University of Mosul
College of Engineering

Three-Dimensional CFD Simulations of Transient Cavitation in Centrifugal Pumps

Hani Mohamed Saleh Salman

M.Sc. Thesis
In Mechanical Engineering / Thermal Engineering

Supervised by
Dr. Younis M. Najim

Supervised by
Prof. Dr. Amir S. Dawood

2022 A.D

1444 A.H

ABSTRACT

Liquid pumps can be found in many industrial and domestic applications. In several operating circumstances where the inlet pressure and pump's flow vary to a point where the pump performance crashes due to cavitation. On long term effect, the cavitation can cause material loss to the impeller blade and eventually damages the pump impeller.

This study presents meanline analysis to preliminary design a centrifugal pump. A three-dimensional pump impeller model is then generated using Bezier polynomial that fits the inlet and outlet main geometrical parameters obtained from the meanline and create the hub, shroud and blade profiles.

The meanline design helps in determining the design flow and operating conditions which include impeller speed 2900 (rpm), pump flow capacity of 60 (m^3/h) and pump head of 39 (m). Three-dimensional, CFD analysis (Computational Fluid Dynamics) is then conducted to study the start and evolution of the cavitation in the impeller of the centrifugal pump under variable operating conditions.

The inlet total pressure is allowed to decrease with time from atmospheric value to a point where the cavitation is fully developed in the pump impeller until the pump head is dropped near zero.

Additionally, the impeller speed varies from 2000 to 3500 rpm while the pump flow rate ratio is changed from 0.5 to 1.5 under transient reduction of the inlet total pressure.

The results show that the developed pump head and hydraulic efficiency predicted by CFD are lower than the corresponding values calculated using the meanline method which are attributed to the three-dimensional losses such as the backflow, the vortical flow, as well as the viscus losses and flow variation in spanwise direction.

The CFD results uncover three distinct phases of the cavitation evolution in the pump undergoing transient drop in the inlet pressure; phase (1) remarks the start of the cavitation where no impact is seen on the developed head, while phase (2) indicates the rapid growth and propagation of the cavitation along the suction side from leading to trailing edge of the impeller blade, and finally phase (3) where the cavitation blocks the space between the blades and pump head drops down to zero.

Different pump discharges show significant impact on the cavitation at all phases, which accelerates with the increase in pump's flow rate, However, no major impact on the evolution of the cavitation is found by changing the impeller speed. A generalized behavior is seen for the flow structure as the flow is streamed in phase one. Vortical (circulation) flow is developed in phase two and back to streamed flow during phase three by virtue of displacing more flow due to dramatic increase in the specific volume. Finally, the Rayleigh-Plesset homogenous cavitation model coupled with incompressible Navier-Stokes solver successfully reproduces the blade suction and pressure sides, pressure recovery in the volute extension and homogenous distribution of the pressure across the interface between moving impeller and fixed volute.

جامعة الموصل
كلية الهندســـــة

محاكاة للتكهف الانتقالي ثلاثية الابعاد في مضخات الطرد المركزي بأستخدام ديناميكية الموائع الحسابية

هاني محمد صالح سلمان عبدالله

رسالة ماجستير علوم في
الهندسة الميكانيكة / هندسة الحراريات

باشراف
الدكتور
يونس محل نجم

باشراف
الأستاذ الدكتور
أمير سلطان داؤد

١٤٤٤ هـ
٢٠٢٢ م

الخلاصة

إنّ مضخات السوائل متوافرة في العديد من التطبيقات الصناعية والمنزلية، في العديد من ظروف التشغيل يتغير ضغط المدخل وتدفق المضخة إلى نقطة ينهار فيها أداءها بسبب تأثير ظاهرة التكهّف، وعلى المدى الطويل يمكن أن يتسبب التكهّف في التآكل لريشة المُكرِه ممّا يؤدي إلى إتلافها.

تُقدّم هذه الدراسة طريقة تحليل خط الوسط (meanline analysis) للتصميم الأولي لمضخة الطرد المركزي، وإنشاء نموذج المُكرِه للمضخة ثلاثي الأبعاد باستخدام منحني (Bezier) متعدد الحدود الذي يربط المَعلمَات الهندسية الرئيسة للمدخل والمخرج التي تم الحصول عليها من حسابات طريقة تحليل خط الوسط وإنشاء شكل المحور والغطاء والريشة.

تساعد طريقة تصميم خط الوسط في معرفة خطوات التصميم وظروف التشغيل التي تشتمل على سرعة المُكرِه 2900 دورة في الدقيقة، وسعة تدفق المضخة 60 م^3 / ساعة، وارتفاع عمود السائل المجهَّز من قبل المضخة 39م. ومِن ثَمَّ تم إجراء تحليل باستخدام ديناميكية الموائع الحسابية ثلاثية الأبعاد لدراسة بداية وتطور التكهّف في مُكرِه مضخة الطرد المركزي في ظل ظروف تشغيل متغيرة.

تمّ تخفيض الضغط الكلي للمدخل بمرور الوقت – من مقدار مساوٍ لقيمة الضغط الجوي إلى نقطة تطور التكهّف بالكامل في مُكرِه المضخة – إلى أن يتم حصول الانهيار في ارتفاع عمود السائل المجهَّز من قبل المضخة لقيمة قريبة من الصفر.

ولدراسة تأثير سرعة المُكرِه ومعدل تدفق المضخة على التكهّف تم تغيير سرعة المُكرِه من 2000 إلى 3500 دورة في الدقيقة، وكذلك تغيير نسبة معدل التدفق للمضخة من 0.5 إلى 1.5 في ظل التخفيض التدريجي المستمر بمرور الوقت للضغط الكلي للمدخل (transient reduction of the inlet total pressure).

أظهرت النتائج أن ارتفاع عمود السائل المجهّز من قبل المضخة والكفاءة الهيدروليكية التي تنبأت بها ديناميكية الموائع الحسابية أقل من تلك التي تم الحصول عليها عبر طريقة تحليل خط الوسط بسبب الخسائر الناجمة من السريان ثلاثي الأبعاد للمائع مثل التدفق العكسي والتدفق

الدوّامي، فضلاً عن خسائر اللزوجة وتغير التدفق في الاتجاه الممتد للمُكرِه (spanwise direction).

وكشفت نتائج ديناميكية الموائع الحسابية عن ثلاث مراحل متميزة من تطور التكهّف في المضخة التي تخضع لانخفاضٍ في ضغط المدخل بمرور الوقت، تظهر المرحلة الأولى بداية التكهّف، وفيها لم يلاحظ تأثير على ارتفاع عمود السائل المجهز من قبل المضخة. وأظهرت المرحلة الثانية النمو السريع وانتشار التكهّف على طول جانب الشفط من الحافّة الامامية حتى الحافة الخلفية لريشة المُكرِه، وأخيراً المرحلة الثالثة والتي عندها مَلَئَ التكهّف المسافة بين الريشات وانخفاض عمود السائل المجهّز من قبل المضخة إلى قيمة قريبة من الصفر.

تُظهر معدلات تدفق الماء المختلفة للمضخة تأثيراً كبيراً على التكهّف في جميع المراحل، ويتسارع التكهّف في جميع المراحل مع زيادة معدل التدفّق للمضخة، ومع ذلك لم يتم العثور على تأثير كبير على تطور التكهّف من خلال تغيير سرعة المُكرِه، ويلاحظ ان التدفق للماء يسلك سلوكاً عاماً في طبيعة جريانه في المرحلة الاولى، ثم يتطور الى التدفق الدوّامي (الدوران) في المرحلة الثانية، والعودة إلى التدفق االانسيابي خلال المرحلة الثالثة بفضل إزاحة المزيد من التدفق بسبب الزيادة الهائلة في الحجم النوعي.

وختاماً فإن نموذج التكهّف المتجانس (Rayleigh-Plesset model) المقترن بحل معادلة (Navier-Stokes) للموائع الغير قابلة للانضغاط يمكنه أن يوصِّف بنجاح السلوك الفيزيائي للجريان الحاصل في جانبي الشفط والضغط لريشة المُكرِه، وكذلك استعادة الضغط في الامتداد الحلزوني، والتوزيع المتجانس للضغط عبر الواجهة بين المُكرِه المتحرك والحلزون الثابت.