النظرية العلمية كمنهج تمثّلي ونموذج تمثيلي

إبراهيم اشعيل
جامعة سيدي محمد بن عبد الله ــ فاس ــ المغرب

1- مكانة النماذج في النظرية العلمية

يحظى مفهوم النموذج من المنظور العلمي، بأهمية بالغة لاعتبارات تصنيفية، تجعل من النموذج ـــ غالبا ــ بنية مادية ملموسة؛ والحال أنْ لا مُفاضلة بين حضور النموذج كأداة تمثيلية في العلوم الإنسانية والعلوم التجريبية. ثم إنه لا يمكن أن تتطور النظريات العلمية ما لم تستند إلى نماذج قوية بمختلف أنواعها التمثيلية؛ فالموضوع الرئيس لفلسفة العلوم، حسب "باتريك سبس" (Patrick Suppes) يتمثّل في تحليل بنية النظريات العلمية، إذْ تعتمد مقاربته في تحليل البنية التركيبية المعقدة للنظريات على فهم نماذجها المكوِّنَة لها، وذلك يسمح بتقديم نظرة عميقة وثاقبة عن طبيعة النظريات[1]؛ لذلك لكي تكون نظرية علمية ما متماسكة نظريا وتطبيقيا، لابد أن تكون قادرة على تمثيل الواقع والوقائع بنماذج غاية في الدقة، وهو ما اصطلح عليه "باتريك سبس"، مبدأ "التَّماثُل" (Isomorphism)، مُقَدِّمًا له أمثلة رياضية من جبر نظرية المجموعات. لكن ما يهمنا هنا، أنْ نؤكّد أنّ لمبدأ التماثل دور مركزي في بناء النظريات العلمية؛ إذ بهذا المبدأ، تحاول النظريات أن تخلق نوعا من التناسب أو التطابق مع الواقع الذي تحيل عليه بتوصيفاتها وتفسيراتها وكذا نمذجاتها ونماذجها المقترحة. ويكون ــ كذلك ــ لمبدأ التماثل حضور عمليّ نَمْذَجِيٌّ في النماذج المقترحة (المجردة والملموسة) في شكل علاقات أو أوجه ترابط وانسجام بين الواقع والنظرية، والنظرية والنموذج، والنموذج والواقع، وبين هذه الثلاثة معا.

1 - Patrick Suppes, Models And Methods In The Philosophy Of Science: Selected Essays, Originally published by Kluwer Academic Publishers in 1993, P : 67.

كما أنّ صلة النموذج بكل من النظرية والواقع، مبنيّة على أساس التفاعل الذي يخلقه النموذج بين الواقع والنظرية؛ فالنموذج بمثابة الجسر الذي يربط الواقع بالنظرية. لذلك، يمكن القول إن دور النموذج يتمحور حول "التوفيق بين النظرية ككيان مجرد وبين الواقع ككيانات تجريبية، وبقدر ما يكون النموذج قادرا على استيعاب أكبر عدد ممكن من الوقائع، بقدر ما تكون النظرية ذات محتوى تجريبي أكبر. فالنموذج بهذا المعنى تفعيل للنظرية أو هو نزول بها إلى أرض الواقع. ومن جهة أخرى، هو محاولة لتطهير الواقع باللجوء إلى أَمْثَلَتِهِ (بالفتح) وتجريده لكي يلتقي المجرد بالواقعي. وتلك قمة نجاح النمذجة"[2]. فأيّ عملية ربط بين الواقع والنظرية والنموذج هي عملية نمذجة. فإذا كانت النمذجة عملية، والربط وظيفة النموذج، يمكن أن نصطلح على علمية الربط هذه بـ **"أنطولوجيا النموذج"**[3].

يُعَيِّن مفهوم "النموذج العلمي" الكثير من المصطلحات ذات الصلة، من قبيل: النماذج المصغرة (Scale Models)، النماذج الفيزيائية (Physical Models)، مجموعة من المعادلات الرياضية (Sets of Mathematical Equations)، النماذج النظرية (Theoretical Models)، النماذج اللسانية (Linguistic Models)، ... إلخ. فهذه النماذج العلمية وغيرها، تحاول أن تصوغ نموذجا علميا دقيقا خاصا بمجال تخصصها، انطلاقا من المعطيات التي يوفرها كل مجال، أو بالاستمداد من العلوم ذات التأثير العلمي في باقي العلوم، نقصد هنا أركان الصرح العلمي الأربعة، (علوم اللغة ــ العلوم الرياضية ــ علوم الحاسوب ــ نظرية النماذج)[4].

يحاول العلماء غالبا فهم الظواهر المعقدة للعالم الحقيقي عن طريق إنشاء نموذج مبسط أو مثالي له في البداية؛ إذ في بعض الأحيان يقومون ببناء نموذج

2 – العمري محمد محمد، الأسس الإبستمولوجية للنظرية اللسانية "البنيوية والتوليدية"، ص: 59–60.

3 – نقصد بالأنطولوجيا هنا: **نظام العلاقات** القائمة بين مكونات الوجود (الأصول)، أو بين العناصر المكونة لنموذج من نماذج تمثيل الوجود.

4 – هذا المقترح بمثابة استنتاج توصلت إليه عند محاولة معرفة أكثر العلوم حضورا وتأثيرا في مختلف المعارف البشرية، وأكثرها استجابة للتطور العلمي.

مادي، مثل النماذج ذات المقاييس النسبية التي يُنْشِئُها العلماء لاختبار هياكل جديدة. وفي أحيان كثيرة، يضع العلماء مجموعة من الافتراضات أو المعادلات، وبناءً عليها يتمّ التوَصُّل إلى نموذج نظري أولي لنظرية ما.

كما يشير مصطلح النموذج في العلوم إلى مجموعة متنوعة من المفاهيم المترابطة من قبيل: الأشياء المادية مثل نماذج الأقيسة في الهندسة، أو الأوصاف أو مجموعة من الجمل أو وضع وتعيين الهياكل والأبنية النظرية، أو افتراض أشياء خيالية، أو مجموعة متنوعة متجانسة من كل النماذج السابقة. وهذا ما يجعل الأمر صعبا للتَّوَصُّل إلى توصيف موحّد للنماذج بشكل عام. رغم ذلك، ومن خلال الاعتبارات الفلسفية، تم إيلاء الاهتمام للتمثيل القائم على النموذج، إذْ من الممكن تمييز مجموعات معيّنة من المواقف. فعلى المستوى العام، من الجدير التفكير في النماذج كأدوات وظيفية؛ لأن ذلك يسمح بالتعرّف على الكيفية التي تؤدي بها وجهات النظر المختلفة [الفلسفية والعلمية] إلى تصوّرات مختلفة خاصة بالأنطولوجيا في النماذج. وبالتالي، يمكن اعتبار النماذج بمثابة دعائم للخيال أو وسائط مستقلة جزئيا تربط بين النظرية والواقع أو كقطع فنية معرفية تتكون من مزيج غير متجانس من العناصر"[5].

2 – النماذج في النظرية اللسانية

شهدت النماذج في النظرية اللسانية تطورا كبيرا منذ بداية سبعينيات القرن العشرين. وكما هو الحال في جميع التخصصات العلمية التي تتعامل مع المعطيات التجريبية، تسعى النماذج في النظرية اللسانية إلى تفسير ظواهرها اللغوية التي يمكن ملاحظتها؛ إنها تعمل على إعداد جهاز يحكم تصميمه النظرية اللسانية التي يحاول جميع الباحثين توضيحها والتي يؤدي إعمالها إلى نتائج مماثلة للمعطيات المرصودة في النظرية اللسانية. وبالتالي فإن النماذج هي وسائل أو أدوات لتفعيل النظرية، هذه الأدوات تمكن من قياس مدى ملاءمة هذه النظرية

5 - Lorenzo Magnani, Tommaso Bertolotti, Handbook Springer of Model-Based Science, Springer International Publishing AG 2017, P : 21-22.

مع الحقائق التي تدّعي أنها تفسرها وتشرحها. هذا من جهة، ومن جهة أخرى، كلما كانت النماذج أبسط، كلما زادت قوتها التفسيرية. لكن مبدأ البساطة هذا، يقابله قدرة النماذج على الإحاطة بأكبر قدر ممكن من المعطيات وبأدق التمثيلات الممكنة لها، وهو ما يجعل النماذج أكثر تعقيدًا، وبالتالي تصعب قراءتها وفهمها وفقًا لذلك. وعلى هذا الأساس، يتعين علينا أن نجد أفضل حل ممكن لاختيار النماذج المناسبة، بحيث تكون هذه النماذج وسيطا بين الظواهر المدروسة والمعطيات التجريبية المقترحة والنماذج التمثيلية المناسبة، خاصة عند نمذجة الظواهر اللغوية.

نقتبس ــ على سبيل المثال لا الحصر ــ في هذا السياق ما استعاره[6] "دي سوسير" من نظام لعبة "الشطرنج" في محاضراته لتوضيح حالات الثبات والتحوّل في اللغة أو بما اصطلح عليه **''السانكرونية''** و**''الدياكرونية''**؛ فاعتماد "دي سوسير" للعبة **الشطرنج** كأداة تمثيلية في سياق دراسته له مبرّراته، لأنه رأى فيها القدرة على تمثيل أفكاره، ولاحظ فيها ــ كذلك ــ نوعا من التناسب بين تصوّره للغة وهذه اللعبة، إذ يرى أن لهذه الأخيرة مجموعة قواعد يجب أن يلتزم بها اللاعب أو اللاعبان، هذه القواعد ما هي إلا مجموع الحركات المحتملة التي يمكن للاعب أن يقوم بها في حال قام اللاعب المنافس بحركة معيّنة؛ فالحركات في لعبة الشطرنج هي قائمة من الاحتمالات في مستوى أو في مرحلة من مراحل اللعبة.

نقدم هنا وصفا مبسّطا مقتضبا للعبة الشطرنج؛ هذه اللعبة "تقدّم ما يقدّر بـ 30 تحرّكا ممكنًا لكل لاعب في كل موقف لعب نموذجي. أما إذا استمرت لعبة ماستر تنافسية نموذجية، فإنها تقدم ما يقدّر (40 تحرّكا). يمكنك معرفة السبب في أن هناك ما يقدر بـ 1043 لعبة شطرنج ممكنة ومعقولة بما في ذلك الألعاب غير

6 – يمكن الإحالة في هذا السياق على رأي "أكسل جيلفيرت" (Axel Gelfert)، عن محاولته رصد العلاقة بين النماذج والقياسات والاستعارة (Models, Analogies, and Metaphor)، من خلال كتابه:

- Axel Gelfert, How to Do Science with Models - A Philosophical Primer, Springer International Publishing (2016), PP: 5-8.

المعقولة. تقدّر لعبة الشطرنج بوجود 10120 وظيفة ممكنة، بما في ذلك التحركات غير المعقولة من كل جانب، ويعد هذا رقمًا هائلا [...] كما يقدّم الشطرنج الكثير من الفرص للتحليل العميق، والحساب الدقيق، والجمع بين الحدس والمعرفة والخبرة، وغريزة شبيهة بعمليات صنع القرار في العلوم"[7].

ثمّ إن لكل عنصر من عناصر لعبة الشطرنج (الملك ــ الوزير ــ القلعة ــ الحصان ــ الفيل ــ البيدق)؛ قيمته الخاصة ووظيفته في حال تحركه، يكتسب قيمة ووظيفة أخرى انطلاقا من الموقع الذي هو فيه، ثم يصطبغ بقيم أخرى من العلاقات التي ينسجها مع باقي العناصر في اللعبة. وفوق هذا وذاك، يجب أن تخضع تلك العناصر لقانون اللعبة وقواعد اللعب. وكذلك اللغة؛ كل مكوّن من مكوّناتها له خصائصه ووظائفه، وله قيمته الذاتية وقيم أخرى يكتسبها في علاقته بباقي المكوّنات، وتنضبط تلك المكونات لقواعد ثابتة تضبط نظام اللغة، مع احتمال إيجاد نماذج لقواعد أكثر دقة تسمح بها طبيعة اللغة في شكل استعارات ومجازات وتشبيهات، تخرق قوانين التعبير اللغوي المعهودة[8]. ونقدم نموذجا لصورة لعبة الشطرنج من خلال [الشكل 1][9]:

7 – موسى عبد الله ـ بلال أحمد حبيب، الذكاء الاصطناعي، ثورة في تقنيات العصر، المجموعة العربية للتدريب والنشر، القاهرة – مصر، ط.1، 2019م، ص: 283. [بتصرّف]

8 – لتوضيح استعارة دي سوسير للعبة الشطرنج في معرض حديثه عن الثبات والتحول في نظام اللغة، يمكن الرجوع لـ:

– دي سوسير فردينان، علم اللغة العام، ترجمة: يوئيل يوسف عزيز، مراجعة: مالك يوسف المطلبي، دار آفاق عربية، د.ط، 1985م، ص: 106 وما بعدها.

– دي سوسير فردينان، دروس في الألسنية العامة، تعريب: صلاح القرمادي – محمد الشاوش – محمد عجينة، الدار العربية للكتاب، د.ط، 1985م، ص: 137 وما بعدها.

9 – الشكل 1 مقتبس من كتاب:

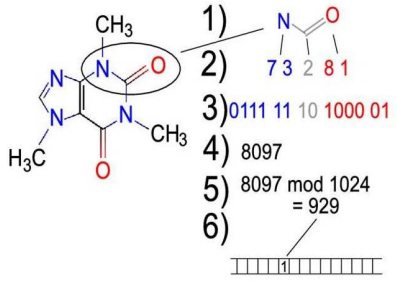
- Shelia M. Kennison, Introduction to Language Development, SAGE Publications, Inc, 2014, P: 5.

* نموذج لصورة لعبة الشطرنج الشكل 1

فهذا نموذج من بين مجموعة نماذج اعتمدها "دي سوسير"، أثناء التنظير لفكره خلال محاضراته والتأسيس لنظرية لسانية حديثة والتي كان لها تأثير وما زال تأثيرها العميق في الفكر اللغوي والتفكير اللساني بتصوّراتها ومفاهيمها ومصطلحاتها وقواعدها ونماذجها.

كما نقتبس نموذجا لسانيا قويا، كان للنماذج التمثيلية فيه حضور واضح؛ فَمِن وجهة نظر اللسانيات التوليدية، نفترض جدلا أن التمثيلات الشائعة ــ التي اعتمدها صاحبها "نعوم تشومسكي"ــ من رموز وصيغ رياضية وتشجيرات ... إلخ، هي في شكلها ذات مرجعية علمية [بيولوجية أو فيزيائية أو كيميائية أو رياضية أو حاسوبية]، نظرا للتشابه الحاصل بين التمثيلات اللسانية التوليدية التي قدمها "تشومسكي" وغيره من اللسانيين التوليديين لها أسسها العلمية. وبـ "المعنى التوليدي، فإن الكيمياء (chemistry) وعلم الأحياء (biology)، علمان توليديّان أيضا، يتمّ تفسير الحقائق الكيميائية جزئيا بواسطة خصائص العناصر الأساسية وتفاعلها ("الذرات" مثلا)، نأخذ على سبيل المثال النموذج الذري الذي يوضح كيفية إنشاء بصمة زوج من الذرات، من خلال اتباع مجموعة من الخطوات وتحديد الروابط بين الذرات والمسافات بينها، كجزء من عملية التحليل الكيميائي التي تهدف إلى تشفير جميع الصيغ الكيميائية

بطريقة رياضية وحاسوبية مع الاعتماد على هذا النوع من التشجيرات التمثيلية المبسطّة كما هو موضّح في (الشكل 2)[10]:



الشكل 2 * نموذج يبيّن كيفية إنشاء بصمة زوج من الذرات

وبطريقة مماثلة، يتمّ أيضا تفسير الحقائق البيولوجية (علم الأحياء) جزئيا من خلال خصائص العناصر الأساسية داخل الخيوط العصبية والتي تنقسم إلى ستة أنواع بناء على تنظيمها الجني وهيكل "البروتينات"[11]. نعتمد هنا على سبيل المثال، الجين المسؤول عن اضطرابات اللغة والتطور اللغوي البشري وهو من خصائص الجين FoxP2؛ وفيما هو شائع في الأدبيات البيولوجية، فإن هذا الجين ومن خلال ارتباطه بجين طفري آخر يسمى Srpx2، يعمل على التحكم في نشاط

10-https://www.researchgate.net/figure/Construction-of-atom-pair-fingerprint-When-creating-an-atom-pair-fingerprint-following_fig2_321641342#:~:text=When%20creating%20an%20atom%20pair%20fingerprint%2C%20following%20steps%20are%20performed,conversion%20into%20bit%20strings%3B%204 [2020-03-27] شوهد الموقع:.

11 – نحيل في هذا السياق على:

- Santosh A. Helekar, Animal Models of Speech and Language Disorders, Springer Science, Business Media New York, 2013, P: 29-30.
- Philip A. Schwartzkroin, Encyclopedia of Basic Epilepsy Research, Elsevier Ltd, 2009, P : 1527-1528.
- Koji Fujita & Cedric Boeckx, Advances in Biolinguistics - The human language faculty and its biological basis, Routledge, First published 2016, P: 258-259.
- article By: Elizabeth Pennisi, Language Gene Has a Partner. Website link : https://www.sciencemag.org/news/2013/10/language-gene-has-partner [شوهد المقال: 28-04-2017]

هذا الأخير، وتساعد كِلَيْهِما بعض الخلايا العصبية في الدماغ على تعزيز اتصالاتها بالخلايا العصبية الأخرى.

وفي الجانب اللساني، يمكننا القول إن الظواهر أو الوقائع المتعلقة باللغة، يتم تفسيرها جزئيا من خلال العناصر الأساسية وكذا تفاعلها[12]. فكثير من العلوم تعمل على تحقيق حضورها العلمي وتدعيم تماسك نظرياتها من خلال تفسيرها لمجموعة من المسائل العلمية الصعبة التي كان شبه مستحيل الوصول إلى إجابات منطقية وتفسيرات عليمة لها؛ لولا تركيزها على جزئيات بذاتها، والعمل على جعلها نموذجا علميا ضمن النظرية الكلّ.

فإذا ما قارنّا بين هذه النماذج العلمية، والنماذج التي يقدّمها "تشومسكي" في ــ بعض مراحل ــ نظريته اللسانية، نجد لهذا التشابه تبريرا في كون "تشومسكي" يرى أن "اللغة موضوع طبيعي"[13]، وأن "الضرورة البيولوجية"[14] هي التي فرضت هذا النوع من الدراسة الحديثة للغة؛ إذْ على وجه التحديد، و"منذ أواسط السبعينات [...]، بدأ التركيز على البعد الأحيائي في تفسير الخصائص الطبيعية للغة [...] ومنْ ثمّ تَمَّ وضع اللسانيات ضمن خانة علوم الأحياء"[15]، وبذلك أصبحت المفاهيم والمصطلحات والنماذج اللسانية تصطبغ باللغة العلمية لعلم الأحياء[16]؛ فكان من شأن التداخل والتقارب المعرفي بين علم

12 - Peter Ludlow, The Philosophy of Generative Linguistics, Oxford University Press, First published 2011, Introduction.

13- تشومسكي نعوم، آفاق جديدة في دراسة اللغة والذهن، ترجمة: حمزة بن قبلان المزيني، المجلس الأعلى للثقافة، القاهرة – مصر، ط.1، 2005م، ص: 267 وما بعدها.

14- صبري هناء، فلسفة اللغة عند نعوم تشومسكي، الناشر: المكتب العربي للمعارف، القاهرة – مصر، ط.1، 2015م، ص: 73.

15- تشومسكي نعوم، اللسانيات التوليدية، من التفسير إلى ما وراء التفسير، ترجمة وتقديم: الرحالي محمد، دار الكتاب الجديد المتحدة، بيروت – لبنان، ط.1، 2013م، ص: 23. [بتصرف]

16- نقدّم بعض الكتب ذات الصلة بالموضوع:

- Cedric Boeckx, María del Carmen Horno-Chéliz and José-Luis Mendívil-Giró, Language, from a Biological Point of View: Current Issues in Biolinguistics, Cambridge Scholars Publishing, 2012. ==

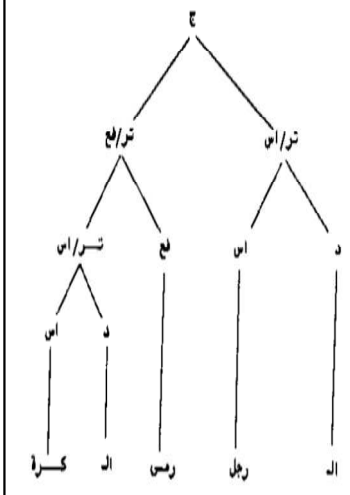
اللغة وعلم الأحياء (البيولوجيا)، أنْ نشأ عنه فرع علمي دقيق أُطْلِق عليه اللسانيات الأحيائية (Biolinguistics)، إرهاصاته الأولى كانت مع "نعوم تشومسكي" من خلال كتابه: البنية المنطقية للنظرية اللسانية (1955م)، ثم تلته أعمال "إريك هاينز لينبرج" (Eric Heinz Lenneberg) التي ترصد "الأسس البيولوجية للغة" وهو اسم لكتاب نشره سنة (1967م)، ليستقر مفهوم اللسانيات الأحيائية مع "ماسيمو بياتيلي بالماريني" (Massimo Piattelli Palmarini) من خلال المؤتمرات التي نظمها هذا الأخير. للتوسع في البدايات التأسيسية الأولى لمفهوم "اللسانيات الأحيائية"، ثمّ من جهة ثانية، ولافتراضات تفرضها نظرية النماذج في كون النماذج التي نُمَثِّلُ بها أو نُنَمْذِج بها تَخَصُّصا علميا ما، يجب أن تكون من جنس هذا التخصّص العلمي أو اندماجا لاثنين أو مجموعة من التخصصات، وذلك بغية خلق نموذج أو نماذج أكثر تفسيرية؛ معنى ذلك؛ أن العناصر المكونة للنموذج، يجب أن تكون من جنسه؛ بحيث إن تلك العناصر تكون أكثر تمثيلا للأصل المراد نمذجته، وأكثر واقعية عند مطابقة أو مقارنة الأصل بالنموذج التمثيلي لهذا الأصل، ونعني بالأصل هنا، كل ما يراد تمثيله داخل أي علم من العلوم، سواء تعلق الأمر بالعلوم الإنسانية أو العلوم الطبيعية أو العلوم الرياضية أو العلوم الهندسية أو العلوم الإدراكية ... إلخ، فـ "عندما نقول «نموذج» ــ بدون صفة ــ نعني الرسم التخطيطي أو المثال النموذجي الذي يتوافق مع لغة معيّنة للنمذجة"[17]. فالنماذج التي قدّمها تشومسكي أثناء نمذجاته اللسانية، هي محاولات التوحيد[18] التي كان يصبو إليها تشومسكي بين اللسانيات وعلم الأحياء (بيولوجيا) وعلوم أخرى كـ (الكيمياء)؛ لذلك لا غرابة أن نقول بالتشابه الحاصل بين النماذج الشجرية أو

== - Antonino Pennisi & Alessandra Falzone, Darwinian Biolinguistics - Theory and History of a Naturalistic Philosophy of Language and Pragmatics, Springer International Publishing, AG 2016, P: 39 (And beyond).

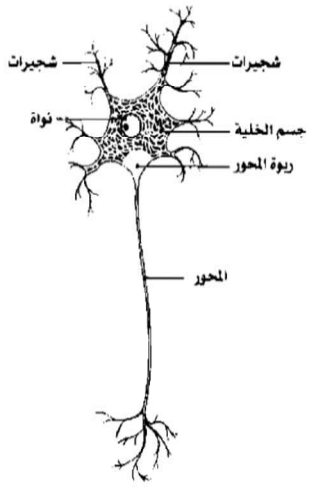
17 - David W. Embley, Stephen W. Liddle, Oscar Pastor (auth.), David W. Embley, Bernhard Thalheim (eds.)-Handbook of Conceptual Modeling_ Theory, Practice, and Research Challenges-Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011. P: 21

18- تشومسكي نعوم، آفاق جديدة في دراسة اللغة والذهن، ص: 268.

المشجرات أو التشجيرات (باختلاف اصطلاحاتها) والخلايا العصبية في الدماغ البشري، كما هو موضح في [الشكلين 3–4] أسفله:



[الشكل 3]: نموذج المشجّر يمثل تسلسل العناصر الناتجة عن "نحو بنية العبارة"؛ وهو نموذج من بين ثلاثة نماذج قدّمها تشومسكي لوصف اللغة. النموذج مأخوذ عن: جون ليونز، تشومسكي، تر: محمد زياد كبة، ص: 49.



[الشكل 4]: نموذج يوضح بنية الخلية العصبية من المنظور التقليدي. النموذج مأخوذ عن: كرستين تمبل، المخ البشري – مدخل لدراسة السيكولوجيا والسلوك، تر: عاطف أحمد، ص: 7.

اللغة من المنظور الأحيائي هي "نتيجة تغيُّر طفيف في بعض أنظمتنا العصبية، ولكنه خطوة جبارة خاصة بالمعرفة الإنسانية، لأن هذا التغيّر يسمح بإبداع العلامات[19]. فبعض الخلايا العصبية الفريدة من نوعها بالنسبة للإنسان،

19 – المقصود هنا بالعلامات، ربط الدوال بمدلولاتها (الصور السمعية والصور الذهنية) في ما يصطلح عليه في اللسانيات البنيوية "الدليل اللساني". قُدِّمت للعلامة اللسانية/ اللغوية والدليل اللساني مجموعة من التعريفات مُثِّل لها بمجموعة من النماذج، لا حاجة لإدراجها هنا إلا بما تسمح به حاجة التمثيل والنمذجة في الآتي:

- Ferdinand De Saussure, Cours De Linguistique Générale, Publié Par: Charles Bally et Albert Sechehaye, Payot, Paris, 106, Boulevard Saint-Germain, 1971, P: 99.

لديها قدرة تنشيط لغوي ــ دون اتصال مباشر ــ إذ تسمح بالتقاء جوهرين مختلفين تماما من العلامات اللسانية في الدماغ وذلك عبر تمثيلاتهما. هنا تكمن فطرية اللغة؛ كأثر جانبي لتغيُّر عصبي طفيف ومحدّد بوضوح"[20]. كما أنّ العلامات بمختلف أنواعها نماذج تمثيلية، لها خصائصها السيميائية التي تُحَدِّدُها لها نظرية النماذج.

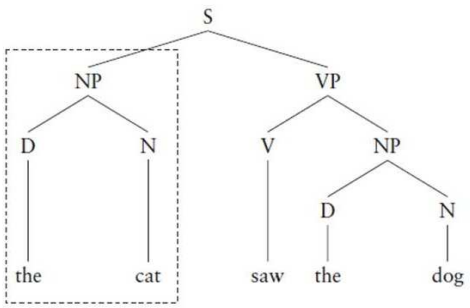
سنقدّم تعريفين مختصرين لكل من نموذج "المُشَجَّر" ونموذج "الخلية العصبية"، لمحاولة توضيح أوجه التشابه بينهما:

2-1- نموذج المُشَجَّر (Tree Model)

المشجّر "مخطط ثنائي الأبعاد، يستخدم في النحو التوليدي كوسيلة مناسبة لعرض البنية الهرمية الداخلية للجمل، وقد تم إنشاء هذا المخطط بالاعتماد على مجموعة من القواعد. يوجد جذر (Root) الرسم التخطيطي (Diagram) للمُشَجَّر في أعلى هذا الرسم، إذ يتكون هذا الأخير من الرمز الأوّلي ج (S). انطلاقا من هذه النقطة الموجود أعلى المشجر، أو يمكن تسميتها العقدة (Node) [الأصل]، تتفرّع عنها الفروع المقابلة للمقولات التي تحدّدها القواعد (مثل: تر/ اس، تر/ فع) (NP, VP) ←. يتم توصيف العلاقات الداخلية للأجزاء المكوّنة للشجرة باستخدام مصطلحات المُشجّر الأصل أو ما اصطلح عليه صاحب التعريف "شجرة العائلة" (Family Tree): إذ هناك مقولتان مشتقتان من عقدة واحدة، يقال إنها "أخوات" و"بنات" من "العقدة الأم" التي تتفرّعان منها. يشار إلى الرسم التخطيطي للمُشَجَّر ــ الذي تم عزله لأغراض المناقشة ــ على أنه مشجّر فرعي، كما هو الحال في المساحة المغلقة ضمن الرسم التخطيطي أدناه. كما يشار أحيانا إلى التنظيم الداخلي للمشجّر باسم هندسة المشجّر (Tree Geometry). في نحو البنية المُرَكَّبِيَّة المُعَمَّمَة (Generalized Phrase Structure Grammar)، يشير مصطلح المشجّر المَوْضِعِي (Local Tree) إلى المشجّر ذو العمق الواحد (Tree of

20 - Denis Bouchard, The Nature and Origin of Language, Oxford University Press, First Edition published in 2013, P : 322.

Depth One)؛ أي المشجّر الذي تكون فيه كل عقدة بخلاف الجذر، هي ابنة الجذر. سيكون المشجّر الفرعي (Subtree) [ج، تر/اس، تر/فع] في الرسم التخطيطي أدناه مُشَجَّرا موضعيّا، في هذا السياق. في النحو الإجرائي [التطبيقي]، يكون تشجير بنية المشجّر أو إعراب المشجّر (Parse Tree[21]) نتيجة تطبيق الإجراءات التحليلية على نص. أما في الأبحاث الخاصة بالمدوّنة الحاسوبية، يُعْرَفُ المتن المُعْرَب (Parsed Corpus) باسم بنك المشجّرات (Treebank)"[22]. الرسم التخطيطي أسفله، تابع لهذا التعريف ومقتبس من قاموس "ديفيد كريستال" (David Crystal).



* نموذج يبيّن كيفية نمذجة "نحو بنية العبارة" الشكل 5

الرسم التخطيطي أعلاه (الشكل 5) هو نفسه الرسم التخطيط للمُشجَّر الذي يُمثّل تسلسل العناصر الناتجة عن "نحو بنية العبارة" (الشكل 3)، إنما تمّ تأكيده هنا، لبيان اصطلاح "المشجر الفرعي" الذي ذُكر في تعريف نموذج المُشجَّر، مع الإشارة إلى المساحة المغلقة ضمن الرسم التخطيطي التي تدل على المشجّر الفرعي. بالإضافة إلى هذا، نجد الكثير من التعريفات التي قدّمت

21 – ورد مصطلح (**Parse**) في قاموس أكسفورد المحيط، انجليزي – عربي بالتعريف الآتي: "Parse (تلفظ Parz)v، بمعنى **أعربَ** (**حَلَّل** الكلمات في جملة بتبيين أنواعها ووظائفها النحوية) [من اللفظة اللاتينية Pars= قسم من أقسام الكلام].

22 - David Crystal, A Dictionary of Linguistics and Phonetics, Sixth edition published 2008 by Blackwell Publishing Ltd, P : 494-495.

لنموذج المشجّر، إما مختصرة[23] أو مطوّلة بشكل لا يستجيب لمعايير التعريف، أو فيها من الغموض والتعقيد[24] ما يدعو للبحث عن تعريف أكثر إيضاحا وملاءمة، كما هو الحال مع تعريف "ديفيد كريستال" للمشجّر.

فهذه المشجرات كثيرة ومتنوعة، وخصائصها الشكلية مفهومة بشكل واضح (Knuth, 1973)، "إنها تلعب دورا مركزيا ليس فقط في اللسانيات، إذ نجدها ــ أيضا ــ في تخصصات مثل الرياضيات وعلوم الحاسوب والتصنيف وكذلك علم الأنساب. فعلى سبيل المثال، يستخدم مبرمجو الحاسوب المشجّرات لتمثيل أبنية الدليل البرمجي[25] (or folder) المتداخلة التي يتم تخزين الملفات فيها. وفي اللسانيات، غالبا ما تشكل المفاهيم النظرية للمشجّر، مثل المسار (Path) والبُعْد (Distance) قوة ارتكاز أساسية للظواهر النحوية كما حدّدها كل من (كاين، 1984؛ بيسيتسكي، 1982)، (Kayne, 1984 ; Pesetsky, 1982)"[26]، أو ما استطاع الباحثون في مجال البرجمة اللغوية العصبية (NLP)، توظيفه لتطوير نماذج المشجّرات اللسانية من خلال الاستفادة من الحمولة المفهومية والإطار النظري لهذين المفهومين، وكذا الاستعانة بالبرامج الحاسوبية، لابتكار تطبيقات قادرة على التنبؤ بالكلمات في الترتيب الخطي لها داخل الجمل، وما هذه الأخيرة إلا إحدى خصائص التعلم الآلي (Machine Learning)[27].

23- Keith Brown &Jim Miller, The Cambridge Dictionary of Linguistics, Cambridge University Press, First published, 2013, P: 450.

24 - Bas Aarts, Sylvia Chalker, Edmund Weiner, The Oxford Dictionary of English Grammar, Oxford University Press, Second edition published 2014, P: 423-424.

25 - https://en.wikipedia.org/wiki/Tree_(data_structure) [شوهد المقال: 15-11-2019]

26 - Johan J. Bolhuis and Martin Everaert, Birdsong, Speech, And Language - Exploring the Evolution of Mind and Brain, Massachusetts Institute of Technology, 2013, P: 27.

27 – للاضطلاع على بعض النماذج التوضيحية لمصطلحي "المسار" و"البعد" في علاقته بالبرمجة اللغوية العصبية والتعلم الآلي، ينظر الدراسات الآتية، وذلك في سياق بيان أهمية النماذج اللسانيات وخاصة المشجّرات التمثيلية:

- Ganesh Jawahar, Benoît Sagot, Djamé Seddah, What does BERT learn about the structure of language? in: https://hal.inria.fr/hal-02131630 [شوهد المقال: 23-12-2018]. ==

2-2- نموذج الخلية العصبية (Neuron Cell Model)

الخلية العصبية (Neuron) هي وحدة بناء الجهاز العصبي، وتوصف أيضا بوصف الخلية العصبية (Nerve cell)، وتتكون من 4 أجزاء رئيسية هي جسم الخلية (Cell Body)، والمحوار [محور] (Axon)، والزوائد الشجرية (التغصينات) (Dendrites)، والمشبك (Synapse)، ولكل خلية محوار [محور] واحد يحمل الإشارات العصبية من الخلية بينما تقوم الزوائد الشجرية بتوصيل الإشارات إلى الخلية [خلايا أخرى]، ونقطة التماس بين خلية وأخرى هي المشبك"[28]؛ فـ"جسم الخلية الرئيسي، تتفرع منه زوائد مغزلية تسمى شجيرات عصبية، تتلقى الاستثارة من النيورونات الأخرى، والاستثارة قد تكون تنشيطية أو تنبيهية أو كيفية. فإذا كانت محصلة ذلك استثارة كافية لجسم الخلية، أي تكفي للوصول إلى مستوى العتبة الفارقة للنشاط، حدثت عملية إطلاق الشحنة العصبية. وهي عملية تنطبق عليها قاعدة (الكل أو لا شيء). وبذلك فالنيورون لا يطلق الشحنة بقوة أو بضعف. لكنه إذا أراد أن يحدث تأثيرا أشد، فإنه يطلق الشحنات بتكرار أعلى"[29]. فبنية المشجّر اللساني شبيهة ببنية أو جسم الخلية من حيث التصوّر البنيوي أو الشكلي أو التصويري لهما، لكن وظيفة جسم الخلية أكبر وأدق وأَعْقَد من أن تكون أداة أو نموذجا تمثيليا فقط، كما هو الحال مع بنية المُشَجَّرات اللسانية إلا من حيث أنّ هذه الأخيرة تعكس في جوهرها طريقة عمل وتعامل الدماغ البشري مع اللغة الطبيعية.

== -https://towardsdatascience.com/deconstructing-bert-reveals-clues-to-its-state-of-art-performance-in-nlp-tasks-76a7e828c0f1 [شوهد المقال: 25-01-2020]

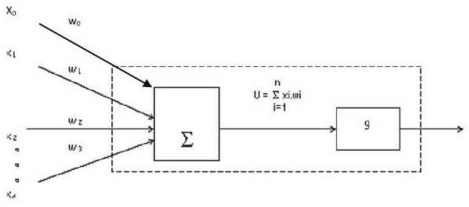
- https://www.topbots.com/deconstructing-bert-part-2/ [شوهد المقال: 25-01-2020]

28 – الشربيني لطفي، معجم مصطلحات الطب النفسي، مراجعة: عادل صادق، تحرير: مركز تعريب العلوم الصحية، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، د.ط، د.ت، ص: 121. [بتصرف]

29 – تمبل كرستين، المخ البشري، مدخل إلى دراسة السيكولوجيا والسلوك، ترجمة: عاطف أحمد، مجلة عام المعرفة، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب – الكويت، العدد: 287، 2002م، ص: 6-7، ينظر كذلك:

– John Daintith, Elizabeth Martin, A Dictionary of Science, Oxford University Press, Sixth Edition, 2010, P: 554.

هذا تعريف مبسط للخلية العصبية، يصف شكلها وبعض تفريعاتها، دون ذِكْر طبيعة اشتغالها والتفاعلات الكيميائية التي تحدث أثناء إطلاق الشحنات العصبية واللدونة العصبية بتأثيراتها ... إلخ. لكن ما تجدر الإشارة إليه هنا، وارتباطا بنموذج المشجّر ونموذج الخلية العصبية، يحاول علماء الحاسوب والمبرمجون وعلماء الذكاء الاصطناعي وعلماء الأعصاب واللسانيون المشاركة في تصميم وإنشاء خلايا عصبية اصطناعية (Neural Network Artificial)، تحاكي الخلايا العصبية الطبيعية للدماغ البشري، كالتي في النموذج الاصطناعي [الشكل 6]:



* نموذج يبيّن شكل الخلية العصبية الاصطناعية الشكل 6

النموذج أعلاه (الشكل 6) مُقتبس عن "سوبانا شانموغاناثان" (2016)، (Subana Shanmuganathan, 2016)[30]، إذْ يوضّح هذا النموذج شكل "الخلية العصبية الاصطناعية". وهو في جوهره يحاول أن يحاكي شكل وطبيعة اشتغال الخلية العصبية الطبيعية. هذا النموذج هو واحد من بين الكثير من النماذج[31] التي

30- Subana Shanmuganathan & Sandhya Samarasinghe, Artificial Neural Network Modelling, Springer International Publishing, Switzerland, 2016, P: 6.

31 – نأتي على ذكر مجموعة من الدراسات التي تحاول الإسهام في تطوير الخلايا العصبية الاصطناعية، من بينها على سبيل الاختصار:

- Daniel J. Amit, Modeling Brain Function - The World Of Attractor Neural Networks, Cambridge University Press, 1989, P: 18-19.
- Grady Hanrahan, Artificial Neural Networks In Biological And Environmental Analysis, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011, P: 6-7.
- Daniel Graupe, Principles Of Artificial Neural Networks, World Scientific Publishing, 2013, P: 17-18. ==

تحاول التوفيق بين نتائج الدراسات اللسانية والعصبية ومُخرجات الذكاء الاصطناعي، وتمثيلاتها الرياضية على شكل خوارزميات صالحة للبرمجة الحاسوبية، في محاولة لنمذجة العقل البشري ومعرفة طريقة اشتغاله طبيعيا ثمّ آليا.

نعود لنؤكّد الحضور العلمي للنماذج الأحيائية في التمثيلات اللسانية الحديثة، من خلال الدراسة التي قدّمها "الونا سوشين"Alona Soschen))؛ فقد رصد العلاقة المحتملة بين التركيب (في النماذج اللسانية) والنظم البيولوجية للدماغ البشري من خلال مقال له بعنوان: "فيما يتعلق بطبيعة التركيب"[32]، مستندا ــ في ذلك ــ إلى فكرة أنّ الأبنية اللسانية، تمتلك سيمات النُّظُم البيولوجية الأخرى. وقد تطورت هذه الفكرة مع تشومسكي ــ بداية ــ كأساسٍ يحاكي النسق الحاسوبي في البرنامج الأدنوي[33]؛ إذ تُعد النماذج اللسانية ذات المقاربة الأحيائية نوعا من المحاكاة اللغوية لطريقة عمل الدماغ البشري، ووسيلة لفهم طبيعة اللغة في الدماغ البشري، أو محاولة لفهم القواعد اللسانية (الصوتية والصرفية والتركيبية) في ظل القواعد التي يشتغل بها الدماغ البشري[34]؛ هل هي نفسها قواعد الدماغ التي تضبط اللغة البشرية أمْ لها طبيعة

== Yoav Goldberg, Neural Network Methods for Natural Language Processing, A Publication in the Morgan & Claypool Publishers series, 2017, Part II, Working with Natural Language Data, P: 70-74.

32 - Soschen Alona. On the nature of syntax. Biolinguistics, Volume 2, Issue 2-3, Spring-Summer, 2008, PP: 196–224.

33 – ينظر: غلفان مصطفى، مشاركة: الملاخ امحمد، علوي حافظ إسماعلي، اللسانيات التوليدية، من النموذج ما قبل المعيار إلى البرنامج الأدنوي، مفاهيم وأمثلة، عالم الكتب الحديث، إربد – الأردن، ط.1، 1431هـ/2010م، ص: 370 وما بعدها.

34 – تجدر الإشارة في هذا السياق إلى المحاولة التي قام بها "راي جاكيندوف" (Ray Jackendoff) حين رأى أن قواعد اللغة، ليست قواعد حقيقية للنحو، ولكنها أوصاف "شبه مطردة" أو "شبه منتظِمَة" (Semiregularities)، في ردّ ــ في مرحلة من مراحل تطور الخطاب اللساني التوليدي ــ على الادعاء الذي يقول: إن القواعد التي نضعها مُمَثَّلة بشكل صريح في الدماغ؛ إما كأساس معرفي (عام) أو على شكل مُعَالِج لغوي (فطري). ينظر كتاب:

- Ray Jackendoff, Foundations Of Language - Brain, Meaning, Grammar, Evolution, Oxford University Press, First published 2002, P: 167.

مغايرة؟ وبالتالي تصبح النماذج اللسانية بمختلف أنواعها أداة طيّعة للاستخدام الحاسوبي فيما أصبح يطلق عليه "اللسانيات الحاسوبية" (Computational Linguistics)، كنتيجة حتمية للتطور التكنولوجي والمعلوماتي، وانعكاساته على الخطاب اللساني.

وهكذا، لم تعد اللغة فقط أداةً تواصلية ذات وظيفة تعبيرية خاصة بالإنسان، ولم تعد أداة لفهم ووصف بنية اللغة في ذاتها فيما اصْطُلِح عليه "اللغة الواصفة" (Metalangue)؛ بل أصبحت اللغة وسيلة أساسية لفهم الدماغ البشري وتفسير آليات اشتغاله، من خلال تحديد المناطق المسؤولة عن إنتاج وفهم اللغة ونافذة على القدرات الإدراكية الإنسانية العالية المستوى، مثل: الذاكرة، والتفكير، والإدراك والتَّعَرُّف البصري ... إلخ.

3 – النموذج والمنهج؛ أية علاقة؟

ليس الغرض من التدليل على العلاقة بين النموذج والمنهج أن نُحدِّد من خلالها منهجا بعينه أو نخص منهجا على منهج، أو نعتمد نموذجا دون آخر، هذا من جهة ومن جهة أخرى، لقد تعدّدت التعريفات المقدّمة لمفهوم المنهج، وتنوعت تعبيراته الاصطلاحية لنوعية استخدامات هذا المنهج أو ذاك، أو لنوعية وطبيعة الظواهر والمواضع المدروسة؛ فكان من نتيجة ذلك أن نجد مناهج من قبيل: المنهج العلمي – المنهج التجريبي – المنهج الموضوعي – المنهج الاستنباطي – المنهج الاستقرائي – المنهج الوصفي – المنهج التفسيري – المنهج التحليلي – المنهج التركيبي – المنهج التلقائي ... إلخ. فهذه المناهج وغيرها بتقسيماتها، ما هي إلا انعكاسات منظّمة لظواهر مدروسة، أو لنقل تَمَثُّلات علمية لمواضيع ما.

قُدِّمت للمنهج تعريفات كثيرة بحسب المواضيع التي نريد دراستها، نقتصر منها على التعريف القائل: "المنهج طريق نصل عبرها لنتيجة ما [...] وهو أيضا برنامج يُنَظِّمُ قبليا سلسلة من العمليات التي تتطلب الإنجاز، كما

يشير إلى بعض الأخطاء التي يجب تجنبها بغية بلوغ نتيجة محددة"[35]؛ فإذا كان المنهج طريقا نصل به إلى نتيجة ما، فهو أولا وقبل كل شيء "أداة ووسيلة" للوصول إلى تلك النتيجة، ولتحقيق نتيجة ما في موضوع معين أو في دراسة ظاهرة ما، لا بد أن نتبع طريقا أو طريقة ما تسمى "منهجية"؛ وهذه الأخيرة، في ربط منهجي قام به "طه عبد الرحمن"، وجد لها امتدادات في التراث العلمي العربي، حينما ساق نصّا لـ "محمد علي التهانوي" من كتابه "كشاف اصطلاحات الفنون والعلوم"، قائلا فيه: "إن ما يكون في حد ذاته آلة لتحصيل غيره، لا بدّ أن يكون مُتعلقاً بكيفية تحصيله فهو متعلق بكيفية عمل، وما يتعلق بكيفية عمل لا بُدّ أن يكون في نفسه آلة لتحصيل غيره، فقد رجع معنى الآلي إلى معنى العملي، وكذا ما لا يكون آلة له كذلك لم يكن متعلقا بكيفية عمل، وما لم يتعلق بكفية عمل لم يكن في نفسه آلة لغيره، فقد رجع معنى النظري وغير الآلي إلى شيء واحد"[36]. يزيد "طه عبد الرحمن" مُوضّحا: "فالعبارة «كيفية عمل» هو بالذات الصيغة التي جرى استعمالها اليوم في تعريف المنهج؛ وعلى هذا المعنى يُحمل لفظ «الوسيلة» الذي غلب استعماله كمرادف للفظ «الآلة»، فقيل علوم «الوسائل» بدل علوم «الآلة»"[37].

في تركيب موازٍ، نستخلص ما يلي:

(أ) المنهج هو عملية **تَمَثُّل** لمعرفة معينة حول موضوع أو ظاهرة ما (الظاهرة اللغوية مثلا)، و"الخاصية الأولى لكل تَمَثُّل هي أن ينقل معلومات حول حالة شيء من الأشياء"[38]؛ فالمنهج معيار علمي للتمثُّل الجيد لموضوع أو

35 – قصبي حنان، محمد الهلالي، في المنهج، ص: 10، [بتصرف].

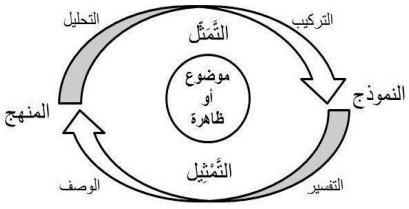
36 – التهانوي، كشاف اصطلاحات الفنون والعلوم، ص: 6.

37 – طه عبد الرحمن، تجديد المنهج في تقويم التراث، المركز الثقافي العربي، الدار البيضاء – المغرب، ط.2، 2007م، ص: 86.

38 – أحرشاو الغالي، أحمد الزاهر، مفهوم التمثل في العلوم المعرفية، معرفية: مجلة دولية متخصصة في العلوم المعرفية والترجمة، فاس – المغرب، العدد المزدوج: 3/2، 1999م، ص: 14.

ظاهرة ما، وأيضا كلّما كان تقديم معلومات/ معطيات حول هذه الأخيرة بشكل أفضل، كان التمثُّل مثاليا، وكان المنهج نموذجيا.

(ب) النموذج هو عملية **تَمْثِيل** لمعرفة معينة حول موضوع أو ظاهرة ما. فعملية التمثيل التي يقوم بها نموذج ما، ما هي إلا انعكاس لتمثُّل موضوع أو ظاهرة ما، هذا الانعكاس العكسي؛ أي عملية التَّمْثِيل المُتَرَتِّبة عن التَّمَثُّل، تنشأ عن سيرورة ديناميكية دائرية بين التمثيل والتمثّل، وبين النموذج والمنهج، فكلّ منهما مُتولّد عن الآخر في كل عملية نمذجة. ويمكن أن نُنَمْذِجَ هذه الديناميكية في [الشكل 7]:



رسم تخطيطي يُنَمذِج للديناميكيةّ القائمةّ بين النموذج والمنهج الشكل 7
[عمل شخصي]

(ج) المنهج والنموذج **وسيلتان** للوصول والحصول على نتائج محددة. إذ انطلاقا من النقطتين (أ) و(ب)، يصبح كل واحد منهما وسيلة لتحقيق الآخر.

(د) المنهج في تصوّر "طه عبد الرحمن" هو «كيفية عمل»، وحُمِل معناه ليرادف لفظ الآلة، وهذه الأخيرة في سياق البحث العلمي الحديث، أقرب لأن تكون نموذجا، إن لم نقل؛ الآلة نموذج أو بتعبير آخر **''النموذج آلة تمثيلية''**، وكذلك إن جاز القول قياسا **''المنهج آلة تَمَثُّلِيَّة''**.

(ه) **منهجُ النموذج** من وجهة نظر "جون-ماري لوغاي" هو عملية النمذجة التي تعمل على بيان العلاقة بين الأنساق المركبة المُسْتَنِدة منهجيا إلى

مجموعة من الاختصاصات العلمية[39]، فعندما نبني نموذجا بعملية النمذجة، فلا بدّ أن العلاقة بين نسق ونسق آخر أو مجموعة أخرى من الأنساق، تشكل نظاما خاصا بالنموذج.

(و) **النموذج منهجٌ**؛ إذْ من خلال عملية بناء أو نمذجة موضوع أو ظاهرة ما، من الأسس المنهجية في البحث العلمي أن تُنَظَّم قبليا سلسلة من العمليات التي تتطلب إنجاز هذا النموذج أو ذاك، بمنهج أو مناهج معينة؛ فالنموذج النموذجي لا بدّ أن يراعي الديناميكية القائمة بين النموذج والمنهج.

بناء على هذه النقط، وفي حَمْلٍ تركيبي توفيقي، "تؤدي إذن النماذج وظيفة منهجية داخل سيرورة المعرفة سواء كانت معرفة نظرية أم تقنية"[40]؛ فالنماذج والمناهج في تفاعل دائم لتطوير العلم، وضمان السيرورة والصيرورة المعرفية؛ فالسيرورة المعرفية هي التطور العلمي عبر مراحله التاريخية، أما الصيرورة المعرفية؛ فالمقصود بها تطوّر وتطوير مناهج العلم ونماذجه داخل إطار ما يسمى الثورة العلمية.

يمكن القول كذلك، إن **العلاقة بين المنهج والنموذج** شبيهة بعلاقة الدال والمدلول أو هي كما يقال في العرف اللساني: **وجهان لعملة واحدة**، إلا من حيث ما يدلاّن عليه؛ فالأول منهما (المنهج)، ذو بعد نظري تجريدي أكثر منه مادي ملموس، يستند إلى إجراءات وعادات وتَمَثُّلاَت العقل. أما الثاني (النموذج)، فينحى بطبيعته إلى تمثيل الظواهر والوقائع وإعطائها بعدا تجريبيا ملموسا.

ومن المنظور اللساني؛ النموذج هو "طريقة لـ **'تمثيل'** المفاهيم اللسانية، عادة ما تكون مبسطة أو مثالية بعض الشيء، ويُستخدم النموذج فيها أيضا كـ 'أداة' لاكتشاف طبيعة النظام المَعْنِيّ [النظام اللغوي]، وللتنبؤ بالسلوك الصادر

39 – لوغاي جون ماري، التجربة والنموذج – مقال في المنهج، ترجمة وتقديم: سفيان سعد الله، دار محمد علي للنشر، صفاقس – تونس، ط.1، 2009م، صص: 10–11.

40 – سيناسور حورية بنيس، النموذج، مجلة المخاطبات، العدد 4، 2012م، صص: 140–141.

عن هذا النظام، وغير ذلك. في اللسانيات ــ كذلك ــ عادة ما يتم التمثيل الصوري للنظرية بنماذج. وبالتالي فإن النموذج التركيبي هو وصف بسيط للنظام النحوي المستخدم لوصف العلاقات بين الوحدات النحوية"[41]، فإذا كان النموذج كما أشير هو طريقة لتمثيل المفاهيم اللسانية، فالطريقة كما عُرِفَ سابقا منهجية خاضعة لمنهج (لساني) معين. كما أن النموذج أداة أو وسيلة لاكتشاف النظام اللغوي وتمثيله، وكذا الحصول على نتائج محددة، فكذلك كثير من النماذج اللسانية ــ التي ظهرت مع الثورة اللسانية الحديثة (دون تحديد نموذج بعينه) ــ هي أدوات لاستكشاف طبيعة اللغة واكتشاف نظام عملها، تُعْتَمَدُ نماذج متنوعة لتمثيل الظاهرة اللغوية، ومناهج مختلفة لتَمَثُّل هذه الظاهرة.

إن المنهج اللساني ــ من الناحية المنهجية ــ كما يراه "عبد السلام المسدي"، "ينصهر فيه التحليل والتأليف فيغدو تفاعلا قارّا بين تفكيك الظاهرة إلى مركّباتها والبحث عمّا يجمع الأجزاء من روابط مؤلَّفة"[42]. فـ "المسدي" يرى المنهج اللساني كصورة متحركة لتفاعل منهجي بين التحليل والتأليف، وهما نوعان من المنهج: "أحدهما للكشف عن الحقيقة، ويسمى التحليل أو منهج الحل، ويمكن أن يدعى أيضا منهج الاختراع، والآخر وهو الخاص بتعليمها للآخرين بعد أن نكون قد اكتشفناها، ويسمى التركيب أو التأليف"[43]. في المقابل يرى "إسحاق يوسيفوفيتش ريفزين" أن هناك نوعين من النماذج؛ "النماذج التحليلية" (Analytic Models)، و"النماذج التوليفية أو التركيبية" (Synthetic Models)؛ الأول (التحليل)، ينطلق من تَمَثُّل حقائق الكلام إلى تَمْثِيل نظام اللغة،

41- Keith Brown & Jim Miller, The Cambridge Dictionary of Linguistics, Cambridge University Press, 2013, P: 290.

42 – المسدي عبد السلام، اللسانيات وأسسها المعرفية، الدار التونسية للنشر، نهج باب الخضراء – تونس، ط.1، 1986م، ص: 168. وينظر كذلك: المسدي عبد السلام، مباحث تأسيسية في اللسانيات، دار الكتاب الجديد المتحدة، بيروت – لبنان، ط.1، 2010م، ص: 13.

43 – بدوي عبد الرحمن، مناهج البحث العلمي، الناشر: وكالة المطبوعات، شارع فهد السالم – الكويت، ط.3، 1977م، ص: 4.

والثاني (التركيب)، ينطلق من نظام اللغة إلى حقائق الكلام[44]؛ حيث يتم البدء بمنهج لتمثّل حقائق الكلام (اللغة المنطوقة والمكتوبة) تحليلا ووصفا، ثم تُسْتَثْمَر نتائجُ هذا المنهج لصياغة نموذج أو نظام خاص بلغة أو بمجموعة من اللغات. هذا التصور المنهجي القائم على التحليل والوصف، تصوّرٌ بنيوي سوسيري، أساسه التأسيس لما اصطلح عليه: "علم اللغة العام" أو "اللسانيات العامة" أو "فصول في علم اللغة العام" ... إلخ. والعكس، أن يُبْدَأَ بنظامٍ للغة وأن يعتبر هذا النظام نموذجا تركيبيا كلّيا، أي نموذجا توليديا بقواعد محدودة قادرة على توليد عدد لا نهائي أو غير محدود من الجمل. بحيث يتمّ من خلاله وباستثمار منهج بنائه، تفسير جميع الظواهر اللغوية لمختلف اللغات الطبيعية، وهذا التصوّر النموذجي التشومسكي قائم على التركيب والتفسير، أساسه وضع قواعد كلية أو ما اصطلح عليه "النحو الكلي" أو "نحو الملكة/ الفطرة اللغوية".

بالإضافة إلى هذا، نجد أن النموذج والمنهج يشتركان في أنواع متعددة من أساليب وأدوات المعرفة العلمية، من قبيل: التحليل والتركيب، الوصف والتفسير، الاستقراء والاستنباط ... إلخ؛ فيقال مثلا: النموذج الوصفي والمنهج الوصفي، ويقال كذلك: النموذج التفسيري والمنهج التفسيري، وأيضا: النموذج الاستقرائي والنموذج الاستنباطي، ثم المنهج الاستقرائي والمنهج الاستنباطي ... إلخ. هذا من جهة، ومن جهة أخرى، واستنادا إلى بنية التفكير العلمي التي "قاعدتها تقنيات الاستقراء، وواسطتها أساليب التحليل، وذروتها التفسير. والاستقراء، والتحليل، والتفسير مراحل و«لكلّ مرحلة طرقها الخاصّة بها»"[45]، قد يبدو من خلالها أن التفسير هو المرحلة النهائية التي تتشكل على إثرها نظرية علمية ما. لكن ما دام التفسير كما قال "حسن خميس الملخ" فرعا من

44 - Isaak Iosifovic Revzin, les modèles linguistiques, P: 7.

45 – الملخ حسن خميس، التفكير العلمي في النحو العربي، دار الشروق للنشر والتوزيع، عمان – الأردن، ط.1، 2002م، ص: 20.

الإدراك[46]، وطبيعة هذا الأخير محدودة؛ فلا يمكن لهذه الطبيعة المحدودة أن تُفسّر ظاهرة أو مجموعة ظواهر تفسيرا دقيقا متكاملا. كما أنه قبل أن يتحقق هذا النوع من التفسير ــ الدقيق والمتكامل ــ لا بدّ أن يُصاحبه استقراء تامّ لهذه الظاهرة أو تلك، ثم يتحقّق التحليل بأساليبه ووسائله المتنوعة، وذلك صعب بشهادة تاريخ العلوم، وبحُجّة بنية الثورات العلمية؛ إذْ لا نجد إلاّ استقراءات ناقصة، وتحليلات بسيطة مبنية على هذه الاستقراءات، فكيف يكون تفسير الظواهر دقيقا إذا كان مبنيا على نقص؟ فإذا عجز العلم عن تفسير هذه الظاهرة أو تلك، يلجأ التفسير إلى التوسّع كما قال "حسن خميس الملخ"؛ فيأخذ صورة دائرة "تتسع شيئا فشيئا، تبدأ بالجزئيات ثم يُبنى من هذه الجزئيات بعد تعميمها واختبارها والتوثُّق من قدرتها التفسيرية نموذجٌ عام يسمى النظرية، ويمكن أن تُسمَّى الجزئيات التفسيرية نظريات، على مقصد القول بالنظرية الجزئية، والنظرية الكبرى الكلية"[47]. إن هذا التوسّع خاص بتوسيع محيط دائرة التفسير والتنبؤ والتحكم العلمي، كما أنّ "هدف العلم هو الوصول إلى التفسير، الذي هو عملية عقلية استنباطية. وتعتبر اللغة الرياضية والتجريب الاستقرائي وسيلتين لتحقيق الدقة، ولكن ذلك لا يعني أن الدقة لا تتحقق إلا بهما. فالمعنى الصحيح للدقة هو إمكان بناء النماذج القادرة على وصف الظواهر، ويمكن منها استنباط المفاهيم الخاصة بجانب معين من العلم [...] وإذا كان التفسير في العلوم الطبيعية قد حقق نجاحات كبيرة، نتيجة لاتفاق العلماء على مفاهيم واضحة، فالأمر مختلف في العلوم الإنسانية. فالمتخصصون في تلك العلوم لا يزالون مختلفين في الخطوات الأولى، وهي موضوع الدراسة، ناهيك عن المنهج الذي يتعاملون به مع هذا الموضوع"[48].

46 – المرجع السابق، ص: 27.

47 – المرجع السابق، ص: 26.

48 – الخولي يمنى طريف، مشكلة العلوم الإنسانية: تقنينها وإمكانية حلّها، نيو بوك للنشر والتوزيع، القاهرة – مصر، ط.8، 2018م، ص: 34.

إن التفسير المُمَثَّل له بـ "صورة دائرة تتّسع"، ليس تمثيلا خاصا بتوسّع دائرة التفسير فحسب، ولا يقف عند حدود التفسير فقط، بل هو توسّع لمختلف مناهج التفكير العلمي ونماذج البحث العلمي ــ توسّع في مختلف أنحاء الدائرة ــ؛ فعندما يعجز التفسير عن وضع نماذج علمية قادرة على تفسير الظواهر، نَلْجَأ إلى فتح باب الاستقراء من جديد، ونُدِير عجلة التحليل، فيصبح التوسع دائريا وفي نفس الوقت حركيّا لخلق الديناميكية بين النماذج والمناهج داخل نظرية علمية ما.

إن ما يجعلنا نقول برأي حركية وديناميكية النموذج والمنهج داخل نظرية ما (النظرية اللسانية مثلا)، ما تَضَمَّنَه قول "حسن خميس الملخ": "لا تعني البنية الهرمية للتفكير العلمي أن التفسير لا يبدأ بالضرورة إلاّ عقب الانتهاء من الاستقراء والتحليل، لأن التفكير بالتفسير يصاحب استقراء الظاهرة وتحليلها"[49]، فالتفسير ــ بهذا المعنى ــ مصاحبٌ للاستقراء والتحليل في كل مراحل التفكير العلمي؛ وحضور الاستقراء والتحليل في سياق تفسير ظاهرة ما حضور للمنهج وخاصة المنهج الوصفي؛ ذلك أنّ "الاستقراء والتقعيد طريقان من طرق الوصف في دراسة اللغة"[50]. ويتأكد حضور الاستنباط أيضا إلى جانب الاستقراء أو مصاحبته له من خلال عمل تشومسكي الذي "ما كان له أن يتم لولا اعتماده على ما سبقه من الاستقراء الذي تلقاه وانتفع بنتائجه من بلومفيلد وهاريس (أستاذه المباشر) فالاستقراء قائم عمليا في نظرية تشومسكي من هذه الناحية إذ بنى رأيه على استقراء غيره ثم قام بنقد هذا الاستقراء"[51]، فهذا التداخل بين التحليل والتركيب والاستقراء والاستنباط[52] والوصف والتفسير، يوضح لنا التكامل بين المنهج والنموذج وديناميكيتهما داخل النظرية.

---

49 – الملخ حسن خميس، التفكير العلمي في النحو العربي، ص: 26.

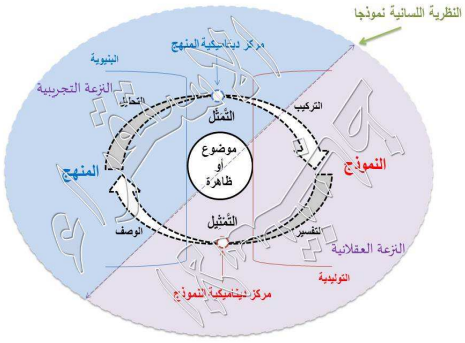
50 – تمام حسان، اللغة بين المعيارية والوصفية، عالم الكتب، القاهرة – مصر، ط.1، 1421هـ/2001م، ص: 149.

51 – تمام حسان، اللغة بين المعيارية والوصفية، ص: 10

52 – ينظر كذلك لرصد العلاقة بين الاستقراء والاستنباط: عناية غازي، البحث العلمي، دار المناهج للنشر والتوزيع، عمان – الأردن، ط.1، 2014م، ص: 21.

إن النظرية بهذا المعنى "بنيان من المفاهيم المترابطة والتعريفات والمقولات، التي تقدم نظرة نظامية إلى الحوادث بواسطة تحديد العلاقات بين المتحولات بهدف تفسير الحوادث والتنبؤ عنها"[53]. فالمصطلحات والمفاهيم بتعريفاتها يُؤتى بها لوصف الظواهر والحوادث. وكلما كانت التعريفات دقيقة ومحكمة ومستوفية لشروط الملاحظة والاستقراء (وإن كان ناقصا)، كان ذلك شطرا وأساسا يقوم عليه التفسير الجيّد لنظرية ما.

بناء على [الشكل 7]، يمكن أن نُجمل ما قلنا عن علاقة النموذج بالمنهج ومكانتهما من النظرية، لنصوغ من خلال ذلك [الشكل 8]:



الشكل 8 رسم تخطيطي يُنمذج للديناميكيةَ القائمةَ بين النموذج والمنهج داخل النظرية اللسانية [عمل شخصي]

كما يمكن أن نلخّص ما قيل في العلاقة بين النموذج والمنهج وما صيغ في [الشكل 8] بما يلي:

- كلّ منهج يتبلور عنه نموذج، ولكلّ نموذج منهج.

- "المنهج ابن النظرية يصطبغ بصبغتها، ويتكيف تبعا لمضامينها وأهدافها"[54].

53 – دويدري رجاء وحيد، البحث العلمي – أساسياته النظرية وممارسته العلمية، دار الفكر، دمشق – سورية، ط.1، 1461هـ/ 2000م، ص: 28.

54 – البوحسيني رفيق، معالم نظرية للفكر اللغوي العربي، ص: 129.

– "إنّ من طبيعة نموذج ما، [...] أن يقاوم محاولة إخضاعه لتعريف محدد"[55].

– إذا كان المنهج ابن النظرية البار، فالنموذج ابنها العاق؛ نادرا ما يصطبغ بصبغتها، أو يتكيف لمضامينها وأهدافها.

– النظرية النموذجية هي التي تتحقق فيها الحركية والديناميكية بين النموذج والمنهج لدراسة ظاهرة ما.

وفي محاولة لوضع خلاصة تركيبية توفيقية ــ خاصة بهذا المقال ــ تجمع بين النموذج والنظرية والمنهج، في قالب لساني، نقول:

النظرية اللسانية باعتبارها تنضوي تحت لواء النظرية العلمية، وهذه الأخيرة "تستعمل أحيانا بمعنى النموذج، إلا أن بينهما فروقا ناعمة، منها أن النموذج يتميز بخاصية أساسية تتمثل في التمثيل، الذي يعدّ وصفا لمظهر أو مظاهر خاصة لظاهرة معينة ولطريقة تفاعل هذه المظاهر داخل الظاهرة نفسها أو مجموعة من المظاهر المترابطة. مثلا، مستوى البنية العميقة في النموذج المعيار يُعَدّ تمثيلا مباشرا للمعلومات الموجودة في المعجم ولتفاعل هذه المعلومات والقواعد المركبية"[56]؛ فمستوى البنية العميقة مُرتبط بالمكون الدلالي ذو البعد التفسيري، بينما مستوى البنية السطحية فمرتبط بالمكون الصواتي ذو البعد الوصفي. كما أن طريقة تفاعل مظاهر الوصف داخل النظرية هي المنهجية أو المنهج المتبع في الوصف والتفسير داخل تلك النظرية. ولتوضيح ارتباط وتداخل بعض أساليب المنهج وتفاعلها مع بعض النماذج داخل النظرية النحوية التراثية (نموذج عبد القاهر الجرجاني) والنظرية اللسانية الحديثة (نموذج نعوم تشومسكي)، نستعين بالنص الآتي:

---

55 – شالمرز آلان، نظريات العلم، ترجمة: الحسين سحبان وفؤاد الصفا، دار توبقال للنشر، الدار البيضاء – المغرب، ط.1، 1991م، ص: 96. [بتصرف]

56 – تشومسكي نعوم، اللسانيات التوليدية، من التفسير إلى ما وراء التفسير، ص: 12.

لقد "كان همُّ تشومسكي مُوَجَّهاً إلى ربط اللغة بالجانب العقلي، في محاولة توفيقية لحل الإشكال نفسه الذي سبق أن واجه عبد القاهر.

وقد تبلور جهد كل منهما في إعطاء (النحو) إمكانيات تركيبية مستمدة من قواعد عقلية، بحيث أصبحت هذه الإمكانيات أشبه بصندوق مغلق، له مدخل ومخرج، تدخل منه المفردات، وتتفاعل، ثم تخرج في الصورة التأليفية الجديدة [...] ثم يبين محمد عبد المطلب[57] أن تفريق تشومسكي بين (البنية السطحية) و(البنية العميقة) فإن نظرية تشومسكي في حقيقتها عملية استنباط للنحو من المنطق، واستخلاص اللغة من العقل"[58].

4- خلاصة:

يتبيّن من خلال ما سبق، أن التفكير اللساني التوليدي عند تشومسكي المُوَجَّه لتفسير ظواهر اللغات الطبيعية، مبنيّ على أساس عقلي تحكمه النزعة العقلانية (اللسانيات الديكارتية)، بمنهج استنباطي قائم على وضع نماذج تفسيرية للظاهرة اللغوية. وبالمقابل، يمكن القول إن التفكير اللساني الوصفي (البنيوي) عند دو سوسير مُوَجَّه لاستقراء ووصف ظواهر اللغات الطبيعية، مبنيّ على أساس تجريبي تحكمه النزعة التجريبية[59] بمنهج استقرائي قائم على وضع نماذج وصفية للظاهرة اللغوية.

كما يتضح أن النماذج المجرّدة والنماذج المادية وسيلتان أو أداتان لتحقيق التكامل المعرفي الخاص بدراسة ظاهرة ما، تستند إليها النظريات، بما فيها النظرية

57 – ينظر: عبد المطلب محمد، النحو بين عبد القاهر وتشومسكي، مجلة النقد الأدبي فصول، المجلد 5، العدد 1، 1984م، صص: 25-36.

58 – عيد سلمان عباس، تقويم الفكر النحوي، دار الكتب العلمية، بيروت – لبنان، ط.1، 2016م، ص: 185. [بتصرف]

59 – العمري محمد محمد، الأسس الإبستمولوجية للنظرية اللسانية، ص: 30.

اللسانية. وإذا كانت طبيعة النماذج على ضربين؛ فطبيعة النمذجة من جنسهما أي نمذجة مجرّدة ونمذجة مادية.

وبما أن طبيعة النماذج تكون مجردة تارة ومادية تارة أخرى، فإن كثيرا من البحوث والدراسات، تُبنى على مجموعة من المعطيات المادية والإحصاءات والصور والمفاهيم والتعريفات ... إلخ، مستقاة من الواقع/ الظواهر، فتصبح هذه الأخيرة، ذات بعد منهجي استقرائي والتي هي في أصلها أدواتٌ ونماذجُ يُستعان بها في التفسير والتحليل والتمثيل والاستدلال، داخل إطار نظري ما لمجال علمي معين. في الوقت نفسه، تُقابل هذه النماذج المادية نماذج مجردة ذات طبيعة تصوُّرية استنباطية مستقاة من التفكير العقلي. فتصبح ــ بهذا المعنى ــ الأفكار والنظريات العلمية بما فيها النظرية اللسانية نماذج مرتبطة بتجارب فكرية مجرّدة.

المراجع:

- أحرشاو الغالي، الزاهر أحمد، مفهوم التمثل في العلوم المعرفية، معرفية: مجلة دولية متخصصة في العلوم المعرفية والترجمة، فاس – المغرب، العدد المزدوج: 3/2، 1999م.
- بدوي عبد الرحمن، مناهج البحث العلمي، الناشر: وكالة المطبوعات، شارع فهد السالم – الكويت، ط.3، 1977م.
- البوحسيني رفيق، معالم نظرية للفكر اللغوي العربي مقاربة إبستمولوجية، افريقيا الشرق، ط1، 2013.
- تشومسكي نعوم، آفاق جديدة في دراسة اللغة والذهن، ترجمة: حمزة بن قبلان المزيني، المجلس الأعلى للثقافة، القاهرة – مصر، ط.1، 2005م.
- تشومسكي نعوم، اللسانيات التوليدية، من التفسير إلى ما وراء التفسير، ترجمة وتقديم: محمد الرحالي، دار الكتاب الجديد المتحدة، بيروت – لبنان، ط.1، 2013م.
- تمام حسان، اللغة بين المعيارية والوصفية، عالم الكتب، القاهرة – مصر، ط.1، 1421هـ/2001م.
- تمبل كرستين، المخ البشري، مدخل إلى دراسة السيكولوجيا والسلوك، ترجمة: عاطف أحمد، مجلة عام المعرفة، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب – الكويت، العدد: 287، 2002م.
- التهانوي محمد علي، موسوعة كشاف اصطلاحات الفنون والعلوم، تحقيق علي دحروج، مكتبة لبنان ناشرون، ط1، 1996.
- الخولي يمنى طريف، مشكلة العلوم الإنسانية: تقنينها وإمكانية حلّها، نيو بوك للنشر والتوزيع، القاهرة – مصر، ط.8، 2018م.
- دويدري رجاء وحيد، البحث العلمي – أساسياته النظرية وممارسته العلمية، دار الفكر، دمشق – سورية، ط.1، 1461هـ/2000م.
- دي سوسير فرديناند، دروس في الألسنية العامة، تعريب: صلاح القرمادي – محمد الشاوش – محمد عجينة، الدار العربية للكتاب، د.ط، 1985م.

- دي سوسير فردينان، علم اللغة العام، ترجمة: يوئيل يوسف عزيز، مراجعة: مالك يوسف المطلبي، دار آفاق عربية، د.ط، 1985م.
- سيناسور بنيس حورية، النموذج، مجلة المخاطبات، العدد 4، 2012م.
- شالمرز آلان، نظريات العلم، ترجمة: الحسين سحبان وفؤاد الصفا، دار توبقال للنشر، الدار البيضاء – المغرب، ط.1، 1991م.
- الشربيني لطفي، معجم مصطلحات الطب النفسي، مراجعة: عادل صادق، تحرير: مركز تعريب العلوم الصحية، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، 2004.
- صبري هناء، فلسفة اللغة عند نعوم تشومسكي، الناشر: المكتب العربي للمعارف، القاهرة – مصر، ط.1، 2015م.
- طه عبد الرحمن، تجديد المنهج في تقويم التراث، المركز الثقافي العربي، الدار البيضاء – المغرب، ط.2، 2007م.
- عبد المطلب محمد، النحو بين عبد القاهر وتشومسكي، مجلة النقد الأدبي فصول، المجلد 5، العدد 1، 1984م.
- العمري محمد محمد، الأسس الإبستمولوجية للنظرية اللسانية "البنيوية والتوليدية"، دار أسامة للنشر والتوزيع، عمان – الأردن، ط.1، 2012م.
- عيد سلمان عباس، تقويم الفكر النحوي، دار الكتب العلمية، بيروت – لبنان، ط.1، 2016م.
- غازي عناية، البحث العلمي، دار المناهج للنشر والتوزيع، عمان – الأردن، ط.1، 2014م.
- غلفان مصطفى، مشاركة: امحمد الملاخ، حافظ إسماعلي علوي، اللسانيات التوليدية، من النموذج ما قبل المعيار إلى البرنامج الأدنوي، مفاهيم وأمثلة، عالم الكتب الحديث، إربد – الأردن، ط.1، 1431هـ/ 2010م.
- قصبي حنان، محمد الهلالي، في المنهج، سلسلة دفاتر فلسفية نصوص مختارة، دار توبقال للنشر، الدار البيضاء – المغرب، ط.1، 2015م.

- لوغاي جون ماري، التجربة والنموذج - مقال في المنهج، ترجمة وتقديم: سفيان سعد الله، دار محمد علي للنشر، صفاقس – تونس، ط.1، 2009م.
- المسدي عبد السلام، اللسانيات وأسسها المعرفية، الدار التونسية للنشر، نهج باب الخضراء – تونس، ط.1، 1986م.
- المسدي عبد السلام، مباحث تأسيسية في اللسانيات، دار الكتاب الجديد المتحدة، بيروت – لبنان، ط.1، 2010م.
- الملخ حسن خميس، التفكير العلمي في النحو العربي، دار الشروق للنشر والتوزيع، عمان – الأردن، ط.1، 2002م.
- موسى عبد الله ـ بلال أحمد حبيب، الذكاء الاصطناعي، ثورة في تقنيات العصر، المجموعة العربية للتدريب والنشر، القاهرة – مصر، ط.1، 2019م.
- Antonino Pennisi & Alessandra Falzone, Darwinian Biolinguistics - Theory and History of a Naturalistic Philosophy of Language and Pragmatics, Springer International Publishing, AG, 2016.
- Axel Gelfert, How to Do Science with Models - A Philosophical Primer, Springer International Publishing, 2016.
- Bas Aarts, Sylvia Chalker, Edmund Weiner, The Oxford Dictionary of English Grammar, Oxford University Press, Second edition published, 2014.
- Cedric Boeckx, María del Carmen Horno-Chéliz and José-Luis Mendívil-Giró, Language, from a Biological Point of View: Current Issues in Biolinguistics, Cambridge Scholars Publishing, 2012.
- Daniel Graupe, Principles Of Artificial Neural Networks, World Scientific Publishing, 2013.
- Daniel J. Amit, Modeling Brain Function - The World Of Attractor Neural Networks, Cambridge University Press, 1989.
- David Crystal, A Dictionary of Linguistics and Phonetics, Sixth edition published, by Blackwell Publishing Ltd, 2008.

- David W. Embley, Stephen W. Liddle, Oscar Pastor (auth.), David W. Embley, Bernhard Thalheim (eds.)-Handbook of Conceptual Modeling - Theory, Practice, and Research Challenges-Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011.
- Denis Bouchard, The Nature and Origin of Language, Oxford University Press, First Edition published in 2013.
- Ferdinand De Saussure, Cours De Linguistique Générale, Publié Par: Charles Bally et Albert Sechehaye, Payot, Paris, 106, Boulevard Saint-Germain, 1971.
- Grady Hanrahan, Artificial Neural Networks In Biological And Environmental Analysis, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011.
- Isaak Iosifovic Revzin, les modèles linguistiques, Traduit et Adapté Par: Y. Gentilhomme, Dunod, Paris, 1968.
- Johan J. Bolhuis and Martin Everaert, Birdsong, Speech, And Language - Exploring the Evolution of Mind and Brain, Massachusetts Institute of Technology, 2013.
- John Daintith, Elizabeth Martin, A Dictionary of Science, Oxford University Press, Sixth Edition, 2010.
- Keith Brown &Jim Miller, The Cambridge Dictionary of Linguistics, Cambridge University Press, First published, 2013.
- Keith Brown and Jim Miller, The Cambridge Dictionary of Linguistics, Cambridge University Press, 2013.
- Koji Fujita & Cedric Boeckx, Advances in Biolinguistics - The human language faculty and its biological basis, Routledge, First published 2016.
- Lorenzo Magnani, Tommaso Bertolotti, Handbook Springer of Model-Based Science, Springer International Publishing AG, 2017.
- Patrick Suppes, Models And Methods In The Philosophy Of Science: Selected Essays, Originally published by Kluwer Academic Publishers in 1993.
- Peter Ludlow, The Philosophy of Generative Linguistics, Oxford University Press, First published 2011.
- Philip A. Schwartzkroin, Encyclopedia of Basic Epilepsy Research, Elsevier Ltd, 2009.

- Ray Jackendoff, Foundations Of Language - Brain, Meaning, Grammar, Evolution, Oxford University Press, First published, 2002.
- Santosh A. Helekar, Animal Models of Speech and Language Disorders, Springer Science, Business Media New York, 2013.
- Shelia M. Kennison, Introduction to Language Development, SAGE Publications, Inc, 2014.
- Soschen Alona. On the nature of syntax. Biolinguistics, Volume 2, Issue 2-3, Spring-Summer, 2008.
- Subana Shanmuganathan & Sandhya Samarasinghe, Artificial Neural Network Modelling, Springer International Publishing, Switzerland, 2016.
- Yoav Goldberg, Neural Network Methods for Natural Language Processing, A Publication in the Morgan & Claypool Publishers series, Part II, Working with Natural Language Data, 2017.
- المواقع الإلكترونية:
- Elizabeth Pennisi, Language Gene Has a Partner. Website link : https://www.sciencemag.org/news/2013/10/language-gene-has-partner
- Ganesh Jawahar, Benoît Sagot, Djamé Seddah, What does BERT learn about the structure of language? in: https://hal.inria.fr/hal-02131630
- https://en.wikipedia.org/wiki/Tree_(data_structure)
- -https://towardsdatascience.com/deconstructing-bert-reveals-clues-to-its-state-of-art-performance-in-nlp-tasks-76a7e828c0f1
- https://www.researchgate.net/figure/Construction-of-atom-pair-fingerprint-When-creating-an-atom-pair-fingerprint-following_fig2_321641342#:~:text=When%20creating%20an%20atom%20pair%20fingerprint%2C%20following%20steps%20are%20performed,conversion%20into%20bit%20strings%3B%204

https://www.topbots.com/deconstructing-bert-part-2/