

نمذجة حاقن بخاري تفرغي بطريقة CFD ودراسة تغير بارامترات الجريان داخله.

سهام عساف*

(تاريخ الإيداع 27 / 4 / 2014. قُبل للنشر في 26 / 6 / 2014)

□ ملخص □

تعد عملية التصميم والتحليل للآلات الميكانيكية عملية مكلفة وتحتاج وقتاً طويلاً وإمكانات كثيرة للوصول إلى التصميم الأمثل الممكن استثماره صناعياً، لذلك فإن تقنية CFD توفر رديفاً قوياً للمخابر البحثية لأنها أكثر فعالية وأقل كلفة، ويعمل على محاكاة الظواهر الفيزيائية المعقدة للموائع التي يصعب اختبارها عن طريق التجارب. يهدف هذا البحث إلى تصميم حاقن بخاري بطريقة CFD ودراسة توزع البارامترات E, P, V, T, ρ ورقم ماخ ضمن الحاقن، دراسة تأثير سرعة التيار المحرّض Motive stream على الجريان ضمن الحاقن، حيث تمت دراسة تغيّرات السرعة لهذا الجريان من (170-1000m/s)، ودراسة تأثير قطر فوهة اختناق الحاقن على بارامترات الجريان ضمن المجال $[D_n/D_{in} = (0.01-0.09)]$ ، ودراسة تأثير سرعة التيار المتحرّض propelled stream على بارامترات الجريان ضمن الحاقن. لقد تبين أن سرعة الجريان تزيد بإنقاص نسبة الأقطار و بزيادة الضغط أيضاً.

الكلمات المفتاحية: حاقن، تخلخلي، بارامترات، تدفق.

* مشرفة على الأعمال - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Jet stem vacuum simulation using CFD and studying the change of the flow of parametrates inside.

Siham Assaf^{*}

(Received 27 / 4 / 2014. Accepted 26 / 4 / 2014)

□ ABSTRACT □

The design and analysis of mechanical machines is an expensive process and it needs a lot of time and abilities to reach the possible perfect design which can be adapted industrially.

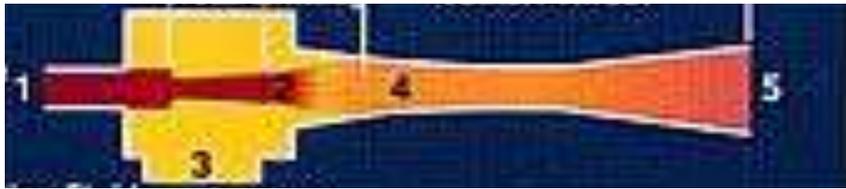
The technique of CFD is a strong supporter to research laboratories being more effective and less inexpensive, and it works to solve the complex physical phenomena of fluids which are difficult to examine through experiments. This research aims to design a steam jet using CFD the change of the flow of parametrates inside and Mach inside the jet. the research also aims to study the effect of the motive stream on the flow inside the jet. The study of the speed changes of this flow has been examined from (170-1000m/s) and the study of the diameter jet nosel effect on the parametrates flow within $[D_n/D_{in} = (0.01-0.09)]$ and finly the study the of the effect of propelled stream speed on the parametrates flow inside the jet.the motive velocity increases from during lower diameter ratio and the motive velocity increases from during increases the pressure.

Key Words: jet, vacuum, parametrates, flow.

^{*}Management Supervisor, Department of Mechanical power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

الحاقن البخاري هو نوع من المضخة التفريغية أو المنضغطة، لايحوي صمامات أو أجزاء دوارة أو أي أجزاء متحركة أخرى لذلك فهي تعد آلة منخفضة التكاليف نسبياً وسهلة التأسيس والاستعمال ولا تتطلب إلى صيانة متكررة. وفيه غرفة الامتصاص تكون متصلة بخط الأنابيب أو الأوعية التي يتم التفريغ فيها. وقد يكون الغاز الذي يصل إلى غرفة الامتصاص ناتجاً عن أي مائع (غاز أو سائل)، فالمهم أن يكون هذا المائع متلائماً مع البخار ومكونات الجهاز. وتصمم حاقنات البخار لتحويل طاقة الضغط للسائل المحرّض (المحرّك) إلى طاقة سرعة تؤدي إلى امتصاص السائل (التدفق المسحوب) يسمى السائل المتحرّض ومن ثم إعادة ضغط السوائل المختلطة بوساطة طاقة السرعة المتحولة مرة ثانية إلى طاقة الضغط. كما هو مبين في الشكل (1). حيث يدخل السائل المحرّض العالي الضغط إلى النقطة 1 فيتمدد عبر المنفذ المتباعد ليصل إلى النقطة 2، بعد ذلك يدخل السائل المتحرّض ليصل إلى النقطة 3 ويمتزج مع السائل المندفَع من النقطة 1 في حجرة الخلط رقم 4، بعد ذلك وعن طريق الناشرة يعاد ضغط السائلين ويوجهان إلى النقطة 5 وهذا التعبير من عمود الضغط إلى شحنة السرعة يعد الأساس في عمل الحواقن التفريغية [1].



الشكل (1): يبين مبدأ عمل الحاقن.

إذا تتألف الحواقن من ثلاثة أجزاء رئيسية: الفوهة، وحجرة الخلط، والناشرة.

وهناك عدة أنواع للحواقن [2]:

- الحواقن أحادية المرحلة الشكل (2).
- الحواقن عديدة المراحل وغير المكثفة.
- الحواقن عديدة المراحل والتكثيفية.
- حواقن عديدة المراحل تكثيفية وغير تكثيفية.



الشكل (2) حاقن أحادي المرحلة.

تعدّ الحواقن البخارية ذات أهمية كبيرة وذات استخدامات كثيرة في مجال الصناعة، حيث تكمن أهميتها :
 1- في أنه وسيلة اقتصادية في نقل الغازات بين مستويات ضغط مختلفة. 2 - ويمكن الاستفادة من طاقة الغازات إلى أقصى حد ممكن. 3- وتساعد في تخفيف الضجة أثناء العمل. 4- وتخفيض أخطار الصيانة الممكن حدوثها نتيجة لعمليات الصيانة المتكررة.

ومن استخداماتها:

- 1- الفلترة (filtration).
- 2- تحلية المياه (desalination).
- 3- التبخير (evaporation).
- 4- التجفيف (drying).
- 5- تقطير تخلخلي (vacuum distillation).

أهمية البحث وأهدافه:

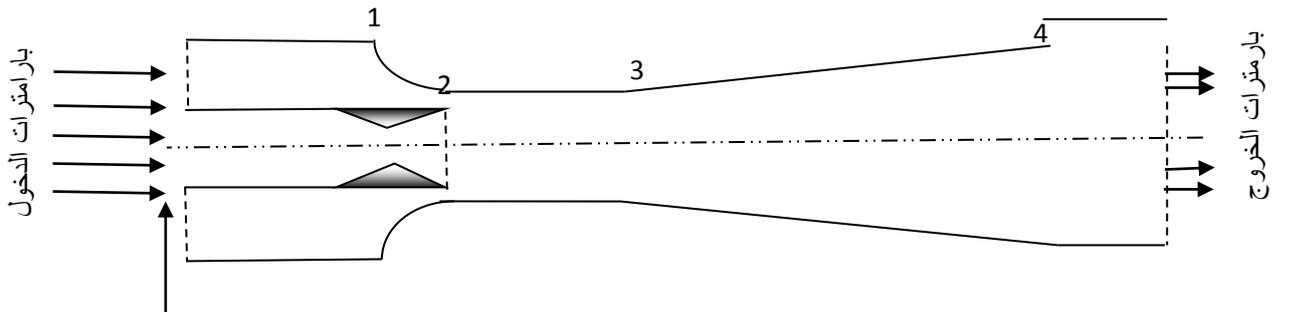
بعد التصميم المؤسس على المحاكاة بدلاً من التصنيع والاختبار أقل كلفة وأكثر سرعة من الطرق التجريبية، ويمكن الحصول على بنك معلومات هائل يساعد في اكتشاف مواقع الخلل في نمذجة حقن الجريان، ومحاكاة الظواهر الفيزيائية المعقدة التي يصعب اختبارها عن طريق التجارب. لذلك انطلقاً من أهمية الحواقن البخارية في استخداماتها العديدة في مجال الصناعة تمّ العمل على تصميم حاقن بخاري بطريقة CFD ودراسة توزع مختلف البارامترات ضمن الحاقن. لقد تمّت هذه الدراسة في مخبر البحث العلمي في كلية الهندسة الميكانيكية في جامعة تشرين في الفترة (2013-2014) .

طرائق البحث ومواده:

تمّ تصميم حاقن بخاري ذي الإحداثيات التالية الموضحة في الجدول (1):

الجدول (1).

رقم النقطة	الإحداثي X[mm] للنقطة	الإحداثي Y[mm] للنقطة
1	0	105.7783
2	97.79	39.8653
3	1,367.79	39.8653
4	2,442.21	105.7783



يتم تصميم الحاقن باستخدام برنامجي (Fluent, Gambit) وهما برنامجان مختصان في الحلول العددية لمسائل ميكانيك الموائع وانتقال الحرارة بطريقة الحجم المتناهية حيث يعتمد هذان البرنامجان في الحل على الخطوات الآتية:

1. إن الحلول العددية للمعادلات التفاضلية الجزئية النازمة لانتقال الحرارة وميكانيك الموائع تتطلب تقطيع حقل الجريان إلى مجموعة من النقاط (عقد) أو من الحجم المتناهية (خلايا).
 2. يتم تقريب المعادلات التفاضلية الجزئية بمعادلات جبرية عند هذه العقد أو الخلايا والتي يمكن حلها لإنتاج قيم عددية لمحاولات الجريان عند كل عقدة أو خلية.
 3. الشبكة الحسابية: هي عملية نقل الإحداثيات من المجال الهندسي الفيزيائي غير المنتظم وغير المتعامد (x, y, z, t) إلى مجال حسابي منطقي منتظم ومتعامد (ξ, η, ζ, τ) .
 4. المعالجة النهائية: هي عملية الإظهار والتحليل للحل الناتج على حقل الجريان كاملاً مثل (خطوط والتيار، وأشعة السرعة، وخطوط الضغط، وخطوط الحرارة المتساوية) وكذلك معرفة مدى الخطأ المرتكب في مثل هذه الحلول.
- في مثالنا هذا قمنا بالخطوات التالية: 1- تم تصميم الشكل الهندسي لحاقن ثنائي الأبعاد متناظر حول محور التناظر باستخدام Gambit. 2- اخترنا 2D من Fluent. 3- وضعنا الشروط الحدية المناسبة للنموذج المدروس لتحقيق الدقة العالية للحل في Fluent. 4- معرفة العدد المثالي لعناصر الشبكة الحسابية لأن عدد العناصر يؤثر على نوعية النتائج. 5- بعد الحل لابد من تعميم الشبكة. 6- يجب أن تكون عدد خطوات الحل مثالية لأن عدد الخطوات يؤثر على التقارب في الحل.

تم استخدام بخار الماء ذو البارامترات (درجة حرارة 500K، ضغط الدخول 10bar و ضغط متحرّض 1bar). في هذا البرنامج لابد من استخدام نماذج الاضطراب المناسبة حيث تم استخدام النموذج RANS: (معادلات نافير ستوكس الوسطية بطريقة رينولدز): تتنبأ ببنية الجريان الأساسية، وهو فعال ضمن الطبقة الحدية ولكنه مكلف عند مناطق الانفصال. معادلات الجريان المستخدمة في الحل [3,4]:

الصيغة العامة لمعادلات نافير-ستوكس المستخدمة في حل معادلات الجريان المعادلة (1).

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = \oint_A \Gamma \nabla \phi \cdot d\mathbf{A} + \int_V S_\phi \epsilon \quad (1)$$

معادلة نافير-ستوكس للجريانات القابلة للانضغاط المعادلة (2).

$$\frac{dq_i}{dt} = f_i - \frac{1}{\rho} p_{,i} + \frac{1}{3} \frac{\tilde{\mu}}{\rho} q_{j,ji} + \frac{\tilde{\mu}}{\rho} q_{i,jj} \quad (2)$$

معادلة الحركة مع فرض المائع متناسق الخواص والحرارة ونيوتوني المعادلة (3).

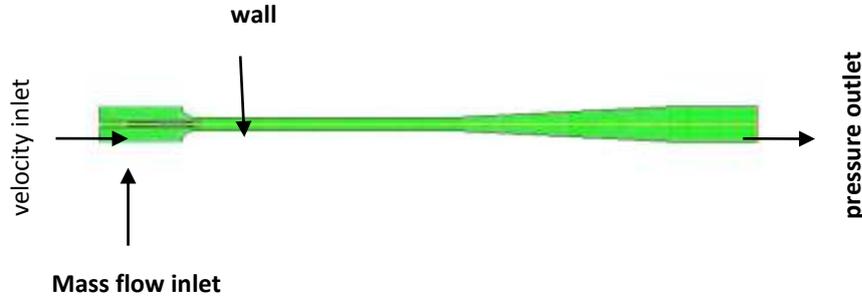
$$\sigma_{ij} = -(p - \tilde{\lambda} \epsilon_{kk}) \delta_{ij} + 2\tilde{\mu} \epsilon_{ij} \quad (3)$$

معادلة توزيع الإجهاد داخل الجريان القابل للانضغاط المعادلة (4).

$$\frac{dq_i}{dt} = f_i - \frac{1}{\rho} p_{,i} + \frac{\tilde{\mu} + \tilde{\lambda}}{\rho} q_{j,ji} + \frac{\tilde{\mu}}{\rho} q_{i,jj}. \quad (4)$$

حيث: ϕ : متغير حسب نوع المعادلة. f : القوى الداخلية والخارجية المؤثرة على الجريان. ρ : تابع كمون الجريان. σ : الإجهادات الداخلية الموجودة ضمن الجريان. ϵ : مقدار التشوه أو تغير الشكل ضمن الجريان الناتج عن الإجهادات، μ : اللزوجة، q : التدفق خلال وحدة الزمن. jz : أشعة الواحدة على المحاور الإحداثية. S : مساحة السطح العنصري الذي تمت الدراسة عليه.

يعتمد برنامج (Fluent) على طريقة العناصر المنتهية حيث تقوم بتشكيل شبكة العناصر المنتهية (Mesh) لفضاء الجريان داخل الحاقن، وتحديد الشروط الحدية اللازمة لنمذجة الحاقن كما في الشكل (3)؛ حيث الشروط الحدية ضرورية للبدء بإجراء الحل العددي [5].



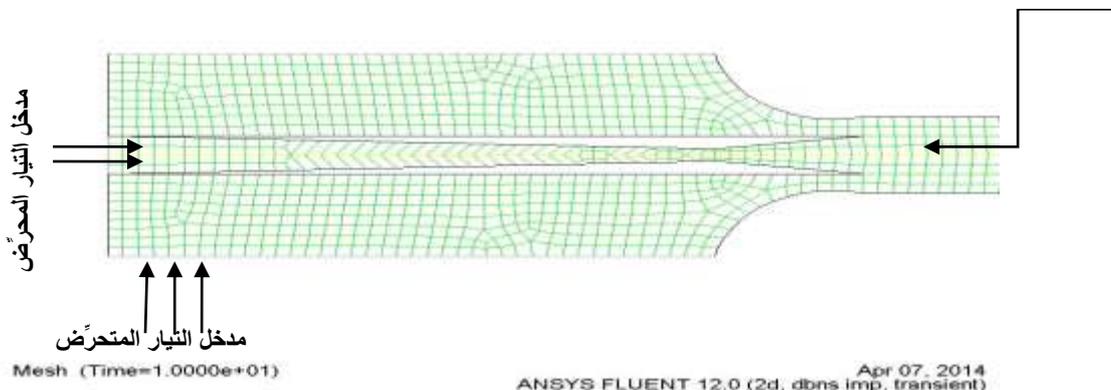
Mesh (Time=1.0000e+01) ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient) Apr 07, 2014

الشكل (3) تقسيم الحاقن إلى شبكة عناصر وتحديد الشروط الحدية اللازمة للنمذجة.

الشكل (4) يظهر اختناق الحاقن و مدخل الجريان المحرّض و المتحرّض.



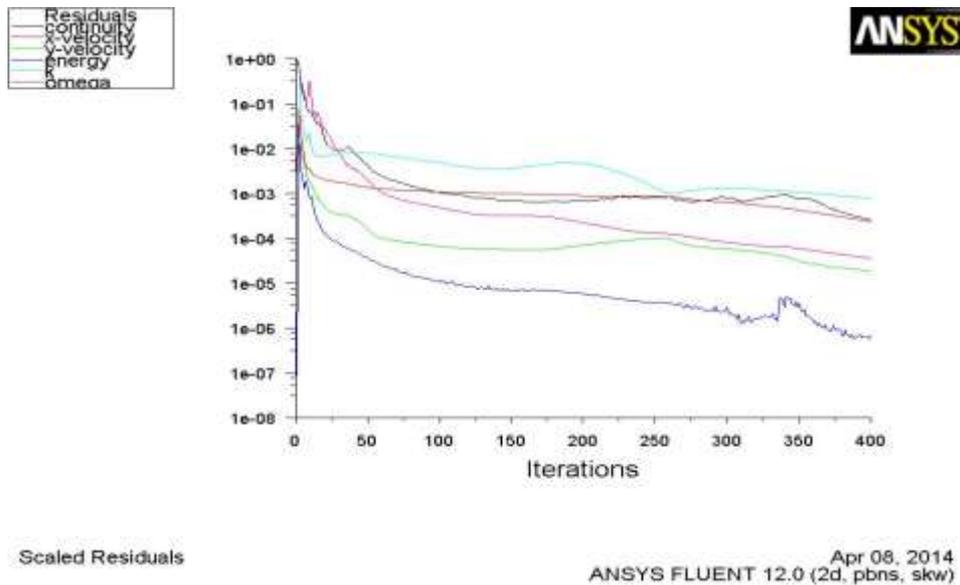
اختناق الحاقن



Mesh (Time=1.0000e+01) ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient) Apr 07, 2014

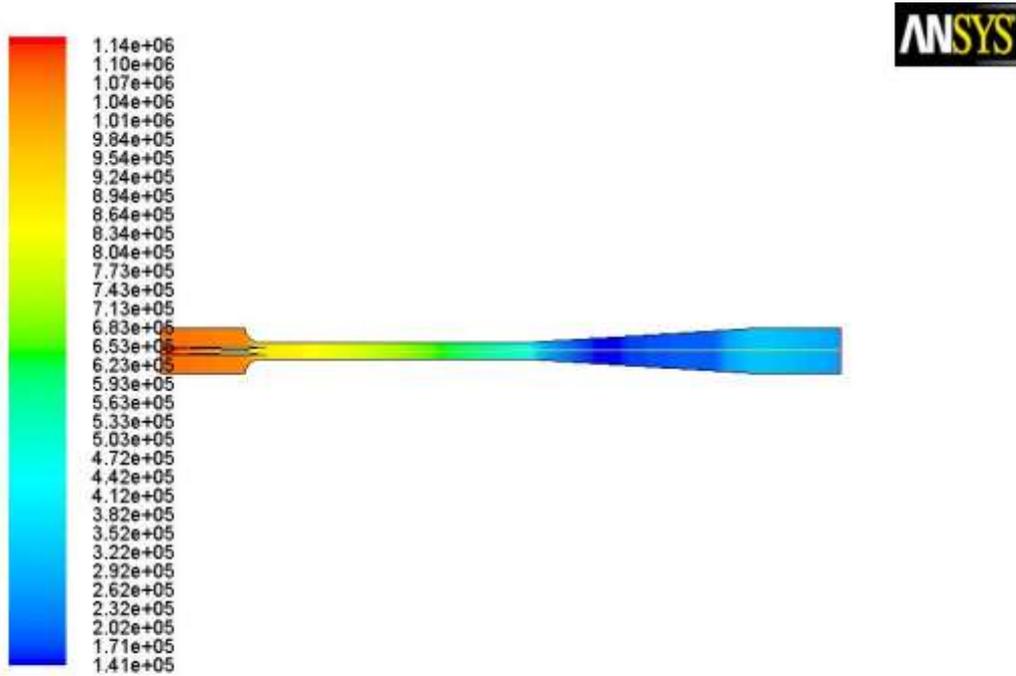
الشكل (4) يبين اختناق الحاقن و مدخل الجريان المحرّض و المتحرّض.

الشكل (5) مثال عن درجة تقارب الحل الرقمي أثناء حلّ معادلات الجريان.



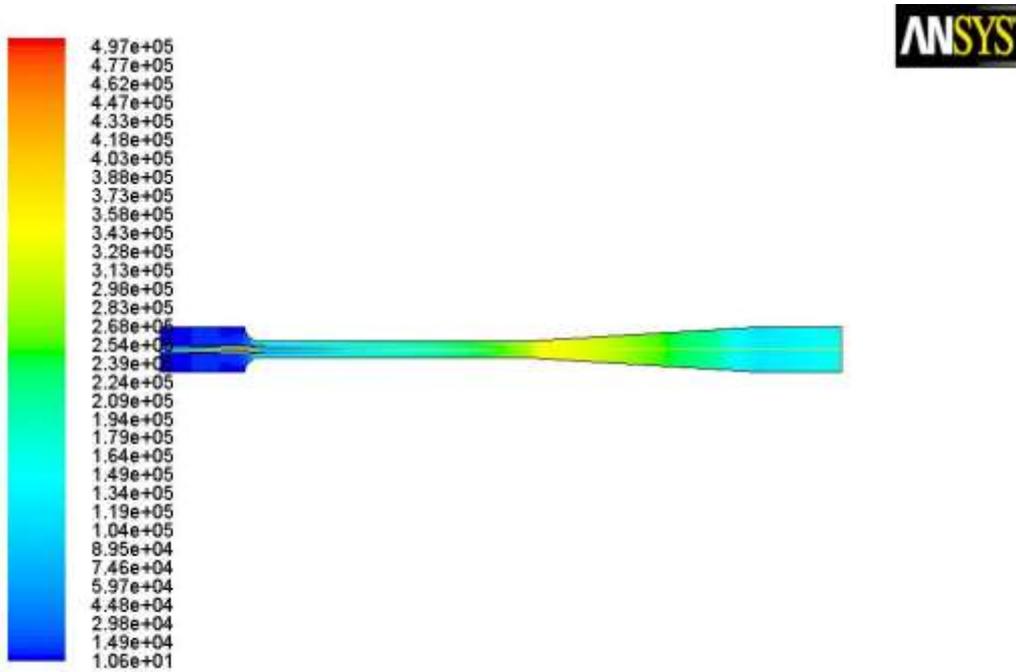
الشكل (5) مثال عن درجة تقارب الحل الرقمي أثناء حل معادلات الجريان.

سيقوم برنامج (Fluent) بحل المعادلات [6]: (حفظ الكتلة، حفظ كمية الحركة، ومعادلة الطاقة، والمعادلات الخاصة بنموذج الاضطراب المستخدم). بعد إجراء الحل العددي والوصول إلى الدقة المناسبة نستخرج النتائج، ونعرض عينة من هذه النتائج (سطوح مناسب، وأشعة سرعة، وخطوط جريان، ودرجة حرارة، وكثافة مائع) ضمن الحاقن حيث: (نسبة قطر مدخل الحاقن إلى قطر الاختناق 0.03 ، تدفق التيار المتحرّض 0.02 kg/s وسرعة التيار المحرّض 175m/S) هذه النتائج معروضة في الأشكال (6,7,8,9,10,11,12,13) نعرض النتائج بواسطة التمايز اللوني حيث تظهر القيم العليا للبارامترات المدروسة (P, V, ρ, μ) باللون الأحمر والقيم الدنيا باللون البنفسجي والتدرجات فيما بينها تؤدي إلى تدرجات اللون، حيث مقياس موجود على يسار كل شكل يبين قيمة البارامتر المعادلة لكل لون.



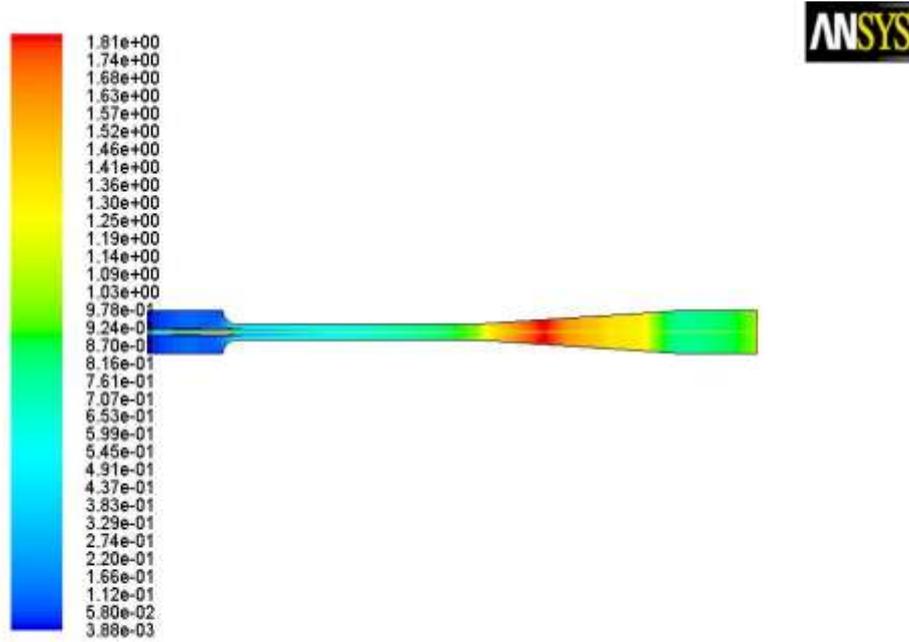
Contours of Static Pressure (pascal) (Time=1.0000e+01) Apr 07, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient)

الشكل (6): توزع سطوح المناسب للضغط الستاتيكي ضمن الحاقن.



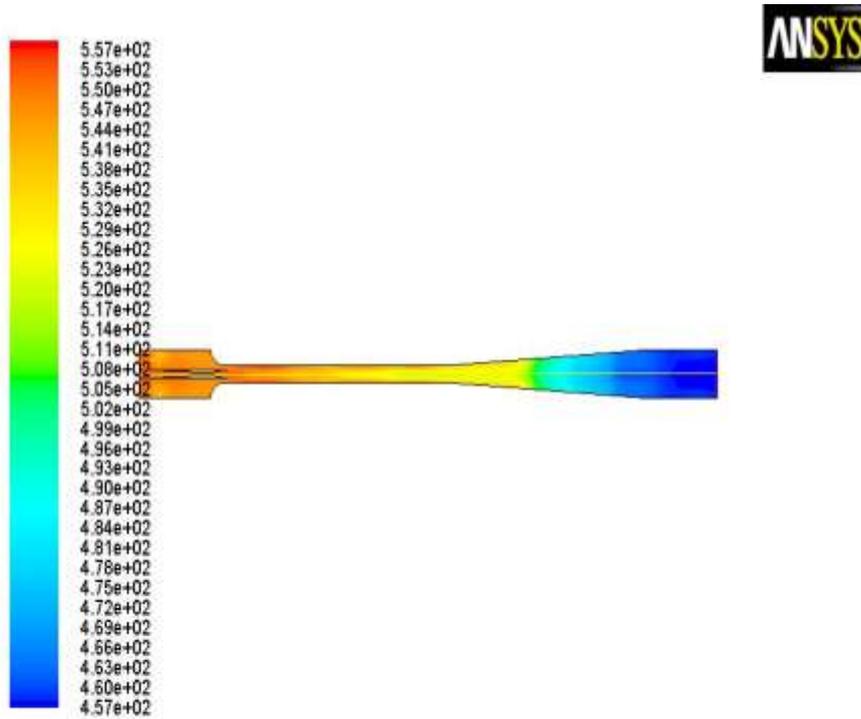
Contours of Dynamic Pressure (pascal) (Time=1.0000e+01) Apr 07, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient)

الشكل (7): توزع سطوح المناسب للضغط الديناميكي للحاقن.



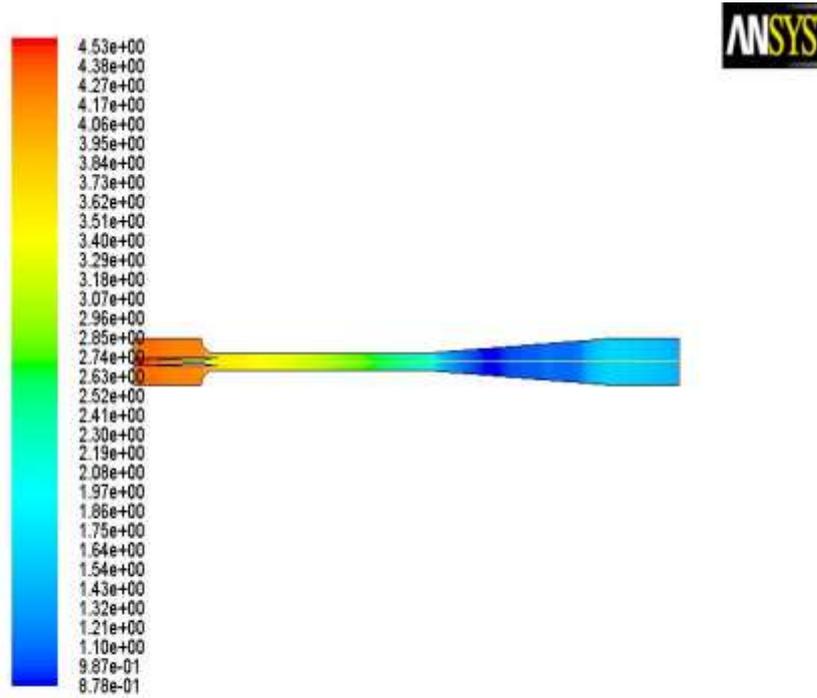
Contours of Mach Number (Time=1.0000e+01) ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient) Apr 07, 2014

الشكل(8): توزيع سطوح مناسب رقم ماخ ضمن الحاقن.



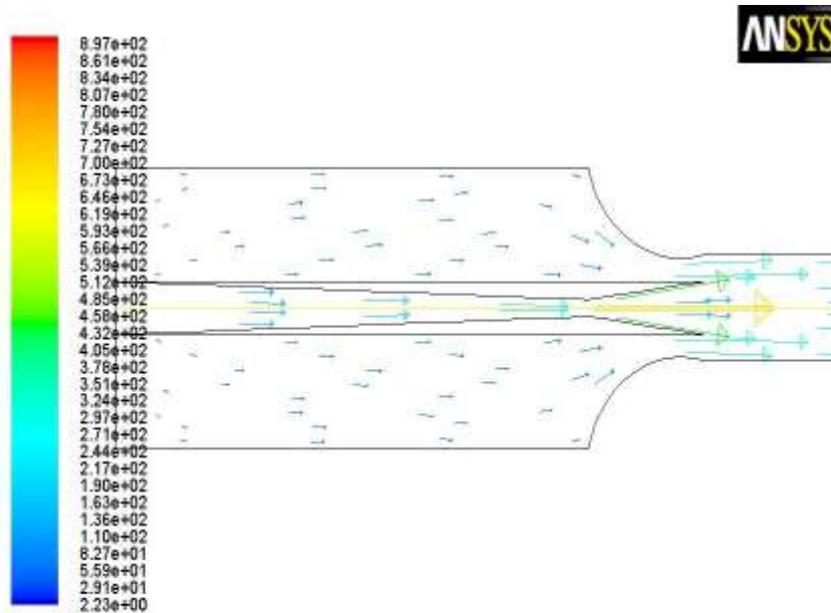
Contours of Total Temperature (k) (Time=1.0000e+01) ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient) Apr 07, 2014

الشكل(9): توزع درجة الحرارة ضمن الحاقن.



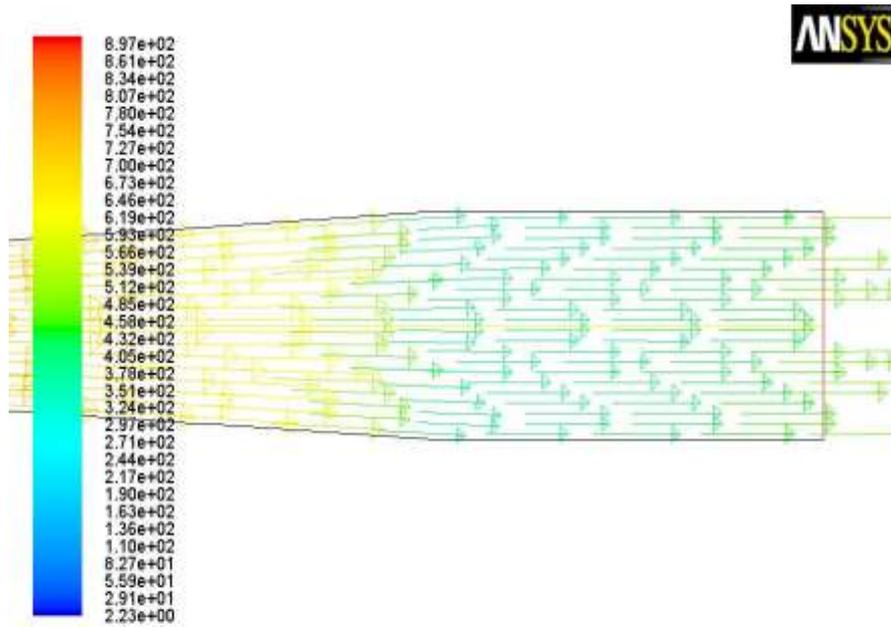
Contours of Density (kg/m3) (Time=1.0000e+01) Apr 07, 2014
 ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient)

الشكل(10): اختلاف كثافة المائع ضمن الحاقن



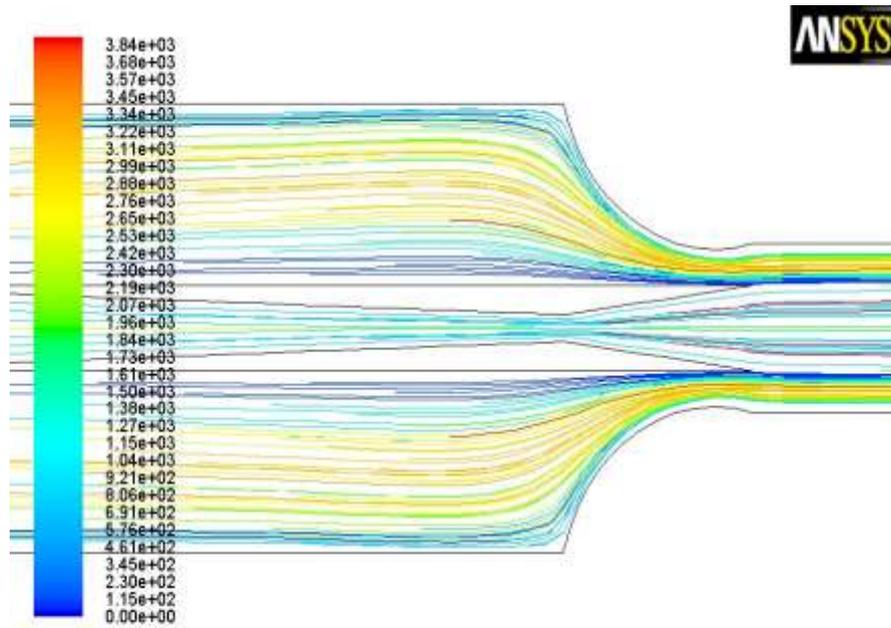
Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=1.0000e+01) Apr 07, 2014
 ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient)

الشكل(11): أشعة سرعة الجريان ضمن الحاقن.



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=1.0000e+01) Apr 07, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient)

الشكل(12): أشعة سرعة الجريان عند فوهة الحاقن.



Pathlines Colored by Particle ID (Time=1.0000e+01) Apr 07, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient)

الشكل(13): خطوط جريان المانع ضمن الحاقن.

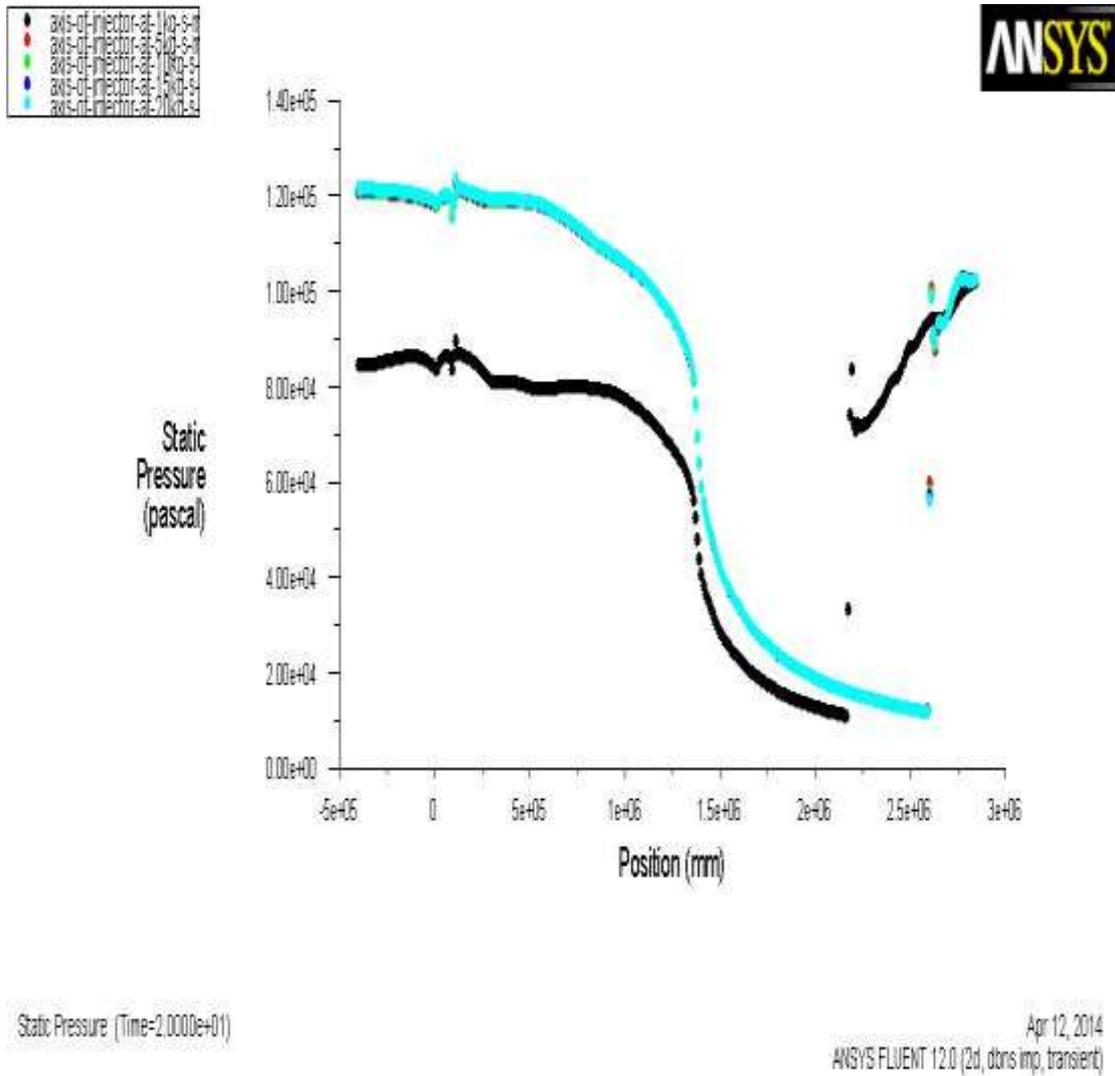
النتائج والمناقشة:

لقد تمت الدراسة في هذا البحث على ثلاثة محاور:

أولاً: دراسة تأثير كمية تدفق الجريان المحرّض على توزيع الضغط، وتغير رقم ماخ، والحرارة عند المخرج . تم

تثبيت سرعة الجريان المتحرّض عند 0.01m/s و تغيير سرعة التيار المحرّض من {175, 1000 m/s}

(1) - تمّ تغيير كمية تدفق الجريان المحرّض من 1kg/s إلى 20kg/s و تمت دراسة تغيرات حقل الضغط حيث نلاحظ أنه مع زيادة التدفق ترتفع عتبة الضغط عند أول الحاقن قليلا و لكنها تبقى ثابتة بعدها و يكون توزيع الضغط متشابهاً على محور الحاقن إلا أنه يتم تأخير حصول الهبوط المفاجئ للضغط بالنسبة للمحور الطولي للحاقن؛ أي تتغير منطقة حصول هذا الهبوط مع زيادة التدفق كما يوضح الشكل (14).

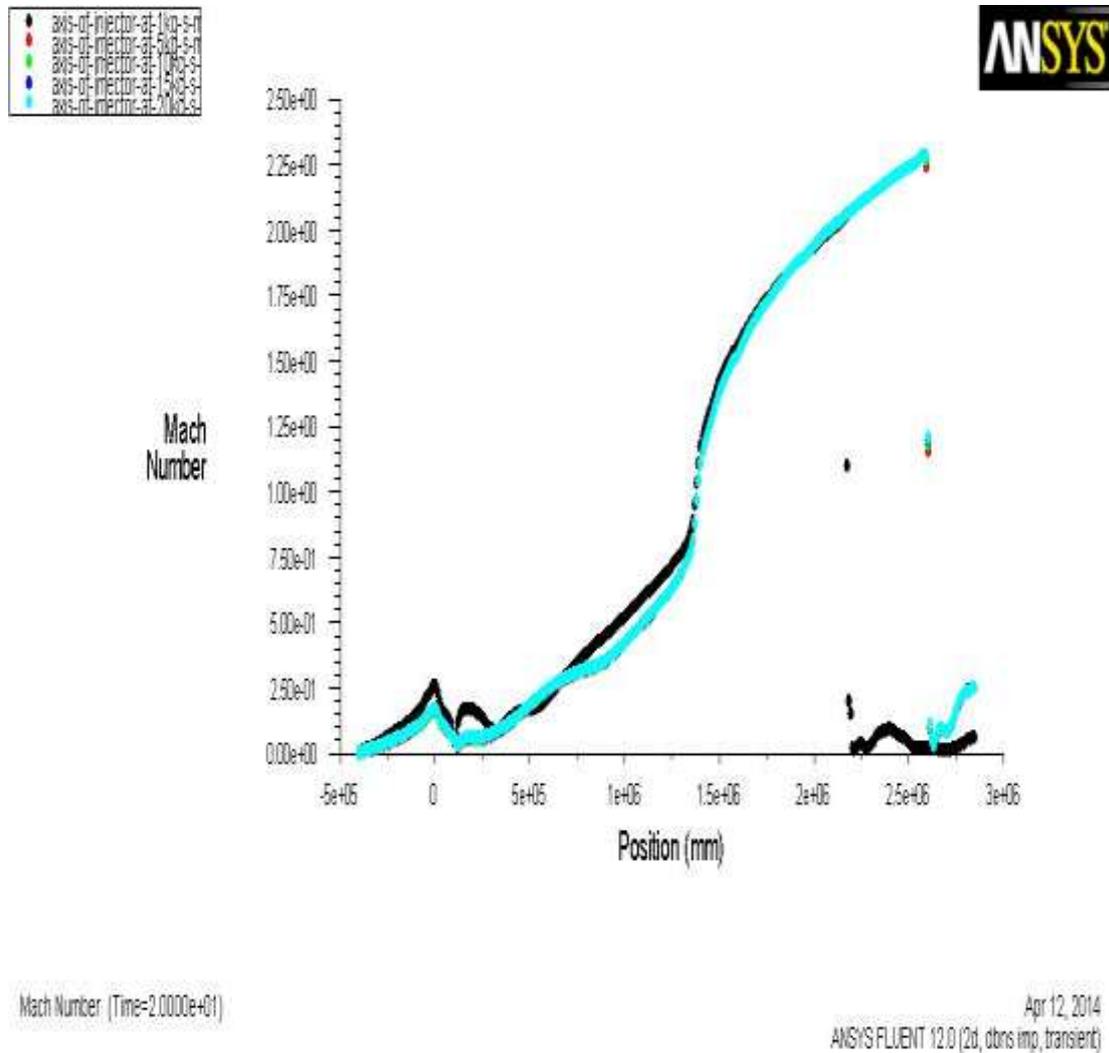


الشكل(14)يبين توزيع الضغط الستاتيكي على طول الحاقن مع تغير التدفق.

(2) - تم تغيير في كمية تدفق الجريان المحرّض من 1kg/s إلى 20kg/s و تمت دراسة تغيرات رقم ماخ

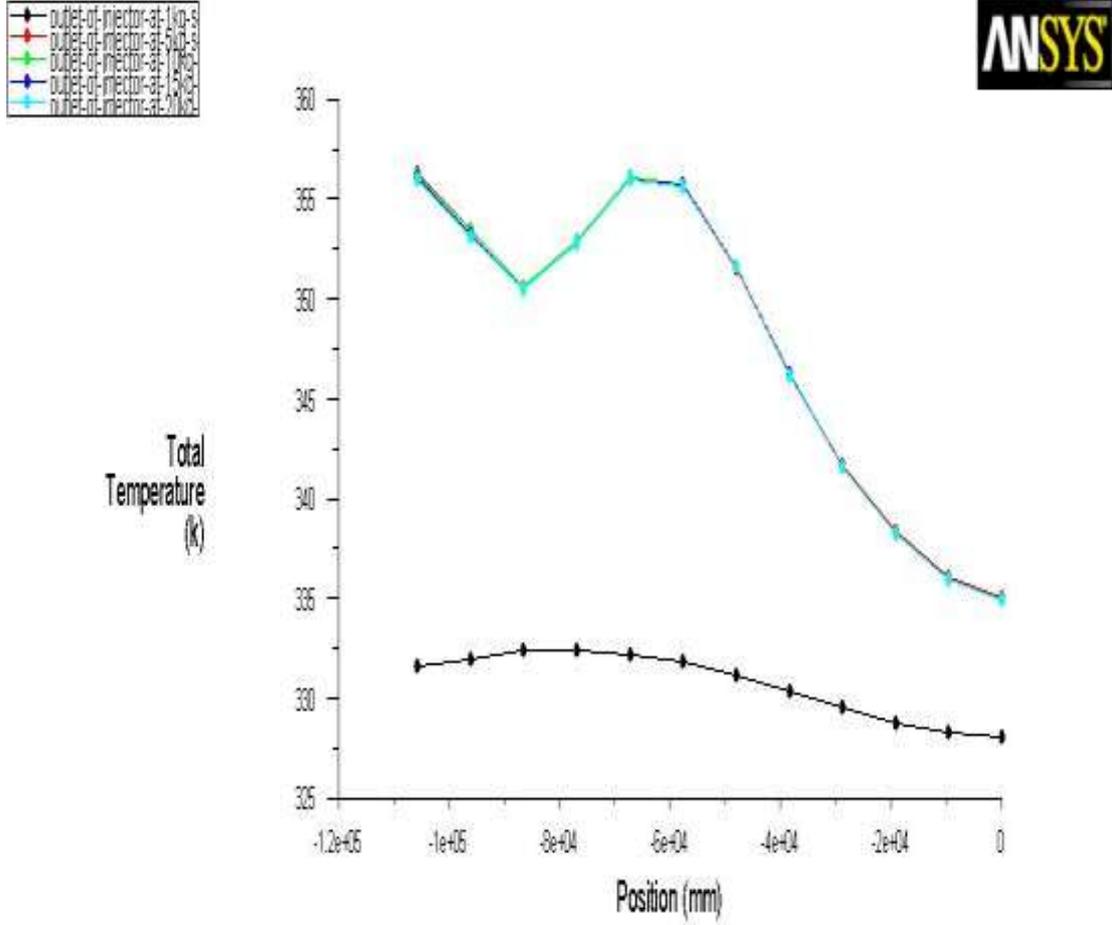
حيث نلاحظ أنه مع زيادة التدفق لا يحدث تغير كبير في مخطط عدد ماخ على امتداد محور الحاقن مع تغيرات

التدفق، و لكن نلاحظ أنه مع زيادة التدفق يتغير موضع حدوث الهبوط الكبير برقم ماخ؛ حيث تتراجع المنطقة باتجاه فوهة الحاقن كما يظهر الشكل(15).



الشكل(15) يبين توزيع رقم ماخ على طول الحاقن مع تغير التدفق.

(3)- تم تغيير في كمية تدفق الجريان المحرّض من 1kg/s إلى 20kg/s و تمت دراسة تغيرات الحرارة على الفوهة الخارجية للحاقن حيث نلاحظ أنه:
مع زيادة التدفق للجريان المحرّض من 1kg/s إلى 5Kg/s ترتفع درجات حرارة المانع عند فوهة الحاقن من 335k إلى حوالي 354k ومن ثم تصبح تغيرات الحرارة صغيرة جداً مع زيادة التدفقات الأخرى حيث يبين الخط الأسود تغيرات الحرارة عند مخرج فوهة الحاقن، بينما يمثل الخط السماوي اللون تغيرات الحرارة عند تدفق 20kg/s حيث يظهر جلياً ارتفاع درجة حرارة الجريان مع زيادة التدفق، كما يوضح الشكل(16).



Total Temperature (Time=2.0000e+01)

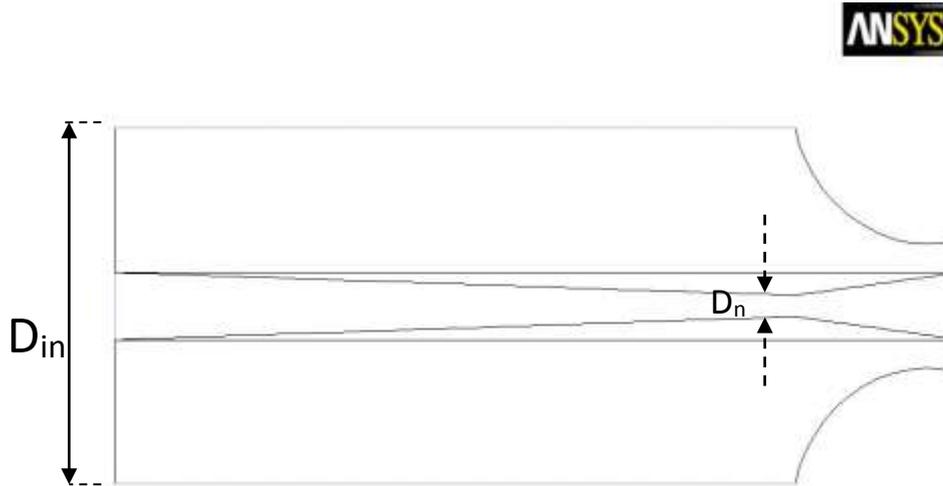
Apr 12, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient)

الشكل (16) يبين توزيع درجة الحرارة عند فوهة الخروج للحاقن مع تغير التدفق.

ثانياً : دراسة تأثير نسبة قطر مدخل الحاقن إلى قطر الاختناق على خواص و بارامترات الجريان:

النسبة تتراوح بين: $(0.01, 0.09)$ D_n/D_{in} لاحظ الشكل (17)

(تدفق التيار المتحرّض , 0.01 kg/s سرعة التيار المحرّض 175m/s)

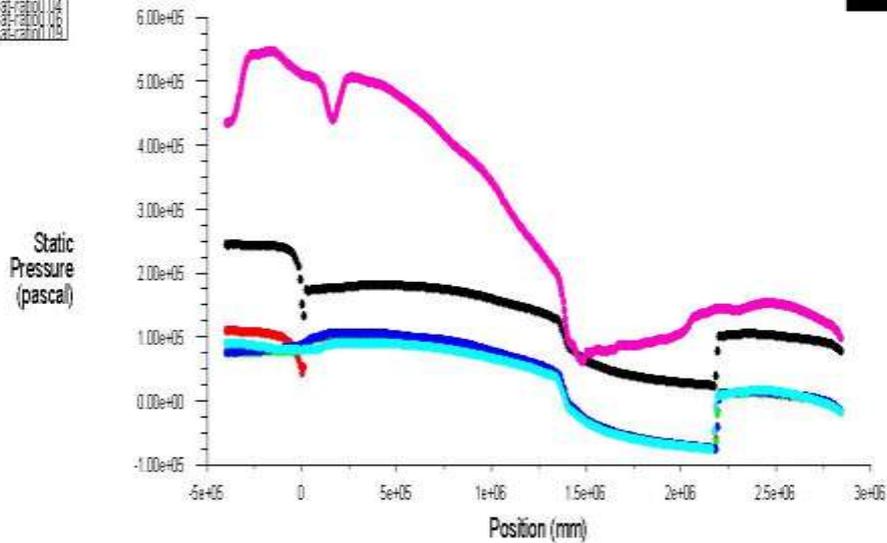


Mesh (Time=3.0000e+02)

Apr 07, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient)

الشكل (17) يوضح قطر مدخل الحاقن وقطر الفوهة

(1) - نلاحظ أنه مع زيادة نسبة الأقطار من 0.01 إلى 0.06 فإن مخطط توزيع الضغط ينخفض بشكل طفيف على امتداد محور الحاقن، ولكن مع استمرار زيادة نسبة الأقطار إلى 0.09 يحدث ارتفاع كبير في قيم الضغط و عدم انتظام في توزيع الضغط ومن ثم عدم انتظام في الجريان (الخط الزهري) مما يؤثر على أداء الحاقن كما يوضح الشكل (18).

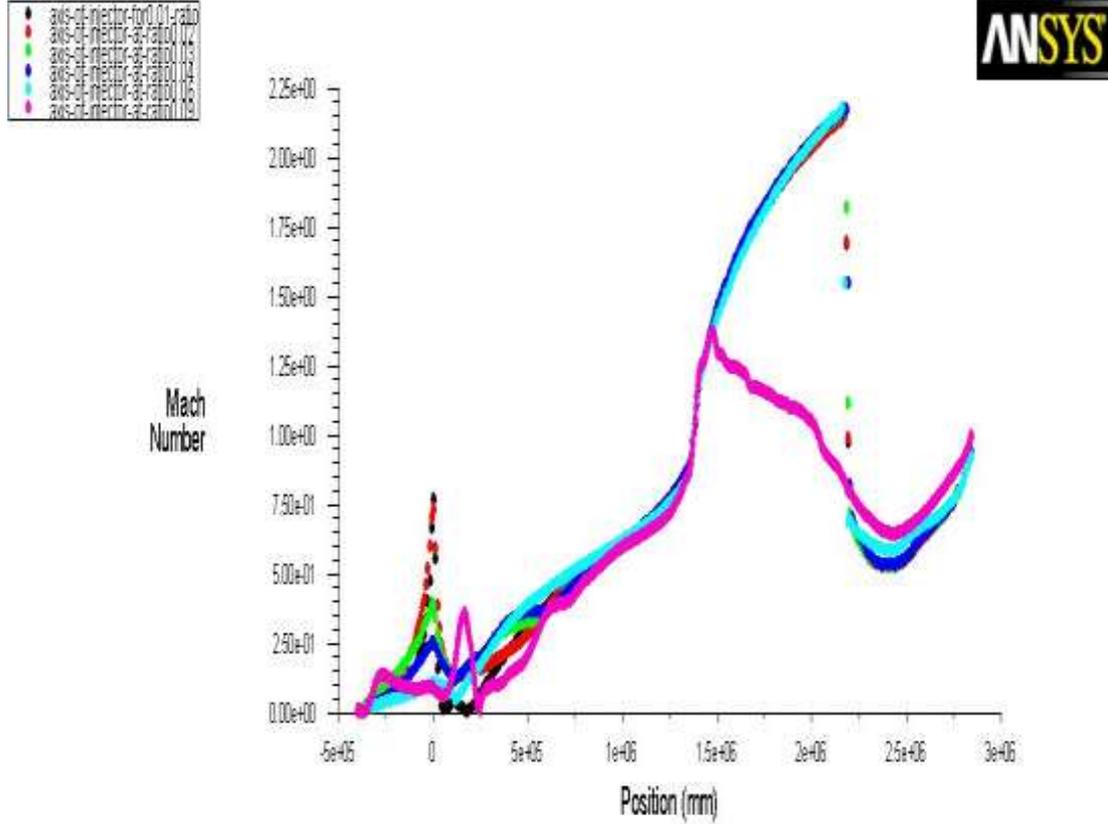


Static Pressure (Time=2.5000e+01)

Apr 12, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp, transient)

الشكل (18) يبين توزيع الضغط الستاتيكي على طول الحاقن مع تغير نسبة الأقطار.

(2)- نلاحظ أنه مع زيادة نسبة الأقطار هناك انخفاض طفيف في توزع عدد ماخ على امتداد محور الحاقن، و يظهر هذا الانخفاض واضحاً عند الاختناق في أول الحاقن، و عند زيادة نسبة الأقطار إلى 0.09 نلاحظ هبوطاً كبيراً في قيم عدد ماخ (الخط الزهري) على محور الحاقن كامله. كما نلاحظ من الشكل حدوث انخفاض مفاجئ و كبير (صدمة) بعدد ماخ عند النقطة 2.2m من طول الحاقن من جريان فوق صوتي إلى جريان تحت صوتي. أما في حالة نسبة الأقطار الكبيرة مثل 0.09 يكون انخفاض عدد ماخ تدريجياً أكثر و يبدأ عند نقطة 1.45m من امتداد الحاقن كما هو واضح في الشكل(19).

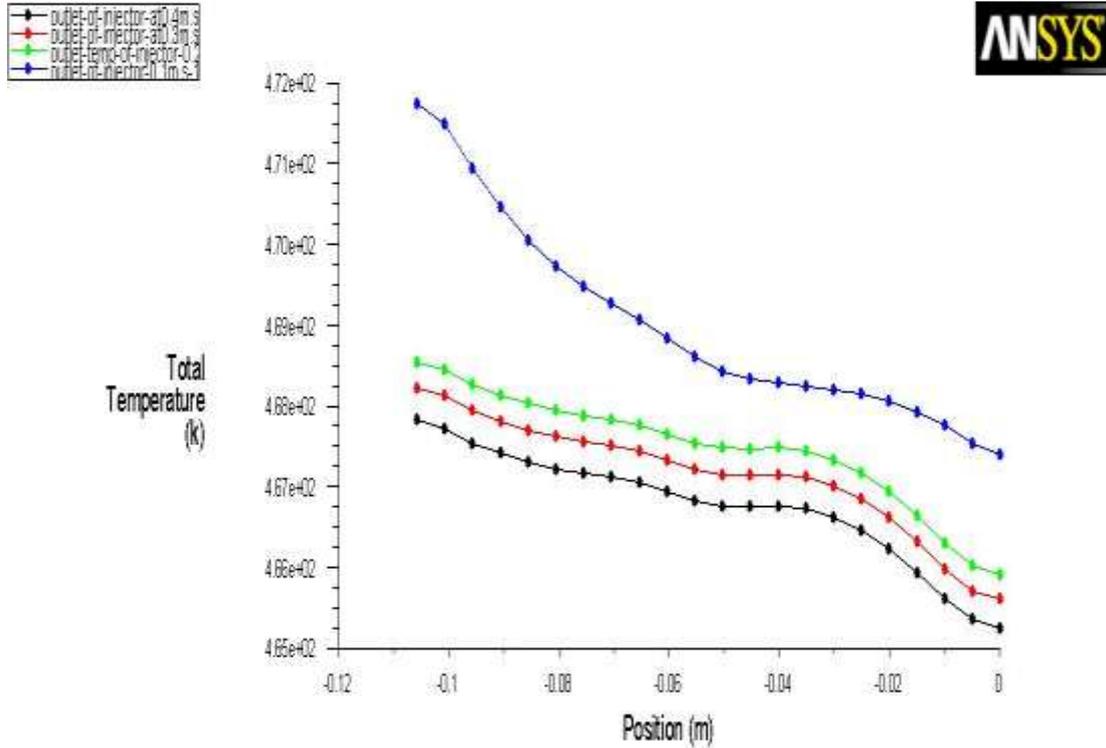


Mach Number (Time=2.5000e+01)

Apr 12, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dns imp, transient)

الشكل(19) يوضح توزع رقم ماخ على طول الحاقن مع تغير نسبة الأقطار.

(3)- نلاحظ انه مع زيادة نسبة الأقطار يحدث انخفاض في درجات الحرارة عند فوهة الخروج للحاقن حيث تنخفض الحرارة على بروفيل الحرارة كامكله على مدى الفوهة، ويصبح انخفاض الحرارة في الفوهة شبه خطي (الخط الأسود) كما يوضح الشكل(20).



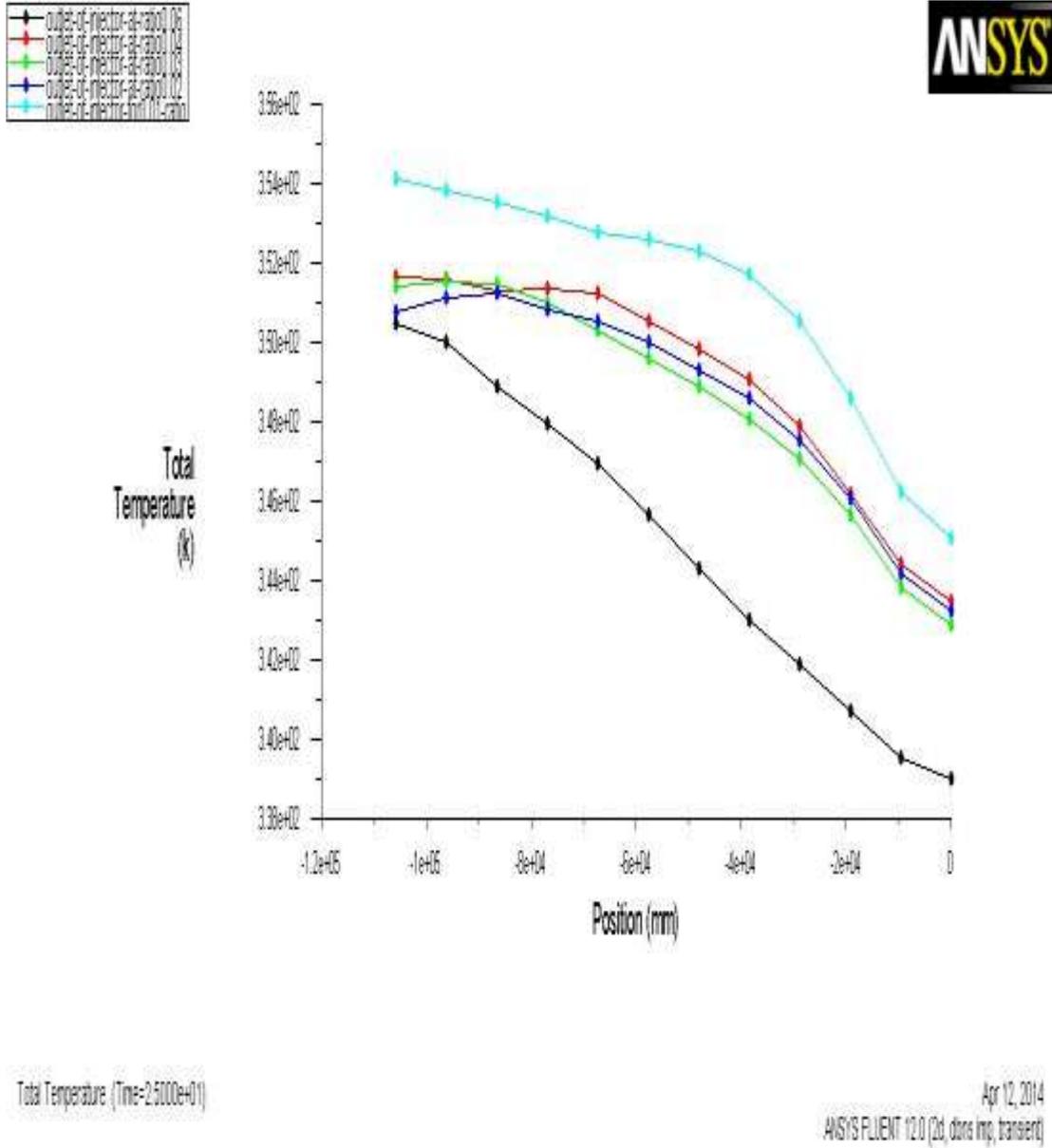
Total Temperature

Apr 07, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dbns imp)

الشكل (20) يوضح توزع درجات الحرارة عند فوهة الخروج مع تغير نسبة الأقطار.

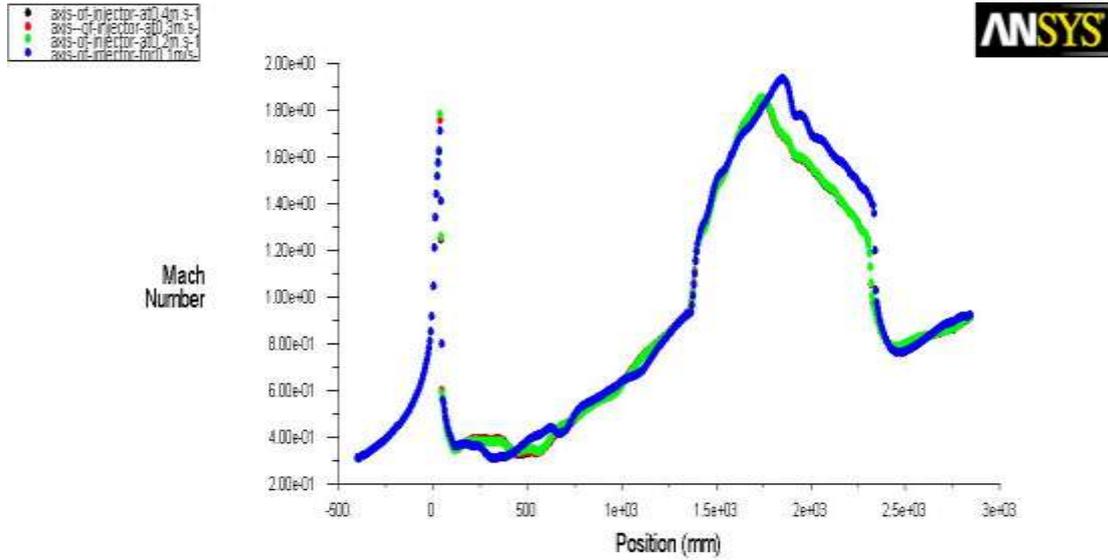
ثالثاً: تأثير سرعة التيار المتحرّض على توزع البارامترات والجريان داخل الحاقن:

تمّ تثبيت سرعة التيار المحرّض عند 175m/s و تغيير سرعة التيار المتحرّض بين (0.1-0.6m/s) (1) - مع تغيير سرعة التيار المتحرّض نلاحظ تناقص درجة حرارة البخار عند الخروج من الحاقن بشكل دوري؛ حيث يمثل الخط السماوي تغيرات الحرارة عند سرعة 0.1m/s و يمثل الخط الأسود تغيرات الحرارة عند سرعة 0.6m/s كما يظهر الشكل (21) .



الشكل (21) يبين توزيع درجات الحرارة عند فوهة الخروج للحاقن مع تغير السرعة.

(2) - نلاحظ مع زيادة سرعة التيار المتحرّض هناك انخفاض طفيف في توزيع عدد ماخ على امتداد المحور الطولي للحاقن حيث إن القيمة العظمى لعدد ماخ تتخفض انخفاضاً طفيفاً مع زيادة السرعة و لكنها تبقى فوق (1) أي يبقى الجريان فوق صوتي في هذه المنطقة كما في (الشكل 22).

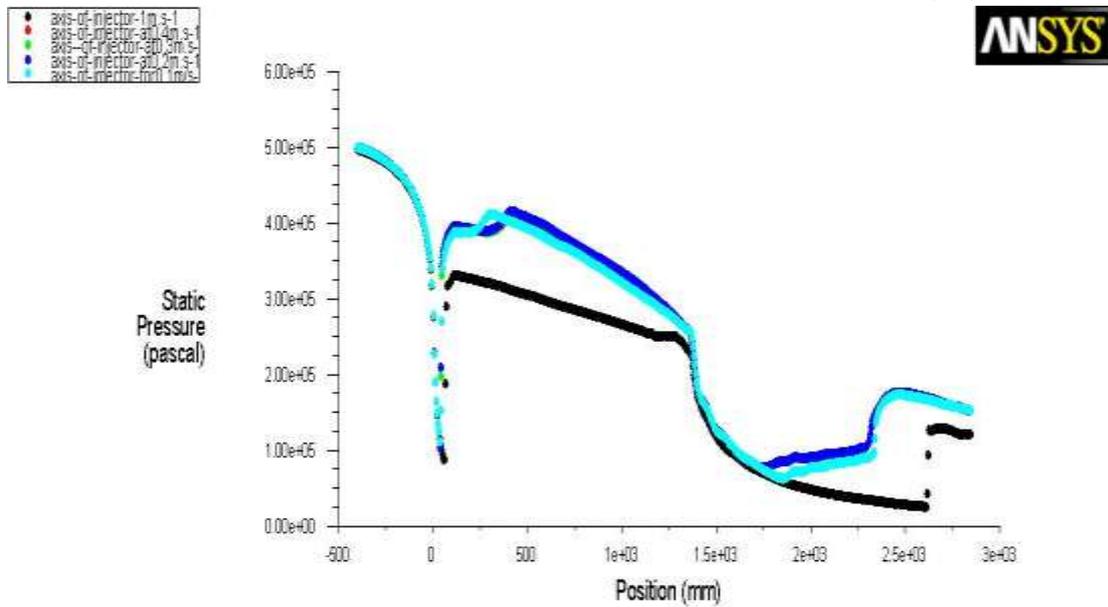


Mach Number

Apr 12, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dtns imp)

الشكل (22) يبين توزيع رقم ماخ على امتداد الحاقن مع تغير السرعة.

3- نلاحظ مع زيادة سرعة التيار المتحرّض هناك انخفاض في قيمة الضغط الستاتيكي على امتداد محور الحاقن، وكما نرى فعند سرعة جريان 1m/s للتيار المتحرّض تتخفّض قيمة الضغط الستاتيكي (الخط الأسود في الشكل) بشكل ملحوظ عن الحالات السابقة و خصوصاً في منطقة وسط الحاقن وعند فوهة الخروج كما يظهر الشكل (23).



Static Pressure

Apr 12, 2014
ANSYS FLUENT 12.0 (2d, dtns imp)

الشكل (23) يبين توزيع الضغط على امتداد الحاقن مع تغير السرعة.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. إن تخفيض درجة حرارة الجريان الخارج من الحاقن يتم إما برفع سرعة التيار المحرّض أو بزيادة نسبة الأقطار D_n/D_{in} أو بزيادة سرعة التيار المتحرّض .
 2. إن زيادة سرعة الجريان الخارج من الحاقن يمكن أن تتم إما بإنقاص نسبة الأقطار D_n/D_{in} ، أو بنقصان سرعة التيار المحرّض، وهي لاتتأثر بشكل ملحوظ بسرعة التيار المتحرّض.
 3. لرفع قيمة الضغط ضمن الحاقن نرفع سرعة التيار المحرّض، ومع زيادة نسبة الأقطار من 0.01 إلى 0.06 ينخفض مخطط توزيع الضغط بشكل طفيف على كامل امتداد محور الحاقن، ولكن مع استمرار زيادة نسبة الأقطار إلى 0.09 يحدث ارتفاع كبير في قيم الضغط وعدم انتظام في توزيع الضغط، ومن ثم عدم انتظام في الجريان، بينما تؤدي زيادة سرعة التيار المتحرّض إلى انخفاض في قيمة الضغط على امتداد محور الحاقن فعند سرعة جريان 1m/S للتيار المتحرّض تنخفض قيمة الضغط بشكل ملحوظ و خصوصاً في منطقة وسط الحاقن و عند فوهة الخروج.
 4. توفر تقنية CFD إمكانياتٍ كبيرةً للمهندسين فيما يخص المحاكاة والدراسة للمشاكل الهندسية المختلفة والوصول إلى تصاميم وحلول أفضل.
 5. تساعد هذه التقنية على سدّ الثغرة الناتجة عن ضعف المخابر والبنية البحثية الموجودة في مراكز البحث.
 6. القيام بدراسة تجريبية مخبرية لهذا النوع من الحواقن من أجل مقارنة النتائج مع CFD.
 7. دراسة ونمذجة الحواقن عديدة المراحل بنفس التقنية CFD.
 8. دراسة تأثير توزيع البارامترات (T, P, V, ρ, μ) على معادلة المردود الحراري للحاقن وذلك بعد استخراج هذه المعادلة.
 9. تفيد هذه المقالة كدليل استشاري مساعد للمنشآت الصناعية من أجل التحكم بعمل الحواقن وخواص الجريان داخلها.
- ((تم في هذه المقالة دراسة توزيع مختلف البارامترات ضمن الحاقن وذلك كجزء أولي من هذا البحث لكي يتم إكماله لاحقاً وحساب تأثير توزيع هذه البارامترات على مردود الحاقن)).

المراجع:

- [1] POWER, R. B. *Steam Jet Ejectors for the Process Industries*. McGraw-Hill, New York, 1994, 200.
- [2] GOLDEN, S. W., N. P. Lieberman and E. T. Lieberman, *Hydrocarbon Processing*. Troubleshoot vacuum columns with low-capital methods, July 1993,350.
- [3] ANDERSON, J. D. *Hypersonics and High-Temperature Gas Dynamics (2nd ed.)*. Virginia, AIAA Education Series,2006.
- [4] MARTIN, G. R., J. R. Lines and S. W. Golden, *Hydrocarbon Processing*. Understand vacuum-system fundamentals, October, 1994, 450.
- [5] ANSYS and FLUENT soft ware tutorials from www.ansys.com 2013.
- [6] NASA Ames Arc Jet Complex, NASA Ames official website http://www.nasa.gov/centers/ames/pdf/146635main_rtf_arcjet.pdf 2013.