

## دراسة تأثير زاوية الارتطام وتركيز المزيج وسرعة الدوران في معدل تعرية الفولاذ المقاوم للصدأ (316L Stainless Steel)

حازم محمد مطلوب  
عبدالحق عبدالقادر حامد  
قسم الهندسة الميكانيكية-كلية الهندسة  
جامعة الموصل

### الخلاصة

الهدف الرئيس من البحث الحالي تركّز في إيجاد تأثير المتغيرات الأساسية، مثل؛ زاوية الارتطام وسرعة الدوران وتركيز الرمل في الماء في سلوك عملية التعرية وخصائصها لهذا النوع من الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel-Type 316L). تم تصميم جهاز لدراسة هذه الظاهرة وتصنيعه محلياً وفقاً للمواصفات القياسية. لوحظ أنه عند زاوية ارتطام وتركيز وسرعة دوران ولجميع القيم المأخوذة، أن فقدان الوزن يكون خطياً مع المسافة (التركيبة) المقطوعة، وبصورة عامة تم إيجاد معدل التعرية باستخدام توافق المربعات الأقل (least square fit) لتغير فقدان الحجم بالتعرية مع المسافة التراكمية. وتبين أنه عندما تزداد زاوية الارتطام فإن معدل التعرية في بادئ الأمر يبدأ بالزيادة إلى أن يصل لأعلى قيمة له عند زاوية ارتطام  $60^\circ$ ، في حين عند زاوية الارتطام الأكبر، يبدأ بالانخفاض بصورة واضحة. وكذلك تبين أنّ معدل التعرية يزداد بزيادة سرعة الدوران بصورة واضحة عندما تتغير من (550 - 1520 r.p.m.). وقد وجد كذلك أن الزيادة في تركيز حبيبات الرمل في الماء إلى (30 wt.%) تؤدي في البداية إلى ارتفاع معدل التعرية، لكنه ينخفض بصورة واضحة عند زيادة التركيز عن هذه القيمة. في الحالات كلها أعلاه، وجد أنّ قيمة معدل التعرية تقترب من الضعف بعد إدخال حواجز الإعاقة مقارنة مع الحالات التي لم تضاف إليها هذه الحواجز، والتي من المحتمل أن يكون سببها عائداً إلى زيادة دوران الحبيبات حول نفسها والدوامات. الكلمات الدالة: تعرية؛ ارتطام؛ تركيز؛ فولاد؛ دوامات.

## Study The Effect of Speed, Impinging Angle and Slurry Concentration on Erosion of Stainless Steel -316L

Hazim Mohammed Matloob

Abdulhaqq A. Hamed

Mechanical Department -College of Engineering

Mosul University

### Abstract

The main aim of the present research work is focused on the influence of key parameters, such as; impinging angle, rotational speed, and concentration of sand in water on the behaviour and characterization of erosion process of stainless steel-type 316L. In the current study, special erosion testing machine has been designed and constructed locally conforming to standard specifications. It was observed that, at a given impinging angle, concentration, and rotational speed, the variation of volume loss with accumulative distance is generally linear and the erosion rate has been determined from the least square fit of the variation of erosion volume loss with accumulative distance. It was found that increasing the impinging angle increases initially the extent of erosion rate and reach maximum rate at angle of  $60^\circ$ . However, at higher impinging angle, there is a significant decrease in the erosion rate. The erosion rate increases considerably with increasing rotational speed from 550 r.p.m. to 1520 r.p.m. . It was also observed that increasing the concentration of sand particles to about 30 wt.%, increases the erosion rate. In all cases, the erosion rate is near a double after inserting the flow baffles compared to those cases without baffles, and has been attributed to increase of particles rotation and vortices in the flow.

Keywords: erosion; impinging; concentration; vortices.

## المقدمة:-

يمكن تعريف عملية التعرية (Erosion Process) بأنها إزالة جزء من المادة نتيجة الخسارة التتابعية من سطح المادة الصلبة. ويمكن أن تحدث عملية التعرية تحت أربعة ظروف مختلفة هي؛ أولاً: بسبب التداخل الميكانيكي بين السطح والمائع الذي يحتوي على حبيبات (Particles) ذات صلادة أعلى من صلادة المادة، ثانياً: بسبب ارتطام قطرات السائل بسطح المادة، ثالثاً: نتيجة جريان غازات حارة على سطح المادة، رابعاً: بسبب التكهفات (Cavitations) التي تحصل على سطح المادة. وتعد التعرية من المشاكل الخطيرة التي تواجه التقدم الصناعي. إذ تحدث في المعادن الحديدية وغير الحديدية ويعد الصلب الكربوني (Carbon Steel) أكثر عرضة لعملية التعرية من المعادن الأخرى وذلك بسبب كثرة تطبيقاته الهندسية واستخداماته الصناعية مما يجعله عرضة للأوساط المختلفة. تحدث التعرية مثلاً في السيارات والأجهزة والمكائن أو قد تحدث في أنابيب المعادن المستخدمة في صناعة الأنابيب والانحناءات (Bends) والخزانات (Tanks) [1]. وكذلك تحدث في ريش التوربينات الغازية والبخارية والمائية وخطوط الأنابيب ومعالجات الوقود الصناعية [2]. وتحدث في بعض الصناعات مثل الصناعات الكيماوية ومعامل صناعة الإسمنت ومحطات القدرة الحرارية وأجزاء الطواحين وأجزاء المضخات الضاغطة ومفرغات رماد الفحم. ونتيجة لذلك فقد ركز الباحثون على دراسة الخسارة الحاصلة لسطوح المعادن من أجل منعها أو على الأقل محاولة تقليلها والحفاظ على المعادن من التلف الحاصل بعملية التعرية. كما وهناك عدة تقنيات لقياس معدل التعرية (Erosion Rate) منها ما هو باستخدام المجهر الضوئي والتصوير الفوتوغرافي وملاحظة التغير الحاصل لسطح المعدن واعتماده في معرفة استجابته لسلوك التعرية وطريقة فقدان الحجم (Volume loss) وطريقة فقدان الوزن (Weight Loss) ومن الباحثين الذين اهتموا بدراسة هذا المجال الباحث (Dasgupta) وزملاؤه [1998] [3] إذ درسوا تأثير تركيز الرمل في الماء في معدل تعرية الفولاذ، إذ تمت الدراسة لنوعين من الفولاذ يختلفان في التركيب الكيميائي من حيث نسبة الكربون والمكونات الأخرى وبالتالي مختلفان بالصلادة وغيرها من الخواص، إذ كان المزيج المستخدم في التجربة مكون من الماء والرمل وكانت السرعة المختارة في الدراسة هي 1000 و 800 و 600 r.p.m. وكانت نسب الرمل بالماء هي 30 wt.% و 40 wt.% وحجم الحبيبات تراوح بين 250–350 µm وقطعت النماذج مسافة خطية تراوحت بين 1300–250 Km وكانت أبعاد النماذج الفولاذية (السلك 4mm والعرض 15mm والطول 15mm)، وكان الجهاز المستخدم في إجراء التجربة هو (DUCOM Ltd . (India) Model TR41). وكانت طريقة فقدان الوزن (Weight Loss) هي المعتمدة في حساب معدل التعرية إذ تم وزن النموذج قبل إجراء التجربة وبعده. وقام الباحث كذلك بملاحظة التغير الحاصل على سطح النموذج بواسطة المجهر الضوئي. وقد استنتج الباحث أن أعلى معدل للتعرية هو عند سرعة 800 r.p.m.، وأنه كلما ازدادت نسبة الرمل قل معدل التعرية.

ودرس الباحث (Jha) وزملاؤه [2010] [2] تأثير زاوية الارتطام وتأثير سرعة الدوران في سلوك التعرية لسبيكة الألمنيوم (Grade 1900) إذ تم أخذ نماذج من السبيكة وأبعاد (السلك 3 mm والعرض 25 mm والطول 25 mm)، وتم استخدام جهاز قياس التعرية (DUCOM Bangalore India , Model TR40)، الذي يتكون من إناء ومثبت النماذج بزوايا مختلفة ومحرك لتدوير النماذج بسرعة مختلفة، وتم تثبيت النماذج بزوايا مختلفة وغمرها في الرمل والماء في إناء الجهاز وكانت الزوايا المختارة في التجربة هي 0° و 30° و 45° و 90° بالنسبة لاتجاه سرعة الدوران، وتم تدوير النماذج بسرعة مختلفة هي 700 و 600 و 500 و 400 و 300 r.p.m. وكانت طريقة فقدان الوزن هي المعتمدة في قياس معدل التعرية، واختير رمل الكوارتز (quartz silica sand) في التجربة ذو الصلادة (980 HV) وتراوح حجم الحبيبات من 200-300 µm وكان تركيز الرمل في الماء 40 wt.%، وتم ملاحظة التغير الحاصل في سطح السبيكة بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (JEOL Japan, Model 5600)، وقد استنتجوا أن معدل التعرية لهذه السبيكة من الألمنيوم يزداد بازدياد مقدار زاوية التثبيت أي إن العلاقة طردية بينهما، في حين يزداد معدل التعرية لو غار يتمياً (exponential) بازدياد سرعة الدوران.

ودرس الباحث (Deng) وزملاؤه [2002] [4] تأثير دوران الحبيبات (particle) حول نفسها في معدل التعرية لنوعين من الحبيبات الأول هو خرز الصودا الزجاجي (soda glass beads) الكروية الشكل والآخر مسحوق الصودا الزجاجي (crushed soda glass) الزاوية الشكل وتمت المقارنة بين تأثيريهما في تعرية سطح الفولاذ المعالج حرارياً (HeatTreated\_EN\_24 steel) وقد لاحظوا أن الحبيبات الزاوية الشكل (angular particles) تعطي معدل تعرية أعلى من الحبيبات الكروية الشكل (spherical particles) وكانت مساحة العينة 25mm<sup>2</sup> وسمكها 5.2 mm حيث كانت سرعة اصطدام الحبيبات بالسطح 25 m/s عند زوايا سقوط (impact angles) كانت قيمها 60° و 47.5° و 45° و 32.5° و 30° و 22.5° و 20° و 12.5° و 10°

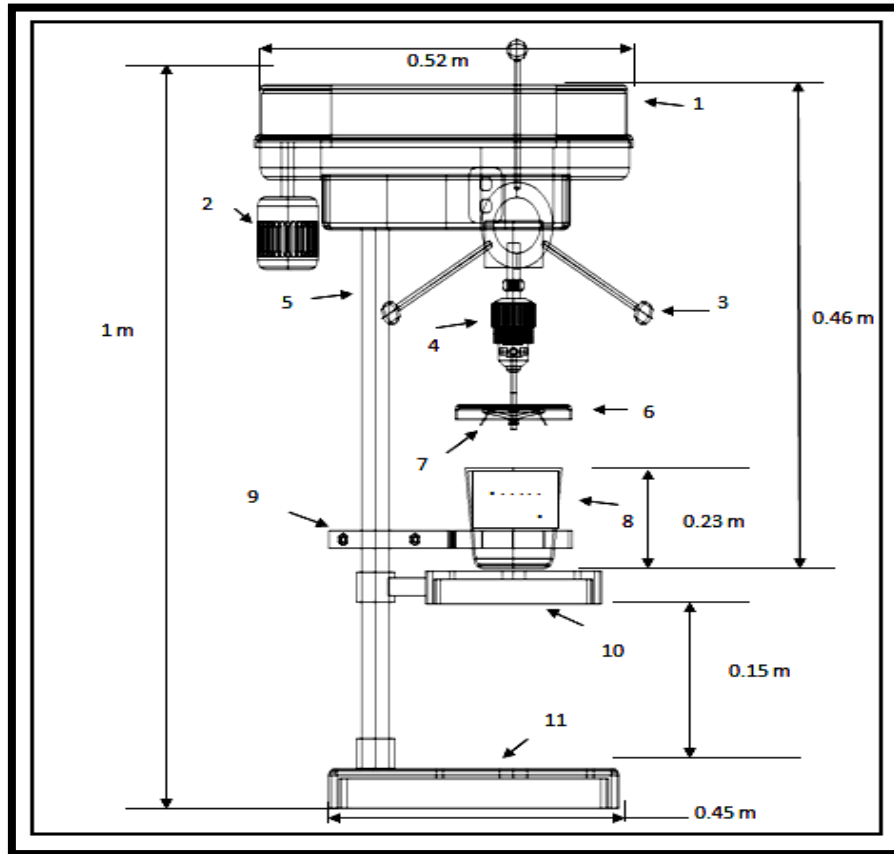
كما درس الباحث (Chiu) [2005] [5] مقاومة التآكل بالتعرية لسبيكة Stainless Steel Type- 316L إذ قام الباحث بمقارنة مقاومة هذه السبيكة بالنسبة لعملية التعرية مع نفس السبيكة لكن بعد طلاؤها بمادة (NiTi) باستخدام تقنية تسمى CW Nd: YAG Laser، واستنتج الباحث أن السبيكة المطلية بهذه المادة لها مقاومة للتعرية أعلى من السبيكة غير المطلية تصل إلى حوالي 29 مرة أكبر من مقاومة Stainless Steel Type- 316L

وقام الباحث (Roger Francis) [2008] [6] بدراسة سلوك لتعرية لأربعة سبائك هي للصلب المقاوم للصدأ هي 316L و 22Cr Duplex و سبيكة 825 و سبيكة Zeron 100. وباستخدام تقنية فقدان الوزن، كما كانت كمية الرمل في

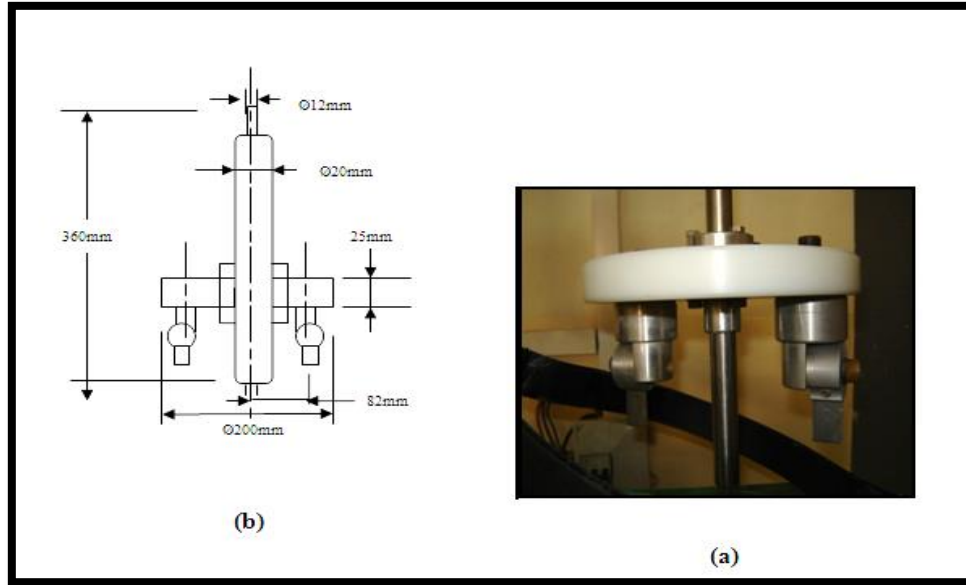
الماء تقريباً 10 mg/l وبسرعة 30 m/s ، واستنتج الباحث أن أكبر فقدان بالوزن هو لسبيكة 316L S.S ثم لسبيكة 22Cr Duplex ثم لسبيكة 825 في حين كان أقل فقدان بالوزن هو لسبيكة Zeron 100 كما مبين بالشكل (3.2). في هذا البحث تم دراسة طبيعة و سلوك التعرية (erosion behavior) للفولاذ المقاوم للصدأ ( 316L stainless steel) ومعرفة استجابة هذه السبيكة لعملية التعرية وتأثير المتغيرات المعتمدة في موضوع البحث وهي زاوية الارتطام (impingement angle) وسرعة دوران النماذج (rotational speed) وتركيز المزيج في معدل التعرية وكذلك دراسة أولية حول تأثير طبيعة الجريان والدوامات (نتيجة إدخال حواجز الإعاقة في الحوض) في معدل التعرية لهذه السبيكة.

### الجانب العملي:-

يتضمن هذا الجزء من البحث أربع مراحل من الإجراءات العملية اللازمة لمعرفة مقدار معدل التعرية الحاصلة للفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel-Type 316L) وذلك عن طريق الإجراءات العملية المختبرية وهي تصميم وتصنيع الجهاز الخاص لتدوير النماذج في الوسط الذي يتكون من الماء والرمل لحدوث عملية التعرية و تحضير الوسط (slurry media) الخاص الذي سوف تحدث فيه عملية التعرية لهذا النوع من الفولاذ المقاوم للصدأ وتحضير السبيكة وتقطيعها بالأشكال والأبعاد المطلوبة وأخذ القراءات الخاصة بالتجارب لمعرفة معدل التعرية. حيث يتكون هذا الجهاز وكما موضح بالشكل (1) من حامل النماذج (specimens holder) الذي هو عبارة عن قرص دائري مصنوع من مادة التفلون (P.T.F.E) ذو حاملين لأنموذجين مصنوعين من الألمنيوم السبائكي كما موضح بالشكل (2) والذي تم تصميمه وتصنيعه لحمل وتثبيت النماذج بزوايا مختلفة [7].



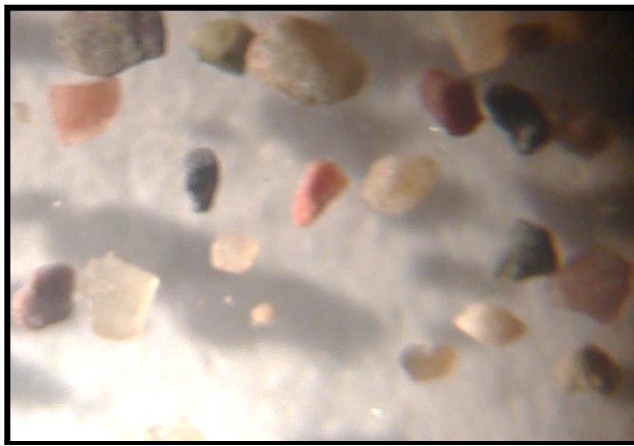
الشكل (1): يوضح مخططاً لجهاز دراسة التعرية المصمم في البحث الحالي؛ 1- غطاء ناقل السرعة ، 2- محرك كهربائي، 3- عتلة تحريك العمود الدوار، 4- العمود الدوار، 5- عمود التثبيت، 6- حامل النماذج، 7- الأنموذج ، 8- الحوض الزجاجي، 9- حاضن الحوض، 10- قاعدة الحوض، 11- قاعدة الجهاز. [7].



الشكل (2): حامل النماذج المستخدم في البحث الحالي (a) صورة فوتوغرافية لحامل النماذج (b) يوضح مخططاً لحامل النماذج.

حيث تم تثبيت هذا القرص الحامل للنماذج في جهاز المثقاب (drill) المتغير السرعة وتدويره بسرعات مختلفة. والجزء الآخر من الجهاز هو الحوض الذي يحتوي على وسط التعرية والمصنوع من الزجاج المقاوم للحرارة والصدمات (بايركس) وبأبعاد معينة وكذلك تم تثبيت الحوض بواسطة حاضن فولاذي لمنع تحركه في أثناء التجربة كما تم تصنيع حواجز الإعاقة وتثبيتها بالحوض.

أما بالنسبة لوسط التعرية فيتكون هذا الوسط من الرمل والماء المقطر حيث تم أخذ الماء من جهاز التقطير وتم أخذ الرمل من مختبرات الهندسة المدنية في جامعة الموصل وتمت غربلته بواسطة غربايل خاصة للحصول على حجم الحبيبات المطلوب، وبعد الحصول على الرمل بالحجم المطلوب تم غسله وتنقيته من الشوائب والأتربة العالقة به وتجفيفه وتم أخذ صورة له تحت المجهر الضوئي وكما مبين بالشكل (3). وبعد ذلك تم فحصه في مختبرات الهندسة المدنية حيث تم معرفة وزنه النوعي فكانت قيمته (Gs=2.66) وكذلك تم التأكد من خلوه من الكبريتات. كما وأجري التحليل الكيميائي له بواسطة جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) لمعرفة مكوناته الأساسية في الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين في بغداد والجدول رقم (1) يبين المكونات الأساسية له.



الشكل (3): صور مجهرية لرمل التعرية المستخدم في البحث الحالي، (X 200).

الجدول (1): يوضح المكونات الأساسية ونسبها لرمل التعرية المستخدم في البحث الحالي.

Material	Quartz (SiO <sub>2</sub> )	Feldspar (NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	Kaolinite (OH) <sub>8</sub> Si <sub>4</sub> Al <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	Calcite (CaCO <sub>3</sub> )	SUM.
Peak Height(cm)	18.5	3.5	2.7	1.6	26.3
Composition wt. %	70.34	13.31	10.27	6.08	100

## حامد: دراسة تأثير زاوية الارتطام وتركيز المزيج وسرعة الدوران في معدل تعرية الفولاذ المقاوم للصدأ

والمادة المختارة هي الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel-Type 316L) فقد تم فحص التركيب الكيميائي للسبيكة ومعرفة نسبة العناصر المشتركة في تركيبها وكذلك ملاحظة بنيته المجهرية وكما هو معلوم أن هذا النوع من الفولاذ هو منخفض نسبة الكربون فيه (0.03%) [8] وبقية العناصر موضحة بالجدول (2) وحسب التحليل الكيميائي له الذي أجري في الورشة المركزية التابعة للشركة العامة للإسمنت الشمالية / نينوى.

الجدول (2): التركيب الكيميائي للفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel Type-316L) المستخدم في البحث الحالي.

Material	Copper	Manganese	Chromium	Nickel	Molybdenum	Balance
Composition wt. %	0.2	0.9	17.4	10	2.1	69.5

وكما تم فحص صلابته باستخدام جهاز قياس الصلادة [Karl,Kolb,Gearmany,Model1987] وقد تبين أن قيمتها (HV=209).

من ثم تم أخذ القراءات الخاصة بالتجارب وذلك باستخدام طريقة فقدان الوزن (weight loss) ومنه إيجاد فقدان بالحجم (volume loss) والتي تتضمن وزن النماذج بعد تهيئتها وتقطيعها بالأبعاد المذكورة سابقا وغسلها بالماء وبعد ذلك وباستخدام فرشاة خاصة غسلها بالأسيتون (acetone) وتجفيفها بواسطة مجففة النماذج (specimen dryer). وتم بعد ذلك وزنها بواسطة الميزان الحساس (DENVER) وهذا الميزان سعته 210 g ودقته 0.1mg حيث تم وزن جميع النماذج وترقيمها قبل إجراء التجربة و تم تثبيت النماذج في جهاز قياس التعرية وإجراء التجربة عليها بتشغيل الجهاز لمدة معينة وبعد ذلك إخراج النماذج وغسلها بنفس الطريقة وتجفيفها ووزنها لمعرفة الفرق الحاصل في أوزانها وهذا الفرق هو المعتمد في حساب معدل التعرية والذي يتأثر بدوره بعدة متغيرات منها تركيز المحلول ودرجة الحرارة (temperature) وزاوية الارتطام (impinging angle)، حجم الحبيبات (particle size)، شكل الأنموذج (specimen geometry)، سرعة الدوران (rotational speed)، خواص الحبيبات (particle) وخواص مادة الأنموذج... إلخ. واعتمدنا في موضوع بحثنا هذا على أربعة متغيرات هي زاوية الارتطام و سرعة دوران النماذج وتركيز المزيج وتأثير الحواجز.

### النتائج والمناقشة:-

#### 1- معدل التعرية

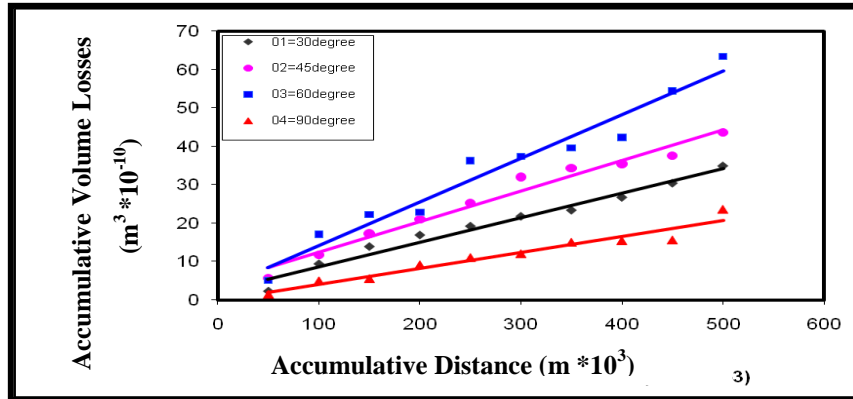
لحساب معدل التعرية فقد تم إجراء عشر تجارب لكل من المتغيرات المذكورة (زاوية الارتطام وتركيز المزيج وسرعة الدوران) وللحالتين (بوجود الحواجز وبدون وجود الحواجز) على أنموذجين من النماذج إذ يقطعان في كل تجربة مسافة 50 km (أي مدة كل تجربة من التجارب هي ساعتين و56 دقيقة تقريبا) وحساب معدل فقدان الوزن لكل تجربة ثم تقسيمه على كثافة السبيكة التي قيمتها  $7.99 \text{ gm/cm}^3$  [8] وذلك للحصول في معدل الفقدان بالحجم ورسم مخطط مع المسافة التراكمية المقطوعة وحساب التوافق لأقرب مستقيم الذي يمثل بدوره معدل التعرية إذ تمت التجارب باختيار زاوية ارتطام  $30^\circ$  وتركيز 20 wt.% وسرعة دوران 550 r.p.m، ثم تم تغيير أحد هذه المتغيرات الثلاثة وتثبيت الأخرين لحساب تأثير كل منها على حدة وإجراء عشر تجارب على النماذج وحساب معدل التعرية.

#### 1-1:- معدل التعرية الحاصل للنماذج بدون وجود الحواجز (Baffles)

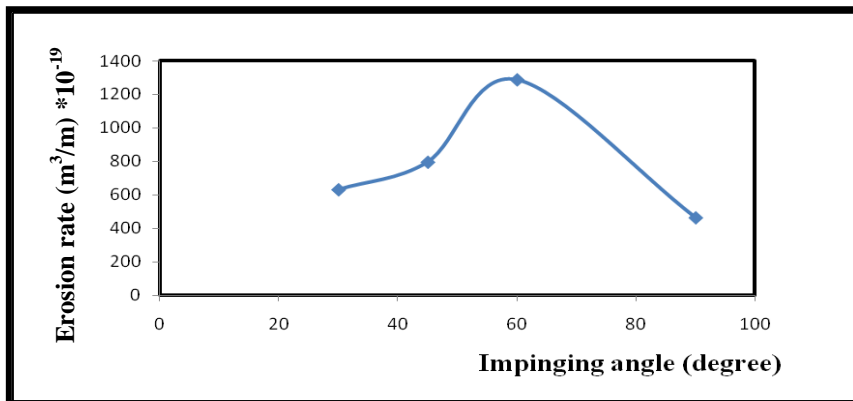
وذلك باعتماد المتغيرات الثلاثة لحساب مقدار الفقدان الحاصل بوزن النماذج وهي (زاوية تثبيت النماذج، تركيز المزيج، سرعة دوران النماذج) إذ تمت التجارب باختيار زاوية ارتطام  $30^\circ$  وتركيز 20 wt.% وسرعة دوران 550 r.p.m.

#### 1-1-1: تأثير زاوية الارتطام

إذ تم إجراء التجارب العشر على الزوايا الأخرى ( $45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ) وحساب معدل الفقدان بالوزن ومنه حساب معدل الفقدان بالحجم وكما مبين سابقا. ومن ثم تمثيل هذه النتائج بالمخطط الذي يوضحه الشكل (4) وكما ملاحظ من الشكل أن معدل الفقدان بالحجم يزداد تدريجيا وخطيا مع المسافة التراكمية المقطوعة عند زاوية ارتطام  $90^\circ$  وكذلك بالنسبة للزوايا الثلاثة الأخرى ( $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ) مع ملاحظة حدوث تباعد للخطوط المرسومة عند كل زاوية ارتطام مع زيادة المسافة التراكمية وحساب معدل التعرية من قيمة التوافق لأقرب خط مستقيم لكل من الزوايا المختارة والذي يمثل بدوره معدل التعرية والشكل (5) يبين تأثير تغيير زاوية الارتطام في معدل التعرية بدون وجود الحواجز، حيث يوضح الشكل أن معدل التعرية بدأ يزداد عند تغيير الزاوية من  $30^\circ$  إلى  $60^\circ$  ثم عاد لينخفض عند الزاوية  $90^\circ$ .



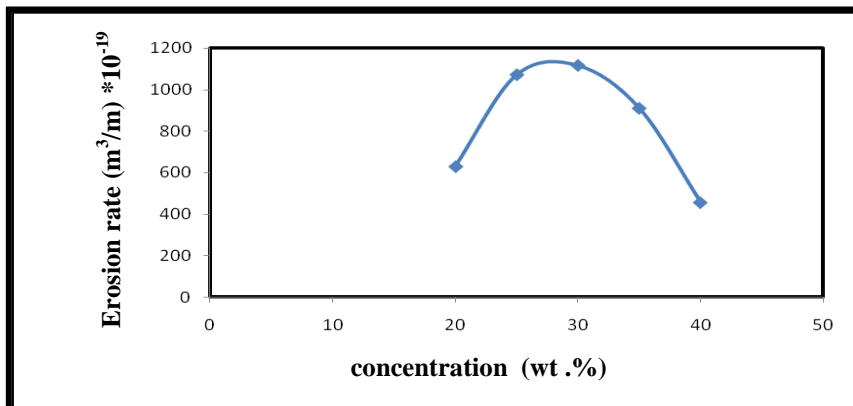
الشكل (4): يوضح تغير مقدار فقدان الحجم مع المسافة المقطوعة لأربع زوايا ارتطام بدون وجود الحواجز (تركيز 20 wt.% وسرعة دوران 550 r.p.m.).



الشكل (5): يوضح تغير مقدار معدل التعرية مع زاوية الارتطام بدون وجود الحواجز (تركيز 20 wt.% وسرعة دوران 550 r.p.m.).

### 2-1-1: تأثير التراكيز

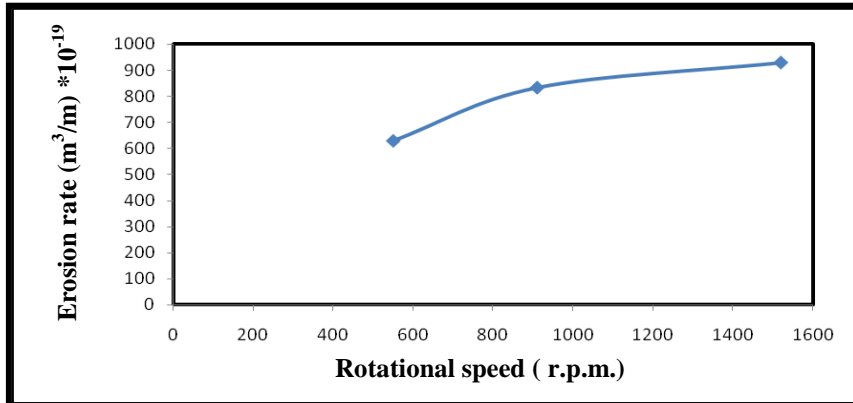
لغرض معرفة تأثير تركيز المزيج في معدل التعرية فقد تم إجراء التجارب العشر على التراكيز الأخر (25 wt.%, 30 wt.%, 35 wt.%, 40 wt.%) وحساب معدل فقدان بالوزن ومنه حساب معدل فقدان بالحجم وبالطريقة نفسها تم حساب معدل التعرية من قيمة التوافق لأقرب خط مستقيم لكل من التراكيز المختارة الذي يمثل بدوره معدل التعرية والشكل (6) يبين تأثير تغيير التركيز في معدل التعرية بدون وجود الحواجز، إذ يوضح الشكل أن معدل التعرية بدأ يزداد عند تغيير التركيز من 20 wt.% إلى 30 wt.%، ثم عاد لينخفض عند التراكيز الأخر 35 wt.% و 40 wt.%.



الشكل (6): يوضح تغير مقدار معدل التعرية مع تركيز المزيج بدون وجود الحواجز (زاوية ارتطام 30° وسرعة دوران 550 r.p.m.).

### 3-1-1: تأثير سرعة دوران النماذج.

لغرض معرفة تأثير سرعة النماذج في معدل التعرية فقد تم إجراء التجارب العشر على السرعات الأخر (910 r.p.m., 1520 r.p.m.) وحساب معدل الفقدان بالوزن ومنه حساب معدل الفقدان بالحجم وتم حساب معدل التعرية من قيمة التوافق لأقرب خط مستقيم لكل من السرعات المختارة الذي يمثل بدوره معدل التعرية والشكل (7) يبين تأثير سرعة دوران النماذج في معدل التعرية بدون وجود الحواجز، إذ يوضح الشكل أن معدل التعرية يزداد بازدياد سرعة الدوران.



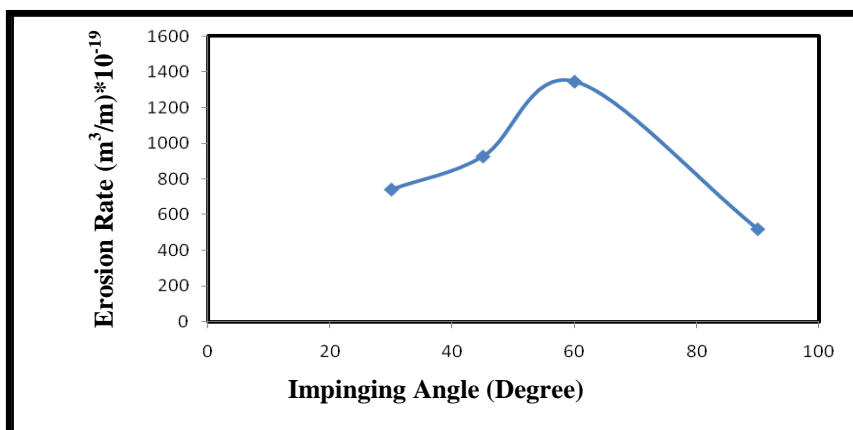
الشكل (7): يوضح تغير مقدار معدل التعرية مع سرعة دوران النماذج بدون وجود الحواجز (زاوية ارتطام 30° وتركيز 20 wt.%).

### 2-1: معدل التعرية الحاصل للنماذج بوجود الحواجز (Baffles)

لغرض دراسة تأثير الحواجز في معدل التعرية فقد تم إجراء التجارب السابقة (في حالة عدم وجود الحواجز) بوجود الحواجز وذلك باعتماد المتغيرات الثلاثة لحساب مقدار الفقدان الحاصل بوزن النماذج وهي (زاوية تثبيت النماذج، تركيز المزيج، سرعة دوران النماذج) إذ تمت التجارب باختيار زاوية ارتطام 30° وتركيز 20 wt.% وسرعة دوران 550 r.p.m.

### 1-2-1: تأثير زوايا الارتطام .

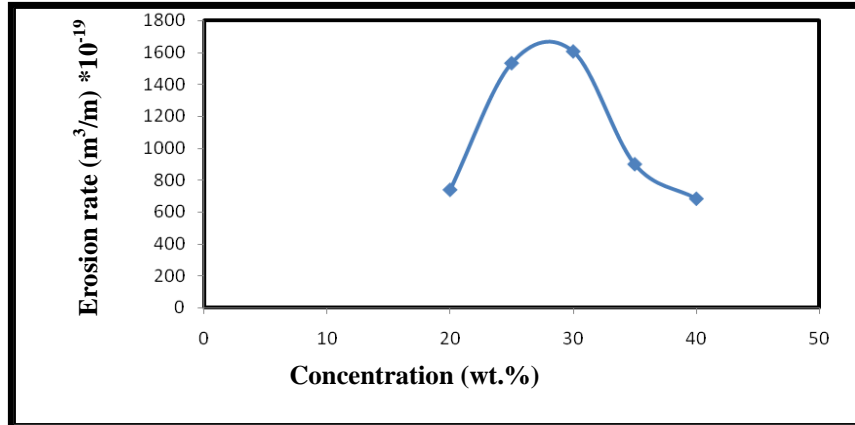
الشكل (8) يبين تأثير تغيير زاوية الارتطام في معدل التعرية بوجود الحواجز، إذ يوضح الشكل أن معدل التعرية بدأ يزداد عند تغيير الزاوية من 30° إلى 45° إلى 60° ثم عاد لينخفض عند الزاوية 90° ولكن بمعدلات تعرية أكبر من تلك التي في حالة عدم وجود الحواجز.



الشكل (8): يوضح تغير مقدار معدل التعرية مع زاوية الارتطام بوجود الحواجز (تركيز 20 wt.% وسرعة دوران 550 r.p.m.).

## 2-2-1: تأثير التراكيز.

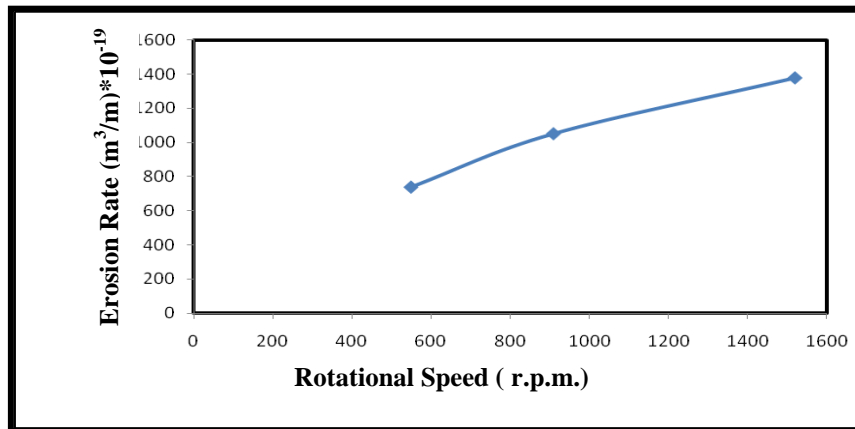
الشكل (9) يبين تأثير تغيير التركيز في معدل التعرية بوجود الحواجز، إذ يوضح الشكل أن معدل التعرية بدأ يزداد عند تغيير التركيز من 20 wt.% إلى 25 wt.% حتى 30 wt.%، ثم عاد لينخفض عند التراكيز الأخرى 35 wt.% و 40 wt.%، وبمعدلات تعرية أكبر من تلك التي في حالة عدم وجود الحواجز.



الشكل (9): يوضح تغير مقدار معدل التعرية مع تركيز المزيج بوجود الحواجز (زاوية ارتطام 30° وسرعة دوران 550 r.p.m.).

## 3-2-1: تأثير سرعة دوران النماذج.

الشكل (10) يبين تأثير سرعة دوران النماذج في معدل التعرية بوجود الحواجز، إذ يوضح الشكل أن معدل التعرية يزداد بازدياد سرعة الدوران، وبمعدلات تعرية أكبر من تلك التي في حالة عدم وجود الحواجز.



الشكل (10): يوضح تغير مقدار معدل التعرية مع سرعة دوران النماذج بوجود الحواجز (زاوية ارتطام 30° وتركيز 20 wt.%).

مما تقدم يتبين أن جزءاً مهماً من النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث تؤكد وجود علاقة بين العوامل المأخوذة في هذا البحث (زاوية الارتطام، تركيز المزيج، سرعة دوران النماذج)، فضلاً عن الحواجز وبين معدل التعرية المعتمد في دراسة سلوك التعرية للفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel Type 316L) وخاصة الجزء الرئيس من البحث الذي يبين الفرق بين الحالتين (الأولى بدون وجود الحواجز والثانية بوجودها) وتأثيرها في معدل التعرية. فقد تبين أن معدل التعرية يتأثر بتغيير زاوية الارتطام وتركيز المزيج وسرعة دوران النماذج. وكذلك فقد تبين أن معدل التعرية ارتفع إلى أعلى مقدار له عند زاوية ارتطام 60°، ثم عاد لينخفض عند زاوية ارتطام 90°، ويمكن أن يعزى السبب إلى وضع الأنموذج واتجاهه بالنسبة لحبيبات الرمل إذ إنه عندما يكون عمودياً (90° → α) فإن آلية التعرية تختلف عما هي عليه عندما يكون وضع الأنموذج أفقياً بالنسبة لاتجاه حركة الحبيبات إذ إن آلية التعرية عند زاوية ارتطام قريبة من 90° تؤدي إلى حدوث زوائد معدنية في منطقة الارتطام مكونة ما يشبه بالشفة (Lip Formation) لكنها تكون مشابهة نوعاً ما



لآلية الاحتكاك بين سطحين متلامسين عندما تكون زاوية الارتطام قريبة من الصفر الذي ربما يؤدي إلى الاختلاف بالفقدان بالوزن، وبالتالي إلى الاختلاف في معدل التعرية.

في حين تبين أن معدل التعرية بدأ يزداد بزيادة تركيز الرمل في المزيج ووصل إلى القيمة العظمى عند تركيز 30 wt.% ثم بدأ بالانخفاض ليصل إلى أقل قيمة له عند تركيز 40 wt.%، ويمكن أن يعزى سبب هذا الانخفاض بمعدل التعرية إلى زيادة الارتطام العشوائي للحبيبات التعرية مع بعضها البعض الذي يؤدي إلى تبديد قسم من الطاقة الحركية للحبيبات.

أما بالنسبة لسرعة دوران النماذج فقد تبين أن معدل التعرية يزداد بازدياد سرعة الدوران، ويمكن أن يرجع سبب هذه الزيادة إلى زيادة الطاقة الحركية للحبيبات التي تعتمد بصورة مباشرة على سرعتها.

بصورة عامة أوضحت المقارنة بين الحالتين (بدون وجود الحواجز وبوجودها) أن وجود الحواجز أدى إلى ارتفاع معدل التعرية والتي من المحتمل أن يكون سببها عائداً إلى زيادة دوران الحبيبات حول نفسها والتي أشار إليها الباحث (Deng) [4]، أو من الممكن أن يكون سببه يدل على أنها (الحواجز) أدت إلى تعريض النماذج للرمل بصورة أكبر من الحالة التي لا توجد فيها هذه الحواجز.

إن هذه النتائج قد تعد نوعاً من التحذير للمتخصصين من مهندسي التصميم والإنتاج المتعاملين مع الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel Type 316L) في ظروف يكون فيها صفة مقاومة ظاهرة التعرية ضرورة ملحة لا بد أن تراعى وتؤخذ بنظر الاعتبار في هذا المجال .

فضلاً عما تقدم فإن وجود ظاهرة من هذا النوع يمكن المعنيين من تحديد مدى قوة مقاومة الفولاذ المقاوم للصدأ وضعفها (Stainless Steel Type 316L) لهذه الظاهرة وهذا بدوره يشجع على الاهتمام بالعلاقة بين هذه العوامل وتأثيرها في مقاومة السبيكة للتعرية وإمكانية اعتماد أسلوب ممكن العمل به في بعض الحالات لغرض السيطرة على ظاهرة التعرية.

## 2-الاستنتاجات

في ضوء النتائج التي حُصل عليها يمكن استنتاج ما يأتي:

1. الجهاز الذي تم تصميمه وتصنيعه في البحث الحالي، ممكن استخدامه لدراسة سلوك عملية التعرية وخصائصها لهذا النوع من الفولاذ المقاوم للصدأ فضلاً عن إمكانية استخدامه في دراسة سلوك التعرية للمواد الأخرى.
2. يعتمد سلوك التعرية للفولاذ المقاوم للصدأ Stainless Steel Type 316L على زاوية الارتطام إذ تبين أن معدل التعرية ارتفع إلى أعلى مقدار له عند زاوية ارتطام  $60^\circ$ ، ثم عاد لينخفض عند زاوية ارتطام  $90^\circ$ .
3. يتغير معدل التعرية للفولاذ المقاوم للصدأ Stainless Steel Type 316L بتغيير تركيز المزيج، إذ لوحظ أن معدل التعرية بدأ يزداد بزيادة تركيز الرمل في المزيج ووصل إلى القيمة العظمى له عند تركيز 30 wt.% ثم بدأ بالانخفاض ليصل إلى أقل قيمة له عند تركيز 40 wt.%.
4. يعتمد معدل التعرية بشكل مباشر على سرعة دوران النماذج، إذ تبين أنه يزداد بزيادة سرعة الدوران عندما تتغير من 550 r.p.m. إلى 1520 r.p.m.
5. عند إضافة الحواجز تغير معدل التعرية بشكل ملحوظ إذ أدت إضافتها إلى ارتفاع معدلات التعرية إلى الضعف تقريباً مقارنة مع الحالة التي لم تضاف إليها تلك الحواجز.

## References

1. Nam P.S., "Tribophysics" Practice Hall Inc. New Jersey USA, 1986.
2. Jha A. K., Batham R., Ahmed M., Majumder A. K., Modi O. P., Chaturvedi S., Gupta A. K., " Effect of impinging angle and rotating speed on erosion behaviour of aluminium" ,Trans. Nonferrous Met. Soc. China, Vol.21, pp.(32-38) , 2011.
3. Dasgupta R., Prasad B.K., Jha A.K., Modi O.P., "Effects of Sand Concentration on Slurry Erosion of Steels" Materials Transaction, JIM, Vol.39, No.12, pp. (1185 - 1190) , 1998.
4. Fang C.K.,Chuang T.H., "The effect of humidity on the erosive wear of 6063 Al alloy" , Wear , Vol.236, pp.(144-152) , 1999.

5. Chui K.Y., Cheng F.T., Man H. C., “Cavitation Erosion Resistance of AISI 316L Stainless Steel Laser Surface-modified with NiTi”, Materials Science and Engineering , A 392, pp. (348-358), 2005.
6. Francis R., “The Erosion Corrosion Resistance Of Zeron 100”, Corrosion Services Manager, Rolled Alloys, No. TN781, (2008
7. Hazim M.M., “Effect of Speed, Impinging Angle and Slurry Concentration of Water and sand on Erosion of Stainless Steel - 316L ”, M. Sc. Thesis, University of Mosul, Mosul, 2012.
8. [http://: www.aksteel.com](http://www.aksteel.com) , product data sheet ,316 L Stainless Steel.