دراسة تحليلية لأنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى*

المهندسة نسرين سليمان** **أ.د.م معن عمار*****

د. جمال حسين****

الملخص

تعدُّ أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى من التقنيات الحديثة التي يسعى الباحثون إلى تكاملها مع أنظمة التشخيص بمساعدة الحاسوب. تقوم هذه الأنظمة أساساً بإيجاد صور في قاعدة بيانات تضم مجموعة كبيرة من الصّور ذات محتوى مشابه لصورة استعلام معينة. يجري الاستعلام عن طريق استخلاص الخصائص البصرية للصورة المعينة وصياغتها في متجه خصائص تُقَارَنُ مكوناته بمتجهات الخصائص للصور الموجودة في قاعدة البيانات ويُقَاسُ التشابه، ومن ثم تُسْتَرْجَعُ الصور التي لها محتوى مشابه لصورة الاستعلام. تقدّم هذه الورقة تقييماً للوضع الراهن لأنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى بناء على دراسة تحليلية للبحوث الحديثة المنشورة، وتخلص إلى استنتاج اتجاهات بحثية محددة في هذا المجال.

الكلمات المفتاحية: أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى، استخلاص الخصائص البصرية، متجه الخصائص، قياس التشابه.

* أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للطالبة نسرين سليمان بإشراف الأستاذ الدكتور المهندس معن عمار ومشاركة الدكتور جمال حسين.

** قسم الهندسة الطبية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

*** أستاذ - قسم الهندسة الطبية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

**** مدرس-كلية الطب –جامعة دمشق

1ــ مقدمة Introduction

إنَّ أنظمة المعلومات الطبية **Medical Information Systems** هي مجموعة طرائق معيارية لجمع معلومات عن المرضى وتقييمها وتخزينها واسترجاعها، والهدف الأساسي منها هو تقديم المعلومة المناسبة في الوقت والمكان المناسبين إلى الشخص المناسب من أجل تحسين جودة العملية المطلوب تحقيقها وكفاءتها [1،2]. وقد سعى أطباء التشخيص الشعاعي بشكلٍ دائمٍ إلى تفسيرٍ دقيق وبكفاءةٍ عاليةٍ للصور الطّبيّة في مواجهة ازدياد عدد الصّور الناتجة لكل حالة مرضيّة. وتتألّف مرحلة تفسير الصّور الطّبيّة من ثلاث مراحل أساسية:

1. تَعَرُّفُ محتويات الصّورة الطّبيّة.
2. تفسير هذه المحتويات لتقديم التشخيص النهائي أو التشخيص التفريقي **differential diagnosis**.
3. تقديم توصية للإدارة الطّبيّة (خزعة، متابعة معينة ....) أو إجراء تصوير من نمط آخر مختلف إذا لم يتم التأكد من تشخيص الحالة المرضيّة باستخدام الصّورة موضع المعاينة.

ولكي يقوم الطبيب بالخطوات الثلاث السابقة يمكن أن يحتاج إلى البحث عن صور مشابهة للحالة التي بين يديه من الأرشيف التقليدي أو قاعدة بيانات الصور الطبية بهدف المقارنة والاستنتاج. وعندما تكون قاعدة بيانات الصور ضخمة كما هي الحال هذه الأيام إذْ يمكن أن تضم عشرات آلاف الصور، تبرز الحاجة إلى نظام يسترجع الصور الموجودة في قاعدة بيانات الصور الطبية المشابهة لصورة معينة بغرض المعاينة والمقارنة والتحليل. هذا الأمر غير فعال يدويا ولذلك نشأت الحاجة إلى أنظمة استرجاع الصور الطبية بناء على المحتوى **Content Based Medical Image Retrieval (CBMIR)**. تساعد أنظمة **CBMIR** على تحسين آليّة تفسير الصّور الطّبيّة وإدارة قواعد بيانات الصّور الطّبيّة الضخمة [3]. وكذلك تساعد هذه الأنظمة أطباء التشخيص الشعاعي على اتخاذ قرار عن حالة مرضية ما غير واضحة، إذ يستطيع الطبيب أن يرسل بيانات مريض ما إلى نظام استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى، فيقوم هذا النظام باسترجاع الحالات التشخيصية الأكثر شبهاً بحالة المريض وعرضها مع الشرح المناسب لكل منها مما يساعد الطبيب على التوصل إلى القرار الصحيح المتعلّق بحالة المريض سواء بتأكيد حالة تشخيصية معينة أو باتخاذ إجراء آخر بهدف التوصل إلى التشخيص الصحيح [4].

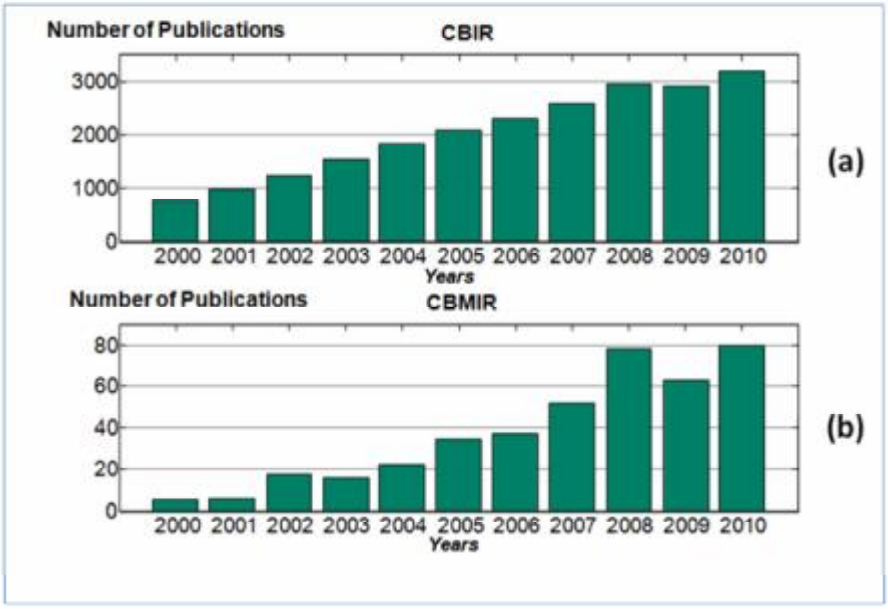
تعدُّ أنظمة استرجاع الصّور الطّبيّة بناءً على المحتوى **Content Based Medical Image Retrieval (CBMIR)** أحد أنواع أنظمة المعلومات الطبية، وفي هذا الإطار يُنظر إلى أنظمة استرجاع الصّور الطّبيّة بناءً على المحتوى من قواعد بيانات الصّور الطّبيّة على أنَّها أحدثت ثورة في مجال أنظمة المعلومات الطّبيّة إذْ تعدُّ واحدة من مجالات البحث الأكثر نشاطاً وتفاعلاً في مجال الإبصار الحاسوبي **computer vision** وكذلك من أكثر الأنظمة تداخلاً مع أنظمة التشخيص بمساعدة الحاسوب **Computer Aided Diagnosis (CAD)** [5،6].

ولمعرفة التطور العام للبحوث التي أُنْجِزَتْ في هذا المجال بحثنا عما نشر ضمن المدة الواقعة بين عامي 2000 و2010 باستخدام محرك البحث (الباحث العلمي **Google Scholar**) باستخدام العبارة **"content based image retrieval"** والعبارة "**content based medical image retrieval**" ولم نفرض أية قيود على خيارات البحث.

يعرض الشكل(1) نتائج البحث التي توصّلنا إليها إذْ نلاحظ في الشكل **1-(a)** أنَّ عدد البحوث المنجزة في مجال استرجاع الصّور اعتماداً على المحتوى " **content based image retrieval**" يتجاوز كثيراً العدد المقابل عند البحث عن استرجاع الصّور الطّبيّة اعتماداً على المحتوى " **content based medical image retrieval**" **في الشكل**1-**(b)**. وتبيَّن بالتدقيق أنَّه لا يوجد فصل واضح في البحوث المنشورة بين استرجاع الصّور الطّبيّة واسترجاع الصّور بشكل عام.

ويظهر الشكل 1-(b) أنَّ عدد البحوث التي تتناول الصّور الطّبيّة يزداد بشكل عام ضمن المدة الواقعة بين عامي 2000 و 2010.

ومع مضي نحو 20 عاماً على البحث في هذا المجال لم تأخذ حتَّى الآن أنظمة استرجاع الصّور الطّبيّة طريقها إلى الاستخدام في العمل الطبي الروتيني على الرغم من تزايد عدد البحوث المنشورة [7].



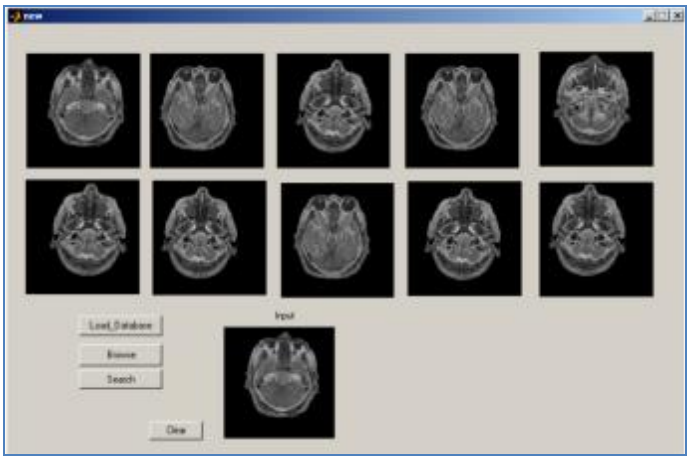
الشكل(1) عدد البحوث التي أُرْجِعَتْ من قبل محرك البحث Google Scholar خلال العشرة أعوام الأخيرة. (a) نتائج البحث عن العبارة "content based image retrieval". (b) نتائج البحث عن العبارة "content based medical image retrieval".

تتمتّع أنظمة **CBMIR** بإمكانية كبيرة لإحداث تأثير حقيقي في مجالات التشخيص والبحث والتعليم، وتُعدّ تكنولوجيا واعدة لإغناء الوظيفة الأساسية لأنظمة الاتصالات وأرشفة الصّور **Picture Archiving and Communication Systems (PACS)** وحتّى تلك الأنظمة التي تعتمد على معيار التصوير الرقمي والاتصالات في الطب " **Digital Imaging** and **Communication in Medicine (DICOM)** **[8،9]**.

تنتج منظومات التصوير الطبية الحديثة كالطبقي المحوري **Computed Tomography** والرنين المغناطيسي **Magnetic Resonance** على سبيل المثال الصور الطبية بتنسيق **DICOM** وتُخَزَّنُ هذه الصور في أنظمة الـــ **PACS** ضمن المشافي بالتنسيق نفسه [10-12]. يمكن الحصول في كل صورة طبية نوع **DICOM** من خلال ترويسة الملف **DICOM header** التابع لها على مجموعة من البيانات التفسيرية **metadata** مثل نوع المنظومة واسم المريض وتاريخ التصوير وغيرها من المعلومات الأخرى [11]. يمكن استخدام هذه المعطيات كبارمترات استعلام نصية داعمة في أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على المحتوى لتحسين أداء عمل هذه الأنظمة، كما يمكن استخدام الميزة الأساسية في أنظمة الاسترجاع المتمثلة باسترجاع الصور اعتماداً على المحتوى من أجل تحسين وظيفة أنظمة الـــ **PACS** التي تعرض الصور من خلال استعلامات نصية فقط. تسعى معظم البحوث في هذا المجال إلى مكاملة التطبيقات الطبية ودمجها

ومنها أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى مع كلٍ من معيار التصوير الرقمي والاتصالات في الطب **DICOM** وأنظمة الاتصالات وأرشفة الصّور **PACS** [10،11،13،14].

كمثال توضيحي يبيّن الشكل(2) نظام استرجاع صور طبية من قاعدة بيانات لصور رنين مغناطيسي للدماغ إذْ نُفِّذَتْ عملية الاسترجاع من خلال تطبيق كلٍ من تحويل المويجة **Wavelet Transform** والتحليل باستخدام المركبات الرئيسة **Principal Component Analysis** إذْ استرجعت الصّور التي تحقّق أعلى درجة تشابه. وقد نُفِّذ هذا العمل باستخدام بيئة الماتلاب MATLAB [15].



الشكل(2) نتائج استرجاع صور طبيّة على أساس المحتوى من قاعدة بيانات لصور رنين مغناطيسي للدماغ حيث استرجعت الصّور التي تحقّق أعلى درجة تشابه باستخدام كلٍ من تحويل المويجة والتحليل باستخدام المركبات الرئيسة [15].

2 ــ أهميّة أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى

يمكن إلقاء الضوء على أهميّة أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى بالنقاط الأساسيّة الآتية:

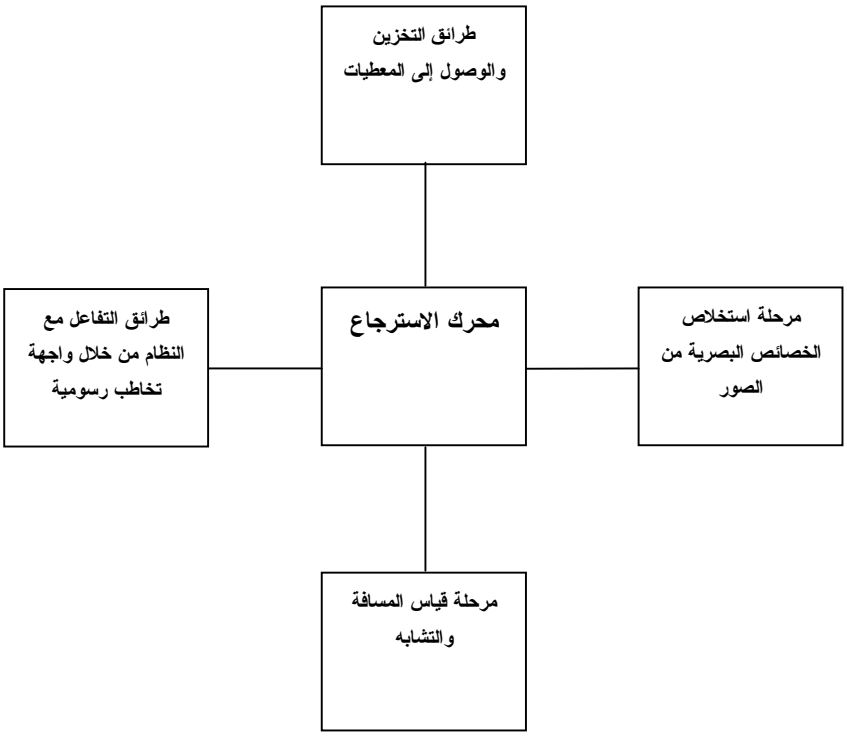
- تتمتّع أنظمة الـــ **CBMIR** بأهميّة كبيرة لما تقدّمه من خصائص في ظلّ التقدّم الكبير لتقنيات استحصال الصّورة وتخزينها من جهة وفي ظلّ تضخّم قواعد بيانات الصّور الطّبيّة من جهة أخرى.
- تؤمّن هذه الأنظمة استرجاع صور مشابهة لصورة مرجعيّة اعتماداً على المحتوى من قاعدة بيانات للصور الطّبيّة من خلال الاستعلام مما يساعد كثيراً على تطوير إدارة قواعد البيانات واختصار الزمن مقارنة بطرائق الاستعلام التقليدية.
- نظراً إلى تكامل أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى مع الأنظمة التي تعتمد على معيار التصوير الرقمي والاتصالات في الطب **DICOM** تتيح أنظمة استرجاع الصور إمكانية تخزين نتيجة الاستعلام في ملف ترويسة الصور **DICOM Header** مما يتيح إمكانية البحث السريع والمجدي في ترويسات صور قاعدة البيانات وفق معايير جديدة.
- تتمتّع أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى بفرص نجاحٍ كبيرة في مجالات بحثية وتطبيقات عديدة مثل: التعليم الطبي والبحث العلمي وإدارة سجلات المرضى والمساعدة في التشخيص.

وفي سياق ما ذُكر أعلاه سيساعد أي بحث محلّي عن أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى في توضيح تكنولوجيا عالمية حديثة لم تأخذ شكلها النهائي بعد وإبرازها ونقلها إلى وطننا الذي نراه بحاجة إليه ويساعد على اللحاق بركب البحث العلمي على مستوى العالم وتقليص الفجوة

الحاصلة في إطار البحث العلمي بين المستويين المحلي والعالمي في هذا المجال.

3 ــ المكونات الرئيسة لأنظمة CBIR

يُبيّن الشكل(3) المكونات الرئيسة لنظام استرجاع الصّور اعتماداً على المحتوى التي تشمل الكتل الأساسية الآتية:



الشكل(3) البنية الأساسيّة لأي نظام استرجاع صور بناءً على المحتوى CBIR [16].

3-1 طرائق التخزين والوصول إلى المعطيات المخزنة (الصور) **Storage and Access Methods**.

تعدُّ مسألة إيجاد قواعد تخزين ضخمة للصور الطبية مرفقة بالشرح المناسب وإتاحتها لذوي الاختصاص أمراً بالغ الأهمية ومن ثَمَّ تزداد الحاجة إلى إيجاد أدوات فعالة وجيدة لتخزين الصور أولاً وإنجاز عمليات البحث السريع والفعال واسترجاع الصور ثانياً [17،18].

تتضمن عادةً عملية بناء أية قاعدة معطيات المراحل الآتية [17]

§ جمع المعطيات data collection.

§ التحقق من المعطيات **image validation**.

§ تقييس الصور **image normalization**.

§ التسجيل **image registration**.

§ استخلاص الخصائص **feature extraction**.

نشير إلى أن بعض البحوث [19] تجزئ قاعدة البيانات إلى قاعدتين الأولى هي قاعدة بيانات للصور نفسها والثانية هي قاعدة بيانات للخصائص المستخلصة.

3-2 مرحلة استخلاص الخصائص البصرية من الصور Visual Feature Extraction.

تعدُّ مسألة اختيار الخصائص وطرائق استخلاصها من أهم العوامل عند تصميم نظام استرجاع للصور اعتماداً على

المحتوى [18]. يمكن تقسيم الخصائص إلى خصائص نصية **text-based features** كالكلمات المفتاحية **keywords** وخصائص بصرية **visual features** كخصائص اللون **color features** وخصائص الشكل **shape features** وخصائص التركيب texture features. تقسم الخصائص البصرية بدورها إلى خصائص عامة **general features** وخصائص تتعلق بمجال محدد **domain specific features** **[20]**.

كمثال عن الخصائص البصرية سنكتفي بعرض خصائص التركيب وطرائق استخلاصها من دون الخوض في التفاصيل التي يمكن إيجادها في الكتب المرجعية لمعالجة الصور.

تعدُّ خصائص التركيب من الخصائص البصرية المعقدة التي تشمل على سبيل المثال: اللمعان brightness والتجانس uniformity والكثافة density والخشونة roughness والخطية linearity والتردد frequency والطور phase والنعومة smoothness ،...، الخ.

تصنف خصائص التركيب بشكل عام في أربع مجموعات رئيسة [21] هي:

1. الخصائص البنيوية **structural features**.
2. الخصائص الإحصائية **statistical features**.
3. الخصائص المعتمدة على نماذج **model-based features**.
4. الخصائص المعتمدة على التحويلات **transform-based features**.

وتعدُّ الطرائق التفصيلية لاستخلاص هذه الخصائص من أساسيات علم معالجة الصورة، ويمكن إيجادها في المراجع ذات الصلة.

تصاغ الخصائص المستخلصة في متجه خصائص feature vector وهو مجموعة من الخصائص بترتيب معين يعبّر عنها وفق مفاهيم المصفوفات مثل **[$f_1,f_2,f_3,...f_n$]** إذْ تدل **f** على خاصة معينة مثل اللمعان أو الخطية ، .... ، الخ.

سنكتفي بهذا القدر عن متجهات الخصائص وطرائق استخلاصها، ويمكن الرجوع إلى البحوث الآتية [10،21،22] للاطلاع على المزيد من المعلومات عن هذا الموضوع.

3-3 مرحلة قياس المسافة Distance Measure والتشابه imilarity Calculation.

توجد عدة طرائق لقياس التشابه بين صورتين، نذكر منها على سبيل المثال المسافة الإقليدية [23-25]. تعطى المسافة الإقليدية بين متجهي خصائص لصورة مرجعية وصورة في قاعدة البيانات بالعلاقة الآتية [26،27]:

$$d(x,y)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-y_i)^2}$$

إذْ إنَّ y،x هما متجها الخصائص للصورة المرجعية والصورة الهدف في قاعدة بيانات الصور، وn هي عدد الخصائص في المتجه.

3-4 طرائق التفاعل مع النظام من خلال واجهة تخاطب رسومية Graphic User Interface (GUI) Interaction Methods.

ترتبط المكونات الأربعة السابقة مع بعضها من خلال محرك الاسترجاع **Retrieval Engine**.

تعمل الكتل السابقة كما يأتي: تُستخلص الخصائص من الصّور وتُصاغ بشكل متجهات **vectors**، تُفهرس الصّور في قاعدة البيانات على أساسها. وعند الاسترجاع وفق صورة استعلام محددة، يقوم محرّك الاسترجاع **retrieval engine** باستخلاص الخصائص نفسها من صورة الاستعلام (الدخل) وقياس التشابه مع المتجهات المستخدمة في الفهرسة وإرجاع الصّور التي تعطي تشابهاً أعلى (وفقاً لمعيارٍ محدد). وبطبيعة الحال يتم التواصل مع النظام عبر واجهة ربط رسومية **Graphic User Interface (GUI)**.

وتجدر الإشارة هنا إلى أنَّ استرجاع الصّور بناءً على المحتوى **CBIR** يختلف عن استرجاع الصّور الطّبيّة بناءً على المحتوى CBMIR لأنّ المحتوى الطبي للصورة وتعرّف أعضاء محددة في مواقع محددة يجعل العملية أكثر تعقيداً وتتطلّب دقّة أعلى [16،28]. ولذلك، يُضاف في أنظمة استرجاع الصّور الطّبيّة

مراحل لتخميد الضجيج وحذف النصوص المكتوبة وأحياناً مرحلة انتقاء خصائص لتحسين دقة الاسترجاع [16].

وبطبيعة الحال تؤثّر وظائف الكتل جميعها المبيّنة في الشكل(3) في كفاءة أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى؛ مما يجعل وظيفة أيّة كتلة مجالاً مناسباً للبحث والتطوير.

4 ــ تصنيف أنظمة استرجاع الصور الطبية:

صُنِّفَتِ التقنيات السائدة حالياً لاسترجاع الصور تبعاً لطبيعة الخصائص المستخدمة في فهرسة الصور في أربعة أنواع أساسية تشمل: أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على النص **Text Based Image Retrieval (TBIR)** وأنظمة استرجاع الصور اعتماداً على المحتوى **Content Based Image Retrieval (CBIR)** وأنظمة استرجاع الصور اعتماداً على الخصائص الدلالية Semantic Based Image Retrieval (SBIR) وأنظمة استرجاع الصور اعتماداً على الخصائص المركبة Composite Image Retrieval Systems [29،18]. يُشار في بعض البحوث إلى أنظمة الاسترجاع اعتماداً على خصائص مركبة بالمصطلح **Context-based image retrieval** بوصفها تستخدم كلاً من النص text وخصائص الصورة في عملية الاسترجاع [18]، كما يُشار إليها أحياناً بـــ **multi-modal image retrieval** [31،30].

4ــ1 أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على النص Text Based Image Retrieval (TBIR) [29،18]

تُفَهْرَسُ الصور في هذه الأنظمة اعتماداً على النص، وهو ما يعرف بالبيانات التفسيرية للصورة **Image metadata** مثل رقم هوية المريض **patient ID number** وتاريخ التصوير، ونوع الصور، كما تستخدم الكلمات المفتاحية في التقارير المرافقة للصور والنص المكتوب على الصور في عمليتي الفهرسة والاستعلام، وهو الأمر المتبع حالياً في معظم المشافي من أجل تنظيم الصور الطبية من خلال أنظمة أرشفة الصور والاتصالات **PACS**.

سلبيات هذا النوع من الأنظمة

1. مع المرونة في صيغ الاستعلام التي يحققها هذا النوع من أنظمة الاسترجاع، فإن استرجاع الصور اعتماداً على النص غير كافٍ لأنه لا يأخذ بالحسبان المحتوى البصري **visual content** مثل خصائص اللون وخصائص التركيب وخصائص الشكل.
2. إن الجهد المطلوب لشرح كل صورة على حدة **image annotation** والتباين في الإدراك البشري**human perception** عند وصف الصورة يؤثر سلباً في دقة نظام الاسترجاع.

4ــ2 أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على المحتوى Content Based Image Retrieval (CBIR) [29،18]

تهدف هذه الأنظمة (**CBIR**) إلى البحث عن الصور المشابهة لصورة استعلام محددة اعتماداً على المحتوى واسترجاع هذه الصور. لتحقيق هذا الهدف يجب أولاً وصف المحتوى البصري للصور بطريقة فعالة وهو ما يعرف بفهرسة الصور أو استخلاص الخصائص على شكل تواقيع ثنائية **binary signatures** تُخَزَّنُ على شكل معطيات Data. سعى الباحثون في هذا المجال إلى تحسين أداء عمل هذه الأنظمة من خلال استخدام الخصائص الدلالية وهو النوع الثالث من أنظمة استرجاع الصور.

4ــ3 أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على الخصائص الدلالية Semantic Based Image Retrieval (SBIR)

تقوم أنظمة استرجاع الصور باستخدام الخصائص الدلالية بتنفيذ عملية الاسترجاع [18]. تشمل هذه الخصائص: الخصائص النصية التي يمكن استخلاصها من ترويسة ملف التصوير، أو من التقارير التشخيصية ومجموعة الخصائص الموضوعية objective features المتعلقة بالصورة بحد ذاتها المرتبطة بعمليات تجزيء الصورة وتعرّف الأجسام الموجودة فيها **object recognition** [19].

سلبيات هذا النوع من الأنظمة:

انتقدت العديد من البحوث هذا النوع من الأنظمة، وذكرت العديد من النقاط السلبية المرتبطة بها [32] مثل:

- § إن التقارير المرفقة مع الصور الطبية ترجع غالباً إلى دراسات تتألف من العديد من الصور.
- § لا يرتبط وصف الآفات في الصورة بالضرورة بمجموعة محددة من عناصر الصورة.
- § قد يستخدم أطباء الأشعة تعابير مختلفة لوصف الظاهرة نفسها.
- § لا يوجد وصف كامل للآفات لأنَّ ذلك أمر غير ملزم.
- § قد تتضمن التقارير المختلفة تناقضات فيما بينها لوصف الظاهرة نفسها، مما يسبب إرباكاً في النظام والنتيجة.

4ـ4 أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على خصائص مركبة Composite Image Retrieval Systems

الأنظمة المركبة لاسترجاع الصور هي الأنظمة التي تستخدم كلاً من الخصائص النصية والبصرية **textual and visual features** في عملية الاسترجاع وفي بعض الأحيان يضاف نوع منظومة التصوير **image modality** [18]. تحظى هذه الأنظمة بفرصة أكبر للنجاح مقارنة بالأنظمة الأخرى التي تستخدم الخصائص النصية فقط [33].

5 ــ تقييم عمل أنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى:

تعدُّ مسألة إيجاد طريقة فعالة لتقييم أداء عمل أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على المحتوى مشكلة حقيقة [34]، وفي هذا المجال تعدُّ طريقة التقييم القائمة على رسم مخطط الدقة-الاستدعاء **Presion-Recall graph (PR graph)** من أكثر الطرائق شيوعاً في تقييم استرجاع المعلومات **Information Retrieval (IR)** وتقييم عمل أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على المحتوى [36،35]. تعطى قيمتا الدقة والاستدعاء بالعلاقتين الآتيتين: [37-39]:

$$\text{الدقة} = \frac{\text{عدد الصور المسترجعة ذات الصلة}}{\text{العدد الكلي للصور المسترجعة}}$$

$$\text{الاستدعاء} = \frac{\text{عدد الصور المسترجعة ذات الصلة}}{\text{العدد الكلي للصور ذات الصلة في مجموعة الصور}}$$

يؤخذ على هذه الطريقة أنها لا تأخذ بالحسبان ترتيب الصورة التي تُستَرْجَعُ **the retrieved image order** [32] من حيث درجة التشابه مع صورة الاستعلام، لذلك يتم اللجوء إلى تقييم أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على المحتوى من خلال منحنيات الربح التراكمي المقيسة **Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG)** بوصفها تراعي ترتيب الصورة التي تُستَرْجَعُ من حيث درجة التشابه [40،32].

تستخدم بعض البحوث كلتا الطريقتين في تقييم أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على المحتوى بوصفهما تكملان بعضهما بعضاً [32].

يرى بعض الباحثين كـــ **Muller** ورفاقه في [34] أنّ الزمن المطلوب لتنفيذ عملية الاستعلام عن الصورة مهم جداً عند تقييم أنظمة استرجاع الصور اعتماداً على المحتوى، ومن ثَمَّ يجب تقييم النظام بناء على كلٍ من طرائق التقييم المعيارية المعروفة وعلى مدى تحقيق التوازن بين دقة الاسترجاع **accuracy** وسرعته **speed**.

6 ــ نماذج من CBMIR مع أهم مواصفاتها

نبيّن في الجدول(1) بعض أنظمة استرجاع الصّور الطّبيّة اعتماداً على المحتوى وصفاتها وعلاقتها المباشرة بأنظمة الكشف والتشخيص بمساعدة الحاسوب.

الجدول(1): بعض أنظمة استرجاع الصّور الطّبيّة اعتماداً على محتواها والتشخيص بمساعدة الحاسوب [7].

النظام/المؤلف	المنطقة/المنظومة	التوقيع	استخلاص الخاصّة	التطبيق
ASSERT	التصوير المقطعي المحوري للرئة Lung CT	الشكل/التركيب Shape/texture	نصف يدوي semi-manual	تشخيص بمساعدة الحاسوب
COBRA	تصوير الدماغ بالرنين المغناطيسي Brain MRI	الشكل/التركيب	آلي	النظام البطيني
GEMINI	تصوير الثدي الرقمي Mammography	الشكل	آلي	تشخيص السرطان
I-Browse	دراسة الأنسجة Histology	اللون/التركيب	آلي	عام
IME	التصوير المقطعي المحوري للرئة Lung CT	الموضع النسبي للشكل Shape relative position	نصف يدوي	تشخيص بمساعدة الحاسوب من خلال استرجاع الشكل
KMeD	تصوير الدماغ بالرنين المغناطيسي Brain MRI	الموضع النسبي لـــ الشكل/التركيب	آلي	عام
NMPKB	التصوير العصبي الشعاعي Neuroradiology	الشكل/التركيب/عدم التناسق	آلي	تشخيص بمساعدة الحاسوب
WebMIRS	تصوير العمود الفقري بالأشعة السينية Spine x-ray	الشكل	آلي	كشف الكسور وتصنيفها
Qi & Snyder	تصوير الثدي الرقمي Mammography	الشكل	آلي	تشخيص السرطان
Zhang et al.	Intraoral x-ray	الشكل	يدوي	Bone resorption

نبيّن فيما يأتي المواصفات العامة لبعض الأنظمة السابقة:

1. نظام **ASSERT** [41]: هو نظام للبحث الآلي والاختيار مع أدوات للاسترجاع **Automatic Search and Selection Engine with Retrieval Tools**. يهدف النظام إلى استرجاع الصور الطبقية المحورية للرئة ذات الدقة العالية **High Resolution Computed omography (HRCT)**. يتميّز هذا النظام بأنه يستخدم مفهوم **physician-in-the-loop approach**. يقوم مستثمر النظام (الطبيب) بتحديد المناطق التي يمكن أن تكون مرضية **pathology-bearing regions**وتحديد نقاط علام تشريحية لكل صورة على حدة. يستخدم النظام مجموعات من الخصائص في عملية الاسترجاع أهمها خصائص الشكل وخصائص التركيب.
2. نظام **GEMINI** [42]: يهدف النظام إلى استرجاع الصور التي تحتوي على أشكال سرطانية **tumor shapes** في صور الثدي الرقمية الموافقة لشكل محدد في صورة استعلام محددة من خلال استخدام خصائص الشكل.
3. نظام **IME** [43]: يهدف النظام بشكل أساسي إلى تقديم طريقة فعالة لفهرسة الصور واستعادتها اعتماداً على المحتوى. تُفَهْرَسُ الصور في هذا النظام وفقاً لمبدأين هما: الترتيب الحيزي لأغراض الصورة والقياسات الهندسية والمورفولوجية لهذه الأغراض. طُبِّقَ هذا النظام على الصور المقطعية المحوسبة للرئة.
4. نظام **NMPKB** [44]: يهدف النظام إلى تطوير تقنيات فهرسة واسترجاع للصور الطبية ثلاثية الأبعاد **3D**

images المستحصلة بمنظومتي تصوير هما الطبقي المحوري والرنين المغناطيسي. تشمل الخصائص المستخدمة في هذا النظام على سبيل المثال خصائص الشكل وخصائص التركيب.

5. نظام **Zhang** [45]: يهدف النظام إلى استرجاع صور الأسنان الشعاعية **dental radiograph**. يستخدم النظام بشكل أساسي خصائص الشكل من أجل استرجاع الصور المشابهة لصورة استعلام. يتيح النظام تنفيذ عملية الاسترجاع من خلال نص ما كاسم المريض فضلاً عن عملية استرجاع الصور اعتماداً على المحتوى.

إن إجراء مقارنة بين أنظمة استرجاع الصور بشكل مباشر أمر غير ممكن، وإنما تجري المقارنة بين الأنظمة بشكل عام من حيث نقاط أساسية كطريقة تجزئة الصور ونوع خصائص الصورة المستخدمة، والسبب في ذلك أن كل نظام استرجاع مستقل بحد ذاته؛ وهو مصمم من أجل تطبيق محدد، ولهدف محدد، كما تختلف أنظمة الاسترجاع فيما بينها بطريقة بناء قاعدة بيانات الصور والأسلوب المتبع في فهرستها، وطريقة التحقق **validation method** من الأداء. غالباً تجري مقارنة الأنظمة من خلال نقاط القوة والتحسينات التي يملكها كل نظام [7].

7 ــ الصعوبات والتحديات القائمة في مجال استرجاع الصّور الطّبيّة اعتماداً على المحتوى

بنتيجة دراستنا لعشرات البحوث المنشورة في المجال موضوع ورقة البحث هذه [1-46] ولاسيَّما المرجع الأخير منها الذي يعرض أحد أحدث أنظمة استرجاع الصور الطبية بناء على المحتوى ونتائج تقييم أدائه على عشرات آلاف الصور، تبيّن أن أهم الصعوبات القائمة في مجال بناء أنظمة الـــ **CBMIR** ووضعها موضع التطبيق الفعلي في العمل الروتيني يتلخص في النقاط الآتية:

- صعوبة فهم الهدف من هذه الأنظمة من دون تدريبٍ مسبقٍ وكافٍ على تشغيلها وصعوبة معرفة كيفية صياغة استعلام بصري **visual query**، وهو أمرٌ يشكّل عنصراً جوهرياً في أنظمة **CBMIR**.
- صعوبة في التمييز بين وظائف أدوات النظام ومتصفح الويب الذي يعمل ضمنه بالنسبة إلى الأنظمة المرتبطة مع الويب.
- عدم وجود المعرفة الكافية لاستخدام مبادئ الحاسوب الأساسيّة ومهاراته لدى خبراء الرعاية الصحية health care professionals .
- تأمين السرعة الكافية لاستجابة النظام.

وكاستنتاج عام، لكي تحظى هذه الأنظمة بفرص النجاح الفعلي يجب أن تراعي النقطتين الأساسيتين الآتيتين:

- أن تكون واجهة (النظام) البرنامج بسيطة وسهلة الفهم.
- أن تكون استجابة النظام للأوامر سريعة.

وتجدر الملاحظة إلى أنَّ تنفيذ نظام استرجاع للصور الطّبيّة اعتماداً على المحتوى يتطلّب تعاوناً من قبل خبراء في تسعة مجالاتٍ مختلفةٍ على الأقل[7]، وهي: معالجة الصورة **Image processing** والإبصار الحاسوبي **computer vision** واسترجاع المعلومات **Information retrieval** وإدارة قواعد البياناتDatabase management وتعليم الآلة **Machine learning** والإبصار الإنساني **Human vision** وعلم النفس **Psychology** والتفاعل بين الحاسوب والإنسان**Human-Computer interaction** والحوسبة عالية المستوى **High-performance computing**.

وكخلاصة نستنتج أنه مع ظهور قواعد بيانات ضخمة للصور الطّبيّة من مرتبة عشرات آلاف الصّور تُصبح عملية البحث التقليدية اعتماداً على النص المكتوب على حواشي الصّور غير فعّالة، ولذلك فإنَّ التوصّل إلى نظام أكثر كفاءة يواجه التحدّيات الآتية:

1. التوصّل إلى تقنيات تجزيء عالية الأداء مع الدّقّة المنخفضة والضجيج المرتفع الذي تعاني منه الصّور الطّبيّة عادةً.
2. التوصّل إلى خصائص أو مجموعات خصائص أكثر دقّة في نقل المحتوى البصري للصور إلى قيمٍ موثوق بها في الواقع العملي وأقل حساسيّة للضجيج الذي تحتويه الصّور الطّبيّة عادةً.
3. إيجاد طرائق فهرسة تُمكِّن من الاسترجاع الأسرع للصور.
4. التوصّل إلى طرائق قياس تشابه ذات فعاليّة أكبر.

5. إيجاد واجهة ربط رسوميّة تُؤمّن تواصلاً أسهل مع النظام.

8 ــ التوجهات البحثية الممكنة في مجال أنظمة الـــ CBMIR

إنَّ أي بند من البنود الخمسة المذكورة في المقطع السابق منفرداً أو مجتمعاً مع بندٍ آخر أو بنود أخرى يصلح أن يكون مجال بحثٍ وتطوير، مع تأكيد مراعاة ما يأتي:

1. إنَّ عملية تمثيل الصّورة الطّبيّة يجب أن تجري بطرائق غير حساسة للضجيج وصولاً إلى اختيار واصفات مناسبة لها الأمر الذي يعدُّ جوهرياً من أجل الحصول على نتائج استرجاع ذات دقّة عالية.
2. إنَّ أي نظام استرجاع للصور الطّبيّة ومهما كانت دقة نتائجه عالية لا يستطيع تنفيذ أمر استرجاع الصّور بزمنٍ منخفض لا يمكن أن يدخل في الفحص الطبي اليومي، ومن ثّمَّ يجب تحقيق التوازن بين دقّة نتائج الاسترجاع وسرعة تنفيذ عملية الاسترجاع عند بناء النظام.
3. إنَّ تحقيق الربط الودود**friendly interface** بين نظام استرجاع الصّور الطّبيّة والمستثمر يزيد من فرصة جعل هذه الأنظمة جزءاً من الفحص الطبي اليومي، ويكون ذلك من خلال جعل واجهة التخاطب الرسومية أبسط ما يمكن من دون أن يؤثر ذلك سلباً في الهدف الأساسي من النظام.

9 ــ الخلاصة

تتناول الدراسة المنجزة في هذه الورقة تقنية استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى CBMIR وهي تقنية حديثة في مجال معالجة الصورة والإبصار الحاسوبي، وتعرض التطور العام للبحوث في هذا المجال ضمن المدة الواقعة بين عامي 2000 و 2010 من حيث عدد البحوث المنشورة فضلاً عن المكونات الرئيسة لأي نظام استرجاع للصور وأصناف أنظمة الاسترجاع، وكذلك تبيّن نماذج لأنظمة استرجاع الصور الطبية والتحديات القائمة في وجه التطبيق العملي لهذه الأنظمة. بالنتيجة، تقدم هذه الورقة تقييماً للوضع الراهن لأنظمة استرجاع الصور الطبية اعتماداً على المحتوى بناء على دراسة تحليلية للبحوث الحديثة المنشورة، وتخلص إلى استنتاج اتجاهات بحثية محددة في هذا المجال.

مسرد المصطلحات

- **أنظمة استرجاع الصّور الطّبيّة بناءً على المحتوى Content Based Medical Image Retrieval**
- **الإبصار الحاسوبي Computer vision**
- **أنظمة الاتصالات وأرشفة الصّور Picture Archiving and Communication Systems**
- **معيار التصوير الرقمي والاتصالات في الطب Digital Imaging and Communication in Medicine**
- **تحويل المويجة Wavelet Transform**
- **التحليل باستخدام المركبات الرئيسة Principal Component Analysis**
- **السجلّات الطّبيّة الإلكترونية Electronic (EMR) Medical Records**
- **إدارة الصور Image Management**
- **خصائص الصّورة Image features**
- **أنظمة التشخيص بمساعدة الحاسوب Computer Aided Diagnosis**

المراجع

[1] Müller H, Michoux N, Bandon D, Geissbuhler A. (2004) "A review of content-based image retrieval systems in medical applications-clinical benefits and future directions", International Journal of Medical Informatics, vol. 73, pp.1-23.

[2] Pinhas, A T, Greenspan H. (2007) "Medical Image Categorization and Retrieval for PACS Using the GMM-KL Framework" Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on, vol. 11, no. 2, pp. 190-202

[3] Akgül C B, Rubin D L, Napel S, Beaulieu Ch F, Greenspan H, Acar B. (2011) "Content-based image retrieval in radiology: current status and future directions" Journal of digital imaging, vol. 24, no. 2, pp. 208-222.

[4] Quellec G, Lamard M, Cazuguel G, Roux C, Cochener B. (2011) "Case retrieval in medical databases by fusing heterogeneous information" IEEE Transactions On Medical Imaging, vol. 30, no. 1

[5] Doi, K. (2007) "Computer-aided diagnosis in medical imaging: Historical review, current status and future potential" Computerized Medical Imaging and Graphics, vol. 31, pp.198-211.

[6] Depeursinge A, Vargas A, Gaillard F, Platon A, Geissbuhler A, Poletti PA, Müller H. (2011) " Case-based lung image categorization and retrieval for interstitial lung diseases: clinical workflows" International journal of computer assisted radiology and surgery, vol. 7, no. 1, pp. 97-110.

[7] Depeursinge A, Fischer B, Müller H, Deserno TM. (2011) "Prototypes for Content-Based Image Retrieval in Clinical Practice" The Open Medical Informatics Journal, vol.5, pp. 58-72.

[8] Welter P, Fischer B, Günther RW, Deserno Né Lehmann TM. (2011) "Generic integration of content-based image retrieval in computer-aided diagnosis" Department of Diagnostic Radiology, RWTH Aachen University Hospital, Aachen, Germany.

[9] Joseph S, Balakrishnan K. (2011) "Multi-Query Content based Image Retrieval System using Local Binary Patterns" International Journal of Computer Applications, vol. 17, no.7, pp. 1-5.

[10] Costa O M, Walfredo C, Paulo D A M. (2007) "Towards Applying Content-Based Image Retrieval in the Clinical Routine" Future generations computer systems, vol. 23, no. 3, pp. 466-474

[11] Lehmann TM, Guld MO, Thies C, Fischer B, Keysers D, Kohnen M, Schubert H, Wein B B. (2003) "Content-based image retrieval in medical applications for picture archiving and communication systems " Proceedings of the SPIE, vol. 5033, pp. 109-117.

[12] Robertson ID, Saveraid T. (2008) "Hospital, radiology, and picture archiving and communication systems " Veterinary Radiology & Ultrasound, vol. 49, pp. 19-28.

[13] Welter P, Riesmeier J, Fischer B, Grouls C, Kuhl C, Deserno TM. (2011) "Bridging the integration gap between imaging and information systems: a uniform data concept for content-based image retrieval in computer-aided diagnosis" Journal of the American Medical Informatics Association, vol. 18, no. 4, pp. 506-510

[14] Lehmann T M, Wein B B, Greenspan H. (2003) "Integration of Content-based Image Retrieval to Picture Archiving and Communication Systems"

[15] Rajakumar K, Muttan S. (2011) "An Integrated Approach for Medical Image Retrieval Using PCA and Energy Efficient Wavelet Transform" European Journal of Scientific Research, vol. 51, no. 3, pp.340-348.

[16] Rajaei A, Rangarajan L. (2011) "International Symposium On Distributed Computing And Artificial Intelligence, Advances in Intelligent and Soft Computing: Matching and Retrieval of Medical Images " edited by Abraham A, Corchado JM, Rodríguez González S, de Paz Santana, J.F. 1st Edition, Spain, vol. 91, pp. 37-33.

[17] Yuan K, Tian Z, Zou J, Bai Y, You Q. (2011) "Brain CT image database building for computer-aided diagnosis using content-based image retrieval"

retrieval applications" International conference on information technology.

[27] Kekre H B, Mishra D, Kariwala A. (2011) "A survey of cbir techniques and semantics" International Journal of Engineering Science and Technology, vol. 3 ,no. 5 ,pp.4510-4517

[28] Aggarwal P, Sardana H K, Jindal G. (2009) "Content Based Medical Image Retrieval: Theory, Gaps and Future Directions" ICGST-GVIP Journal, vol. 9, no. 2, pp. 27-37.

[29] Madugunki M, Bormane D S, Bhadoria S , Dethe, C G. (2011) "Comparison of Different CBIR Techniques" Electronics Computer Technology (ICECT), 2011 3rd International Conference on. vol. 4, pp. 372 – 375

[30] Ravela S, Manmatha R.(2005) "Multi-modal retrieval of trademark images using global similarity" Technical Report, Massachusetts univ amherst center for intelligent information retrieval.

[31] Nordbotten J. (2010) "Multi-modal Information Retrieval experiences from Context-Aware Image Management" Dept. Of Information and Media Science, University of Bergen, Norway.

[32] Napel SA, Beaulieu CF, Rodriguez C, Cui J, Xu J, Gupta A, Korenblum D, Greenspan H, Ma Y, Rubin DL. (2010) "Automated Retrieval of CT Images of Liver Lesions on the Basis of Image Similarity: Method and Preliminary Results" Radiology, vol. 256, no. 1, pp.243-252.

[33] Ghosh P, Antani S, Long L R, Thoma G R. (2011) "Review of medical image retrieval systems and future directions" Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2011 24th International Symposium on, pp. 1-6

[34] Muller H, Muller W, Squire D M, Marchand-Maillet S, Pun T. (2001) "performance evaluation in content based image retrieval: overview and proposals" Pattern Recognition Letters, vol. 22, no. 5, pp. 593-601

[35] Lakdashti A, Ajorloo H. (2011) "Content-Based Image Retrieval Based on Relevance Feedback and Reinforcement Learning for Information processing & management, vol. 47, no. 2, pp. 176-185

[18] Bhadoria S, Dethe C G. (2010) "Study of Medical Image Retrieval System" 2010 International Conference on Data Storage and Data Engineering (DSDE), pp.192 - 196

[19] Hong S, Wen-cheng C, Li T. (2005) "Medical Image Description in Content-Based Image Retrieval" Proceedings of the 2005 IEEE, Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference. pp. 6336 - 6339

[20] Kumar D K, sree E U, Suneera K, Kumar P V C. (2011) "Content based image retrieval - extraction by objects of user interest" International Journal on Computer Science and Engineering, Vol. 3, pp. 1068-1074

[21] Materka A ,Strzelecki M. (1998) "Texture Analysis Methods – A Review" University of Lodz, Institute of Electronics.

[22] Babu K N, Pothalaiah S , Babu K A . (2010) "Image retieval color, shape and texture features using content based" International Journal of Engineering Science and Technology, vol. 2, no. 9, pp.4278-4287

[23] Arevalillo-Herráez M, Domingo J, Ferri J F. (2008) "Combining similarity measures in content-based image retrieval" Pattern recognition letters, vol. 29, no. 16, pp. 2174-2181.

[24] Guo GD, Jain AK, Ma WY, Zhang HJ. (2002) "Learning Similarity Measure for Natural Image Retrieval With Relevance Feedback" Neural Networks, IEEE Transactions on, vol. 13, no. 4, pp. 811-820

[25] Kekre H B, Sonawane K. (2012) "Effect of Similarity Measures for CBIR Using Bins Approach" International Journal of Image Processing (IJIP), vol.6 , no.3, pp. 182-197

[26] Vadivel A, Majumdar A K, Sural Sh. (2003) "Performance comparison of distance metrics in content-based Image

Medical Images" ETRI Journal, vol. 33, no. 2.

[36] Qian Y, Gao X, Loomes M, Comley R, Barn B, Hui R, Tian Z. (2011) "Content-based Retrieval of 3D Medical Images" The Third International Conference on Health, Telemedicine, and Social Medicine.

[37] Kekre H B, Mishra D. (2010) " Performance Comparison of Four, Eight & Twelve Walsh Transform Sectors Feature Vectors for Image Retrieval from Image Databases" International Journal of Engineering Science and Technology, vol. 2, no. 5, pp.1370-1374

[38] Kekre H B, Mishra D. (2010) "Digital Image Search & Retrieval using FFT Sectors of Color Images" International Journal on Computer Science and Engineering, vol. 2, no.2, pp.368-372

[39] Kekre H B, Mishra D. (2011) "Content Based Image Retrieval Using Full Haar Sectorization" International journal of image processing, vol. 5, no. 1,pp. 1-12.

[40] Li S, Gong T, Wang J, Liu R, Tan C L, Leong T Y, Pang B C, Lim C C T, Lee C K, Tian Q, Zhang Z. (2010) "Tbidoc:3d content-based ct image retrieval system for traumatic brain injury" Proceedings, vol. 7624.

[41] Shyu C-R, Brodley C E, Kak A C, Kosaka A, Aisen A M, Broderick L S. (1999) "ASSERT: A Physician-in-the-loop Content-Based Retrieval System for HRCT Image Databases", Computer Vision and Image Understanding, vol. 75, no. 1-2. pp. 111-132.

[42] Korn P, Sidiropoulos N, Faloutsos C, Siegel E, Protopapas Z. (1998) "Fast and effective retrieval of medical tumor shapes" IEEE Trans Knowl Data Eng, vol. 10, no.6. pp 889-904.

[43] Abate AF, Nappi M, Tortora G, Tucci M. (1999) "IME: an image management environment with content-based access" Image and Vision Computing, vol.17, no.13, pp. 967-980.

[44] Liu Y, Rothfus WE, Kanade T. (1998) "Content-based 3D neuroradiologic image retrieval: preliminary results" Content-Based Access of Image and Video Database, 1998. Proceedings., 1998 IEEE International Workshop on, pp.91-100.

[45] Zhang W, Dickinson S, Sclaroff S, Feldman J, Dunn S (1998) "Shape-based indexing in a medical image database" Biomedical Image Analysis, 1998. Proceedings. Workshop on, pp. 221-230.

[46] Antani S, Xue Z, Long L R, Bennett D, Ward S, Thoma G R.(2011) "Is there a need for biomedical CBIR systems in clinical practice? Outcomes from a usability study" Proceedings of SPIE Medical Imaging2011. *

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق2012/4/26