

## دراسة عملية لتأثير زاوية الإنفراج على موقع الإنفصال في ناشرة ثنائية البعد

د. زينة خليفة كاظم\* د. قصي جهاد عبد الغفور\* &amp; وسام عبد كاطع\*

تاريخ التسليم: 2008/9/15

تاريخ القبول: 2008/12/4

## الخلاصة

يهتم البحث الحالي بدراسة جريان الهواء خلال ناشرة ثنائية البعد ، ولغرض إتمام الدراسة تم تصميم وتصنيع نماذج إختبار ويزوايا إنفراج تراوحت بين (  $0^\circ - 30^\circ$  ) . تم إستخدام الهواء كمائع عامل في التجارب المستخدمة ولمدى عدد رينولتز يتراوح بين ( $6.85 \times 10^4 - 1.64 \times 10^5$ ) عند مدخل الناشرة. تضمنت الدراسة إجراء تجارب لقياس السرعة والضغط الإستاتي، وأظهرت النتائج المستحصلة ما يلي:

- 1- حدوث ظاهرة الإنفصال عند زوايا إنفراج (  $\theta > 8^\circ$  ) .
- 2- موقع الإنفصال يتأخر بنقصان زاوية الإنفراج وزيادة عدد رينولتز .
- 3- معامل إسترداد الضغط الإستاتي (Cp) يقل بزيادة نسبة مساحة الناشرة (AR) .

## An experimental study of diverging angle effect on separation location in two - dimensional diffuser

### Abstract

The present study deals with flow of air in a two dimensional diffuser. A number of test models of diffusers with different angles ranging between ( $0^\circ - 30^\circ$ ) were manufactured. The air was implemented as working fluid in the test with different Reynolds number ( $6.85 \times 10^4 - 1.64 \times 10^5$ ) at the duct inlet.

The study includes a number of experiments for air velocity and static pressure measurement. The results showed the following:

- 1- Separation Phenomenon is obtained at divergent angles (  $\theta > 8^\circ$  ) .
- 2- The location of separation delays by decreasing the divergent angle and by increasing of Reynolds number.
- 3- The static pressure recovery coefficient decreases with the increasing diffuser area ratio (AR).

## الرموز المستخدمة

الرمز	المعنى	الوحدة
A	مساحة مدخل الناشرة	cm <sup>2</sup>
AS	نسبة عرض المدخل إلى ارتفاعه	-
AR	نسبة المساحة (مخرج إلى مدخل الناشرة)	-
B	معلم الأنغلاق	-
b	عرض الناشرة بين السطوح المتوازية	cm
Cp	معامل إسترداد الضغط الإستاتي	-
D <sub>n</sub>	القطر الهيدروليكي للناشرة	cm
L	طول الناشرة	cm
M	عدد ماخ	-
N	المسافة الأفقية بين مدخل ومخرج الناشرة	cm
P <sub>s</sub>	الضغط الإستاتي	N/m <sup>2</sup>
Re	عدد رينولتز	-
U	سرعة الهواء داخل الناشرة	m/s
W	ارتفاع الناشرة بين الجدارين المتباعدين	cm
$\rho_a$	كثافة الهواء	kg/m <sup>3</sup>
$\nu$	اللزوجة الكينماتيكية	m <sup>2</sup> /s
$\theta$	زاوية الجدار المنفرج	deg.

## المقدمة

في بعض تطبيقات الجريان الداخلي يتطلب تحويل طاقة المائع الحركية إلى ضغط إستاتي وذلك للحصول على زيادة في معامل إسترداد الضغط الإستاتي (Cp) وهذا يتحقق من خلال إمرار المائع خلال ناشرة (Diffuser) حيث يحدث تباطؤ في سرعة الجريان مما يؤدي إلى تناقص في الطاقة الحركية المتمثلة بالسرعة على حساب زيادة في طاقة السكون المتمثلة في الضغط الإستاتي في الجريان اللاإِنضغاطي (Incompressible flow) والجريان الإِنضغاطي (Compressible flow) دون سرعة الصوت (Subsonic flow).

نتيجة التطور العلمي الحاصل، يُعد جريان الموائع جزءاً أساسياً في أداء معظم الأجهزة والمنظومات الميكانيكية. حيث تستخدم الناشرة في تحسين أداء التوربينات الغازية وذلك بتقليل سرعة خروج الهواء من الضاغط إلى غرفة الإحتراق، وفي منظومات التكييف لتقليل سرعة جريان الهواء لأغراض تصميمية ولتقليل الضوضاء.

## البحوث السابقة:

لناشرة أشكالاً هندسية متعددة، حيث يعتمد الشكل على نوع التطبيق وحجم منظومة الجريان ومتطلباتها، فمنها الناشرة المخروطية (Conical diffuser)، والناشرة الحلقية (Annular diffuser)، والناشرة المحورية (Radial diffuser)، والناشرة مستطيلة المقطع ثلاثي الأبعاد (Three-dimension rectangular diffuser) والناشرة ذات المقطع المستطيل ثنائي الأبعاد (Two-dimensional rectangular diffuser) [1].

يتعرض المائع المار خلال الناشرة إلى خسائر في الطاقة تؤدي إلى تقليل كفاءتها، أهمها حدوث ظاهرة الانفصال (Separation). إن ظاهرة الانفصال تحدث على الجدار المتباعد من الناشرة ولأسباب عديدة منها لزوجة المائع ونوع الجريان وزاوية إنفراج الناشرة وسرعة الجريان وخشونة السطح وأهتزاز السطح الذي يمر فوقه أو خلاله المائع، ولهذا فإن الموائع المثالية لا تحدث فيها ظاهرة الانفصال وذلك لإنعدام اللزوجة أي

إنعدام الإحتكاك شكل (1-a). وعلى العكس من ذلك ففي الموائع الحقيقية فإن قوة اللزوجة (Viscous force) والقوة الناتجة عن فرق الضغط (Pressure force) تُعد من أهم القوى المؤثرة في جريان الموائع، حيث أن قوة اللزوجة تُسبب ظهور طبقة من المائع مُلاصقة للجدار تتغير فيها السرعة من الصفر عند السطح إلى أن تصبح مساوية إلى سرعة الجريان الحر وتدعى بالطبقة المتأخمة (Boundary layer). أثناء جريان الموائع في الناشرات أو (على السطوح المنحنية) فإن طبقات المائع تبدأ بالإنفصال عن الجدار عندما يصبح تدرج السرعة (Velocity gradient) مساوياً للصفر مما يؤدي إلى ظهور مجموعة من الدوامات التي تُبدد وتُفقد طاقة الجريان وتُكون جرياناً معاكساً (Reverse flow) كما في الشكل (1-b). إن موقع الانفصال يعتمد على عدة عوامل منها خشونة السطح (نشوء الطبقة المتأخمة) وعدد رينولدز (Re) (تأثير اللزوجة) وزاوية التباع (معلم تدرج الضغط) والتغير المفاجئ للسطح ومستوى الإضطراب. حيث نلاحظ في الشكل (1-b) أن السرعة تبدأ بالتباطؤ بالتدرج من النقطة (A) إلى أن تصل إلى النقطة (S) حيث يكون تدرج توزيع منحنى السرعة لطبقات المائع القريبة من الجدار مماسياً للمحور (Y) عند الجدار وهذا يعني أن  $(\partial u/\partial y = 0)$  مسبب إزدياد في الضغط الإستاتي حيث يصبح  $(\partial p/\partial x > 0)$ ، وفي هذه المنطقة يُمكن القول أن انفصال الطبقة المتأخمة عن الجدار قد بدأ [2].

أما بعد النقطة (S) يحدث جريان معاكس (Reverse flow) بالقرب من الجدار كما مبين عند النقطة (B). إن الجريان العكسي للمائع يولد بالإشتراك مع الجريان الرئيسي فوقه دوامات وهذه بدورها تعمل على تبديد الطاقة وحصول ضياعات وتقليل أداء الناشرة. ونظراً لما تُحدثه هذه الظاهرة من تأثيرات على طبيعة الجريان، فقد أخذ الكثير من الباحثين تأثير العوامل المدرجة أعلاه كأساس لبحوثهم. أجريت دراسات عملية ونظرية عديدة لطبيعة الجريان داخل الناشرة، وعلى الرغم من كثرة الدراسات التي شملت أنماط الجريان (Flow regimes) وخواص المائع الهيدرودينامية، إلا أن أغلبها لم تبحث في

طول المدخل إلى عرضه ( $AS=0.25-5$ )،  $(L/W_1=1-30)$ ، والرقم الماخي عند المدخل هو ( $M_1=0.2-0.45$ ) ومعلم الإنغلاق ( $B=0.02-0.12$ ) ووجد أن أقصر ناشرة لأفضل كفاءة هو عندما يكون مدخلها مربع وأطول ناشرة لأفضل كفاءة هو عندما يكون مدخلها مستطيل ونسبة السمك إلى العرض بمقدار الربع .

من ملاحظة البحوث التي اختصت بدراسة تأثير ظروف الجريان على كفاءة الناشرة يمكن تحديد العوامل التي تؤثر على معامل إسترداد الضغط الإستاتي ( $C_p$ ) سلباً وبالتالي يؤدي إلى تردي الكفاءة وكما يلي :

- 1- نوع ومقدار الأضطراب عند المدخل .
- 2- زيادة سمك الطبقة المتاخمة عند المدخل .
- 3- زيادة مقدار معلم تشوه منحنى السرعة .
- 4- نقصان نسبة طول المدخل إلى عرضه ( $AS$ ) يؤدي إلى نقصان في إسترداد الضغط الإستاتي مع ثبات القيم اللابعدية .
- 6- زيادة معلم الإنغلاق ( $B$ ) يؤدي إلى زيادة الضياعات .
- 7- زيادة معلم الشكل (النسبة بين سمك الأراحة إلى سمك الزخم) يؤدي إلى نقصان في إسترداد الضغط الإستاتي .
- 8- زيادة عدد رينولتز يؤدي إلى نقصان الكفاءة.

قام الكثير من الباحثين بدراسة طبيعة الجريان خلال الناشرة وعلاقتها بالأبعاد الهندسية والشكل الهندسي للناشرة . وقد وضع الباحثان (Fox and Kline) (1962) [6] محددات الشكل الهندسي وقد نقحوا البيانات المتوفرة عن الناشرات وتم وضعها ضمن مخططات وخرائط .

حيث يتحدد الشكل الهندسي للناشرة بنسبة طول المدخل إلى عرضه ( $b/W_1$ ) وأثنين من أربع محددات هندسية وكما يلي :-

- 1- ( $2\theta$ ) : زاوية التباعد الكلية لجداري الناشرة .
- 2- ( $L/W_1$ ) : نسبة طول الناشرة إلى عرض المدخل .
- 3- ( $N/W_1$ ) : نسبة المسافة بين مقطعي الدخول والخروج إلى عرض مدخل الناشرة .
- 4- ( $W_2/W_1$ ) : نسبة عرض مخرج إلى مدخل الناشرة .

التأثيرات التي تحدثها إستخدام ناشرة ذو نسب باعية كبيرة على أداءها. أما الدراسات التي تناولت تغيير ظروف المدخل وتأثيراته على كفاءة عمل الناشرة ، فقد تناولت في أغلبها جانب محدد فقط من أبعاد الشكل الهندسي للمدخل وشملت دراسات أخرى تأثير تغيير شدة إضطراب الجريان في المدخل على أداء الناشرة [2]. تم إجراء العديد من البحوث لتطوير عمل الناشرة وتحسين كفاءتها عن طريق إجراء تغييرات عديدة على مستوى ظروف المائع الداخل أو إجراء تغييرات على الشكل الهندسي والسطوح الداخلية للناشرة .

قام الباحث (Paul) (1970) [3] بدراسة تأثير خشونة السطح على طبيعة الجريان في مجرى متباعد مستطيل المقطع ولمدى عدد رينولتز يتراوح بين ( $7.5 \times 10^4 - 3 \times 10^5$ ) وأجريت التجارب على إنموذجين أحدهما بأسطح خشنة والآخر بأسطح ملساء ولوحظ أن خشونة السطح تؤثر على المسافة التي يبدأ عندها الإنفصال حيث تكون هذه المسافة قصيرة عند السطوح الخشنة نسبة إلى السطوح الملساء عند نفس ظروف الجريان. كما درس أيضاً تأثير زاوية الإنفراج على موقع الإنفصال وبين أن موقع الإنفصال ينتقل إلى السطح الآخر عند إستخدامه زوايا إنفراج كبيرة .

قامت الباحثة (Zena) (1991) [4] بدراسة عملية لتأثير تغيير الشكل الهندسي لجدران ناشرة ثنائية البعد على كفاءتها بإستخدام الحزوز الطولية على الجوانب المتباعدة . لذا تم تصميم وتصنيع ناشرة ثنائية البعد قابلة لتغيير سطحها الداخلي المتباعدان لإجراء الأختبار لمختلف نماذج الحزوز الطولية بالإضافة إلى السطح المستوي بزواوية تباعدية كلية هي ( $8^\circ = 2\theta$ ) ونسبة طول المدخل إلى عرضه هي ( $AS=0.25$ ) و ( $N/W_1=6$ ). أجريت التجارب لكل من السطح المستوي والسطوح المحززة طولياً لأعداد رينولتز تتراوح بين ( $6.1 \times 10^4 - 2.1 \times 10^4$ ). وقد أظهرت النتائج زيادة في كفاءة الناشرة ثنائية البعد عند أستخدام الحزوز الطولية مقارنة مع النتائج التي حصل عليها عند أستخدام سطح مستوي . درس الباحث (M.AL-Mudhafar) (1987) [5] تأثير عدة متغيرات على كفاءة الناشرة بإجراء تجارب لناشرات ذات زوايا تباعد كلية تتراوح بين ( $12^\circ - 6^\circ = 2\theta$ ) ونسبة

ألواح الخشب المضغوط الصقيل من الداخل يؤلفان مع جدارين مجرى هوائي ذو مساحة مقطع مستطيلة وبطول (1.29 m) ، تم حساب طولها بالاعتماد على سمك الطبقة المتأخمة عند أعلى عدد رينولدز ( $1.64 \times 10^4$ ) كذلك تم أخذ معامل أمان مقداره (1.5) بما يؤمن الحصول على جريان مضطرب تام التطور عند نهايته . يلي الجزء الأول من المجرى الجزء الثاني وهو مقطع الاختبار حيث تزداد مساحة مقطعه باتجاه الجريان مكونا بذلك مجرى متباعد، سطحه الأسفل أفقي وبـ

أطوال (61.2, 61.6, 60.9, 60.6, 60.3, 59.1, 57.5, 55) بوحدات (cm)، بينما سطحه الأعلى ذو طول ثابت ومائـت بزوايا ( $0^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) ليؤمن الحصول على نسب ارتفاع مختلفة .

أما الجزء الثالث من المجرى فمشابه للجزء الأول ولكن بمساحة مقطع أكبر وأرتفاع أكبر قابل للتغيير وفقاً لإرتفاع مخرج الناشرة ، وبطول (1.307 m) لتقليل تأثير مروحة السحب .

2- إمكانية تحريك السطح العلوي للناشرة بزوايا مختلفة بحيث تتطابق مساحته مع مساحة مقطع الجزء الثالث .

3- جعل السطح العلوي من الجزء الثالث لجهاز الاختبار متحركاً بحيث تتطابق مساحته مع مساحة مخرج الناشرة عند كل زاوية اختبار .

4- إختيار أجهزة قياس ملائمة وتثبيتها في مواقع محددة .

#### أجزاء المجرى الهوائي

المجرى الهوائي المستخدم في هذه الدراسة طوله الإجمالي (3.967 m) وعرضه من الداخل (25 cm) مصنوع من ألواح الخشب المضغوط وبسمك (18 mm) ومغلف برقائـق صقيلة لتقليل الإحتكاك ، كما موضح في الشكل (2) . ويتألف من الأجزاء التالية :

1- الجزء الأول ذو مساحة مقطع ثابتة مستطيلة الشكل أبعادها (25×7 cm) وطول (1.29 m) .

تم تحديد الطول بالاعتماد على حسابات سمك الطبقة المتأخمة بما يؤمن جريان مضطرب تام التطور في نهاية المجرى . فقد تم حساب سمك الطبقة المتأخمة من المعادلة الآتية [7] .

من ملاحظة البحوث التي أختصت بدراسة تأثير الشكل والأبعاد الهندسية على كفاءة الناشرة يمكن تحديد العوامل التي بزيادتها يقل الأداء وكما يلي :-

1- زاوية تباعد جداري الناشرة تؤدي إلى انفصال المائع بالقرب من المدخل .

2- نسبة طول الناشرة إلى عرض المدخل ( $L/W_1$ ) .

3- نسبة طول المدخل إلى عرضه (AS) .

4- نسبة المساحة (AR) .

5- شكل مقطع الإتصال بين الناشرة وممر الجريان الذي يسبقه .

الطرق المستخدمة للسيطرة على وقوع الانفصال في الناشرة :

أستخدم الباحثون عدة طرق لتحسين أداء الناشرة وذلك لأهميتها في التطبيقات الهندسية في ميكانيك الموائع بهدف السيطرة أو تقليل الانفصال (Separation) وبذلك يتم زيادة مساحة مقطع الجريان باتجاهه وكما يلي :-

1- إعادة شحن الطبقة المتأخمة الجدارية بالطاقة عن طريق حقنها بالمائع ثانوي .

2- إستخدام المفراقات والريش داخل الناشرة لمنع وقوع الانفصال .

3- تغيير شكل جدار الناشرة المستقيم .

4- إزالة الطبقة المتأخمة الجدارية ذات الزخم الواطئ بواسطة تفريغها بالمص .

الطريقتان الثانية والثالثة لا تستخدمان أجهزة خارجية وذلك لأنهما يتركان ممر الجريان خالياً من أي مصدر للخسارة في الضغط مما يؤثر على معامل الأداء .

#### التجارب العملية وطرق الحساب

يهدف البحث إلى إجراء دراسة عملية لجريان الهواء المضطرب اللانضغاطي في مرحلة التطور التام (Fully developed) داخل ناشرة مفردة ذات مقطع مستطيل لنسب متغيرة من إرتفاع المخرج إلى المدخل . حيث شملت هذه الدراسة حساب تغيير الضغط ومعامل إسترداد الضغط الإستاتي. تم إجراء جميع التجارب في مختبر الدراسات العليا في قسم هندسة المكائن والمعدات / الجامعة التكنولوجية .

#### متطلبات جهاز الاختبار

حددت المتطلبات على النحو الآتي :

1- الجزء الأول من المجرى الهوائي عبارة عن سطحين متقابلين ومتوازيين صنعا من

الجانبية للناشرة بتغطيتها من الخارج بمادة لاصقة (سيليكون) . بعد ذلك تم تثبيت أهداب (خيوط) على طول السطح العلوي من الداخل بمادة لاصقة وجعلها بمواجهة الجريان للتعرف من خلال حركتها على ظاهرة الانفصال وكانت المسافة بين هذب وآخر (0.5 cm) ، كما موضح بالشكل (3) و (4) .

3- الجزء الثالث من المجرى يبلغ طوله (1.307 m) وعرضه من الداخل (25 cm) وارتفاع جانبيه (74 cm) مصنوع من ألواح الخشب المضغوط سمكها (18 mm) . يتكون هذا الجزء من جزئين ، الأول ثابت والآخر متحرك وكما يلي :

الجزء المتحرك : يتكون من لوح أفقي أبعاده (95×25 cm) يتم تحريكه بشكل أفقي وعمودي تبعاً لزاوية ميل السطح العلوي من الناشرة بما يؤمن الطول والارتفاع المناسبين لمخرج الناشرة، إذ تم إسناد هذا السطح على أربعة أنابيب إسطوانية بقطر (5mm) مثبتة على الجدران الجانبية للجزء الثابت . كما موضح بالشكل (2) .

الجزء الثابت : يتكون من لوحين جانبيين متوازيين ومتقابلين مثبتين من الأسفل على لوح ثالث عرضه (25 cm) مكونين معاً جوانب وقاعدة المجرى . تحتوي جوانب الجزء الثابت على مجموعة من الثقوب قطر كل منهما (5mm)، كل أربعة ثقوب منها بمستوي مواز للسطح السفلي للمجرى ، تخترقها أنابيب أسطوانية قابلة للحركة ذات قطر (4.5 mm)، يستقر عليها السطح العلوي ، حيث يمكن تغير ارتفاع المجرى عن طريق رفع الجزء المتحرك إلى المستوي المطلوب ثم إسناده بالأنابيب الأسطوانية ، وتوجد في نهاية المجرى بوابة متحركة عبارة عن لوح من الخشب المضغوط مستطيلة الشكل أبعادها (80×25 cm) وبسمك (18 mm) تعمل على إحكام إغلاق جزء فتحة المخرج الذي يعلو السطح العلوي للمجرى بمختلف الارتفاعات .

الأجزاء السابقة تؤمن الحصول على مجرى ذو مقطع مستطيل وارتفاع محدد، ثابت على طول المجرى ، وبالإمكان تغييره والحصول أيضاً على فتحة مخرج ثابتة المساحة بشكل دائم لربط مجموعة التصريف . تم عمل مجموعة من الثقوب بقطر (1 mm) على الجدران الجانبية من الجزء الثالث من جهة

$$\delta = (0.377 \times X) Re^{-1/5} \dots\dots\dots (1)$$

أتضح أن الطول اللازم للحصول على جريان مضطرب تام التطور لا يزيد عن (1.025 m) وفقاً لظروف التشغيل المتاحة . تم معالجة مدخل المجرى بجعلهُ إنسيابي الشكل (Bell mouth) مفتوح إلى الخارج بنصف قطر (2.5 cm) وذلك لتقليل تأثير شكل المدخل على منحني توزيع السرعة عند تلك المنطقة . تم عمل ثقبتين بقطر (11 mm) أحدهما على الجدار الجانبي عند مدخل الجزء الأول من جهاز الإختبار من جهة واحدة والآخر على السطح الأسفل في نهاية الجزء الأول، يستخدمان لقياس سرعة الهواء ، وثقتين أخريين بقطر (1 mm) أحدهما على السطح العلوي عند مدخل الجزء الأول والآخر على السطح الأسفل عند نهاية الجزء الأول ، يستخدمان لقياس الضغط الإستاتي.

2- الجزء الثاني من المجرى يتمثل في منطقة الإختبار (الناشرة) حيث تضمنت هذه المنطقة إجراء عدة تجارب لتحقيق الهدف من البحث وكما يلي :

تمت هذه التجارب على منطقة إختبار تتكون من ناشرة ذات مقطع مستطيل ومساحة المدخل ثابتة أما مساحة المخرج فتكون متغيرة وذلك بتغيير الإرتفاع وثبوت العرض. يتألف هذا الجزء من سطحين متقابلين متوازيين على شكل شبه منحرف، طول ضلعيهما المتوازيين (20-83 cm) عموديين على قاعدة طولها (53-61.2 cm)، صنّع الجانبين من ألواح زجاجية شفافة بسمك (6mm) مثبتة على إطار خشبي ، يُشكل هذان السطحان جانبي الناشرة ، البعد العمودي بينهما (25 cm). السطح الأسفل للناشرة عبارة عن لوح من الخشب المضغوط الصقيل من الداخل مستطيل الشكل تراوحت أبعاده بين (25×61.2 cm<sup>2</sup> - 25×53 cm<sup>2</sup>) مثبت على إرتفاع (5 cm) من الحافة السفلى للجوانب. السطح العلوي للناشرة مصنوع من مادة (Perspex) أبعاده (61.2×25 cm<sup>2</sup>) وبسمك (2.5 mm) له القابلية على الحركة بشكل منفرد تبعاً لزاوية ميل السطح ، يتم تثبيت السطح العلوي بالضغط على جدران الناشرة الجانبية بواسطة ماسك (فخة) عند مدخل ومخرج الناشرة ، كما موضح بالشكل (2). لضمان إنسيابية الجريان تم معالجة حافات السطح العلوي والجدران

**أجهزة القياس المستخدمة**

تُقسم القياسات الهيدروديناميكية إلى قسمين هما :  
1- قياس الضغط الإستاتي : لغرض قياس الضغط الإستاتي في مدخل المجرى تم عمل فتحة على السطح العلوي للمجرى عند المدخل، قطرها (1 mm) [7] ومحورها عمودي على سطح المجرى يمتد إلى عمق (4 mm) من السطح الداخلي للمجرى ويتسع في نهايته ليتصل بأنبوب معدني قطره (5 mm) مثبت على السطح العلوي للمجرى. الطرف الثاني للأنبوب المعدني تم وصله بجهاز مانوميتر رقمي (Digital micro manometer) باستخدام أنبوب مرن . وزعت فتحات قياس الضغط الإستاتي على طول المجرى ، وكما موضح في الجدول (1) .

**2- قياس سرعة الهواء :**

تم قياس سرعة الهواء عند مدخل المجرى الهوائي باستخدام مقياس السلك الساخن (Hot-Wire Anemometer) يتصل بأنبوب يستند على قاعدة وعمود بحيث يمكن تحريك المقياس بالإتجاه العمودي إلى داخل المجرى . وزعت فتحات قياس سرعة الهواء من بداية المجرى، وكما موضح في الجدول (1) . قسم مقطع مدخل المجرى إلى خمسة أجزاء افتراضية كما في الشكل (5) ، أبعاد كل قسم (7×5 cm) وتم قياس السرعة عند مركز كل قسم ، وبحساب معدل هذه القيم تم الحصول على معدل سرعة الهواء عند مدخل المجرى [8]، بعد ذلك تم قياس سرعة الهواء عند مدخل الناشرة على بُعد (1.29 cm) من مدخل المجرى وكذلك عند مخرج الناشرة على بُعد (190,188,185,182 cm) حسب زاوية ميل السطح العلوي للناشرة. وللتأكد من صحة القراءات تم إجراء معايرة لجهاز قياس السرعة، كما موضح في الشكل (6) .

**فحص الجهاز المستخدم في الدراسة**

أجريت مجموعة من التجارب الأولية كان الغرض منها إختبار دقة تصنيع أجزاء المجرى ومعالجة مناطق الربط لمنع تسرب الهواء وتجارب أخرى لإختبار الجريان، حيث شملت :  
أ- تجارب أجريت لقياس الضغط الإستاتي باستخدام أنبوب للضغط الإستاتي وعلى عدة محاور عمودية على سطح المجرى ولجزئي الجريان الأول والثالث ، لوحظ حدوث تغيير

واحدة وعلى إرتفاعات مختلفة تبعاً لتغير زاوية إفراج الناشرة ، تستخدم لإجراء القياسات الهيدروديناميكية عن طريق قياس الضغط الإستاتي . كذلك تم عمل مجموعة من الثقوب بقطر (11 mm) لإدخال المجس الخاص لقياس سرعة الهواء .

4- مجموعة تصريف الهواء ومروحة السحب . تتكون مجموعة تصريف الهواء من عدة

أجزاء طولها الكلي (1.15 m) .

الجزء الأول عبارة عن صندوق مصنوع من ألواح الخشب المضغوط سمك (18 mm) أبعاده (85 × 77 × 43 cm) الهدف منه الحصول على ظروف ثابتة ومستقرة في نهاية المجرى ولتقليل تأثير مروحة السحب على الجريان ، يحتوي الصندوق على فتحتين أحدهما مستطيلة الشكل مفتوحة إلى القسم الثالث من المجرى أبعادها (75 × 25 cm) والأخرى ذات مقطع مربع الشكل أبعادها (63×63 cm) مفتوحة إلى مجرى مصنوع من ألواح الخشب المضغوط سمك (18 mm) الذي يتكون من جدارين جانبيين أبعاد كل منهما (66×40 cm)، وأبعاد كل من السطح الأعلى والأسفل لنفس المجرى هي (63×41 cm)، كما موضح في الشكل (2) .

يوجد بين نهاية الصندوق والمجرى المربع الشكل بوابتان مصنوعتان من ألواح الخشب المضغوط بسمك (12 mm) وأبعادهما (63×35 cm) قابلة للحركة تم وضع خمسة تدريجات متساوية على البوابتين للتحكم بفتحة الهواء وبالتالي تثبيت كمية التدفق عند كل فتحة، فاندتهما تقليل أو زيادة سرعة الهواء الخارج من المجرى للحصول على أعداد رينولدز مختلفة . تم ربط المجرى الأخير (مربع المقطع) إلى مروحة محورية لسحب الهواء إلى خارج المجرى عن طريق فتحة خلفية قطرها (60 cm) . ثدار المروحة عن طريق محرك (Motor) يعمل بالتيار المتناوب ذو قدرة (1 hp) وسرعة دوران (2000 rpm) يستند إلى قاعدة حديدية خلف ساحة الهواء ، حيث تم فصل ساحة الهواء نهائياً عن الجهاز وذلك لغرض منع وصول الإهتزاز إلى الجهاز، علاوة على ذلك تم تخميد الاهتزاز الناتج من المحرك (Motor) باستخدام قطع بلاستيكية مرنة وكان أقصى معدل تدفق حجمي لساحة الهواء (0.435m<sup>3</sup>/s) عندما (U<sub>av</sub>=25.1) .

مزدوج حراري (Thermocouple) في نهايته. تم تثبيتها على ماسك لتحريكه باتجاه المحور العمودي. قُسم مدخل المجرى إلى خمسة أجزاء افتراضية [9]، كما موضح بالشكل (5)، وتم قياس السرعة عند مركز كل جزء وبحساب معدل تلك القيم نحصل على سرعة الهواء نظراً لتساوي مساحة الأجزاء الافتراضية. كذلك تم قياس سرعة الهواء عند مدخل الناشرة المفردة ومخرجها ولعدة مستويات عمودية على الجريان.

#### تحديد موقع الانفصال (X)

تم تحديد موقع الانفصال من خلال حركة الأهداب التي وضعت على السطح العلوي للناشرة المفردة بمواجهة اتجاه الجريان. وتم حساب موقع الانفصال من المعادلة الآتية:

$$X = x \cdot \cos\theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

X = موقع الانفصال باتجاه الجريان (cm).  
x = موقع الانفصال على السطح العلوي للناشرة (cm).

#### حساب عدد رينولدز (Re):

لحساب عدد رينولدز من المعادلة الآتية:

$$Re = U_{av} \times \frac{D_h}{\mu} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$D_h = 4 \times \frac{A}{P} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$D_h = 4 \times \frac{(W_1 \times b)}{(W_1 + b) \times 2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

#### حساب معامل إسترداد الضغط الإستاتي (Cp)

يعتبر معامل إسترداد الضغط الإستاتي (Static pressure recovery coefficient) من المحددات الواسعة الإستعمال في دراسة أداء الناشرات حيث أن [8]:

$$C_p = \frac{(P_{s2} - P_{s1})}{0.5 \times \rho_a \times U_1^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

كذلك تم حساب كثافة الهواء بالإعتماد على معادلة الغاز المثالي:

$$P_a = \rho_a \times R \times T_a \quad \dots\dots\dots (8)$$

T<sub>a</sub>: درجة حرارة الهواء في المختبر.  
R=0.287kJ/kg.K

بالضغط الإستاتي. كما تم قياس تغير الضغط الإستاتي ولعدة محاور عمودية على سطح الناشرة ولزوايا مختلفة.

ب- تم قياس السرعة بالاتجاهين الطولي والمستعرض على محور الجريان، وتبين من خلال التجارب أن منحنى توزيع السرعة كان متناظراً على جانبي محور الجريان للجزء الأول من المجرى وعلى مسافات مختلفة من بداية المجرى وعند أعداد رينولدز المحددة في البحث.

#### التجارب العملية وحساب النتائج

تضمنت إجراء تجارب لقياس تدرج الضغط الإستاتي على طول المجرى (P<sub>s</sub>) وسرعة الهواء (U) عند مدخل المجرى ومدخل ومخرج الناشرة ولخمس مستويات من عدد رينولدز (Re) تراوحت بين (1.64 × 10<sup>5</sup> - 6.85 × 10<sup>4</sup>) ولعدة زوايا (30°, 25°, 20°, 15°, 10°, 8°, 6°, 4°, 0°).

#### القياسات والحسابات الهيدرودينامية

##### قياس الضغط الإستاتي (P<sub>s</sub>)

أستخدمت فتحات جانبية لقياس تدرج الضغط الإستاتي (Static pressure gradient) الموزعة على طول السطح العلوي للمجرى حيث وزعت على مسافات محددة من بداية المجرى وكما مبين في الجدول أعلاه، والشكل (7) يوضح العلاقة بين الضغط الإستاتي ومعدل التدفق الحجمي. أستخدم جهاز (Digital micro manometer) لقياس ارتفاع الضغط الإستاتي (h<sub>s</sub>) لحساب الضغط الإستاتي باستخدام المعادلة الآتية [7]:

$$P_s = \rho_w \times g \times h_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

g: التعجيل الأرضي. (9.81 m/s<sup>2</sup>)

ρ<sub>w</sub>: كثافة الماء. (1000 kg/m<sup>3</sup>)

##### قياس معدل سرعة الهواء (U)

تم قياس سرعة الهواء عند مدخل المجرى وفي عدة نقاط تقع في مستوي واحد عمودي على محور الجريان وعلى بعد (1 cm) من مدخل المجرى أستخدم مقياس السلك الساخن (Hot-Wire Anemometer) لقياس السرعة بوحدات (m/s). حيث توجد خيوط التنكستن ضمن ثقب قطره (5 mm) يتم توجيه الثقب بمواجهة الجريان لقياس السرعة، كذلك يمكن من خلاله قياس درجة الحرارة من خلال وجود

**النتائج والمناقشة**

تم في هذا البحث دراسة تجريبية لمعرفة مدى تأثير تغير زاوية إنفراج الناشرة على موقع الإنفصال. حيث أجريت التجارب على الناشرة لزوايا اختبار تراوحت بين ( $0^\circ-30^\circ$ ) ولأعداد رينولدز تراوحت بين ( $6.85 \times 10^4 - 1.64 \times 10^5$ ). وقورنت نتائج التجارب نسبة لتغير زاوية إنفراج الناشرة .

**ظروف الجريان عند مدخل الناشرة :**

أعتمد في هذا البحث الجريان المنتظم عند مدخل كل من الناشرة لمختلف السرع ليتمكن تثبيت ظروف الجريان عند المدخل لمختلف الزوايا لإبعاد تأثير ظروف الجريان الداخل. الشكل (9) يوضح أن منحنى السرعة عند مدخل الناشرة متماثل لمختلف الزوايا ولأرقام رينولدز التي تتراوح بين ( $6.85 \times 10^4 - 1.64 \times 10^5$ ). حيث يزداد منحنى السرعة بزيادة عدد رينولدز عند المدخل. وهذا يدل على أن التجارب قد تمت تحت ظروف جريان متماثلة عند مدخل الناشرة.

**توزيع منحنى السرعة عند مخرج الناشرة:**  
توضح الأشكال (8) و (9) و (10) تغير منحنى السرعة عند مخرج الناشرة لزوايا الاختبار ( $4^\circ, 8^\circ, 10^\circ$ ) على التوالي ولأعداد رينولدز تراوحت بين ( $6.85 \times 10^4 - 1.64 \times 10^5$ ) ومن خلال مقارنة الزوايا مع بعضها يتضح أن مقدار السرعة يقل بزيادة زاوية إنفراج الناشرة. ويعزى ذلك إلى أن تأثير إنفراج الناشرة يؤدي إلى نقصان الطاقة المزودة للمائع والمتغلبة على خسائر الاحتكاك والجريان الثانوي نتيجة إنفصال المائع عن الجدران المتباعدة بشكل أكبر نسبة إلى المجرى المستطيل ( $\theta=0^\circ$ ) ، وبذلك تدعم الهدف من إستعمال الناشرة في المنظومات الميكانيكية والتي تعمل على تقليل سرعة المائع الخارج ورفع ضغطه بتحويل الطاقة الحركية للمائع إلى طاقة متمثلة برفع قيم معامل إسترداد الضغط الإستاتي وبأرتفاعه تكون الناشرة جيدة الأداء .

**العوامل المؤثرة على موقع الإنفصال**

يوجد عدد من العوامل المؤثرة على موقع إنفصال طبقات المائع عن الجدران المتباعدة

للناشرة مما يؤدي إلى تقليل معامل إسترداد الضغط الإستاتي ( $C_p$ ) وبالتالي على أداء الناشرة وكما يلي:

**تأثير زاوية إنفراج الناشرة على موقع الإنفصال :**

الشكل (12) يوضح تأثير زاوية إنفراج الناشرة على موقع الإنفصال مقارنة مع ( $\theta=10^\circ$ ) ولزوايا اختبار ( $15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) حيث يزداد موقع الإنفصال بزيادة عدد رينولدز وقد وُجد أن معدل نسب التأثير لتأخير موقع الإنفصال عند الزوايا ( $\theta=15^\circ$ ) و ( $\theta=20^\circ$ ) و ( $\theta=25^\circ$ ) و ( $\theta=30^\circ$ ) كان [ (38.2%) ، (79.46%) ، (85.37%) ، (88.28%) ] على التوالي .

وبذلك أتقت هذه النتائج مع النتائج التي حصل عليها الباحث (Amar) (2006) [8] عند إستخدامه ( $\theta=20^\circ$ ) و ( $\theta=30^\circ$ ) . حيث وُجد أن لزوايا الاختبار هذه يحصل اضطراب في طبيعة الجريان وبالتالي يقل موقع حدوث الإنفصال (X) مما يؤثر سلباً على معامل إسترداد الضغط الإستاتي ( $C_p$ ) .

ويعزى ذلك إلى أن تأثير زاوية إنفراج الناشرة يؤدي إلى زيادة في التدرج بالضغط الإستاتي ( $P_s$ ) وهذا يشجع على مقاومة جريان المائع ونقصان السرعة ، حيث يؤدي ذلك إلى إنفصال طبقات المائع عن الجدران المتباعدة للناشرة . ويقل موقع الإنفصال كلما تزداد زاوية إنفراج الناشرة .

**معامل إسترداد الضغط الإستاتي :**  
تعتبر دراسة معامل إسترداد الضغط الإستاتي ( $C_p$ ) من العوامل المهمة في تصميم الناشرة . وكما تم ذكره سابقاً فإن زاوية إنفراج الناشرة تلعب دوراً مهماً في معامل إسترداد الضغط الإستاتي ( $C_p$ ) .

الشكل (13) يوضح معامل إسترداد الضغط الإستاتي ( $C_p$ ) لزوايا إنفراج الناشرة ( $6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) مقارنة مع زاوية ( $\theta = 4^\circ$ ) ، حيث كان معدل تناقص نسب التأثير لمعامل إسترداد الضغط الإستاتي ( $C_p$ ) [(9.83 %) و (18.03 %) و (45.90 %) و (70.49 %) و (85.24 %) و (91.80 %) و (95.08 %) ] على التوالي . يتضح مما تبين أعلاه أن أعلى قيم لمعامل إسترداد الضغط الإستاتي ( $C_p$ ) عند زاوية ( $\theta = 4^\circ$ ) ولعدد رينولدز ( $Re = 6.85 \times 10^4$ ) ، ويبدأ



- Flow ” PH.D. thesis, Engineering School, Division of Mechanical and Aeronautical Engineering, Hatfield Polytechnic, Hemel Hempstead U.K. August 1983.
- [2] Paul, k. Chang “ Separation Of Flow” Volume 3. Department Of Mechanical Engineering . The Catholic University Of America, Washington, D.C, U.S.A., 1970.
- [3] Paul, K.Chang “Separation of Flow” Mc Graw Hill Book Com. First Edition, P.P (160 – 161), 1970.
- [4] زينة خليفة كاظم "تأثير الحزوز الطولية على كفاءة الناشرة ثنائية البعد" رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المكين والمعدات. الجامعة التكنولوجية 1991 .
- [5] Munir M.AL-Mudhafar, "The Proper Design Of Straight Rectangular Diffuser at Peak Pressure Recovery performance" First Seminar On Engineering applications Scientific Research A Mechanical Engineering” 11-14 Tourist City At Habbanya. April 1987.
- [6] Fox, R.W.and Kline,S.J “Flow Regime Data And Design Methods For Curved Subsonic Diffusers” Journal of Basic Engineering”, Vol.84 , Series D., PP(303-312) 1962.
- [7] Victor L.Streeter, E.Benjamin Wylie “Fluid Mechanics” First Metric Edition, Mc Graw-Hill Book Company, 1983.
- [8] عمار طه أحمد "دراسة عملية للجريان المضطرب وانتقال الحرارة في مجرى مقطعة مستطيلة تتوسطها ناشرة ذي نسب باعية مختلفة" رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المكين والمعدات - الجامعة التكنولوجية 2006.
- [9] Reneau, L.R.Johnston, J.P.and Kline, S.J. "Diffuser Design Manual: Part I, Performance And Design Of Straight, Two Dimensional Diffuser" Thermo Sciences Division, Department Of Mechanical Engineering, Stanford University, PP(2,47,56,81), 1964.

التناقص تدريجياً في قيم معامل إسترداد الضغط الإستاتي (Cp) ، وبشكل عام لكافة زوايا الإنفراج ما عدا زوايا الإنفراج ( $20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) فإنه يحدث إضطراب في طبيعة الجريان نتيجة للإنفصال المبكر لطبقات المائع عن جدار الناشرة . ويزداد هذا الأضطراب مع زيادة زاوية الإنفراج . ونتيجة لذلك فإن قيمة الضغط الإستاتي ( $P_s$ ) تزداد بنسب واطئة وتستمر الزيادة في الضغط إلى ما بعد الناشرة بمسافة وهذه النتيجة تتوافق مع نتائج (Kline et al.) (1964) [9] .

أن سرعة المائع تبدأ بالإنظام في المقطع ثابت المساحة ، حيث أن مساحة المقطع بعد الناشرة أكبر من مساحة المقطع قبل الناشرة فإن متوسط سرعة الجريان ستكون أقل بعد الناشرة وكذلك الضغط الدينامي مما يؤدي إلى زيادة الضغط الإستاتي .

#### الإستنتاجات :

تضمن هذا البحث إجراء دراسة تطبيقية لتحديد تأثير تغير زاوية الإنفراج على موقع الإنفصال لناشرة ثنائية البعد ، بعد مناقشة النتائج وُجد أن لزاوية الإنفراج تأثير واضح على أداء الناشرة وكما يلي :

1- يتأخر موقع حدوث الإنفصال كلما تقل زاوية إنفراج الناشرة المفردة ، حيث كان أعلى بُعد لموقع الإنفصال ( $X = 35.45 \text{ cm}$ ) عند ( $\theta = 10^\circ$ ) وعدد رينولز ( $Re = 1.64 \times 10^5$ ) ، وأقل بُعد ( $X = 2.6 \text{ cm}$ ) عند ( $\theta = 30^\circ$ ) وعدد رينولز ( $Re = 6.85 \times 10^4$ ) .

2- يتأخر موقع حدوث الإنفصال بزيادة عدد رينولز ( $Re$ ) ، حيث كان أعلى بُعد لموقع الإنفصال ( $X$ ) عند ( $Re = 1.64 \times 10^5$ ) ، وأقل بُعد عند ( $Re = 6.85 \times 10^4$ ) ، لمختلف الزوايا ولجميع الحالات . ويعزى ذلك لنقصان الضغط الإستاتي بسبب زيادة سرعة الجريان .

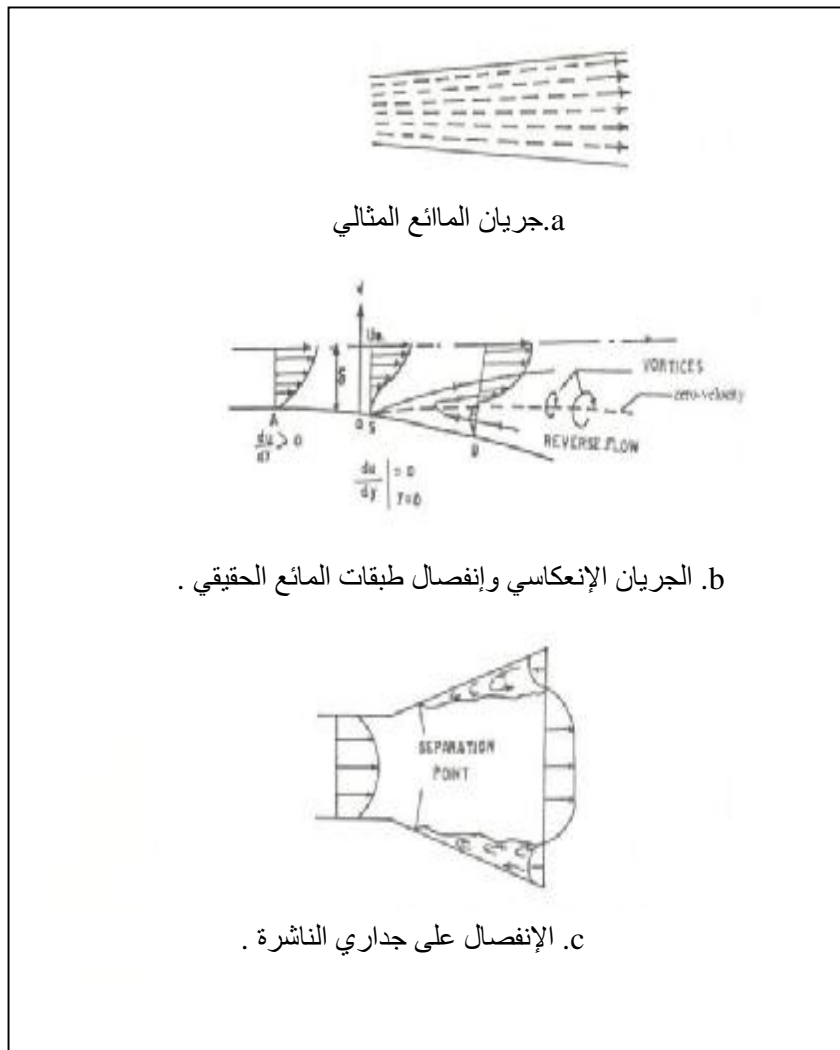
3- معامل إسترداد الضغط الإستاتي (Cp) يزداد كلما قلت زاوية إنفراج الناشرة المفردة وعدد رينولز ، وكان أعلى معدل لمعامل إسترداد الضغط الأستاتي ( $Cp = 0.61$ ) عند ( $\theta = 4^\circ$ ) ، وأقل معدل ( $Cp = 0.03$ ) عند ( $\theta = 30^\circ$ ) .

#### المصادر

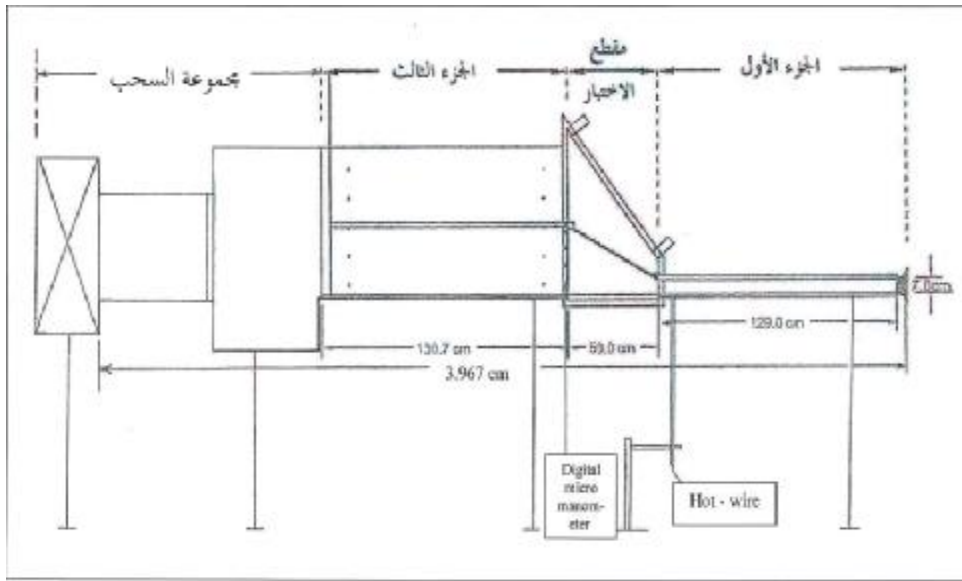
- [1] M.R.AL- Mudhafar, "Investigation Of The Performance Of A Two - Dimensional Diffuser In Non-Uniform

No.	X cm
1	1
2	128
3	182
4	185
5	188
6	191

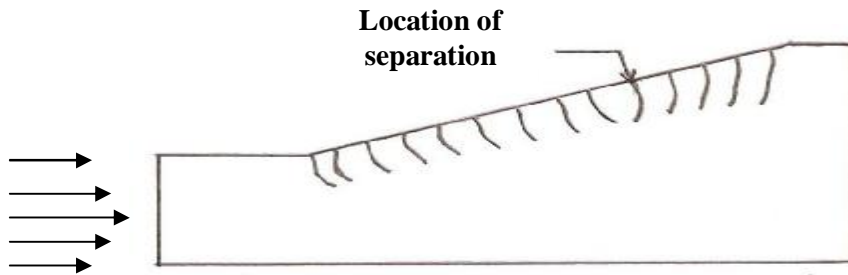
جدول (1) الأبعاد المخصصة لقياس السرعة والضغط الإستاتي .



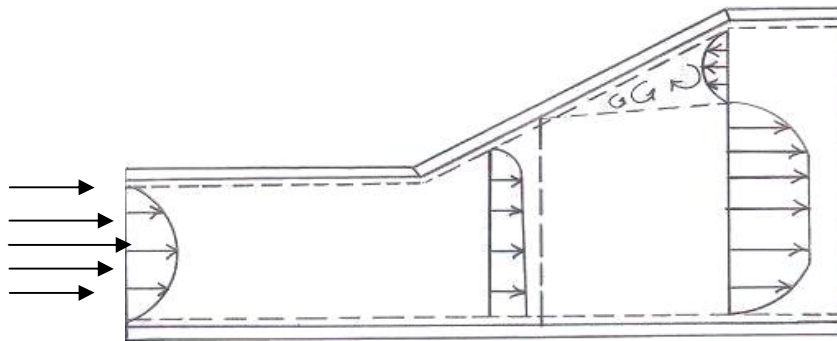
الشكل (1) أنواع الإنفصال في الناشرة . [2]



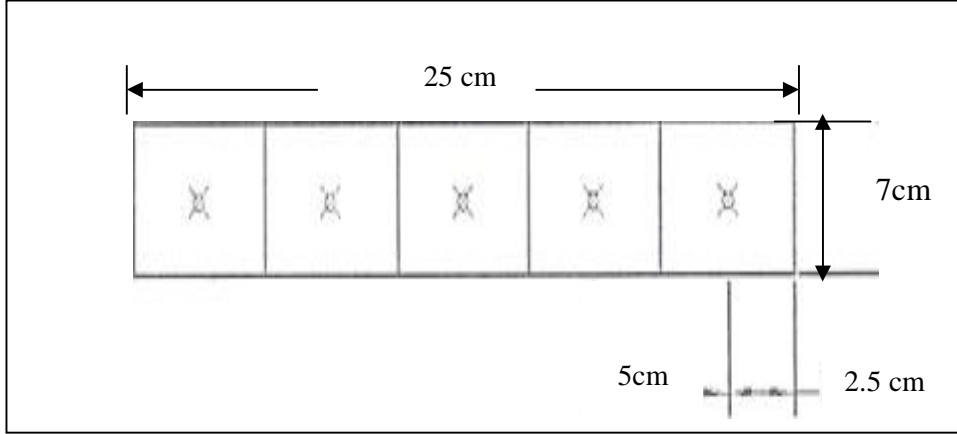
الشكل (2) مخطط تفصيلي لجهاز الإختبار .



الشكل (3) حركة الأهداب في الناشرة المفردة . إتجاه الجريان



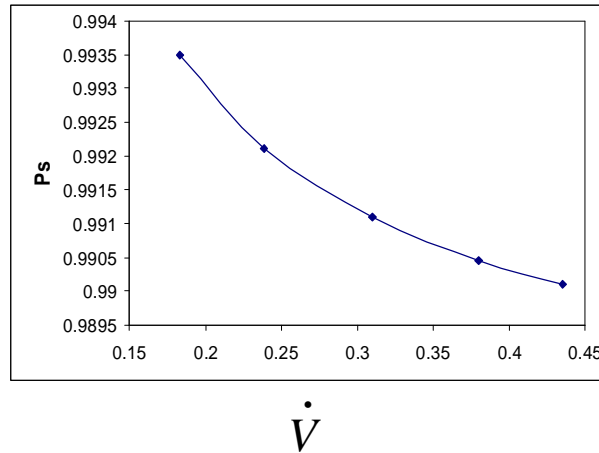
الشكل (4) توزيع منحنى السرعة وموقع الانفصال داخل الناشرة المفردة.



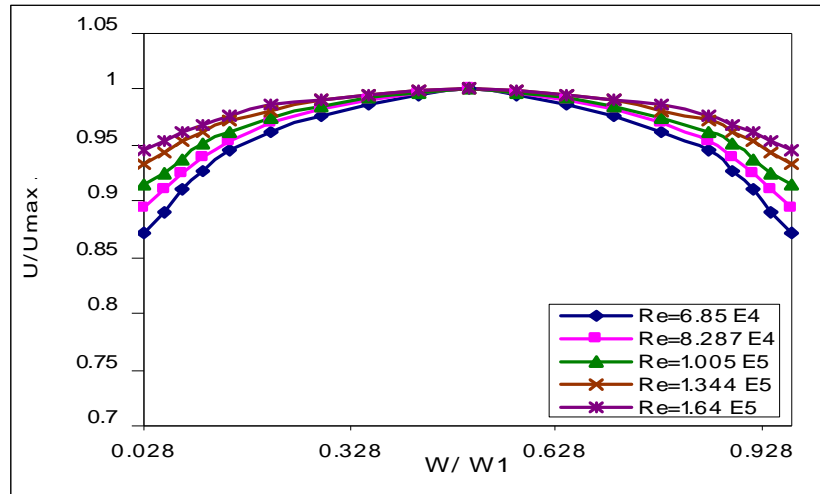
الشكل (5) شكل توضيحي لتقسيم مدخل المجرى ونقاط قياس السرعة .



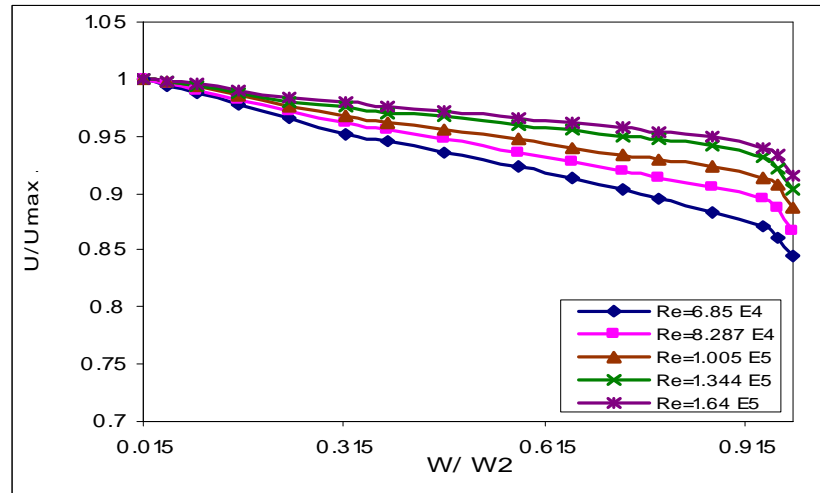
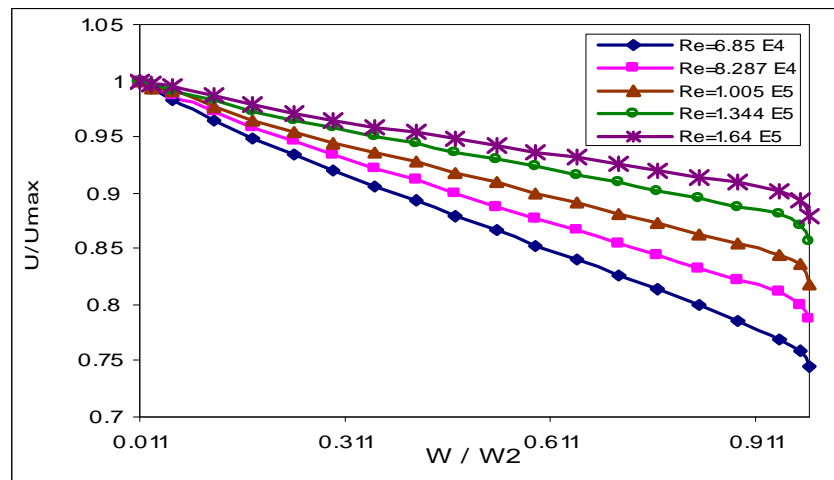
الشكل (6) شهادة معايرة لجهاز قياس السرعة (Hot-Wire Anemometer) .

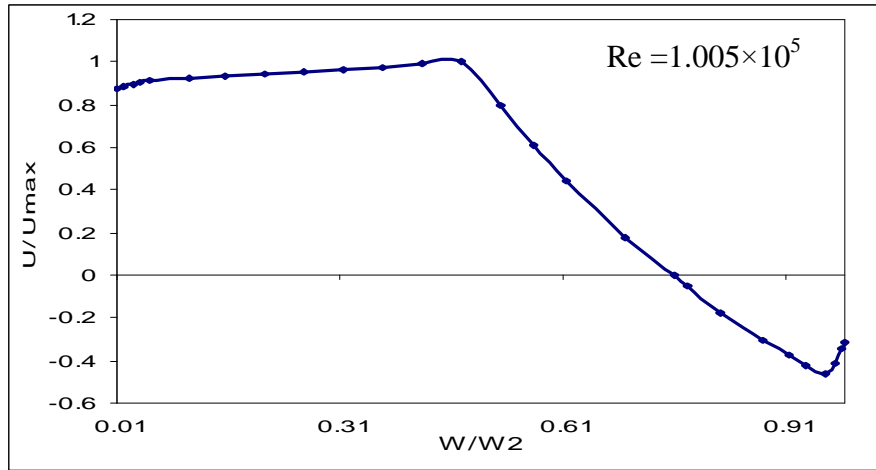


الشكل (7) العلاقة بين معدل التدفق الحجمي لساحبة الهواء والضغط الإستاتي .

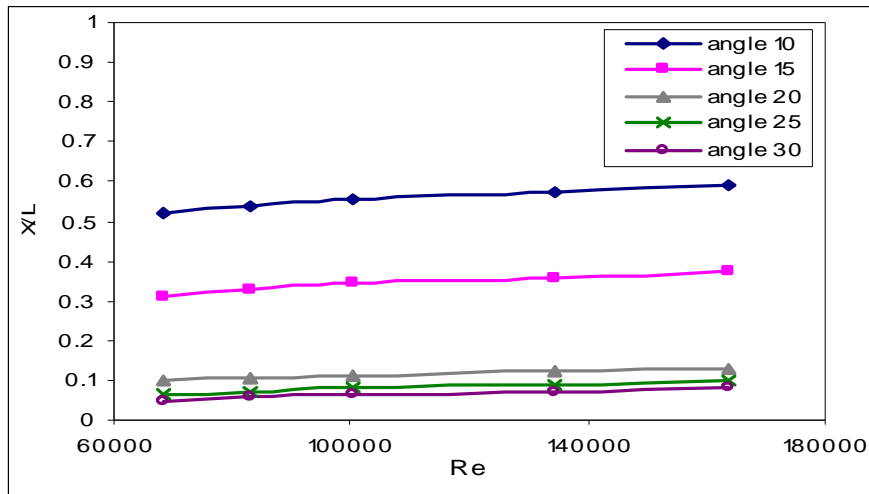


الشكل (8) يوضح توزيع السرعة عند مدخل الناشرة لمختلف أعداد رينولدز المحددة في البحث .

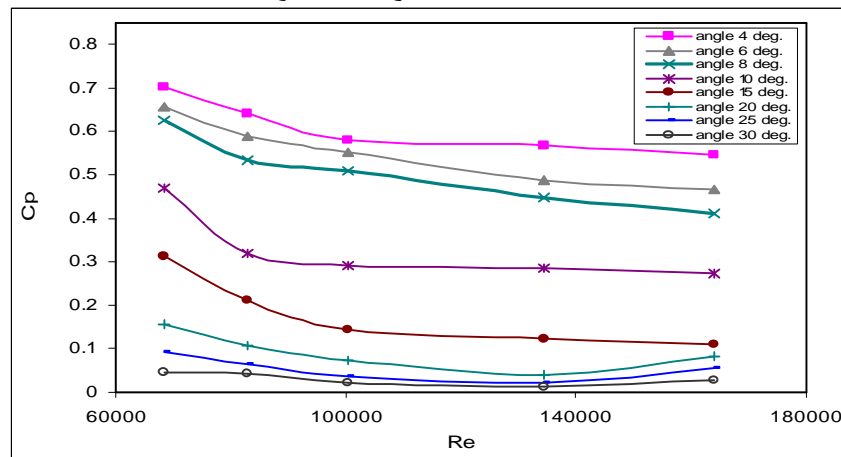
الشكل (9) يوضح توزيع السرعة عند مخرج الناشرة لزاوية إنفراج  $(\theta=4^\circ)$ .الشكل (10) يوضح توزيع السرعة عند مخرج الناشرة لزاوية إنفراج  $(\theta=8^\circ)$ .



الشكل (11) يوضح توزيع السرعة لمخرج الناشرة عند زاوية  $(\theta=10^\circ)$  وعدد رينولدز  $(1.005 \times 10^5)$ .



الشكل (12) تأثير تغيير زاوية الإنفراج على موقع الإنفصال للناشرة .



الشكل (13) تأثير تغيير زاوية إنفراج الناشرة على قيمة معامل إسترداد الضغط الإستاتي (Cp) ولأعداد رينولدز  $(6.85 \times 10^4 - 1.64 \times 10^5)$  .