International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (1) January 2026 الإصدار (5)، العدد (1)

تطبيق الأنطولوجيا باستخدام محرر Protégé: دراسة تطبيقية في تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية

ماجدة عزت غريب
أستاذ دكتور بقسم علم المعلومات، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية
Mgharib@kau.edu.sa

مشاعل عبد الرحمن الحازمي
باحثة، قسم علم المعلومات، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، المملكة العربية السعودية
Oricd: 0009-0003-5198-0678
Mashael.alhazmi@hotmail.com

ملخص

يهدف هذا البحث إلى تحليل دور برنامج Protégé بوصفه أداة داعمة لتنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية ضمن إطار علم المعلومات وإدارة المعرفة، في ظل محدودية الدراسات العربية التي تناولته من منظور تنظيم المعرفة وربط خصائصه التقنية بعمليات إدارة المعرفة. اعتمدت الدراسة على المنهج الوثائقي من خلال مراجعة الأدبيات العلمية ذات الصلة بالأنطولوجيا والويب الدلالي وأدوات تطويرها، كما تم توظيف أسلوب تحليل المحتوى في الجانب التطبيقي لتحليل مخرجات استخدام برنامج Protégé، وذلك من خلال بناء نموذج أنطولوجي مبسّط باستخدام برنامج Protégé (الإصدار 5.6.7).

ركّز الجانب التطبيقي على اختبار مدى انطباق مجموعة من المعايير المستخلصة من أدبيات هندسة النظم، كما وردت لدى Uschold and Gruninger (1996)، وهي: التوصيف، والموثوقية، وقابلية إعادة الاستخدام، وذلك بهدف تقويم مخرجات استخدام البرنامج في تنظيم وتمثيل المعرفة. وأظهرت نتائج الدراسة أن الأنطولوجيا تُعد أداة مركزية لتنظيم وتمثيل المعرفة داخل البيئات الذكية، وأن برنامج Protégé يوفّر بيئة مرنة ومنظمة لبناء الأنطولوجيات، ويدعم تمثيل العلاقات الدلالية بين المفاهيم من خلال أدوات إنشاء الفئات، وضبط الخصائص والعلاقات، وتوظيف محركات الاستدلال المنطقي للتحقق من الاتساق.

وفي ضوء ذلك، تؤكد الدراسة أن برنامج Protégé يمثّل بيئة تطبيقية قوية لتعزيز البعد العملي للأنطولوجيا في سياق تنظيم وتمثيل المعرفة، مع التأكيد على ضرورة توظيفه ضمن إطار تكاملي مع أدوات وتقنيات أخرى لإدارة المعرفة، والانتباه إلى القيود اللغوية والتقنية عند تطبيقه في سياقات معرفية ومؤسسية متنوعة.

الكلمات الدالة: إدارة المعرفة، تنظيم المعرفة، الأنطولوجيا، البروتيجيه، الويب الدلالي، التمثيل الدلالي، نظم إدارة المعرفة.

International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
IJSR
Vol. (5), No. (1) January 2026 الإصدار (5)، العدد (1)

Application of Ontology Using the Protégé Editor: An Applied Study in Semantic Knowledge Organization and Representation

Majda Ezzat Gharieb
Professor, Department of Information Science, Faculty of Arts & Humanities, King Abdulaziz University, Jeddah, Kingdom of Saudi Arabia
Mgharib@kau.edu.sa

Mashael Abdulrahman Alhazmi
Researcher, Department of Information Science, Faculty of Arts & Humanities, King Abdulaziz University, Jeddah, Kingdom of Saudi Arabia
Oricd: 0009-0003-5198-0678
Mashael.alhazmi@hotmail.com

Abstract

This study aims to analyze the role of the Protégé program as a supportive tool for organizing and representing semantic knowledge within the framework of information science and knowledge management, in light of the limited number of Arabic studies that have examined it from the perspective of knowledge organization and linked its technical features to knowledge management processes. The study adopts a documentary approach through a review of the relevant scientific literature on ontologies, the Semantic Web, and ontology development tools. In addition, the content analysis method is employed in the applied component to analyze the outputs of using Protégé, through the construction of a simplified ontological model using Protégé (version 5.6.7).

The applied component focuses on testing the extent to which a set of criteria derived from systems engineering literature, as proposed by Uschold and Gruninger (1996), namely specification, reliability, and reusability, can be applied to the outputs of the program, with the aim of evaluating its effectiveness in organizing and representing knowledge. The findings indicate that ontology constitutes a central tool for organizing and representing knowledge within intelligent environments, and that Protégé provides a flexible and structured environment for ontology development. It also supports the representation of semantic relationships between concepts through tools for class creation, property and relationship definition, and the use of logical reasoning engines to verify consistency.

In light of these findings, the study concludes that Protégé represents a robust

application environment for enhancing the practical dimension of ontology in the context of knowledge organization and representation. It further emphasizes the importance of employing Protégé within an integrated framework alongside other knowledge management tools and technologies, while paying attention to linguistic and technical limitations when applying it in diverse organizational and institutional contexts.

Keywords: Knowledge Management, Knowledge Organization, Ontology, Protégé, Semantic Web, Semantic Representation, Knowledge Management Systems.

مقدمة

شهدت الأنطولوجيات استخدامًا متزايدًا في مجالات متعددة، من أبرزها نظم المعلومات، والذكاء الاصطناعي، وتكامل قواعد البيانات، ومعالجة اللغة الطبيعية، لما تؤديه من دور محوري في دعم التشغيل البيني بين الأنظمة وتعزيز التمثيل الدلالي للمحتوى. ومع هذا التوسع، ظهرت العديد من الأدوات البرمجية المخصصة لبناء الأنطولوجيات، ويُعد برنامج Protégé من أكثرها انتشارًا واستخدامًا، كونه أداة مفتوحة المصدر تتيح بيئة مرنة لتطوير النماذج المعرفية، والتحقق من اتساقها، ودعم الاستدلال المنطقي. ويتضح ذلك في دراسة مونوز وآخرون (2016) التي اقترحت نموذجًا لإدارة المعرفة في بيئات البحث والابتكار يعتمد على توظيف الأنطولوجيا في تمثيل المعرفة وربطها بنماذج الأعمال ورأس المال الفكري (Muñoz et al., 2016)، وكذلك في دراسة العطريش (2013) التي قارنت بين عدد من محررات الأنطولوجيا المستخدمة في الويب الدلالي، من بينها برنامج Protégé (Alatrish, 2013).

وعلى الرغم من كثرة الدراسات التي تناولت الأنطولوجيا من حيث أطرها النظرية أو تطبيقاتها التقنية في مجالات متخصصة، إلا أن تناول برنامج Protégé غالبًا ما اقتصر على الجوانب الفنية أو المقارنات التقنية بين أدوات بناء الأنطولوجيا. في المقابل، تظل الدراسات التي تنظر إلى البرنامج بوصفه أداة لهندسة المعرفة من منظور تنظيم المعرفة وتمثيلها ضمن إطار إدارة المعرفة، ولا سيما في الأدبيات العربية، محدودة. ومن أمثلة ذلك دراسة إيزيكيل وآخرون (2023) التي عرضت منهجية لبناء أنطولوجيا داعمة لتطبيقات الويب الدلالي في مجال التعلّم الإلكتروني باستخدام Protégé Web Ontology Server وتمثيل المحتوى بصيغة RDF (Ezekiel et al., 2023)، وكذلك دراسة أونا وآخرون (2024) التي ناقشت تصميم أنطولوجيا لبيئات التعلّم الحديثة باستخدام برنامج Protégé، اعتمادًا على نمذجة المفاهيم والعلاقات التعليمية، دون تناول الأداة من منظور تنظيم المعرفة أو ربط خصائصها بعمليات إدارة المعرفة (Auna et al., 2024).

وانطلاقًا من هذه الفجوة البحثية، تسعى هذه الدراسة إلى استعراض برنامج Protégé وتحليل دوره في دعم تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية، مع توضيح إمكاناته وحدوده الوظيفية بوصفه أداة لبناء الأنطولوجيا، وليس نظامًا متكاملًا لإدارة المعرفة. كما تهدف الدراسة إلى إبراز أهمية توظيف Protégé ضمن إطار تكاملي مع أدوات وتقنيات أخرى لإدارة المعرفة، بما يتلاءم مع متطلبات البيئات المؤسسية والرقمية الذكية.

مشكلة الدراسة

على الرغم من الانتشار الواسع لاستخدام الأنطولوجيات في مجالات الويب الدلالي، ونظم المعلومات، والذكاء الاصطناعي، وتعدد الأدوات البرمجية المخصصة لبنائها، وفي مقدمتها برنامج Protégé، إلا أن معظم الدراسات السابقة انصبت إما على الجوانب النظرية لمفهوم الأنطولوجيا، أو على تطبيقاتها التقنية في مجالات متخصصة، أو على المقارنات الفنية بين أدوات بنائها من منظور تقني بحت.

في المقابل، يلاحظ وجود ندرة في التناول البحثي في الأدبيات، ولا سيما العربية، في تناول برنامج Protégé بوصفه أداة لهندسة المعرفة من منظور تنظيم المعرفة وتمثيلها، مع تسليط الضوء على دوره الفعلي في دعم عمليات إدارة المعرفة، والتمييز بوضوح بين كونه أداة لتطوير النماذج المعرفية وبين كونه نظامًا متكاملًا لإدارة المعرفة.

وانطلاقًا من هذه الفجوة البحثية، تتمحور مشكلة الدراسة حول التساؤل الآتي:

سؤال الدراسة الرئيسي: ما دور برنامج Protégé في دعم تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية ضمن إطار إدارة المعرفة؟

أهمية الدراسة

تنبع أهمية هذه الدراسة من جانبين رئيسيين، هما: الأهمية العلمية، والأهمية التطبيقية.

- **أولًا: الأهمية العلمية:** تستمد هذه الدراسة أهميتها العلمية من المكانة المحورية للأنطولوجيا بوصفها أحد المرتكزات الأساسية للويب الدلالي، وأداة رئيسية في تنظيم وتمثيل المعرفة داخل أنظمة المعرفة الحديثة. ومع تزايد الاعتماد على النماذج الدلالية في البيئات الرقمية والمؤسسية، تبرز الحاجة إلى تعميق الفهم بالأدوات المستخدمة فعليًا في بناء هذه النماذج، وتحليل دورها في دعم عمليات إدارة المعرفة.

كما تسهم الدراسة في إثراء الأدبيات العربية في مجال الأنطولوجيا وتنظيم المعرفة، من خلال توضيح موقع برنامج Protégé ضمن منظومة أدوات تنظيم المعرفة، وإبراز دوره بوصفه أداة داعمة لتمثيل المعرفة الدلالية، وليس نظامًا متكاملًا لإدارة المعرفة. وبذلك تسهم الدراسة في سد فجوة بحثية

تتمثل في محدودية الدراسات العربية التي تتناول برنامج Protégé من منظور علم المعلومات وإدارة المعرفة.

- **ثانيًا: الأهمية التطبيقية:** تتجلى الأهمية التطبيقية للدراسة في تقديم تجربة عملية توضّح إمكانات برنامج Protégé في بناء الأنطولوجيا، والتحقق من اتساقها، وتمثيل العلاقات الدلالية بين المفاهيم، بما يتيح فهمًا عمليًا لكيفية توظيفه في تصميم النماذج المعرفية. كما يمكن أن تفيد نتائج الدراسة الباحثين والممارسين في مجالات إدارة المعرفة والأنظمة الذكية في اختيار الأدوات المناسبة لبناء وتمثيل المعرفة الدلالية.

إضافة إلى ذلك، تسهم الدراسة في توجيه الاستخدام الواقعي للبرنامج داخل البيئات المؤسسية بوصفه أداة داعمة لتنظيم وتمثيل المعرفة، مع إبراز إمكاناته وحدوده الوظيفية، بما يدعم التكامل بينه وبين أدوات وتقنيات أخرى لإدارة المعرفة.

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى استعراض برنامج **Protégé** وإبراز دوره بوصفه أداة لتطوير الأنطولوجيات ودعم تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية. وانطلاقًا من هذا الهدف الرئيس، تسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف الفرعية الآتية:

1. توضيح مفهوم الأنطولوجيا وأهميتها في تنظيم وتمثيل المعرفة ضمن إطار الويب الدلالي وإدارة المعرفة.
2. تحليل وظائف وخصائص برنامج Protégé ودوره في بناء الأنطولوجيات.
3. استكشاف إمكانات برنامج Protégé في تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية.
4. دراسة دور أدوات الاستدلال المنطقي والتحقق من الاتساق داخل بيئة Protégé.
5. تقويم نقاط القوة والقصور في استخدام برنامج Protégé من منظور تنظيم المعرفة وإدارة المعرفة.

أسئلة الدراسة

تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن السؤال الرئيسي الآتي:

ما دور برنامج Protégé في دعم تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية ضمن إطار إدارة المعرفة؟

- **الأسئلة الفرعية:**

1. ما مفهوم الأنطولوجيا، وما أهميتها في تنظيم وتمثيل المعرفة ضمن إطار الويب الدلالي وإدارة المعرفة؟

2. ما أبرز وظائف وخصائص برنامج Protégé في بناء الأنطولوجيات؟
3. كيف يسهم برنامج Protégé في تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية؟
4. ما دور أدوات الاستدلال المنطقي والتحقق من الاتساق في برنامج Protégé في دعم تمثيل المعرفة؟
5. ما نقاط القوة والقصور في استخدام برنامج Protégé من منظور تنظيم المعرفة وإدارة المعرفة؟

منهجية الدراسة

اعتمدت هذه الدراسة على منهجين رئيسيين، هما: المنهج الوثائقي ومنهج تحليل المحتوى.

1. **المنهج الوثائقي** من خلال مراجعة وتحليل الأدبيات العلمية والدراسات السابقة ذات الصلة بالأنطولوجيا وبرنامج Protégé، وذلك بهدف بناء الإطار النظري للدراسة، وتحديد مفاهيمها الأساسية، وتتبع التوجهات البحثية ذات العلاقة.
2. كما تم توظيف **أسلوب تحليل المحتوى** في الجانب التطبيقي للدراسة لتحليل وتفسير مخرجات استخدام برنامج Protégé، واستكشاف دوره في دعم تنظيم المعرفة وتمثيلها دلاليًا داخل بيئات إدارة المعرفة.

خطوات منهجية البحث

تم تنفيذ الدراسة وفق الخطوات المنهجية الآتية:

1. مراجعة الأدبيات العلمية:

تمت مراجعة وتحليل الأدبيات العلمية العربية والأجنبية ذات الصلة بموضوع الأنطولوجيا، وتنظيم المعرفة، وإدارة المعرفة، والويب الدلالي، مع التركيز على الدراسات التي تناولت أدوات بناء الأنطولوجيا، وبصفة خاصة برنامج Protégé. وهدفت هذه الخطوة إلى بناء إطار نظري داعم للدراسة، وتحديد مفاهيمها الأساسية، والوقوف على أبرز الاتجاهات البحثية السابقة ذات العلاقة.

2. الوصف الفني لبرنامج Protégé في ضوء الأدبيات:

جرى تقديم وصف فني وتقني لبرنامج Protégé بالاستناد إلى الأدبيات العلمية المتخصصة، من حيث بنيته العامة، ووظائفه الرئيسية، وآليات عمله في تطوير الأنطولوجيا، بما يشمل إنشاء الفئات (Classes)، والخصائص (Properties)، والعلاقات الدلالية (Semantic Relations)، وذلك تمهيدًا لتوظيفه في الجانب التطبيقي من الدراسة.

3. التجربة العملية وبناء نموذج أنطولوجي مبسّط:

تم تنفيذ تطبيق عملي باستخدام برنامج Protégé من خلال بناء نموذج أنطولوجي تجريبي مبسّط،

بهدف إبراز إمكانات البرنامج ووظائفه التقنية في تنظيم المعرفة وتمثيلها دلاليًا، وتوفير مادة تحليلية تُستخدم في تطبيق أسلوب تحليل المحتوى.

4. التحقق من انطباق معايير التوصيف والموثوقية وقابلية إعادة الاستخدام على برنامج Protégé:

تم تحليل النموذج الأنطولوجي الناتج عن استخدام برنامج Protégé بالاستناد إلى مجموعة من المعايير المستخلصة من أدبيات الأنطولوجيا وهندسة النظم. وقد شملت هذه المعايير: التوصيف (Specification)، والموثوقية (Reliability)، وقابلية إعادة الاستخدام (Reusability)، كما وردت في دراسة Uschold & Gruninger (1996).

وجرى توظيف هذه المعايير بوصفها إطارًا تحليليًا لاستكشاف دور برنامج Protégé في دعم تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية، من خلال تحليل كيفية إسهامه في توصيف النظم، والتحقق من الاتساق والافتراضات الدلالية، ودعم قابلية إعادة استخدام مكونات الأنطولوجيا. وتم ذلك مع مراعاة طبيعة الدراسة بوصفها دراسة وثائقية مدعومة بتطبيق توضيحي، وطبيعة برنامج Protégé كأداة لتطوير الأنطولوجيا وليس كنظام متكامل لإدارة المعرفة.

5. تفسير نتائج التجربة:

تم استعراض نتائج التطبيق العملي وتفسيرها في ضوء الإطار النظري للدراسة، ذلك بهدف الإجابة عن أسئلة الدراسة وتحقيق أهدافها، مع التركيز على إبراز دور برنامج Protégé في دعم تنظيم المعرفة وتمثيلها دلاليًا داخل بيئات إدارة المعرفة.

حدود الدراسة

اقتصرت الدراسة على الحدود الآتية:

- **الحدود الموضوعية:** تقتصر الدراسة على استقصاء دور وإمكانات برنامج Protégé من منظور هندسة المعرفة، بوصفه أداةً لبناء الأنطولوجيا ودعم تنظيم وتمثيل المعرفة دلاليًا، ولا تمتد إلى تقييم فاعليته كنظام متكامل لإدارة المعرفة أو قياس أثره التنظيمي أو المؤسسي.
- **الحدود التطبيقية:** اعتمدت الدراسة نموذجًا أنطولوجيًا مبسّطًا لأغراض توضيحية، دون السعي إلى بناء أنطولوجيا مكتملة لمجال واقعي، وذلك باستخدام (الإصدار 5.6.7) من برنامج Protégé.
- **الحدود اللغوية:** تعتمد الدراسة على استعراض وتحليل أدبيات علمية متنوعة، المنشورة باللغة الإنجليزية واللغة العربية، ذات الصلة بموضوع البحث.

مصادر البحث

اعتمدت هذه الدراسة على مراجعة منهجية للأدبيات والدراسات العلمية المنشورة ذات الصلة بموضوع البحث، بهدف بناء إطار نظري وتحليلي لدور الأنطولوجيا مع التركيز على برنامج Protégé. وقد تم ذلك

من خلال مراجعة الدراسات التي تناولت الأنطولوجيا، الويب الدلالي، وبرنامج Protégé، في سياقات معرفية وتنظيمية مختلفة.

ولتحقيق ذلك، تم اعتماد الأدبيات التالية:

- **الكتب المتخصصة والبحوث والدراسات العلمية المنشورة في دوريات علمية:**

وقد أُجريت عملية البحث بصورة منهجية ومنظمة باللغتين العربية والإنجليزية، بالاعتماد على قواعد بيانات علمية متخصصة مثل Direct Science، إضافة إلى دار المنظومة بوصفها قاعدة بيانات عربية، إلى جانب محركات بحث علمية مثل Google Scholar، والاستفادة من المنصات الأكاديمية لتتبع الإنتاج العلمي عند الحاجة، مثل ResearchGate، وذلك لضمان شمولية التغطية وحداثة المصادر المستخدمة.

- **تم استخدام الكلمات المفتاحية التالية في البحث:**

Knowledge Management, Knowledge Organization, Ontology, Protégé, Semantic Web, Semantic Representation, Knowledge Management Systems.

مراجعة الدراسات السابقة

تمت مراجعة عدد من الدراسات السابقة العربية والأجنبية، وتم ترتيبها من الأقدم للأحدث:

1. دراسة بعنوان «**Comparison Some of Ontology Editors**» التي قدمها **Alatrish** في عام (2013). هدفت دراسة العطريش إلى مقارنة عدد من أدوات بناء الأنطولوجيا المرتبطة بالويب الدلالي، من خلال تحليل خمس أدوات رئيسة هي: Apollo، Onto Studio، Protégé، Swoop، و(Top Braid Composer (Free Edition. وقد ركّزت الدراسة على وصف البنية العامة والخصائص الأساسية لهذه الأدوات، إضافة إلى طرق استخدامها، مع اعتماد سهولة الاستخدام وإمكانية التطبيق في مجالات مختلفة بوصفهما المعيارين الرئيسين للمقارنة. وأظهرت نتائج الدراسة أن أدوات Apollo وProtégé وSwoop تُعد أدوات مفتوحة المصدر، في حين تتطلب Onto Studio و(Top Braid Composer (FE تراخيص برمجية. كما بيّنت الدراسة أن Protégé و Onto Studio يتميزان بواجهات رسومية قوية تدعم بناء الأنطولوجيا وتمثيلها بصريًا، في حين يُعد Swoop تطبيقًا قائمًا على الويب. وأشارت النتائج إلى أن معظم الأدوات المدروسة، ومنها Protégé، تدعم إنشاء الفئات والعلاقات، والاستيراد والتصدير بصيغ متعددة، وتوفير العرض البصري للأنطولوجيا، إضافة إلى إرفاق محركات استدلال منطقية. وخلصت الدراسة إلى أن تطوير الأنطولوجيات يعتمد بدرجة كبيرة على طبيعة المهمة المستهدفة، وأن اختيار أداة بناء الأنطولوجيا يجب أن يتم وفق مدى سهولة صيانتها ومرونتها وقدرتها على التعبير الدقيق عن الواقع المعرفي للمجال.

2. دراسة بعنوان «**أنطولوجيا الويب الدلالي ودورها في تعزيز المحتوى الرقمي: دراسة في المفاهيم والبنية الهيكلية والخدمات التفاعلية في البوابات الدلالية للتعلم الإلكتروني**» والتي قدمها **فرج** (2015). تناولت الدراسة المفاهيم والمبادئ الأساسية لأنطولوجيا الويب الدلالي، ودورها في تخطي إشكاليات البحث والاسترجاع في البوابات الدلالية لأنظمة التعلم الإلكتروني، وذلك استناداً إلى قدرتها على التحليل المتقدم للمحتوى الرقمي. وركزت الدراسة على استعراض البنية الهيكلية للأنطولوجيا في إطار علاقتها بالمكونات الأساسية الأخرى للويب الدلالي، بهدف التعرف على دورها وآثارها في تعزيز الخدمات التفاعلية مثل التخصيص، والشخصنة، والملاحة الدلالية، وآليات العمل التعاوني، والتشغيل البيني بين التطبيقات. وتنبع أهمية الدراسة من القضايا التي تواجهها بوابات مؤسسات المعلومات في قطاع التعلم الإلكتروني، مثل صعوبة تحديد السياق الدلالي لمصادر المعلومات المسترجعة، وتحقيق التكامل والتشغيل البيني بين الأنظمة، وقصور أدوات البحث التقليدية في التعامل مع المعنى الدلالي للمحتوى الرقمي. واعتمدت الدراسة على منهج البحث الوصفي التحليلي، مدعوما بتحليل المحتوى، وقائمة مراجعة، ومقابلات مع المهتمين بالتعلم الإلكتروني، إضافة إلى مراجعة أدبيات الإنتاج الفكري ذات الصلة. كما تضمنت الدراسة تطبيقاً عملياً لبناء الأنطولوجيا باستخدام محرر Protégé، حيث أوضحت الأشكال إنشاء الأنطولوجيا وفق هذا البرنامج المتخصص في إنشائها وتطويرها. وخلصت الدراسة إلى أن تطبيقات الويب الدلالي تمثل اتجاهًا مستقبليًا للشبكة العالمية، وأن الأنطولوجيا تعد أداة فعالة للتحليل المتقدم للمحتوى والخدمات، من خلال ربط المفاهيم والمصطلحات بعلاقات دلالية واضحة، بما يسهم في تطوير البحث والاسترجاع، ودعم مشاركة وإعادة استخدام وحدات وكيانات التعلم داخل البوابات الدلالية.

3. دراسة بعنوان « **Ontological Model of Knowledge Management for Research and Innovation**» التي قدّمها **Muñoz** وآخرون في عام (2016)، هدفت إلى تطوير نموذج لإدارة المعرفة في بيئات البحث والابتكار بالاعتماد على الأنطولوجيات بوصفها أداة لنمذجة المعرفة وتنظيمها. ركّزت الدراسة على تمثيل مكوّنات إدارة المعرفة داخل المنظمة، بما يشمل نموذج الأعمال، وعمليات المنظمة، ورأس المال الفكري بأبعاده البشرية والهيكلية والعلائقية، إضافة إلى عمليات إدارة المعرفة المدعومة بالتقنيات المناسبة. واعتمد الباحثون على بناء نموذج أنطولوجي يمثّل عناصر المنظمة في صورة فئات وفئات فرعية، ويتيح استنتاج عناصر معرفية ناتجة عن تطبيق البديهيات والعلاقات المنطقية على المعرفة المصرّح بها من خلال آليات الاستدلال المنطقي، دون الاعتماد على تقنيات اكتشاف المعرفة أو التنقيب في البيانات. وخلصت الدراسة إلى أن النموذج الأنطولوجي المقترح يسهم في توجيه أنشطة إدارة المعرفة في البحث والابتكار، ويدعم بناء نماذج معرفية قابلة للتطبيق في مجالات معرفية مختلفة، مع التأكيد على دور الأنطولوجيا في تمثيل المعرفة

وتنظيمها ودعم عمليات الاستدلال.

4. دراسة بعنوان «**الخارطة المعرفية لرؤية السعودية 2030 باستخدام الأنطولوجيا**» والتي قدمها **الخزاعي والسريحي** (2019). هدفت الدراسة إلى توظيف الأنطولوجيا بوصفها أداة لتنظيم وتمثيل المعرفة، من أجل بناء خارطة معرفية شاملة لرؤية المملكة العربية السعودية 2030، وذلك من خلال تحليل مضامين الرؤية، واستخلاص المفاهيم والمصطلحات المرتبطة بها، وبناء العلاقات الدلالية التي تربط بينها. وتنبع أهمية الدراسة من كونها من الدراسات العربية القليلة التي تناولت بناء أنطولوجيا تطبيقية لمجال استراتيجي وطني يتمثل في رؤية المملكة العربية السعودية 2030، كما تبرز أهميتها في إسهامها في دعم إنتاج المعرفة العربية، من خلال تنظيم المفاهيم والمصطلحات المرتبطة بالرؤية، وتحويلها إلى قاعدة معرفة يمكن الإفادة منها في إدارة المعرفة ومشاركتها في هذا المجال. واعتمدت الدراسة على منهج تحليل المحتوى بوصفه المنهج الرئيس لجمع البيانات وتحليلها، حيث قام الباحثان بتحليل الوثائق الورقية والإلكترونية المتعلقة برؤية السعودية 2030، بهدف حصر المفاهيم والمصطلحات الرئيسة والفرعية، وفهم العلاقات الدلالية التي تربط بينها. وتم بناء الأنطولوجيا اعتماداً على منهجية مقترحة تضمنت مراحل استخلاص المفاهيم، وتحديد خصائصها، وبناء العلاقات الدلالية، ثم تمثيلها في صورة خارطة معرفية منظمة. وتوصلت الدراسة إلى أن الأنطولوجيا تمثل أداة فعالة في تنظيم المعرفة المرتبطة برؤية السعودية 2030، ودعم إدارتها ومشاركتها، من خلال إبراز العلاقات البينية بين محاور الرؤية وبرامجها ومبادراتها، والمساهمة في بناء قاعدة معرفة (Knowledge Base) منظمة وقابلة للتحديث، بما يعزز عمليات البحث والاسترجاع الدلالي للمعلومات. وأوصت الدراسة بأهمية تبني الأنطولوجيا كأداة داعمة لإدارة وتنظيم المعرفة، مع التأكيد على ضرورة تطوير الأنظمة المحلية، ودمج التاكسونومي مع الأنطولوجيا، بما يسهم في دعم تطوير مواقع الويب الدلالي.

5. دراسة بعنوان « **Development of Protégé-Based Ontology for E-Learning Semantic Web Applications**»، التي قدمها **Ezekiel** وآخرون في عام (2023). هدفت هذه الدراسة إلى تطوير أنطولوجيا معتمدة على برنامج Protégé لدعم تطبيقات الويب الدلالي في مجال التعلّم الإلكتروني. اعتمد الباحثون على استخدام خادم Protégé Web Ontology Server، حيث تم تحميل محتوى التعلّم الإلكتروني عبر موجّه الأوامر باستخدام واجهة برمجة تطبيقات Protégé (Protégé Web API)، ثم استخراج الأنطولوجيا الناتجة بصيغة RDF. بعد ذلك، أُتيحت الأنطولوجيا للاستخدام من خلال تطبيق ويب تابع لطرف ثالث يتصل بخادم Protégé ويُمكّن من عرض المحتوى الدلالي والتفاعل معه.

6. دراسة بعنوان « **Ontology Design of a Modern Learning Environment and Modern Pedagogy Using Protégé Software**» التي قدّمها **Auna** وآخرون في عام (2024)، هدفت إلى تصميم أنطولوجيا لبيئات التعلّم الحديثة والبيداغوجيا المعاصرة باستخدام برنامج Protégé، وذلك اعتمادًا على منهجية البحث المكتبي (Library Research). سعت الدراسة إلى بناء تمثيل رسمي للمعرفة يوضّح بنية المفاهيم والعلاقات والخصائص المرتبطة ببيئات التعلّم الحديثة، بما يتيح فهمًا أعمق للعناصر الأساسية في العملية التعليمية والعلاقات فيما بينها. وأظهرت نتائج الدراسة أن استخدام الأنطولوجيا يوفّر إطارًا منظمًا لتصميم وتطوير بيئات تعلّم تكيفية واستجابية قادرة على التكيّف مع خصائص المتعلّم والاستجابة لسياق التعلّم وتفاعلاته، كما يدعم توصيف مفاهيم رئيسية مثل التعلّم التعاوني، وتكامل التكنولوجيا، والتعلّم المخصص. وخلصت الدراسة إلى أن الأنطولوجيا المصممة باستخدام Protégé تمثّل أداة فعّالة لتنظيم المعرفة التعليمية، وإدارة العلاقات بين المتعلمين والمعلمين ومواد التعلّم، وتعزيز دمج تقنيات المعلومات في التعليم، بما يسهم في تحسين جودة وفاعلية التعلّم في البيئات التعليمية الحديثة.

7. دراسة بعنوان « **NIRS: An Ontology for Non-Invasive Respiratory Support in Acute Care**» التي قدّمها **Islam** وآخرون في عام (2025). هدفت هذه الدراسة إلى تطوير أنطولوجيا موحّدة للدعم التنفسي غير الغازي (Non-Invasive Respiratory Support – NIRS) لدعم تمثيل المعرفة في سياقات الرعاية الحادة. وقد ركّزت الدراسة على تمثيل المكوّنات الرئيسية المرتبطة بالدعم التنفسي غير الغازي، بما في ذلك خصائص المرضى، والمؤشرات السريرية، ومعلمات العلاج، والنتائج، ضمن بنية موحّدة قابلة للقراءة الآلية. اعتمد الباحثون في تطوير الأنطولوجيا على بيانات واقعية مستمدة من نظام وحدة العناية المركزة الإلكترونية التعاونية (Electronic Intensive Care Unit – eICU Collaborative Research Database)، وتم ترميزها باستخدام دلالات لغة ويب الأنطولوجيا (Web Ontology Language – OWL) وبرنامج Protégé لتنظيم المفاهيم والعلاقات السريرية. ولتمكين الاستدلال السريري القائم على القواعد بما يتجاوز البنى الهرمية، تمت إضافة قواعد لغة قواعد الويب الدلالي (Semantic Web Rule Language – SWRL)، كما استُخدمت استعلامات SPARQL لتنفيذ الاستعلامات الخاصة بكل مريض واختبار الاستدلالات المستهدفة. وتضمنت الدراسة تقييم الاستدلال المنطقي من خلال إضافة 17 سيناريو سريري افتراضي للمرضى. وأظهرت النتائج أن الأنطولوجيا تضم 132 فئة، و12 خاصية كائنية، و17 خاصية بيانية، موزعة على 882 بديهية تُنشئ العلاقات بين المفاهيم. كما تمت إضافة 350 وسمًا توضيحيًا لتوحيد المفاهيم السريرية، شملت تعريفات وصفية مستندة إلى مفردات مضبوطة. وقد نجحت استعلامات SPARQL في التحقق من جميع حالات الاختبار من خلال

استرجاع نتائج المرضى المناسبة، مثل إمكانية تجنّب التنبيب الرغامي في بعض حالات الفشل التنفسي الحاد عند استخدام قنية الأنف عالية التدفق لمدة محددة. وخلصت الدراسة إلى أن أنطولوجيا NIRS تمثّل المفاهيم المتخصصة في المجال تمثيلًا رسميًا، بما في ذلك أنماط التهوية، وخصائص المرضى، ومعلمات العلاج، والنتائج، مع إثبات قدرتها على دعم الاستدلال القائم على القواعد وتقديم توصيات علاجية، بما يوفّر أساسًا لممارسات توثيق أكثر اتساقًا، والتكامل مع نماذج البيانات السريرية، وإجراء تحليلات متقدمة لنتائج الدعم التنفسي غير الغازي.

التعليق على الدراسات السابقة

جدول رقم (1): أوجه الشبه والاختلاف بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية (من إعداد الباحثتين)

م	الدراسة	أوجه الشبه	أوجه الاختلاف
1	دراسة Alatrish (2013)	تتقاطع مع الدراسة الحالية في الاهتمام بأدوات بناء الأنطولوجيا، وذكر Protégé بوصفه أداة أساسية في تطوير الأنطولوجيات.	تركز على المقارنة بين الأدوات ولا تتناول بناء أنطولوجيا لمجال معرفي محدد أو تطبيقها عمليًا.
2	دراسة فرج (2015)	تتشابه مع الدراسة الحالية في تطبيق الأنطولوجيا لدعم تنظيم وتمثيل المعرفة، واستخدام محرر Protégé في بناء الأنطولوجيا بصورة فعلية.	تركز على تطبيق الأنطولوجيا في مجال البوابات الدلالية للتعلم الإلكتروني، وتعتمد المنهج الوصفي التحليلي للوصول إلى تصور عام لبوابة دلالية، مع استخدام Protégé كأداة تنفيذ، في حين تنظر الدراسة الحالية إلى Protégé من زاوية تنظيم وتمثيل المعرفة ضمن إطار إدارة المعرفة.
3	دراسة Muñoz-García وآخرون (2016)	تشترك مع الدراسة الحالية في توظيف الأنطولوجيا لدعم إدارة المعرفة، وتمثيل المعرفة، والاستدلال المنطقي، وتنظيم العلاقات بين المفاهيم.	تركّز على بناء نموذج أنطولوجي لإدارة المعرفة على مستوى المنظمة، ولا تقيّم أداة Protégé ذاتها من حيث الخصائص التقنية أو دورها في تنظيم المعرفة.
4	دراسة الخزاعي والسريحي (2019)	تتقاطع مع الدراسة الحالية في استخدام الأنطولوجيا لتنظيم المفاهيم وبناء العلاقات الدلالية ودعم إدارة ومشاركة المعرفة.	تركز على تطبيق الأنطولوجيا في مجال استراتيجي مرتبط برؤية السعودية 2030، وتهدف إلى بناء خارطة معرفية ومنتج معرفي نهائي، في حين تتناول الدراسة الحالية Protégé من منظور تحليل وتقويم البرنامج كأداة تنظيم وتمثيل المعرفة.
5	دراسة Ezekiel وآخرون (2023)	تتشابه مع الدراسة الحالية في الاعتماد على Protégé لبناء أنطولوجيا فعلية، واستخدام OWL وRDF، والاستفادة من إمكانات Protégé التقنية.	تنصبّ على الجانب التقني للتكامل مع Protégé Web API والتطبيقات الشبكية، دون تحليل دور Protégé في تنظيم المعرفة أو تقييمه من منظور إدارة المعرفة.
6	دراسة Auna وآخرون (2024)	تشترك مع الدراسة الحالية في استخدام Protégé لتصميم أنطولوجيا تطبيقية، وفي إبراز دور الأنطولوجيا في تنظيم وتمثيل المعرفة داخل مجال محدد.	تركّز على المجال التعليمي فقط، وتعتمد منهجية وصفية تصميمية، دون تناول دور Protégé ذاته من منظور تنظيم وتمثيل المعرفة ضمن إطار إدارة المعرفة.
7	دراسة Islam وآخرون (2025)	تتقاطع مع الدراسة الحالية في توظيف الأنطولوجيا لتمثيل المعرفة الدلالية، واستخدام محرر Protégé ولغة OWL، والاستفادة من إمكانات الاستدلال المنطقي (SWRL وSPARQL) في تنظيم العلاقات بين المفاهيم.	تركز على بناء أنطولوجيا متخصصة في المجال الصحي لدعم تمثيل المعرفة السريرية واتخاذ القرار العلاجي، وتهدف إلى تطوير نموذج تطبيقي لمجال محدد، في حين تنظر الدراسة الحالية إلى Protégé من منظور تحليلي تقويمي بوصفه أداة لتنظيم وتمثيل المعرفة ضمن إطار علم المعلومات وإدارة المعرفة.

وخلصت الباحثتان بعد استعراض تلك الدراسات إلى ما يلي:

أن معظم الدراسات السابقة ركّزت إمّا على المقارنة التقنية بين أدوات بناء الأنطولوجيا، أو على توظيف الأنطولوجيا في نماذج إدارة المعرفة دون تناول الأداة من منظور تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية ضمن إطار إدارة المعرفة. ومن هنا تأتي أهمية الدراسة الحالية التي تسعى إلى سد هذه الفجوة من خلال التحقق من انطباق المعايير على برنامج Protégé بوصفه أداة داعمة لتنظيم وتمثيل المعرفة، مع ربط خصائصه التقنية بعمليات إدارة المعرفة، دون افتراض كونه نظام إدارة معرفة متكاملًا. وبذلك تتميز الدراسة الحالية بتركيزها على تناول أداة Protégé ذاتها من منظور تنظيم المعرفة، وليس فقط توظيف الأنطولوجيا في مجال تطبيقي.

الإطار النظري للدراسة

في ظل التحولات الرقمية المتسارعة وتزايد الاعتماد على النظم الذكية، أصبحت إدارة المعرفة محورًا استراتيجيًا في المنظمات الحديثة؛ لما تؤديه من دور محوري في تنظيم المعرفة، وتحسين الوصول إليها، واستثمارها في دعم اتخاذ القرار وتحقيق الميزة التنافسية. وقد أسهم ذلك في إبراز الحاجة إلى أدوات تنظيم معرفي متقدمة قادرة على تمثيل المعرفة تمثيلًا دلاليًا دقيقًا، يعكس المعنى والسياق، ويدعم التكامل بين النظم الذكية وبيئات إدارة المعرفة.

وتُعدّ الأنطولوجيا من أكثر أدوات تنظيم المعرفة تقدمًا؛ نظرًا لقدرتها على تمثيل المفاهيم والعلاقات فيما بينها تمثيلًا رسميًا وقابلًا للاستدلال الآلي، فضلًا عن دورها في دعم تطبيقات الويب الدلالي والأنظمة الذكية. وفي هذا السياق، برز برنامج Protégé بوصفه أداة مفتوحة المصدر لبناء الأنطولوجيات، لما يوفره من بيئة تطوير رسومية مرنة تدعم لغات الويب الدلالي، وتتيح تصميم النماذج المعرفية والتحقق من اتساقها المنطقي.

وانطلاقًا من ذلك، يستند الإطار النظري للدراسة إلى الربط بين الأنطولوجيا بوصفها أداة لتنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية، وبرنامج Protégé باعتباره بيئة تطبيقية داعمة لهندسة المعرفة، تمهيدًا لتحليل دوره في دعم تنظيم المعرفة ضمن إطار إدارة المعرفة.

المبحث الأول: الأنطولوجيا (*Ontology*)

أولاً: مفهوم الأنطولوجيا:

يشير الويسي (2019) إلى أن الأنطولوجيا، من حيث معناها اللغوي، هي كلمة ذات أصل لاتيني حديث تتكوّن من مقطعين يشكلان معًا معنى "علم الوجود"، فالمقطع الأول Onto يعني "الوجود"، والمقطع الثاني Logy يعني "العلم" أو "النظرية". وفي الفلسفة الكلاسيكية، وتحديدًا عند أرسطو وديكارت

وسبينوزا، تُشير الأنطولوجيا إلى العلم الذي يدرس الوجود أو الجوهر بما هو موجود. (الويسي، 2019، ص. 10)

كما عرّفها غروبر (1993) بأنها "توصيف صريح لتصوّرٍ مفاهيمي"، وهو تعريف يُستعار من الفلسفة، حيث تشير الأنطولوجيا إلى عرضٍ منهجيٍ للوجود. وفي الأنظمة المعتمدة على المعرفة، يُمثّل "الوجود" كل ما يمكن تمثيله رسميًا ضمن ما يُعرف بـ "عالم الخطاب" (universe of discourse)، أي مجموعة الكيانات والعلاقات الرسمية التي تشكّل مفردات التمثيل (representational vocabulary) التي تستخدمها الأنظمة لتمثيل المعرفة ذاتها. (Gruber, 1993, p. 199)

ووضّحت رفاعي استنادًا إلى عبد الغني الإدريسي، أن الأنطولوجيا هي طريقة لتمثيل المفاهيم من خلال الربط بينها بعلاقات ذات معنى، مما يسهم في تسهيل ربط الأشياء وفهم المفاهيم المختلفة في مجال المعرفة. (رفاعي، 2021، ص. 260)

ويرى مونوز وآخرون (2016) أن الأنطولوجيا "توصيف رسمي وصريح لتصوّرٍ مشترك"، وهو ما يسمح بالتعبير الدقيق والواضح عن حقائق المجال والعلاقات القائمة بينها. وتمثل الأنطولوجيا إطارًا رسميًا لتنظيم المعرفة في بناءٍ يمكن إعادة استخدامه ومشاركته بسهولة (Muñoz et al., 2016, p. 47). كما توفّر الأنطولوجيات لغةً أو مفرداتٍ مشتركة لمجالٍ محدد، وتُستخدم بدرجاتٍ مختلفة من الرسمية لتوضيح المعاني الدلالية للمصطلحات والعلاقات التي تربط بينها. وعادةً ما تُنظَّم فئات الأنطولوجيا في تصنيفاتٍ هرمية (Taxonomies)، إلا أن بعض التعريفات الأقل تقييدًا تعتبر أن هذه التصنيفات نفسها يمكن أن تُعدّ أنطولوجياتٍ كاملة. (Muñoz et al., 2016, p. 47)

ومن خلال ما تقدّم، تستخلص الدراسة أن تحقيق إدارة معرفة فعّالة لا يقتصر على فهم المفاهيم النظرية للأنطولوجيا فحسب، بل يتطلب تطبيقها عمليًا في بيئة رقمية تدعم التمثيل الدلالي للمفاهيم والعلاقات. لذا، قامت الدراسة في الجزء التطبيقي بتنفيذ نموذج أنطولوجي داخل برنامج Protégé، بوصفه إحدى أهم برامج تحرير وبناء الأنطولوجيا (بامفلح، 2022، ص. 107)، والتي تمكّن من تحويل المفاهيم النظرية إلى بنية معرفية قابلة للتحليل والمشاركة ضمن بيئات العمل الذكية.

ومن خلال ما سبق، تُعرِّف الباحثتان الأنطولوجيا إجرائيًا بأنها: نظام معرفي رسمي يُستخدم لتمثيل المفاهيم والعلاقات داخل مجالٍ محدّد، من خلال بنيةٍ مفاهيمية منظمة ورسمية تُظهر الارتباطات الدلالية بين الكيانات بهدف تسهيل تمثيل المعرفة وتنظيمها عبر بيئات رقمية ذكية مثل الويب الدلالي.

ثانيًا: دور الأنطولوجيا في التكامل الدلالي:

يرى عبد السلام وآخرون (2021) أن الأنطولوجيات تمثل تجريدًا لتصوّرٍ مفاهيميٍ يتضمّن مفاهيم محددة بوضوح والعلاقات المرتبطة بها. ونظرًا إلى أنّ الأنطولوجيات تُعد وسيلةً لتبادل المعرفة وإعادة

استخدامها، فإنّ توحيد المعرفة المستمدة من أنطولوجيات متعددة يمكن أن يسهم في تعزيز التعريف الدلالي للمصطلحات. (Abdulsalm et al., 2021, p. 149)

كما أضافوا أن الأنطولوجيات تُنشأ عادةً لأغراضٍ محددة، ولذلك فهي لا تكون شاملةً في ربط المصطلحات الخاصة بالمجالات العامة. ومن خلال دمج الأنطولوجيات المتاحة، تتوسع مجموعة المصطلحات أو الموارد، مما يزيد من احتمال توفر المصطلحات المترادفة ووصفها بشكلٍ كافٍ. (Abdulsalm et al., 2021, p. 149)

ويمكن جعل المعرفة الخاصة بمجالٍ ما صريحةً من خلال استخدام الأنطولوجيات، إلا أنّ تطويرها غالبًا ما يتم بصورةٍ منفصلة، ولا توجد جهودٌ موحّدة لبناء أنطولوجيا واحدة شاملة. إنّ هذه الجهود الفردية تمتلك كلٌّ منها نقاط قوة وضعف خاصة، وقد يكون دمج هذه الموارد مفيدًا في توفير قاعدة ثرية من المعرفة لمجالٍ معين. (Abdulsalm et al., 2021, p. 150)

وأخيرًا أشار عبد السلام وآخرون إلى أنّ الويب الدلالي لن يحقق هدفه الكامل إلا عندما تُعرض جميع مصادر البيانات المرتبطة ضمن منصةٍ مشتركة تعتمد على التكامل الفعّال بين الأنطولوجيات. (Abdulsalm et al., 2021, p. 150)

ثالثًا: علاقة الأنطولوجيا بالويب الدلالي:

تشير رفاعي (2021) إلى أن الويب الدلالي يُعد البيئة التي تعمل ضمنها الأنطولوجيا، إذ يعزّز قدرتها على تمثيل المعاني بطريقةٍ تُحاكي الفهم البشري. وتوضح أن الأنطولوجيا تُعنى بتمثيل المفاهيم وتنظيمها من خلال ربطها بعلاقاتٍ دلالية تساعد على توحيد المعاني بين المفاهيم المختلفة، مما يجعلها أحد الأسس الجوهرية لتحقيق التكامل الدلالي بين الأنظمة والمفاهيم. وفي هذا السياق، ظهر مصطلح الويب الدلالي (Semantic Web) للدلالة على الامتداد المتطور لشبكة الويب التقليدية، الذي يهدف إلى ربط البيانات بالمعاني والسياقات بحيث تتمكّن الآلات من فهم مدلولات الألفاظ كما يفهمها الإنسان. (رفاعي، 2021، ص. 260)

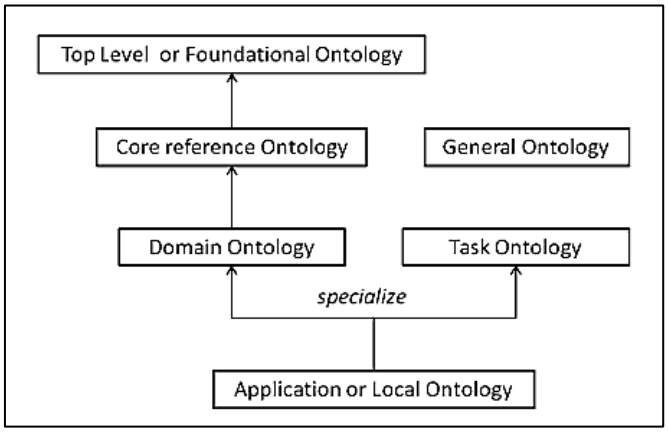
كما تشير الهزاني (2011) إلى أن الويب الدلالي يمثل نقلة نوعية في تطوّر شبكة الويب، إذ يُمكّن الحواسيب من فهم العلاقات الدلالية بين المفاهيم ومعالجة البيانات وفق المعنى وليس الشكل فقط. وتوضح أن هذا المفهوم يُجسّد رؤية تيم برنرز لي (Tim Berners-Lee)، مؤسس شبكة الويب العالمية (WWW)، الذي صاغ فكرة استخدام الأنطولوجيات كوسيلة لربط المفاهيم والمصطلحات داخل بيئة رقمية ذكية، مما يسمح باسترجاع المعلومات بدقةٍ أعلى. وتُعدّ الأنطولوجيا في هذا السياق البنية الأساسية لبناء محركات بحثٍ قادرة على تفسير المحتوى وفق المعنى وليس اللفظ فقط. (الهزاني، 2011، ص ص. 59-60)

وفي السياق نفسه، يؤكد الأكلبي وعارف (2015) أن مفهوم الويب الدلالي يقوم على تحويل البيانات إلى صيغٍ يمكن للحواسيب فهمها ومعالجتها دلاليًا، بحيث تُفسّر البرامج المعاني والمضامين البشرية بطريقةٍ منطقية ومنظمة. كما أشار الباحثان إلى أن معجم اتحاد شبكة الويب العالمية (W3C) عرّف الويب الدلالي بأنه "شبكة بيانات بالمعنى"، أي أن البرامج الحاسوبية تستطيع إدراك دلالة البيانات لا مجرد قراءتها، وهو ما يُمثّل الأساس في تحقيق الويب الدلالي من خلال التكامل بين الأنطولوجيا والبيانات المترابطة. (الأكلبي وعارف، 2015، ص. 201)

ومن خلال ما سبق، يتّضح أن الأنطولوجيا تُعدّ الركيزة الأساسية لتحقيق الويب الدلالي، إذ تسهم في تنظيم المفاهيم والعلاقات الدلالية داخل البيئات الرقمية الذكية، بما يدعم استرجاع المعرفة وتحليلها على نحو دلالي.

رابعًا: أنواع الأنطولوجيا:

وفقًا لروسّي وآخرون (2011)، يمكن تصنيف الأنطولوجيات إلى خمس فئات رئيسية بحسب نطاقها أو درجة عموميتها وتخصصها. يوضح الباحثون أن هذا التصنيف يعكس التدرّج من أكثر الأنطولوجيات عمومية (Foundational) إلى أكثرها خصوصية (Application). يوضح شكل رقم (1) أنواع الأنطولوجيا وفق تصنيف Roussey وآخرين:



شكل رقم (1): أنواع الأنطولوجيا (Roussey et al., 2011, p. 26)

ويتضح من الشكل السابق أن أنواع الأنطولوجيا تنقسم إلى:

1. الأنطولوجيا المحلية أو التطبيقية (Local/Application Ontologies):

وهي الأنطولوجيات التي تُطوّر عادةً لتلبية احتياجات تطبيق محدد، وتُمثّل تخصيصًا لأنطولوجيا المجال. وتُستخدم هذه الأنطولوجيات غالبًا عندما لا يوجد اتفاق أو مشاركة معرفية بين المطورين أو المستخدمين المختلفين، إذ تجمع بين أنطولوجيا المجال وأنطولوجيا المهمة لتحقيق هدف تطبيقي

محدد.

2. أنطولوجيا المجال (Domain Ontologies):

تصف المفاهيم والعلاقات الخاصة بمجال معرفي محدد من وجهة نظر مجموعة من المستخدمين، مثل مجالات الطب أو الجغرافيا أو التعليم.

3. الأنطولوجيا المرجعية الأساسية (Core Reference Ontologies):

تعمل هذه الأنطولوجيات كمرجع مشترك بين المستخدمين أو الأنظمة المختلفة، وتهدف إلى توحيد المفاهيم المركزية داخل مجال معين من خلال دمج وجهات النظر المتعددة.

4. الأنطولوجيا العامة (General Ontologies):

تمثل مستوى أوسع من المفاهيم والمعارف التي لا تخص مجالًا محددًا، بل تُستخدم لتمثيل المعرفة العامة التي يمكن تطبيقها في عدة مجالات متداخلة.

5. الأنطولوجيا العليا (التأسيسية) (Foundational/Top-Level Ontologies):

وهي أكثر الأنطولوجيات تجريدًا وشمولًا، إذ توفّر الأسس والمفاهيم الأولية التي تُبنى عليها الأنطولوجيات الأخرى، وتشمل مفاهيم عامة مثل الكائنات، والعلاقات، والأحداث، والعمليات. (Roussey et al., 2011, pp. 25-28)

خامسًا: مكونات الأنطولوجيا:

تتمثل أبرز المكونات الرئيسية للأنطولوجيا في الفصول (Classes) والسمات (Attributes) والقيود (Restrictions) والعلاقات(Relations) والأمثلة (Instances) والبديهيات (Axioms) والأحداث (Events)، ويذكر فرج (2015) وبامفلح (2016، ص 79) أن الأنطولوجيا تتألف من عدد من المكونات الرئيسية تشمل:

1. الفئات أو المفاهيم (Classes): تضم المجموعات والمفاهيم والكيانات التي هي قيد التنظيم في مجال أو موضوع معين، مثل المؤسسات التعليمية (الجامعات، الكليات، المعاهد، الدرجات العلمية: بكالوريوس، ماجستير، دكتوراه). وغالبًا ما تُنظم هذه الفئات في تصنيفات هرمية (Taxonomies).
2. السمات أو الخصائص (Attributes): تمثل الخصائص والصفات والجوانب التي ترتبط بالمفاهيم والكيانات، إذ تضم الأنطولوجيا كافة السمات المتعلقة بكل مفهوم
3. القيود (Restrictions): تتعلق بطبيعة القيود المفروضة على دمج الفصول أو المصطلحات، أي ما يُسمح به أو يُمنع ضمن نطاق المفهوم.
4. العلاقات (Relations): توضّح نوع الارتباط بين الفئات والمصطلحات، ومن نماذج العلاقات الدلالية بين عناصر الأنطولوجيا ما يلي:

- التكافؤ (Equivalence) مثل: (الموظف، العامل) تشير علاقة التكافؤ الدلالي إلى أن مفهومين أو أكثر يمثلان المعنى نفسه تمامًا، ويمكن استخدامهما بالتبادل ضمن السياق التنظيمي نفسه.
- الانفصال (Disjointness) مثل: (الموظف الدائم، الموظف المؤقت) تُستخدم علاقة الانفصال الدلالي للتعبير عن أن فئتين لا يمكن أن تشتركا في أي عنصر واحد. إذ لا يمكن للفرد الواحد أن يكون موظفًا دائمًا وموظفًا مؤقتًا في الوقت نفسه.
- التداخل (Overlap) مثل: (الموظف إداري، الموظف الفني) وتعبر علاقة التداخل الدلالي عن إمكانية اشتراك بعض الأفراد في الانتماء إلى فئتين مختلفتين، دون أن تكون الفئتان متكافئتين أو منفصلتين بالكامل.

5. الأمثلة (Instances): تمثل وجوهًا أو عناصر محددة من الفئات أو المفاهيم، مثل :جمهورية مصر العربية مثيل ضمن فئة البلدان العربية.
6. البديهيات (Axioms): هي قواعد واضحة تُستخدم لتمثيل المعرفة وتقييد استخدام المفاهيم. تُعدّ أساسية لاستنتاج المعرفة الجديدة وتأكيد العلاقات المنطقية بين المفاهيم. مثال على ذلك ليس من المنطقي السفر بالقطار من أمريكا إلى أوروبا.
7. الأحداث (Events): تمثل التغيرات في السمات أو العلاقات داخل الأنطولوجيا، أي ما يطرأ من تحولات زمنية أو سياقية على المفاهيم. (فرج، 2015، ص. 9)

سادسًا: الخطوات العامة لتصميم الأنطولوجيا:

أشار روسّي وآخرون (2011) إلى أن هناك العديد من المنهجيات المقترحة في مجال هندسة الأنطولوجيا لتصميم الأنطولوجيات والتي تستخدم على نطاق واسع في مشروعات تطوير الأنطولوجيا داخل بيئات المعرفة الذكية، ومن أكثرها اكتمالًا وانتشارًا منهجية ميثودولوجي (Methontology) التي وضعها جوميز بيريز وآخرون (Gómez-Pérez et al., 2004)، ومنهجية أون-تو-نوليدج (On-to- Knowledge) التي قدمها شور وآخرون (Sure et al., 2003) وتوضح هذه المنهجيات أن عملية تطوير الأنطولوجيا ليست خطية، بل تتكرر فيها الأنشطة الرئيسية عدة مرات لتحقيق مزيد من الدقة. وتشمل هذه الأنشطة ما يلي:

1. تحديد الأنطولوجيا (Ontology specification).
2. اكتساب المعرفة (Knowledge acquisition).
3. التصوّر أو النمذجة المفاهيمية (Conceptualization).
4. الصياغة الرسمية (Formalization).
5. التنفيذ (Implementation).
6. التقييم (Evaluation).
7. الصيانة (Maintenance).
8. التوثيق (Documentation). (Roussey et al., 2011, p. 30).

سابعًا: لغات تمثيل الأنطولوجيا:

يوضّح الأكلبي وعارف (2015) أن من أهم اللغات التي تستخدم في بناء وتمثيل الأنطولوجيا هي:

1. لغة التكويد القابلة للامتداد والتوسع (Extensible Markup Language) واختصارها (XML):

ظهرت هذه اللغة بهدف تصميم لغة معيارية جديدة وسهلة وذات قدرات عالية، فهذه اللغة تم إنتاجها للحصول على لغة سهلة وقادرة على التعامل ووصف البيانات والنصوص الرقمية الضخمة أو ذات البناء الهيكلي المعقد، إضافة إلى الوسائط الصوتية والمرئية. وهي تتميز بالمرونة الشديدة، وتساعد في تمثيل بنية المحتوى وتيجان الوثائق وتقوم الصفحات من خلال مخططات هذه اللغة بعرض البنى والتبويبات وخصائصها المميزة، وأهم ما يميز لغة XML ما يأتي:

- تعمل هذه اللغة على توصيف المصادر باستخدام أوصاف البيانات في منهجية مهيكلة تؤدي إلى نسق منتظم للبيانات.
- البيانات الوصفية للمحتوى الذي تقوم لغة XML بإنشائها تعد بيانات وصفية، وهذا يجعل قراءتها من قبل الآلة أمراً ميسوراً.
- توفر مخططات لغة XML وسائل تعرف بنية المحتوى والبنية التركيبية للوثائق.

2. لغة إطار توصيف الموارد /المصادر (Resource Description Framework) واختصارها (RDF):

تُعدّ هذه اللغة الأساس لمعماريات الويب الدلالي التي تعتمد عليها مختلف التقنيات والتطبيقات. وتحتاج لغةXML إلى وجود أداة مساعدة في التعريف بالمفاهيم الأساسية التي ترد في الوثيقة وتكون بها، لتمكن من التمثيل والتعبير الدلالي من خلال الاستعانة بإطار توصيف المصادر العام المعروف اختصاراً بـRDF (النشرتي، 2012).

وقد أقر هذا النموذج من قبل رابطة اتحاد الويب W3C عام 2004 م ليكون معياراً لتوصيف المصادر يساعد لغات تمثيل البيانات مثل لغة XML في تمثيل المعلومات أو المحتوى المتاح على الإنترنت بطريقة دلالية للبيانات التي توصف المصادر، بغض النظر عن العلاقة الثنائية بين المصدر وبياناته الوصفية ويصبح تكويدها مفهوماً للإنسان والآلة. وأهم ما يميز RDF ما يأتي:

- توصف العلاقات بين المصادر بصورة أكثر غزارة من لغة XML.
- تجعل من العلاقة بين المصادر علاقة ذات دلالة يفهمها كل من الإنسان والآلة.
- ويأتي دور RDF من خلال تمثيل توصيف العلاقة بين الكيان والصفة التي ينتمي إليها، حيث تُصنَّف المصادر والكيانات داخل فئات موضوعية باستخدام الفئات والفئات الفرعية، إضافة إلى قيامها بتوصيف النطاق والمجال الذي تربطه العلاقة.

3. لغة أنطولوجيا الويب (Web Ontology Language) واختصارها (OWL):

تُعدّ هذه اللغة تطويرًا متقدّمًا للغات السابقة، وهي من أبرز لغات توصيف الأنطولوجيا على الويب. وقد اعتمدت من قبل اتحاد شبكة الويب العالمي، وهي لغة دلالية تكويدية صممت لإنشاء ونشر الأنطولوجيا على الإنترنت.

4. لغة الاستدلال الانطولوجي (Ontology Inference Language) واختصارها (OIL):

تُستخدم هذه اللغة لاستخلاص العلاقات الدلالية داخل الأنطولوجيات، وتُعدّ حلقة وصل بين لغتي RDF وOWL، إذ تجمع بين بساطة الأولى وقدرة الثانية على الاستدلال المنطقي. وتُسهم OIL في توفير لغة مفهومة لتشغيل البني الدلالي بين المصادر المتاحة على الويب.

5. لغة ترميز الوكيل للدفاع المتقدم (DARPA Agent Markup Language) واختصارها (DAML):

هي لغة وُضعت بمبادرة من وكالة مشاريع البحوث المتقدمة الدفاعية الأمريكية (DARPA)، وتهدف إلى تمثيل المعرفة الخاصة بالوكلاء البرمجيين على شبكة الويب، بما يتيح توصيف المفاهيم والعلاقات والقواعد الدلالية بصورة رسمية قابلة للمعالجة الآلية. وقد شكّلت DAML أساسًا لتطوير لغات الويب الدلالي اللاحقة، وأسهمت في تمهيد الطريق لظهور لغات أكثر تقدمًا مثل DAML+OIL ومن ثم OWL. (الأكلبي وعارف، 2015، ص ص. 202-203)

ثامنًا: أدوات بناء الأنطولوجيا:

ذكرت رفاعي (2021) أشهر أدوات بناء الأنطولوجيا Hozo، Protégé، SWOOP، OBO، يوضح جدول رقم (2) أدوات بناء الأنطولوجيا مع نبذة موجزة عن كل أداة (رفاعي، 2021، ص ص. 261–262):

جدول رقم (2): أدوات بناء الأنطولوجيا (من إعداد الباحثتين استنادًا إلى رفاعي (2021، ص ص. 261-262))

الأداة	أداة هوزو (Hozo)	أداة البروتيجيه (Protégé)	أداة سووب (SWOOP)	أداة أوبو (OBO)
نبذة تعريفية	هي أداة برمجية مفتوحة المصدر متخصصة في تطوير الأنطولوجيا، وتُعدّ أحد أهم محررات الرسوم البيانية القائمة على لغة الجافا. تم تطويرها في جامعة أوساكا اليابانية بهدف بناء محركات بحث تعمل في بيئة الويب الدلالي. وتقوم بوظائفها من خلال منهجية تعتمد على مبادئ الأنطولوجيا لإدارة المعلومات في بيئة الويب بطريقة منظمة وواضحة، بهدف تفعيل دور الأنطولوجيا كإحدى تقنيات الويب الدلالي.	تُعدّ محرر أنطولوجيا مفتوح المصدر، مجاني ومتاح للاستخدام في تطوير أطر النظم الذكية. تم تطوير الأداة في جامعة ستانفورد، في مركز أبحاث المعلومات الطبية الحيوية بكلية الطب. تهدف الأداة إلى تطوير طرق حديثة للحصول على المعلومات المتعلقة بصحة الإنسان وتمثيلها ومعالجتها من خلال ترجمة البيانات الحيوية إلى رؤية قابلة للتنفيذ لدعم اتخاذ القرار. وتتيح الأداة التفاعل عبر الويب، وتوفر بيئة عمل سهلة التطوير والتطبيق.	هي أداة مفتوحة المصدر لإنشاء وبناء الأنطولوجيا، طُورت في جامعة ميريلاند – كولج بارك (University of Maryland, College Park)، وتم إتاحتها مجانًا عبر الإنترنت للجميع.	صُممت هذه الأداة في معهد بيركلي للمشاريع مفتوحة المصدر في الولايات المتحدة الأمريكية عام 2007م. تمتاز بواجهة سهلة التعامل لعرض وبناء الأنطولوجيا، وتُستخدم على نطاق واسع في علم الأحياء لتطوير أنطولوجيات متخصصة. تتيح تحرير الأنطولوجيا بسرعة ودقة، مع التركيز على الصفوف والسمات والخصائص المرتبطة بها.

تستخلص الدراسة من المبحث الأول أن الأنطولوجيا تمثّل الركيزة الأساسية لتنظيم المعرفة، إذ تُحوّل المفاهيم والعلاقات ضمن أي مجال معرفي إلى بنية دلالية مترابطة تسهّل الفهم والاستخدام وإعادة التوظيف. كما أن وضوح مكوّناتها ولغات تمثيلها وأدوات بنائها يمهّد لتطبيقها العملي في أدوات متخصّصة مثل البروتيجيه الذي يُعدّ البيئة الأوسع استخدامًا في بناء الأنطولوجيات الحديثة.

المبحث الثاني: البروتيجيه (*Protégé*)

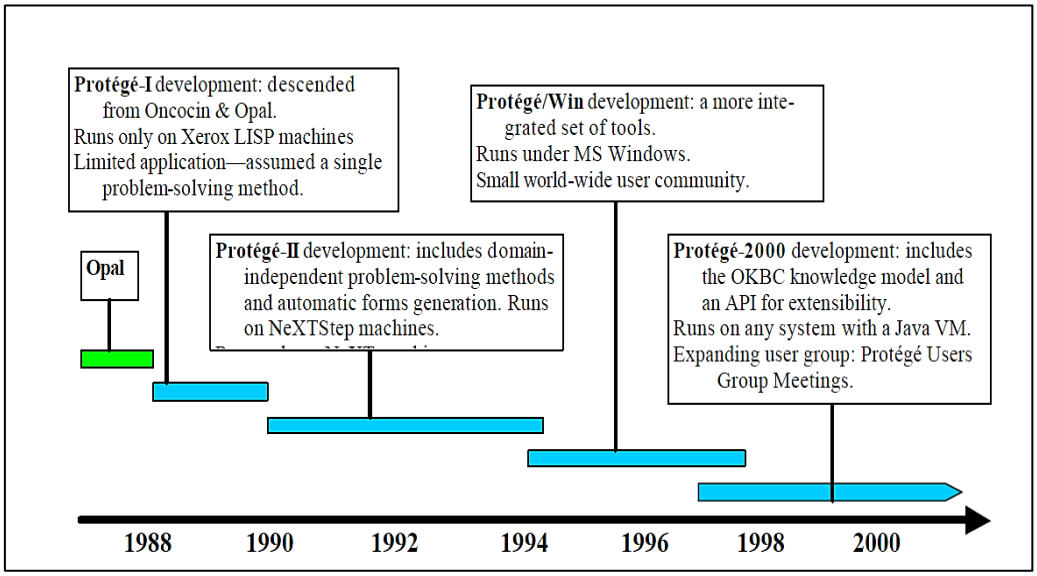
أولاً: تاريخ نشأة برنامج Protégé:

بدأ مشروع Protégé في فترةٍ لم يكن فيها وعيٌ كافٍ بأهمية الأنطولوجيات في توفير البنية التحتية لقواعد المعرفة الإلكترونية، وذلك قبل وقتٍ طويل من انتشار توظيفها في التجارة الإلكترونية ونظم المعلومات بوجهٍ عام. وقد نشأ المشروع في سياق أبحاثٍ أساسية ضمن مجتمع الأنظمة الذكية، بهدف تطوير أساليب أكثر فاعلية لبناء قواعد معرفة جديدة.

ففي ثمانينيات القرن الماضي، حقق باحثو جامعة ستانفورد نجاحًا ملحوظًا من خلال استخدام أداة اكتساب المعرفة الخاصة بالمجال OPAL في بناء قواعد معرفة معقدة لدعم نظام ONCOCIN، وهو نظام استشاري لعلاج السرطان باستخدام العلاج الكيميائي. وقد أظهرت أداة OPAL كفاءة عالية في بناء وصيانة قواعد المعرفة، إلا أنها كانت محدودة النطاق؛ لارتباطها بنموذج مجال واحد وعدم قابليتها للتوسع أو إعادة الاستخدام في مجالات معرفية أخرى.

ونتيجةً لهذه القيود، تم تطوير النظام الأولي Protégé-1 بهدف إتاحة إنشاء وتحرير نماذج المجالات داخل نظم اكتساب المعرفة. ثم ظهر Protégé-II في أوائل تسعينيات القرن الماضي، حيث نُظر إليه بوصفه بيئة تطوير متكاملة (Integrated Development Environment – IDE) لبناء الأنظمة الذكية. وقد وفّر Protégé-II محررًا يُمكّن المطورين من إنشاء أنطولوجيات المجالات، والتي يُوظّفها النظام بدوره في توليد أدوات لاكتساب المعرفة قائمة على الأنطولوجيا، تكون ملائمة لفئات محددة من المشكلات التي تصفها تلك الأنطولوجيات، على نحوٍ مشابه لما كانت تقوم به أداة OPAL. وتعمل هذه الأدوات على استخلاص معرفة المجال اللازمة لبناء قواعد معرفة تشغيلية لمعالجة مشكلات محددة ضمن تلك الفئات. (Musen, 2015, pp. 5-7)

وعلى مدى أكثر من عقدٍ من الزمن، ومن خلال أربعة إصدارات رئيسة، عملت مجموعة نمذجة المعرفة في المعلوماتية الطبية بجامعة ستانفورد على تطوير برنامج Protégé وتحويله إلى بيئة عامة الغرض لنمذجة المعرفة. يوضح شكل رقم (2) التسلسل الزمني لتطوّر نظام Protégé والإصدارات الرئيسية. (Gennari et al., 2003, p. 2):



شكل رقم (2): التسلسل الزمني لتطوّر نظام Protégé (Gennari et al., 2003, p. 2)

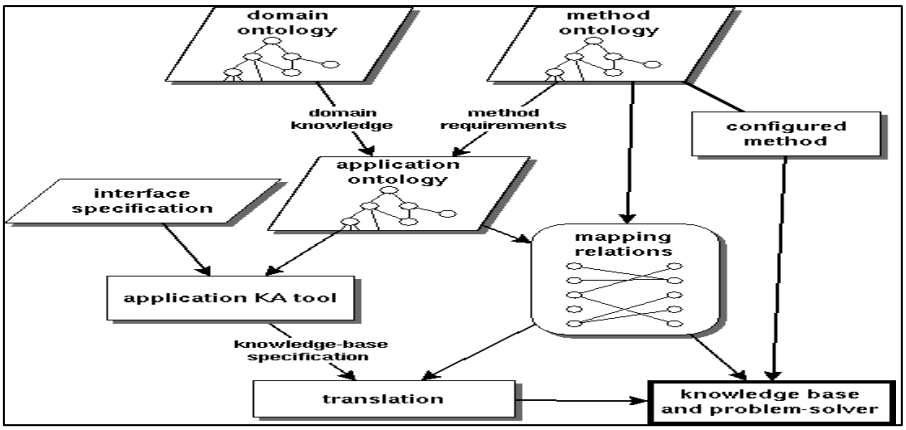
ثانيًا: نبذة عن برنامج البروتيجيه:

يُعدّ برنامج البروتيجيه منصة مفتوحة المصدر تُستخدم لبناء وصيانة أنطولوجيات المعرفة بصيغة RDF (Resource Description Framework)، كما يساعد هذا البرنامج في إنشاء الأنطولوجيات وصيانتها، ويوفّر أدواتٍ لإدارتها وتنفيذ عمليات الاستدلال (inferences) عليها. ويمكن استخدام البروتيجيه في تطبيقاتٍ متعددة مثل الويب الدلالي (Semantic Web)، تكامل البيانات (Data Integration)، إدارة المعرفة (Knowledge Management)، وغيرها. ويُستخدم البروتيجيه من قِبل الباحثين، ومهندسي الأنطولوجيا، ومطوري البرمجيات في مجموعة واسعة من تطبيقات تطوير المعرفة. كما يتيح البروتيجيه للمستخدمين تعريف الفئات (Classes)، والخصائص (Properties)، والعلاقات (Relations)، والقواعد (Rules)، والقيود (Constraints) من أجل بناء أنطولوجيات تصف مجالات معرفية محددة. (Auna et al., 2024, pp. 50-51)

كما أن البروتيجيه مزوّد بواجهة رسومية تفاعلية وسهلة الاستخدام (Graphical User Interface)، مما يجعل من السهل على المستخدمين إنشاء أنطولوجياتهم وإدارتها دون الحاجة إلى خبرات برمجية متقدمة، كما يدعم البرنامج العديد من لغات الأنطولوجيا مثل OWL، وRDF، وRDFS، مما يمكّن المستخدمين من إنشاء أنطولوجيات متوافقة مع أحدث معايير الويب الدلالي. بالإضافة إلى ذلك، يوفّر البروتيجيه مجموعة متنوعة من الإضافات (Plugins) التي يمكن استخدامها لتخصيص المنصة وتوسيع وظائفها وفقًا لاحتياجات المستخدمين، وبفضل هذه القدرات المرنة، أصبح البروتيجيه أحد الخيارات البرمجية الرئيسة لتطوير الأنظمة المعتمدة على المعرفة ومنصّات الويب الدلالي وغيرها من التطبيقات

التي تتطلب نماذج بياناتٍ منظمةٍ ودلالية. (Auna et al., 2024, pp. 50–51)

يوضّح الشكل رقم (3) كيف يتيح نظام PROTÉGÉ-II للمطوّر اختيار أو تصميم طريقة لحلّ المشكلات، ثم استخدام أنطولوجيا الطريقة (Method Ontology) لتخصيص أنطولوجيا المجال (Domain Ontology) وتحويلها إلى أنطولوجيا تطبيقية (Application Ontology). ويتم بعد ذلك إنشاء أداة لاكتساب المعرفة (Knowledge Acquisition Tool) خاصة بالمجال لتغذية قاعدة المعرفة، التي تتحول لاحقًا إلى كائنات وقواعد قابلة للتنفيذ داخل النظام. (Tu et al., 1995, p. 259)



شكل رقم (3): المخطط التخطيطي لتطوير التطبيقات في Protégé-II (Tu et al., 1995, p. 259)

وبناءً على ما سبق عرضه وتحليله، يتبيّن أن أهمية برنامج Protégé لا تنبع فقط من كونه أداة تقنية لبناء الأنطولوجيات، بل من دوره المحوري كبيئة تطبيقية تُسهم في تحويل المفاهيم الأنطولوجية النظرية إلى نماذج معرفية عملية قابلة للتنفيذ، الأمر الذي يُجسّد البعد التطبيقي للأنطولوجيا في تنظيم المعرفة، ويعزّز توظيفها في تطوير الويب الدلالي.

ثالثًا: البنية التقنية لبرنامج البروتيجيه:

ذكر إيزيكيل (2023) أن البروتيجيه بشكل أساسي يعد برنامجًا قائمًا على لغة جافا، تم تصميمه ليعمل على أنظمة تشغيل متعددة مثل macOS، Windows، Unix، وLinux.

ويتكوّن البرنامج من عدة وحدات رئيسية تشمل:

1. وحدة تخزين الأنطولوجيا (Ontology Storage Module).
2. وحدة نموذج المعرفة (Knowledge Model Module).
3. وحدة واجهة برمجة التطبيقات (API Module).
4. وحدة الواجهة الرسومية للمستخدم (GUI Module).

عند تشغيل البروتيجيه على سطح المكتب، يتفاعل المستخدم مع الأنطولوجيات عبر واجهة المستخدم الرسومية (GUI)، بينما تتفاعل البرامج التطبيقية والإضافات (Plugins) مع الأنطولوجيات من خلال واجهة برمجة التطبيقات (API)، ويمكن للبرنامج استيراد وتصدير الأنطولوجيات بصيغ مختلفة مثل XML، RDF، OWL، إضافة إلى الصيغة الأصلية للبرنامج. (Ezekiel, 2023, pp. 5020–5021)

كما يتيح Onto Graf، وهو إضافة مخصّصة داخل البروتيجيه، إمكانية تصوير الأنطولوجيا على شكل رسم بياني يوضّح الفئات (Classes) والأفراد (Individuals) على هيئة عقد (Nodes)، والعلاقات على شكل حواف (Edges). (Ezekiel, 2023, pp. 5020–5021)

وترى الدراسة أن هذا الهيكل القائم على الوحدات يمكّن المستخدم من إنشاء الأنطولوجيات وتحريرها وتمثيلها بصريًا ضمن بيئةٍ متكاملةٍ تجمع بين الواجهة الرسومية والواجهات البرمجية، مما يجعل البروتيجيه برنامجًا فعّالًا لتصميم الأنطولوجيات المتخصّصة وتطبيقاتها في الويب الدلالي.

رابعًا: خصائص البروتيجيه ووظائفه التقنية:

ذكر سانتشيس وقوميز (2024) أنه منذ الإصدار الأول من البروتيجيه في تسعينيات القرن الماضي، شهد البرنامج سلسلةً من التطويرات المستمرة حتى وصل في نسخته الأخيرة إلى بيئةٍ متقدّمة تجمع بين المرونة الرسومية والقدرات الاستدلالية الذكية، وأشار إلى أن البروتيجيه يُعد برنامجًا حرًا ومفتوح المصدر يُستخدم في بناء الأنطولوجيات والأنظمة الذكية، وهو مزوّدٌ بخصائص شاملة وواجهةٍ استخدامٍ ودّية تتيح تطوير أنطولوجيات قوية وقابلةٍ للتوسّع. (Sanches & Gomes, 2024, p. 3)

كما وضّح أنّ استخدامات البرنامج تمتد إلى مجالاتٍ متعددة تشمل تنظيم وتحليل البيانات المعقّدة ونمذجة المعرفة الخاصة بالمجال وتحسين تطوير البرمجيات، وقد تم تطويره بواسطة مركز أبحاث المعلوماتية الطبية الحيوية في جامعة ستانفورد (Stanford Center for Biomedical Informatics Research). (Sanches & Gomes, 2024, p. 3)

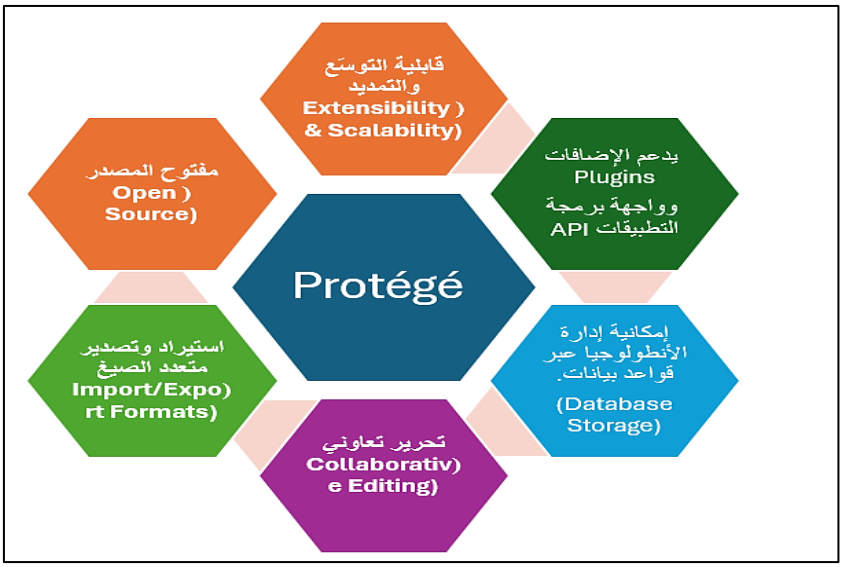
كما تضمنت الإصدارات الأخيرة تحسينات جوهرية، من أبرزها:

- دعم كامل للّغة OWL 2.
- اتصالات مباشرة مع أدوات الاستدلال المنطقي مثل HermiT وPellet.
- بيئة تحرير أنطولوجيا غنية بالخصائص مع واجهة مستخدم قابلة للتخصيص.
- أدوات تصوّر تفاعلية للعلاقات داخل الأنطولوجيا.
- دعم متقدم لتتبع التناقضات وعدم الاتساق في الأنطولوجيا. (Sanches & Gomes, 2024, pp. 3–4)

وترى الدراسة أن هذه المزايا التطويرية تُبرز أن البروتيجيه أصبح برنامجًا مهمًا لبناء الأنطولوجيات الحديثة، إذ يجمع بين البنية التقنية المتقدّمة والوظائف الدلالية الذكية التي تدعم عمليات تمثيل وتنظيم المعرفة في المجالات المتخصّصة.

خامسًا: مميزات برنامج البروتيجيه:

يتبين من المقارنة التي أجراها العطريش (2013) بين خمسٍ من أدوات بناء الأنطولوجيا (Apollo, TopBraid Composer Free Edition,OntoStudio, Protégé, Swoop) أن برنامج البروتيجيه (Protégé) يُعدّ من الأدوات البارزة والمتميزة في مجال تصميم الأنطولوجيات. فقد أوضحت المقارنة أن البروتيجيه له مميزات عديدة. ويوضح شكل رقم (4) مميزات برنامج البروتيجيه كما وردت في المقارنة:



شكل رقم (4) مميزات برنامج البروتيجيه (إعداد الباحثتين استنادًا إلى (Alatrish, 2013))

وترى الباحثتان من الشكل (4) أن تنوع المميزات التقنية في البروتيجيه مثل دعمه مختلف اللغات **OWL** و**RDF** وتكامله مع محركات وأدوات الاستدلال المنطقي يجعله من الأدوات المناسبة لتصميم الأنطولوجيات التي تُسهم في تنظيم المعرفة، إذ تتيح هذه الخصائص تمثيل المفاهيم والعلاقات الدلالية بدقة عالية، مما يعزز من بناء هياكل معرفية متسقة وقابلة لإعادة الاستخدام داخل بيئات الويب الدلالي.

سادسًا: أنواع واجهات برنامج البروتيجيه:

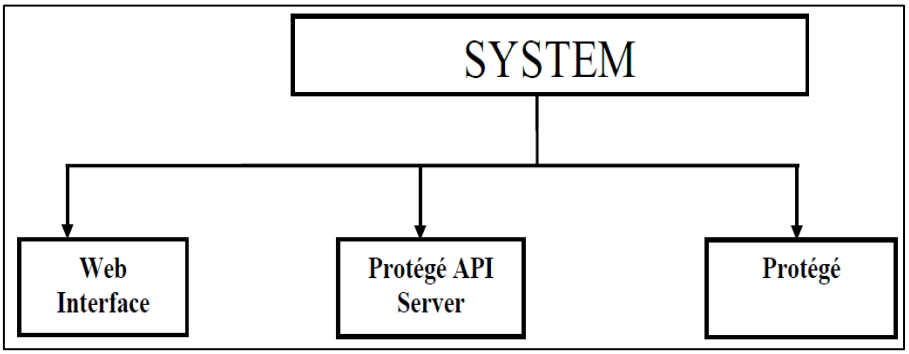
يوضح إيزيكيل (2023) البنية العامة لواجهات نظام البروتيجيه، حيث يبيّن مكوّنات النظام الرئيسة وآلية الترابط بينها. يتكوّن النظام من ثلاث واجهات أساسية هي:

1. واجهة الويب (Web Interface) التي تُتيح للمستخدمين التعامل مع الأنطولوجيات عبر متصفّح

الإنترنت.

2. خادم واجهة برمجة التطبيقات (Protégé API Server) الذي يعمل كوسيط بين تطبيقات الويب وقاعدة بيانات الأنطولوجيا، ويتيح تنفيذ عمليات الإدخال والاستخراج بطريقة برمجية.
3. واجهة برنامج البروتيجيه لسطح المكتب (Protégé Desktop) التي تُستخدم محليًا لبناء الأنطولوجيات وتحريرها من خلال بيئة العمل الرسومية. (Ezekiel, 2023, p. 5021)

وأضاف إيزيكيل أن الإصدار الخاص بسطح المكتب يتفاعل مع الأنطولوجيات من خلال واجهة المستخدم الرسومية (Graphical User Interface -GUI)، في حين تتفاعل تطبيقات الويب والإضافات (Plugins) مع الأنطولوجيات من خلال واجهة برمجة التطبيقات (Application Programming Interface -API) (Ezekiel, 2023, p. 5021). ويوضح شكل رقم (5) البنية العامة لواجهات نظام البروتيجيه وآلية الترابط بينها:



شكل رقم (5): البنية العامة لواجهات نظام البروتيجيه (Ezekiel, 2023, p. 5021)

سابعًا: خطوات تصميم الأنطولوجيا باستخدام برنامج البروتيجيه:

حسب منهجية أونا وآخرون (2024) في تصميم الأنطولوجيا باستخدام البروتجيه، فقد استندوا إلى خمس خطوات رئيسية تشمل:

1. تحديد المصادر العلمية ذات الصلة، وتشمل المجلات المحكمة والمقالات والكتب المتخصصة في تصميم الأنطولوجيا وبيئات التعلم الحديثة والتربية المعاصرة، مما يساعد الباحث على تكوين فهم شامل للمفاهيم الأساسية وأحدث التطورات في المجال.
2. أما الخطوة الثانية فتتمثل في تحليل المعلومات واستخلاص المفاهيم الرئيسة التي ينبغي نمذجتها داخل الأنطولوجيا، حيث يقوم الباحث بفرز المفاهيم وبناء قائمة بالمصطلحات والعلاقات الجوهرية التي تشكل الإطار المعرفي العام.
3. وتأتي الخطوة الثالثة في تصميم هيكل الأنطولوجيا داخل برنامج البروتيجيه، إذ يستفيد الباحث من أدوات البرنامج في بناء الفئات (Classes) والخصائص (Properties) والعلاقات (Relations) بين

المفاهيم، مع إضافة التوثيقات اللازمة لشرح المدلولات الدلالية لكل عنصر.

4. وفي الخطوة الرابعة، يتم اختبار الأنطولوجيا والتحقق من اتساقها وصحتها من خلال أدوات التحقق والاستدلال في البروتيجيه لضمان خلو النموذج من التعارضات المفاهيمية. كما يمكن إجراء تقييمات مع الخبراء في المجال للتحقق من مدى دقة التمثيل المفاهيمي وملاءمته لأهداف البحث.
5. وأخيرًا، تتضمن الخطوة الخامسة إعداد تقرير البحث النهائي الذي يوثّق جميع مراحل التطوير، ويشتمل على خلفية الدراسة، والمنهجية المتبعة، والنتائج المستخلصة، والاستنتاجات النهائية، بهدف تقديم فهم شامل لعملية تصميم الأنطولوجيا باستخدام برنامج البروتيجيه في بيئة التعلم الحديثة والتربية المعاصرة. (Auna et al., 2024, pp. 49-50)

المبحث الثالث: التطبيق العملي لبرنامج *Protégé*

يهدف هذا المبحث إلى عرض التطبيق التوضيحي الذي أُجري باستخدام برنامج Protégé، بوصفه تجربة عملية لاستكشاف إمكانات البرنامج في دعم تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية. وقد اعتمد التطبيق على بناء نموذج أنطولوجي تجريبي مبسّط، استُخدم لإبراز الخصائص الوظيفية والتقنية للبرنامج، ومعرفة قدرته على توصيف المفاهيم والعلاقات، والتحقق من الاتساق المنطقي، وقابلية إعادة الاستخدام، بما يخدم أهداف الدراسة ويوفّر إطارًا تفسيريًا لنتائجها.

تجربة برنامج البروتيجيه لبناء الأنطولوجيا:

أولًا: التعريف ببرنامج بروتيجيه:

يُعد برنامج **Protégé** أحد أشهر البرمجيات الأكاديمية والمفتوحة المصدر التي تُستخدم في بناء الأنطولوجيات وتنظيم وتمثيل المعرفة طُوّر البرنامج في جامعة ستانفورد بهدف تمكين المستخدمين من إنشاء نماذج معرفية بطريقة رسومية ومنظمة دون الحاجة إلى البرمجة اليدوية، ويُستخدم على نطاق واسع في مجالات الذكاء الاصطناعي، وإدارة المعرفة، ونظم دعم القرار.

- يوضح شكل رقم (6) شعار برنامج البروتيجيه المكوّن من الألوان الأزرق والذهبي والبنفسجي:

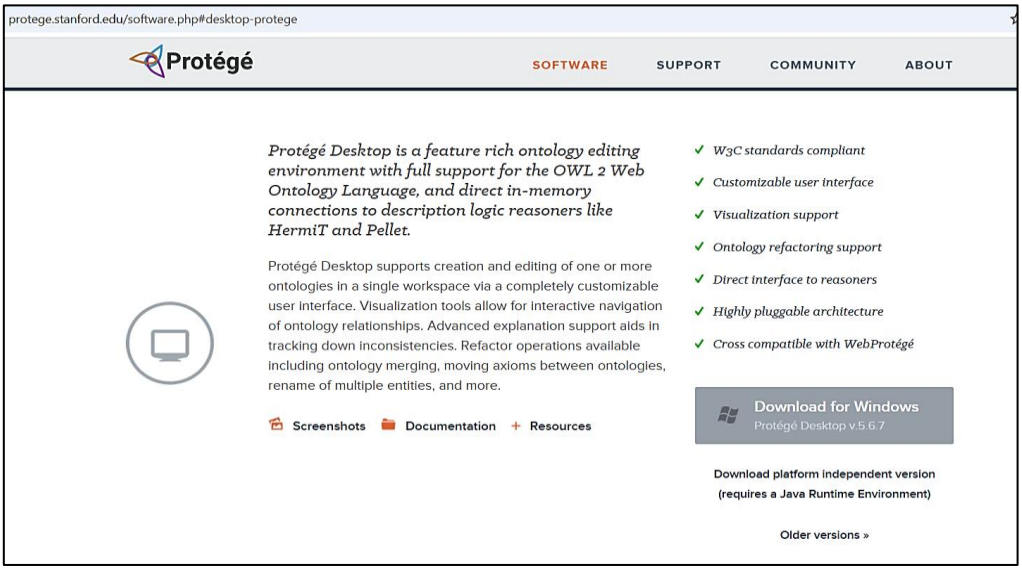
شكل رقم (6): شعار برنامج البروتيجيه

ثانيًا: بيئة التطبيق وإعداد البرنامج:

- تم الدخول إلى الموقع الرسمي لبرنامج البروتيجيه عبر الرابط: https://protege.stanford.edu
- أو عن طريق رابط:

https://protegeproject.github.io/protege/installation/windows /

- تم اختيار النسخة المتوافقة مع نظام التشغيل ويندوز من الصفحة الرئيسية. يوضح شكل رقم (7) صفحة تحميل نسخة ويندوز من برنامج Protégé (الإصدار 5.6.7):

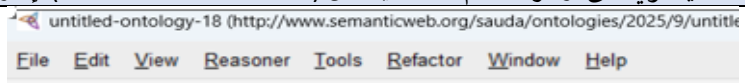
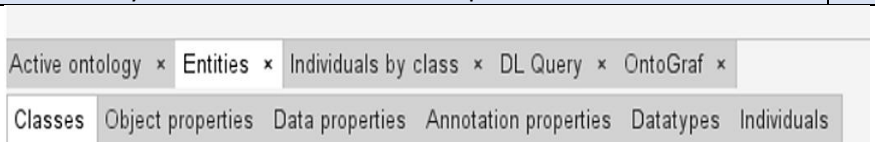


شكل رقم (7): صفحة تحميل نسخة ويندوز إصدار 5.6.7

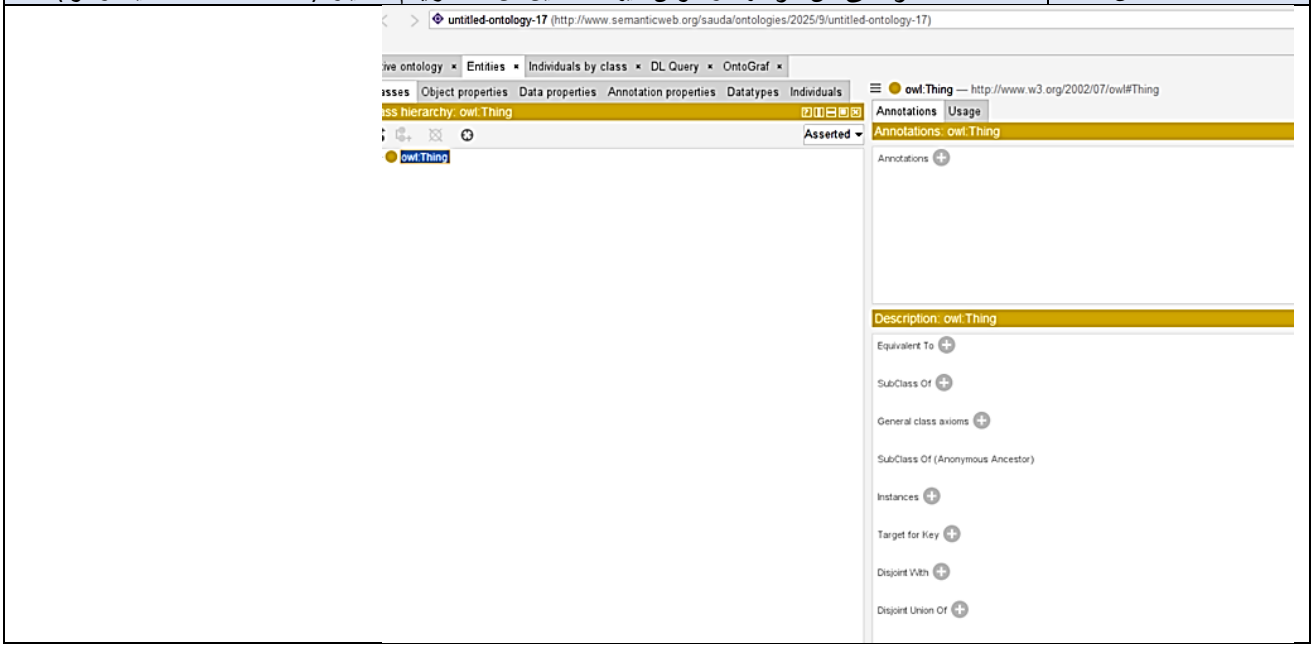
ثالثًا: واجهة البرنامج الرئيسية وتبويباته:

1. يعرض جدول رقم (3) المكونات الرئيسية لواجهة برنامج البروتيجيه ووظائفها، كالتالي:

جدول رقم (3): مكونات واجهة برنامج البروتيجيه الرئيسية (من إعداد الباحثتين)

المكون	الوصف
شريط القوائم	يحتوي على أوامر التحكم الأساسية مثل (File، Edit، View، Tools) لإدارة الملفات والإعدادات.
	
منطقة التبويبات	الجزء الرئيسى الذي يتم من خلاله التنقل بين أقسام البرنامج مثل Classes، Object Properties، Data Properties، Individuals، OntoGraf، DL Query.
	

منطقة العمل	المنطقة الوسطى من الواجهة وتُعرض فيها تفاصيل كل عنصر يتم اختياره (فئة، علاقة، خاصية أو فرد).



2. يوضح جدول رقم (4) التبويبات الأساسية داخل برنامج البروتيجيه ووظيفة كل تبويب، كالتالي:

جدول رقم (4): التبويبات الأساسية داخل برنامج البروتيجيه (من إعداد الباحثتين استنادًا إلى برنامج البروتيجيه)

التبويب (Tab)	نبذة توضيحية
Active Ontology	يعرض معلومات عامة عن الأنطولوجيا مثل اسم الملف، الترميز (IRI)، وعدد الفئات والعلاقات.
Entities	يحتوي على كل العناصر (الفئات – العلاقات – الأفراد) في عرض موحد.
Classes	يُستخدم لإنشاء الفئات (Classes) وبناء الهيكل الهرمي للمفاهيم.
Object Properties	لإنشاء العلاقات المنطقية بين الفئات (مثل يبيع، يشتري).
Data Properties	لتحديد الخصائص النصية والرقمية (مثل الاسم، الرقم الوظيفي، السعر).
Individuals	لإضافة الأفراد الذين يمثلون الكيانات الواقعية داخل الأنطولوجيا.
Annotations	لإضافة الوصف والتعليقات والتوضيحات باستخدام rdfs:comment.
DL Query	تُستخدم للاستعلام والتحقق من العلاقات المنطقية بين المفاهيم باستخدام منطق الـ Reasoning.
OntoGraf	أداة رسومية تستخدم لعرض الأنطولوجيا بشكل مرئي (مخطط هرمي أو دائري).

رابعًا: بناء النموذج الأنطولوجي التجريبي:

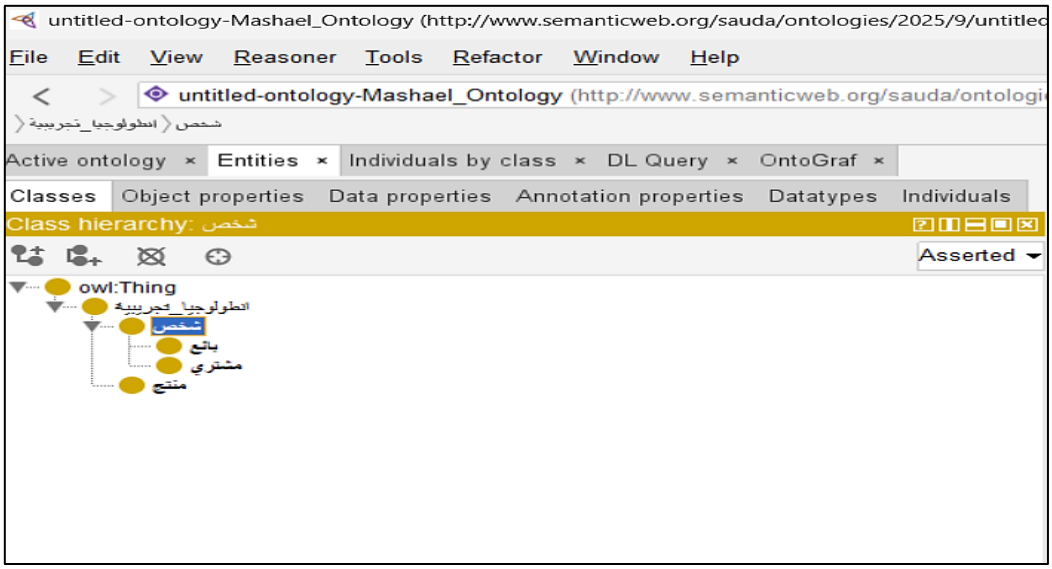
اعتمد التطبيق على إنشاء نموذج أنطولوجي تجريبي مبسّط، يهدف إلى إبراز وظائف Protégé الأساسية في تنظيم المعرفة. وقد شمل بناء النموذج تحديد مجموعة من المفاهيم العامة (Classes)، وربطها بعلاقات دلالية (Object Properties)، وإضافة خصائص بيانات (Data Properties) تعبّر عن سمات المفاهيم، مع إنشاء عدد محدود من الأفراد (Individuals) لاختبار العلاقات عمليًا، ويعرض جدول رقم (5) الفئات والعلاقات المستخدمة في نموذج الأنطولوجيا التجريبي:

جدول رقم (5): الفئات والعلاقات في نموذج الأنطولوجيا التجريبي (من إعداد الباحثتين)

الفئاتClasses	الأفرادIndividuals	خصائص البيانات Data properties	علاقات الكائنات Relations
شخص	- بائع - مشتري	-الاسم (قيم نصية String) -الرقم التعريفي (أعداد صحيحة Integer)	-يبيع -يشتري
بائع	- تركي - عبدالله	-الاسم (قيم نصية String) -الرقم التعريفي (أعداد صحيحة Integer)	يبيع ← منتج
مشتري	- رجال - نساء	-الاسم (قيم نصية String)	يشتري ← منتج
منتج	- عطور - ملابس	-الاسم (قيم نصية String) -السعر (أعداد عشرية decimal)	البائع يبيع المنتج المشتري يشتري المنتج

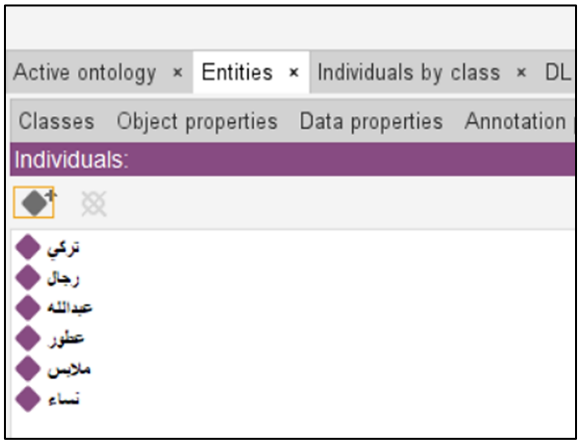
1. إنشاء الفئات (Classes) وبناء الهيكل الهرمي للأنطولوجيا:

تم في هذه المرحلة من التطبيق العملي إنشاء مجموعة من الفئات الرئيسية داخل برنامج Protégé، بهدف تمثيل المفاهيم الأساسية للمجال المعرفي المختار وبناء هيكل هرمي يعكس العلاقات المفاهيمية بينها. كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل رقم (8): الشكل النهائي للفئات الرئيسية والفرعية

- إضافة الأفراد (Individuals) داخل الأنطولوجيا:



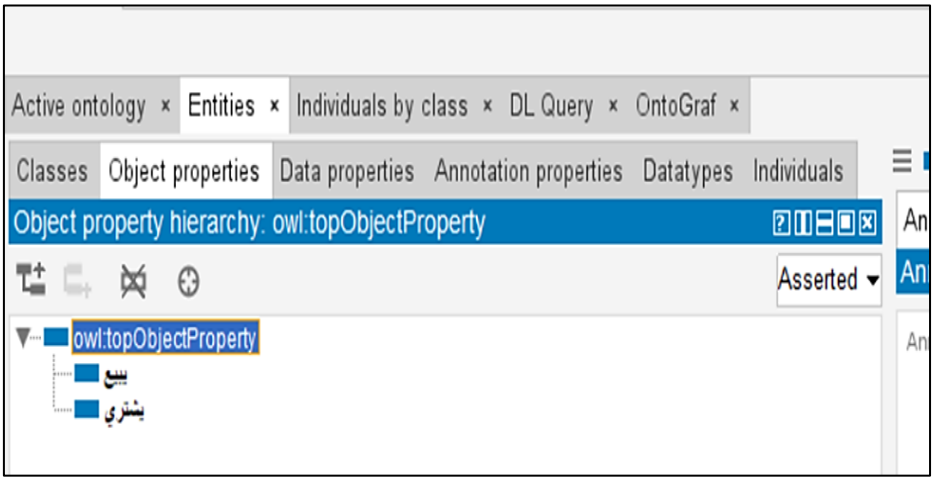
شكل رقم (9): الشكل النهائي للأفراد في نموذج الأنطولوجيا التجريبي

2. تعريف الخصائص (Object Properties وData Properties) ودورها في تمثيل العلاقات الدلالية:

تم في هذه المرحلة من التطبيق تعريف الخصائص داخل برنامج Protégé بوصفها مكوّنًا أساسيًا في تمثيل العلاقات الدلالية بين المفاهيم، وربطها بالسمات الوصفية المناسبة. إذ استُخدمت Object Properties لتحديد العلاقات بين الفئات المختلفة، بما يوضّح طبيعة الترابط الدلالي بين المفاهيم داخل الأنطولوجيا، ويُسهم في بناء شبكة علاقات متماسكة تعكس بنية المجال المعرفي. كما استُخدمت Data Properties لربط الفئات بالقيم والخصائص الوصفية، الأمر الذي يدعم توصيف المعرفة بصورة أدق ويُضفي طابعًا تصريحيًا واضحًا على النموذج الأنطولوجي.

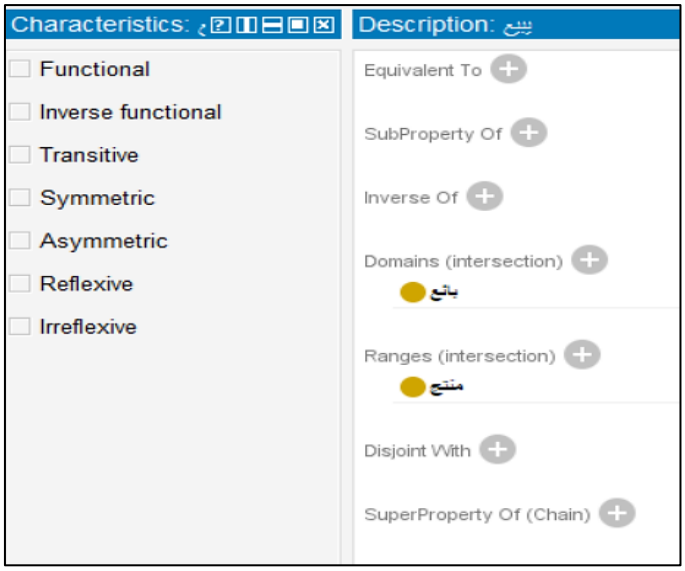
- تم الانتهاء من إنشاء خاصتين جديدتين للكائنات هما:

1. **يبيع**: وذلك لتمثيل العلاقة بين البائع والمنتج.
2. **يشتري**: وذلك لتمثيل العلاقة بين المشتري والمنتج.



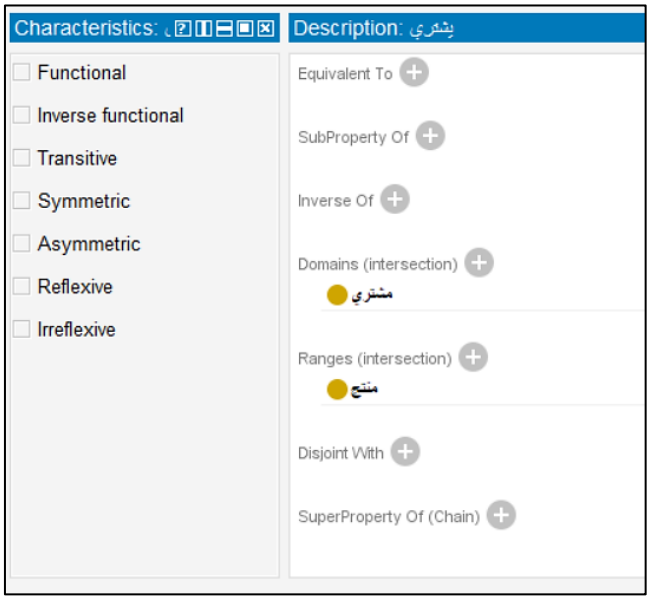
شكل رقم (10): الشكل النهائي بعد إنشاء خصائص الكائنات

- يتم بعد ذلك تحديد المجال الذي تبدأ منه العلاقة وهو ما يُعرف بـ (Domain)، والنطاق الذي تنتهي إليه العلاقة وهو ما يعرف بـ (Range) كالتالي:
- تم ضبط نطاق كل علاقة (Domain) و (Range) بحيث تكون علاقة "يبيع" من فئة البائع إلى فئة المنتج



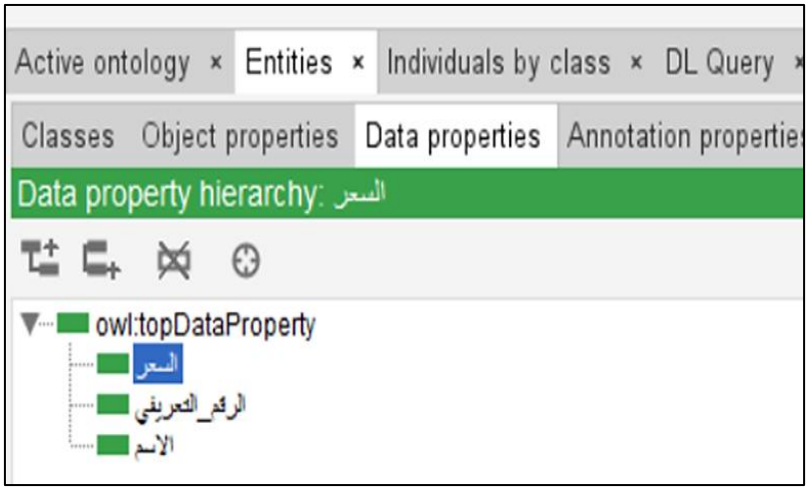
شكل رقم (11): ضبط مجال ونطاق علاقة (يبيع)

- تم ضبط نطاق كل علاقة (Domain) و(Range) بحيث تكون علاقة "يشتري" من فئة المشتري إلى فئة المنتج.



شكل رقم (12): ضبط مجال ونطاق علاقة (يشتري)

ومن الممكن إضافة تعريف خصائص البيانات (**Data Properties**) التي تعبّر عن السمات الوصفية للمفاهيم، كما هو موضح في الشكل التالي:

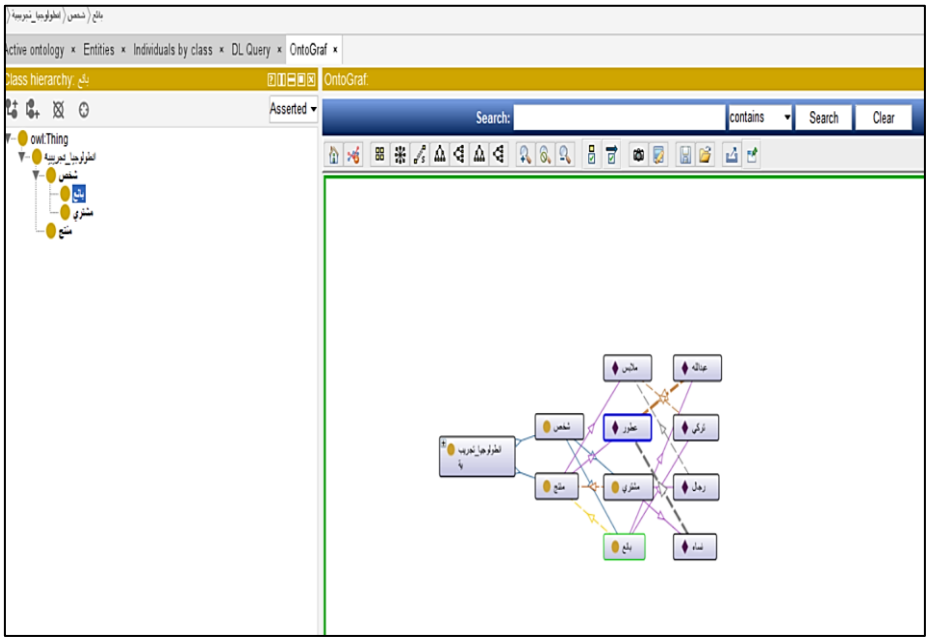


شكل رقم (13): الشكل النهائي بعد إنشاء جميع خواص البيانات

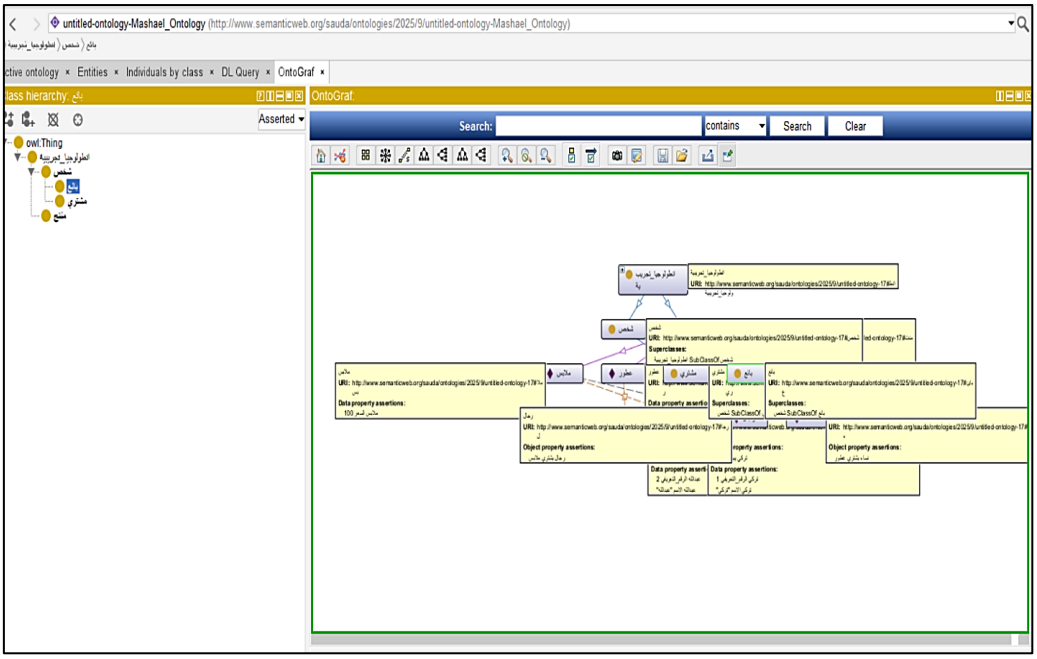
3. التمثيل البصري للأنطولوجيا باستخدام أداة OntoGraf:

بعد الانتهاء من بناء الهيكل المفاهيمي للأنطولوجيا وتعريف الفئات والخصائص والعلاقات الدلالية، تم استخدام أداة OntoGrafالمتاحة ضمن برنامج Protégé لعرض النموذج الأنطولوجي في صورة تمثيل بصري. وتُعد OntoGraf أداة داعمة لتمثيل المعرفة بصريًا، إذ تتيح إظهار الفئات والأفراد على

هيئة عقد (Nodes)، والعلاقات الدلالية بينها على هيئة روابط (Edges)، مما يساعد على تقديم صورة شاملة لبنية الأنطولوجيا والعلاقات بين مكوناتها. ويوضح شكل رقم (3) بنية الأنطولوجيا والعلاقات الدلالية بين عناصرها:



شكل رقم (14): الشكل النهائي لنموذج الأنطولوجيا التجريبي بطريقة العرض الشجري

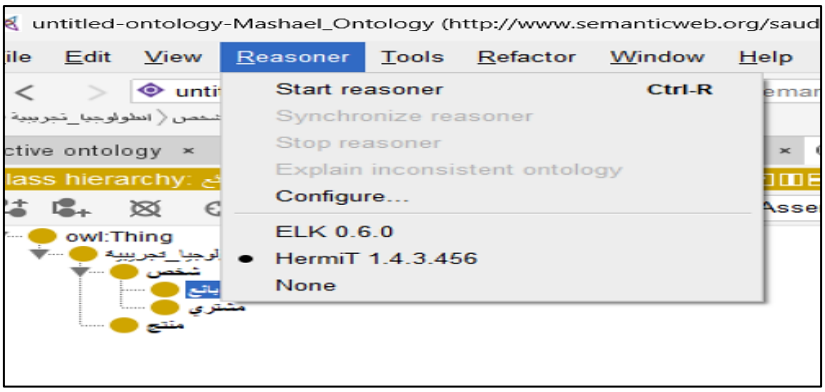


شكل رقم (15): تثبيت جميع العقد لعرض خصائص البيانات

4. استخدام أدوات الاستدلال والتحقق من الاتساق داخل الأنطولوجيا:

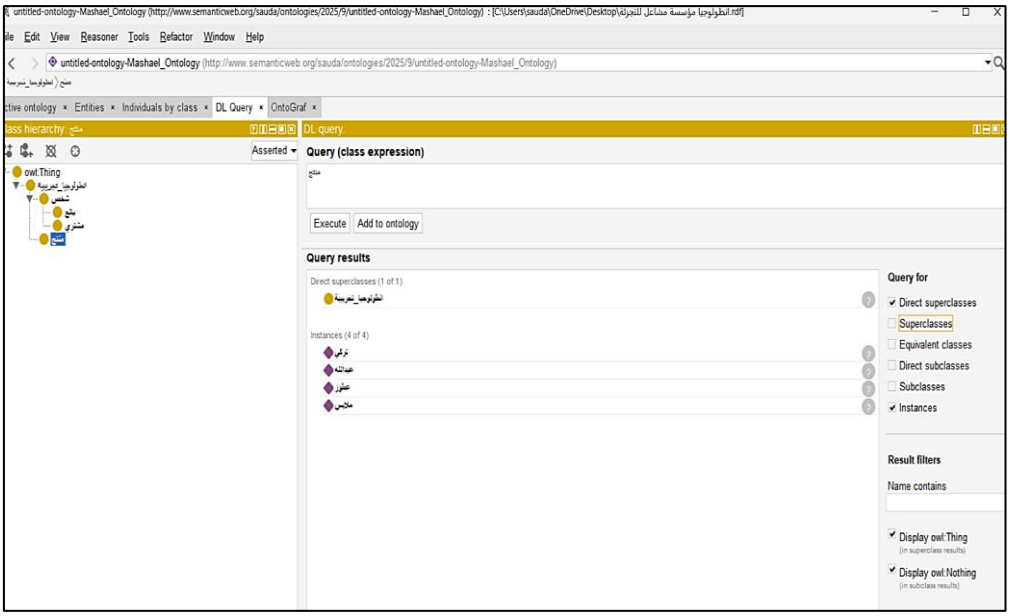
بعد الانتهاء من بناء الهيكل المفاهيمي للأنطولوجيا وتعريف الفئات والخصائص وإضافة الأفراد، تم الانتقال إلى مرحلة التحقق من الاتساق المنطقي باستخدام أدوات الاستدلال المتاحة داخل برنامج Protégé.

- بالإمكان استخدام خاصية الاستفسار المنطقي من خلال تفعيل الخاصية من Start reasoner، كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل رقم (16): خاصية الاستدلال المنطقي

- ثم وضع الاستفسار من خلال DL Query ثم كتابة الفئة المرغوب الاستفسار عنها في مربع Query وضغط Execute واختيار نوع الاستفسار هل هو عن الفئات أو الحالات أو الأفراد.



شكل رقم (17): الاستفسار عن فئة (منتج) باستخدام خاصية الاستدلال المنطقي

مميزات وعيوب نظام Protégé من خلال التجربة العملية:

في ضوء التجربة العملية التي أجرتها الباحثتان باستخدام برنامج Protégé لبناء نموذج أنطولوجي تجريبي مبسّط، أمكن الوقوف على مجموعة من الخصائص الوظيفية والتقنية التي عكست طبيعة عمل البرنامج وإمكاناته الفعلية في تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية. وقد أسهم هذا التطبيق في إتاحة فهم عملي لكيفية توظيف أدوات Protégé في إنشاء المفاهيم، وبناء العلاقات الدلالية، والتحقق من الاتساق المنطقي، بما ينسجم مع هدف الدراسة في تحليل دور البرنامج بوصفه أداة داعمة لتنظيم وتمثيل المعرفة ضمن إطار إدارة المعرفة.

ويأتي عرض المميزات والحدود في هذا السياق بوصفه توصيفًا تطبيقيًا لنتائج التجربة، يستند إلى مخرجات التطبيق الفعلي للنموذج الأنطولوجي، دون افتراض تقييم معياري شامل لأداء البرنامج أو الحكم على فاعليته كنظام متكامل لإدارة المعرفة، تمهيدًا للانتقال لاحقًا إلى التحليل في ضوء معايير الدراسة المعتمدة.

أولًا: مميزات برنامج البروتيجيه من خلال التجربة العملية:

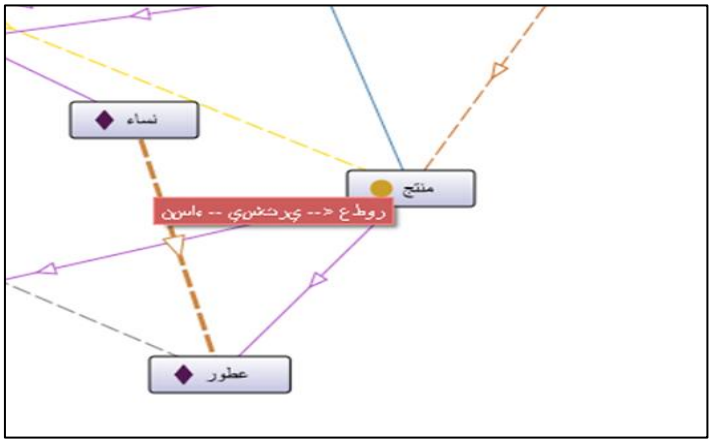
1. **سهولة الاستخدام والتنظيم:** يتميز البرنامج بواجهة رسومية منظمة ومنطقية تسهّل على المستخدم بناء الأنطولوجيا دون الحاجة إلى مهارات برمجية متقدمة. كما أن تبويباته (Classes، Object Properties، Data Properties، Individuals) تُظهر تسلسلًا واضحًا في بناء النموذج الأنطولوجي.
2. **دعم توصيف المعرفة (Specification):** أظهر التطبيق العملي أن برنامج Protégé يوفّر توصيفًا تصريحيًا واضحًا للمفاهيم والعلاقات والقيود داخل الأنطولوجيا، من خلال دعم تعريف الفئات والفئات الفرعية، وربطها بعلاقات دلالية منضبطة، مما يسهم في توحيد المفاهيم وتقليل التكرار وضبط البنية المعرفية.
3. **دعم تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية:** يسهم البرنامج في تنظيم المعرفة من خلال بناء هيكل مفاهيمي يوضح العلاقات الدلالية بين المفاهيم بطريقة منطقية، كما يدعم تحويل هذا البناء المفاهيمي إلى نموذج دلالي بلغة OWL قابل للاستخدام في الأنظمة الذكية.
4. **الموثوقية والتحقق المنطقي (Reliability):** يحتوي برنامج Protégé على أدوات استدلال منطقية باستخدام **Reasoner وDL Query**، مما يتيح التحقق من اتساق الأنطولوجيا واكتشاف التعارضات المفاهيمية، كما تمكّن من استخلاص العلاقات الضمنية بين المفاهيم، مما يعزّز موثوقية النموذج المعرفي ويؤكد صحة التمثيل الدلالي القائم على المنطق والاستدلال.
5. **قابلية إعادة الاستخدام والتوسّع (Reusability):** أظهر البرنامج مرونة عالية في التعديل والتوسّع، تتيح للمستخدم تعديل الفئات أو الخصائص في أي مرحلة من مراحل العمل دون التأثير على البنية الكلية للنموذج، مع دعم الاستيراد والتصدير بصيغ قياسية، مما يجعله مناسبًا للبيئات المؤسسية التي

تتطلب التحديث المستمر.

6. **التكامل مع أدوات العرض البصري:** تُعدّ أداة OntoGraf من أبرز نقاط القوة في البرنامج، حيث توفر عرضًا بصريًا للعلاقات بين الفئات والأفراد في شكل مخطط دلالي يسهل فهمه وتحليله.

ثانيًا: عيوب برنامج البروتيجيه من خلال التجربة العملية:

1. **ضعف دعم استخلاص وتوليد المعرفة:** البرنامج يركّز على تنظيم وتمثيل المعرفة فقط، فهو يعتمد على المعرفة الموجودة مسبقًا، ولا يتضمن وظائف استنتاج الأنماط أو التوصيات أو توليد معارف جديدة بناءً على البيانات كما هو الحال في أدوات الذكاء الاصطناعي أو التنقيب عن البيانات.
2. **محدودية المخرجات المرئية:** على الرغم من وجود OntoGraf، إلا أن الأداة محدودة من حيث انها تقتصر على تمثيلات مفاهيمية (Conceptual Graphs) وعرضًا دلاليًا (Semantic Visualization)، حيث يفتقر البرنامج إلى مميزات التمثيلات البصرية التحليلية (Analytical Visualizations) التي تُظهر النتائج في شكل رسوم بيانية أو مخططات كمية مثل الأعمدة أو الدوائر.
3. **عدم وجود تكامل مباشر مع الأنظمة الأخرى أو أدوات الذكاء الاصطناعي:** لا يوفّر البرنامج تكاملًا افتراضيًا مباشرًا مع منصات إدارة المعرفة أو أنظمة التحليل الذكي، مما يحد من توظيفه في البيئات المؤسسية المتقدمة دون تطوير إضافي.
4. **ضعف دعم اللغة العربية:** كانت هناك صعوبة في عرض المفاهيم العربية داخل OntoGraf، إذ ظهرت الحروف مقلوبة أو مفصولة، مما يقلل من وضوح المخططات الدلالية للمستخدم العربي، كما يتضح في شكل رقم (18) توضيح صعوبة عرض العلاقات باللغة العربية:



شكل رقم (18): صعوبة عرض العلاقات الدلالية باللغة العربية داخل OntoGraf

خامسًا: تقويم برنامج Protégé بوصفه أداة داعمة لتنظيم وتمثيل المعرفة في ضوء معايير الدراسة:

استنادًا إلى معايير Specification وReliability وReusability كما وردت ضمن قسم هندسة النظم Systems Engineering في دراسة Uschold & Gruninger (1996)، جرى التحقق من انطباق

معايير التوصيف والموثوقية وقابلية إعادة الاستخدام على النموذج الأنطولوجي الناتج عن استخدام برنامج Protégé، وذلك في ضوء الأدبيات ذات الصلة التي تم استعراضها، وبالاستناد إلى نتائج التجربة التطبيقية. ويعرض جدول رقم (6) نتائج هذا التحقق:

جدول رقم (6): نتائج انطباق معايير التوصيف والموثوقية وإعادة الاستخدام على برنامج Protégé (من إعداد الباحثتين استنادًا إلى (Uschold & Gruninger, 1996, pp.12-13))

المعيار	وصف المعيار	نتائج التحقق من انطباق المعايير في Protégé بناء على تجربة الباحثتين
التوصيف (Specification)	1. يوفّر توصيفًا تصريحيًا للنظام يوضّح المفاهيم والعلاقات والقيود. 2. يساعد على فهم متطلبات النظام والعلاقات بين مكوّناته. 3. يتيح الاستدلال حول الغرض الذي صُمّم النظام من أجله.	أتاح برنامج Protégé توصيفًا تصريحيًا واضحًا للمفاهيم والعلاقات والقيود داخل الأنطولوجيا، من خلال تعريف الفئات (Classes) والخصائص (Properties) والبديهيات (Axioms) بصورة صريحة، مما سهّل فهم المجال المعرفي وتنظيم عناصره، ودعم تمثيل المعرفة بصورة منهجية قابلة للاستدلال.
الموثوقية (Reliability)	1. تحسين موثوقية النظم من خلال دعم الفحص شبه الآلي للاتساق. 2. الحفاظ على القيود الدلالية والعلاقات بين الأدوات المختلفة لتحقيق تكامل ناجح. 3. تفسير هذه القيود المعبّر عنها على شكل بديهيات وفرضها بشكل شبه آلي. 4. دعم مشكلات استدلال متعددة داخل المجال.	وفّر Protégé إمكانية التحقق من الاتساق المنطقي واكتشاف التعارضات المفاهيمية من خلال أدوات الاستدلال المنطقي (Reasoners)، مما عزّز موثوقية النموذج الأنطولوجي، وساهم في دعم صحة التمثيل المعرفي والعلاقات الدلالية داخل الأنطولوجيا.
إعادة الاستخدام (Reusability)	1. قابلية إعادة الاستخدام عبر الاستيراد والتصدير. 2. قابلية التخصيص، سواء لفئة المشكلات أو لفئة المستخدمين. 3. قابلية التوسع بما يسمح بإدماج فئات جديدة من القيود وتخصيص المفاهيم والقيود وتكييفها وفق مشكلات محددة.	مكّن Protégé من إعادة استخدام الأنطولوجيا وتوسيعها وتكييفها لمجالات معرفية مختلفة، مع دعمه للاستيراد والتصدير بصيغ متنوعة مثل RDF وOWL، بما ينسجم مع متطلبات القابلية لإعادة الاستخدام والتكامل داخل بيئات تنظيم المعرفة.

ملخص تحليلي لنتائج تقويم برنامج Protégé في ضوء معايير الدراسة:

أولًا: معيار التوصيف (Specification):

يُظهر تطبيق برنامج Protégé توافقًا واضحًا مع معيار التوصيف، إذ يوفّر توصيفًا تصريحيًا صريحًا لبنية الأنطولوجيا (Ontology) من خلال تعريف المفاهيم والعلاقات والقيود بطريقة منظمة وقابلة للفهم. فقد أتاح البرنامج بناء الفئات (Classes) وتحديد الخصائص (Properties) وربطها ببديهيات (Axioms) تعبّر عن القيود الدلالية للمجال المعرفي، مما أسهم في توضيح متطلبات النظام والعلاقات بين مكوّناته الأساسية. كما ساعد هذا التوصيف الصريح على إتاحة الاستدلال حول الغرض الذي صُمّمت الأنطولوجيا من أجله، وربط المفاهيم بسياقها الدلالي داخل النموذج، الأمر الذي يعكس قدرة Protégé على دعم التوصيف المنهجي للمعرفة وتحويلها إلى بنية رسمية قابلة للتحليل والاستدلال.

ثانيًا: معيار الموثوقية (Reliability):

يتوافق برنامج Protégé مع معيار الموثوقية من خلال دعمه لآليات الفحص شبه الآلي للاتساق المنطقي داخل الأنطولوجيا، وذلك بالاعتماد على محركات الاستدلال المنطقي. (Reasoners) فقد مكّنت هذه الأدوات من اكتشاف التعارضات المفاهيمية والتحقق من صحة العلاقات والقيود الدلالية المعبّر عنها على شكل بديهيات، مما عزّز موثوقية النموذج الأنطولوجي. كما أسهم Protégé في الحفاظ على العلاقات الدلالية بين مكونات الأنطولوجيا وفرض القيود المنطقية بصورة شبه آلية، الأمر الذي يدعم سلامة التمثيل المعرفي ويحدّ من الأخطاء المفاهيمية. ويعكس ذلك قدرة البرنامج على دعم مشكلات استدلال متعددة داخل المجال المعرفي، بما يعزّز الثقة في مخرجات تنظيم وتمثيل المعرفة.

ثالثًا: معيار إعادة الاستخدام (Reusability):

أظهر Protégé مستوى مرتفعًا من التوافق مع معيار إعادة الاستخدام، إذ يوفّر مرونة عالية في إعادة توظيف الأنطولوجيات وتكييفها عبر مجالات معرفية مختلفة. فقد دعم البرنامج عمليات الاستيراد والتصدير بصيغ معيارية متعددة مثل RDF وOWL، مما يسهم في تسهيل تبادل الأنطولوجيات وإعادة استخدامها داخل نظم وبيئات مختلفة لتنظيم المعرفة. كما يتيح Protégé قابلية التخصيص والتوسّع من خلال إضافة فئات جديدة من المفاهيم والقيود وتعديل العلاقات القائمة بما يتلاءم مع فئات مشكلات أو مستخدمين مختلفين. وتُبرز هذه الإمكانات قدرة البرنامج على دعم قابلية إعادة الاستخدام والتكامل، وهو ما يعزّز من قيمته بوصفه أداة مرنة في بناء نماذج معرفية قابلة للتطوير والتكييف المستمر.

المبحث الرابع: النتائج والتوصيات

أولًا: نتائج تجربة برنامج البروتيجيه في بناء الأنطولوجيا:

في ضوء التطبيق العملي باستخدام برنامج Protégé، وفي إطار تفسير نتائج التجربة بالاستناد إلى معايير التوصيف (Specification) والموثوقية (Reliability) وإعادة الاستخدام (Reusability)، خلصت الدراسة إلى النتائج الآتية:

1. نتائج متعلقة بمفهوم الأنطولوجيا وأهميتها في تنظيم وتمثيل المعرفة:

- أكدت نتائج التجربة أن الأنطولوجيا تمثّل أداة فعّالة لتنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية، من خلال تحويل المفاهيم والعلاقات داخل المجال المعرفي إلى بنية رسمية واضحة المعالم.
- أظهر النموذج الأنطولوجي المبني باستخدام Protégé أن تمثيل المعرفة في صورة فئات وعلاقات وبديهيات يسهم في ضبط المعنى والسياق، ويعزز الفهم الدلالي للمحتوى ضمن إطار الويب الدلالي وإدارة المعرفة.

2. نتائج متعلقة بوظائف وخصائص برنامج Protégé:

- بيّنت التجربة أن برنامج Protégé يوفّر مجموعة متكاملة من الوظائف الأساسية لبناء الأنطولوجيات، تشمل إنشاء الفئات، وتعريف الخصائص، وبناء العلاقات الدلالية، وإضافة البديهيات المنطقية.
- أظهرت خصائص الواجهة الرسومية للبرنامج قدرة على دعم بناء الأنطولوجيا بصورة منظمة ومنهجية، بما يسهّل التعامل مع النماذج المعرفية دون الحاجة إلى مهارات برمجية متقدمة.

3. نتائج متعلقة بإسهام Protégé في تنظيم وتمثيل المعرفة الدلالية:

- كشفت نتائج التطبيق أن برنامج Protégé يسهم في تنظيم المعرفة من خلال بناء هياكل مفاهيمية هرمية ومنطقية توضّح العلاقات بين المفاهيم الأساسية والفرعية.
- أسهم البرنامج في تمثيل المعرفة الدلالية بصورة رسمية قابلة للاستدلال، بما يدعم توصيف المجال المعرفي وتحويله إلى نموذج يمكن تحليله وإعادة استخدامه في بيئات معرفية أخرى.

4. نتائج متعلقة بدور أدوات الاستدلال المنطقي والتحقق من الاتساق:

- أوضحت التجربة أن أدوات الاستدلال المنطقي داخل بيئة Protégé تؤدي دورًا محوريًا في التحقق من الاتساق الداخلي للنموذج الأنطولوجي.
- مكّنت أدوات Reasoners من اكتشاف التعارضات المفاهيمية المحتملة، والتحقق من صحة العلاقات والقيود الدلالية، مما عزّز موثوقية النموذج ودقة تمثيله المعرفي.

5. نتائج متعلقة بنقاط القوة والقصور في استخدام برنامج Protégé:

- أظهرت نتائج التجربة أن من أبرز نقاط القوة في برنامج Protégé قدرته على توفير توصيف تصريحي واضح للمعرفة، ودعم تمثيل العلاقات الدلالية بصورة منظمة وقابلة لإعادة الاستخدام.
- في المقابل، بيّنت النتائج أن استخدام البرنامج يرتبط بطبيعة نمذجة معرفية رسمية تتطلب فهمًا مفاهيميًا مسبقًا، كما أن مخرجاته لا تُعد نظمًا تشغيلية لإدارة المعرفة، بل نماذج داعمة لتنظيم وتمثيل المعرفة ضمن إطار تكاملي أوسع.

تستخلص الدراسة مما سبق، أن الأنطولوجيا أداة مركزية لتنظيم وتمثيل المعرفة داخل البيئات الذكية، حيث تتيح نماذج مفاهيمية مترابطة تسهّل فهم واسترجاع العلاقات الدلالية بين المفاهيم. وقد أظهر تطبيق برنامج Protégé (الإصدار 5.6.7) فعالية عالية في بناء الأنطولوجيات وتنظيم المعرفة بطريقة هرمية ومنطقية، مع إمكانية ربط المفاهيم بالخصائص الدلالية المناسبة. وفي المقابل، كشفت التجربة عن بعض القيود التقنية، أبرزها ضعف دعم اللغة العربية وغياب إمكانيات لاستنتاج معرفة جديدة، مما يشير إلى أن قوة البرنامج تكمن في التمثيل والتنظيم أكثر من التحليل المعرفي التلقائي. وبالتالي، يُعد Protégé بيئة تطبيقية قوية لتعزيز البعد العملي للأنطولوجيا، مع ضرورة الانتباه للقيود اللغوية والتقنية عند تطبيقه في سياقات متنوعة.

ثانيًا: التوصيات

استنادًا إلى ما تم استعراضه في الجزء النظري، وإلى التجربة العملية التي نفذتها الباحثتين باستخدام برنامج Protégé، يمكن التوصية بما يلي:

1. تطبيق الأنطولوجيا في مجالات متخصصة مثل التعليم الإلكتروني، وإدارة الموارد البشرية، والرعاية الصحية، بهدف قياس أثرها في تحسين إدارة المعرفة ومشاركتها داخل المؤسسات.
2. توصي الدراسة بالاستفادة من Protégé في المشاريع المؤسسية كنواة لبناء الأنطولوجيا، مع تكامله مع نظم إدارة المعرفة الأخرى.
3. تشجيع الباحثين على دراسة الأدوات والتقنيات الحديثة في بناء الأنطولوجيا بصورة أعمق، لتطوير نماذج فكرية جديدة توضّح كيفية التكامل بين الأنطولوجيا ونظم إدارة المعرفة وأدوات الذكاء الاصطناعي داخل المؤسسات.
4. تطوير دعم اللغة العربية في برنامج Protégé، ولا سيما في أدوات العرض البصري مثل OntoGraf، لضمان وضوح النماذج وتمثيل المفاهيم بدقة للمستخدم العربي.
5. دمج برنامج Protégé مع تقنيات الذكاء الاصطناعي وأنظمة التنقيب عن البيانات لتحويل الأنطولوجيا من أداة تمثيل ثابتة إلى أداة تحليل واكتشاف للمعرفة الجديدة.
6. إضافة ميزة التمثيلات البصرية التحليلية داخل برنامج Protégé، بما يتيح عرض العلاقات الدلالية بين المفاهيم بطريقة أكثر تفاعلية ووضوحًا للباحثين والمستخدمين.

المراجع

أولًا: المراجع العربية:

1. الأكلبي، علي بن ذيب، وعارف، محمد جعفر. (2015). دور الأنطولوجيا في دعم محركات البحث الدلالي في البيئة العربية. *مجلة مكتبة الملك فهد الوطنية*، *21*(1)، 193-226. https://search.emarefa.net/detail/BIM-803880
2. بامفلح، فاتن سعيد (2016). إدارة المعرفة وتقنياتها: الاسس والتطبيقات -الرياض: مكتبة الملك عبدالعزيز العامة.
3. بامفلح، فاتن سعيد (2022). استرجاع المعرفة في ظل التطبيقات الذكية -ط1 -القاهرة: الدار المصرية اللبنانية.
4. الخزاعي، محمد رده، والسريحي، حسن بن عواد. (2019). الخارطة المعرفية لرؤية السعودية 2030 باستخدام الأنطولوجيا. *مجلة دراسات المعلومات*، *22*، 13-32. مسترجع من http://search.mandumah.com/Record/1084156
5. رفاعي، آية رمضان سيد. (2021). أنطولوجيا الويب الدلالي ودورها في التغلب على فوضى وعشوائية المعلومات. *المجلة العلمية لكلية الآداب – جامعة أسيوط*، *26* (77)، 255- 280. https://doi.org/10.21608/aakj.2021.286268

6. فرج، أحمد محمد. (2015). أنطولوجيا الويب الدلالي ودورها في تعزيز المحتوى الرقمي: دراسة في المفاهيم والبنية الهيكلية والخدمات التفاعلية في البوابات الدلالية للتعلم الإلكتروني. *مجلة بحوث المكتبات والمعلومات، 15*(2)، 1-30.
https://www.researchgate.net/publication/313859831
7. النشرتي، مؤمن سيد. (2012). محركات البحث الدلالية على الشبكة العنكبوتية: دراسة مسحية تحليلية لوضع مواصفات محركات بحث دلالية عربية. القاهرة: كلية الآداب، جامعة القاهرة.
8. الهزاني، نورة بنت ناصر. (2011). مفهوم وبنية الويب الدلالي. *مجلة المعلوماتية، العدد الخامس والثلاثون*، 57-67. https://www.researchgate.net/publication/362321582
9. الويسي، ياسين حسين علوان. (2019). الأنطولوجيا: في المصطلح والمفهوم والاستعمال الفلسفي. الطبعة الأولى. بيروت، لبنان: العتبة العباسية المقدسة، المركز الإسلامي للدراسات الاستراتيجية.

ثانيًا: المراجع الأجنبية:

1. Abdulsalm, A., Prakash, A., & Rizvi, S. (2021). Ontology-based semantic integration for knowledge sharing in the semantic web. *Journal of Information System and Technology Management, 6*(22), 148–157. https://doi.org/10.35631/JISTM.622012.
2. Alatrish, E. S. (2013). Comparison some of ontology editors. *Management Information Systems, 8*(2), 18–24. https://www.researchgate.net/publication/311100273.
3. Auna, H. S., Prasetya, N. I., Surur, A. M., Ulfa, S., Soepriyanto, Y., & Salleh, S. M. (2024). Ontology design of a modern learning environment and modern pedagogy using Protégé software. *Indonesian Journal of Multidisciplinary Educational Research, 2*(1), 47–66. https://doi.org/10.30762/ijomer.v2i1.2755.
4. Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific American, 284*(5), 34–43. https://doi.org/10.1038/scientificamerican0501-34.
5. Ezekiel, U. G., Ozuomba, S., & Kalu, C. (2023). Development of Protégé-based ontology for e-learning semantic web applications. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS), 9*(2), 5020–5028. https://www.researchgate.net/publication/372101664.
6. Gennari, J.H., Musen, M.A., Fergerson, R.W., Grosso, W.E., Crubézy, M., Eriksson, H., Noy, N., & Tu, S.W. (2003). The evolution of Protégé: an environment for knowledge-based systems development. *Int. J. Hum. Comput. Stud., 58*. 89-123.
7. Gómez-Pérez, A., Fernández-López, M., & Corcho, O. (2004). *Ontological engineering with examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web*. Springer.
8. Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition, 5*(2), 199–220. https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008.
9. Islam, M. F., Mosier, J., & Subbian, V .(2025) .NIRS: An ontology for non-invasive respiratory support in acute care .arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.19992.

10. Muñoz-García, A., Lagos-Ortiz, K., Vergara-Lozano, V., Salavarria-Melo, J., Real-Aviles, K., & Vera-Lucio, N. (2016). Ontological model of knowledge management for research and innovation. In R. Valencia-García, K. Lagos-Ortiz, G. Alcaraz-Mármol, J. del Cioppo, & N. Vera-Lucio (Eds.), *Technologies and Innovation. CITI 2016. Communications in Computer and Information Science* (Vol. 658, pp. 47–59). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48024-4_5.
11. Musen, M. A., Noy, N. F., Shah, N. H., Whetzel, P. L., Chute, C. G., Story, M. A., & Smith, B. (2015). The Protégé project: A look back and a look forward. *AI Matters*, 1(4), 4–12. https://doi.org/10.1145/2757001.2757003.
12. Roussey, C., Pinet, F., Kang, M. A., & Corcho, O. (2011). An introduction to ontologies and ontology engineering. In C. Roussey, F. Pinet, M. A. Kang, & O. Corcho (Eds.), *Ontologies in Urban Development Projects* (pp. 9–38). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-724-2_2.
13. Sanches, H. M., & Gomes, M. M. F. (2024). Protégé 5.6.4: Ferramenta para criação de ontologia em Web Ontology Language (OWL). *Revista FT, 29*(141). https://doi.org/10.69849/revistaft/ar10202412240029.
14. Stanford Center for Biomedical Informatics Research. (n.d.). *Protégé ontology editor*. Stanford University. Retrieved Date: October 31, 2025, from https://protege.stanford.edu.
15. Sure, Y., Staab, S., & Studer, R. (2003). *On-To-Knowledge methodology*. In S. Staab & R. Studer (Eds.), Handbook on ontologies (pp. 117–132). Springer.
16. Tu, S. W., Eriksson, H., Gennari, J. H., Shahar, Y., & Musen, M. A. (1995). Ontology-based configuration of problem-solving methods and generation of knowledge-acquisition tools: Application of PROTEGE-II to protocol-based decision support. *Artificial Intelligence in Medicine, 7*(3), 257–289. https://doi.org/10.1016/0933-3657(95)00006-R.
17. Uschold, M., & Gruninger, M. (1996). Ontologies: principles, methods and applications. *Knowledge Engineering Review*, *11*(02), 93–136. https://doi.org/10.1017/S0269888900007797.