



جامعة
بنغازي الحديثة



**مجلة جامعة بنغازي الحديثة للعلوم
والدراسات الإنسانية
مجلة علمية إلكترونية محكمة**

العدد السابع

لسنة 2020

حقوق الطبع محفوظة

شروط كتابة البحث العلمي في مجلة جامعة بنغازي الحديثة للعلوم والدراسات الإنسانية

- 1- الملخص باللغة العربية وباللغة الانجليزية (150 كلمة).
- 2- المقدمة، وتشمل التالي:
 - ❖ نبذة عن موضوع الدراسة (مدخل).
 - ❖ مشكلة الدراسة.
 - ❖ أهمية الدراسة.
 - ❖ أهداف الدراسة.
 - ❖ المنهج العلمي المتبع في الدراسة.
- 3- الخاتمة. (أهم نتائج البحث - التوصيات).
- 4- قائمة المصادر والمراجع.
- 5- عدد صفحات البحث لا تزيد عن (25) صفحة متضمنة الملاحق وقائمة المصادر والمراجع.

القواعد العامة لقبول النشر

1. تقبل المجلة نشر البحوث باللغتين العربية والانجليزية؛ والتي تتوفر فيها الشروط الآتية:
 - أن يكون البحث أصيلاً، وتتوافر فيه شروط البحث العلمي المعتمد على الأصول العلمية والمنهجية المتعارف عليها من حيث الإحاطة والاستقصاء والإضافة المعرفية (النتائج) والمنهجية والتوثيق وسلامة اللغة ودقة التعبير.
 - ألا يكون البحث قد سبق نشره أو قُدم للنشر في أي جهة أخرى أو مستل من رسالة أو اطروحة علمية.
 - أن يكون البحث مراعيًا لقواعد الضبط ودقة الرسوم والأشكال - إن وجدت - ومطبوعاً على ملف وورد، حجم الخط (14) وبخط (Arial 'Body') للغة العربية. وحجم الخط (12) بخط (Times New Roman) للغة الإنجليزية.
 - أن تكون الجداول والأشكال مدرجة في أماكنها الصحيحة، وأن تشمل العناوين والبيانات الإيضاحية.
 - أن يكون البحث ملتزماً بدقة التوثيق حسب دليل جمعية علم النفس الأمريكية (APA) وتثبيت هوامش البحث في نفس الصفحة والمصادر والمراجع في نهاية البحث على النحو الآتي:
 - أن تُثبت المراجع بذكر اسم المؤلف، ثم يوضع تاريخ نشره بين حاصرتين، يلي ذلك عنوان المصدر، متبوعاً باسم المحقق أو المترجم، ودار النشر، ومكان النشر، ورقم الجزء، ورقم الصفحة.
 - عند استخدام الدوريات (المجلات، المؤتمرات العلمية، الندوات) بوصفها مراجع للبحث: يُذكر اسم صاحب المقالة كاملاً، ثم تاريخ النشر بين حاصرتين، ثم عنوان المقالة، ثم ذكر اسم المجلة، ثم رقم المجلد، ثم رقم العدد، ودار النشر، ومكان النشر، ورقم الصفحة.
2. يقدم الباحث ملخص باللغتين العربية والانجليزية في حدود (150 كلمة) بحيث يتضمن مشكلة الدراسة، والهدف الرئيسي للدراسة، ومنهجية الدراسة، ونتائج الدراسة. ووضع الكلمات الرئيسية في نهاية الملخص (خمس كلمات).

3. تحتفظ مجلة جامعة بنغازي الحديثة بحقها في أسلوب إخراج البحث النهائي عند النشر.

إجراءات النشر

ترسل جميع المواد عبر البريد الإلكتروني الخاص بالمجلة جامعة بنغازي الحديثة وهو كالتالي:

- ✓ يرسل البحث إلكترونياً (Word + Pdf) إلى عنوان المجلة info.jmbush@bmu.edu.ly او نسخة على CD بحيث يظهر في البحث اسم الباحث ولقبة العلمي، ومكان عمله، ومجاله.
- ✓ يرفق مع البحث نموذج تقديم ورقة بحثية للنشر (موجود على موقع المجلة) وكذلك ارفاق موجز للسيرة الذاتية للباحث إلكترونياً.
- ✓ لا يقبل استلام الورقة العلمية الا بشروط وفورمات مجلة جامعة بنغازي الحديثة.
- ✓ في حالة قبول البحث مبدئياً يتم عرضة على مُحكمين من ذوي الاختصاص في مجال البحث، ويتم اختيارهم بسرية تامة، ولا يُعرض عليهم اسم الباحث أو بياناته، وذلك لإبداء آرائهم حول مدى أصالة البحث، وقيمتها العلمية، ومدى التزام الباحث بالمنهجية المتعارف عليها، ويطلب من المحكم تحديد مدى صلاحية البحث للنشر في المجلة من عدمها.
- ✓ يُخطر الباحث بقرار صلاحية بحثه للنشر من عدمها خلال شهرين من تاريخ الاستلام للبحث، وبموعد النشر، ورقم العدد الذي سينشر فيه البحث.
- ✓ في حالة ورود ملاحظات من المحكمين، تُرسل تلك الملاحظات إلى الباحث لإجراء التعديلات اللازمة بموجبها، على أن تعاد للمجلة خلال مدة أقصاها عشرة أيام.
- ✓ الأبحاث التي لم تتم الموافقة على نشرها لا تعاد إلى الباحثين.
- ✓ الأفكار الواردة فيما ينشر من دراسات وبحوث وعروض تعبر عن آراء أصحابها.
- ✓ لا يجوز نشر إي من المواد المنشورة في المجلة مرة أخرى.
- ✓ يدفع الراغب في نشر بحثه مبلغ قدره (400 دل) دينار لبيي إذا كان الباحث من داخل ليبيا، و (200 \$) دولار أمريكي إذا كان الباحث من خارج ليبيا. علماً بأن حسابنا القابل للتحويل هو: (بنغازي - ليبيا - مصرف التجارة والتنمية، الفرع الرئيسي - بنغازي، رقم 001-225540-0011. الاسم (صلاح الأمين عبدالله محمد).
- ✓ جميع المواد المنشورة في المجلة تخضع لقانون حقوق الملكية الفكرية للمجلة.

info.jmbush@bmu.edu.ly

00218913262838

د. صلاح الأمين عبدالله
رئيس تحرير مجلة جامعة بنغازي الحديثة
Dr.salahshalufi@bmu.edu.ly

تقنيات التصميم لتحسين أداء المضخة الطاردة المركزية

د. فرج أحمد الزروق بارود

(أستاذ مساعد - كلية الهندسة جامعة بني وليد - ليبيا)

المخلص:

كلمة مضخة هو مصطلح عام يطلق على الآلة التي تضيف طاقة للسائل، ولكي تؤدي المضخة عملها هذا ينبغي تزويدها بمصدر طاقة كهربائي أو محرك احتراق داخلي أو تربين، والضخ هو إضافة طاقة للسائل لنقله من مكان إلى آخر وهذا يحدث عن طريق المكبس أو الدفاعة أو التروس أو المروحة حسب نوع المضخة. في هذه الدراسة، تم تصميم الدفاعة وهيكل المضخة لتحسين أداء المضخة الطاردة المركزية، لقد تم تصميم الدفاعة الأساسية باستخدام نظرية تصميم الآلات، وتم تقييم أدائها من خلال التحليل العددي. ثم تم تنفيذ التصميم الأمثل لتحسين أداء الدفاعة الأساسية. وتم تحديد متغيرات التصميم للدفاعة، وبناءً على هذه المتغيرات ونطاق التصميم تم عمل مجموعة تجارب وتقييم أدائها من خلال التحليل العددي. وتم تصميم الدفاعة المحسنة (المعدلة) لتفي بمواصفات التصميم وفقاً للتحليل بطريقة استجابة سطح (RSM) وتم التحقق من الدفاعة من خلال التحليل العددي وتطبيق نظرية ستيفانوف.

الكلمات الرئيسية: المضخة الطاردة المركزية؛ الدفاعة؛ تحسين (تعديل) التصميم؛ نظرية ستيفانوف؛ طريقة استجابة سطح.

Abstract:

The word pump is general term for any fluid machine that adds energy to a fluid. The pump is power absorbing machine. The power can be supplied to the pump by a prime mover like an electric motor, an internal combustion engine or turbine. Pumping means addition of energy to a liquid to move it from one place to another and this done by means of piston, impeller. Propeller, or gears depending upon types of pump. In this study, optimization of an impeller and a volute was carried out to improve the performance of a centrifugal pump. The base impeller was designed using fluid machinery design theory and internal design databases, and its performance was evaluated through numerical analysis. Design optimization was then performed to improve the performance of the base impeller. The design variables and variable ranges for the impeller were defined. Based on these design variables and ranges, experiment sets were produced, and their performance was evaluated through numerical analysis. An optimized impeller was then produced that satisfied the design specifications according to a response surface method (RSM) analysis. Finally, the performance of the optimized impeller was verified through numerical analysis.

Keywords: Centrifugal pump; Impeller; Design optimization; Stepanoff theory; response surface method (RSM).

1. المقدمة.

المضخة هي نوع نموذجي من الآلات الهيدروليكية التي تحول طاقة الآلات إلى ضغط للسوائل وطاقة حركية، يمكن تصنيف المضخات إلى أنواع مختلفة (على سبيل المثال، مضخات الطرد المركزي ومضخات التدفق المختلط والمضخات المحورية) وذلك حسب خصائصها وأشكالها وأدائها، بالمقارنة مع أنواع المضخات الأخرى فإن المضخات الطاردة المركزية توفر ضغط عالي الأداء [1] ومع ذلك لديها قدرة منخفضة نسبياً للسائل [2] ان مضخات الطرد المركزي تستخدم في العديد من المجالات الصناعية، مثل ضخ المياه وفي الصرف الصحي والصناعات الكيماوية. لقد تم إجراء العديد من الدراسات لتحسين مضخات الطرد المركزي بما في ذلك أدائها [3-7] ونتيجة لذلك تُظهر مضخات الطرد المركزي الحديثة مستوى عالي في الأداء ومع ذلك هناك حاجة لتحقيق المزيد من التحسينات (التعديل) لرفع مستوى الأداء و ذلك عن طريق تقنيات التحسين لجميع مكونات المضخة، وإن الدفاعة لديها أكبر تأثير على الأداء لأن تدفق السوائل في المضخة يولد الطاقة من خلال الدفاعة. ولذلك ركزت العديد من الدراسات التي تهدف إلى تحسين أداء مضخات الطرد المركزي على تحسين الدفاعة [8-10] و يتطلب تحسين أداء الدفاعة تحسين التصميم استناداً إلى المتغيرات التي تؤثر على وظيفتها. إلى جانب الدفاعة فإن المكون الرئيسي الآخر الذي يؤثر على أداء مضخة الطرد المركزي هو الشكل الحلزوني لهيكل المضخة، يجمع الشكل الحلزوني التدفق الخارج من المضخة ويسلمه إلى الأنبوب وسيؤدي هذا لفقدان الضغط الديناميكي عند توليد التدفق الداخلي مما يقلل أداء المضخة، لذلك يجب أن يتم تصميم الشكل الحلزوني لتقليل فقدان الضغط الديناميكي، تم تطبيق نظرية ستيفانوف في تصميم الشكل الحلزوني للتحكم في توزيع المقطع العرضي [11] ومع ذلك فإن التوزيع عبر المقطع المحسوب بواسطة نظرية ستيفانوف غير متوافق مع جميع أنواع الأشكال الحلزونية، وبناءً على ذلك يلزم التحقق من توزيع المقطع العرضي المحسوب لتصميم الشكل الحلزوني المثالي [12].

في هذه الدراسة، تم التحقق من التصميم الأمثل لمضخة الطرد المركزي لتلبية مواصفات التصميم، وتم تصميم الدفاعة الأساسية باستخدام نظرية التصميم لآلات السوائل وقواعد بيانات التصميم الداخلي، وتم تقييم أداء الدفاعة الأساسية من خلال التحليل العددي، وتم تحديد متغيرات التصميم والنطاقات المتغيرة للدفاعة، وبناءً على هذه المتغيرات ونطاق التصميم تم عمل مجموعة تجارب وتم تقييم أدائها من خلال التحليل العددي. وتم تصميم الدفاعة المحسنة (المعدلة) لتفي بمواصفات التصميم وفقاً للتحليل بطريقة استجابة سطح (RSM) response surface method، وتم التحقق من الدفاعة من خلال التحليل العددي وتطبيق نظرية ستيفانوف وذلك لتصميم هيكل المضخة (شكل حلزوني) والتصميم المناسب يتم من خلال تعديل توزيع المقطع العرضي للهيكلي وتقييم الأداء بالتحليل العددي.

2. اختيار الدفاعة الأساسية.

1.2. تصميم الدفاعة الأساسية.

الجدول (1) يوضح مواصفات التصميم لهذه الدراسة ولإجراء الدراسة تم تصميم الدفاعة الأساسية ليلائم مواصفات التصميم.

الجدول (2) مواصفات التصميم للدفاعة الأساسية. الجدول (1) مواصفات التصميم للدراسة.

Parameters	the value
Q (m^3/h)	4500
Head(m)	60

Parameters	the value
Number of blades(EA)	6
r_2 (mm)	550

Rotating speed(rpm)	600
Efficiency(%)	Maximum

r_{1-h} (mm)	142
r_{1-s} (mm)	275
b_1 (mm)	133
b_2 (mm)	100

لإنشاء الشكل الهندسي ثلاثي الأبعاد (D3) للدفاعة يتم من خلال تصميم شكل الريشة للدفاعة وزاوية الريشة كما هو موضح في الشكل (1)(أ).

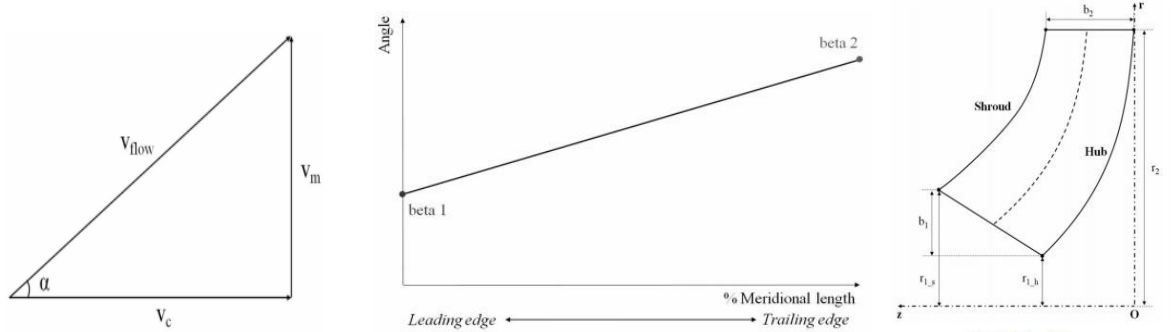
لتحديد شكل الريشة للدفاعة يلزم الحصول على قيمة للسرعة النوعية (N_s) التي يتم تحديدها من خلال المعادلة التالية:

$$N_s = N \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad (1)$$

حيث يشير N و Q و H إلى سرعة الدوران ومعدل التدفق وعلو(رفع) المضخة على التوالي.

بناءً على السرعة النوعية تم اختيار نوع المضخة وشكل ريشة الدفاعة، وكانت السرعة النوعية للمضخة في هذه الدراسة حوالي 240، تم تصميم الدفاعة الأساسية باستخدام قاعدة بيانات التصميم الداخلي وفقاً للسرعة النوعية [13] الجدول (2) يبين مواصفات التصميم للدفاعة الأساسية.

الشكل (1) (ب) يوضح زاوية ريشة الدفاعة، وتم اختيار زاوية مدخل ريشة الدفاعة بناءً على نظرية مثلث السرعات كما هو مبين في الشكل (2) حيث V_m هي السرعة الخطية، V_c هي السرعة المحيطة، V_{flow} هي السرعة النسبية للتدفق، α هي زاوية التدفق.



الشكل (2) مثلث السرعات.

(ب) زاوية الريشة

(أ) شكل الريشة

الشكل (1) مخطط انسيابي لتصحيح التصميم للريشة.

ووفقاً لنظرية مثلث السرعات تم الحصول على القيم التالية.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{V_m}{V_c} \right) \quad (2)$$

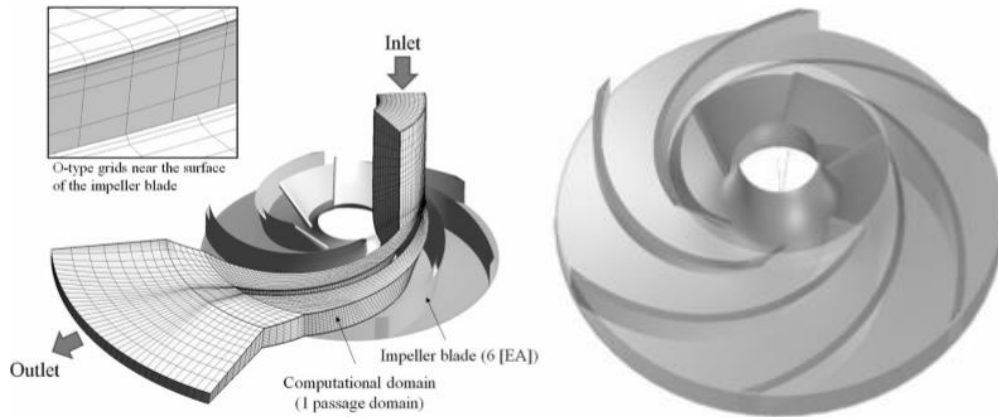
$$V_m = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

$$V_c = \omega r \quad (4)$$

حيث: A مساحة المقطع العرضي للتدفق، و ω السرعة الزاوية، و r نصف قطر الدفاعة، ولتصميم زاوية مدخل الدفاعة الأساسية تم استخدام نظرية مثلث السرعات لحساب زاوية التدفق، وكانت زوايا التدفق المحسوبة 37° عند المحور و 21° عند الغلاف، وتم تحديد قيم زوايا التدفق للمحور والغلاف كزوايا مدخل الدفاعة الأساسية (بيتا h_1 و (بيتا s_1) وتم تحديد زوايا المخرج ($beta s_2$ ، $beta h_2$) للدفاعة الأساسية وكانت قيم الزوايا 24° عند كل من المحور والغلاف.

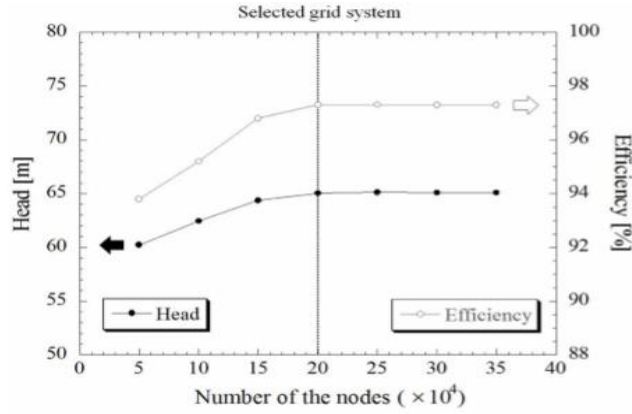
2.2 تقييم أداء الدفاعة الأساسية .

كما هو موضح في الشكل (3) تم إنشاء الشكل الهندسي ثلاثي الأبعاد للدفاعة الأساسية باستخدام برنامج المحكاة ANSYS BladeGEN ver. 13، وتم إنتاج المجال الحسابي للتحليل العددي باستخدام الهندسة ثلاثية الأبعاد الموضحة في الشكل (4) ولإنتاج المجال الحسابي تم اختيار تدفق لريشة دفاعة واحدة في حالة الدوران وتم إجراء اختبار اعتماد الشبكة على الدفاعة لتحديد شبكات موثوقة لتقييم الأداء، وأستخدم اختبار تبعية الشبكة للدفاعة من نتائج العلو والكفاءة في نقاط مختلفة من عقد الشبكة.



الشكل (3) ثلاثي الأبعاد للدفاعة الأساسية. الشكل (4) المجال الحسابي للتحليل العددي للدفاعة.

حيث كان معدل التدفق ($Q=4500 \text{ m}^3/h$)، وتم الحفاظ على النسبة المثوية لكل جزء على الرغم من تغيير عدد عقد الشبكة، وبناءً على نتيجة اختبار تبعية الشبكة للدفاعة كما هو موضح في الشكل (5) تم تحديد نظام الشبكة بنسبة خطأ 0.1% أو أقل من الأداء، بلغ عدد العقد الإجمالية للشبكة المختارة حوالي 0.2 مليون، مع حوالي 0.15 مليون لجزء ريشة الدفاعة.



الشكل (5) نتيجة اختبار تبعية الشبكة للدفاعة.

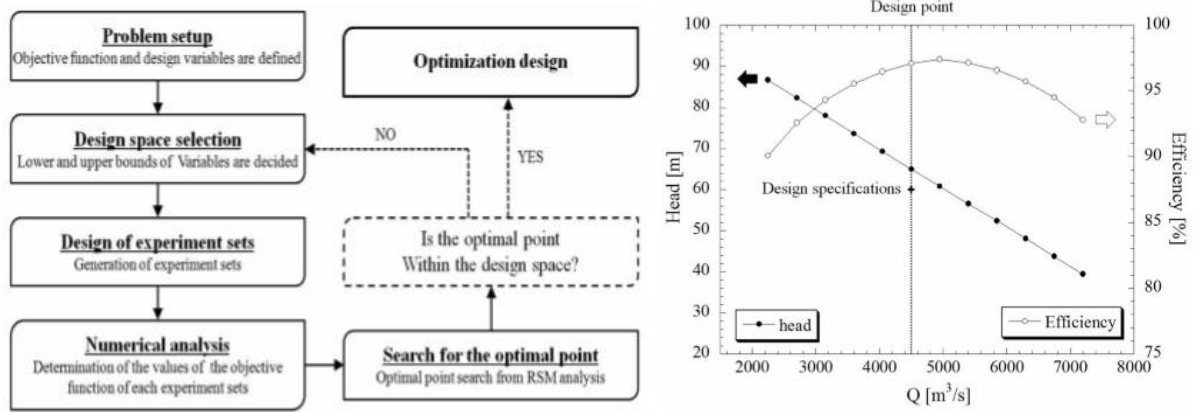
يبلغ متوسط قيمة $(+y)$ لهذا النظام الشبكي 1.7 أي أقل من 2، لقد تم اعتماد نموذج نقل إجهاد القص (Shear stress transport (SST)) بناءً على نموذج $(k-\omega)$ وهو نموذج الاضطراب عند تنفيذ التحليل العددي للدفاعة، وأثناء تطبيق التحليل الرقمي المطبق على نموذج (SST) تم تطبيق قانون رينولدز (Low-Reynolds) لحساب التدفق بالقرب من الجدار بقيمة $(+y)$ أقل من 2، ولتقييم أداء الدفاعة تم إجراء التحليل الرقمي باستخدام تطبيق تحليل السوائل اللزجة ثلاثي الأبعاد ANSYS CFX ver13، ولفحص خصائص متوسط مجال التدفق تم استخدام معادلة نافير-ستوكس (Navier-Stokes equation) ثلاثي الأبعاد لتحليل التدفق المضطرب الغير القابل للانضغاط [14]. تم فصل معادلة التحليل العددي من خلال طريقة الحجم المحدود (Finite Volume Method FVM) وتم استخدام تقنية عالية الدقة من الدرجة الثانية أو أعلى [15] فيما يتعلق بظروف الحدود للتحليل العددي تم ضبط الضغط المرجعي على 1 ضغط جوي (1 atm) وتم تعيين حالة الضغط للمدخل 0 ضغط جوي وتحديد عدد الدورات 600(N) دورة في الدقيقة والسائل المستخدم هو الماء.

تم تأكيد أداء الدفاعة الأساسية من النتائج التحليلية و المخطط البياني كما هو موضح في الشكل (6) حيث العلو $(H=65m)$ والكفاءة (97.1%) عند نقطة التصميم بتدفق $(Q= 4500m^3/h)$ في الشكل (6) ووفقاً لنتائج التحليل العددي فإن أداء الدفاعة الأساسية مستوفي مواصفات التصميم، ومع ذلك فقد استبعد الشكل الحلزوني بسبب الضياعات وتم التحقق من الضياعات والخطأ في التصميم من خلال الأبحاث السابقة [16].

بالنظر إلى هذه الضياعات والخطأ في التحليل العددي (حوالي 12%) لا يبدو أن الدفاعة الأساسية تفي بمواصفات التصميم، بالإضافة إلى ذلك فإن أعلى نقطة كفاءة كانت عند قيمة التدفق $(Q= 4950m^3/h)$ وهذه كانت مختلفة عن مواصفات التصميم $(Q / Q_{design} = 1.1)$ لذلك يتطلب تعديل الدفاعة الأساسية.

3. تحسين الدفاعة لتستوفي مواصفات تصميم الدراسة لتصميم مضخة طرده مركزية.

تم إجراء عملية التحسين التي تجمع بين RSM والتحليل العددي، وتظهر عملية التحسين العامة في الرسم البياني الانسيابي في الشكل (7).



الشكل (6) مخطط أداء الدفاعة الأساسية. الشكل (7) المخطط البياني الانسيابي لعملية التحسين.
1.3 متغيرات التصميم للدفاعة:

تم تغيير التصميم لتحسين الدفاعة، وتم تعديل شكل ريشة الدفاعة في النموذج الأساسي بالنسبة لزاواياها، وتم استخدام أربعة متغيرات تصميم: زاوية مدخل محور الدفاعة (beta 1_h) وزاوية مدخل غلاف الدفاعة (beta 1_s) وزاوية مخرج محور الدفاعة (beta 2_h) وزاوية مخرج غلاف الدفاعة (beta 2_s) ويبين الجدول (3) متغيرات ونطاقات التصميم المختارة.

الجدول (3) متغيرات التصميم للدفاعة.

Variable	Center	Range
Beta 1_h (°)	37	± 2
Beta 1_s (°)	21	± 2
Beta 2_h (°)	24	± 3
Beta 2_s (°)	24	± 3

2.3 منهجية تحسين الدفاعة:

تم تحسين الدفاعة باستخدام RSM والتحليل العددي، RSM الذي قدمه (Box and Wilson) في عام 1951 هو نهج معروف لتقدير تأثيرات التفاعل بين المتغيرات المستقلة دون تنفيذ تجارب التصميم العملي لكل مستوى من كل متغير مستقل [17] في RSM هناك أكثر من نوعين وتبين خوارزمية التحسين العلاقات الوظيفية بين وظائف الاستجابة باستخدام المتغير المستقل. هناك عدة أنواع من RSMs يتم استخدامها في تصميمات عوامل ثنائية المستوى عندما يكون سطح الاستجابة أساسي، ويتم استخدام تصميمات لعوامل ثلاثية المستويات عندما يكون سطح الاستجابة ثانوي. ولإجراء التحسين باستخدام RSM تم إجراء 25 مجموعة من التجارب للتحليل العددي، ومع ذلك تم استخدام خمس من هذه المجموعات لتأكيد الخطأ وتقييم الأداء المتكرر، وتم عرض قيم المتغيرات لمجموعات التجارب التي تم إجراؤها في الجدول (4) خضعت جميع مجموعات التجارب أيضاً لتقييم الأداء باستخدام التحليل العددي مثل الدفاعة الأساسية.

3.3 تصميم الدفاعة المحسنة:

بناءً على نتائج تقييم الأداء لكل مجموعة من التجارب، تم إجراء تحليل RSM لتحسين الدفاعة باستخدام برنامج (Minitab) يوضح الشكل (8) نتائج تحسين التصميم الذي تم الحصول عليها من RSM، وبالنظر إلى نطاق الضياعات والخطأ في التحليل العددي تم تحديد أداء الهدف الذي يلي مواصفات التصميم، حصلنا على علو (H=69m) وأعلى كفاءة تصل إلى (98.3%).

عندما تكون زوايا بيتا للدخول والخروج بالقيم التالية (beta 1_h at 35°), (beta 1_s at 19°), (beta 2_h at 28°), (beta 2_s at 28°).

ومن خلال عملية التحسين باستخدام RSM، تم إنتاج الدفاعة المحسنة كما هو موضح في الشكل (9) وتم تقييم أدائها باستخدام التحليل العددي التي تظهرها النتائج في الشكل (10). حيث كان العلو (H=69.1m) عند نقطة التصميم بتدفق (Q=4500 m³/h) وكفاءة (98.3%) وهو ما يتوافق مع النتيجة المقدرة، تم الحصول على علو أعلى بحوالي 4.1 متر وكفاءة أعلى بنسبة 1.2% مقارنة بأداء الدفاعة الأساسية، بالنظر إلى الضياعات ومدى الخطأ تم اعتبار أداء الدفاعة المحسنة مناسباً لمواصفات التصميم.



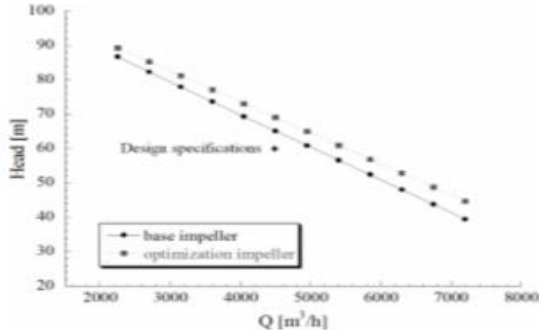
New D	Hi Cur	beta 1_h	beta 1_s	beta 2_h	beta 2_s
0.99871	Lo	41.0	25.0	30.0	30.0
		[35.0]	[19.0]	[28.0]	[28.0]
		33.0	17.0	18.0	18.0

Efficiency Maximum					
y = 98.3023					
d = 1.00000					
Head					
Targ : 69.0					
y = 69.0073					
d = 0.99742					

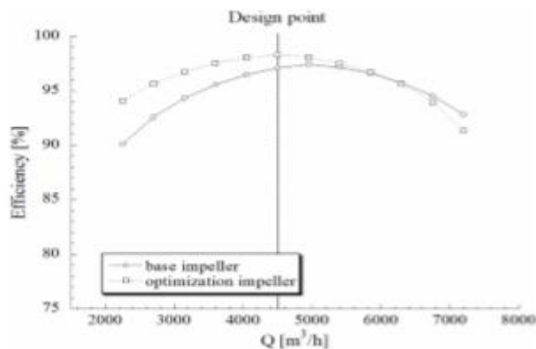
الشكل (9) D3(9) للدفاعة المحسنة.

الشكل (8) نتائج التحسين للدفاعة.

الجدول (4) نتائج التجربة باستخدام RSM.



(a) Performance of the head



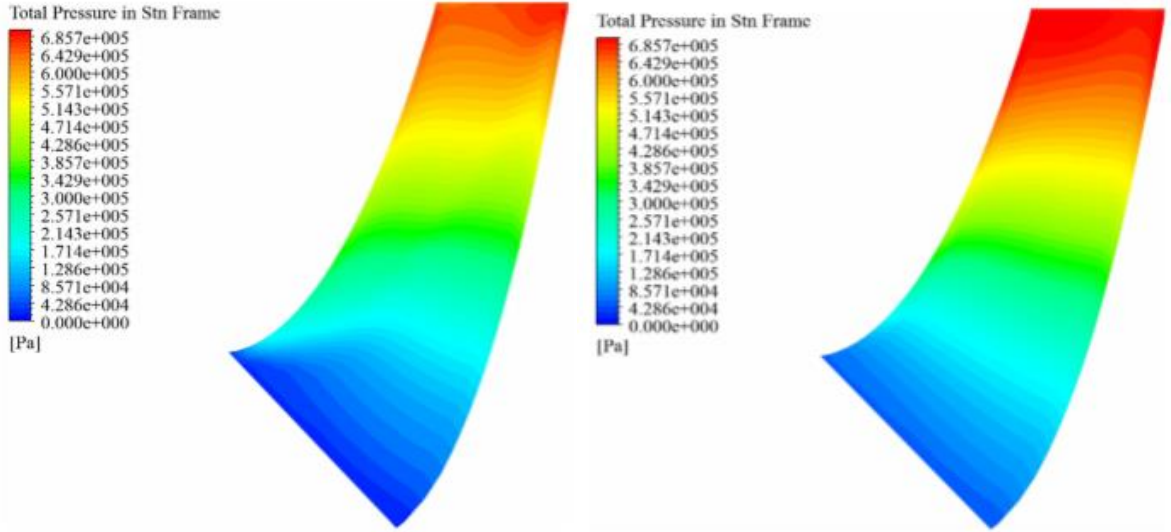
(b) Performance of the efficiency

Set	Beta 1_h (°)	Beta 1_s (°)	Beta 2_h (°)	Beta 2_s (°)
1	35	19	21	21
2	39	19	21	21
3	35	23	21	21
4	39	23	21	21
5	35	19	27	21
6	39	19	27	21
7	35	23	27	21
8	39	23	27	21
9	35	19	21	27
10	39	19	21	27
11	35	23	21	27
12	39	23	21	27
13	35	19	27	27
14	39	19	27	27
15	35	23	27	27
16	39	23	27	27
17	33	21	24	24
18	41	21	24	24
19	37	17	24	24
20	37	25	24	24
21	37	21	18	24
22	37	21	30	24
23	37	21	24	18
24	37	21	24	30
25	37	21	24	24

الشكل (10) منحنيات أداء الدفاعة.

4.3 مقارنة التدفق الداخلي:

للتحقيق في أسباب الاختلاف في أداء الدفاعة الأساسية والدفاعة المحسنة تم تحليل مجالات التدفق الداخلي بناءً على أساس نتائج التحليل العددي و يوضح الشكل (11) محيط الضغط على جزء من الريشة في الدفاعة الأساسية والدفاعة المحسنة عند نقطة التصميم ($Q=4500 \text{ m}^3/\text{h}$) وفي حالة الدفاعة الأساسية كان الضغط مختلف في الغلاف وجانب المحور.



(أ) الدفاعة الأساسية

(ب) الدفاعة المحسنة

الشكل (11) مقارنة للضغط للدفاعتين.

يؤدي ارتفاع الضغط الناتج إلى تدفق غير منتظم وانخفاض في الأداء، ومن ناحية أخرى فان الدفاعة المحسنة رفعت الضغط في الغلاف وجانب المحور، تم التحقق من أن سرعة التدفق الداخلي تكون أسرع على الغلاف منه على المحور بسبب توزيع الضغط على الرغم من أن فصل التدفق يحدث على الدفاعة الأساسية بسبب اختلاف السرعة، أما في الدفاعة المحسنة يتم فصل التدفق لأنها بها توزيع ضغط ثابت وأدت هذه التحسينات في التدفق غير المنتظم إلى تحسين أداء الدفاعة وبناءً على هذه النتائج تم اختيار الدفاعة المحسنة للاستخدامها في التصميم النهائي.

4. اختيار الهيكل الحلزوني:

1.4 تصميم الهيكل الحلزوني:

الشكل الحلزوني هو جسم يجمع التدفق ويتصل بالأنبوب ونظرًا لشكله البسيط الذي يمكن تصنيعه بسهولة فقد تم استخدامه على نطاق واسع في مضخات الطرد المركزي وتم استخدام نظرية ستيبانوف بشكل أساسي عند تصميم توزيع المقطع العرضي للشكل الحلزوني في المضخة، ويتغير توزيع المقطع العرضي بشكل متناسب للحفاظ على سرعة تدفق ثابتة في الشكل الحلزوني، ويتم تحديد سرعة التدفق في الشكل الحلزوني وفقًا لنظرية ستيبانوف في المعادلة التالية:

$$V_{volute} = K\sqrt{2gH} \quad (5)$$

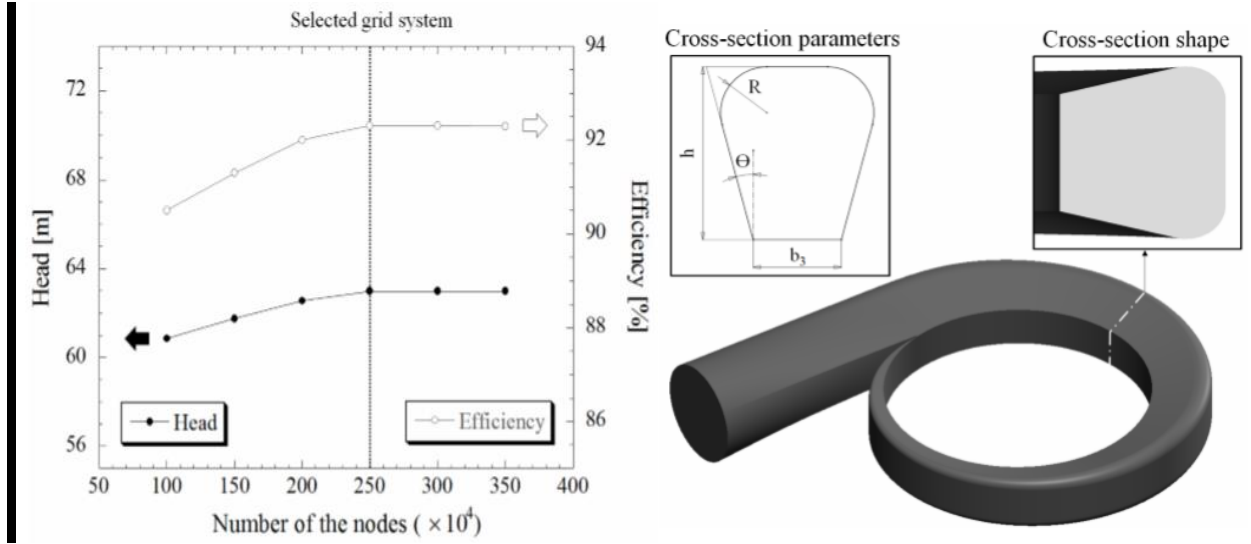
حيث g عجلة الجاذبية، H العلو، K الثابت التجريبي.

يتم إيجاد قيمة K بمعلومية السرعة النوعية بالمعادلة التالي:

$$K = \frac{2.18}{N_s^{0.32}} \quad (6)$$

ويمكن إيجاد قيمة المقطع العرضي وفقاً لزاوية الدوران من معادلة برنولي على النحو التالي:

$$A(\theta) = \frac{Q}{V} \times \frac{\theta}{360} \quad (7)$$



الشكل (12) تصميم الهيكل الحلزوني. الشكل (13) نتائج اختبار الهيكل الحلزوني.

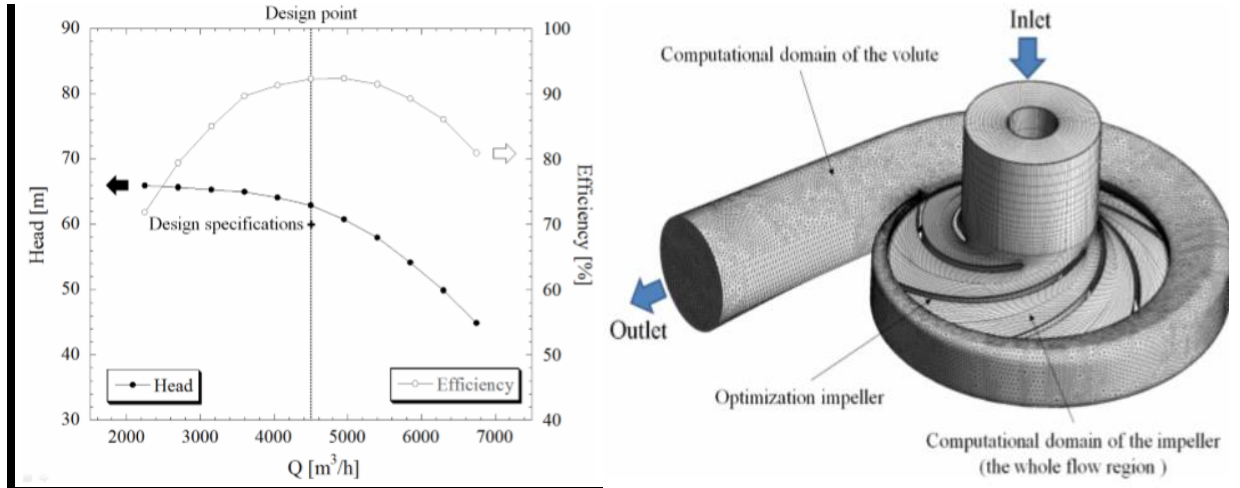
لإجراء الدراسة تم تصميم الهيكل الحلزوني الأساسي ليناسب الدفاعة المحسنة من خلال نظرية ستينانوف وكانت سرعة التدفق في مجرى القاعدة (14m/s) وتم حساب توزيع المقطع العرضي المقابل للزاوية الذي يوضحه الشكل (12) والمقطع العرضي للحلزون وقيمة الزاوية الشعاعية ($\theta=15^\circ$) وعرض مدخل الحلزون ($b_3=175\text{mm}$) وتم تغيير الارتفاع (h) ونصف قطر دائرة الحلزون (R) وفقاً لتوزيع المقطع العرضي .

2.4 تقييم أداء الهيكل الحلزوني باستخدام CFD .

استناداً إلى توزيع المقطع العرضي المحسوب وشكل المقطع العرضي للهيكل الحلزوني الأساسي، تم إنشاء منطقة التدفق للهيكل الحلزوني الأساسي باستخدام (Solid Works 2013) كما هو موضح في الشكل (12) وتم إنشاء نظام شبكي غير منتظم للمجال الحسابي باستخدام برنامج الحلزوني للتحقق من نتائج قيمة العلو والكفاءة لعدد من عقد الشبكة للمقطع وكما تم اختبار الدفاعة باستخدام المجال الحسابي للدفاعة المحسنة لمنطقة التدفق وتم الحصول على النتائج كما موضح في المخطط بالشكل (13).

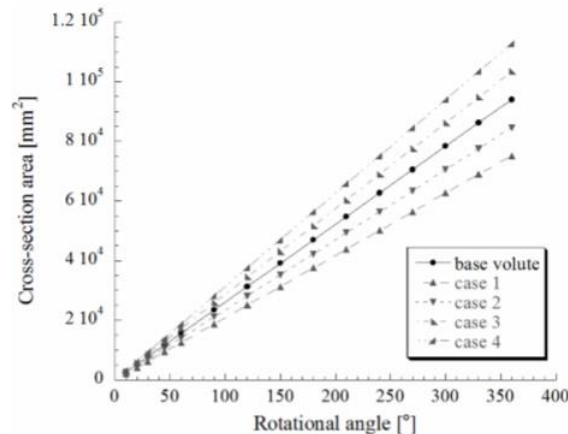
كان نظام الشبكة المختارة للهيكل الحلزوني كما هو موضح في الشكل (14) 2.5 مليون عقدة ويبين متوسط قيمة (+ y) لذلك تم حساب التدفق بالقرب من الجدار باستخدام وظيفة الجدار في حالة استخدام نظام الشبكة الحلزونية [15] مطلوب نظام الشبكة الذي يتكون من 3.5 مليون عقدة وقيمة + y أقل من 2 لحساب التدفق بالقرب من الجدار باستخدام قانون رينولدز (Low-Reynolds) ومع ذلك كانت نتيجة نظام الشبكة مع 3.5 مليون عقدة مماثلة لتلك التي تحتوي على 2.5 مليون عقدة كما هو موضح من خلال اختبار الاعتماد على الشبكة، ونتيجة لذلك تم استخدام

الشبكة التي تحتوي على 2.5 مليون عقدة بسبب كفاءة التحليل مثل مساحة التخزين ووقت التحليل، لتقييم أداء الدفاعة مع الهيكل الحلزوني تم إجراء تحليل رقمي باستخدام تطبيق تحليل السوائل للزجة ثلاثي الأبعاد (ANSYS CFX ver. 13) وكانت مخططات التحليل العددي الرئيسية هي نفسها التحليل العددي للدفاعة، ومع ذلك تم استخدام المجال الحسابي للدفاعة لضبط نسبة مساحة الواجهة لمخرج الدفاعة ومدخل الهيكل الحلزوني.



الشكل (14) الشكل النهائي لهيكل المضخة. الشكل (15) نتائج تقييم أداء الهيكل.

تم تأكيد أداء الهيكل الحلزوني الأساسي مع الدفاعة المحسنة من نتائج التحليل العددي، كما هو موضح في الشكل (15) حيث كان العلو ($H=62.9\text{m}$) والكفاءة (92.3%) عند نقطة التصميم ($Q=4500\text{ m}^3/\text{h}$) ووفقاً لنتائج التحليل العددي فإن أداء الهيكل الحلزوني الأساسي مع الدفاعة المحسنة يفي بمواصفات التصميم، وبالنظر إلى قيم الضياعات وخطأ التحليل العددي (حوالي 5%) وبالتحقق من الدراسات السابقة لم يبدو أن الهيكل الحلزوني الأساسي يفي تماماً بمواصفات التصميم [16] حيث كانت أعلى نقطة كفاءة عندما التدفق قيمته ($Q=4950\text{ m}^3/\text{h}$) والتي كانت مختلفة عن مواصفات التصميم، وبالرجوع للفقرة 1.4 تم الحصول على الثابت (K) لحساب المقطع العرضي للهيكل الحلزوني الأساسي من خلال نظرية ستينيانوف، ولكن لا يمكن استنتاج أن هذه القيمة كانت صحيحة تماماً، لذلك يتطلب الهيكل الحلزوني الأساسي تعديلاً في التصميم للحصول على تصميم مجسم أكثر ملائمة للدفاعة المحسنة.



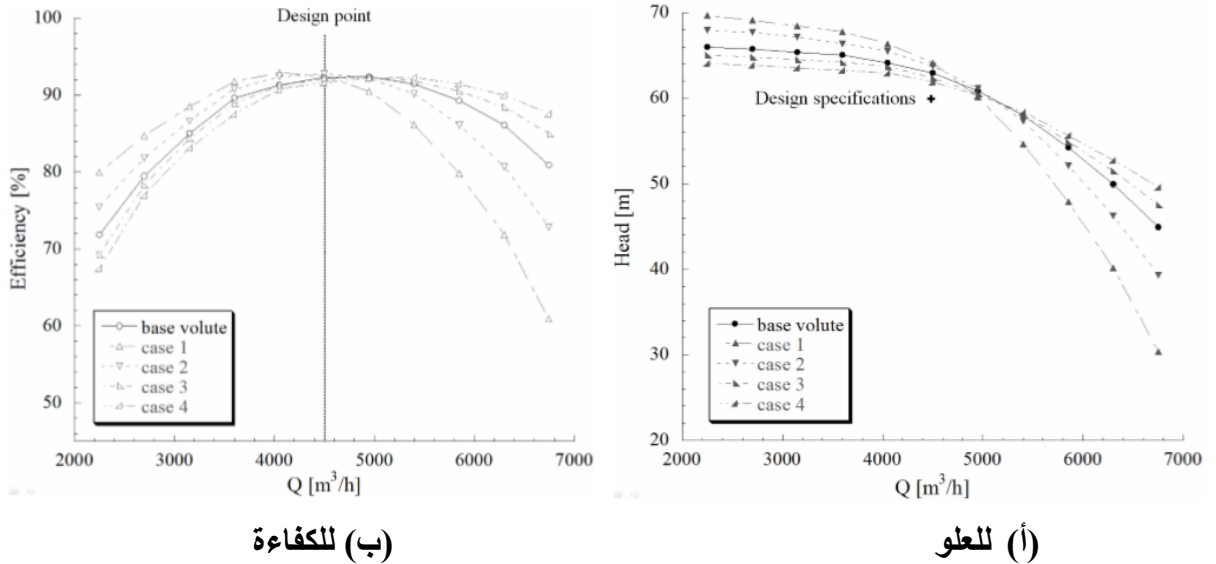
الشكل (16) توزيعات المقطع العرضي لكل حالة للهيكل.

5. تعديل الهيكل الحلزوني:

كما هو مذكور في الفقرة 1.4 يتحرك التدفق الذي تم تصريفه من الدفاعة إلى الهيكل ومن ثم ينتقل هذا التدفق عبر الهيكل إلى خط الأنابيب، بينما يتم تحديد أداء الهيكل بناءً على الضياعات، ونظرًا لأن معظم الضياعات تحدث أثناء تحويل مكونات الضغط الديناميكي إلى مكونات ضغط ثابتة فإنه يمكن التحكم في فقدان الضغط عن طريق سرعة التدفق.

تحدد نظرية ستينانوف سرعة التدفق الداخلي المناسبة للهيكل اعتمادًا على مواصفات المضخة التي تم التحقق منها بالتجربة، وعلى الرغم من ذلك ونظرًا لأن سرعة التدفق الداخلي في الهيكل المحسوب بنظرية ستينانوف ليست دائمًا القيمة المثلى فقد كان من المناسب التحقق من ملائمة سرعة التدفق الداخلي، ويمكن التحكم في سرعة التدفق الداخلي للهيكل عن طريق تغيير توزيع المقطع العرضي ولذلك تم تصميم أربع حالات أخرى للهيكل مع توزيعات المقاطع العرضية المختلفة مقارنة بتوزيع المقطع العرضي للهيكل الأساسي (الحالة 1: 80%؛ الحالة 2: 90%؛ الحالة 3: 110%، والحالة 4: 120%) يوضح الشكل (16) توزيعات المقطع العرضي طبقاً للزاوية الدورانية لكل حالة لشكل الهيكل، وتم إجراء التحليلات العددية لكل حالة لشكل الهيكل باستخدام نفس الإجراء المستخدم في شكل الهيكل الأساسي.

تظهر نتائج تقييم الأداء في الشكل (17) ويوضح الشكل (17) (أ) أنه كلما كان توزيع المقطع العرضي أصغر كلما أصبح العلو أعلى بمعدل تدفق أقل، بالإضافة إلى ذلك كلما كان توزيع المقطع العرضي أكبر كلما أصبح العلو أعلى بمعدلات تدفق أعلى، ويمكن ملاحظة أن نقطة تشغيل المضخة تم تغييرها من خلال الاختلافات في توزيع المقطع العرضي، وفي حالة الكفاءة ظهر هذا الاتجاه بشكل متطابق وفقاً لتغيرات معدل التدفق كما هو موضح في الشكل (17) (ب). وقد لوحظ أكبر أداء عند نقطة التصميم حيث التدفق ($Q=4500 \text{ m}^3/\text{h}$) في الحالة 2 (90% توزيع مساحة المقطع العرضي مقارنة بتوزيع الهيكل الأساسي) وكان العلو ($H=63.9\text{m}$) والكفاءة (92.9%) وكان العلو أعلى بحوالي متر واحد والكفاءة أعلى بنسبة 0.6% مقارنة بالهيكل الأساسي، ان مستوى الأداء حقق المواصفات المستهدفة لمضخة الطرد المركزي في هذه الدراسة.



الشكل (17) نتائج تقييم الأداء لحالات شكل الهيكل.

وبالإضافة إلى ذلك حال شكل الهيكل في الحالة 2 عدم التطابق بين أقصى نقطة كفاءة ونقطة التصميم للهيكل الأساسي، وبناءً على النتائج تم اختيار الحالة 2 لتكون التصميم النهائي للهيكل المناسب للدفاعة المحسنة (المعدلة).

6. النتائج:

في هذه الدراسة تم اعتماد طريقة تصميم لمضخة الطرد المركزي لتلبية مواصفات التصميم، وتم تصميم الدفاعة الأساسية باستخدام نظرية آلات السوائل استناداً إلى مواصفات التصميم، واعتماداً على التحليل الرياضي للمعادلات وبرسم المخططات للنتائج.

أظهر أداء الدفاعة الأساسية قيم العلو ($H=65\text{m}$) والكفاءة (97.1%) والتدفق ($Q=4500\text{ m}^3/h$) بالنظر إلى قيم الضياعات والخطأ في التحليل العددي (حوالي 12%) لا يبدو أن الدفاعة الأساسية تفي بمواصفات التصميم، ولتصميم دفاعة مضخة تستوفي بمواصفات التصميم لهذه الدراسة تم إجراء عملية تحسين وتجمع بين RSM (response surface method) والتحليل العددي، حيث تعمل الدفاعة المحسنة على العلو ($H=69.1\text{ m}$) وبكفاءة (98.3%) في نقطة التصميم بتدفق ($Q=4500\text{ m}^3/h$) بالمقارنة مع الدفاعة الأساسية فقد زاد العلو بمقدار ($H=4.1\text{ m}$) مع زيادة الكفاءة بنسبة (1.2%) وسيفي مستوى الأداء هذا بمواصفات التصميم لذلك تم اختيار الدفاعة المحسنة (المعدلة) للتصميم النهائي في هذه الدراسة.

تم إنشاء الهيكل الأساسي للدفاعة المحسنة بواسطة نظرية ستينانوف وأظهر أداء الهيكل الأساسي مع الدفاعة المحسنة علو ($H=62.9\text{ m}$) وبكفاءة (92.3%) عند نقطة التصميم بتدفق ($Q=4500\text{ m}^3/h$)، كان هذا الأداء أقل بقليل من مواصفات التصميم مع مراعاة ضياعات المكونات ونطاق الخطأ.

ولتعديل تصميم الهيكل تم تصميم أربع هياكل بتوزيعات مختلفة للمقاطع العرضية وكانت الحالة 2 (توزيع مساحة المقطع العرضي 90% مقارنة بالهيكل الأساسي) وهي الأفضل أداءً في نقطة التصميم بتدفق ($Q=4500\text{ m}^3/h$) حيث كان العلو ($H=63.9\text{ m}$) والكفاءة (92.9%) وكان العلو أعلى بحوالي متر واحد، والكفاءة أعلى بنسبة 0.6% مقارنة بالهيكل الأساسي، وحققت مستوى الأداء هذه المواصفات المستهدفة لهذه الدراسة، وبناءً على هذه النتائج تم اختيار الحالة 2 لتكون مناسبة للدفاعة المحسنة في التصميم النهائي لشكل الهيكل.

المصطلحات والاختصارات

A : Cross-section area of the flow	Q : Volume flow rate
b1 : Width of the inlet of the impeller	R : Radius of round of the volute
b2 : Width of the outlet of the impeller	r1 : Radius of the impeller inlet
b3 : Width of the inlet of the volute	r2 : Radius of the impeller outlet
beta 1 : Inlet angle of the impeller	Vc : Circumferential velocity
beta 2 : Outlet angle of the impeller	Vflow : Relative velocity of the flow
g : Gravitational acceleration	Vm : Meridional velocity
H : Head of the pump	Vvolute : Flow velocity in the volute
h : Height of the volute	α : Angle of the flow
K : Experimental constant of Stepanoff	ω : Angular velocity
Ns : Specific speed	θ : Radial angle
N : Rotation speed	

References.

- [1] J. F. GÄulich, *Kreiselpumpen*, Second Ed. Springer, ISBN 3-540-40587-9 (2004).
- [2] J. Tuzson, *Centrifugal pump design*, John Wiley & Sons, ISBN 0-471-36100-3 (2000).
- [3] H. Roclawski and D.-H. Hellmann, Rotor-stator-interaction of a radial centrifugal pump stage with minimum stage diameter, *Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics*, Elounda, Greece (2006) 301-308.
- [4] N. Nariman-Zadeh, N. Amanifard, A. Hajiloo, P. Ghalandari and B. Hoseinpoor, Multi-objective pareto optimization of centrifugal pump using genetic algorithms, *Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on COMPUTERS*, Crete Island, Greece (2007) 135
- [5] Rasmus K. Ursem, *Centrifugal pump design: Three benchmark problems for many-objective optimization*, Grundfos Management Technical Report (2010) no. 2010-01.
- [6] M. H. ShojaeeFard, F. A. Boyaghchi and M. B. Ehghaghi, Experimental Study and Three-Dimensional Numerical Flow Simulation in a Centrifugal Pump when Handling Viscous Fluids, *IUST International Journal of Engineering Science*, 17 (3) (2006) 53-60.
- [7] M. H. Shojaee Fard and M. B. Ehghaghi, Experimental and numerical study of centrifugal pump in the performance of viscous flow, *International Journal of Engineering Science*, (2002)
- [8] S. JOHN, ANAGNOSTOPOULOS, CFD Analysis and Design Effects in a Radial Pump Impeller, *WSEAS TRANSACTIONS ON FLUID MECHANICS*, 7 (1) (2006) 763-770.
- [9] S. Cao, G. Peng and Z. Yu, Hydrodynamic design of rotodynamic pump impeller for multiphase pumping by combined approach of inverse design and CFD analysis, *Journal of Fluids Engineering*, 127 (2005) 330-338.
- [10] M. Asuaje, F. Bakir, S. Kouidri and R. Rey, Inverse design method for centrifugal impellers and comparison with numerical simulation tools, *International Journal for Computational Fluid Dynamics*, 18 (2) (2004) 101-110.
- [11] A. J. Stepanoff, *Centrifugal and axial flow pumps: theory, design and application*, John Wiley Sons Inc. (1986).
- [12] Mona Golbabaei Asl, Failure detection and optimization of a centrifugal-pump volute casing, *Proceedings of the SEM Annual Conference* (2009).
- [13] A. T. Sayers, *Hydraulic and compressible flow turbomachines*, McGraw-Hill (1990).
- [14] U. Ghia, K. N. Ghia and C. T. Shin, High-Re solutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a multigrid method, *Journal of Computational Physics*, 48 (3) (1982) 387-411
- [15] C. Mingham and D. Causon, High-resolution finite-volume method for shallow water flows, *J. Hydraul. Eng.*, 124 (6) (1998) 605-614.

- [16] Development of the centrifugal and mixed pump for 1501200 specific velocity, Korea Evaluation Institute of industrial Technology (Keit) report (2014).
- [17] Raymond H. Myers and Douglas C. Montgomery, Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiment, Wiley-Interscience publication (2002).