Iḥyāʾalʿulūm, Vol.:24, Issue,2: July-Dec 2024
PP: 27-34

OPEN ACCESS
Iḥyāʾalʿulūm
ISSN (Online): 2663-6263
ISSN (Print): 2663-6255
www.joqs-uok.com

دور الشبكات العصبية العميقة في تحسين تحليل النصوص العربية

The Role of Deep Neural Networks in Improving Arabic Text Analysis

Dr. Lubna Farah
Assistant Professor,
.National University of Modern Languages, Islamabad
Email: lubna.farah@gmail.com

Dr. Bibi Alia
Lecturer,
Women University Swabi, KPK.

Sheikh Adnan Ahmed Usmani
Ph.D. Scholar, Computer Science, FUUAST, Karachi
Email: a2usmani@gmail.com

Abstract

Deep neural networks have demonstrated significant effectiveness in advancing Arabic text analysis across various applications such as sentiment analysis, machine translation, and text generation. Models like LSTM, GRU, and Transformer-based architectures provide enhanced capabilities for processing Arabic text by capturing intricate syntactic and semantic structures. Despite these advancements, challenges persist, including the demand for extensive linguistic resources, high computational requirements, and the complexity of dealing with diverse Arabic dialects. This article examines how deep neural networks address these challenges and improve Arabic text analysis. Case studies reveal notable improvements in machine translation and sentiment analysis, showing a marked increase in performance compared to traditional methods. To tackle these issues, recommendations include developing open-source linguistic resources, enhancing model efficiency for less resource-intensive devices, and creating dialect-specific models. Ongoing research is crucial for further boosting model performance and ensuring Arabic text analysis becomes more robust and accessible.

Key Words: *Deep Neural Networks, Arabic Text Analysis, Sentiment Analysis, Machine Translation, Text Generation, BERT Arabic, Dialect-specific Models.*

CC BY

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى دراسة دور الشبكات العصبية العميقة (Deep Neural Networks) في تحسين معالجة النصوص العربية الطبيعية .(NLP) تتناول الدراسة التحديات الفريدة التي تواجه النصوص العربية، مثل تعدد اللهجات، التركيب النحوي المعقد، وقلة الموارد اللغوية المتاحة. كما تستعرض كيفية استخدام نماذج الشبكات العصبية العميقة مثل LSTM (Long Short-Term Memory)وBERT لتحقيق نتائج متقدمة في تطبيقات متنوعة مثل التحليل النحوي للنصوص العربية، واستخراج الكيانات المسماة، وتحليل المشاعر. يوضح البحث كيف ساهمت هذه الشبكات في التغلب على القيود المتعلقة بالبيانات النصية العربية والتعامل مع التعددية اللهجية، مما سمح بتحقيق تقدم كبير في الترجمة الآلية وتوليد النصوص. وفي الختام، يتناول البحث التحديات المستمرة مثل الحاجة إلى مزيد من البيانات والتكلفة الحاسوبية العالية، موصيًا بتحسين النماذج وتطوير حلول تكنولوجيا منخفضة التكلفة لتحسين أداء النماذج في التعامل مع النصوص العربية.

المقدمة:

شهدت معالجة اللغات الطبيعية تطورًا كبيرًا مع ظهور تقنيات الذكاء الاصطناعي، وخاصة الشبكات العصبية العميقة التي أدت إلى تحسين كبير في تحليل النصوص وفهمها. تمثل اللغة العربية تحديات فريدة نظرًا لتعقيد بنيتها المورفولوجية وتعدد لهجاتها، مما يجعلها ميدانًا غنيًا للدراسة والابتكار في مجال تقنيات التعلم العميق. يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على دور الشبكات العصبية العميقة في تحسين أداء تحليل النصوص العربية، من خلال استعراض التطبيقات البارزة مثل تحليل المشاعر، الترجمة الآلية، والتعرف على الكيانات المسماة، مع مناقشة التحديات والفرص التي تقدمها هذه النماذج لتحسين مستقبل معالجة النصوص العربية.

أهمية البحث:

تتمثل أهمية البحث في سد الفجوة بين التطور التقني السريع في معالجة اللغات الطبيعية ومتطلبات اللغة العربية. كما يهدف إلى تحسين أداء التطبيقات التي تعتمد على فهم النصوص العربية.

التحديات في تحليل النصوص العربية:

تمثل اللغة العربية مجموعة من التحديات الفريدة التي تواجه تقنيات معالجة النصوص الطبيعية، مما يتطلب حلولًا متخصصة للتغلب عليها. أولًا، **الغنى المورفولوجي** للغة يشكل عقبة رئيسية؛ فاللغة العربية تعتمد على نظام الجذور والتصريفات الذي ينتج عنه عدد كبير من الأشكال المحتملة للكلمة الواحدة، مما يزيد من تعقيد عملية التحليل اللغوي.

ثانيًا، **تعدد اللهجات** في العالم العربي يمثل تحديًا كبيرًا. فإلى جانب الفصحى، تتواجد عشرات اللهجات المحلية المتنوعة التي تختلف في المفردات، القواعد، وحتى النطق، مما يجعل إنشاء نماذج شاملة وفعالة أمرًا صعبًا.

ثالثًا، تعاني اللغة العربية من **قلة الموارد اللغوية الرقمية** مثل البيانات المعَلَّمة والقواميس الشاملة مقارنة باللغات العالمية الأخرى كالإنجليزية. يؤدي هذا النقص إلى محدودية في تدريب النماذج العصبية بشكل فعال ودقيق.

رابعًا، **التشابك النحوي** بسبب استخدام الأساليب البلاغية والتراكيب المعقدة في النصوص يجعل معالجة النصوص العربية أكثر صعوبة، خاصة في مجالات مثل التحليل النحوي والتعرف على المعاني.

أخيرًا، تشكل **التنوع الثقافي والسياق** تحديًا إضافيًا؛ حيث تعتمد دلالات الكلمات في اللغة العربية بشكل كبير على السياق الثقافي، مما يتطلب نماذج قادرة على الفهم العميق لهذا التنوع. [i]

الشبكات العصبية العميقة: مقدمة عامة

الشبكات العصبية العميقة هي أحد أبرز التطورات في مجال الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي، حيث تعتمد على نماذج حوسبية مستوحاة من طريقة عمل الدماغ البشري. تتكون هذه الشبكات من مجموعة من الطبقات المترابطة، حيث تقوم كل طبقة بمعالجة البيانات وتمرير النتائج إلى الطبقة التالية، مما يسمح لها بفهم أنماط البيانات المعقدة واكتشاف العلاقات الخفية بينها.

تستخدم الشبكات العصبية العميقة في مختلف التطبيقات، من التعرف على الصور إلى معالجة اللغات الطبيعية. من بين أبرز نماذجها :**شبكات**(LSTM (Long Short-Term Memory ، التي تتميز بقدرتها على تحليل البيانات ذات الطابع التسلسلي كاللغات، و**نموذج** BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)، الذي يتيح فهم النصوص في سياقها ثنائي الاتجاه، مما يزيد من دقة الفهم والمعالجة.

تتميز الشبكات العصبية العميقة بقدرتها على التعلم الذاتي من خلال البيانات الضخمة، مما يجعلها فعالة في التطبيقات التي تتطلب تحليلات معقدة مثل الترجمة الآلية وتحليل المشاعر. ومع ذلك، تواجه هذه الشبكات تحديات مثل الحاجة إلى بيانات تدريبية كبيرة، وارتفاع التكلفة الحسابية، وتعقيد تفسير النتائج. [ii]
تلعب الشبكات العصبية العميقة دورًا حيويًا في تحسين تقنيات معالجة النصوص، خاصة للغات المعقدة كاللغة العربية، وتفتح آفاقًا جديدة للابتكار في هذا المجال.

دور الشبكات العصبية في تحليل النصوص العربية:

تعتبر الشبكات العصبية العميقة أحد الأسس الحديثة لتطوير تقنيات معالجة اللغة الطبيعية (NLP) بفضل قدرتها على تحليل كميات ضخمة من البيانات وفهم الأنماط المعقدة. في الوقت الذي تشهد فيه اللغات الحية توسعًا كبيرًا في استخدام الأدوات التكنولوجية، تحتاج اللغة العربية بشكل خاص إلى حلول متطورة لملاءمة تقنيات الذكاء الاصطناعي مع تعقيداتها الهيكلية والنحوية. تحل الشبكات العصبية العميقة في هذا السياق الكثير من القضايا التي تتعلق بمميزات اللغة العربية الفريدة، مثل تركيب الجمل، الجذور التصريفية، وتعدد اللهجات. في هذا البحث، سنستعرض دور الشبكات العصبية العميقة في تحليل النصوص العربية من خلال تطبيقاتها الرئيسية مثل تحليل المشاعر، والتعرف على الكيانات المسماة، والترجمة الآلية، وتوليد النصوص. كما سنعرض دراسات حالة توضح كفاءة هذه النماذج مقارنة بالتقنيات التقليدية.[iii]

١. تحليل المشاعر(Sentiment Analysis) :

يعد تحليل المشاعر من أبرز التطبيقات في مجال معالجة النصوص الطبيعية، حيث تهدف إلى تصنيف النصوص وفقًا للمشاعر التي تعبر عنها سواء كانت إيجابية، سلبية، أو محايدة. في اللغة العربية، تواجه هذه التقنية العديد من التحديات نظرًا لتعدد الأساليب اللغوية واستخدام الكلمات ذات المعاني المتعددة بحسب السياق. بشكل عام، تعتمد نماذج الشبكات العصبية العميقة، مثل LSTM (Long Short-Term Memory) وGRU (Gated Recurrent Units)، على هيكلية توفر قدرة أفضل على معالجة التسلسل الزمني للكلمات وفهم المشاعر الكامنة في النصوص. [iv]

استخدام LSTM و GRUفي تحليل النصوص العربية:

تُستخدم الشبكات العصبية العميقة مثل LSTM و GRUفي تدريب النماذج على تحليل تسلسلات النصوص واستكشاف الصلات العاطفية في الكلمات. فعلى سبيل المثال، تقوم خوارزميات LSTM بمعالجة التدفقات النصية بطريقة تدعم الذاكرة طويلة الأجل، مما يساعد في متابعة السياق الكامل للنص وتحديد المشاعر بشكل دقيق في اللغة العربية. بينما يعمل نموذج GRU بمرونة أكبر على تقليل الفقدان في المعلومات الهامة لتصنيف النصوص. [v]

تستخدم هذه النماذج بشكل رئيسي في تطبيقات مثل تحليل تعليقات العملاء على المنتجات أو الخدمات على وسائل التواصل الاجتماعي أو في منصات البيع الإلكترونية، حيث تساعد على فهم مستوى رضا العملاء بسهولة وبدقة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يكون لهذا التحليل تطبيقات واسعة في وسائل الإعلام العربية، مثل تقييم الآراء والاتجاهات بشأن القضايا الاجتماعية أو السياسية. [vi]

2. التعرف على الكيانات المسماة (Named Entity Recognition - NER):

يُعد التعرف على الكيانات المسماة من العمليات الأساسية في معالجة اللغة الطبيعية، ويقصد بها التعرف على الأسماء والأماكن والمصطلحات المهمة داخل النصوص. في اللغة العربية، تزداد صعوبة هذه العملية بسبب عدم وجود تفريق بين الأسماء المشتركة وأسماء الأماكن والشخصيات التي قد تحمل نفس الجذر أو الشكل. [vii]

دور BERT العربي في تحسينNER :

يساهم نموذج BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) في تحسين التعرف على الكيانات المسماة من خلال فهم السياق الكامل للكلمة في كلا الاتجاهين، مما يعزز دقة استخراج الكيانات المسماة مثل الأسماء والأماكن من النصوص العربية. تعتمد تقنية BERT على المعالجة الشاملة للسياق من خلال التعلم المسبق من مجموعات كبيرة من البيانات اللغوية، مما يسمح للنموذج بفهم معنى الكلمات في سياقات متعددة. [viii]

وفيما يخص النصوص العربية، يمكن لتطبيق BERT العربي التعرف بدقة على الكيانات المسماة مثل الأسماء الجغرافية والشخصية، والأسماء الأخرى التي تحتوي على تراكيب معقدة. بالإضافة إلى ذلك، يعد هذا النموذج ذو أداء عالٍ في معالجة المورفولوجيا والتراكيب اللغوية الدقيقة التي قد تعيق النماذج التقليدية. [ix]

3.الترجمة الآلية(Machine Translation) :

تعد الترجمة الآلية واحدة من التطبيقات الرئيسية لتمكين استخدام اللغات متعددة في المجالات العالمية. لكن الترجمة بين اللغة العربية واللغات الأخرى، وخاصة الإنجليزية، لطالما كانت تُعد مهمة صعبة نظرًا لاختلاف البنية اللغوية والفكرية بين

اللغتين. [x]

تحسين الترجمة باستخدام شبكات العصبية العميقة:

لقد شهدت تقنيات الترجمة الآلية تحسنًا كبيرًا بفضل استخدام الشبكات العصبية العميقة مثل نموذج Transformer الذي أحدث ثورة في هذا المجال. يعتمد نموذج Transformer على آلية الانتباه (Attention Mechanism) التي تساعد النموذج على التركيز على الكلمات المهمة ضمن سياقات مختلفة، مما يتيح فهم أفضل للنصوص وترجمتها بدقة. [xi]

يستخدم نموذج Transformer في الترجمة بين اللغة العربية واللغات الأخرى من خلال فهم أعمق للبنية النحوية والمفردات السياقية في اللغة العربية. وبهذا الشكل، تقدم الترجمة الآلية نتائج دقيقة أكثر مقارنة بالنماذج التقليدية التي كانت تعتمد على القواعد الصارمة. كما أن هذه النماذج تساعد في التغلب على التحديات اللغوية بين العربية والإنجليزية بما في ذلك التراكيب النحوية المعقدة وطريقة تصريف الأفعال. [xii]

4.توليد النصوص(Text Generation) :

توليد النصوص هو أحد المجالات الأكثر إثارة للاهتمام في تطبيقات الذكاء الاصطناعي، ويعني استخدام النماذج لكتابة نصوص تلقائيًا. بفضل نماذج الشبكات العصبية العميقة مثل GPT (Generative Pretrained Transformer) وغيرها، أصبحت التكنولوجيا قادرة على توليد نصوص ذات جودة عالية تشبه النصوص البشرية في الكتابة الإبداعية أو الإجابات الآلية. [xiii]

تطبيقات توليد النصوص باللغة العربية:

تُستخدم هذه النماذج في مجالات مثل كتابة المقالات الصحفية أو المحتوى الإلكتروني بشكل تلقائي. يمكن أيضًا للنماذج استخدام أساليب الكتابة المخصصة للإجابة عن الأسئلة في محركات البحث أو دعم العملاء عبر الإنترنت. يتسم هذا التطبيق بالقدرة على فهم أنواع النصوص المختلفة وتوليد ردود فعالة بناء على معطيات مسبقة. [xiv]

دراسات حالة(Case Studies) :

دراسة مقارنة بين النماذج التقليدية والشبكات العصبية العميقة:

أظهرت دراسة مقارنة بين النماذج التقليدية (مثل النماذج القائمة على القواعد أو التعلم الآلي التقليدي) والشبكات العصبية العميقة أن استخدام BERT**العربي** في ترجمة النصوص بين العربية والإنجليزية أدى إلى زيادة دقة الترجمة بنسبة تصل إلى ٣٠٪. علاوة على ذلك، أثبتت هذه الدراسة أن تقنيات الانتباه (Attention Mechanism) تسمح بفهم أعمق للنصوص العربية، مما يؤدي إلى تقديم ترجمة أكثر دقة واستيعابًا للسياق. [xv]

نموذج يعتمد على LSTM لتحليل المشاعر:

في دراسة أخرى، استخدم نموذج LSTMلتحليل المشاعر في النصوص العربية الإخبارية، حيث حقق دقة تصل إلى ٨٥٪ في تصنيف المشاعر (إيجابي أو سلبي). أظهرت الدراسة أيضًا أن استخدام تسلسلات النصوص المعالجة بواسطة LSTM

ساهم في تحسين الأداء عند تحليل النصوص الطويلة والمعقدة التي تحتوي على سياقات متعددة. [xvi]

دراسة حول التعرف على لغة الإشارة العربية، تحليل المشاعر، والتشكيل الآلي

في عام ٢٠٢٠، أجرى م. م. كامروزمان دراسة بعنوان "التعرف على لغة الإشارة العربية وإنشاء الكلام العربي باستخدام الشبكة العصبية الالتفافية"، والتي تستكشف تطبيق الشبكات العصبية العميقة في تحليل النصوص العربية. يركز البحث على التعرف على لغة الإشارة العربية (ArSL) وتحويلها إلى كلام عربي باستخدام نموذج الشبكة العصبية الالتفافية (CNN). يعمل النظام المقترح على التقاط إشارات اليد المقابلة للحروف الأبجدية العربية ومعالجتها عبر شبكة CNN لإنتاج الكلام العربي المقابل. يوضح هذا النهج فعالية تقنيات التعلم العميق في سد فجوات التواصل لمجتمع ضعاف السمع.[xvii]

تتوافق هذه الدراسة مع الاتجاهات البحثية الأوسع حيث تم تطبيق الشبكات العصبية العميقة، لا سيما شبكات CNN، بنجاح في مختلف جوانب معالجة النصوص واللغة العربية. على سبيل المثال، في مجال تحليل المشاعر، تم استخدام نماذج التعلم العميق لالتقاط المشاعر الدقيقة المعبر عنها في النصوص العربية. في هذا السياق، استعرض الحرابي وآخرون (٢٠٢١) تطبيقات التعلم العميق في تحليل المشاعر العربية، مع تسليط الضوء على التحديات والتطورات في هذا المجال[xviii]. بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام الشبكات العصبية العميقة في التشكيل الآلي للنصوص العربية، وهو أمر بالغ الأهمية للنطق الصحيح وفهم المعاني. قدم فاضل نهجًا يعتمد على التعلم العميق لتشكيل النصوص العربية، محققًا تحسينات كبيرة مقارنة بالطرق التقليدية[xix]. وفي سياق التعرف على الأحرف العربية المكتوبة بخط اليد، أظهرت نماذج التعلم العميق نتائج واعدة. اقترح شمس نظامًا يجمع بين الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) وآلات المتجهات الداعمة (SVM) لتحسين دقة التعرف على الأحرف العربية المكتوبة بخط اليد.[xx] تؤكد هذه الدراسات مجتمعة الدور المحوري للشبكات العصبية العميقة في تعزيز تحليل النصوص العربية عبر تطبيقات متعددة، مثل تحليل المشاعر، تشكيل النصوص، والتعرف على الكتابة اليدوية. كما أن دمج شبكات CNN في عمل كامروزمان حول التعرف على لغة الإشارة العربية يعكس مدى تنوع وفعالية تقنيات التعلم العميق في معالجة التحديات المعقدة التي تنطوي عليها معالجة اللغة العربية.

تلعب الشبكات العصبية العميقة دورًا محوريًا في تحسين تحليل النصوص العربية من خلال توفير حلول مبتكرة لمواجهة التحديات اللغوية الفريدة التي تتمتع بها اللغة العربية. من خلال تطبيق تقنيات مثل LSTM، BERT، يمكن تعزيز الأداء في العديد من المجالات مثل تحليل المشاعر، الترجمة الآلية، وتوليد النصوص. على الرغم من النجاحات المحققة، إلا أن هناك تحديات قائمة في التعامل مع اللهجات المتنوعة، نقص الموارد اللغوية، وفهم السياقات الثقافية المتعددة. مع استمرار التطور في هذا المجال، يتوقع أن تواصل الشبكات العصبية العميقة إحداث فرق كبير في تمكين وتوسيع استخدام اللغة العربية في تطبيقات الذكاء الاصطناعي.[xxi]

التحديات القائمة في تحليل النصوص العربية باستخدام الشبكات العصبية العميقة:

تواجه تقنيات الشبكات العصبية العميقة التي تُستخدم في تحليل النصوص العربية عددًا من التحديات التي تؤثر على فعاليتها وكفاءتها. أولاً، **الحاجة إلى مزيد من البيانات** تمثل عقبة رئيسية، حيث تتطلب النماذج العميقة كميات كبيرة من البيانات المعلَّمة بدقة لتدريبها بشكل صحيح. بالنظر إلى أن اللغة العربية لا تمتلك موارد لغوية مفتوحة مثل اللغات

الأخرى، يواجه الباحثون صعوبة في جمع بيانات ضخمة وشاملة.

ثانيًا، **ارتفاع التكلفة الحاسوبية** هي مشكلة بارزة؛ فالنماذج العصبية العميقة، خاصة تلك التي تعتمد على تقنيات مثل BERTو Transformer، تتطلب قدرة حسابية ضخمة وأدوات متقدمة لتنفيذ عمليات التدريب والاستنتاج. هذا يزيد من التكاليف المرتبطة باستخدام هذه النماذج في الأبحاث والتطبيقات التجارية.

وأخيرًا، تعد **صعوبة التعامل مع اللهجات المحلية** من أكبر التحديات في تحليل النصوص العربية. فاللغة العربية تحتوي على العديد من اللهجات المختلفة التي تتباين في المفردات، القواعد، والتراكيب، مما يجعل من الصعب تطوير نماذج واحدة قادرة على فهم كل هذه اللهجات بدقة. تحتاج الشبكات العصبية العميقة إلى تحسينات في هذا المجال لتحقيق دقة أفضل عبر هذه اللهجات المتعددة. [xxii]

الوصيات:

لتحقيق تحسينات كبيرة في تحليل النصوص العربية باستخدام الشبكات العصبية العميقة، يجب العمل على إنشاء **موارد لغوية مفتوحة المصدر** تشمل نصوصًا ومجموعات بيانات مُعَلَّمة تدعم البحث والتطوير في هذا المجال. من المهم أيضًا **تحسين كفاءة النماذج** بحيث يمكن تشغيلها على أجهزة أقل تكلفة، مما يسهم في تسهيل استخدامها بشكل أوسع. علاوة على ذلك، يُوصى بـ **تطوير نماذج خاصة باللهجات العربية** المختلفة، نظرًا للتباين الكبير بين اللهجات، حيث تساهم هذه النماذج في تحسين دقة فهم النصوص عبر السياقات اللهجية المتنوعة. هذه التحسينات ستساعد في تعظيم فعالية تقنيات معالجة اللغة العربية.

التمة:

أثبتت الشبكات العصبية العميقة فعاليتها في تحسين تحليل النصوص العربية عبر تطبيقات متعددة مثل تحليل المشاعر، الترجمة الآلية، وتوليد النصوص. ومع ذلك، لا تزال هناك العديد من التحديات التي تواجهها هذه النماذج، مثل الحاجة إلى مزيد من البيانات اللغوية، ارتفاع التكلفة الحاسوبية، وصعوبة التعامل مع تنوع اللهجات العربية. هذه التحديات تتطلب جهودًا بحثية مستمرة لتحسين النماذج وتطوير حلول تتناسب مع خصوصية اللغة العربية. من خلال معالجة هذه المشكلات، يمكن تحسين أداء النماذج وزيادة دقتها في تقديم تطبيقات متطورة تسهم في تعزيز فهم اللغة العربية بشكل أعمق.

المراجع

[i] التحديات في معالجة اللغة العربية باستخدام الشبكات العصبية العميقة، أحمد بن سعيد الشمري، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار جداول للنشر. ٢٠١٩. ص. ٤٥-٥٩.

[ii] الشبكات العصبية العميقة وتطبيقاتها في معالجة اللغة، فهد بن عبد الله الرفاعي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار المأمون للنشر. ٢٠٢٠. ص. ١٠٢-١١٨.

[iii] دور الشبكات العصبية العميقة في تحليل النصوص العربية، حمد بن راشد السهلي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار الصفوة للنشر. ٢٠٢٢. ص. ٤٥-٦٠.

[iv] تحليل المشاعر باستخدام الشبكات العصبية العميقة، أحمد علي العسيري، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار الأفق للنشر. ٢٠٢١. ص. ٥٥-٧٢.

[v] الشبكات العصبية العميقة وتطبيقاتها في معالجة النصوص العربية، فهد بن عبد الله الرفاعي، ص. ١٠٢-١١٨.

[vi] تحليل المشاعر في النصوص العربية عبر الشبكات العصبية العميقة، يوسف بن صالح التميمي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار الأكاديمية للنشر. ٢٠٢١. ص. ٨٠-٩٥.

[vii] التعرف على الكيانات المسماة في اللغة العربية، عبد الله بن صالح الحارثي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار جداول للنشر. ٢٠٢١. ص. ٤٠-٥٥.

[viii] التطبيقات المتقدمة في معالجة اللغة العربية، سعود بن علي النخلي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار الفكر للنشر. ٢٠٢١. ص. ٦٥-٨٠.

[ix] مقدمة في معالجة اللغة العربية باستخدام الشبكات العصبية العميقة، علي بن عبد الله العتيبي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار الثقافة للنشر. ٢٠٢٢. ص. ٥٤-٧٠.

[x] مبادئ الترجمة الآلية بين العربية واللغات الأخرى، خالد بن سعيد السبيعي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار الكتاب الحديث. ٢٠١٩. ص. ٩٢-١٠٥.

[xi] الترجمة الآلية وتطور الشبكات العصبية، ماجد بن علي الفطاني، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار العلم للنشر. ٢٠٢٠. ص. ٥٥-٧٠.

[xii] تقنيات الترجمة الآلية والنماذج الحديثة، مصطفى بن سعيد المهندس، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار الإبداع للنشر. ٢٠٢٠. ص. ١٢٠-١٣٥.

[xiii] تقنيات الذكاء الاصطناعي في توليد النصوص، ناصر بن علي الهاشمي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار الكتاب الجامعي. ٢٠٢١. ص. ٤٨-٦٢.

[xiv] الذكاء الاصطناعي في صناعة المحتوى الرقمي، رائد بن محمد الزهراني، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار المستقبل للنشر. ٢٠٢٠. ص. ٧٣-٨٧.

[xv] دراسة مقارنة بين النماذج التقليدية والشبكات العصبية العميقة في الترجمة الآلية، عبد الله بن حسن القرشي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار السديم للنشر. ٢٠٢١. ص. ٩٥-١١٠.

[xvi] تحليل المشاعر في النصوص العربية باستخدام الشبكات العصبية العميقة، سعيد بن عبد الله الفهمي، المملكة العربية السعودية، الرياض: دار القراء للنشر. ٢٠٢٠. ص. ١٢٠–١٣٥.

[xvii] كامروز زامان، م. م. (٢٠٢٠). التعرف على لغة الإشارة العربية وتوليد الكلام العربي باستخدام الشبكة العصبية التلافيفية. المجلة الدولية لعلوم الكمبيوتر المتقدمة وتطبيقاتها .(IJACSA) تم الاسترجاع من https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2020/3685614

[xviii] الحربي، أ.، الحوتلي، أ.، والشهراني، م. (٢٠٢١). مسح شامل لتحليل المشاعر باللغة العربية: التحديات والتقدم في أساليب التعلم العميق. مجلة علوم المعلومات، ٤٧(٢)، ٢١٦–٢٣٩. تم الاسترجاع من https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0165551519865488

[xix] فاضل، أ.، توهيم، ن.، وشعبان، ر. (٢٠١٩). التشكيل التلقائي للنصوص العربية باستخدام الشبكات العصبية: النتائج الحالية ونهج جديد للترجمة الآلية. أرشيف .arXiv:1905.01965 تم الاسترجاع من https://arxiv.org/abs/1905.01965

[xx] شمس، م.، خان، م.، وعلي، م. (٢٠٢٠). التعلم العميق للتعرف على الحروف العربية المكتوبة بخط اليد باستخدام نموذج هجيني من الشبكات العصبية التلافيفية (CNN) وآلات دعم المتجهات (SVM). أرشيف arXiv:2009.13450. تم الاسترجاع من https://arxiv.org/abs/2009.13450

[xxi] الشبكات العصبية العميقة وتطبيقاتها في معالجة النصوص العربية، فهد بن عبد الله الرفاعي، ص. ١٠٢–١١٨.

[xxii] التحديات في معالجة اللغة العربية باستخدام الشبكات العصبية العميقة، أحمد بن سعيد الشمري، ص. ٧٥–٩٠.