المجلة الدولية للهندسة وتقنية المعلومات
ijeit.misuratau.edu.ly
IJEIT
جامعة مصراتة MISURATA UNIVERSITY

مقارنة بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي في تطبيق ويب

عبدالعظيم الجمل[1،*]، آمنة الرحومه[2]، ربيعة عباس[3]، سلسبيل سويب[4]
[1] كلية تقنية المعلومات، جامعة مصراتة، قسم علوم الحاسوب، مصراتة، ليبيا، a.aljamel@mu.edu.ly
[2] كلية تقنية المعلومات، جامعة مصراتة، قسم هندسة البرمجيات، مصراتة، ليبيا، a.alrahouma@mu.edu.ly
[3] كلية تقنية المعلومات، جامعة مصراتة، هندسة البرمجيات، مصراتة، ليبيا، r.abas@mu.edu.ly
[4] كلية تقنية المعلومات، جامعة مصراتة، هندسة البرمجيات، مصراتة، ليبيا، s.swieb@mu.edu.ly
*المؤلف المراسل

تاريخ الورقة
استلمت الورقة بالكامل في:24 مارس 2025
وروجعت في: 5 يونيو 2025
وقبلت للنشر في: 10 يونيو 2025
ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في:14 اغسطس 2025
DOI: https://doi.org/10.36602/ijeit.v14i1.558

الكلمات المفتاحية
لكلمات المفتاحية: أنطولوجيا الويب الدلالي، تقنيات الويب الدلالي، قاعدة البيانات العلائقية، لغة استعلام سباركل، SPARQL، لغة استعلام مهيكلة، SQL

الملخص

يهدف هذا البحث إلى إجراء مقارنة بين نموذج قواعد البيانات العلائقية (Relational Databases) ونموذج أنطولوجيا الويب الدلالي (Semantic Web Ontology) من خلال تطوير تطبيق ويب تعليمي يخدم المراحل الدراسية المختلفة في ليبيا، بدءاً من المرحلة الابتدائية وحتى المرحلة الثانوية. تم تصميم التطبيق ليكون أداة فعالة لتوضيح الفروق الجوهرية بين النموذجين من حيث تخزين البيانات واسترجاعها. تم بناء التطبيق استنادًا إلى مبادئ هندسة البرمجيات لضمان تطوير نظام متكامل يتميز بالمرونة، القابلية للتوسع، الموثوقية، وسهولة الاستخدام. ركز هذا البحث على إنشاء بنية برمجية مُنظمة لإدارة الكيانات التعليمية (الطلاب، المعلمين، المناهج، المقررات الدراسية، المؤسسات التعليمية، أماكن وعناوين المؤسسات والأفراد) عن طريق تمثيلها وإيجاد العلاقات بينها في نموذج قاعدة البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي بكفاءة عالية. تم استخدام التطبيق لإجراء مقارنة عملية بين النموذجين، حيث أظهرت النتائج تميز أنطولوجيا الويب الدلالي عن قواعد بيانات العلائقية بمرونتها العالية في تمثيل البيانات والعلاقات الدلالية بينها، ولكنه مازال يحتاج إلى تحسين على مستوى الأمان والموثوقية. كما تتميز أنطولوجيا الويب الدلالي بالمرونة وسرعة البحث مطلوبة. كما يميز تقنيات الويب الدلالي، هو قدرة الأنطولوجيا على الاستدلال (Reasoning) الذي يعزز إمكانية اكتشاف علاقات وحقائق جديدة بالاستناد على علاقات وحقائق قائمة وموجودة.

A Comparison between Relational Databases and Semantic Web Ontology in Web Application

Abduladem Aljamel [1,] , Amna Alrahouma[2], Rabeeah Abas[3], Salsabel Sweib[4]*
[1]Misurata University, Faculty of Information Technology, Computer Science Department, Misurata, Libya, a.aljamel@mu.edu.ly
[2]Misurata University, Faculty of Information Technology, Software Engineering Department, Misurata, Libya, a.alrahouma@mu.edu.ly
[3]Misurata University, Faculty of Information Technology, Software Engineering Department, Misurata, Libya, r.abas@mu.edu.ly
[4]Misurata University, Faculty of Information Technology, Software Engineering Department, Misurata, Libya, s.swieb@mu.edu.ly
* Corresponding author

Abstract

This project compares the Relational Database model with the Semantic Web Ontology model through an educational web application serving academic levels in Libya from primary to secondary school. The application illustrates key differences in data storage and retrieval between the two models. Developed using software engineering principles, the system emphasizes flexibility, scalability, reliability, and usability. It manages educational entities—students, teachers, curricula, institutions, and their locations—by efficiently representing them and their relationships in both models. Practical comparisons showed that the Semantic Web Ontology offers superior flexibility and semantic representation, with faster search and reasoning capabilities that reveal new relationships. However, it needs improvements in security and reliability.

Index Terms

Relational Database, Semantic Web Ontology, Semantic Web Technology, SPARQL Protocol And RDF Query Language, Structured Query Language, SQL

1. المقدمة

في ظل التحولات التكنولوجية السريعة، تزداد أهمية تطوير حلول فعالة لتخزين البيانات وإدارتها في التطبيقات البرمجية. حيث يُعتبر تخزين البيانات عنصرًا أساسيًا يؤثر على كفاءة الأداء وتجربة المستخدم، خاصة مع التوسع المستمر في العالم الرقمي. من الأساليب التقليدية الرائدة في هذا المجال قواعد البيانات العلائقية (Rational Database, RDB)، التي تعتمد على جداول مترابطة وتستخدم لغة الاستعلام المهيكلة (Structured Query Language, SQL) للوصول السريع إلى البيانات. ومع ذلك، تواجه التطبيقات الحديثة تحديات تتطلب نهجاً مختلفاً. هنا تبرز تقنية أنطولوجيا الويب الدلالي (Semantic Web Ontology) التي تعتمد على ربط البيانات دلالياً وفهم العلاقات المعقدة بينها. هذا النهج لا يقتصر

على تخزين البيانات فحسب، بل يعزز إمكانيات التحليل العميق واستنباط معلومات جديدة، باستخدام تقنيات الويب الدلالي (Semantic Web Technologies, SWT) المختلفة بما فيها لغة استعلام إطار توصيف المورد، سباركل (SPARQL Protocol And RDF Query Language, SPARQL)، للاستعلام عن البيانات المهيكلة في الأنطولوجيا. باختصار، بينما تظل قواعد البيانات العلائقية موثوقة، فإن أنطولوجيا الويب الدلالي تقدم نهجاً مختلفاً يتكيف مع احتياجات التطبيقات المعقدة ويعزز فهم البيانات بشكل أعمق [1].

يهدف هذا البحث إلى دراسة مزايا وعيوب كل من النموذجين، قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي، وتأثيرهما على أداء التطبيقات البرمجية، مع مقارنة آليات عمل كل نموذج من حيث تخزين البيانات واسترجاعها. في هذا السياق، سوف يتم إنشاء تطبيق ويب تعليمي شامل يهدف إلى توفير مناهج تعليمية وكتب دراسية لجميع المراحل التعليمية، بدءاً من المرحلة الابتدائية وصولًا إلى المرحلة الثانوية، وكذلك المناهج الخاصة ببعض المعاهد التعليمية المتوسطة في مدينة مصراتة. تكمن أهمية هذا التطبيق في مواكبته للتحول الرقمي المتسارع في مجال التعليم، حيث أصبح من الضروري تطوير بيئات تعليمية رقمية تسهّل الوصول إلى المناهج الدراسية للطلاب والمعلمين. هذا البحث يهدف إلى سد الفجوات المعرفية المتعلقة بتخزين البيانات في التعليم الرقمي من خلال مقارنة شاملة بين قواعد البيانات العلائقية وتقنيات الويب الدلالي. من خلال هذه المقارنة، سيتم تعزيز فهم أكثر فعالية لطرق تخزين وإدارة المعلومات في التطبيقات التعليمية، وتقديم حلول مبتكرة لتحسين عملية استرجاع البيانات، ما يسهم في بناء بيئات تعليمية أكثر كفاءة وذكاءً. تقنيات الويب الدلالي، بقدراتها المتقدمة على فهم العلاقات بين البيانات وتحسين إدارتها، تشكل جوهراً مهماً في هذا البحث. استكشاف هذه التقنيات في السياق التعليمي يفتح آفاقاً جديدة لتحسين التجربة التعليمية وتسهيل عمليات البحث والاسترجاع. الإضافة التي يقدمها البحث تتمثل في تقديم تحليل متكامل بين أساليب التخزين التقليدية والمبتكرة، عبر تطوير موقع تعليمي يعتمد على كلا النموذجين. هذا سيوضح الفروقات العملية بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي، ويحدد الأنسب لتلبية الاحتياجات التعليمية. علاوة على ذلك، يُعتبر هذا البحث مساهمة في إثراء المحتوى العربي في مجال تقنيات التخزين الرقمية، ما يعزز من مستوى المعرفة والمهارات بين الطلاب والباحثين في هذا المجال [4]–[2].

تم تنظيم وترتيب هذه المقالة كما يلي، الجزء الثاني سيتحدث عن نماذج تخزين البيانات وتطوير الأنظمة البرمجية، حيث سيركز هذا الجزء شرح المفاهيم الرئيسية المتعلقة بقواعد البيانات العلائقية وتقنيات الويب الدلالي، أما الجزء الثالث فسوف يتناول الدراسات السابقة التي لها علاقة بموضع هذه المقالة. أما الجزء الرابع فسيعرض المنهجية وخطوات تطبيقها والنتائج ومناقشتها. الجزء الخامس والأخير فسيقدم الخلاصة والاستنتاجات والتوصيات.

2. نماذج تخزين البيانات وتطوير الأنظمة البرمجية

تخزين البيانات وتمثيل المعرفة عنصران أساسيان في الأنظمة البرمجية الحديثة، حيث يؤثران مباشرة على معالجة البيانات واسترجاعها. تخزين البيانات الفعّال يضمن استقرار الأنظمة وسرعة الوصول للمعلومات ودقة التحليل. سواء كانت بيانات شخصية، مالية، أو تعليمية، تشكل البيانات العمود الفقري لأي نظام رقمي، مما يتطلب تقنيات تخزين توازن بين المرونة، الكفاءة، والأمان. حلول التخزين المبتكرة، مثل قواعد البيانات العلائقية وغير العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي، تلعب دوراً محورياً في تحسين تجربة المستخدم وتكامل الأنظمة [6] ,[5].

1.2 قواعد البيانات العلائقية (Relational Database, RDB):

تُعرّف قاعدة البيانات بأنها مجموعة منظمة من البيانات المتصلة، مما يُتيح الوصول إليها بطريقة مرتبة. يتم إدارة هذه البيانات عادةً من خلال نظام يسمى نظام إدارة قواعد البيانات (Database Management System, DBMS). وهي عبارة عن مجموعة برامج تمكن المستخدمين من التفاعل مع واحدة أو أكثر من قواعد البيانات المتاحة. يتيح هذا النظام الوصول لجميع المعلومات المدونة في قاعدة البيانات، حسب القيود التي تنظم وصول المستخدمين إلى بيانات معينة. يوفر نظام إدارة قوعد البيانات وظائف متعددة تسمح بتخزين واسترجاع كميات كبيرة من المعلومات، بالإضافة إلى توفير طرق متنوعة لتنظيم تلك البيانات. تعد قواعد البيانات العلائقية (RDB) من أكثر قواعد البيانات استخداماً حيث يعتمد على ربط الجداول والمعلومات بطريقة تُسهّل الوصول السريع إليها. يستند هذا النظام إلى كيفية تعامل العقل البشري مع المعلومات وتذكر الأحداث. يُتيح هذا النوع إدخال البيانات مرة واحدة فقط، مما يقلل من تكرارها، ويسمح بإنشاء وتعديل الجداول بشكل يسير. كما يمكن إضافة جداول جديدة في أي وقت حسب الحاجة. يتم تنظيم البيانات في نموذج قاعدة البيانات العلائقية بطريقة تسهل الوصول إليها وفهم العلاقات بينها. في هذا النموذج، تُنظم البيانات في جداول، حيث تحتوي كل جدول على صفوف وأعمدة. هذا الهيكل يساعد على توضيح كيف ترتبط نقاط البيانات المختلفة ببعضها. يمكن ربط الجداول معاً بعلاقات باستخدام المفاتيح، مما يُتيح الحصول على معلومات شاملة. كما تُستخدم لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) لاسترجاع وعرض البيانات. يمكن بهذه اللغة أن يقوم المستخدمين بكتابة استعلامات للحصول على تقارير أو معلومات محددة. إجمالاً، تساعد قواعد البيانات العلائقية في اتخاذ قرارات تجارية أفضل وتحسين الكفاءة وتقليل التكاليف وزيادة كفاءة العمليات، من خلال تمكين المؤسسات من إدارة بياناتها بشكل أفضل. كما تُعتبر مثالية لتخزين البيانات والتعامل مع البيانات المنظمة التي لها هيكل ثابت مما يسهل إدارتها [7].

1.1.2 هيكل قاعدة البيانات العلائقية:

هيكل قاعدة البيانات يحتوي على المكونات التالية [7]:

الجداول (Tables): تُعتبر الأساس في قواعد البيانات العلائقية، حيث تحتوي كل جدول على بيانات تتعلق بموضوع معين (مثل الطلبة أو الأساتذة).

الصفوف والأعمدة: الصفوف أو السجلات (Records): كل صف يمثل سجلًا فردياً (مثل بيانات طالب واحد). أما الأعمدة أو الحقول (Fields): كل عمود يحتوي على خاصية معينة تتعلق بالسجل، مثل اسم الطالب.

المفاتيح (Keys): المفاتيح هي معرفات تستخدم لتمييز السجلات والربط بينها وهي نوعان، المفتاح الأساسي (Primary Key) والمفتاح الخارجي (Key Foreign). المفتاح الأساسي هو معرف فريد يُستخدم لتحديد كل سجل بشكل منفصل داخل الجدول ويضمن عدم وجود سجلات مكررة والمفتاح الخارجي هو عمود في جدول يُستخدم لربطه بمفتاح أساسي في جدول آخر، مما يساعد في إنشاء علاقات بين الجداول المختلفة.

2.1.2 مزايا وعيوب قواعد البيانات العلائقية:

تتميز قواعد البيانات العلائقية بسهولة تنظيم البيانات وتخزينها، مما يسهل استخراج التقارير وإضافة فئات بيانات جديدة دون تعديل التطبيقات. تقلل من تكرار البيانات عبر تخزينها مرة واحدة، وتوفر سهولة في الاستخدام عبر لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) للاستعلامات المعقدة. كما تدعم وصول عدة مستخدمين في نفس الوقت وتوفر نظام أمان متقدم لضمان موثوقية البيانات. من ناحية أخرى، تواجه قواعد البيانات العلائقية عيوبا مثل الحاجة إلى تخطيط مسبق وهيكل واضح، مما يعقد الصيانة والمرونة. كما تفتقر إلى المرونة في التعامل مع البيانات غير المهيكلة أو الديناميكية، وتواجه صعوبات في التوسع عبر خوادم متعددة. قد يتأثر أداؤها سلبًا مع زيادة حجم البيانات، مما يؤدي إلى بطء في وقت الاستجابة [7][10].

2.2 تقنيات الويب الدلالي (Semantic Web Technologies, SWT):

الويب الدلالي هو تطور للويب التقليدي يهدف إلى جعل المعلومات مفهومة للآلات، بحيث يمكنها تفسير المحتوى وفهمه بشكل مشابه للبشر، مما يجعل العمليات أكثر ذكاءً وتفاعلاً. أطلق (تيم بيرنرز لي)، مبتكر الويب، هذه الفكرة عام (2001) كجزء من رؤيته لشبكة ويب أكثر ذكاءً. يعتمد الويب الدلالي على تحويل المعلومات من نصوص مقروءة إلى بيانات مترابطة ذات معنى يمكن للآلات تحليلها. كما يُمكن استخدام الويب الدلالي في تحسين محركات البحث لتقديم نتائج أكثر دقة وذات صلة. وتمكّن تقنيات الويب الدلالي الآلات من إنجاز مهام معقدة مثل الترجمة والتوصيات والإجابة على الأسئلة المتقدمة. ومن أهم مزايا تقنيات الويب الدلالي تسهيل دمج المعلومات من مصادر متعددة، مما يدعم اتخاذ قرارات أفضل اعتماداً على بيانات شاملة ومنظمة. يعتمد الويب الدلالي على تقنيات معيارية مختلفة. هذه التقنيات تعمل معاً لتمثيل البيانات بشكل دقيق يمكن للآلات معالجتها، مما يتيح تنظيماً وفهماً أعمق للمعلومات يتجاوز النصوص التقليدية. فيما يلي نقدم عرض لأهم تلك التقنيات [3]، [8].

1.2.2 معرف المورد الموحد (Uniform Resource Identifier, URI):

يُستخدم معرف المورد الموحد (URI) في تقنيات الويب الدلالي لتحديد الموارد بشكل فريد على الإنترنت، مثل الكيانات (أشخاص، أماكن، مفاهيم) أو العلاقات. ينقسم (URI) إلى جزئين: مساحة الاسم (Namespace) والكيان المحدد. وهذا مثال لهما:

`http://example.org/people#mohamed`

حيث يشير الجزء الأول (`http://example.org/people`) إلى مساحة الاسم، والجزء الثاني (`mohamed`) إلى الكيان المحدد. تُستخدم (URIs) لربط البيانات من مصادر مختلفة حول نفس الكيان أو المفهوم، مما يُسهل تكامل البيانات على الويب [3].

2.2.2 إطار توصيف المورد (Resource Description Framework, RDF):

إطار توصيف المورد (RDF) هو البنية الأساسية في الويب الدلالي لتمثيل المعلومات بشكل مفهوم وقابل للمعالجة آلياً. يعتمد (RDF) على الثلاثيات (Triples) المكونة من: الموضوع (Subject)، العلاقة (Predicate)، والمصدر (Object). تُستخدم هذه الثلاثيات لتمثيل الحقائق وربط الموارد بطرق مفهومة، مما يُسهل إنشاء شبكة بيانات مترابطة عبر مصادر متعددة. تم تصميم (RDF) لتبادل المعلومات بين التطبيقات المختلفة على الويب بشكل متوافق، مع الحفاظ على معاني البيانات الأصلية. يُستخدم (RDF) أيضا لنشر وربط البيانات المفتوحة المترابطة (Linked Open Data)، مما يسمح بجمع معلومات إضافية حول الكيانات المرتبطة. رغم بساطتها، يمكن لإطار توصيف المورد (RDF) تمثيل هيكلية لبيانات معقدة من خلال ربط ثلاثيات متعددة [3]، [8].

كمثال على ثلاثيات إطار توصيف المورد (RDF)، الموضوع (Subject) وعلاقة (Predicate) والمصدر (Object)، نستخدم المثال التالي: نفرض أن "محمد" نوعه "شخص"، و"المعرفة" نوعها "مدرسة"، و"محمد" يدرس في مدرسة "المعرفة"، كالتالي:

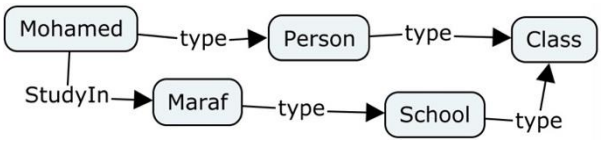
http://example.org/people#mohamed
http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type
http://example.org/concepts#person
http://example.org/people#almarfa
http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type
http://example.org/concepts#school
http://example.org/people#mohamed
http://example.org/concepts#studyin
http://example.org/concepts#almarfa

هذه العلاقات كتبت بكامل معرف المورد الموحد (URI) لها، ولكن اختصارا يمكن كتابتها بتعريف معرفات المورد الموحدة كبادئات مختصرة (Prefix) كالتالي:

PREFIX exa: <http://example.org/people#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>

exa:mohamed	*rdf:type*	*exa:person*
exa:almarfa	*rdf:type*	*exa:school*
exa:mohamed	*exa:studyin*	*exa:almarfa*

هذه العلاقات يمكن تمثيلها بالمخطط في شكل 1 التالي:



شكل 1 مثال على ثلاثية إطار توصيف المورد (RDF)

3.2.2 لغات ومخططات وقواعد توصيف واستدلال الموارد في الويب الدلالي:

I. مخطط إطار توصيف المورد (RDF Schema, RDFS): هو إطار عمل لوصف هيكلية البيانات في صيغة إطار توصيف المورد (RDF)، ويُستخدم لتعريف الفئات (Classes) والخصائص (Properties) والعلاقات الهرمية بينها. يوفر أدوات بسيطة لتنظيم البيانات بشكل هرمي، مثل تعريف الفئات الفرعية (rdfs:subClassOf) أو الخصائص الفرعية (rdfs:subPropertyOf). يدعم استدلالاً بسيطاً، مثل استنتاج أن الكائن من فئة فرعية ينتمي أيضاً إلى الفئة الأم. ومع ذلك، يقتصر على التنظيم البسيط ولا يدعم القيود المعقدة، مما يجعله مناسباً للحالات التي لا تتطلب تعقيدات إضافية [3]، [8].

II. لغة أنطولوجيا الويب (Web Ontology Language, OWL): تُعتبر أكثر تقدمًا من (RDFS)، وتُستخدم لبناء أنطولوجيات معقدة تمثل المعرفة في مجال معين. تدعم تعابير معقدة مثل القيود على الخصائص (Cardinality Constraints)، والعلاقات المنطقية (مثل equivalentClass و equivalentProperty)، والخصائص التبادلية (SymmetricProperty) والمتعدية (TransitiveProperty). تسمح بالاستدلال المتقدم، مثل استنتاج العلاقات الضمنية بين الكيانات اعتماداً على القيود المحددة. تُستخدم في التطبيقات التي تتطلب تمثيلًا دقيقاً ومعقداً للعلاقات، مثل الأنظمة الطبية أو قواعد البيانات الدلالية الكبيرة [3]، [8].

III. لغة القواعد القابلة للبناء (Rule-based Language): تُستخدم لبناء قواعد منطقية معقدة تعتمد على شروط محددة في البيانات، مما يساعد في الاستنتاجات والاستدلالات. تشمل أدوات مثل إطار تبادل القواعد (Rule Interchange Format, RIF) ولغة قواعد الويب الدلالي (Semantic Web Rule Language, SWRL). تُعد هذه القواعد مكملة للغة أنطولوجيا الويب (OWL)، حيث تسمح بوصف علاقات لا يمكن التعبير عنها مباشرة باستخدام لغة أنطولوجيا الويب (OWL)، مما يعزز قدرات الاستدلال في الأنطولوجيات [3]، [8].

4.2.2 أنطولوجيا الويب الدلالي (Semantic Web Ontology):

الأنطولوجيا هي نموذج بيانات في الويب الدلالي يهدف إلى تنظيم المفاهيم وعلاقاتها ضمن مجال معين، مما يساعد الآلات على فهم السياق بشكل أعمق ويدعم تطبيقات الذكاء الاصطناعي. تتكون من مكونات أساسية مثل المفاهيم (Classes) التي تمثل الكيانات الأساسية، وعلاقات الخصائص (Data Properties) التي تصف سماتها، وعلاقات الكيانات (Object Properties) التي تربط المفاهيم ببعضها، والقيم (Values) التي تعبر عن البيانات الفعلية عن طريق علاقات الخصائص، والقيود (Axioms) التي تضبط تطبيق الخصائص والعلاقات، والأفراد (Individuals) التي تمثل أمثلة فعلية للمفاهيم، والاستدلال (Inference) لاستنتاج معلومات جديدة، والتسلسل الهرمي (Hierarchy) لتنظيم المفاهيم بشكل منطقي. هذه المكونات تجعل الأنطولوجيا أداة قوية لتمثيل البيانات وفهمها آلياً، مما يعزز التكامل والاستدلال في الأنظمة الذكية [9]، [10].

5.2.2 برتوكول سباركل ولغة استعلام إطار توصيف المورد (SPARQL Protocol And RDF Query Language)

سباركل (SPARQL) هي لغة استعلام قوية تُستخدم لاسترجاع البيانات من مخازن إطار توصيف المورد (RDF)، وتتيح إنشاء استعلامات مخصصة لاستخلاص البيانات المترابطة بطريقة مشابهة للغة (SQL). تُعتبر سباركل إحدى الركائز الأساسية للويب الدلالي، حيث تسمح بطرح استفسارات معقدة لاستخراج بيانات محددة بناءً على معايير معينة، كما تدعم الربط بين قواعد البيانات المختلفة لزيادة دقة البيانات وغناها [11].

تتكون استعلامات سباركل من أربعة أنواع رئيسية:

1. استعلامات (SELECT): تستخدم لاسترجاع بيانات محددة وفقاً لمعايير معينة.
2. استعلامات (CONSTRUCT): تسمح بإنشاء بيانات جديدة بناءً على البيانات الموجودة.
3. استعلامات (DESCRIBE): توفر معلومات عن مورد معين في شكل ثلاثيات (Triples) المكونة من: الموضوع (Subject)، العلاقة (Predicate)، والمصدر (Object)
4. استعلامات (ASK): تُستخدم للتحقق من وجود ثلاثية محددة في قاعدة البيانات

تتمثل استخدامات لغة استعلام سباركل (SPARQL) في تحليل البيانات الكبيرة المخزنة بصيغة (RDF) لتسهيل الوصول إلى المعلومات المفيدة، وتمكين التكامل بين الأنظمة المختلفة عبر استعلام البيانات المشتركة، بالإضافة إلى دعم تطوير التطبيقات الذكية التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي والويب الدلالي.

6.2.2 مخازن بيانات إطار توصيف المورد (RDF Stores)

مخازن (RDF) تُعد مكوناً أساسياً في الويب الدلالي، حيث توفر وسيلة فعالة لتخزين البيانات المترابطة في صيغة إطار توصيف المورد (RDF). تعتبر هذه المخازن ضرورية للعمل مع البيانات التي تحتوي على علاقات بين الكائنات، مما يسهل استرجاع المعلومات وتحليلها بشكل فعّال. تعتبر مخازن (RDF)، مثل قاعدة بيانات الثلاثيات (Triples Database, TDB) أدوات حيوية في الويب الدلالي، حيث تدعم تخزين البيانات المترابطة وتمكين الاستعلام الفعّال باستخدام لغات استعلام مثل سباركل (SPARQL) [12]–[15].

قاعدة بيانات الثلاثيات (TDB) هو نظام لإدارة البيانات المترابطة، ويُستخدم لتخزين البيانات في صيغة إطار المورد الموحد (RDF) الذي يكون فيه تمثيل البيانات ممثلاً من علاقات مترابطة بين الكائنات. يعتبر مخزن (TDB) أحد أدوات حزمة الأدوات (Apache Jena) ويُستخدم في التطبيقات التي تحتاج لتخزين واستعلام البيانات المترابطة. مخزن (TDB) يتميز بعدة خواص، منها أنه يوفر تخزين مترابط للبيانات ويعتبر وسيلة فعالة لتخزين البيانات التي تحتوي على علاقات بين الكائنات، مثل شبكات التواصل الاجتماعي أو بيانات الويب الدلالي. يدعم مخزن (TDB) لغة استعلام سباركل (SPARQL) ويوفر قنوات لاستخدام سباركل (SPARQL) للاستعلام عن البيانات داخله. يدير مخزن (TDB) البيانات بشكل فعال وبأداء عالي ويعمل على تسريع استرجاع المعلومات حتى في الحالات التي تحتوي على كميات ضخمة من البيانات. كما يمكن لمخزن (TDB) التوسع والتعامل مع مجموعات بيانات ضخمة وتحليلها بشكل سريع [12]–[15].

يستخدم مخزن (TDB) في الويب الدلالي (Semantic Web): يستخدم مخزن (TDB) في تخزين البيانات المترابطة على الإنترنت، بحيث يمكن ربط المعلومات المختلفة وتبادلها بسهولة. كما يستخدم في بيانات المخطط البياني (Graph Data) في التطبيقات التي تتطلب التعامل مع المخططات البيانية للبيانات، مثل أنظمة تتبع العلاقات بين الكائنات أو الأشخاص [12]–[15].

3.2 مميزات وعيوب الويب الدلالي

يتميز الويب الدلالي بتحسين دقة البحث عبر ربط البيانات بمعانيها، وتسهيل تبادل البيانات بين الأنظمة بفضل التكامل الذي يوفره. كما يدعم إعادة استخدام البيانات في سياقات متعددة ويقدم محتوى مخصص يعتمد على اهتمامات المستخدم، مما يعزز تجربته. بالإضافة إلى ذلك، يعزز التفاعل بين التطبيقات عبر معايير مفتوحة ويُمكن من استنتاج معلومات جديدة باستخدام تقنيات الاستدلال، مما يسهم في اتخاذ قرارات أفضل. من ناحية أخرى، يواجه الويب الدلالي تحديات مثل الحاجة إلى خبرة تقنية عالية وموارد كبيرة، وصعوبات في توافق الأنطولوجيات، ومخاطر تتعلق بخصوصية وأمن البيانات. كما يواجه مقاومة في التبني بسبب التكلفة والتعقيد، ويتطلب جهوداً إضافية لمعالجة البيانات غير المهيكلة مثل النصوص والصور [3]، [8]، [16]، [17].

3. الدراسات السابقة

شهدت الأبحاث تطوراً في توظيف تقنيات الويب الدلالي وإدارة البيانات لتحسين فعالية تخزين البيانات والوصول إليها في مختلف التطبيقات. ففي دراسة للباحث (Taye) في [18]، تم التركيز على أهمية الأنطولوجيا في تحسين تمثيل المعلومات، وتيسير تبادلها بين الأنظمة المختلفة. هذا يتماشى مع أهداف مشروعنا في بناء نظام يعتمد على الأنطولوجيا لتسهيل تكامل البيانات التعليمية واسترجاعها بشكل موثوق وسريع.

كما تناولت الدراسة التي قام بها (Ma) وآخرون في [19] حيث سعوا إلى معالجة مشكلات تمثيل البيانات في قواعد البيانات العلائقية و (XML)، و توفير إطار عمل يسمح بمشاركة وإعادة استخدام البيانات عبر التطبيقات المختلفة، استخدم الباحثون مجموعة من الأدوات، بما في ذلك نماذج البيانات الدلالية وأنظمة إدارة قواعد البيانات العلائقية، بالإضافة إلى تقنيات مثل (RDFS) و(OWL) لتقديم تمثيل دلالي للبيانات. وأظهرت النتائج أن استخدام تقنيات الويب الدلالي يمكن أن يحسن بشكل كبير من فعالية إدارة البيانات، حيث تسهم الأنطولوجيات في معالجة الفجوات الدلالية. كما أكدت النتائج على إمكانية تحسين دقة الاستعلامات المعقدة ودمج البيانات من مصادر متعددة بفاعلية أكبر.

كذلك، تناولت الدراسة التي أعدها (Peter) وأخرون في [20] مشكلة عدم وجود هيكل موحد لإدارة البيانات في الجامعات وكانت الحالة الدراسية لبحثهم هي (جامعة دلتا النيجر، Niger Delta University). كان تخزين سجلات الطلاب في تلك الجامعة في ثلاث بوابات مختلفة مما يصعب عملية استرجاع المعلومات. تهدف الدراسة إلى استخدام تقنيات الويب الدلالي لتطوير أنطولوجيا تسمح بإدارة بيانات الطلاب بشكل متكامل ليسهل عملية البحث عن المعلومات المطلوبة. تم استخدام منهجية تحليل وتصميم النظام القائم على الكائنات (System Object-Oriented, OOSAD) (Design and Analysis (OOSAD) لتطوير الأنطولوجيا، حيث تم تحديد فئات الأنطولوجيا وخصائص الكائنات من خلال تحليل البيانات الموجودة في البوابات المختلفة. كما تم استخدام لغة استعلام سباركل (SPARQL) لاختبار الأنطولوجيا، مما أظهر قدرة الأنطولوجيا على استرجاع المعلومات الدلالية بدقة. وحسب قولهم، أن نتيجة بحثهم كانت عبارة عن بيانات منظمة دلالياً وقابلة للنشر ويمكن استخدامها وتكييفها في مؤسسات أخرى.

أما دراسة (Ferrer) وزملاؤه في [21] هدفت إلى مقارنة الأنطولوجيا الويب الدلالي وقواعد البيانات العلائقية في إدارة دورة حياة المنتج (Product Lifecycle Management, PLM) ونمذجة المنتج والعمليات والموارد (Product, Process, Resource, PPR). تناولت الدراسة الفروق بين التقنيتين من حيث الأداء والكفاءة، وكيفية اختيار الأنسب وفقاً لاحتياجات بيانات التصنيع. استخدمت منهجية تشمل مراجعة أدبية وتحليلا نوعيا وكميا، مع دراسات حالة في بيئات صناعية. تم استخدام أدوات مثل لغة الاستعلام (SPARQL) لاستعلام الأنطولوجيا و (SQL) لاستعلام قواعد البيانات العلائقية، بالإضافة إلى منصة (Protégé) ولغة (OWL) لنمذجة الأنطولوجيات. كما استخدمت الدراسة (MySQL) لقواعد البيانات العلائقية و (MongoDB) للبيانات غير المهيكلة. أظهرت النتائج أن قواعد البيانات تظل الخيار السائد في الصناعة لاستقرارها وسهولة استخدامها، بينما توفر الأنطولوجيا مزايا في التكامل والمرونة، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات التي تتطلب تبادل البيانات بين الأنظمة المختلفة.

كما سعت الدراسة التي أجراها (Tissot) وزملاؤه في [22] لتوضيح موضوع تحويل قواعد البيانات العلائقية إلى أنطولوجيات التي تمثل مواصفات رسمية لتمثيل المعرفة. تهدف هذه الدراسة إلى معالجة التحديات المرتبطة بإنشاء أنطولوجيات من قواعد البيانات العلائقية، مثل تنفيذ عمليات الربط المستهدفة لمجالات محددة، ومعالجة الهياكل الهرمية. تستند الدراسة إلى تطبيق عملي في مجال الرعاية الصحية، حيث تم استخدام نموذج بيانات حقيقي لتطبيق القواعد الموجودة وتحديد القضايا المُشكلة التي تحتاج إلى معالجة. وقد قدم الباحثون نهجاً جديداً يتجاوز هذه القضايا من خلال استخدام نماذج البيانات الفيزيائية والمنطقية لإثراء المصطلحات المنتجة في الأنطولوجيا المستهدفة، بالإضافة إلى مجموعة شاملة من القواعد التي تُأخذ في الاعتبار الحالات والهياكل الذاتية. كما أظهرت التجارب التي أجريت أن النهج المقترح يوفر تحسينات ملحوظة في وضوح أسماء عناصر الأنطولوجيا مقارنةً بالنهج التقليدي، مما يعزز من إمكانية فهم البيانات المعقدة. تعتبر هذه الدراسة مرجعًا مهماً لفهم كيفية تحسين عملية تحويل البيانات من قواعد البيانات العلائقية إلى أنطولوجيات، مما يسهم في تطوير أنظمة معلومات أكثر فعالية في مجالات متعددة.

ومن الجانب النظري، تناولت دراسة قام بها (Sir) وأخرون في [23] كشف الفروق بين الأنطولوجيا وقواعد البيانات من حيث التاريخ، طرق التصميم، تمثيل المعرفة، والدوافع للاستخدام. الأنطولوجيا تعود إلى الفلسفة القديمة وتستخدم فرضية العالم المفتوح (Open World Assumption, OWA) لإضافة المعنى والفهم، بينما بدأت قواعد البيانات كخزانات ملفات وتستخدم فرضية العالم المغلق (Closed World Assumption, CWA) لتخزين البيانات بفعالية. إن هذه الدراسة تستعرض كيفية إنشاء الأنطولوجيا باستخدام أنطولوجيات موجودة مسبقًا وتطبيق أنماط التصميم، في حين تُنشأ قواعد البيانات من الصفر وتُطبق نماذج التطبيع. الدوافع لاستخدام الأنطولوجيا تشمل تسهيل التكامل بين الأنظمة ومشاركة المعرفة، بينما تُستخدم قواعد البيانات لتخزين كميات كبيرة من البيانات بأمان وتوفير الراحة والأمان. وتختتم الدراسة باستنتاج يوضح إمكانية تحويل البيانات بين الأنطولوجيا وقواعد البيانات بفضل بعض الخصائص المشتركة مثل الكيانات، والفئات، والخصائص، والقيود.

وفي بحث قدمه (Aljamel) وأخرون في [24]، ركز هذا البحث على أهمية تقنيات الويب الدلالي في هيكلة البيانات غير المهيكلة واستخدامها في تطبيقات دعم صنع القرار. قدم البحث إطار عمل مبتكرا قائما على أنطولوجيا الويب الدلالي أو قواعد المعرفة الدلالية (Semantic Knowledgebase) لاستنتاج حقائق جديدة وتصنيف الأحداث المهمة

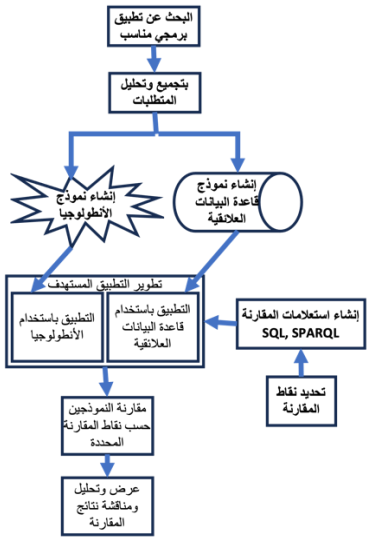
للمستخدمين. تم تطبيق الإطار في المجال المالي، الذي يتطلب نمذجة العلاقات غير الثنائية (Non-binary Relations)، وهي علاقات أصبحت شائعة في عصر البيانات المفتوحة المترابطة (Linked Open Data) حيث تمثل مساهمة البحث في نمذجة هذه العلاقات دلاليا من خلال تكييف بديهيات الاستدلال الدلالي لتلائم متطلبات الموارد الوسيطة في العلاقات متعددة الأطراف. الإسهام الأهم للبحث هو وضع إطار تقني واضح لإنشاء أنطولوجيا لنمذجة البيانات المهيكلة دلاليا، باستخدام لغة القواعد القابلة للبناء (Rule-based Language)، مع إمكانية إثرائها من مصادر بيانات متنوعة عبر الإنترنت.

في سياق التعليم الإلكتروني، هناك دراسة أخرى أعدها (Manickasankari) وأخرون في [25]. تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف استخدام تقنيات الويب الدلالي في التعلم الإلكتروني عبر أدوات الأنطولوجيا مثل (Protégé). تناقش هذه الدراسة أهمية إنشاء بيانات وصفية (Metadata) لتمثيل المعلومات بشكل يفهمه الآلات، مما يسهل الوصول إلى المحتوى التعليمي. طور الباحثون نموذج أنطولوجيا يعتمد على تسلسل هرمي لأصناف تمثل معلومات المعلمين والطلاب ومحتوى التعلم. باستخدام استعلامات (SPARQL)، تم استرجاع بيانات مثل عدد الطلاب المسجلين واختبارات المعلمين، مما يعزز فعالية استرجاع المعلومات مقارنة بالطرق التقليدية. تشير النتائج إلى أن النموذج يحسن تجربة التعلم الإلكتروني ويمكن دمجه مع تقنيات مثل (Oracle) وجافا لتوسيع نطاق التطبيق.

استفاد هذا البحث من الدراسات السابقة في اعتماد منهجية تحويل قواعد البيانات إلى أنطولوجيا الويب الدلالي يدويا، واستوحى فكرة استخدام الأنطولوجيا لتخزين المناهج الدراسية بشكل مرن يسهل الربط والاستنتاج والتعامل مع البيانات المعقدة. توفر الدراسات السابقة رؤية حول قدرات أنطولوجيا الويب الدلالي في تحسين إدارة البيانات مقارنة بقواعد البيانات العلائقية. يدعم هذا البحث تلك الرؤية من خلال تطوير موقع تعليمي رقمي يُجري مقارنة عملية بين النموذجين، بهدف تقديم تجربة تعليمية تفاعلية تعزز جودة تخزين البيانات واسترجاعها.

4. منهجية وطريقة الدراسة

تهدف المنهجية المتبعة في البحث إلى تقديم إطار عمل علمي ومنهجي لتقييم الفروق العملية بين النموذجين ودراسة أثرها على أداء التطبيقات البرمجية. المخطط التالي في شكل 2 يوضح تسلسل المنهجية المتبّعة في الدراسة.
قبل البدء في سرد المنهجية سوف نعرض الأدوات واللغات البرمجية المستخدمة في هذه المنهجية.



شكل 2 مخطط للمنهجية المتبعة

1.4 الأدوات واللغات البرمجية المستخدمة:

في طرق البرمجة الحديثة، يعتبر اختيار الأدوات واللغات البرمجية أساسي لنجاح المشروع. استخدمنا جافا عبر منصة (NetBeans) لتطوير التطبيق وإجراء الاختبارات. لإنشاء الأنطولوجيا، استخدمنا حزمة (Protégé)، التي توفر واجهة سهلة لدعم لغات مثل (OWL) واستعلامات (SPARQL). لدمج الأنطولوجيا ومخازن (RDF)، استخدمنا مكتبات (Apache Jena Framework)، التي تدعم معايير (RDF) و(OWL) وتوفر تخزينًا فعالًا لبيانات (RDF) عبر (TDB). [28]، [26]، [27].

2.4 خطوات تنفيذ المنهجية

فيما يلي نوضح تفاصيل خطوات تنفيذ المنهجية:

1.2.4 الخطوة الأولى: البحث والتقصي عن تطبيق مناسب:

تم اختيار تطبيق ويب لمناهج الطلبة كنموذج لدراسة قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي. يهدف التطبيق إلى تسهيل الوصول إلى المناهج الدراسية عبر الإنترنت، مع توفير أدوات إدارية للمديرين لإدارة المحتوى. يتيح للطلاب البحث عن المناهج بناءً على المرحلة والمقرر، ويقدم واجهة متخصصة للمديرين. يتضمن التطبيق كيانات مثل الطلاب، المناهج الدراسية، المؤسسات التعليمية، والأساتذة، مع علاقات تعكس سياقات تعليمية واقعية. سيتم دراسة كيفية استخدام النموذجين لتخزين وإدارة البيانات، وتقييم كفاءة تخزين واسترجاع البيانات.

تم تطبيق مبادئ هندسة البرمجيات لتنفيذ التطبيق، بدءاً من تجميع البيانات وتحليلها، مروراً بتصميم النظام وبناءه، وصولاً إلى التنفيذ البرمجي والاختبار والنشر. الهدف هو تلبية احتياجات الطلاب والأساتذة والمدربون في التعليم الأساسي والثانوي والتقني الليبي، مع تقييم أداء النموذجين باستخدام استعلامات (SQL) و(SPARQL) لتحقيق أهداف الدراسة بشكل شامل [29]، [30].

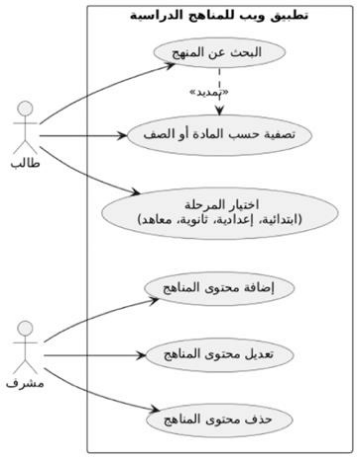
2.2.4 الخطوة الثانية: تحليل وتصميم متطلبات البرنامج:

بعد تحديد التطبيق المناسب، سيتم تجميع وتحليل المتطلبات الوظيفية وغير الوظيفية للتطبيق، تشمل المتطلبات الوظيفية الوظائف الأساسية التي يجب أن يؤديها التطبيق، مثل: تخزين البيانات، واسترجاع المعلومات. أما المتطلبات غير الوظيفية فتتعلق بالجوانب مثل الأداء، والأمان، وسهولة الاستخدام. سيتم استخدام تقنيات النمذجة مثل لغة النمذجة الموحدة (Unified Modelling Language, UML) لتصميم هيكلية التطبيق البرمجي. سيتضمن ذلك إنشاء مخططات الحالة، ومخططات النشاط ومخططات الكائنات لتوضيح كيفية تفاعل المكونات المختلفة للتطبيق. بعد الانتهاء من تصميم الهيكلية، سيتم تنفيذ هذا التصميم باستخدام قاعدة البيانات العلائقية ولغة الاستعلام المهيكلة (SQL).
تعد مرحلة تجميع المتطلبات أهم الخطوات في عملية تطوير البرمجيات، فهي الأساس الذي تُبنى عليه مراحل التصميم والتنفيذ لاحقاً. الهدف الأساسي من هذه المرحلة هو فهم احتياجات النظام بوضوح لضمان أن يلبي التطبيق الأهداف المطلوبة. في هذا البحث، الذي يهدف إلى تطوير تطبيق ويب لإدارة مناهج الطلبة كجزء من دراسة مقارنة بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي، تم التركيز على جمع وتحليل المتطلبات بشكل دقيق لضمان تحقيق أهداف الدراسة. في البداية، كان من الضروري تحديد حدود البحث بوضوح لضمان التركيز على الجوانب المهمة والهدف من هذا التطبيق. وهذه الأهداف يمكن اختصارها بالتالي:
أ) إدارة بيانات الطلبة، مثل تسجيلهم، تعديل معلوماتهم.
ب) إدارة المناهج الدراسية، بما في ذلك المواد الدراسية ومستويات التعليم المختلفة.
جـ) الربط بين الكيانات الأساسية، مثل ربط الطلبة بالمناهج التي يدرسونها أو المؤسسات التعليمية التي ينتمون إليها.
د) إمكانية استرجاع البيانات وتحليلها بسهولة عبر واجهة المستخدم باستخدام لغات الاستعلام لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) وسباركل (SPARQL).
تمت عملية جمع المتطلبات من خلال دراسة احتياجات المستخدمين المتوقعين للنظام، مثل الطلبة الذين يحتاجون إلى واجهة تمكنهم من الاطلاع على المناهج الدراسية وتفاصيل المواد المسجلة. المدرسين الذين يتطلبون أدو ات للوصول إلى بيانات الطلبة والمناهج المرتبطة بهم. الإداريين: الذين يحتاجون إلى إدارة شاملة للبيانات. تم تصنيف المتطلبات إلى متطلبات وظيفية ومتطلبات غير وظيفية المتطلبات الوظيفية تتمثل في الآتي:
أ) القدرة على إضافة وتخزين وتعديل وعرض كتب المناهج الدراسية لجميع المراحل
ب) القدرة على تخزين كتب المناهج واسترجاعها وتحميلها عند الطلب.
جـ) القدرة على إضافة وعرض وطباعة وتعديل وحذف المستخدمين ومعلوماتهم مثل الطلبة والأساتذة وتخزينها والرجوع إليها عند الحاجة لمعرفة من يستخدم هذا التطبيق.

د) القدرة على البحث عن أي شيء في المنظومة يتعلق بالمناهج الدراسية عن طريق موضوع المنهج أو المرحلة الدراسية المقرر لها، أو السنة الدراسية وغيرها من طرق البحث.
هـ) إنشاء استعلامات لاسترجاع معلومات معينة بسهولة (مثل عرض منهج مادة معينة).
أما المتطلبات غير الوظيفية فتتمثل في الآتي:

أ) الأداء: يجب أن يكون النظام قادراً على معالجة عدد كبير من الطلبات بكفاءة عالية.
ب) الأمان: حماية البيانات الحساسة للمستخدمين من الوصول غير المصرح به.
جـ) المرونة: تمكين النظام من التكيف مع تغييرات المناهج أو إضافة كيانات جديدة.
د) قابلية التوسع: ضمان استمرارية عمل النظام حتى عند زيادة حجم البيانات أو عدد المستخدمين.

بعد جمع المتطلبات، تم تحليلها لتوضيح العلاقات بين الكيانات المختلفة وتحديد طريقة تمثيلها داخل النظام وقد شمل التحليل مخطط الحالة (Use Case) الموضح في شكل 3 التالي:



شكل 3 مخطط استخدام نظام تطبيق الويب للمناهج الدراسية: التفاعل بين الطالب والمشرف

يوضح المخطط في شكل 3 التفاعلات بين المستخدمين الأساسيين لتطبيق الويب للمناهج الدراسية (الطالب والمشرف) والوظائف التي يوفرها التطبيق.
-الطالب: يمكنه البحث عن المناهج الدراسية عبر اختيار المرحلة (ابتدائية، إعدادية، ثانوية، أو معاهد)، ثم استخدام ميزة البحث لتحديد المناهج المطلوبة، مع إمكانية تصفية النتائج حسب الصف الدراسي أو المادة للحصول على نتائج دقيقة.
-المشرف: يتمتع بصلاحيات لإضافة مناهج جديدة، تعديل المناهج الحالية، أو حذف المناهج غير الضرورية، مما يضمن تحديث قاعدة البيانات بشكل مستمر.
يتضمن المخطط علاقة تمديد (Extend) بين حالتي الاستخدام "البحث عن المنهج" و"تصفية النتائج حسب المادة أو الصف"، حيث يتم تحسين تجربة البحث باستخدام التصفية كخطوة إضافية بعد البحث الأساسي. أما عن تدفق الأنشطة في التطبيق فهي كالتالي:
1. فتح التطبيق: يبدأ المستخدم بفتح التطبيق وعرض الصفحة الرئيسية التي تتطلب اختيار المرحلة الدراسية.
2. اختيار المرحلة الدراسية: إذا تم اختيار المرحلة، ينتقل التطبيق إلى صفحة البحث؛ وإلا يتم عرض إشعار يطلب تحديد المرحلة.
3. صفحة البحث: تتضمن شريطاً لإدخال النص المطلوب (مثل اسم الكتاب) وقوائم منسدلة لتحديد الصف الدراسي والمادة الدراسية.
4. إدخال التفاصيل: يقوم المستخدم بإدخال النص المطلوب، اختيار الصف الدراسي، وتحديد المادة الدراسية، ثم الضغط على زر البحث.
5. إرسال استعلام البحث: يتم إرسال الاستعلام إلى قاعدة البيانات لمعالجة الطلب.
6. التحقق من النتائج: إذا تم العثور على نتائج مطابقة: يتم عرض قائمة الكتب مع خيارات لتحميل الكتاب أو قراءته. أما إذا لم يتم العثور على نتائج: تبقى صفحة البحث فارغة.
7. إنهاء العملية: تنتهي العملية بعرض النتائج أو العودة لتعديل البحث بناءً على تفاعل المستخدم.
يوفر المخطط نظرة شاملة على الوظائف التي يقدمها النظام لكل نوع من المستخدمين، مما يساعد في توضيح الأدوار والعمليات الأساسية داخل التطبيق.

3.2.4 الخطوة الثالثة: تصميم قاعدة البيانات العلانقية

سيتم تنفيذ التطبيق البرمجي باستخدام قاعدة البيانات العلائقية، حيث سيتم تصميم تخزين البيانات واستعلامها باستخدام لغة الاستعلام المهيكلة (SQL). سيتضمن ذلك إنشاء الجداول، وتحديد العلاقات بينها، وتطوير الاستعلامات اللازمة لاسترجاع المعلومات. كما سيتم إجراء اختبارات أداء للتأكد من أن التطبيق يلبي المتطلبات المحددة. سيتم قياس سرعة الاستعلامات ووقت الاستجابة، بالإضافة إلى تقييم كفاءة التخزين. سيساعد هذا في تحديد مدى فعالية استخدام قاعدة البيانات العلائقية في التطبيق التعليمي.
الهدف من هذه المرحلة هو إنشاء هيكل بيانات منظم باستخدام (SQL Server 2022) لاستيعاب البيانات الخاصة بالمناهج الدراسية، الكتب، الطلاب، المعلمين، والمؤسسات التعليمية في مدينة مصراتة. تمت عملية التصميم بناءً على مبادئ قواعد البيانات العلائقية، حيث تم تقسيم البيانات إلى جداول مترابطة لتجنب التكرار وتحقيق التكامل بين البيانات. تضمّن التصميم تحديد المفاتيح الأساسية (Primary Keys) لتمييز كل سجل، والمفاتيح الخارجية (Foreign Keys) لربط الجداول ببعضها البعض بما يعكس العلاقات المنطقية بين الكيانات المختلفة.

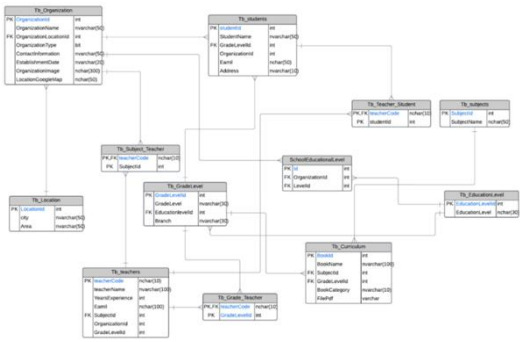
أ) تحديد الكيانات الأساسية:
تم تحديد الكيانات بناءً على تحليل متطلبات النظام التعليمي، مع التركيز على فصل البيانات التي تحتاج إلى علاقات واضحة وقابلة للتوسع حيث تم تحليل المتطلبات حسب المتطلبات الناشئة من المرحلة السابقة، تم تحديد الكيانات. تم فصل الكيانات المستقلة بحيث يكون كل كيان مفصول في جدول مستقل عند الحاجة لإعادة استخدامه أو ربطه بكيانات أخرى. مثل كيان "المستويات التعليمية" تم فصله لأنه يرتبط بالمراحل الدراسية والمدارس بشكل مباشر. بعد ذلك تم تصميم العلاقات بإنشاء علاقات واضحة بين الكيانات باستخدام المفاتيح الأساسية والخارجية لضمان التكامل وسهولة الاستعلام. الكيانات صُممت لتكون لها قابلية للتوسع بحيث يمكن إضافة بيانات جديدة (مثل مستويات تعليمية إضافية) دون تعقيد التصميم أو تكرار البيانات. بعد تحليل المتطلبات، ووضع النقاط السابقة في عين الاعتبار تم تحديد الكيانات الأساسية التي تعكس المعلومات الرئيسية في النظام وهذه الكيانات الأساسية هي:

- المنظمات (Organizations): تشمل بيانات المدارس المؤسسات التعليمية، مثل الاسم، النوع، والموقع.
- المستويات التعليمية (Educational Levels): تمثل المراحل التعليمية (ابتدائي، إعدادي، ثانوي).
- المستويات الصفية (Grade Levels): تمثل الصفوف الدراسية التي تتفرع من المستويات التعليمية.
- الطلاب (Students): تحتوي على البيانات الأساسية للطلبة.
- المعلمين (Teachers): تخزن معلومات المعلمين.
- المناهج الدراسية (Curriculum): تحتوي على الكتب والمقررات الدراسية المرتبطة بكل صف دراسي.
- المواد الدراسية (Subjects): تُحدد أسماء المواد الدراسية المختلفة.
- المواقع (Locations): تحدد المناطق الجغرافية التي تتواجد فيها المؤسسات التعليمية.

ب) تصميم مخطط العلاقات بين الكيانات (Entities Relationships Diagram, ERD):
تم إنشاء مخطط العلاقات بين الكيانات (ERD) كخطوة أساسية في تصميم قاعدة البيانات لتوضيح الهيكل العام للنظام التعليمي. هذا المخطط يوفر رؤية شاملة لكيفية تنظيم البيانات والعلاقات بين الكيانات المختلفة. مخطط العلاقات بين الكيانات يوفر التالي:
1. يساعد في تصور الهيكل العام للنظام وتوضيح الكيانات والعلاقات بينها.
2. يقلل من الأخطاء التصميمية مثل التكرار غير الضروري أو العلاقات المفقودة.
3. يوضح طبيعة العلاقات مثل "واحد إلى واحد" أو "واحد إلى متعدد".
4. يدعم تحديد المفاتيح الأساسية لضمان فريدة البيانات، والمفاتيح الخارجية لضمان سلامة العلاقات.

5. يسهل إضافة كيانات أو بيانات جديدة دون التأثير على التصميم الأساسي.
6. يُعد أداة بصرية تسهل فهم تصميم قاعدة البيانات لجميع أعضاء الفريق.
7. يُعتبر نقطة انطلاق لمراحل مثل كتابة الاستعلامات وتصميم الواجهات.

بعد تحليل المتطلبات وتحديد الكيانات التي سيتم تحويلها لجداول. لكل كيان، يتم تحديد السمات التي تصف بياناته. مثل كيان "الطلاب" الذي يحتوي على سمات: (الرقم التعريفي، الاسم، البريد الإلكتروني، عنوان الطالب، الصف الدراسي، المنظمة التابع لها) وكيان "المناهج الدراسية" يحتوي على سمات: (مفتاح أساسي يميز كل كتاب، عنوان الكتاب، المادة المرتبطة بالكتاب، الفصل الدراسي الذي ينتمي إليه الكتاب، فئة الكتاب (مثل كتاب التلميذ، كتاب التدريبات)، رابط الملف الإلكتروني للكتاب الذي عادتا ما يكون بصيغة (Portable Document Format, PDF) ليتمكن المستخدم من تحميله على جهازه. بعد تحديد المفاتيح الأساسية (Primary Keys) لكل كيان لضمان تمييز كل سجل عن الآخر، بحيث يكون فريداً لكل سجل في الجدول، ولا يحتوي على قيم فارغة. تم تحديد العلاقات بين تلك الكيانات. مثلا تحديد كيفية الارتباط بين جدول المواقع وجدول المؤسسات، لتحديد الموقع الجغرافي لكل منظمة والتي تكون علاقة "واحد إلى متعدد" كما هي العلاقة بين المواد الدراسية والمناهج لتحديد الكتب المرتبطة بكل مادة دراسية. بقية العلاقات موضحة في شكل 4 التالي.



شكل 4 مخطط (ERD) لقاعدة البيانات العلائقية

في هذا المخطط، تم تمثيل الكيانات والعلاقات بينها باستخدام المستطيلات (للكيانات) والخطوط (للعلاقات). بعد ذلك تم تحويل مخطط (ERD) إلى قاعدة بيانات وإنشاء قاعدة البيانات الخاصة بالتطبيق المستهدف في هذا البحث ومنحها اسم يميزها وأضافتها إلى خادم قواعد بيانات (Database Server) عن طريق مدير قواعد البيانات (SQL Server Management Studio 2022, SSMS) المستخدم لإدارة قواعد البيانات. بعد ذلك، قمنا بإنشاء جميع الجداول الوسيطة بنفس الطريقة، حيث تم تعريف عمودين، يتم إنشاء مفتاح أساسي مركب بالجمع بينهما، وتعريف كل عمود كمفتاح أجنبي يشير إلى المفتاح الأساسي في الجدول الذي تمت معه عملية الربط.

جـ) إضافة البيانات إلى قاعدة البيانات:

بعد الانتهاء من تصميم وإنشاء الجداول بناءً على الهيكلية الموضحة في شكل 4 وتنفيذها باستخدام مدير (SQL Server)، تأتي المرحلة التالية وهي إسكان البيانات (Data Population) في قاعدة البيانات. الهدف من هذه المرحلة هو ملء الجداول بالمعلومات اللازمة التي تعكس النظام التعليمي المستهدف واختبار بنية القاعدة لضمان كفاءة التصميم وسلامة العلاقات. يساعد إدخال البيانات في اختبار العلاقات بين الجداول والتحقق من صحة القيود المفروضة، مثل المفاتيح الأساسية والمفاتيح الخارجية. بإدخال بيانات حقيقية، يتم تمثيل النظام التعليمي بشكل دقيق ليتمكن من معالجة السيناريوهات المختلفة. يتم استخدام البيانات لاختبار أداء النظام واستجابته لاستعلامات مختلفة (خيارات البحث المختلفة). تصبح قاعدة البيانات جاهزة لإجراء التحليلات والاختبارات التي تخدم المقارنة بين تقنيات قواعد البيانات العلائقية والأنطولوجيا. الشكل التالي يبين جزء من البيانات المدخلة.

بعد إدخال البيانات، تم استخدام لغة الاستعلامات المهيكلة (SQL) للتحقق من صحة البيانات والعلاقات بين الجداول. وهذا مثال لأحد الاستعلامات لفحص والتأكد من البيانات المرتبطة بين الصفوف الدراسية والمناهج الدراسية والمواد الدراسية، وهذا الاستعلام هو:

```
SELECT g.GradeLevel, c.BookName,
s.SubjectName
FROM Tb_GradeLevel g
JOIN Tb_Curriculum c ON g.GradeLevelId =
c.GradeLevelId
JOIN Tb_Subjects s ON s.SubjectId = c.SubjectId;
```

جزء من نتيجة هذا الاستعلام معروضة في شكل 5 التالي:

	GradeLevel	BookName	SubjectName
1	الصف الأول	كتاب اللغة العربية الصف الاول	اللغة العربية
2	الصف الأول	كتاب اللغة الإنجليزية للصف الأول	اللغة الإنجليزية
3	الصف الأول	كتاب التربية الإسلامية الصف الأول	التربية الإسلامية
4	الصف الأول	كتاب الرياضيات الصف الأول الجزء الأول	الرياضيات
5	الصف الأول	كتاب الرياضيات الصف الأول الجزء الثاني	الرياضيات

شكل 5 جزء من نتيجة استعلام (SQL) من قاعدة البيانات العلائقية

في نهاية هذه المرحلة، أصبحت قاعدة البيانات العلائقية جاهزة للاستخدام في التطبيق التعليمي، حيث تحتوي على جميع البيانات اللازمة مثل المناهج الدراسية، والكتب ومعلومات الطلاب والمعلمين. تم تصميمها لدعم استرجاع البيانات بكفاءة وسرعة، مع ضمان تنظيم البيانات وتكاملها عبر العلاقات بين الكيانات. بعد إتمام هذه المرحلة بنجاح، نستعد الآن لتصميم الأنطولوجيا باستخدام تقنيات الويب الدلالي، والتي ستوفر هيكلًا مرنًا وقابلًا للتوسع لتمثيل المعرفة، مما يسمح باسترجاع البيانات بشكل أكثر ذكاءً مقارنة بقواعد البيانات التقليدية.

4-2-4 الخطوة الرابعة: تصميم أنطولوجيا الويب الدلالي

سيتضمن تنفيذ التطبيق باستخدام أنطولوجيا الويب الدلالي تصميم تخزين البيانات باستخدام أنطولوجيا مناسبة، وتطوير استعلامات باستخدام لغة استعلام سباركل (SPARQL). ستركز هذه المرحلة على فهم العلاقات بين البيانات وكيفية تمثيلها بشكل دلالي. سيتم استخدام أداة (Protégé) لإنشاء الأنطولوجيا. باستخدام هذه الأداة سيتم تعريف الكائنات، والخصائص، والعلاقات بينها. بعد ذلك، سيتم تنفيذ استعلامات (SPARQL) لاختبار فعالية الأنطولوجيا في استرجاع المعلومات وفهم العلاقات بين البيانات. سيتم أيضاً تقييم أداء أنطولوجيا الويب الدلالي من خلال قياس سرعة الاستعلامات ووقت الاستجابة.

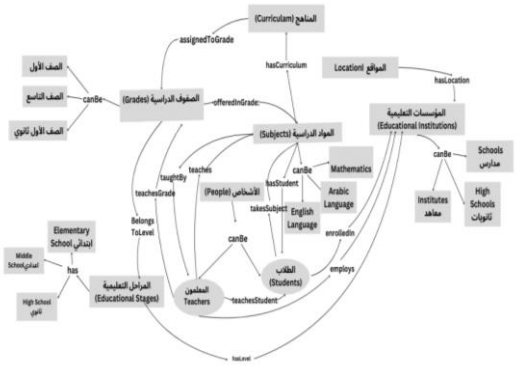
أ) تصميم الأنطولوجيا التعليمية:

تم تصميم أنطولوجيا تعليمية باستخدام أداة (Protégé) بهيكل هرمي يمثل العلاقات بين المفاهيم، بهدف تمثيل البيانات التعليمية وعلاقاتها لدعم الاسترجاع الذكي للمعلومات. بناءً على تحليل المتطلبات، تم تحويل الكيانات إلى فصائل (Classes)، حيث تم جمع الطلاب والمعلمين تحت فصيل "شخص" (person) الذي يقسم إلى فصائل فرعية. تم ربط العلاقات بين المفاهيم باستخدام خصائص الكائنات (Object Properties) لتمثيل الروابط بين الكيانات، وخصائص البيانات (Data Properties) لربط سمات الكيانات ببيانات محددة مثل النصوص أو الأرقام. جدول 1 التالي يبين أمثلة لهذه العلاقات.

جدول 1 أمثلة لخصائص الكائنات وخصائص البيانات

خصائص الكائنات (Object Properties)		وخصائص البيانات (Data Properties).	
العلاقة	الوصف	العلاقة	وصف
assignedToGrade	تربط مادة دراسية بصف دراسي	Address	علاقة بين مؤسسة وعنوانها
assignedToSubject	تربط المنهج الدراسي بالمادة الدراسية	BookTitle	العلاقة بين كتاب واسمه
hasLocation	تربط الموقع الجغرافي بالمؤسسات التعليمية	FilePDF	العلاقة بين الكتاب ورابط الويب لهذا الكتاب
taughtBy	تربط بين المعلم والمادة الدراسية	studentName	العلاقة بين الطالب واسمه

كما يبين شكل 6 التالي مخطط للأنطولوجيا الدلالية بخصائص الكائنات فقط.



شكل 6 مخطط للأنطولوجيا بخصائص الكائنات فقط

ب) التحقق من الأنطولوجيا:

تم تسكين عينة من البيانات المستهدفة واستخدامها لاختبار الأنطولوجيا في سيناريوهات عملية، مما أعطى صورة واضحة عن كيفية أداء الأنطولوجيا في ظروف حقيقية. هذه السيناريوهات تضمن أن الأنطولوجيا التعليمية مصممة بشكل جيد، وخالية من الأخطاء، وقادرة على دعم استرجاع معلومات ذكي بكيفية فعالة للتحقق من الأنطولوجيا التعليمية التي تم تصميمها وضمان جودتها وفعاليتها وجودة وفعالية البيانات التي فيها، تم استـــــخدام

محركات الاستنتاج (Reasoners) لتحقق من عدم وجود تناقضات في الأنطولوجيا كما تم التأكد من خلو الأنطولوجيا من الأخطاء. كما تم مراجعة العلاقات بين الكيانات للتأكد من أنها تعكس الروابط الصحيحة. على سبيل المثال، تم التأكد من أن كل عناصر الفصيل (Students) مرتبط بعنصر واحد فقط من فصيل الصفوف الدراسية (Grades)، وأن كل عنصر في فصيل المواد الدراسية (Subjects) مرتبط بعنصر واحد من عناصر الفصيل منهج (Curriculum) على الأقل. ولتسهيل فهم مكونات الأنطولوجيا والكائنات التي به والتحقق من دقتها، تم توثيق جميع الكيانات والعلاقات بشكل جيد. الكيانات المحددة في الأنطولوجيا تم مقارنتها مع متطلبات التطبيق لضمان شمولية التغطية لجميع المفاهيم الأساسية. وهذا جعل الأنطولوجيا خالية من وجود فجوات في البيانات. كما هو معروف أن الأنطولوجيا يمكنها الاستدلال على حقائق جديدة باستخدام الحقائق الموجودة في الأنطولوجيا. وهذا يمكن تحقيقه في باستخدام المحركات الاستنتاجية (Reasoners) التي توفرها حزمة (Protégé) مثل محركات الاستنتاج (HermiT). باستخدام هذه المحركات يمكن استنتاج المعلومات غير المباشرة، مثل المعلم المرتبط بمنهج معين فبالضرورة هذا المعلم مرتبط بالصف الدراسي الذي ينتمي إليه هذا المنهج. كما يمكن استرجاع الكيانات المرتبطة، مثل المناهج الدراسية المتاحة في مؤسسة معينة.

وأخيرا تم تجريب استعلامات سباركل (SPARQL) لاسترجاع بيانات مختلفة من الأنطولوجيا، مما ساعد في التحقق من أن الأنطولوجيا تقدم النتائج الصحيحة والمطلوبة. وهذا مثال عل استعلام سباركل تم تنفيذه:

```
PREFIX  mine:
<http://www.studies_programs.org/ontologies#>
SELECT  ?booktitle ?GradeLevelTitle ?subjectNam
WHERE {
        book mine:BookTitle ?booktitle.
        ?book mine:assignedToGrade ?Grade.
        ?book mine:assignedToSubject ?Subject.
        ?Grade mine:GradeLevel ?GradeLevelTitle.
        ?Grade mine:GradeBelongsToLevel
?EducationL.
        ?Subject mine:subjectName ?subjectNam
        } LIMIT  5
```

نتيجة هذا الاستعلام معروضة في شكل 7 التالي مع العلم أن (LIMIT 5) تعني عرض أول 5 نتائج:

subjectNam	GradeLevelTitle	booktitle
"الاسعافات الاوليه"	"السنة الاولى تمريض"	"كتاب الاسعافات الاوليه سنة اولى تمريض"
"علم النفس"	"السنة الاولى تمريض"	"كتاب مبادى علم النفس الطبي للسنه الاولى تمريض"
"الكيمياء"	"السنة الاولى تمريض"	"كتاب الكيمياء العامه للسنه الاولى تمريض"
"اللغة الانجليزية"	"السنة الاولى تمريض"	"كتاب المصطلحات الطبية إللسنة الاولى تمريض"
"الصحة العامة"	"السنة الاولى تمريض"	"كتاب الصحة العامه للسنة الأولى تمريض"

شكل 7 نتيجة استعلام سباركل (SPARQL) من أنطولوجيا الويب الدلالي

مخرجات هذه المرحلة هي ملف أنطولوجيا بصيغة (OWL) يتضمن الكيانات، والخصائص، والعلاقات مع إمكانية التصدير إلى تطبيقات تدعم استرجاع البيانات الذكية. أصبحت الأنطولوجيا جاهزة للاستخدام في التطبيق التعليمي، حيث تحتوي على جميع البيانات اللازمة مثل المناهج الدراسية، والكتب، ومعلومات الطلاب، والمعلمين. تم تصميمها لدعم استرجاع البيانات بكفاءة وسرعة، مع ضمان تنظيم البيانات وتكاملها عبر العلاقات بين الكيانات والتي ستوفر هيكلاً مرناً وقابلاً للتوسع لتمثيل المعرفة، والتي من المفترض أنها تسمح باسترجاع البيانات بشكل أكثر ذكاءً مقارنة بقواعد البيانات التقليدية. بعد إتمام هذه المرحلة بنجاح، مع مرحلة تصميم قاعدة البيانات العلائقية، نستعد الآن لتصميم وبناء تطبيق ويب للتعامل مع قاعدة البينات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي للمقارنة بينهما.

5-2-4 الخطوة الخامسة: مرحلة التصميم وبناء تطبيق الويب

قبل تطوير النظام، قمنا بدراسة مفاهيم أساسية في لغة جافا وتقنيات تطبيقات الويب، حيث تُعد جافا خيارا مثاليا لمرونتها وكفاءتها في بناء التطبيقات المتكاملة. بعد تحديد الأدوات واللغات اللازمة، صممنا واجهة مستخدم مع التركيز على البساطة والوضوح. تم تصميم الواجهة الرئيسية لتوفير تجربة مستخدم مميزة، حيث تعرض المراحل الدراسية بشكل واضح مع إحصائيات وإمكانية التنقل بين الصفحات بسهولة.

أ) تنفيذ واختبار التطبيق مع قاعدة البيانات العلائقية:

في هذه المرحلة، ركزنا على تعامل التطبيق مع قاعدة البيانات العلائقية باستخدام استعلامات لغة (SQL) لضمان كفاءة استرجاع وتخزين البيانات مع تحقيق أداء سريع ودقة عالية. تم ربط التطبيق بقاعدة البيانات العلائقية عبر بيئة التطوير (Netbeans) باستخدام حاوية (Servlets) لتطوير تطبيقات جافا للويب. بعد تهيئة البيئة والتأكد من الاتصال الصحيح مع خادم قاعدة البيانات (SQL Server)، تم تحديد معلومات الاتصال الأساسية مثل عنوان الخادم ورقم المنفذ واسم قاعدة البيانات، بالإضافة إلى إعدادات المصادقة. ثم تم تنفيذ استعلامات لغة (SQL) للتفاعل مع قاعدة البيانات العلائقية، مثل استرجاع البيانات وإضافة أو تعديل أو حذف السجلات.

ب) تنفيذ التطبيق واختباره باستخدام أنطولوجيا الويب الدلالي:

في هذه المرحلة من تطوير النظام، يتم تنفيذ التطبيق باستخدام لغة الاستعلام سباركل (SPARQL)، وهي اللغة القياسية لاستعلام البيانات المخزنة في أنطولوجيا الويب الدلالي. تتضمن هذه المرحلة تحويل استعلامات لغة (SQL) إلى استعلامات مكافئة بلغة (SPARQL)، مع الاستفادة من الأنطولوجيا المصممة لتمثيل الهياكل المعرفية للبيانات. هذه الخطوة تمثل نقطة أساسية لمقارنة الأداء بين النموذجين وتحقيق كفاءة تخزين واسترجاع البيانات. أُستخدمت حزمة (Apache Jena) كأداة أساسية للتعامل مع الأنطولوجيا والوصول إليها من خلال تطبيقات جافا للويب. توفر (Apache Jena) مجموعة من الأدوات لإدارة البيانات المترابطة باستخدام إطار (RDF)، وتنفيذ استعلامات (SPARQL) للحصول على البيانات وتعديل الأنطولوجيا بشكل مرن. كما تُتيح (Apache Jena) الوصول إلى قاعدة بيانات الثلاثيات (TDB)، التي تسهم في تسريع عمليات القراءة والكتابة للبيانات بكفاءة عالية. وقد اختيرت حزمة (Apache Jena) لتطوير التطبيق بسبب إمكانياتها في تحسين الأداء العام في استرجاع وتنظيم البيانات. لاستخدام (Apache Jena)، تم تحميل المكتبات المطلوبة وإضافتها إلى بيئة العمل، مما يتيح للتطبيق الاستفادة من كافة الميزات التي يقدمها.

6.2.4 الخطوة السادسة: تحديد نقاط المقارنة

ستركز هذه المرحلة على فهم الفروق العملية بين قاعدة البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي من خلال مقارنة أداء الاستعلامات، وسهولة الاستخدام، وقدرة تمثيل العلاقات المعقدة بين البيانات. سيتم استخدام معايير موضوعية مثل سرعة الاستجابة، الأمان، سهولة كتابة الاستعلامات، قابلية فهم البيانات، والمرونة والقابلية للتوسع .

1. سرعة الاستجابة: سيتم قياس سرعة استجابة التطبيق التعليمي عند تنفيذ

استعلامات باستخدام كل من قاعدة البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي لتحديد النظام الأسرع والأكثر فعالية في تقديم تجربة مستخدم سلسة.

2. الأمان: سيتم تقييم مستوى الأمان الذي يوفره كل نموذج، بما في ذلك إدارة الصلاحيات وحماية البيانات، لتحديد قدرته على توفير بيئة آمنة لتخزين بيانات الطلاب.

3. سهولة كتابة الاستعلامات: سيتم مقارنة سهولة استخدام لغة (SQL) لقواعد البيانات العلائقية مع لغة (SPARQL) للأنطولوجيا، مع التركيز على تعقيد صياغة الاستعلامات والوقت اللازم لتعلم كل لغة.

4. قابلية الفهم والتعامل مع البيانات: سيتم تحليل مدى وضوح بنية البيانات وسهولة التعامل معها في كل نموذج، مع التركيز على قدرة الأنطولوجيا على تقديم محتوى تعليمي مترابط مقارنة ببنية الجداول المألوفة في قواعد البيانات العلائقية.

5. المرونة والقابلية للتوسع: سيتم تقييم قدرة كل نموذج على التكيف مع التغييرات المستقبلية في بنية التطبيق وزيادة حجم البيانات، مع الحفاظ على الأداء الممتاز.

الهدف هو تحديد النموذج الأكثر فعالية في تلبية احتياجات التطبيق التعليمي، مع ضمان نفس البيئة التشغيلية لكلا النموذجين لضمان عدالة المقارنة المتمثلة في نفس المعالج (Processor) والذاكرة (Memory) ونظام التشغيل (Operating System) وغيرها من العوامل التي تؤثر في أداء البرمجيات على نظم التشغيل. ليس من مهام هذا البحث العمل على تحسين هذه البيئة للتأثير على نتائج الاختبارات وخاصة فيما يتعلق بالوقت المستغرق لاسترجاع المعلومات من قواعد البيانات وأنطولوجيا الويب الدلالي للتطبيق.

7.2.4 الخطوة السابعة: إجراء المقارنة بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي حسب النقاط المحددة

بعد اكتمال تطوير البرنامج حسب مبادئ هندسة البرمجيات وربطه بنموذجي قاعدة البيانات وأنطولوجيا الويب الدلالي، التين تم تصميمهما حسب المتطلبات المستهدفة، كانت مقارنة النموذجين حسب نقاط المقارنة كالتالي:

أ) مقارنة من حيث سرعة الاستجابة:

في هذا القسم، قمنا بقياس سرعة استجابة تطبيق الويب المرتبط بقاعدة البيانات العلائقية وتطبيق الويب المرتبط بأنطولوجيا الويب الدلالي. تم تنفيذ ثلاث استعلامات مختلفة من حيث الهدف من استجلاب البيانات لقياس الأداء. لتنفيذ هذه المقارنة تم استخدام أداة (DevTools Network Tab) ضمن أدوات المطور (Developer Tools) المدمجة في متصفح جوجل كروم (Google Chrome). تُتيح هذه الأداة متابعة الطلبات الصادرة من تطبيق الويب إلى الخادم، بما في ذلك وقت الاستجابة لكل طلب، حيث يمكن الاطلاع على تفاصيل الطلبات مثل الاسم، الحالة، الحجم، والوقت المستغرق. تعتبر الأداة مفيدة لتحليل الأداء وقياس سرعة الاستجابة بدقة.

لإجراء المقارنة تم إنفاذ كل استعلام 15 مرة في كلا النموذجين، قاعدة البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي. بعد ذلك تم قياس وقت الاستجابة لكل محاولة باستخدام أداة (DevTools Network Tab). تم حساب متوسط وقت الاستجابة للاستعلامات الخمسة عشر. وأخيرا، سيتم إجراء المقارنة بين متوسطات سرعة الاستجابة لقاعدة البيانات وأنطولوجيا الويب الدلالي لإظهار الفروقات في الأداء.

الاستعلام الأول: البحث عن اسم الكتاب والمستوى الدراسي التابع له. في هذا الاستعلام، قمنا بالبحث عن كتاب "الرياضيات" الخاص بالصف الثالث. يعتمد الاستعلام على شروط محددة، حيث يسترجع البيانات بناءً على المادة الدراسية والمستوى التعليمي المطلوب.

استعلام لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) الأول هو:

```
SELECT Tb_Curriculum.BookId,
Tb_Curriculum.BookName, Tb_Curriculum.FilePdf,
Tb_GradeLevel.GradeLevel, Tb_Subjects.SubjectName
FROM Tb_Curriculum JOIN Tb_GradeLevel ON
Tb_Curriculum.GradeLevelId =
Tb_GradeLevel.GradeLevelId JOIN Tb_Subjects ON
Tb_Curriculum.SubjectId = Tb_Subjects.SubjectId
WHERE Tb_GradeLevel.EducationlevelId = (SELECT
EducationlevelId FROM Tb_EducationLevel WHERE
EducationLevel='المرحلة الابتدائية')
AND FREETEXT(Tb_Curriculum.BookName, 'الرياضيات')
AND FREETEXT(Tb_GradeLevel.GradeLevel, 'الثالث')
```

استعلام لغة سباركل (SPARQL) الأول هم:

```
PREFIX mine:
<http://www.studies_programs.org/ontologies<#
SELECT ?booktitle ?GradeLevelTitle ?subjectNam
?filePDF
WHERE{          ؛book mine:BookTitle ?booktitle
                mine:FilePDF ?filePDF؛
                mine:assignedToGrade ?Grade؛
                mine:assignedToSubject ?Subject.
        ؛Grade mine:GradeLevel ?GradeLevelTitle؛
                mine:GradeBelongsToLevel
        ?EducationL.
        ؛Subject mine:subjectName ?subjectNam.
        ؛EducationL mine:EducationLevel ?stage.
        FILTER(STR(?stage)="المرحلة الابتدائية")
        FILTER(REGEX(STR(?subjectNam), "الرياضيات",
"i"))
        FILTER(REGEX(STR(?GradeLevelTitle), "الصف
الثالث", "i")) }
```

الاستعلام الثاني: جلب الصفوف الدراسية. في هذا الاستعلام، قمنا بجلب جميع الصفوف الدراسية لمستوى تعليمي معين، سواء باستخدام قاعدة البيانات العلائقية أو الأنطولوجيا. الهدف كان استخراج البيانات دون الحاجة إلى شروط معقدة، فقط الصفوف التي تنتمي إلى مستوى تعليمي محدد. بعد تنفيذ الاستعلام عدة مرات، قمنا بحساب المتوسط، وسنقوم بمقارنة النتائج لاحقًا.

استعلام لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) الثاني هو:

```
SELECT GradeLevelId, CASE WHEN '1' = '3' THEN
CONCAT(GradeLevel, ' ', Branch) ELSE GradeLevel END
AS FullGradeName FROM Tb_GradeLevel WHERE
EducationLevelId = '1'
```

استعلام لغة سباركل (SPARQL) الثاني هو:

```
PREFIX mine:
<http://www.studies_programs.org/ontologies<#
SELECT ?grade ?G
WHERE {         ؛G mine:GradeLevel ?grade
                mine:GradeBelongsToLevel ?level.
        ؛level mine:EducationLevel ?name.
        FILTER(STR(?name)="المرحلة الابتدائية")
        } ORDER BY ?grade
```

الاستعلام الثالث: جلب بيانات الكتب مع تفاصيل المادة والمستوى الدراسي. هذا الاستعلام يتم من خلاله جلب معلومات عن الكتب التعليمية، بما في ذلك اسم الكتاب، ورابط الملف بصيغة (PDF)، والمستوى الدراسي، والمادة المرتبطة بالكتاب. يعتمد الاستعلام على الانضمام بين جداول مختلفة (مثل جدول الكتب، جدول المستوى الدراسي، وجدول المواد) لتوفير هذه البيانات.

استعلام لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) الثالث هو:

```
SELECT Tb_Curriculum.BookId,
Tb_Curriculum.BookName, Tb_Curriculum.FilePdf,
Tb_GradeLevel.GradeLevel, Tb_Subjects.SubjectName
FROM Tb_Curriculum JOIN Tb_GradeLevel ON
Tb_Curriculum.GradeLevelId =
Tb_GradeLevel.GradeLevelId JOIN Tb_Subjects ON
Tb_Curriculum.SubjectId = Tb_Subjects.SubjectId
WHERE Tb_GradeLevel.EducationlevelId = (SELECT
EducationlevelId FROM Tb_EducationLevel WHERE
EducationLevel='المرحلة الثانوية ')
```

استعلام لغة سباركل (SPARQL) الثالث هم:

```
PREFIX mine:
<http://www.studies_programs.org/ontologies<#
SELECT ?booktitle ?GradeLevelTitle ?subjectNam
?filePDF
```

```
WHERE{      ؟book mine:BookTitle ?booktitle؛
            mine:FilePDF ?filePDF؛
            mine:assignedToGrade ?Grade؛
            mine:assignedToSubject ?Subject.
        ؟Grade mine:GradeLevel ?GradeLevelTitle؛
            mine:GradeBelongsToLevel
        ?EducationL.
        ؟Subject mine:subjectName ?subjectNam.
        ؟EducationL mine:EducationLevel ?stage.
        FILTER(STR(?stage)="المرحلة الثانوية")}
```

بعد الحصول على أوقات الاستجابة لجميع التكرارات لكل استعلام، قمنا بحساب المتوسط الحسابي لهذه الأوقات، حيث قمنا بتجميع نتائج هذه الحسابات في جدول لسهولة المقارنة. جدول 2 التالي يعرض زمن الاستجابة المتوسط في التطبيق المرتبط بقاعدة البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي (بالملي ثانية): متوسط زمن الاستجابة لخمسة عشر عملية إنفاذ الاستعلامات في التطبيقين.

جدول 2 نتائج قياس سرعة الاستجابة للاستعلامات الثلاثة

رقم الاستعلام	متوسط زمن الاستجابة (قاعدة البيانات)	متوسط زمن الاستجابة (أنطولوجيا الويب الدلالي)
1	46.47 ملي ثانية	23.73 ملي ثانية
2	73.33 ملي ثانية	29.88 ملي ثانية
3	86.86 ملي ثانية	26.67 ملي ثانية

ب) مقارنة بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي من حيث الأمان:

الأمان في الأنطولوجيا الويب الدلالي وقواعد البيانات العلائقية يختلف اختلافاً جوهرياً نتيجة لطبيعة كل منهما. قواعد البيانات العلائقية تعمل ضمن بيئة مغلقة نسبياً، حيث يتم تحديد الوصول إلى البيانات بدقة من خلال سياسات صارمة للتحكم في الوصول (Access Control)، التشفير المدمج مثل (Transparent Data Encryption, TDE) و (Always Encrypted)، وسجلات التدقيق لتتبع الأنشطة. هذه البيئة المغلقة تجعلها أكثر حماية من الهجمات الخارجية [31][25].

تعتمد الأنطولوجيا الويب الدلالي على بيئة مفتوحة، مما يجعلها عرضة لتحديات أمنية فريدة لأن البيانات في الأنطولوجيا مصممة لتكون قابلة للمشاركة والاستنتاج، مما قد يؤدي إلى استنتاج بيانات حساسة من العلاقات الدلالية، حتى إذا كانت البيانات نفسها محمية. في المقابل، يُعتبر مخزن قاعدة بيانات الثلاثي (Apache Jena TDB) من التقنيات المهمة وعالية الأداء لتخزين واستعلام البيانات التي يمكن استخدامها لتخزين البيانات بصيغة إطار توصيف المورد (RDF) مثل الأنطولوجيا وعلى جهاز واحد.

يدعم (TDB) واجهات برمجة تطبيقات (Jena APIs) ويستخدم المعاملات لحماية البيانات من التلف أو الانقطاع غير المتوقع. ومع ذلك، لا يوفر (TDB) ميزات أمان متقدمة مدمجة مثل التشفير أو التحكم في الوصول بشكل افتراضي، ولكن يمكن تحقيق الأمان باستخدام أدوات خارجية مثل أمان نظام التشغيل، الجدار الناري، أو بروتوكولات مثل .(HTTPS) كما يمكن استخدام خادم (Fuseki Server for SPARQL) وسياسات التحكم الدلالية لتعزيز الأمان.

أما بخصوص الأمان على مستوى التطبيق المستهدف في هذا البحث فقد تم تنفيذ التالي:

- تشفير كلمات المرور: تم استخدام خوارزمية (BCrypt) لتشفير كلمات المرور، مع تقنية الملح (Salt) لضمان تجزئة آمنة. يتم التحقق من كلمات المرور عند تسجيل الدخول بمقارنة التجزئات، مما يوفر حماية عالية ضد الهجمات.

- إدارة الصلاحيات: تم تصميم نظام دقيق لإدارة الصلاحيات، حيث يتم تخزين الأدوار والصلاحيات في جدول المعلمين (في قواعد البيانات العلائقية) أو ككيان في الأنطولوجيا. يتم التحقق من الصلاحيات قبل تنفيذ أي عملية تعديل أو إضافة.

- إمكانية التتبع: تم تطبيق نظام تتبع العمليات لتسجيل هوية المستخدم ونوع العملية (إضافة، تعديل، حذف) وتاريخ التنفيذ. في الأنطولوجيا، يتم تتبع العمليات باستخدام ثلاثيات دلالية (Triples) تربط المستخدم بالمناهج التي أضافها أو عدلها.

يمكن تلخيص المقارنة بين الأنطولوجيا وقواعد البيانات العلائقية من حيث الأمان بأن قواعد البيانات العلائقية توفر تشفيراً مدمجاً وسرعة في تنفيذ العمليات الأمنية. وفي الجانب الأخر فإن أنطولوجيا الويب الدلالي توفر مرونة في إدارة العلاقات والتتبع الدلالي، ولكنها تتطلب تحليلاً وفهماً أعمق لتنفيذ العمليات الأمنية. بشكل عام، كان الفرق في الأمان بين التقنيتين متساوياً تقريباً، مع اختلاف في التعقيد والمرونة.

ج) مقارنة بين (SQL) و(SPARQL) من حيث سهولة كتابة استعلامات:

عند تصميم تطبيق ويب لإدارة المناهج الدراسية، يمكن ملاحظة اختلافات واضحة بين استعلامات لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) واستعلام سباركل (SPARQL) من حيث سهولة كتابة الاستعلامات. على سبيل المثال لدينا الاستعلام التالي يسترجع معرفات وأسماء المواد الدراسية مباشرة من جدول المواد. الاستعلام بلغة الاستعلام المهيكلة (SQL) كالتالي:

```
SELECT Subjectid, SubjectName FROM Tb_Subjects
```

بالمقابل، استعلام سباركل (SPARQL) المكافئ هو التالي:

```
PREFIX mine:
<http://www.studies_programs.org/ontologies#>
SELECT ?S ?Subject
WHERE { ?S mine:subjectName ?Subject}
```

استعلام سباركل (SPARQL) يستخرج نفس البيانات التي استخرجها استعلام لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) ولكن باستخدام نموذج الثلاثيات والعلاقات بين الكيانات. رغم أن كلا الاستعلامين يحققان نفس الهدف، إلا أن هناك اختلافات واضحة في كتابة الاستعلامات، استعلام (SQL) يعتمد على عدد أقل من الأسطر والكلمات المفتاحية مثل (SELECT) و (FROM)، مما يجعله أكثر إيجازاً وأقل تعقيداً. في المقابل، يتطلب استعلام سباركل (SPARQL) تعريف بادئات (PREFIXES) مثل بادئة (mine) في الاستعلام السابق التي تتطلب وصفاً مفصلاً للعلاقات، مما يزيد من عدد الأسطر وتعقيد الصياغة.

من حيث الوضوح، تُعتبر استعلامات لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) أسهل قراءة وفهماً بسبب بنيتها التقليدية التي تشبه الجمل الطبيعية. أما استعلامات سباركل (SPARQL)، فرغم أنها توفر مرونة تحليلية كبيرة، إلا أن استخدام المتغيرات والثلاثيات يجعلها أقل وضوحاً للمبرمجين غير المتمرسين.

عند الحديث عن التفاصيل، يتطلب استعلام لغة (SQL) تحديد الجداول والأعمدة فقط، مما يجعله مثالياً للبيانات المهيكلة البسيطة. بينما في لغة سباركل (SPARQL)، يجب تعريف العلاقات بين البيانات باستخدام نموذج دلالي، مما يمنحها مرونة أكبر للتعامل مع البيانات المعقدة.

عند مقارنة استعلامات الإضافة بين استعلامات لغة الاستعلام المهيكلة (SQL) واستعلام سباركل (SPARQL)، يمكن ملاحظة الاختلافات هنا. هذا استعلام الإضافة باستخدام لغة الاستعلام المهيكلة (SQL):

```
INSERT INTO Tb_Curriculum (BookName, SubjectId,
GradeLevelId, BookCategory, FilePdf (
VALUES(؟،؟،؟،؟،؟)
```

في هذا الاستعلام، نرى أن لغة (SQL) تعتمد على صيغة مختصرة ومباشرة. يتم تحديد الجدول (Tb_Curriculum) وأعمدته المستهدفة، ثم تمرر القيم كمتغيرات عند التنفيذ، هذا النمط يجعل استعلامات (SQL) واضحة وسهلة الكتابة، خاصة للمبرمجين الذين يعملون على قواعد بيانات هيكلية. أما استعلام الإضافة باستخدام سباركل (SPARQL) فهو:

```
PREFIX mine:
<http://www.studies_programs.org/ontologies#>
INSERT DATA {
  <curriculumUri> a mine:Curriculum;
        mine:BookTitle "bookTitle";
        mine:FilePDF "filePdf";
        mine:assignedToSubject <subjectId>;
        mine:assignedToGrade <gradeLevelId>. }
```

في لغة سباركل (SPARQL)، يختلف الأمر بشكل كبير. الإضافة تتطلب تعريف بادئات (Prefixes) لتحديد العلاقات الدلالية مثل البادئة التي اسمها (mine):

PREFIX mine <http://www.#>

كذلك يحتاج إنشاء كيان جديد عبر معرفات المورد الموحدة (URI) (مثل الكيان <curriculumUri>). كما يجب تحديد نوع الكيان وإضافة خصائص الكيان وقيمها باستخدام ثلاثيات (triples)، حيث يمثل كل سطر علاقة دلالية. وهذه الإضافات تزيد من تعقيد كتابة استعلامات سباركل (SPARQL).

د) مقارنة بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي من حيث قابلية الفهم والتعامل مع البيانات:

يشير معيار قابلية الفهم والتعامل مع البيانات إلى مدى وضوح بنية البيانات وسهولة التعامل معها داخل تطبيق الويب التعليمي. تختلف هذه القابلية بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي، حيث يتميز كل منهما بخصائص فريدة تؤثر على تجربة المطورين وقدرتهم على تصميم تطبيقات تعليمية فعالة.

تعتمد قواعد البيانات العلائقية على بنية الجداول والعلاقات المألوفة، مما يجعل استرجاع المعلومات أو تعديلها أمراً بسيطاً عبر استعلامات لغة (SQL). هذا النهج يجعلها خياراً شائعاً للتطبيقات التي تعتمد على بيانات منظمة وثابتة. ومع ذلك، قد تظهر تحديات عند التعامل مع بيانات أكثر تعقيدا أو غير منظمة، حيث يتطلب التوسع أو التعديل إعادة تصميم الجداول والعلاقات.

من ناحية أخرى، تعتمد أنطولوجيا الويب الدلالي على تمثيل البيانات كرسوم بيانية مترابطة تُبرز العلاقات العميقة بين الكيانات. في سياق تطبيق تعليمي، يمكن لهذا النموذج ربط المفاهيم الدراسية ببعضها البعض، مما يعزز الفهم السياقي (Context) للمحتوى. ومع ذلك، يتطلب هذا النهج فهماً أعمق لمفاهيم مثل (RDF) واستعلامات (SPARQL)، مما قد يزيد من تعقيد عملية التطوير.

باختصار، تُقدم قواعد البيانات العلائقية سهولة ووضوحاً في التعامل، بينما توفر أنطولوجيا الويب الدلالي مرونة أكبر وعمقاً في تمثيل البيانات المترابطة والمعرفة بشكل عام.

هـ) مقارنة بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي من حيث المرونة والقابلية للتوسع:

- المرونة: خلال تطوير هذا البحث، واجهنا تغييرات غير متوقعة في المتطلبات، مثل الحاجة إلى إضافة صفحة تسجيل دخول بعد الانتهاء من تصميم الصفحات الأساسية. في قاعدة البيانات العلائقية، كان علينا تعديل هيكل البيانات بإضافة أعمدة جديدة لكلمة المرور (Password) والدور (Role)، وهو ما يتطلب إعادة هيكلة جزئية للنظام. في المقابل، كانت عملية الإضافة في أنطولوجيا الويب الدلالي أكثر سهولة ومرونة، حيث اكتفينا بإضافة خصائص بيانات (Data Property) جديدة تعكس نفس المعلومات دون الحاجة إلى تعديلات معقدة أو إعادة تصميم. هذا يوضح أن أنطولوجيا الويب الدلالي توفر مرونة أكبر في التعامل مع التغييرات الديناميكية وغير المتوقعة.

- قابلية التوسع: عند الرغبة في زيادة الأمان وتعزيز تتبع البيانات، اقترحنا إضافة كيان جديد لمعالجة هذه المتطلبات. في قاعدة البيانات العلائقية، يتطلب ذلك إنشاء جدول جديد، وهو عملية معقدة نسبياً وتستهلك وقتاً وجهداً أكبر. أما في أنطولوجيا الويب الدلالي، فإن إضافة كيانات جديدة يتم بسهولة وسرعة. وعلى الرغم من صغر حجم البيانات المستخدمة في التطبيق الحالي، فإن الأنطولوجيا تظهر ميزتها بشكل واضح عند التعامل مع بيانات أكبر وأكثر تعقيداً أو عند توزيعها عبر أنظمة مختلفة. لذلك، يمكن القول إن أنطولوجيا الويب الدلالي لا توفر فقط مرونة أعلى، بل تدعم أيضاً قابلية توسع أكبر، خاصة في المشاريع التي تعتمد على العلاقات الديناميكية بين البيانات.

8-2-4 الخطوة الثامنة: عرض نتائج المقارنة ومناقشتها

بالرغم من ارتفاع وبطء زمن الاستجابة للتطبيق (أنظر إلى جدول 2) والذي يرجع لأسباب كثيرة منها وكما أشار (HABIMANA) في بحثه [32]، إلى مواصفات الجهاز والحمل على نظام التشغيل المستخدم في هذا الجهاز، إلا أن نتائج المقارنة بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي تُظهر أن لكل منهما استخداماته المثلى بناءً على متطلبات النظام المستهدف. قواعد البيانات العلائقية تتمتع بميزات أمان مدمجة مثل التشفير وإدارة الصلاحيات، مما يجعلها الخيار الأفضل للبيانات الحساسة مثل معلومات المستخدمين والتعاملات المالية. كما أن استعلامات (SQL) مباشرة وسهلة القراءة، مما يجعلها مناسبة للبيانات المنظمة والواضحة. من ناحية أخرى، أنطولوجيا الويب الدلالي تتفوق في المرونة وسرعة البحث، خاصة عند التعامل مع البيانات المعقدة أو الموزعة، حيث تُتيح تعديل الخصائص وإضافة البيانات بسهولة. ومع ذلك، تتطلب استعلامات (SPARQL) معرفة بمفاهيم وتقنيات الويب الدلالي مثل معرف المورد الموحد (URI) وإطار توصيف المورد (RDF) ولغة أنطولوجيا الويب (OWL)، مما يزيد من تعقيدها. في مجال التعليم، تُظهر الأنطولوجيا أهمية متزايدة من خلال تعزيز اكتشاف العلاقات بين المفاهيم التعليمية وتخصيص التعليم بناءً على احتياجات الطلاب والمعلمين والإداريين في المؤسسات التعليمية. ومع ذلك، تواجه الأنطولوجيا تحديات تقنية وتنظيمية تتطلب تخطيطًا دقيقا واستخدام تقنيات متطورة لضمان الكفاءة والأمان.

5. الخلاصة والاستنتاجات والتوصيات

تُركز هذه الدراسة على مقارنة الأداء والفعالية بين نموذجين مختلفين لإدارة البيانات، قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي، تُعد هذه المقارنة أساسية لتحديد إمكانيات كل نموذج وفهم مدى ملاءمتهما لتلبية احتياجات التطبيقات البرمجية، خاصة في ظل التطور المستمر في أنظمة إدارة البيانات وتعقيدها. تُصنف المقارنة على أنها تقنية وعملية، حيث تهدف إلى تحليل الأداء والكفاءة لكلا النموذجين عند التعامل مع نفس مجموعة البيانات ومتطلبات التخزين والاستعلام. تعتمد الدراسة على تنفيذ التطبيق البرمجي باستخدام النموذجين وتقييم أدائهما بناءً على مجموعة من المعايير المحددة مسبقاً وفي نفس البيئة البرمجية. الهدف الرئيسي من المقارنة هو استكشاف الفروق العملية بين النموذجين لتقديم توصيات حول اختيار النموذج الأنسب في سيناريوهات تطبيقية معينة. تهدف الدراسة أيضاً إلى توضيح كيفية تأثير الفروقات بين النموذجين على جوانب مثل الأداء وسهولة الاستخدام وقابلية التوسع، مما يُسهم في دعم المطورين وأصحاب القرار في اختيار التقنيات المناسبة لأنظمة إدارة البيانات الخاصة بهم.

أظهر هذا البحث تميز أنطولوجيا الويب الدلالي عن قواعد بيانات العلائقية بمرونتها العالية في تمثيل البيانات والعلاقات الدلالية بينها، ولكنه مازال يحتاج إلى تحسين على مستوى الأمان والموثوقية. كما تتميز أنطولوجيا الويب الدلالي بالمرونة وسرعة البحث. أهم ما يميز تقنيات الويب الدلالي، هو قدرة الأنطولوجيا على الاستدلال (Reasoning) الذي يعزز إمكانية اكتشاف علاقات وحقائق جديدة بالاستناد على علاقات وحقائق قائمة وموجودة.

عليه، فإن مؤلفي هذا البحث يوصوا بتعزيز استثمار مميزات أنطولوجيا الويب الدلالي وذلك بتحسين استخدامها في استخراج المعرفة الاستدلالية (Reasoning) لاكتشاف علاقات جديدة بين المفاهيم التعليمية بشكل تلقائي. وتطوير قواعد استنتاجية (Inference Rules) تُمكن النظام من توفير محتوى تعليمي مخصص لكل مستخدم بناءً على احتياجاته وأهدافه. والتوسع في بناء أنطولوجيا دلالية أكثر شمولية تغطي جميع المناهج التعليمية بشكل مترابط ومرن. كما يعتقد مؤلفي هذا المقال أن التكامل بين قواعد البيانات العلائقية وأنطولوجيا الويب الدلالي يوفر مزايا كبيرة لأن الجمع بين هذين النهجين يمكن أن يؤدي إلى بناء نظام تخزيني متكامل يجمع بين الأداء والكفاءة الدلالية والأمن.

أما بخصوص التطبيق الذي تم تطويره في هذا البحث، فإن المؤلفين يوصوا بتحسين هذا التطبيق ليتم استخدامه من قبل المدارس والمؤسسات التعليمية. تحسين هذا التطبيق يمكن تحقيقه بتحسين تجربة المستخدم وذلك بتطوير واجهات المستخدم لتكون أكثر سلاسة وجاذبية، مع توفير تجربة تفاعلية ممتعة لكل فئة من المستخدمين (الزوار، المعلمين، مديري النظام). كما يمكن إضافة ميزة الدردشة التفاعلية (Chatbot) التي تعتمد على الأنطولوجيا للإجابة على استفسارات المستخدمين حول المناهج والمفاهيم التعليمية.

وأخيرا، يمثل هذا البحث مرجعاً عملياً للمهتمين بمقارنة الأداء بين قواعد البيانات العلائقية وتقنيات الويب الدلالي في التطبيقات التعليمية. من خلال تطوير النظام وتقييم فعاليته، تم تسليط الضوء على مزايا كل تقنية في تخزين واسترجاع البيانات بطرق تلبي احتياجات مختلفة. يمكن أن يسهم هذا البحث في توجيه الباحثين والمطورين نحو اختيار التقنيات الأنسب لتطبيقاتهم المستقبلية، خاصة في مجال التعليم الرقمي، مع فتح آفاق جديدة لتحسين العملية التعليمية باستخدام تقنيات حديثة ومبتكرة.

6. المراجع

[1] أ. فرج، 'انطولوجيا الويب الدلالي ودورها في تعزيز المحتوى الرقمي: دراسة في المفاهيم والبنية الهيكلية والخدمات التفاعلية في البوابات الدلالية للتعلم الالكتروني'، *مجلة المكتبات والمعلومات العربية*, vol. 25, no. 4, pp. 1–32, 2015.

[2] S. Evenstein Sigalov and R. Nachmias, 'Investigating the potential of the semantic web for education: Exploring Wikidata as a learning platform', *Educ. Inf. Technol.*, vol. 28, no. 10, pp. 12565–12614, Oct. 2023.

[3] G. Antoniou, P. Groth, F. van Harmelen, and R. Hoekstra, *A Semantic Web Primer*, 3rd ed. London, England: The MIT Press Cambridge, 2012.

[4] D.-E. Spanos, P. Stavrou, and N. Mitrou, 'Bringing Relational Databases into the Semantic Web: A Survey', *Semant. Web J.*, vol. 3, no. 2, pp. 169–209, 2012.

[5] M. Stonebraker and J. M. Hellerstein, 'What Goes Around Comes Around', in *Readings in Database Systems*, 4th ed., J. M. Hellerstein and M. Stonebraker, Eds. The MIT Press, 2005, pp. 2–41.

[6] E. M. Hart *et al.*, 'Ten Simple Rules for Digital Data Storage', *PLoS Comput. Biol.*, vol. 12, no. 10, pp. 1–12, 2016.

[7] T. Connolly and C. Begg, *Database Systems*, 6th ed. USA: Pearson Education Limited (USA), 2015.

[8] T. Segaran, C. Evans, and J. Taylor, *Programming the Semantic Web*. Cambridge, UK: O'Reilly Media, Inc., 2009.

[9] N. F. Noy and D. L. McGuinness, 'Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology', Stanford, CA, USA, 2001.

[10] A. Rejeb *et al.*, 'Charting Past, Present, and Future Research in the Semantic Web and Interoperability', *Futur. Internet*, vol. 14, no. 161, pp. 1–32, Jun. 2022.

[11] B. DuCbarme, *Learning SPARQL*, 2nd Editio. O'Reilly Media, Inc., USA, 2013.

[12] Apache Jena, 'Triple Database, TDB', *Apache Software Foundation*, 2011. [Online]. Available: https://jena.apache.org/documentation/tdb/. [Accessed: 11-Nov-2024].

[13] D. C. Faye, O. Curé, and G. Blin, 'A survey of RDF storage approaches', *Rev. Africaine Rech. en Inform. Mathématiques Appliquées*, vol. Volume 15, 2012, no. 2012, pp. 11–35, 2012.

[14] B. Ben Mahria, I. Chaker, and A. Zahi, 'An empirical study on the evaluation of the RDF storage systems', *J. Big Data*, vol. 8, no. 1, 2021.

[15] M. Wylot, M. Hauswirth, P. Cudré-Mauroux, and S. Sakr, 'RDF data storage and query processing schemes: A survey', *ACM Comput. Surv.*, vol. 51, no. 4, 2018.

[16] T. BERNERS-LEE, J. HENDLER, and O. LASSILA, 'The Semantic Web', *Sci. Am.*, vol. May 2001, pp. 35–43, 2001.

[17] S. E. Abhadiomhen *et al.*, 'Semantic and Traditional Website Design Systems', in *11th International Science, Technology, Arts, Education, Management & the Social Sciences (iSTEAMS) Conference*, 2018.

[18] M. M. Taye, 'Understanding Semantic Web and Ontologies: Theory and Applications', *J. Comput.*, vol. 2, no. 6, pp. 182–192, 2010.

[19] L. Ma, J. Mei, Y. Pan, K. Kulkarni, A. Fokoue, and A. Ranganathan, 'Semantic Web Technologies and Data Management'. W3C Workshop on RDF Access to Relational Databases, 25-26 October, 2007 — Cambridge, MA, USA, 2007.

[20] T. I. Peter and B. Fawei, 'An Adaptable Ontology for Easy and Efficient University Data Management in Niger Delta University', *Eur. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 49–57, 2022.

[21] B. R. Ferrer *et al.*, 'Comparing ontologies and databases: a critical review of lifecycle engineering models in manufacturing', *Knowl. Inf. Syst.*, vol. 63, no. 6, pp. 1271–1304, Jun. 2021.

[22] H. Tissot, C. A. G. Huve, L. M. Peres, and M. D. Del Fabro, 'Exploring logical and hierarchical information to map relational databases into ontologies', *Int. J. Metadata, Semant. Ontol.*, vol. 13, no. 3, pp. 191–208, 2019.

[23] M. Sir, Z. Bradac, and P. Fiedler, 'Ontology versus Database', in *IFAC-PapersOnLine*, 2015, vol. 28, no. 4, pp. 220–225.

[24] A. Aljamel, T. Osman, and D. Thakker, 'A Semantic Knowledge-Based Framework for Information Extraction and Exploration', *Int. J. Decis. Support Syst. Technol.*, vol. 13, no. 2, 2021.

[25] N. Manickasankari, D. Arivazhagan, and G. Vennila, 'Ontology based Semantic Web Technologies in E-learning Environment using Protégé', *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 7, no. S6, pp. 64–67, 2014.

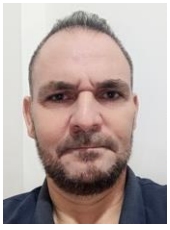
[26] R. Sivakumar and P. V Arivoli, 'Ontology Visualization Protégé Tools-a Review', *Int. J. Adv. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 4, pp. 1–11, 2011.

[27] M. A. Musen, 'The Protégé Project: A Look Back and a Look Forward.', *AI matters. Assoc. Comput. Mach. Specif. Interes. Gr. Artif. Intell.*, vol. 1, no. 4, pp. 4–12, 2015.

[28] X. Yang, M. Yang, D. Yang, and Y. Huang, 'Research on Implementation of Knowledge Convergence Based on Apache Jena3', in *International Conference on Computer Science, Electronics and Communication Engineering (CSECE Feb 7 to Feb 8, 2018)*, 2018, vol. 80, no. Advances in Computer Science Research, pp. 464–466.

[29] ز. لموشي، 'التعليم الرقمي ومدرسة المستقبل'، *المجلة العربية للآداب والدراسات الانسانية*, vol. 7, no. فبراير, pp. 191–204, 2019. and ه. مركون

[30] ت. ع. فائق، 'التعليم الرقمي مدخل مفاهيمي ونظري'، *المجلة العربية للعلوم التربوية والنفسية*, vol. 7, no. فبراير, pp. 137–148, 2019. and س. ع. حامد



عبدالعظيم الجمل حصل على درجة الماجستير في الإنترنت والحوسبة المؤسسية (Internet and Enterprise Computing) ودرجة الدكتوراه في استخراج واستكشاف المعلومات القائمة على المعرفة (knowledge-based information extraction and exploration) من جامعة نوتنغهام ترنت (Nottingham Trent University) حالياً يعمل الجمل كعضو هيئة تدريس في كلية تقنية المعلومات بجامعة مصراتة. تشمل اهتماماته البحثية الرئيسية تطبيقات خوارزميات الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligent Algorithms Application)، ومعالجة اللغات الطبيعية (Natural Language Processing) حاسوبياً، وتمثيل المعرفة (Knowledge Representation) حاسوبياً، والحوسبة السحابية (Cloud Computing).

آمنة الرحومه متخرجة من قسم هندسة البرمجيات من كلية تقنية المعلومات بجامعة مصراتة، وتتمتع بأسس قوية في تطوير البرمجيات وتصميم قواعد البيانات وصيانتها على أسس هندسة البرمجيات. تمتلك مهارات جيدة في العمل الجماعي وحل المشكلات، وتسعى لتطوير مهاراتها في مجالات والذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة.

ربيعة عباس متخرجة من قسم هندسة البرمجيات بكلية تقنية المعلومات، جامعة مصراتة. مهتمة بتطوير البرمجيات والذكاء الاصطناعي بتطبيق مبادئ هندسة البرمجيات. لديها خبرة على أدوات ولغات برمجة اللازمة لتطوير تطبيقات الويب وقواعد البيانات. تهتم بتطوير البرمجيات وتحليل البيانات. وتسعى لتطوير مهاراتها في بيئة احترافية.

سلسبيل سويب خريجة من قسم هندسة البرمجيات من كلية تقنية المعلومات بجامعة مصراتة. تملك مهارات في عدة لغات وأدوات برمجية لتطوير تطبيقات الويب وقواعد البيانات. نفذت عدة مشاريع لمقررات دراسية تهتم بتطبيقات الويب وتحليل البيانات باستخدام خوارزميات تعلم الآلة. وهي تسعى للمساهمة في تطوير البرمجيات ضمن بيئة عمل مبتكرة.