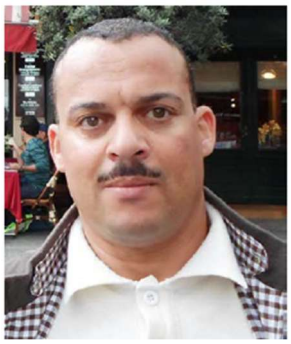
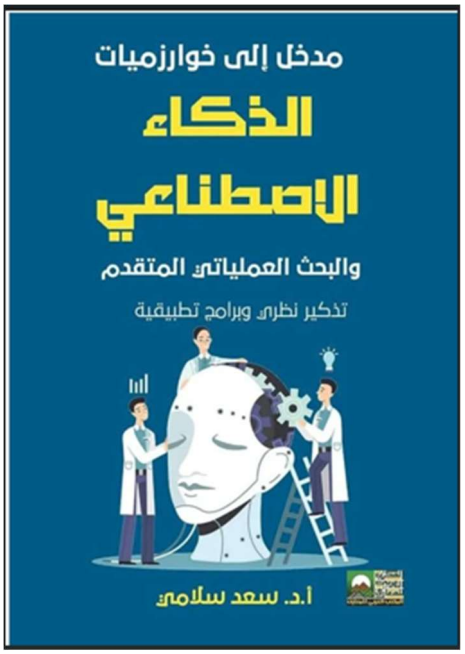
عرض كتاب

مدخل إلى خوارزميات الذكاء الاصطناعي والبحث العملياتي المتقدمة
تذكير نظري وبرامج تطبيقية

تأليف: سلامي سعدي

عرض: هيئة التحرير





المؤلف

يشغل المؤلف سعدي سلامي حاليا منصب أستاذ التعليم العالي في جامعة الشهيد زيان عاشور بالجلفة؛ وهو مهندس دولة في الإلكترونيك، تحصل على شهادته من معهد الهندسة الكهربائية والإلكترونيات (INELEC) ببومرداس (الجزائر) سنة 1993، ثم واصل مساره الأكاديمي فنال شهادة الماجستير، والدكتوراه في علوم الذكاء الاصطناعي للإشارات (الصور واللغات الطبيعية) من جامعة البليدة عام 2012.كما حاز على شهادة ماجستير "متخصص" في الهندسة النووية والفيزياء الطبية. من جهة أخرى، نجد أن الأستاذ سلامي تحصل أيضا على شهادات دولية في استعمالات التقنيات النووية في الإلكترونيات الحديثة والتصوير الطبي. وقد أشرف على العديد من مشاريع البحث الوطنية والدولية وأطروحات الدكتوراه، وله اهتمامات بحثية عميقة في الذكاء الاصطناعي وتطبيقاته. وله في باب النشر العلمي عشرات المقالات البحثية المنشورة في مجلات علمية متخصصة، بالإضافة إلى مجموعة من الكتب الأكاديمية المؤلَّفة باللغات العربية والإنكليزية والفرنسية. نعرض منها هنا كتاب حول الذكاء الاصطناعي.

كتابه

على الرغم من الزخم المعرفي الهائل الذي شهدته عقود الذكاء الاصطناعي المحاكي لظواهر الطبيعة، وما رافقه من الكتب والأبحاث التي غطَّت الجانب النظري والرياضي بدقَّة بالغة فإن معظم هذه الثروة العلمية تظل أسيرة اللغة الإنكليزية، وحبيسة التجريد النظري، بعيدةً نسبيا عن التطبيق العملي الذي ينتظِره الطالب الجامعي في مؤسسته،

والباحث في تجربته. وهذه الفجوة بين الجانبين التَّطبيقي والنظري غالبا ما تؤدي إلى مشكلة لا مناص منها: كيف لمقرَّر دراسي جامعيٍّ تطبيقيٍّ أن يستقي مادته من مؤلَّفات بعيدة عن الممارسة والجانب العملي، ولا تراعي بالشكل الكافي احتياجات الطالب؟ إنَّها مفارقة تضع المدرّسين أمام خيارين: إمَّا اجترار النظريّ في المدرجات، أو السعي نحو سلوك طرق بديلةٍ لجسر الفجوة.

يقترح المؤلف هنا سدّ هذا النقص في كتابه من خلال إعداد دعامة بيداغوجية متكاملة باللغة العربية. فقد جمع بين المبادئ الأساسية لخوارزميات الذكاء الاصطناعي المستوحاة من الطبيعة، وشرح آليات عملها، والخطوات المنهجية اللازمة لتصميمها وتطبيقها، كما بيّن كيفية توظيفها في النمذجة والتحسين (الأمثلة) وحل عدد من المسائل الرياضية المتقدمة.

صدر هذا الكتاب في طبعته الأولى عن "المكتب العربي للمعارف" بالقاهرة عام 2020، وفي طبعته الثانية عام 2024 عن دار "صفهرنهايت للنشر والتوزيع" بالجزائر. والكتاب موجّه بوجه خاص إلى طلبة الماستر والمهندسين وطلبة الدكتوراه، وكذلك إلى الباحثين في مختلف التخصصات. ويقدم المؤلف شرحا مبسطا لمبادئ عمل أكثر من 10 خوارزميات جديدة في مجال الذكاء الاصطناعي، جاءت في ستة فصول هي:

1. المنطق الضبابي (Fuzzy Logic)،
2. الشبكات العصبونية (Neural Networks)،
3. تصنيف الخوارزميات (Classification of Algorithms)،
4. الخوارزميات وحيدة المسار الذكي **Algorithms with a single intelligent path**،
5. خوارزميات الحساب التطوّري: الخوارزمية الجينية (Evolutionary Computation: Genetic Algorithms)،
6. خوارزميات ذكاء المجموعة (Swarm Intelligence Algorithms).

المحتوى

يستهل الفصل الأول الذي عنونه الكاتب بالمنطق الغامض -والمصطلح الأكثر استعمالا هو المنطق الضبابي- بالإشارة إلى أصل هذا المنطق ضمن مقدمة عن نظرية المجموعات الضبابية التي جاء بها لطفي زاده عام 1965 كبديل للمنطق البولياني (نسبةً إلى الرياضياتي Boole) الكلاسيكي الذي لا يعرف سوى الصفر والواحد. والواقع أن هذا المنطق هو امتداد للمنطق الكلاسيكي (صحيح-خاطئ)، ويعتمد على فكرة 'درجات الصدق' بدلاً من القيم الثنائية المطلقة حيث يأخذ المتغير قيما بين 0 و 1 تعبر عن مدى انتمائه إلى مجموعة معينة، مما يسمح بنمذجة عدم اليقين والغموض (الضبابية) الموجود في اللغة الطبيعية والواقع الفيزيائي.

يقوم النظام الضبابي على ثلاث مراحل رئيسية: 'التضبيب' (Fuzzification) الذي يحوّل المدخلات الرقمية إلى درجات انتماء عبر دوال انتماء أو انتساب (Membership Functions)، ثم تأتي "قاعدة القواعد" (Rule Base) التي تتضمن جملة من القواعد الشرطية بصيغة "إذا-فإن" (If-Then) تصاغ بلغة قريبة من المنطق البشري. وأخيرا تأتي مرحلة "إزالة التضبيب" (Defuzzification) التي تحوّل المخرجات الضبابية إلى قيم رقمية قابلة للتنفيذ. يتميز المنطق الضبابي بقدرته على التعامل مع المعلومات غير الدقيقة والمتغيرات اللغوية مثل "ساخن"، "بارد"، "سريع"، "بطيء"، وهذ الخاصية تجعله مثاليا للأنظمة التي تعتمد على الخبرة البشرية والمعرفة التقريبية.

وأشهر تطبيقاته العملية نجدها في المكيفات الهوائية التي تضبط درجة الحرارة بناءً على مدى "البرودة" أو "السخونة" المحسوسة، وكذلك الغسالات الآلية التي تقدر كمية الماء والمنظف بناءً على درجة اتساخ الملابس، وأنظمة "الفرامل المانعة للانغلاق" (ABS) في السيارات، بالإضافة إلى أنظمة التحكم الصناعي والروبوتات. يختلف المنطق الضبابي عن الشبكات العصبونية في كونه نظاما قابلا للتفسير والتدقيق البشري، بينما تُعد الشبكات العصبونية أنظمة تعلمية تعتمد على البيانات؛ لكن يمكن دمجهما معا في أنظمة هجينة تستفيد من مزايا كليهما.

يُستخدم المنطق الضبابي بنجاح في مجالات واسعة كالتحكم العملياتي، والتنبؤ المالي، والتشخيص الطبي، واتخاذ القرار، ومعالجة الصور، وأنظمة دعم القرار. ونتيجة لذلك يعدّ هذا المنطق أداة قوية ومرنة للتعامل مع تعقيدات العالم الحقيقي التي لا تخضع لمنطق "نعم- لا" الصارم. يشرح هذا الفصل كل ذلك، ويختتم بتطبيقات واسعة في الأنظمة الاستهلاكية كالغسالات والكاميرات والمكيفات، إلخ.

في الفصل الثاني ينتقل بنا الكاتب إلى الشبكات العصبونية، ويركز على الشبكات متعددة الطبقات وخوارزمية الانتشار العكسي للتعلم، وهي الآلية الأكثر إنتاجية لتقريب الدوال غير الخطية. تمثل هذه الشبكات نموذجا حسابيا مستوحى من بنية الدماغ البشري، وتتكون من وحدات بسيطة مترابطة تُسمى "الخلايا العصبونية الاصطناعية" أو "العُقد"، تُنظم في طبقات متتالية: طبقة إدخال تستقبل البيانات، وطبقة أو أكثر من الطبقات الخفية التي تقوم بمعالجة المعلومات، وطبقة إخراج تؤدي إلى النتيجة النهائية. يرتبط كل عصبون بآخر عبر "أوزان" (weights) تُعدل قيمها أثناء عملية التعلّم حيث يستقبل العصبون المدخلات من العصبونات السابقة، ويجمعها، ثم يطبق عليها دالة تنشيط (Activation function) غير خطية لتوليد مخرجاته التي تنتقل إلى الطبقة التالية.

تعتمد عملية التعلم على خوارزمية "الانتشار العكسي" (Backpropagation) التي تحسب الخطأ عند المخرجات بهدف تقليل الفرق بين المخرجات المتوقعة والقيم الحقيقية. تتنوع بنيات الشبكات العصبونية لتشمل الشبكات "التغذية الأمامية" (Feedforward) الأبسط، والشبكات "الالتفافية" (CNNs) المتخصصة في معالجة الصور، والشبكات "المتكررة" (RNNs) المصممة للبيانات المتسلسلة كالنصوص والصوت، والشبكات "التوليدية الخصومية" (GANs) القادرة على إنشاء محتوى جديد.

تُستخدم هذه التقنية في تطبيقات متعددة، كالتعرف على الوجه والصوت، وترجمة اللغات، وتشخيص الأمراض من الصور الطبية، والقيادة الذاتية، وتحليل الأسواق المالية، وأنظمة أخرى في منصات البث والتسوق. وتتميز الشبكات العصبونية بقدرتها على تعلم الأنماط المُعقّدة وغير الخطية من البيانات الضخمة، وذلك دون الحاجة إلى برمجة صريحة للقواعد، لكنها تتطلب كميات كبيرة من البيانات وقدرات حاسوبية عالية. وتعاني أحيانا من مشكلة التجهيز الزائد (Overfitting) أو صعوبة تفسير قراراتها (مشكلة الصندوق الأسود). وبفضل التطور المستمر في المعالجات المتخصصة وتراكم البيانات، أصبحت الشبكات العصبونية الركيزة الأساسية لثورة الذكاء الاصطناعي الحديث، ومحركا رئيسيا للتقدم في مجالات "التعلم العميق" (Deep Learning) والذكاء الاصطناعي التوليدي.

يستعرض الفصل أنواعا أخرى من الشبكات، مثل شبكة "هوبفيلد" (Hopfield) المتكررة التي تعمل كذاكرة ترابطية، وشبكة "كوهونن" (Kohonen) ذاتية التنظيم التي تنتج خرائط طوبوغرافية تحافظ على علاقات الجوار. وينتهي الفصل بذكر مزايا الشبكات كالتعلم الآلي ومقاومة الضجيج، وعيوبها كصعوبة اختيار البنية المثلى والإفراط في التعلم.

ثم تناول الأستاذ سعدي في الفصل الثالث عملية تقسيم الخوارزميات إلى مجموعات وفئات بناءً على معايير محددة، مثل طريقة عملها أو طبيعة المشكلة التي تحلها أو استراتيجية البحث التي تتبعها. يساعد هذا التصنيف الباحثين والمطورين على اختيار الخوارزمية المناسبة لكل مسألة. ويتعلق الأمر هنا بفصل نظري بحت حيث يعرّف الخوارزميات

الاستدلالية العليا بوصفها طرق بحث عامة احتمالية مستوحاة من الطبيعة. وقد صُممت لتجاوز مسألة الحلول المحلية التي تعاني منها الطرق التقليدية القطعية. وتتميز هذه الخوارزميات بتجريد عال يجعلها قابلة للتكيف مع مختلف المسائل المستمرة (المتصلة) أو المتقطعة. ورغم أنها لا تقدم ضمانات رياضية بالوصول إلى الحل الأمثل فإنها عملية وفعالة لحسابات معقدة تتطلب أجهزة قوية. يتم تصنيف هذه الخوارزميات حسب المصدر إلى:

1) مستوحاة من الطبيعة كالخوارزميات الجينية ومستعمرات النمل،

2) غير مستوحاة كالبحث المحظور والباحث المحلي المكرر.

كما تصنف حسب استعمال الذاكرة إلى: ذات ذاكرة كاملة أو عديمة الذاكرة، وحسب الجوار إلى: بحث بجوار واحد أو عدة جوارات متغيرة. وكل هذا يهيئ للفصول التالية التي تشرح كل عائلة بالتفصيل. يساعد هذا التصنيف في فهم نقاط القوة والضعف لكل خوارزمية، ويُرشد الباحث إلى اختيار الأنسب بناءً على حجم البيانات والوقت المتاح ودقة الحل المطلوبة وطبيعة المسألة، سواء كانت خطية أو غير خطية أو محدبة أو غير محدبة. يمثّل كل ذلك خطوة أساسية في أي مشروع ذكاء اصطناعي أو بحث عملياتي.

ويتناول الفصل الرابع موضوع "الخوارزميات وحيدة المسار الذكي"، وهي فئة من خوارزميات البحث والتحسين تعتمد على استكشاف فضاء الحلول عبر مسار واحد متتابع حيث تبدأ بحل وحيد (عشوائي أو مبدئي) وتُحسِّنه (تُؤَمْثِله) تدريجيا عبر خطوات متتالية، وتُقيَّم جودة الحل الحالي ويُنتقل إلى حل مجاور أفضل في كل خطوة آخذةً بعين الاعتبار المعلومات المستقاة من البيئة المحيطة. ومن أشهر أمثلتها خوارزمية التسلق الجبلي التي تتحرك نحو الحل الأفضل في كل خطوة، وخوارزمية البحث المحظور التي تتجنب الوقوع في الحلول المحلية المكررة، وخوارزمية التلدين المحاكى التي تسمح أحيانا بالقبول بحلول أسوأ مؤقتا للهروب من المناطق المحلية غير المثلى.

تتميز هذه الخوارزميات ببساطتها وسرعتها التنفيذية لأنها تستهلك ذاكرة أقل وتعتمد على عمليات حسابية محدودة في كل تكرار، مما يجعلها مناسبة للمسائل التي تتطلب مدة استجابة قصيرة. أما عيبها الرئيسي فيكمن في إمكانية وقوعها في الحلول المحلية التي تبدو أفضل من جوارها ومع ذلك فهي ليست الحل الأمثل. وللتغلب على هذا العيب تُدمَج مع استراتيجيات مساعدة مثل إعادة التشغيل العشوائي أو الذاكرة قصيرة المدى أو قبول حلول أسوأ بنسب معينة، مما يزيد في قدرتها على استكشاف فضاء البحث بشكل أوسع. تُطبَّق هذه الخوارزميات بنجاح في مجالات مثل تحسين (أَمثَلَة) المسارات في الشبكات، وجدولة الإنتاج، وتصميم الدوائر الإلكترونية.

في الفصل الخامس يتطرف المؤلف للحساب التطوري الذي يمثل فرعا من فروع الذكاء الاصطناعي يستوحي مبادئه من نظرية التطور الداروينية. وأشهر خوارزمياته "الخوارزمية الجينية" التي تحاكي آليات الانتقاء الطبيعي والتكاثر والطفرة لتطوير حلول المسائل المعقدة حيث تبدأ بتوليد مجموعة عشوائية من الحلول المحتملة، ثُم تُقيَّم جودة كل حل بواسطة دالة ملاءمة (Fitness function)، وتُختار الحلول الأفضل للتكاثر. تُستخدم هذه الخوارزميات في أمثَلة التصاميم الهندسية، وجدولة المهام، وتدريب الشبكات العصبونية، وحل مسائل الأمثلة غير الخطية التي يصعب حلها بالطرق التقليدية، وتتميز بقدرتها على استكشاف مساحات حلول شاسعة ومعقدة دون الحاجة لشروط رياضية صارمة. ولذلك فهي تُعدّ أدوات قوية ومرنة في البحث العملياتي والذكاء الاصطناعي.

وفي الفصل الأخير تمت معالجة "خوارزميات ذكاء المجموعة" (أو ذكاء الأسراب)، وهي ذكاء اصطناعي يستوحي أفكاره -كما أسلفنا- من سلوكيات الكائنات الحية الاجتماعية مثل النمل والنحل والطيور والأسماك. وتعتمد هذه الخوارزميات على فكرة أن الأفراد البسطاء محدودي القدرات يمكنهم، من خلال التفاعل والتواصل البسيط فيما بينهم، أن ينتجوا سلوكا جماعيا ذكيا ومعقدا قادرا على حل مشاكل حسابية صعبة. ومن أشهر أمثلة هذه الخوارزميات: خوارزمية

أمثلة مستعمرة النمل (ACO) المستخدمة في إيجاد أقصر المسارات، وخوارزمية سرب الجسيمات (PSO) المستخدمة في أمثلة الحلول الرياضية. وتُطبَّق هذه التقنيات أيضا في مجالات متعددة كالروبوتية، وأمثلَة الشبكات، والتنبؤ المالي، وحتى في تخطيط مسارات الطائرات بدون طيار. ومن مميزاتها قدرتها على إيجاد حلول تقريبية للمسائل المعقدة التي يصعب حلها بالطرق الرياضية التقليدية.

وفي الختام، لا يسعنا إلا أن نثمن الجهد الكبير الذي بذله المؤلف سعدي سلامي في وضع هذا الكتاب الذي يمكن اعتباره مرجعا عربيا في بابه. غير أن هذا الجهد العلمي المشكور يصطدم بضعف ملحوظ في الإخراج الفني والتحريري، يُضاف إليه غياب مسرد للمصطلحات العلمية وإشارات لها في المتن مع مقابلاتها الإنكليزية. ومن تداعيات هذا النقص أنه يصعب أحيانا الاستفادة من الكتاب بالشكل الكامل. كما أن بعض الترجمات المصطلحية كانت موضع تساؤل، كترجمة "Optimization" بـ"تحسين" مع أن الأدق هو "استمثال" أو "أمثلة"، وترجمة النعت "Fuzzy" بـ"غامض" بدلاً من "ضبابي"، وهو ما يثير أسفنا ويجعلنا نأمل في مراجعة هذه الجوانب في الطبعات القادمة للكتاب.