مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (4) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (4) 2018

بناء خوارزمية لاستخلاص معالم ثلاثية البعد من ملفات الـ CAD من أجل العمليات الصناعية

د. ربيع حبيب[1]
د. مريم ساعي[2]
عبد الرزاق دبور[3]

(تاريخ الإيداع 18 / 4 / 2018. قُبِل للنشر في 19/ 7 / 2018)

□ ملخّص □

تم في هذا البحث بناء خوارزمية، لاستخلاص معالم ثلاثية البعد، ذات أشكال إسطوانية بالإضافة إلى الجيوب والمجاري من نماذج CAD المخزنة بصيغة ملفات STL وذلك بالاعتماد على منهج التمثيل البياني (graph-based method) ومنهج القواعد(rule-based method).

كما تم تصميم تطبيق باستخدام Visual Stduio C# كواجهة تخاطب مع المستخدم، يسمح له باستيراد نماذج CAD المخزنة بصيغة STL واستخلاص المعالم وعرض المعلومات الخاصة لكل منها (كقطر وارتفاع وإحداثيات مركز الثقل للأسطوانات، وقيم العرض والطول والإرتفاع للجيوب والمجاري، بالإضافة إلى عرض السطوح المشكلة لها واحداثيات مركز ثقلها).

تم بناء الخوارزمية المقترحة من عدة مراحل هي: تقسيم النموذج المدروس إلى مجموعة من السطوح بالاعتماد على خوارزمية RegionGrowing، يليها استخلاص المعالم الأسطوانية بالاعتماد على منهج القواعد، واستخلاص الجيوب والمجاري بالاعتماد على منهج التمثيل البياني، ثم حساب المعلومات الهندسية الخاصة بكل معلم. تم اختبار الخوارزمية المقترحة على نماذج CAD تحتوي معالم أسطوانية وجيوب ومجاري بأشكال مختلفة. وقد أظهرت النتائج قدرة الخوارزمية المقترحة على استخلاص المعالم الإسطوانية والجيوب والمجاري من نماذج CAD مختلفة مخزنة بصيغة ملفات STL بالإضافة إلى ايجاد المميزات الهندسية للمعالم المستخلصة مثل (احداثيات مركز الثقل بالنسبة لمركز النموذج، العرض، العمق، الارتفاع وقطر الأسطوانة .... الخ).

الكلمات المفتاحية : ملفات STL، استخراج المعالم، التمثيل البياني، الاعتماد على القواعد.

[1] أستاذ مساعد – قسم هندسة الميكاترونيك – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية
[2] أستاذ مساعد – قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية
[3] طالب دكتوراه – قسم هندسة الميكاترونيك – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (4) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (4) 2018

Algorithm designing for Features Extraction from CAD Files for Industrial Processes

Dr. Rabie Habib [3]
Dr. Mariam Saii [4]
Abd Alrazzak Dabbour[5]

(Received 18 / 4 / 2018. Accepted 19 / 7 / 2018)

□ ABSTRACT □

In this paper, the algorithm was designed for cylinders, slots and pockets extraction from CAD models saved in STL file depending on rule-based method and graph-based method.
Besides, windows application was designed using Visual Studio C# which allows the user to import CAD model and features extraction and view their geometric information (cylinder diameter, height, cylinder center coordinates, width, height, length for slots and pockets. In addition, all surfaces that the feature consists from.
The proposed algorithm consists from multi-steps are: dividing input model into multi surfaces based on RegionGrowing method, next step is cylinder features extraction depending on rule-based method, slots and bockets extraction depending on graph-based method, calculating geometric information for each extracted feature.
The results show that the proposed algorithm can extract cylinders, slots and pockets features from CAD models which saved in STL files and calculates geometric information for each extracted feature.

Keywords: STL, Features Extraction, Rule based Algorithims, Graph based Algorithims.

[3]: **Associate professor, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria**
[4]: **Associate professor, Department of Computer and Automatic Control Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria**
[5]: **Phd Candid, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical**

مقدمة:

يعرف المعلم في نموذج CAD على أنه جزء من النموذج المدروس، يتميز بمواصفات هندسية خاصة. بحيث يمكن تقسيم النموذج إلى مجموعة من المعالم، مثل الثقوب والمجاري والجيوب إلخ. يتم حفظ القطع المصممة باستخدام برامج التصميم الميكانيكي مثل Solidworks باستخدام مجموعة من صيغ الملفات مثل (DXF, IGES, STEP, STL).

تعتبر عملية استخلاص المعالم بشكل آلي من العمليات المهمة في العديد من المجالات الصناعية أو عمليات التصميم والتصنيع بمساعدة، لذلك نجد العديد من الأبحاث التي اهتمت باستخلاص المعالم من نماذج CAD بشكل آلي بحيث يمكن تصنيف الخوارزميات المستخدمة إلى الأصناف التالية: منهج التمثيل البياني (graph-based methods) [1-4] ومنهج القواعد (rule-based methods) [5-7].

تقوم الخوارزميات المصنفة ضمن خانة "منهج القواعد" بتخزين مجموعة من القواعد التي تصف كل معلم من المعالم المراد استخلاصها ضمن قاعدة بيانات، ويتم البحث في النموذج المدروس عن المعالم التي تطابق تلك القواعد المعرفة مسبقاً، وتعد هذه الخوارزميات من أكثر الخوارزميات وثوقية في استخلاص المعالم من نماذج CAD، حيث تستطيع التعامل مع عدد كبير من المعالم.

أما الخوارزميات المصنفة ضمن خانة "منهج التمثيل البياني" فإنها تتطلب مرحلة معالجة للنموذج المدروس قبل البحث والتعرف على المعالم بحيث يجب تمثيل الجسم المدروس بالشكل البياني ثم البحث في هذا التمثيل عن مجموعة من المعالم المعرفة مسبقاً في قاعدة البيانات.

أما في هذا البحث فقد تم بناء خوارزمية لاستخلاص المعالم ذات الأشكال الأسطوانية والجيوب والمجاري من نماذج CAD المخزنة بصيغة ملفات STL وذلك بالاعتماد على كلا المنهجين (التمثيل البياني ومنهج القواعد)، بالإضافة إلى تصميم تطبيق باستخدام Visual Stduio C# كواجهة تخاطب مع المستخدم يسمح له باستيراد نماذج CAD المخزنة بصيغة STL واستخلاص المعالم الأسطوانية والجيوب والمجاري بالاعتماد على الخوارزمية المقترحة وعرض المعلومات الخاصة لكل معلم (قطر وارتفاع الأسطوانة، احداثيات مركز الأسطوانة بالنسبة إلى مركز النموذج المدروس، عدد السطوح المشكلة للجيب أو المجرى، احداثيات مركز الجيب أو المجرى بالنسبة إلى مركز النموذج المدروس وأبعاد الجيب أو المجرى (الطول، العرض والارتفاع)).

أهمية البحث وأهدافه:

تعتبر عملية استخلاص المعالم من نماذج CAD من العمليات الأساسية في الكثير من التطبيقات والعمليات الصناعية، خصوصاً في عمليات تجميع القطع الصناعية بشكل آلي.

يهدف البحث إلى بناء خوارزمية لاستخلاص المعالم المرئية وغير المرئية من نماذج CAD مخزنة بصيغة ملفات STL، والتي تحتوي على معالم أسطوانية وجيوب ومجاري بالإضافة إلى ايجاد أبعاد المعالم المستخرجة وموقعها بالنسبة لمركز النموذج المدروس، بالإضافة إلى دمج الخوارزمية المقترحة ضمن تطبيق يتيح للمستخدم استيراد ملفات STL وعرض المعالم المستخلصة وخواصها (الأبعاد واحداثيات مركزها بالنسبة إلى مركز النموذج) بشكل آلي.

طرائق البحث ومواده:

1. 1. ملفات STL:

تستطيع العديد من برامج التصميم بمساعدة الحاسب (CAD/CAM Softwares) مثل (AutoCAD, SolidWorks... إلخ)، حفظ نموذج CAD بأنواع مختلفة من الملفات منها ملفات STL.

يصف ملف STL نموذج CAD بالاعتماد على حفظ رؤوس جميع المثلثات المشكلة للنموذج بالإضافة إلى حفظ المتجه الطبيعي (normal vector) (وهو الشعاع العمودي على خطوط المثلث) لجميع المثلثات المشكلة للنموذج.

يتم تخزين نموذج CAD وحيد ضمن ملف STL دون أية معلومات عن لون وطبيعة المادة المشكلة للنموذج، كما أن ملفات STL تعتمد على قاعدة رأس–رأس (vertex–to–vertex rule) الموضحة بالشكل(1) أي أن كل مثلث يشترك برأسين من رؤوسه مع المثلث المجاور له، كما يمكن حفظ ملفات STL بالاعتماد على إحدى النموذجين (ASCII and Binary) [8–9].

الشكل (1) قاعدة رأس–رأس المستخدمة في تمثيل النماذج المخزنة بصيغة STL.

1. 1. 1. تنسيق ASCII

يوضح الشكل(2) ترميز ملفات STL بالشكل الأسكي، يبدأ هذا الترميز بالكلمة المفتاحية **solid** باسم الملف، بعدها يتم توصيف كل مثلث من المثلثات في النموذج بالتتابع بحيث كل مثلث يبدأ بالكلمة المفتاحية **facet** وينتهي بـ **endfacet**. بعد كلمة facet يتم ذكر المتجه الطبيعي (normal vector) مسبوقاً بالكلمة المفتاحية **normal**، بعدها يتم ذكر إحداثيات رؤوس المثلث مسبوقاً بالكلمة المفتاحية **vertex** بحيث يتم احاطة رؤوس المثلث بالكلمتين المفتاحيتين **outer loop** و **endloop** [8].

```
Solid name
  facet normal ni nj nk
    outer loop
        vertex v1x v1y v1z
        vertex v2x v2y v2z
        vertex v3x v3y v3z
    endloop
  endfacet
endsolid name
```

الشكل (2) ترميز ملفات STL بترميز ASCII.

1. 1. 2. تنسيق BINARY

يوضح الشكل(3) ترميز ملفات STL بالشكل الثنائي، يبدأ الملف برأس الملف المكون من 84 بايت بحيث تحتوي أول ثمانية منها على معلومات عن الملف (اسم النموذج وتعليقات متنوعة) بينما تحتوي أخر أربع بتات على عدد المثلثات في النموذج.

بينما يتم حجز 50 بايت لكل مثلث بحيث يشمل احداثيات كل رأس من رؤوس المثلث والمتجه الطبيعي (normal vector) بحيث كل يستخدم 4 بايت لترميز كل إحداثية بالتالي يتم استخدام 48 بايت من 50 و يبقى أخر بايتين غير مستخدمين [9].

UINT8[80] – Header
UINT32 – Number of triangles
for each triangle
REAL32[3] – Normal vector
REAL32[3] – Vertex 1
REAL32[3] – Vertex 2
REAL32[3] – Vertex 3
UINT16 – Attribute byte count
End

الشكل (3) ترميز ملفات STL بترميز Binary.

1. 2. استخلاص الحواف والسطوح من ملفات الـ STL:

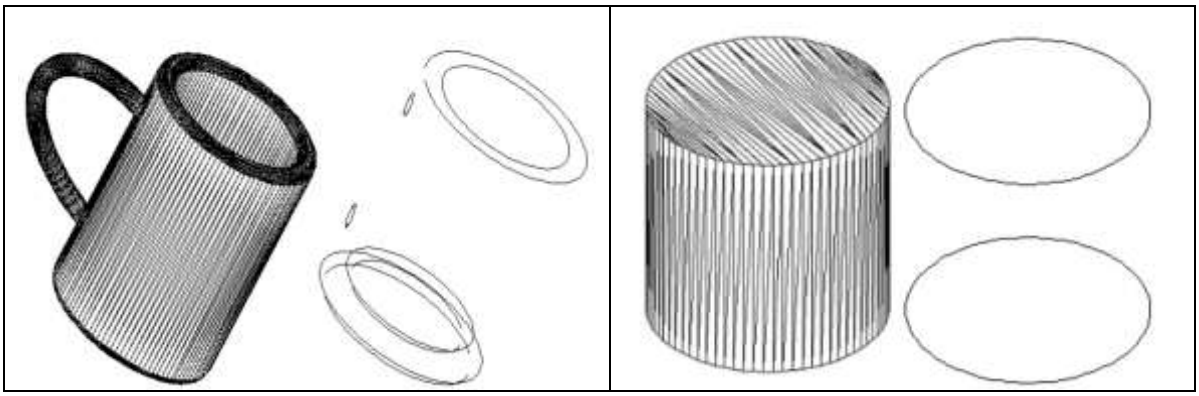
تم في هذا البحث الاعتماد على خوارزمية (Region Growing)، لتقسيم النموذج موضوع الدراسة إلى مجموعة من المناطق والسطوح، بالإضافة إلى استخلاص الحواف والخطوط بين هذه المناطق كخطوة أولى لاستخلاص المعالم من النموذج [10–13].

تعتمد خوارزمية (Region Growing) على قياس الزاوية بين كل مثلثين متجاورين من النموذج ومقارنة قيمة هذه الزاوية مع قيمة حدية يتم اختيارها تبعاً لطبيعة الجسم المدورس والهدف من عملية التقسيم.

نتيجة المقارنة ينتج لدينا الاحتمالين التاليين:

- قيمة الزاوية المقاسة أقل من القيمة الحدية: بالتالي يتبع كلا المثلثين المدروسين إلى نفس المنطقة (السطح).
- قيمة الزاوية المقاسة أكبر من القيمة الحدية: المثلثين المدروسين يتبعان إلى منطقتين مختلفين ويشكل الخط المشترك بينهما حافة.

يوضح الشكل(4) أمثلة عن نتائج استخدام خوارزمية Region Growing Segmentation على نماذج CAD.



الشكل (4) نماذج عن نتائج استخدام خوارزمية Region Growing Segmentation.

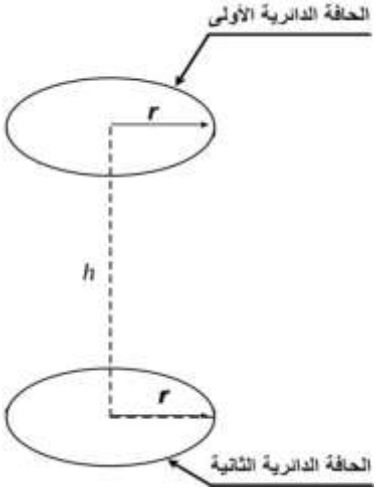
2. استخلاص المعالم:

بعد أن تم تقسيم الجسم المدروس إلى مجموعة من السطوح والمناطق يفصل بينها حواف بالاعتماد على خوارزمية (Region Growing)، تم في هذا البحث اقتراح خوارزمية لاستخلاص المعالم من السطوح، بحيث تتم دراسة كل سطح من السطوح الناتجة عن عملية التقسيم، وتحديد فيما إذا كان السطح يشكل أسطوانة أو مجرى.

2. 1. استخلاص معلم الإسطوانة:

كي يشكل السطح المختبر شكل أسطواني يجب أن يحقق الشروط الأتية كما هو موضح بالشكل(5):

1. يحتوي السطح على حافتين فقط غير متصلتين مع بعضهما البعض.
2. مركز ثقل كل حافة من الحافتين متساو البعد عن جميع نقاط الحافة (شرط الدائرة).
3. قطر الدائرتين متساوٍ.
4. المستوي المشكل من الحافة الأولى والمستوي المشكل من الحافة الثانية متوازيان.
5. الخط الواصل بين مركزي ثقل الحافتين متعامد مع كلا من مستوي الحافة الأولى ومستوي الحافة الثانية.



الشكل (5) خصائص معالم الجسم الإسطواني وفق الخوارزمية المقترحة.

بحيث يوضح الشكل(6) خوارزمية استخلاص المعالم إسطوانية الشكل من ملفات STL بعد أن تم تقسيم النموذج إلى مجموعة من السطوح باستخدام خوارزمية RegionGrowing.

	Algorithm 2 Cylinder Feature Extraction (CFE)
Input:	Merged Surfaces from Region Growing Segmentation
Output:	Cylinder Features and their Properties(Center of Gravity,Position,radius,…etc)

	for i = 0 → i ≤ Surfaces:count do
	HD = hard Edges for Surface(i)
	If(HD:count==2)
	If(HD[0].raduis== HD[1].raduis)
	If(HD[0].raduis== HD[1].raduis)
	If((HD[0]== Circule)&& (HD[1]== Circule))
	Surface[i] is Cylinder Surface
	Find feature Properties
	endif
	endif
	endif
	endif
	endfor

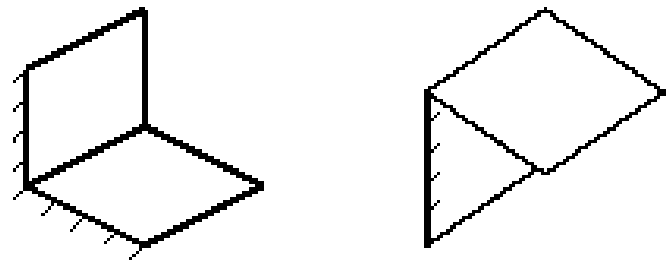
الشكل (6) خوارزمية استخلاص المعالم الأسطوانية (Cylinder Feature Extraction).

2. 2. استخلاص الجيوب والمجاري:

تتمتع الجيوب والمجاري بأشكال وتركيبات مختلفة بالإضافة إلى اختلاف عدد السطوح المشكلة لها، في هذا البحث تم اقتراح طريقة لاكتشاف الجيوب والمجاري، بالاعتماد على العلاقات التي تربط بين السطوح المشكلة لها ومقارنة هذه العلاقات مع الحالات المخزنة بقاعدة البيانات المعدة مسبقاً، تسمح هذه الطريقة باكتشاف المجاري بمختلف أنواعها.

يعتمد الأسلوب المقترح على ترقيم السطوح المشكلة للمجرى، وتشكيل عقد بعدد الأسطح، ورسم خط بين عقدتين اذا كان السطحين مشتركين بحافة.

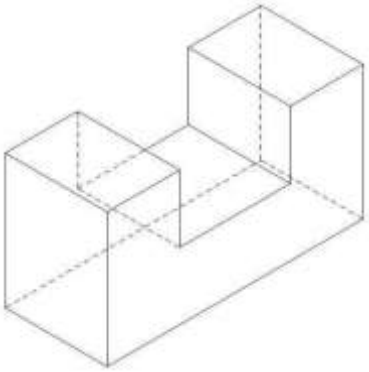
يرقم الخط بين عقدتين (يمثل حافة) بـ (1) إذا كانت الحافة مقعرة و(2) إذا كانت الحافة محدبة بحيث يوضح الشكل(7) الفرق بين الزوايا المقعرة والمحدبة بحيث يتم تحديد نوع الزاوية بالاعتماد على قيمة الزاوية بين المتجهين الطبيعيين للسطحين المشكلين للزاوية.



7 – ب : زاوية محدبة **7 – ب : زاوية مقعرة**

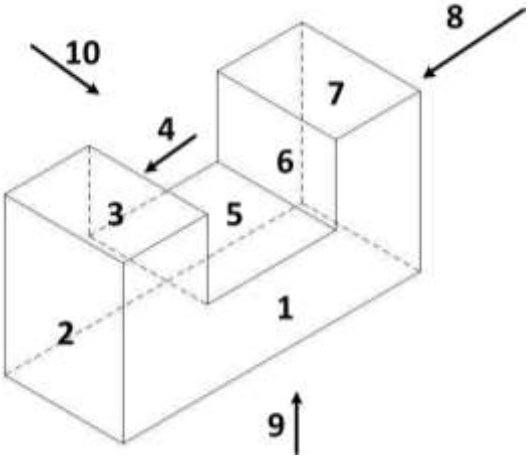
الشكل (7) الزوايا المحدبة والمقعرة.

يوضح الشكل(8) النموذج المدروس والذي يشكل متوازي مستطيلات بالإضافة إلى وجود جيب في السطح العلوي، وللرسم المخطط الممثل للنموذج يتم تنفيذ منهج التمثيل البياني وفق الخطوات التالية:



الشكل (8) نموذج CAD المدروس.

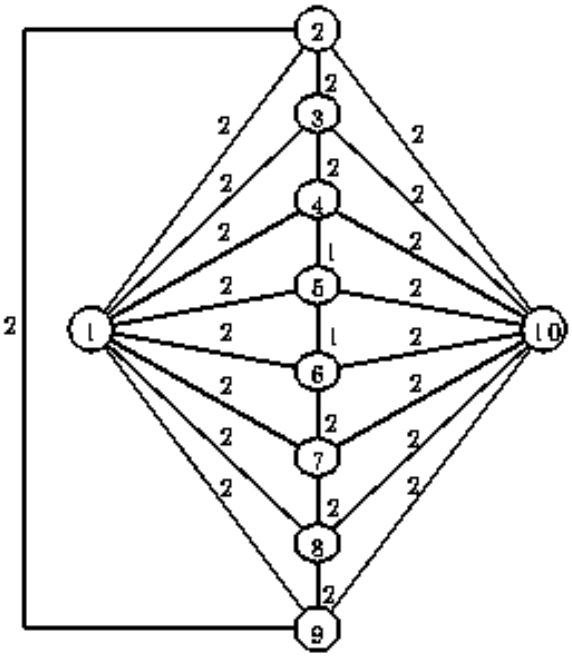
1. ترقيم جميع السطوح كما يوضح الشكل(9)



الشكل (9) منهج التمثيل البياني – ترقيم جميع السطوح

2. وضع أرقام جميع السطوح المشكلة للجسم ضمن دوائر لتشكل مجموعة من العقد.
3. رسم الخطوط بين العقد الممثلة لأرقام للسطوح المرتبطة مع بعضها بحافة وتحديد نوع الحافة (محدبة أو مقعرة) واعطائها قيمة (2) أو (1) كما يوضح الشكل(10).

كمثال على ذلك فإن السطح ذو الرقم (2) يرتبط مع السطوح (1,3,9,10) وذلك من خلال زوايا محدبة المرمزة بالرقم (2).



الشكل (10) منهج التمثيل البياني – الشكل البياني للنموذج المدروس.

يوضح الشكل(11) خوارزمية استخلاص الجيوب والمجاري من ملفات STL بعد أن تم تقسيم النموذج إلى مجموعة من السطوح باستخدام خوارزمية RegionGrowing.

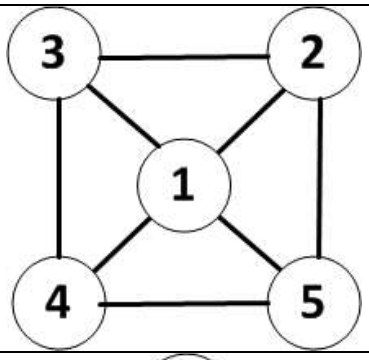
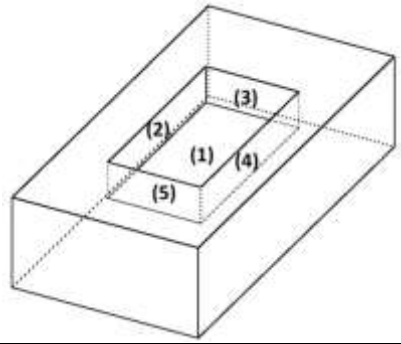
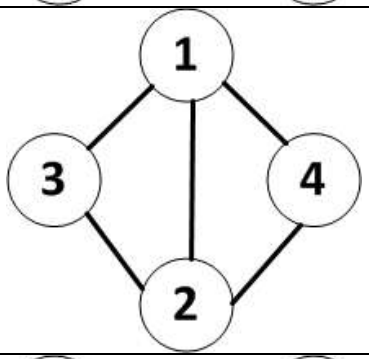
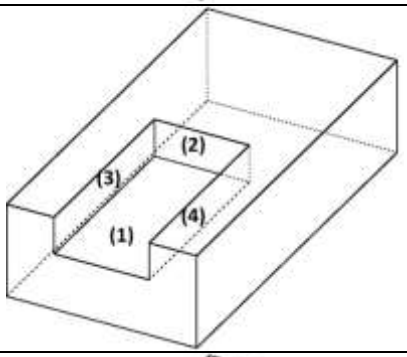
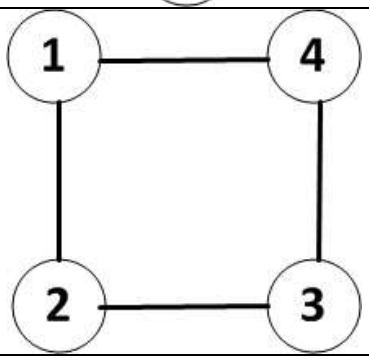
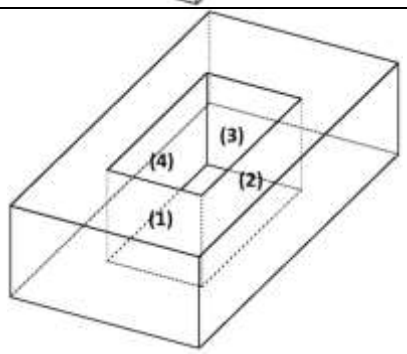
	Algorithm 3 Slot Feature Extraction (CFE)
Input:	Merged Surfaces from Region Growing Segmentation
Output:	Slot Features and their Properties(Center of Gravity, Position, radius ,…etc)

	for i = 0 → i ≤ Surfaces:count do
	x = graph representation for surface[i]
	for j = 0 → j ≤ Features Graph Representation in database do
	y = j th Features Graph Representation in database
	if(x == y)
	mark (x) graph as feature (y)
	find x feature Properties
	endif
	endfor
	endfor

الشكل (11) خوارزمية استخلاص الجيوب والمجاري المقترحة بالاعتماد على منهج التمثيل البياني.

يوضح الجدول(1) بعض التشكيلات للجيوب والمجاري وتمثيلها باستخدام الخوارزمية السابقة.

جدول 1 التمثيل البياني لبعض أشكال الجيوب والمجاري.

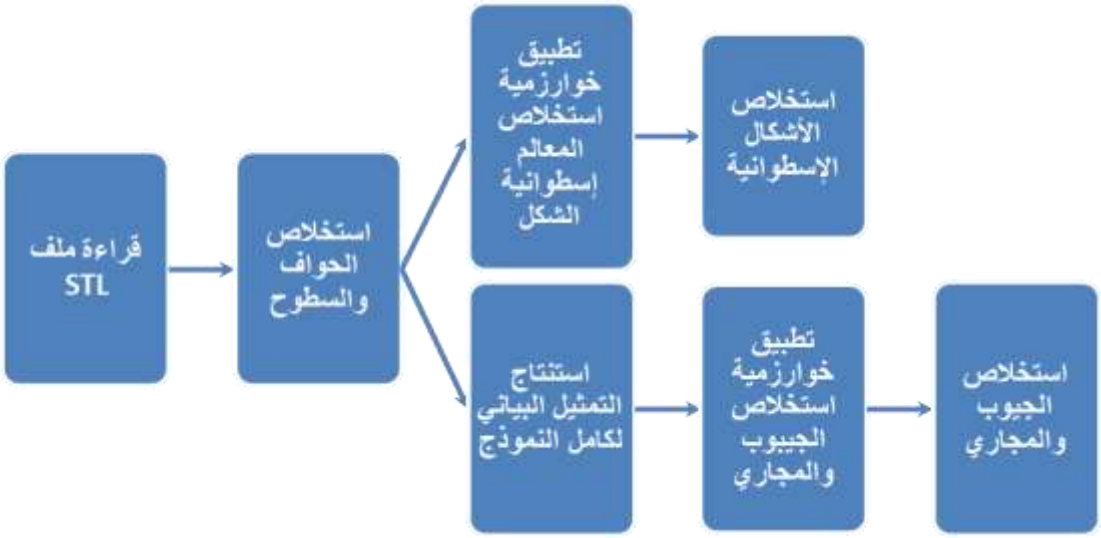
التمثيل باستخدام الرسم البياني	شكل المعلم
	
	
	

2. 3. خطوات استخلاص المعالم:

تم في هذا البحث استخلاص المعالم الإسطوانية والجيوب والمجاري من ملفات STL وفق الخطوات الآتية:

1. قراءة ملف STL لاستخلاص المعلومات عن جميع المثلثات المشكلة للنموذج (احداثيات رؤوس المثلث و شعاع المتجه الطبيعي (normal vector)).
2. تقسيم النموذج إلى مجموعة من السطوح التي تفصل فيما بينها مجموعة من الحواف بالاعتماد على خوارزمية (Region Growing).
3. إيجاد المعالم إسطوانية الشكل من خلال اختبار كل سطح على حدا فيما إذا كان يشكل أسطوانة.
4. إيجاد الجيوب والمجاري من خلال ترقيم جميع السطوح في النموذج وايجاد التمثيل البياني له.
5. يتم البحث في التمثيل البياني الذي تم ايجاده في الخطوة السابقة عن النماذج المخزنة في قاعدة البيانات والموضحة في الجدول(1).
6. ايجاد المواصفات الهندسية للمعالم المستخلصة (أبعاد، قطر، احداثيات مركز ثقل .... الخ).

يوضح الشكل(12) المخطط التدفقي للخوارزمية المقترحة لاستخلاص المعالم إسطوانية الشكل والجيوب والمجاري من ملفات CAD المخزنة بصيغة STL.



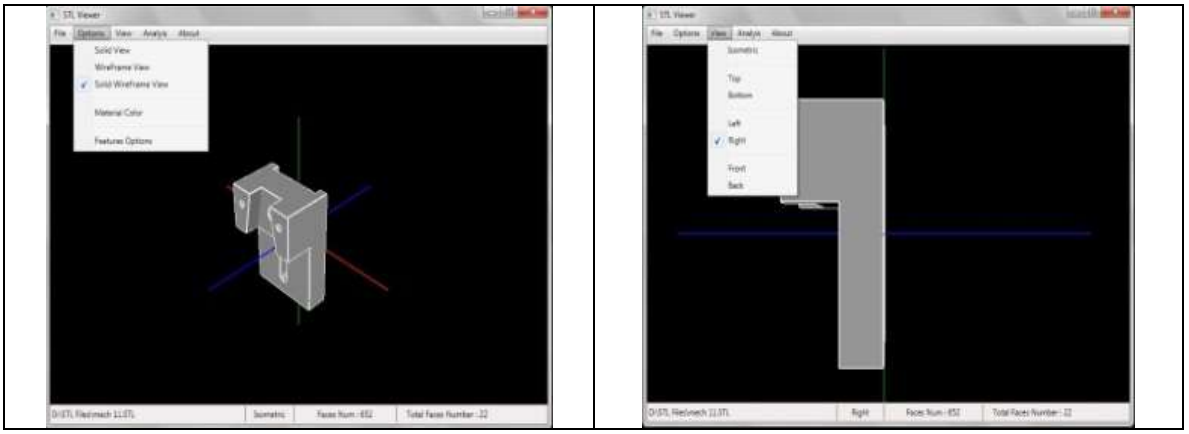
الشكل (12) المخطط العام للخوارزمية المقترحة.

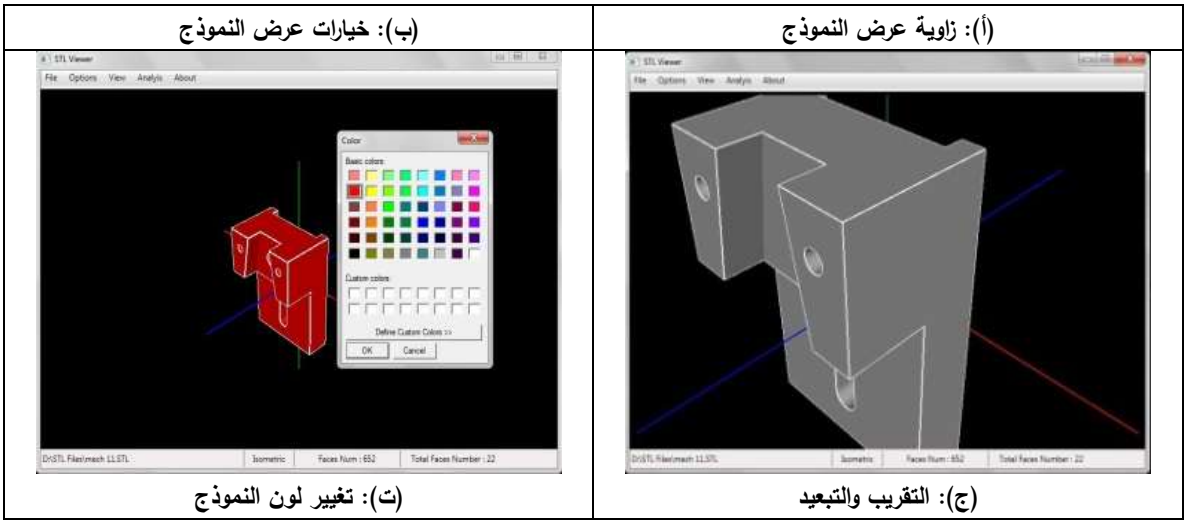
3. تصميم تطبيق بلغة #C للتخاطب مع المستخدم:

من خلال هذا البحث تم تصميم تطبيق باستخدام Visual Studio C# للتخاطب مع المستخدم، بحيث يسمح له استيراد ملفات STL وعرضها واستخلاص المعالم الأسطوانية والجيوب والمجاري وعرض المعلومات الخاصة لكل منها (قطر وارتفاع الأسطوانة، احداثيات مركز الأسطوانة بالنسبة إلى مركز النموذج المدروس، عدد السطوح المشكلة للجيب أو المجرى، احداثيات مركز الجيب أو المجرى بالنسبة إلى مركز النموذج المدروس وأبعاد الجيب أو المجرى (الطول، العرض والارتفاع))، بالإضافة إلى بعض الأوامر مثل:

1. التقريب والتبعيد.
2. تدوير النموذج.
3. تغير لون النموذج.
4. عرض الحواف المستخلصة من خوارزمية Region Growing Segmentation.

بحيث يوضح الشكل(13) واجهة التطبيق المصمم وبعض خواصه.

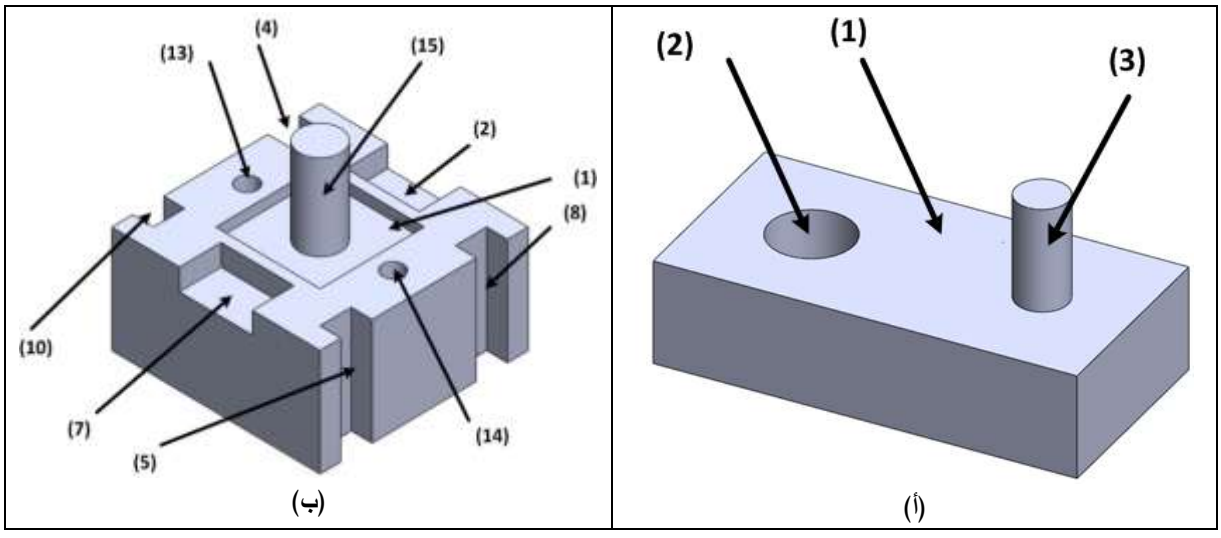




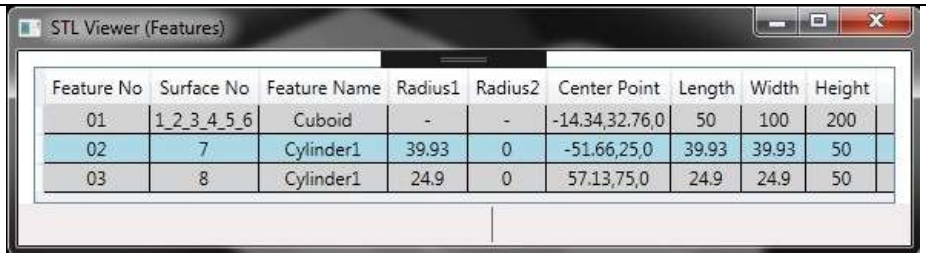
الشكل (13) بعض الأوامر المتاحة للمستخدم في التطبيق المصمم.

النتائج والمناقشة:

لاختبار جودة الخوارزمية المقترحة في استخلاص الإسطوانات والمجاري من ملفات الـ CAD (STL)، تم تصميم برنامج باستخدام Visual Studio C# ودمج خوارزمية (Region Growing) والخوارزمية المقترحة لاستخلاص المعالم، بحيث يسمح هذا البرنامج للمستخدم باستيراد ملفات STL واستخلاص الحواف والسطوح بالاعتماد على خوارزمية بالاعتماد على خوارزمية (Region Growing) واستخلاص المعالم بالاعتماد على الخوارزمية المقدمة في هذا البحث وذلك بشكل آلي دون الحاجة إلى التدخل من قبل المستخدم، بحيث يوضح الشكل(14) بعض نماذج CAD المستخدمة لاختبار الخوارزمية المقترحة.



الشكل(14) النماذج المقترحة لاختبار الخوارزمية المقدمة في هذا البحث.



Feature No	Surface No	Feature Name	Radius1	Radius2	Center Point	Length	Width	Height
01	1_2_3_4_5_6	Cuboid	-	-	-14.34,32.76,0	50	100	200
02	7	Cylinder1	39.93	0	-51.66,25,0	39.93	39.93	50
03	8	Cylinder1	24.9	0	57.13,75,0	24.9	24.9	50

(أ): نتائج استخلاص المعالم من النموذج الوارد في الشكل (14-أ) بالاعتماد على الخوارزمية المقترحة.

Feature No	Surface No	Feature Name	Radius1	Radius2	Center Point	Length	Width	Height
01	2_5_9_11	Cuboid	-	-	0,41.88,0	100	100	50
02	4_10_11	Cuboid	-	-	0,31.67,46.67	10	50	100
03	6_8_9	Cuboid	-	-	0,31.67,-46.67	10	50	100
04	12_13_14_15	Cuboid	-	-	0,45,40	20	10	35
05	16_17_18_19	Cuboid	-	-	0,45,-40	10	20	35
06	1_20_21_22_23	Cuboid	-	-	0,45,45,0	5	50	50
07	26_27_28	Cuboid	-	-	-45,25,-32.5	10	50	15
08	7_27_29	Cuboid	-	-	-45,25,0	10	50	50
09	29_30_31	Cuboid	-	-	-45,25,32.5	10	50	15
10	34_35_36	Cuboid	-	-	45,25,-32.5	10	50	15
11	3_35_37	Cuboid	-	-	45,25,0	10	50	50
12	37_38_39	Cuboid	-	-	45,25,32.5	10	50	15
13	24	Cylinder1	10	0	-35,35,0	10	10	30
14	32	Cylinder1	10	0	35,35,0	10	10	30
15	40	Cylinder2	20	0	0,65,0	20	20	40

(ب): نتائج استخلاص المعالم من النموذج الوارد في الشكل (14-ب) بالاعتماد على الخوارزمية المقترحة.

الشكل (15) نتائج استخلاص المعالم ذات الأشكال الاسطوانية والجيوب والمجاري.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث تصميم خوارزمية لاستخلاص المعالم (الأشكال الإسطوانية، الجيوب والمجاري) من نماذج CAD المخزنة بصيغة ملفات STL، ومما سبق يمكن استنتاج النقاط التالية:

1. استخدام خوارزمية (Region Growing) لتحويل نموذج CAD من 3D Triangular Mesh إلى مجموعة من السطوح تفصل فيما بينها حواف حادة.
2. استخلاص المعالم الأسطوانية من خلال التحقق من كل سطح باستخدام الخوارزمية المقترحة.
3. استخلاص الجيوب والمجاري من ايجاد التمثيل البياني لكل سطح من النموذج المدروس ومطابقته مع التمثيل البياني لمجموعة الجيوب والمجاري المخزنة مسبقا في قاعدة بيانات.
4. قدرة الخوارزمية المقترحة على تحديد المواصفات الهندسية الخاصة به (قطر الأسطوانة، ارتفاعها، مركزها بالنسبة إلى مركز النموذج، أبعاد الجيوب والمجاري .....إلخ).
5. تضمين الخوارزميات السابقة ضمن واجهة برنامج C# تم تصميمه للسماح للمستخدم باستيراد نماذج CAD المخزنة بصيغة STL وعرض الحواف والسطوح الناتجة عن تطبيق خوارزمية (Region Growing) بالإضافة إلى استخلاص المعالم الهندسية ومواصفاتهم بالاعتماد على الخوارزمية المقترحة.
6. يمكن تطوير الخوارزمية المقترحة في هذا البحث لكشف الأشكال الإسطوانية بحيث تشمل أشكالا أكثر تعقيدا مثل المخاريط، أنصاف الكرات ....إلخ.

7. يمكن إضافة خيار للتطبيق المصمم يسماح للمستخدم بإضافة أشكال جديدة من الجيوب والمجاري إلى قاعدة البيانات المخزنة مسبقاً.

المراجع:

[1]. LOCKETT H, GUENOV M. Graph-based feature recognition for injection moulding based on a mid-surface approach. Computer-Aided Design. 2005
[2]. VERMA A, RAJOTIA S. Feature vector: a graph-based feature recognition methodology. Int J Prod Res. 2004
[3]. GAO S, ZHAO W, LIN H, YANG F, CHEN X. Feature suppression based CAD mesh model simplification. Computer-Aided Design. 2010
[4]. BABIC B, NESIC N, MILJKOVIC Z. A review of automated feature recognition with rule-based pattern recognition. Computers in Industry. 2008
[5]. Ji S. Research on Compression Methods for ASCII STL File. Adv Mat Res. 2010

[6]. GUO K, ZOU D, CHEN X. 3D Mesh Labeling via Deep Convolutional Neural Networks. ACM Transactions on Graphics. 2015
[7]. YANG F, ZHOU F, WANG R, LIU L, LUO X. A fast and efficient mesh segmentation method based on improved region growing. Applied Mathematics-A Journal of Chinese Universities. 2014
[8]. BENHABILES H, LAVOUÉ G, VANDEBORRE J, DAOUDI M. Learning Boundary Edges for 3D-Mesh Segmentation. Computer Graphics Forum. 2011
[9]. HWAN KIM D, DONG YUN I, UK LEE S. Boundary-trimmed 3D triangular mesh segmentation based on iterative merging strategy. Pattern Recognit. 2006

[10]. GU M, DUAN L, WANG M ET AL. An Improved Approach of Mesh Segmentation to Extract Feature Regions. PLoS ONE. 2015
[11]. WU Z, SHOU R, WANG Y, LIU X. Interactive shape co-segmentation via label propagation. Comput Graph. 2014
[12]. LOCKETT H, GUENOV M. Graph-based feature recognition for injection moulding based on a mid-surface approach. Computer-Aided Design. 2005
[13]. VERMA A, RAJOTIA S. Feature vector: a graph-based feature recognition methodology. Int J Prod Res. 2004
[14]. GAO S, ZHAO W, LIN H, YANG F, CHEN X. Feature suppression based CAD mesh model simplification. Computer-Aided Design. 2010
[15]. BABIC B, NESIC N, MILJKOVIC Z. A review of automated feature recognition with rule-based pattern recognition. Computers in Industry. 2008
[16]. GUO K, ZOU D, CHEN X. 3D Mesh Labeling via Deep Convolutional Neural Networks. ACM Transactions on Graphics. 2015 .
[17]. YANG F, ZHOU F, WANG R, LIU L, LUO X. A fast and efficient mesh segmentation method based on improved region growing. Applied Mathematics-A Journal of Chinese Universities. 2014 .