاصة مقدمة وأطراف الريش وسببت هذه التعرية نشوء بعض الشقوق في هذه المنطقة، تطابقت هذه الملاحظات مع النتائج النظرية المستحصلة لظروف توربينات المحطة التي بينت أن القطيرات المصطدمة بأطراف الريش ولدت ضغوطاً عالية على سطح الريشة تسببت في حدوث التعرية ولا يمكن تجنب مخاطر التعرية بصورة كاملة بسبب العلاقة بينها وبين كفاءة المحطة والأسلوب الوحيد هو استخدام الريش المصنوعة من سبائك مقاومة للتعرية.

**الكلمات الدالة:** ريش التوربين البخاري، التعرية، بخار رطب.

### المقدمة

فان أكثر المناطق تأثراً بهذه الظاهرة هي المنطقة العليا من الريش<sup>[1]</sup>.

انجز الباحث (-1971 Krzyzanowski 1974-1978)<sup>[2] [3] [4]</sup> مجموعة من الدراسات عن خطورة التعرية على مراحل الخلفية لريش التوربين البخاري وتوصل الى ما يأتي: ان القطيرات المؤثرة في التعرية (Erosion) هي القطيرات المتكونة خلف الريش الثابتة وسرعة البخار في هذه المنطقة هي (0.8C) اذ ان C تمثل سرعة البخار المطلقة اثناء مروره بالريش الثابتة كما تمكن الباحث من ايجاد علاقة نظرية لإيجاد نصف قطر القطيرة أثناء مرورها بالريش ويعتمد نمو القطيرة أثناء مروره بالريش على شكل الريشة وسرعة البخار ولزوجته وكثافته.

انجز الباحثان (Yeoh & Young 1984)<sup>[5]</sup>

دراسة عن الجريان البيئي في توربينات الضغط اللواطي

إن الشغل الشاغل لمصممي التوربين و الدورات الحرارية في محطات القدرة الاعتيادية والنووية هو زيادة كفاءة الدورة الترموديناميكية للبخار، ويتم هذا عن طريق زيادة درجة الحرارة والضغط . إن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى حدوث اجهادات حرارية غير مرغوب بها ولهذا فان العامل المهم في رفع الكفاءة هو رفع ضغط المرجل ولكن التأثير المرافق لهذه العملية هو زيادة الرطوبة وهذه الزيادة تؤدي إلى ظاهرتين مهمتين أولهما زيادة معدل التعرية (Erosion) وثانيهما انخفاض كفاءة الريش العاملة ضمن منطقة البخار الرطب وهي عادة الريش الأخيرة من توربينات الضغط اللواطي. أن نسبة الرطوبة يجب ان لا تزيد عن (12%) في كل الأحوال، و بسبب السرعة العالية لطرف الريشة

عند تمدد البخار من النقطة (a) الواقعة في منطقة البخار المحمص وعبوره خط التشبع عند النقطة (b) المبين في الشكل (1) فإنه يستمر بسلوكية البخار المحمص حتى النقطة (c) بدلا من ان يبدأ بالتكثيف بسبب سرعة التمدد العالية و يكون في نقطة (c) أعلى نسبة إفراط في التشبع قبل بدء التكثف ويسمى الخط الواصل بين هذه النقاط بخط ويلسن ونتيجة لتغير الحمل باستمرار في المحطات البخارية ينتج ما يسمى بمنطقة ويلسن والتي تحدث فيها أغلب حالات الفشل لريش التوربين البخاري [8].

#### ثرموديناميك خليط البخار - قطيرات الماء:

أن ضغط البخار لسطح السائل المنحني يكون أكبر من ضغط البخار لسطح السائل المستوي ولهذا فأن القطيرات الصغيرة تكون عند درجة حرارة أوطأ من القطيرات أو اقل من درجة حرارة التشبع المناظرة لذلك الضغط وعندما يكون ضغط البخار للقطيرة ( $P_r$ ) ودرجة حرارة سطح القطيرة ( $T_r$ ) ونصف قطر القطيرة ( $r$ ) ومن علاقة Kelvin - Helmholtz [1] نجد أن:

$$P_r = P_s(T_r) \exp\left(\frac{2\sigma}{\rho_f \cdot R \cdot r \cdot T_r}\right) \dots \dots \dots (1)$$

يمكن إيجاد نصف قطر القطيرة الحرج (Critical droplet size) الذي تكون قطيرات الماء اقل منه تميل إلى التبخر وأعلى منه إلى النمو من المعادلة الأتية:

$$r_{crit} = \frac{2\sigma}{\rho_f RT_g \ln s} \dots \dots \dots (2)$$

واستعملا برنامج حاسوبي لحل معادلات جريان البخار الرطب وقد توصلت الدراسة الى النتائج الآتية: .

1- إن البخار المفرط التبريد ( Super-cooled steam ) يؤدي الى تقليل معدل السرعة عند مواقع مختلفة من الريش قد تصل الى 15% من قيمتها الحقيقية.

2- إن جريان البخار في حالة اللاتوازن يؤدي الى تغير في زوايا دخول البخار الى الريش قد تصل الى ( $10^\circ$ )

3- إن توزيع ضغط البخار يختلف اختلافا قليلا بين حالتي التوازن وعدم التوازن.

قام الباحث (Nardin, 1999) [6] بدراسة

تجريبية لظاهرة التعرية في المرحلة الأخيرة من ريش التوربين البخاري واختيار السبيكة الأفضل لصناعة ريش التوربين البخاري المقاومة للتعرية. واستخدم الباحث ثلاث سبائك هي:

1- الصلب الكرومي (12% Cr).

2- سبيكة التيتانيوم - فناديوم (Ti-6-V).

3- سبيكة التيتانيوم ( $\beta$ ).

واستعمل الباحث عتلة دوارة تثبت عليها العينة المراد اختبارها في وسط ظروفه مثبتة عند  $P=100$  Mbar و  $T=30^\circ C$  وقد توصلت الدراسة الى ان سبيكة التيتانيوم من نوع ( $\beta$ ) هو الأكثر مقاومة للتعرية.

#### طبيعة جريان البخار في التوربينات

يختلف جريان البخار الرطب في التوربينات عن الجريان الثنائي الطور المثالي الذي يكون في حالة توازن ثرموديناميكي. أن التمدد السريع للبخار في أثناء مروره بين الريش يصاحبه حدوث تبريد سريع في الوقت نفسه يؤدي إلى حدوث تغير مفاجئ في الخواص الثرموديناميكية للبخار الرطب ويكون الزمن غير كافي لحدوث حالة التوازن الثرموديناميكي [7].

وتختصر المعادلة (6) في ظروف توربينات الضغط  
الواطئ باعتبار (  $k=1.3$  و  $Pr_g=1.2$  ) للحصول على  
المعادلة الآتية:

$$\alpha_r = \frac{\lambda_g}{r + 1.59 * \ell_g} \dots \dots \dots (7)$$

ولهذا تكون الحرارة المنتقلة من القطيرة الى البخار  
المحيط كالآتي:

$$\dot{Q} = 4\pi r^2 \alpha_r (T_r - T_g) \dots \dots \dots (8)$$

#### ميكانيكية خليط البخار - القطيرات

عندما تكون السرعة النسبية للقطيرات  
نسبة الى البخار المحيط لا تساوي صفر فأن قوة  
المقاومة يمكن أن تحسب من المعادلة الآتية [1]:

$$Fd = Cd(\pi r^2) \frac{1}{2} \rho_g w_r^2 \dots \dots \dots (9)$$

وتؤثر هذه القوة على القطيرات على فرض أن  
القطيرات كروية الشكل ومعامل المقاومة Cd يحسب  
من المعادلة الآتية:

ويمكن التعبير عن درجة حرارة سطح القطيرة  
بالمعادلة الآتية:

$$T_r = T_s - \Delta T * \frac{r_{crit}}{r} \dots \dots \dots (3)$$

#### انتقال الحرارة بين البخار والقطيرات

يتكون البخار الجاري في التوربينات من  
جسيمات صغيرة ولهذا فان الوسط يكون غير متصل  
ولتوضيح انتقال الحرارة في التوربينات يستخدم ما  
يسمى عدد ندسون (Knudson number) [1]:

$$Kn = \frac{\ell_g}{2r} \dots \dots \dots (4)$$

حيث ان :-

$$\ell_g = \frac{1.5\mu_g \sqrt{RT_s}}{p} \dots \dots \dots (5)$$

تقع اغلب أنواع الجريان في توربينات الضغط الواطئ  
بمدى محصور بين (  $0.01 < Kn < 4.5$  ) ويمكن التعبير  
عن معامل انتقال الحرارة من القطيرات بالمعادلة  
الآتية:

$$\alpha_r = \frac{\lambda_g}{r} * \frac{1}{1 + \frac{2\sqrt{8\pi} k * Kn}{1.5 Pr_g k + 1}} \dots \dots \dots (6)$$

المتحركة و يلتصق قسم من القطيرات بها والقسم الآخر يرتد عن الريشة على شكل قطيرات صغيرة تعجل بوساطة البخار باتجاه الجريان الرئيسي. اما طبقة الماء المتكونة فتتحرك باتجاه الحافة الخلفية للريش المتحركة ليعاد تزيدها مرة أخرى، وهكذا تتكرر العملية. لحساب سرعة القطيرة أثناء حركتها بين الصف الثابت والمتحرك يمكن تطبيق قانون نيوتن الثاني على قطيرة معزولة لنحصل على المعادلة الاتية<sup>[1]</sup>:

$$C_* + C_* \ln(C - C_*) = C \ln C - \frac{18 * \mu_g}{d^2 * \rho_f} \left( \frac{1}{1 + 2.7 * Kn} \right) * S \dots (13)$$

#### نظرية نمو القطيرات Droplet Growth Theory

إن القطيرات التي تتشكل حسب نظرية التنوي (Nucleation Theory) تستمر بالنمو بوساطة تكثف البخار عليها و معدل التكثف هذا يمكن السيطرة عليه بوساطة تحديد معدل انتقال الحرارة من القطيرة الى البخار المحيط ويمكن ربط معدل الحرارة الكامنة (Q<sub>l</sub>) بمعدل النمو (dr/dt) ومن ثم مكاملة المعادلة الناتجة للحصول على المعادلة النهائية:

$$\frac{r^2 - r_1^2}{2} + (1.59\ell + r_{crit})(r - r_1) + r_{crit}(1.59\ell + r_{crit}) \ln \left( \frac{r - r_{crit}}{r_1 - r_{crit}} \right) = \frac{\lambda_g \Delta T}{\rho_f \Delta h_{fg}} \frac{s}{u} \dots (14)$$

#### العلاقة بين سرعة القطيرة وابعاد الريشة

إن القطيرات المؤثرة في التعرية (Erosion) هي القطيرات المتكونة خلف الريش الثابتة. ان سرعة البخار في هذه المنطقة تساوي (0.8C) حيث أن C تمثل سرعة البخار المطلقة أثناء مروره بالريش الثابتة.

$$Cd = \frac{24}{Re_r} \frac{1}{1 + 2.7Kn} = \frac{24\mu_g}{(r + 1.35 * \ell_g) \rho_g w_r} \dots (10)$$

$$Fd = \frac{12\pi\mu_g r^2 w_r}{r + 1.35.\ell_g} \dots (11)$$

#### تشوه القطيرات وتحطمها

ان استقرارية القطيرات المتحركة خلال وسط بخاري تعتمد بصورة رئيسية على نسبة قوى القصور التي تحاول ان تشوهها الى قوى الشد السطحي التي تحاول الحفاظ على شكلها الكروي أي على عدد ويبير الذي يعرف<sup>[2]</sup>:

$$We = \frac{\rho_g w_r^2 d}{\sigma} \dots (12)$$

وعندما يكون رقم ويبير صغير (سرعة نسبية واطئة وقطر صغير) فان القطيرات تبقى كروية اما اذا كان رقم ويبير عالي فان القطيرات تتشوه بسرعة ومن ثم تتشظى ويخضع شكلها لعدة عوامل وهي لزوجتها وكثافتها وتعجيلها وعندما تصل قيمة رقم ويبير الى (20) فانها تتحطم بعد مرور وقت قصير.

#### حركة السائل على ريش التوربين البخاري

ان القطيرات الضبابية المتكونة سوف يصطدم قسم منها بسطح الريش الثابتة وتلتصق به مكونة طبقة من الماء تجري باتجاه الحافة الخلفية (Trailing Edge) أما القسم الآخر من القطيرات ونتيجة الاصطدام فأنها سوف تتردد (Splashing). عند وصول طبقة الماء الى الحافة الخلفية فانها تنفصل عنها وتردد وتعجل بوساطة البخار كما مبين في الشكل (2). اذ تصطمم بالحافة الأمامية للريش

5 توجد العديد من القوانين التي تستخدم لحساب كمية المعدن المزال منها قانون (Heymann) و ينص هذا القانون على مايلي:

$$U_{em} = \frac{U_a}{N_e} \left( \frac{w_{*N}}{2550} \right)^5 \dots\dots\dots (18)$$

حيث إن ( $N_e$ ) ثابت يمثل مقاومة المعدن للتعرية وهو النسبة بين معدل التعرية لمعدن نسبة إلى معدل التعرية لمعدن أساس يستخدم كمعيار للقياس، وهذا المعدن هو الصلب المقاوم للصدأ الأوستنايتي (18Cr-8Ni) و  $U_{em}$  تمثل أعلى قيمة لحظية لحجم النقصان في المعدن لوحد المساحة لوحد الزمن ووجد الباحث علاقة تجريبية بين عمق التعرية والزمن كما يأتي

$$\tau = Y * \frac{Ne}{Ua} * \left( \frac{2550}{w_{*N}} \right)^5 \exp \left( 0.25 * \frac{Y}{Y_t} \right) \dots\dots (19)$$

كما يلحظ فان في المعادلة أعلاه تم إهمال تأثير حجم القطيرة في حساب معدل التعرية ولهذا اجري تعديل من قبل معهد المكائن التوربينية في بولندا والذي توصل نتيجة مجموعة من التجارب. وعند اخذ قطر القطيرة بنظر الاعتبار تتحول العلاقة (19) إلى العلاقة الآتية :

$$\tau = Y \frac{N_e}{U_a} \left( \frac{2550}{w_{*N}} \right)^{4.92} \left( \frac{10^{-3}}{d} \right)^{1.69} \exp \left( 0.25 \frac{Y}{Y_t} \right) \dots\dots\dots (20)$$

النتائج والمناقشة

يمثل الشكل (3) مخطط السرعة في المراحل الأخيرة للتوربين البخاري حيث تمثل AB سرعة البخار الخارج من الريشة الثابتة وAC سرعة الريشة وعليه فإن BC تمثل السرعة النسبية للبخار وعند انفصال قطيرات الماء من الحافة الخلفية من الريش الثابتة فانها تكون بطيئة الحركة وسرعتها ممثلة بالخط AD حيث تكون اقل بكثير من سرعة البخار، اما سرعة القطيرة النسبية فممثلة بالخط CD حيث نلاحظ ان القطيرات سوف تصطدم بالريشة عند مقدمتها اعتمادا على هذا المخطط. أثبت الباحث (J.K.rzyznowzki) [4] اما سرعة القطيرة بين الريشة فيمكن أن تحسب من المعادلة الآتية:

$$C_* = 0.8C \left[ 1 - \frac{1}{\left[ 1 + A(\eta + S) + \sqrt{A^2(\eta + S)^2 + 2A(\eta + S)} \right]^2} \right] \dots\dots (15)$$

والمركبة العمودية لسرعة القطيرة المصطدمة بالريشة فتحسب من المعادلة الآتية:

$$W_{*N} = u \cdot \sin(\beta_{b1}) \left[ 1 - \frac{C_* \cdot C \cdot \sin(\beta_{b1} - \alpha_1)}{C \cdot u \cdot \sin(\beta_{b1})} \right] (16)$$

أن الضغط التي تسلطه القطيرة على المعدن يمكن حسابه من المعادلة الآتية:

$$P_{max} = \rho_f * a_f * w_{*N} \left( 1 + 2 * \frac{w_{*N}}{a_f} \right) \dots\dots (17)$$

حيث ان ( $a_f$ ) تمثل سرعة الصوت في الماء. حجم معدن الريشة المزال نتيجة التعرية

(200µm) الى الانهيار في ظروف توربينات محطة بيجي الحرارية.

### 3- العلاقة بين طول الريشة ومعدل التعرية:

العلاقة بين سرعة القطيرة وارتفاع الريش مبينة في الشكل (6) اذ تزداد سرعة القطيرة بزيادة ارتفاع الريشة كما تزداد سرعة القطيرة بزيادة سرعة البخار مع طول الريشة ويرجع السبب في هذا السلوك الى السرعة العالية لطرف الريشة العلوي والتي تغير من شكل مخطط السرعة مما يزيد من سرعة القطيرة. لاقاء مزيد من الضوء على تأثير سرعة القطيرة على معدل التعرية رسمت العلاقة بين المركبة العمودية لسرعة القطيرة النسبية وطول الريشة الشكل (7)، اذ تزداد هذه المركبة بتزايد ارتفاع الريشة كما يلحظ ان المركبة العمودية تقل بزيادة سرعة البخار ولكن بمعدل قليل وهذه المركبة هي التي تتحكم بمقدار التعرية على الريش وسبب هذه السلوكية يرجع الى ان تزايد ارتفاع الريشة يزيد من سرعة الريشة (الخط CA في الشكل 3) وعند فرض ثبوت سرعة البخار فان الخط CD الذي يمثل سرعة القطيرة النسبية سوف يزداد. من الشكل (7) نستنتج ان القطيرات المصطدمة بطرف الريشة العلوي تكون ذات سرع عالية. ان العلاقة بين ضغط التصادم الذي تسلطه القطيرة المصطدمة بالريشة مع ارتفاع الريشة العلوي مبينة في الشكل (8) حيث يتبين تزايد ضغط التصادم مع طول الريشة ليصل الى قيم عالية (650Mpa) (تم قياسه من المعادلة 17) لا تستطيع اغلب السبائك مقاومتها كما نجد تناقص الضغط المسلط بزيادة سرعة البخار.

يصف الشكل (9) العلاقة بين كمية المعدن المزالة والزمن حيث تزداد هذه الكمية بزيادة سرعة

يتكون توربين الضغط الواطئ من 6 مراحل. ضغط البخار الداخل إلى التوربين (8.33 بار) ودرجة حرارته (300°C) وضغط المكثف التصميمي (0.06bar) عندما يكون الحمل 100% وبلاستعانة بمخطط مولير تم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (1). ويتضح من الجدول أعلاه أن المرحلتين الأخيرتين تقعان ضمن منطقة البخار الرطب وهي المنطقة التي حصل فيها تكسر الريش.

### 1- تحديد منطقة ولسن لمحطة كهرباء بيجي:

تقع منطقة ولسن في المنطقة المحصورة بين نسبيتي جفاف (0.962-0.978) وبعد رسم خط التمدد الايزنتروبي والحقيقي على مخطط مولير وتقسيماها الى ستة مراحل نجد ان منطقة ولسن تقع ضمن المرحلة ما قبل الاخيرة لتوربينات محطة كهرباء بيجي كما في الشكل (4).

### 2- تأثير المسافة الفاصلة بين الريش الثابتة والمتحركة (S) على سرعة القطيرة:

تبلغ المسافة الفاصلة بين الريش الثابتة والمتحركة في المرحلة الاخيرة لمحطة كهرباء بيجي حوالي (0.0442m) ويمثل الشكل (5) تغير سرعة القطيرة والتي تم حسابه حسب المعادلة (13) مع المسافة (S) حيث نجد انها تزداد مع المسافة (S) كما نجد ان زيادة سرعة البخار تؤدي الى زيادة سرعة القطيرة بمعدلات واطنة. كما يلحظ ان القطيرات صغيرة الحجم تكون ذات سرع اعلى من القطيرات الكبيرة بسبب زيادة قوى المقاومة التي تزداد طرديا مع زيادة حجم القطيرة. وهذه المسافة يجب ان تكون محسوبة بدقة لضمان حدوث انهيار للقطيرات قبل وصولها صف الريش الثابتة. ويمكن حساب قطر القطيرة باستخدام المعادلة (12) التي تتعرض لانهيار حيث يبين الجدول (2) تعرض القطيرات ذات حجم اكبر من

بمنطقة ويلسن والواقعة في المرحلتين الأخيرة وما قبل الأخيرة لتوربين محطة بيجي الحرارية.

2-تعرض الجزء الأعلى من الريش إلى تعرية واضحة وتركزت هذه الظاهرة في مقدمة الريشة مما أدى إلى خشونة هذه المنطقة ونشوء بعض الشقوق منها.

3-تعجل القطيرات من لحظة انفصالها من الريش الثابتة لحين وصولها إلى الريش المتحركة وتكون القطيرات الصغيرة أسرع من الكبيرة، كما تؤدي زيادة سرعة البخار إلى زيادة سرعة القطيرات.

4-تزداد المركبة العمودية لسرعة القطيرة وهي المسؤولة عن معدلات التعرية مع ارتفاع الريشة وتؤدي هذه الزيادة إلى زيادة الضغط المسلط من قبل القطيرات على سطح المعدن مما أدى إلى زيادة معدل التعرية مع طول الريشة كما يلحظ تزايد كمية المعدن المزالة مع تقادم الزمن.

5-تكون الحافة الامامية الأكثر تعرضاً للتعرية وتكون كمية المعدن المزالة عند أعلى قيمة في منطقة مقدمة الريشة تماماً.

6- الاعتماد على استخدام الريش المصنوعة من التيتانيوم في المراحل الثلاث الأخيرة عند الاتفاق مع الشركات المصنعة لكونها مقاومة للتعرية.

#### المصادر

- 1-Moore,.M.J, Sievrding .C.H, "Two Phase Steam Flow in Turbine and separator", Mc-Graw Hill,1976.
- 2-Krzyzanowski and et al,"Semi-Empirical of Erosion Threat in Modern Steam Turbine",ASME Journal of Power for Engineering, Vol 93,No 1,1971.

التصادم ويتقادم الزمن اما الشكل (10) فيبين العلاقة بين معدل التعرية وطول الريشة حيث نلاحظ ان اكثر المناطق تعرضاً للتعرية هي أعالي الريش وتشكل مناطق التعرية سطوح خشنة تزيد من احتمالية تكون الشقوق منها ويبين الشكل (11) احدى ريش المرحلة الاخيرة لتوربين المحطة والتي تعرضت الى تعرية مما أدى الى نشوء شقوق من منطقة (Stellite strip). ان زيادة كمية المعدن المزالة تؤدي الى تغيير قيمة التردد الطبيعي للريشة مما يؤدي الى نشوء اهتزازات تؤثر على منظومة الريش.

#### 4 -تأثير التعرية على مقدمة الريشة

يصف الشكل (12) العلاقة بين سرعة القطيرة اثناء مرورها بالريش مع الإحداثي ( $\eta$ ) فيلحظ تزايد سرعة القطيرة المطلقة مع الإحداثي ( $\eta$ ) بينما في الشكل (13) نجد ان المركبة العمودية تقل مع المسافة ( $\eta$ ) حيث يلحظ ان المركبة العمودية لسرعة القطيرة تكون اعلى ما يمكن عند مقدمة الريشة وهذا يؤدي الى ان مقدمة الريشة تكون معرضة الى ضغوط عالية تسببها القطيرات ناتجة عن كبر حجم هذه القطيرات وسرعتها العالية كما في الشكل (14) مما أدى ان تكون مقدمة الريشة في محطة كهرياء بيجي الحرارية معرضة إلى عملية تعرية شديدة كانت السبب في نشوء بعض الشقوق من هذه المنطقة كما في الشكل (11).

#### الاستنتاجات والتوصيات

ان الاستنتاجات والتوصيات التي يمكن استخلاصها من هذه الدراسة كانت كالآتي:

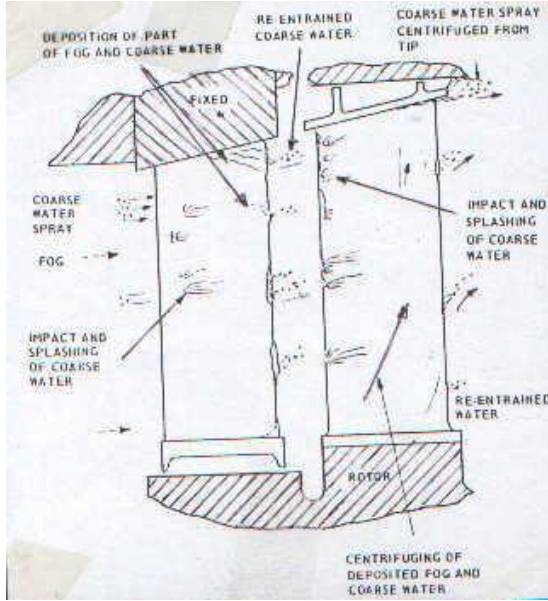
1-ان معظم حوادث التكرس حدثت في المرحلة الأخيرة وهي منطقة تكون القطيرات الأولية او ما تسمى

- 3-Krzyzanowski, "The Correlation Between Droplet Stream Structure and Steam Turbine Blading Erosion" ,ASME Journal of Power for Engineering,Vol 96,No 4,1974.
- 4- Krzyzanowski and Szperie, "The Influence of Droplet Size On The turbine Blading Erosion Hazard", ASME Journal of Power for Engineering, Vol 100,No 4,1978.
- 5-Yeoh ,C. C, and Young, J. B., "Non Equilibrium Through Flow Analysis of Low-Pressure Wet Steam Turbine", ASME Journal of Power for Engineering, Vol 106, October 1989
- 6-Nardin, p., "Erosion Study of Final stage Blading of Low Pressure steam Turbine", Journal of Applied Surface Science,1999.
- 7-صالح إسماعيل نجم وآخرون ،"ديناميكا الحرارة للمهندسين "، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، 1988.
- 8-Jaffe, R. I, "Corrosion Fatigue of Steam Turbine Blade" Work Shop, Palo Alto, California, Sept, 21-24, 1980.

جدول (1) خواص البخار في توربين الضغط الواطئ

نقاط الحالة	الضغط (بار)	درجة الحرارة (C)	نسبة الجفاف (x)	الحجم النوعي $(\text{Kg}/\text{m}^3) \times 10^3$
1	8.33	300	-	312
2	4.66	245	-	489.4
3	2.44	188	-	878.4
4	1.6	125	-	1127.6
5	0.45	79.24	0.986	3527.414
6	0.18	57.8	0.956	8073.42
7	0.06	36.16	0.926	21982.314

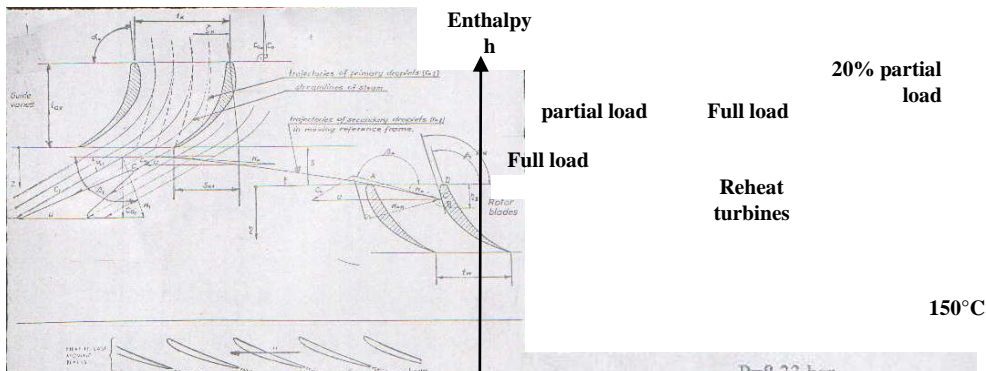
شكل (1) خط ويلسن



شكل (2) ميكانيكية حركة القطرات في مراحل التوربين البخاري الرطب

جدول (2) احجام القطرات المعرضة للانهايار في ظروف توربينات محطة بيجي الحرارية

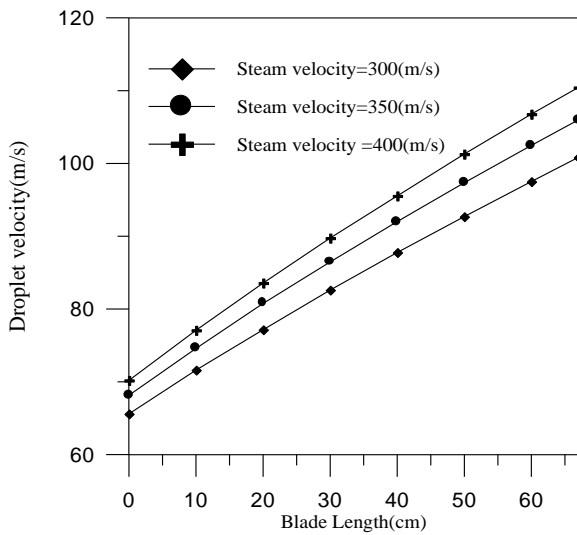
رقم القطيرة ( $\mu\text{m}$ )	35	100	200	300	400
رقم ويبير (عند سرعة بخار = 300م/ثا)	2.252	7.887	16.82	25.80	34.8
رقم ويبير (عند سرعة بخار = 340م/ثا)	2.954	10.21	21.69	33.24	44.8



شكل (3) ابعاد الريشة المؤثرة على سرعة القطيرة [8]

h

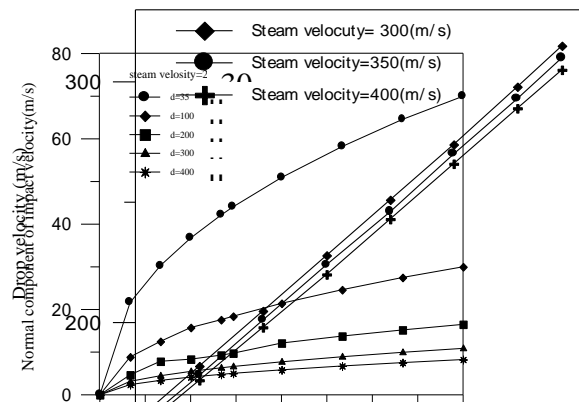
شكل (5) العلاقة بين سرعة القطيرة والمسافة (S)



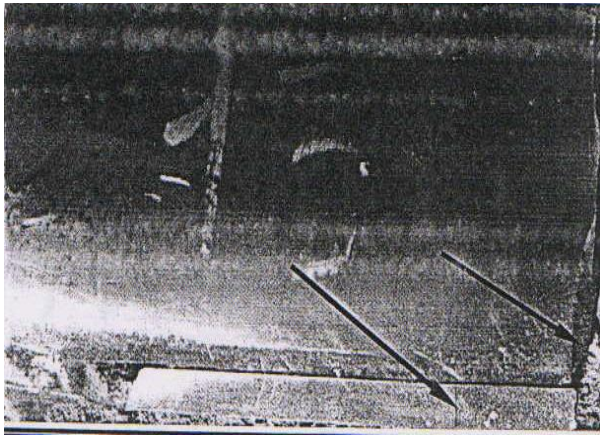
S

شكل (4) منطقة ويلسن في محطة كهرباء بيجي الحرارية

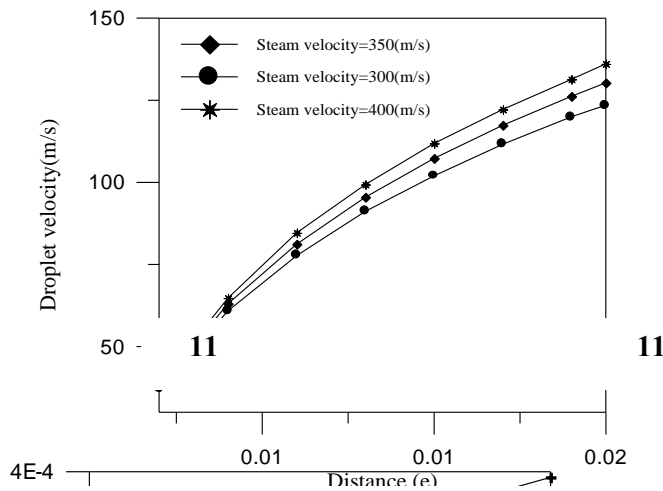
شكل (6) العلاقة بين سرعة القطيرة وارتفاع الريشة لسرع بخار مختلفة



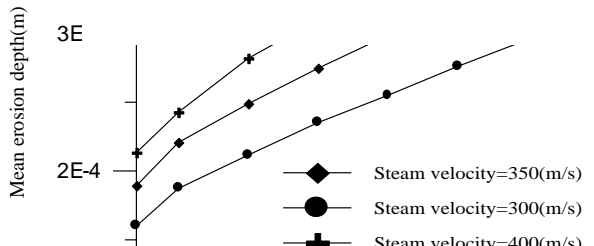
شكل (10) العلاقة بين معدل التعرية وارتفاع الريشة لسرعة بخار مختلفة



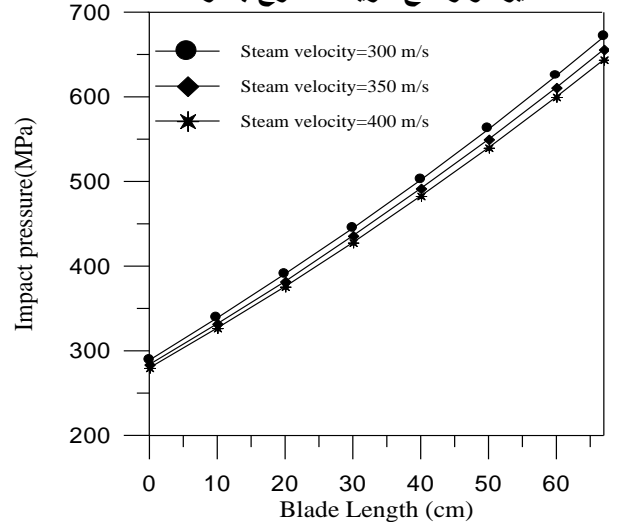
شكل (11) احد الشقوق المتكونة من منطقة التعرية



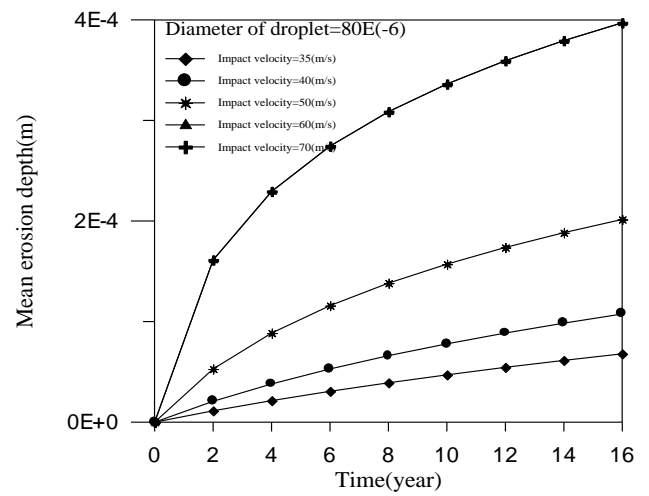
شكل (12) العلاقة بين سرعة القطيرة المطلقة والإحداثي  $(\eta)$  ولسرعة بخار مختلفة



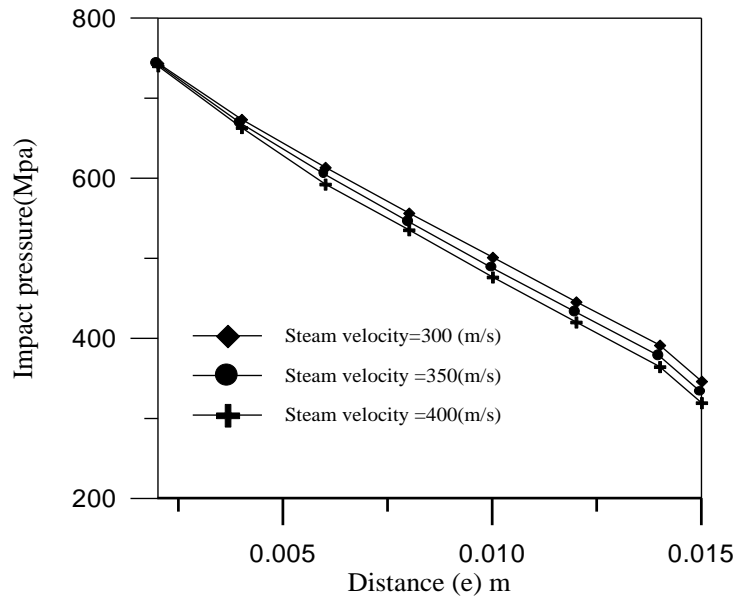
شكل (7) العلاقة بين المركبة العمودية لسرعة القطيرة وارتفاع الريشة لسرعة بخار مختلفة



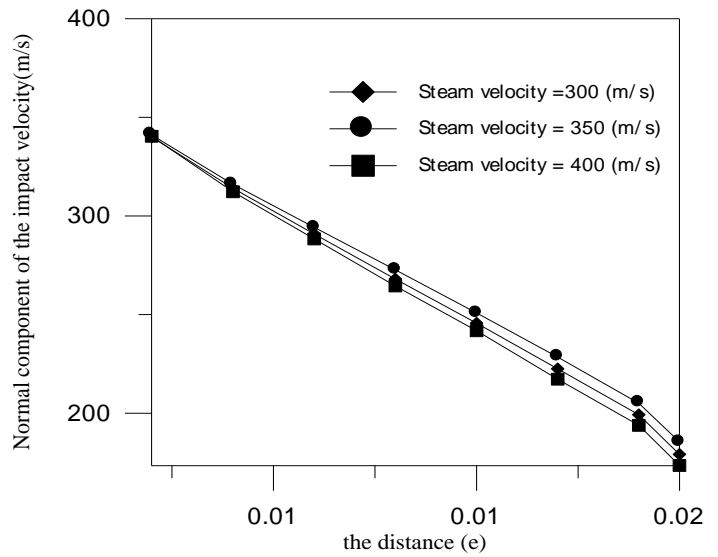
شكل (8) العلاقة بين ارتفاع الريشة وضغط التصادم لسرعة بخار مختلفة



شكل (9) العلاقة بين معدل التعرية و سرعة القطيرة والزمن



شكل (13) العلاقة بين المركبة العمودية لسرعة القطيرة والاحداثي ( $\eta$ ) ولسرع بخار مختلفة



شكل (14) العلاقة بين ضغط التصادم والمسافة ( $\eta$ ) ولسرع بخار مختلفة

---

## STUDY THE EFFECT OF ERROSION ON THE BREAKAGE OF STEAM TURBINE BLADE AT BAIJI POWER STATION

**Dr. Mohammed Abdu-Alfattah**   **Dr. Tahseen Taha Othman**   **Dr. Omer Khlil Ahmed**  
**Assistant Prof.**   **Assistant Prof.**   **Lecturer**  
**Mech. Eng. Dept. –**   **Mech. Eng. Dept.**  
**Al-Anbar University**   **Tikrit University**   **Technical College- Kirkuk**

### ABSTRACT

The last stage endured on obvious erosion especially the front and the end of the blade. The erosion caused the appearance some cracks in this place. These remarks coincided with the theoretic al results, which were acquired according to the condition of the turbine of station which showed that the droplet, which collided with the blade ends, caused high pressure on the surface of the blade and caused the occurrence of the corrosion. The danger of the erosion unavoidable due to its relationship with tae station efficiency and the only to avoid that is the use of the blade made of erosion resistance ingots.

**KEY WORDS:** Steam Turbine Blade, Erosion, Humidify Steam