دراسة تنغيم الكلام المركب باللغة العربية وتوليده آلياً*

م. عفاف الشلبي**

د.محمد نوار العوا*** د. أميمة الدكاك****

الملخص

الهدف الأساسي من هذا البحث دعم تركيب الكلام من نصوص باللغة العربية بتنغيم طبيعي؛ وذلك بالاعتماد على تحليل لغوي للنصوص المراد تركيبها وتوليد قواعد تنغيم يجري استنتاجها من تحليل إشارات مسجلة لمختلف أنواع الجمل باللغة العربية. جرى، بالاستعانة بخبير لغوي، حصر مختلف أنواع الجمل الخبرية والإنشائية باللغة العربية، ثم إنشاء مدونة نصية تتضمن معظم أنواع هذه الجمل. تضمنت المدونة قرابة 2500 جملة. بعد ذلك جرى تسجيل هذه الجمل صوتياً بالتنغيم الطبيعي ثم بسرد مصطنع خال من التنغيم. في مرحلة لاحقة جرى تحليل إشارات كل نوع من أنواع الجمل بالتنغيم الطبيعي وبالنسخة الخالية من التنغيم لنمذجة أثر التنغيم الطبيعي في محددات الإشارة، ووضع قواعد لتوليد هذا التنغيم آلياً. نعرض في هذا البحث نتائج هذه الدراسة على جمل النفي الخبرية وتطبيق النتائج على كلام مركب باستخدام الأداة المفتوحة المصدر MBROLA. كما يمكن استخدام هذه النتائج مع أي مركب كلام عربي بموسطات، نأمل مستقبلاً، تنفيذ توليد التنغيم على مركب كلام بأنصاف مقاطع يجري تطويره حالياً، في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.

الكلمات المفتاحية: تركيب الكلام من نصوص للغة العربية، موسطات التنغيم، قواعد لتوليد التغيم آلياً، تحليل لغوي، مدونة نصية، مدونة كلامية، تحليل الإشارة الكلامية.

* أُعدَّ هذا البحث في سياق رسالة الماجستير للمهندسة عفاف الشلبي، قسم الذكاء الصنعي – كلية الهندسة المعلوماتية – جامعة دمشق.

** المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا دمشق

*** أستاذ مساعد - قسم النظم والشبكات الحاسوبية – كلية الهندسة المعلوماتية – جامعة دمشق.

**** مدير بحوث - المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا – رئيس قسم الاتصالات - دمشق.

1- المقدمة:

على الرغم من أن لمعظم اللغات الأجنبية نظماً لتركيب الكلام من نصوص **Text To Speech Systems**، وأن هذه النظم مازالت تسعى لأن يكون الصوت المركب أكثر طبيعية، إلا أن اللغة العربية مازالت في بداية عهدها في هذا المجال, وإن وجدت بعض مركبات كلام للغة العربية, فهي مغلقة المصدر وتفتقر إلى الطبيعية في النطق ومحدودة الأصوات، كما أن العمل في هذه البحوث يتطلب وجود مخابر خاصة بالصوتيات وتعاوناً بين اللغويين العرب والمعلوماتيين. إن الهدف من البحث هو "دراسة تنغيم الكلام المركب باللغة العربية وتوليده آلياً" لدعم تركيب اللغة العربية بنوعية طبيعية، اعتماداً على معلومات لغوية. هذه البحوث وإن كانت فردية أو أولية، فهي بالنهاية تُثري العمل على هذه اللغة.

يتألف مركب الكلام من مجموعة من الكتل البرمجية، تشكل كل كتلة من هذه الكتل مشروعاً بحد ذاته، وتُصنف هذه الكتل بين كتل خاصة بمعالجة النصوص المكتوبة، وكتل خاصة بمعالجة النصوص المقروءة، وكتل تدمج بين الاثنين، يولد تكامل هذه الكتل مركب الكلام للغة العربية. اخترنا في هذا البحث العمل على إحدى هذه الكتل التي تعدُّ كتلة أساسية من مكونات مركب الكلام للغة العربية، مهمة هذه الكتلة، إضافة مؤثر أساسي إلى الصوت المنطوق لكي يكون الصوت الناتج أكثر طبيعية ومغزى، هذا المؤثر هو توليد التنغيم **prosody generation**. وعلى الرغم من الجهود المبذولة من اللغويين العرب لتوصيف التنغيم، إلا أنهم لم يجدوا -إلى الآن- نموذجاً عاماً لوصف قواعده، ومن ثمَّ الإفادة منه مباشرة من قبل المعلوماتيين، لتحويله إلى مجموعة من القواعد، ثَمَّ استخدام هذه القواعد لتوليد التنغيم آلياً. لهذا كان لابدَّ من إجراء دراسة نظرية أولية لمعرفة أثر التنغيم في الجملة العربية من وجهة نظر اللغويين، ثم عكس هذا الأثر حاسوبياً من وجهة نظر معالجة الإشارة الرقمية، ثم بناء نموذج ابتدائي للتنغيم في اللغة العربية، يعتمد على تمثيل التنغيم كسلسلة خطية من الأحداث، ولكل حدث مجموعة من الموسطات نقوم باستخراجها من مجموعة تسجيلات للغة العربية تم تسجيلها وتذييلها ووضع اللصيقات لها يدوياً، ثم استنتاج قواعد لتوليده آلياً، واستخدام هذا النموذج والقواعد لتحليل التنغيم وتركيبه آلياً في مركبات الكلام باللغة العربية؛ وذلك للحصول على كلام منطوق بتنغيم طبيعي عالي النوعية.

2- معنى التنغيم من وجهة نظر اللغويين:

على الرغم من اختلاف الدراسات القائمة حول التنغيم، وعدم وجود دراسة مفصلة عنه أو وجود تطبيق مستند إلى قواعدَ محدَّدة، إلا أن ثمة إجماعاً من العلماء العرب على أهميته وأثره في نفس القارئ، أو المستمع.

يُقابل مصطلح التنغيم أو الترنيم في اللغة العربية المصطلح الانجليزي (Intonation, Prosody) وهو أحد المصطلحات التي ترد في علم الأصوات ويهتم بها مدرسو اللغات في أثناء تعليم اللغة العربية والنطق بها. كما يُشير التنغيم إلى موسيقى الكلام، إذ لكل جملة نقرؤها نغمة موسيقية خاصة بها. وللتنغيم في اللغة العربية عدة وظائف [1]: وظيفة أدائية، يتم بها نطق اللغة بحيث يكون الكلام واضحاً. ووظيفة دلالية [2]، لتوضيح الدلالات المختلفة للجملة. يُستخدم التنغيم للتفريق بين معاني الجمل كالخبرية والإنشائية، على سبيل المثال، قول الشاعر عمر بن أبي ربيعة" "ثم قالوا: تحبها؟ قلت بُهراً عدد الرمل والحصى والتراب" فالأصل في كلمة

تُحبها هو أتحبها ولكن حُذفت أداة الاستفهام واستعاض الشاعر عنها بأداة التنغيم. كما يُستخدم التنغيم لتغيير دلالات صيغة الأمر. على سبيل المثال، "اخرج" قد يكون طلباً محضاً، وقد يكون زجراً وتوبيخاً، وقد يكون رجاءً. ويميّز التنغيم الجمل الاستفهامية لفظاً التوبيخية دلالةً، كقولنا: "أتميمياً مرة وقيسيّاً أخرى". كما يميّز الجمل الاستفهامية لفظاً المنفية دلالةً، كقوله تعالى: "هل يستوي الذين يعلمون والذين لا يعلمون" سورة الزمر(9).

عرّف العلماء اللغويون التنغيم [2] بأنَّه "التغيّرات التي تحدث في درجة نغمة الصوت في الكلام والحديث المتواصل، يحدث هذا الاختلاف في النغمة نتيجة لتذبذب الأوتار الصوتية". وقد أشار العلماء إلى أنواع النغمات بين هابطة إلى أسفل وصاعدة إلى أعلى ومستوية. سنشير إلى درجة الصوت بالتردد الأساسي لاحقاً. كما عرف بعضهم التنغيم بأنَّه "ارتفاع الصوت وانخفاضه في أثناء الكلام" وسنشير إليه لاحقاً بمطال إشارة الصوت. كما قال بعض العلماء بأن "لطول الصوت أهمية خاصة في النطق باللغة العربية نطقاً صحيحاً، فالإسراع بنطق الصوت أو الإبطاء به يترك في لهجة المتكلم أثراً أجنبياً عن اللغة ينفر منها أبناؤها". ونشير إليه لاحقاً بمدة إشارة الصوت. هذه المصطلحات الثلاثة هي موسطات التنغيم في الدراسات اللغوية العربية المعاصرة [1].

3- التنغيم من وجهة نظر الحاسوب:

يُشير مصطلح التنغيم حاسوبياً [3] إلى خصائص محددة في إشارة الكلام تتعلق بالتغيّرات المسموعة في دورية الصوت Pitch، وتشديد الصوت أو ارتفاعه Stress، ومدة المقاطع الصوتية Syllables' length التي يمكن سماعها في إشارة الكلام. تشير الدورية إلى التردد الأساسي fundamental frequency للموجة الصوتية المُنتَجة ويرمز له بالرمز F_0، وهو يوافق في الكلام الطبيعي شبه الدورية الناتجة عن تواتر اهتزاز الأوتار الصوتية في أثناء النطق. ولكل جملة منطوقة منحنى contour لتغيّرات التردد الأساسي الزمنية. أمَّا مفهوم التشديد فيرتبط بعلو الصوت أي ضغط الهواء الخارج من الرئتين (ويُشار إليه أيضاً بمطال الإشارة Amplitude). أمَّا المدة Duration فهي مرتبطة بطول المقاطع وتستخدم لتعيين حدود التشديد. انظر الشكل (1).

تتألف عملية تحليل التنغيم [4] بشكل عام من تحليل ثلاثة مفاهيم أساسية: التقسيم إلى عبارات نغمية prosodic phrasing، والتشديد النغمي prosodic prominence، واللحن tune. إذْ يجب أولاً تحديد قيمة هذه المفاهيم يدوياً، ثم تحويلها إلى مميزات صوتية وهي (F_0، المطال، المدة).

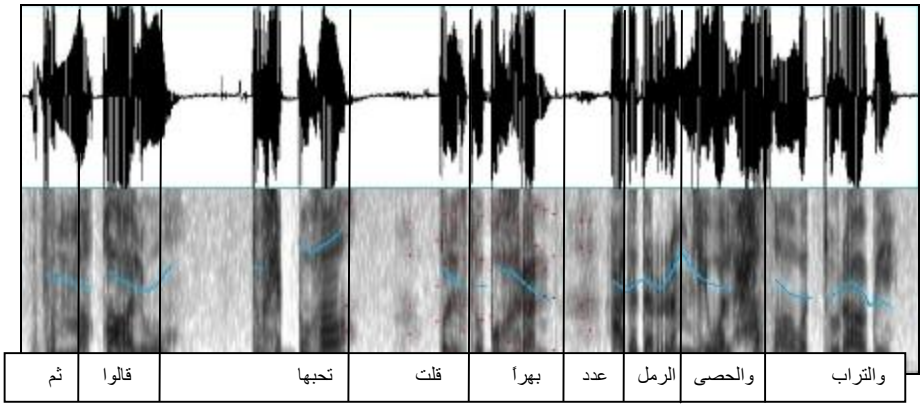
- التقسيم إلى عبارات نغمية: يمكن لبعض الكلمات في أثناء النطق بجملة ما، أن تنتمي إلى مجموعات معينة من الكلمات المجاورة لها، وأن ينتمي بعضها الآخر إلى مجموعات أخرى. يُقسم انتماء الكلمات إلى مجموعات الجملة إلى عبارات نغمية مفصولة بفواصل زمنية. على سبيل المثال: "تتحدث هذه الفقرة عن بعض الخصائص التي تتميز بها بعض اللغات التي تسهم في تحديد تنغيم الجملة المقروءة". لدينا هنا عبارتان نغميتان مفصولتان بفاصلة.

- التشديد النغمي: يجذب المتحدث انتباه السامع إلى بعض الكلمات في خطابه من خلال رفع صوته، أو الإبطاء، أو تغيير درجة صوته في أثناء النطق بها. تحمل هذه الكلمات البارزة ما يُسمى النبر pitch accent على المقاطع المشددة فيها أو "التشديد" وينعكس في تغيّرات قيمة F_0 والمدة والمطال.

- اللحن: هو الارتفاع والانخفاض في قيم F_0 للمتحدث التي تؤثر في المعنى.

4- الدراسة المرجعية:

نعرض في هذه الفقرة أكثر الأنظمة شهرة و أعمّها، باختلاف الطرائق المستخدمة في التحليل سواء التحليل على المستوى الصوتي أو الفونولوجي أو بالاعتماد على مدونات [12]، وسوف نشرح نموذجاً لكل طريقة من الطرائق المتبعة.



الشكل(1) الموسطات الثلاثة لجملة باللغة العربية: يبيّن الشكل الموجي للجملة في الأعلى، مطال الإشارة وفي الوسط منحنى التردد الأساسي، وتبيّن الأعمدة الفواصل الزمنية لمدد الكلمات.

4-1 النموذج الأول نموذج TOBI:

وهو النموذج الأكثر انتشاراً وهو اختصار للعبارة Tone and Break Indices [5]. يعدُّ هذا النموذج فونولوجياً phonological model يهدف ليكون معياراً وصفياً لبنية كل من موسطات التنغيم. وفي عام 1992م قدم مجموعة من العلماء نسخة TOBI كمعيار قياسي للتنغيم لمدونة صوتية كبيرة للغة الانجليزية، توصف هذه النسخة المعيارية كما يأتي [6][7]:

تتألف النسخة المعيارية من منحنى F_0 وأربع طبقات متوازية زمنياً وهي: الإطار الإملائي لتحديد الكلمات في النص وربط الكتابة اللفظية للجمل مع منحنيات F_0، وإطار النغمة: لتصنيف النغمة أو اللحن، وإطار فهارس الوقف: لتصنيف العبارات النغمية، وإطار التعليقات: لتصنيف المتفرقات.

هذا النموذج مُنفذ حالياً في مختبرات بيل Bell لنظم تركيب الكلام التي تستخدم الثنائيات الصوتية كوحدات تركيب.

4-2 النموذج الثاني نموذج TILT:

طُوِّرَ من قبل Paul Taylor وزملائه في مركز بحوث تقانات الكلام في جامعة Edinburgh بهدف تحليل التنغيم في نظم تعرف الكلام وتركيبه في مركبات الكلام [8][9]. يعدُّ TILT نموذجاً صوتياً للتنغيم phonetic model وذلك لأنه يصف ظواهر التنغيم من منحنيات F_0. أهم ما في هذا النموذج هو الحدث التنغيمي، وأهم أنواعه:

- حدث نبرة الصوت: وهي تغيّرات F_0 المرتبطة بالمقاطع التي يستخدمها المتحدث لإعطاء تشديد على كلمة محددة أو مقطع معين.
- حدث نغمة الحد Boundary tones: وهي الأحداث التي تحدث في نهاية العبارة التنغيمية والتي تعطي المستمع إحساساً بنهاية العبارة، ويمكن أن تعطيه إحساساً بالاستمرار أو بالسؤال.

يُوصَّف كل حدث في هذا النموذج بشكل جرس له مركبتان [9]: مركبة ارتفاع (من نقطة بداية الحدث إلى نقطة القمة، وقد تكون صفرية) متبوعة بمركبة انخفاض (من نقطة القمة إلى نقطة نهاية الحدث، وقد تكون صفرية). وبذلك تكون أشكال الأحداث: شكل مرتفع، أو شكل منخفض، أو شكل مرتفع متبوع بشكل منخفض، ويُحَوَّلُ كل حدث إلى مجموعة من الموسطات الصوتية من خلال قياس مطالات كل من الارتفاعات والانخفاضات ومددها يدوياً أو باستخدام مجموعة من الخوارزميات. لهذا النموذج ثلاثة موسطات: موسط المطال: وهو قيمة F_0 في الحدث، وموسط المدة: وهو الزمن من بداية الحدث حتى نهايته، وموسط TILT: وهو رقم غير محدد الأبعاد يصف شكل الحدث، إذْ تدل القيمة (+1) على الشكل المرتفع فقط وتدل القيمة (-1) على الشكل المنخفض فقط، وأي قيمة بين هاتين القيمتين تدلُّ على أن للحدث مركبة ارتفاع وانخفاض بنسب مختلفة، أمَّا القيمة صفر فتدلُّ على أن مركبة الارتفاع والانخفاض للحدث متساويتان تماماً.

تتطلب عملية التركيب باستخدام النموذج، تحويل موسطات TILT إلى منحنيات F_0 وفقاً لمجموعة من المعادلات الرياضية. استخدم كل من Dusterhoff and Black نموذج TILT لتوليد منحنيات F_0 بهدف تركيب الكلام. حيث استخدما مكونين: الأول لتذليل annotate النص المكتوب بلصيقات TILT labels، والثاني لتحويل هذه اللصيقات إلى منحنيات F_0.

4-3 النموذج الثالث التنغيم اعتماداً على الأمثلة

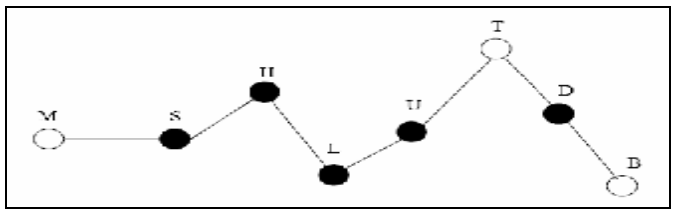
يُدعى هذا النهج بالنموذج المعتمد على الأمثلة [10] Example Based. تعتمد الفكرة الأساسية على استخراج موسطات التنغيم من قاعدة معطيات التنغيم التي تتضمن موسطات التحكم بالتنغيم المستخرجة يدوياً من أمثلة كلام طبيعية. يتطلب هذا النموذج وجود مدونات كلامية، وسمي كذلك لوجود قاعدة معطيات صوتية كأمثلة لتوليد التنغيم، تتألف هذه القاعدة من ثلاثة مستويات: مستوى المقاطع، ومستوى العبارات، ومستوى الجمل.

- مستوى المقطع، يتضمن موسطين: مدة المقطع، ومنحنى F_0 للمقطع. ويجري التحليل بالاعتماد على بداية المقطع ونهاية المقطع ونغمة المقطع.
- مستوى العبارة. يتضمن متوسط قيم F_0 لكل مقطع مع المدة المقابلة له.
- مستوى الجملة: هو دمج للتنغيم على مستوى المقاطع والتنغيم على مستوى العبارات، وتجري إضافة الوقف والفواصل بين العبارات، ويُعَدَّلُ مستوى F_0 بين كل عبارتين.

4-4 النموذج الرابع:

يعدُّ هذا النموذج نموذجاً مشتركاً بين النموذج الصوتي والفونولوجي [11][12]، إذْ يبدأ بعملية تحليل على المستوى الصوتي تُعرف بخوارزمية MOdeling MELody (MOMEL) وهي خوارزمية تصف منحنيات F_0 باستخدام توابع استيفاء، إذْ تقوم بتحويل منحنيات F_0 التي تستخرج مباشرة من ملفات

wav إلى مجموعة من نقاط الهدف التي تقابل المواقع المهمة لغوياً في هذه المنحنيات. ثم تأتي مرحلة الوصف الفونولوجي: INternational Transcription System for INTonation (INTISINT)، تستخدم هذه المرحلة خرج عملية التحليل الصوتية السابقة، وتقوم بترميز التنغيم في النطق باستخدام ثماني علامات أبجدية منفصلة: Top, Mid, Bottom, Higher, Same, Lower, Up-stepped, Down-stepped. انظر الشكل (2).



الشكل (2) الرموز المستخدمة في INTISINT

5- بناء نموذج ابتدائي للتنغيم في اللغة العربية:

نعتمد في نموذجنا على مجموعة من الموسطات تشبه الموسطات المستخرجة في نموذج TILT[9]، ولكن بعد تعديلها بما يتوافق مع خصائص النطق باللغة العربية، وبما يتوافق مع خصائص اللغة العربية المقطعية. بدأنا بإجراء تحليل التنغيم من مجموعة من النصوص العربية لاستنتاج الموسطات، ثم انتقلنا إلى توليد مجموعة من القواعد لتوصيف التنغيم في الجمل العربية بحسب نوع الجملة خبرية أو إنشائية، وتطبيقها على الأداة MBROLA وتهيئتها لتطبيقها على مركب الكلام، قيد التطوير، في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا الذي يستخدم أنصاف المقاطع الصوتية كوحدات للمركب.

يتطلب تحليل التنغيم فحصاً محلياً لمنحنيات F_0 لمجموعة جمل صوتية تشمل الحالات جميعها في اللغة العربية. نحتاج للحصول على هذه الجمل إلى وجود مدونات للغة العربية سواء كانت هذه المدونات نصية أو صوتية، لذلك كان لابد من توفير هذه المدونات للعمل عليها، وتذييلها بنوع الجملة ثم وضع لصيقات يدوياً عند مواقع الأحداث. ولعدم وجود مدونات جاهزة بين أيدينا، قمنا بإنشاء هذه المدونة بالاستعانة بخبير لغوي.

5-1 تحضير المدونة:

تتألف قاعدة المعطيات التي أنشأناها من مدونتين: مدونة نصية، ومدونة صوتية مقابلة للمدونة النصية. وقد اِستُخْدِمَتْ قاعدة المعطيات هذه من أجل عمليات التحليل اللازمة للحصول على معاملات التنغيم الموافقة لأنواع مختلفة من الجمل في اللغة العربية. تتألف المدونة النصية من عشر قصص قصيرة جُمعت بالمعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا من قبل خبير لغوي، وقد أُخذت هذه الجمل من مجموعة من كتب البلاغة العربية ووضعت خصِّيصى كأمثلة تُغطي معظم أنواع الجمل في اللغة العربية إِذْ تحتوي على أنواع للجمل الخبرية والجمل الإنشائية. اختيرت كل قصة قصيرة بحيث تكون ذات مغزى، وتثير اهتمام السامع لها وتُؤثر فيه لما تحتويه من معانٍ مهمة بقصد الإلمام بأنواع الجمل كلّها في اللغة العربية. أمَّا جمل هذه القصص فيمكن وصفها بالجمل القصيرة أو متوسطة الطول عدا الجمل الخبرية التي يمكن أن تكون جملاً طويلة. وقد وصل عدد الجمل في المدونة النصية إلى زهاء (500) جملة، تضم زهاء 1846 كلمة. بالنهاية تعدُّ المدونة النصية التي اخترناها من الحجم المتوسط إلى الحجم الصغير ولكنها وفّت

بالغرض وهو الإلمام بجزء كبير من أنواع الجمل في اللغة العربية. تطلب العمل على هذه المدونة النصية مجموعة من المراحل المسبقة بهدف تحضيرها وتهيئتها لتوليد المدونة الصوتية منها، وهذه المراحل هي:

- كتابة المدونة النصية على الحاسب.
- تشكيل المدونة حاسوبياً بالاستعانة بخبير لغوي بهدف نطقها نطقاً سليماً.
- تذييل annotation المدونة يدوياً لتحديد نوع كل جملة فيها بالاستعانة بخبير لغوي، ثم تثبيت هذا التذييل حاسوبياً.

يبيّن المثال الآتي جزءاً من قصة مع التذييل المتبع: " حَدَّثَ الْعُتبِيُّ عَن بَعضِ أَشيَاخِهِ **(إثبات)** قَالَ **(إثبات)**: كُنتُ عِندَ المُهَاجِرِ بنِ عَبدِ اللهِ وَالِي اليَمَامَةِ **(إثبات)**، فَأُتِيَ بِأَعرَابِيٍّ كَانَ مَعرُوفاً بِالسَّرَقِ **(إثبات)** فَقَالَ **(إثبات)** أَخبِرنِي عَن بَعضِ عَجَائِبِكَ **(أمر)** قَالَ: **(إثبات)** عَجَائِبِي كَثِيرَةٌ، وَمِن أَعجَبِهَا **(إثبات)** أَنَّهُ **(إثبات)** كَانَ لِي **(إثبات)** بَعِيرٌ لَا يُسبَقُ **(نفي)** وَكَانَت لِي خَيلٌ **(إثبات)** لَا تُلحَقُ **(نفي)** فَكُنتُ أَخرُجُ **(إثبات)** فَلَا أَرجِعُ خَائِبَاً **(نفي)** فَخَرَجتُ يَوماً **(إثبات)** فَاحتَرَشتُ ضَبَّاً **(إثبات)** فَعَلَّقتُهُ عَلَى قَتَبِي **(إثبات)** ثُمَّ مَرَرتُ بِخِبَاءٍ **(إثبات)** لَيسَ فِيهِ إِلَّا عَجُوزٌ **(نفي)** لَيسَ مَعَهَا غَيرُهَا **(نفي)** فَقُلتُ **(إثبات)** يَجِبُ أَن يَكُونَ لِهَذِهِ رَائِحَةٌ مِن غَنَمٍ وَإِبِلٍ **(إثبات)**."

أمَّا المدونة الصوتية فهي تسجيل للمدونة النصية. وقد جرى التسجيل في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا من قبل خبير لغوي وباستخدام أجهزة متاحة لهذا الغرض، وهي ميكرفون من نوع Beyerdynamic M 59 وآلة تسجيل رقمية Panasonic professional digital audio tape recorder SV-3800 موجودة ضمن غرفة صماء عازلة للضجيج. مدة تسجيل هذه المدونة زهاء 40 دقيقة دون فواصل صمت طويلة. وقد مرت عملية تسجيل المدونة الصوتية بالمراحل الآتية:

- تسجيل المدونة النصية كلامياً بواسطة مسجل وميكرفون، إذْ جرى تسجيل هذه المدونة بطريقتين: تسجيل بتنغيم حيادي وآخر بتنغيم طبيعي ظاهر ومقصود للحصول على أقصى تغيّر سمعي وصوتي على المدونة.
- نقل الملفات المسجلة من شريط DAT إلى الحاسوب وحفظها رقمياً بتردد تقطيع 44KHz.
- تقسيم القصص إلى مجلدات كل مجلد يحتوي على تسجيلين للقصة، مرة بتنغيم ومرة دون تنغيم، ثم قُسِّمَ كل تسجيل إلى مجموعة من الجملِ ووضِعَت الجمل في مجلدات مصنفة بحسب نوع الجملة، مجلد لكل نوع من أنواع الجمل في اللغة العربية، وذلك لسهولة التحليل والوصول المباشر إلى الملفات.
- وضع اللصيقات يدوياً Hand Labeling: الهدف من هذه المرحلة هو إنتاج الوصف التنغيمي (الأحداث) للجمل بالاستعانة بأداة تحليل صوتية تفاعلية تُدعى praat التي تُظهر شكل الإشارة الموجي بالزمن والتردد وتُظهر أيضاً منحنيات F_0 وتسمح هذه الأداة بإجراء عمليات تحرير على الإشارة، فضلاً عن إمكان سماع الصوت المقابل للإشارة مباشرة وغيرها من العمليات المهمة. نحدد في هذه المرحلة مواقع الأحداث في الإشارة، و نوع هذه الأحداث إن كان حدثاً من نوع نبرة الصوت أو حدثاً من نوع نغمة الحد. وسنفصل في الفقرة 5-2 هذه العملية.
- تحليل المدونة الصوتية: تتضمن هذه المرحلة تحديد معاملات التنغيم المقابلة لكل حدث، واستخراج

قيمها ضمن جداول مبوبة بحسب نوع الجملة لاستخدامها في مرحلة التركيب وتوليد القواعد. وسنفصل في الفقرة 5-3 عملية التحليل هذه.

- تركيب منحنيات F_0 واستنتاج القواعد: من خلال استخدام صيغ رياضية عكس الصيغ المستخدمة في مرحلة التحليل بهدف توليد منحنيات F_0 من موسطات التنغيم المستخرجة من مرحلة التحليل السابقة. وسنفصل في الفقرة 5-4 عملية التركيب وتوليد القواعد.

5-2 وضع اللصيقات يدوياً:

إن الهدف من وضع اللصيقات يدوياً هو توليد الوصف التنغيمي[9]، ويُقصد به تحويل منحنى F_0 إلى مجموعة من الأحداث، وربط هذه الأحداث بمجموعة المقاطع الصوتية الواقعة عليها. أجرينا في هذه المرحلة، دراسة مفصلة لأشكال منحنيات F_0 لمختلف أنواع الجمل العربية في المدونة، إذْ لاحظنا أن إضافة مؤثر التنغيم إلى النص المنطوق ينعكس مباشرة على شكل منحنى F_0؛ وجرى التوصل إلى مفهوم عام لنمذجة هذا المنحنى، وهو تحويله إلى سلسلة من الأحداث الخطية التي هي تغيّرات مفاجئة في منحنى F_0 للمتحدث ناتجة عن إضافة مؤثر التنغيم إلى صوت المتحدث.

إن الوحدة الأساسية في هذه الفقرة هي الحدث التنغيمي، وكما في نموذج TILT(4-2)، وجدنا أن الأحداث التنغيمية في اللغة العربية على نوعين: حدث نبرة الصوت وحدث نغمة الحد وسَيُربَطُ كل حدث بمقطع صوتي. كما كان لاختيار مواقع الأحداث وعددها ونوعها أهمية كبيرة في إنتاج تنغيمات مختلفة في اللغة العربية.

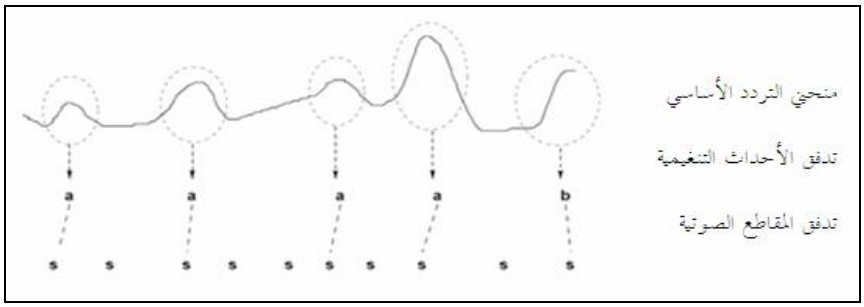
لدينا في هذه المرحلة، ثلاثة مستويات من العمل على التوازي: الأول إظهار منحنى تغيّرات F_0، الثاني إسقاط تدفق الأحداث على منحنى F_0 وتحديد الأحداث المهمة ونوع كل حدث في هذا التدفق، والثالث هو ربط المقاطع الصوتية في إشارة الكلام بالأحداث، كما هو موضح في الشكل (3). إذْ سينشأ لدينا وصلات بين الأحداث في مخطط التردد الأساسي، بين سلسلة المقاطع الصوتية. هذه الوصلات لا يمكن أن تتقاطع ولا يمكن أن نجد حدثاً غير مرتبط بمقطع صوتي، ولكن يمكن أن نجد مقطعاً غير مرتبط بحدث، نشير إلى حدث نبرة الصوت بالرمز a وحدث نغمة الحد بالرمز b.

ملاحظات:

- يُقسم منحنى F_0 مهما كان نوع الجملة المولدة له إلى ثلاثة أنواع من النغمات: نغمة مرتفعة ونغمة منخفضة ونغمة مستوية. وقد رُبِطَتِ النغمة المرتفعة والمنخفضة بحدث له أحد ثلاثة أشكال: حدث مرتفع أو حدث منخفض أو حدث مرتفع متبوع بحدث منخفض.
- تعطي النغمة المستوية في منحنى F_0 إحساساً بتأكيد اللفظ على الرغم من عدم وجود تغيّرات ملحوظة في منحنى التردد الأساسي، لم نمثل هذه النغمة بحدث وإنما عددناها نبرة طبيعية في المنحنى.
- ثمة مشكلة أساسية تتمثل في عدد الحالات الكثيرة للأحداث ومواقعها، وخاصة للحدث من نوع نبرة الصوت، إذْ اِعْتُمِدَ على الملاحظة العينية في تحديد موقع هذه الأحداث واختيرت الأحداث التي تركز على نبرة الصوت وعُدَّتْ باقي الحالات على أنها نبرات بسيطة لا تمثل حدثاً.
- جرى عدّ حدث نهاية الحد على نوعين: حدث مرتفع أو حدث منخفض، أمَّا النغمة المستوية فلم نمثلها بحدث وإنما عددناها القيمة الافتراضية للنغمة في الكلام المتواصل (مثل جمل الإثبات)، ونهاية

منحنى F_0، في هذه الحالة لن يكون له حدث نغمة الحد.

- اعتُمِدَت الرموز الآتية في لصيقات نوع الحدث: الرمز a يمثل حدثاً من نوع نبرة الصوت، والرمز b يمثل حدثاً من نوع نغمة الحد، والرمز ab حدث من نوع نبرة الصوت متبوع بحدث من نوع نغمة الحد، والرمز sil للإشارة إلى الصمت في منحنى التردد الأساسي. أمَّا الحدث المرتفع فَأُشِيرَ إليه بالرمز rb اختصاراً ل Rise



الشكل(3) تدفق الأحداث وربطها بسلسلة المقاطع الصوتية وبمنحنى F0 لجملة استفهام

Boundaries والحدث المنخفض بالرمز fb اختصاراً لـــ Fall Boundaries والحدث المرتفع يليه حدث منخفض بالرمز rf.

- اعتُمِدَت الرموز الآتية في لصيقات موقع الحدث: الرمز f لحدث يقع في بداية الجملة، والرمز m لحدث يقع في منتصف الجملة والرمز e لحدث يقع في نهاية الجملة.

مثال: دراسة جمل النفي:

جرت مقارنة منحنيات F_0 لبعض جمل النفي في اللغة العربية، ثم وُضِعَتْ لصيقات لهذه المنحنيات وحُدِّدَت مواقع الأحداث وعددها ونوعها، ورُبِطَتِ الأحداث بالمقاطع الصوتية الواقعة عليها.

جمل النفي هي أحد أنواع الجمل الخبرية في اللغة العربية. إذْ تُنفى الجملة بإحدى أدوات النفي الآتية: لا النافية، وليس، ولم، ولن، وما. أخذنا المثال: "لا طَمَعَاً فِي خَيرِهِ". حيث يوضح الشكل(4) الربط بين تدفق الأحداث وتدفق المقاطع الصوتية لهذه الجملة.

يبيّن الجدول(1) لصيقات نوع الأحداث المستخرجة من المثال السابق ومواقعها.

3-5 تحليل المدونة الصوتية:

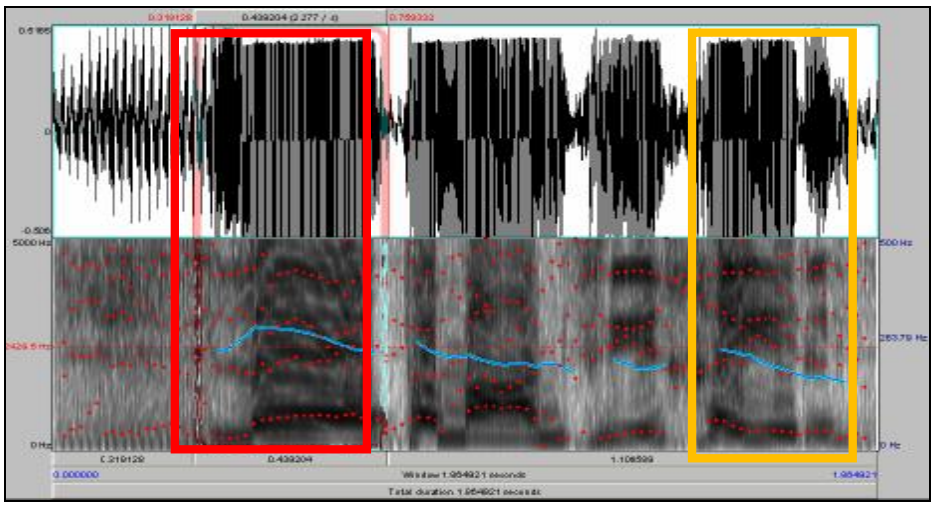
نسعى في هذه المرحلة إلى استخراج موسطات التنغيم المقابلة لكل حدث، وتحديد قيمها من حدود الأحداث ومن منحنيات F_0، ثم تخزين هذه القيم ضمن جداول مبوبة بحسب نوع الجملة لاستخدامها في مرحلة التركيب وتوليد القواعد.

يكون دخل هذه المرحلة هو مجموعة المقاطع من الكلام التي من المفترض أن الأحداث وقعت عندها والتي يمكن أن نشتق منها بداية موقع الحدث ونهايته، ثم ومن خلال منحنى F_0 نستخرج قيم موسطات التنغيم بحسب نوع الحدث. نقوم بتحويل كل حدث إلى مجموعة من الموسطات الصوتية من خلال قياس مطالات ومدد كل من الارتفاعات والانخفاضات يدوياً وحساب قيم الموسطات من خلال مجموعة من المعادلات [9]، هذه

الموسطات كما في نموذج TILT (4-2) هي: المطال، الزمن، والموسط TILT.

في حالة الشكل المرتفع الذي يليه شكل منخفض raise-fall shape:

- تعرّف ثلاث نقاط: نقطة بداية الحدث، ونقطة القمة، ونقطة نهاية الحدث.
- نُعرف D_{rise}: مدة الارتفاع Duration Rise، وهي المسافة الزمنية بين نقطة بداية الحدث ونقطة القمة.
- ونُعرف D_{fall}: مدة الانخفاض Duration Fall، وهي المسافة الزمنية بين القمة ونقطة نهاية الحدث.
- ونُعرف A_{rise}: مطال الارتفاع Rise Amplitude، وهو الفرق في قيمة F_0 بين قيمته عند القمة وقيمته عند نقطة البداية، وتكون قيمه هذا المطال موجبة دوماً.
- ونُعرف A_{fall}: مطال الانخفاض Amplitude Fall، وهو الفرق بين قيمة F_0 من القمة إلى النهاية، وتكون قيمته سالبة دوماً.
- فإذا كان الحدث له مكون ارتفاع فقط، فإن A_{fall} و D_{fall} تأخذان قيمة الصفر، وإذا كانت اللهجة هابطة (تحتوي على هبوط فقط) فإن A_{rise} و D_{rise} تأخذان أصفاراً أيضاً. من هذه الموسطات الأربعة تُحسَبُ موسطات TILT الثلاثة وهي: مدة الحدث Event Duration واختصاراً D_{event}، ومطال الحدث event



sil	لا	طمعاً	في	خيره
	la	TAmACA	fi	XAyrIh

الشكل (4) تدفق الأحداث وتدفق المقاطع الصوتية المقابلة للجملة " لا طمَعَاً فِي خَيرِهِ."

جدول(1) لصيقات نوع الأحداث ومواقعها المستخرجة من جملة النفي: "لَا طَمَعَاً فِي خَيرِهِ."

رقم الحدث	نوع الحدث	موقع الحدث	المقاطع الصوتية التي يقع عليها الحدث
1	a: rf	F	l a
2	b: fb	E	XAyrIh

Amplitudeواختصاراً A_{event}، وموسط الحدث تلت $TILT_{event}$ وفقاً للصيغ الرياضية المبينة في الشكل (5):

نرى في الشكل (6) مثالاً لعملية التحليل لجملة النفي السابقة؛ وذلك للحدث الأول الذي هو حدث مرتفع يليه حدث منخفض، وكيفية تعريف النقاط الثلاث، وكيفية استخراج الموسطات الأربعة، ويوضح الجدول (2) القيم العددية للنقاط الثلاث بالتردد والزمن وقيم الموسطات الأربعة، ثم قيم الموسطات الثلاثة النهائية.

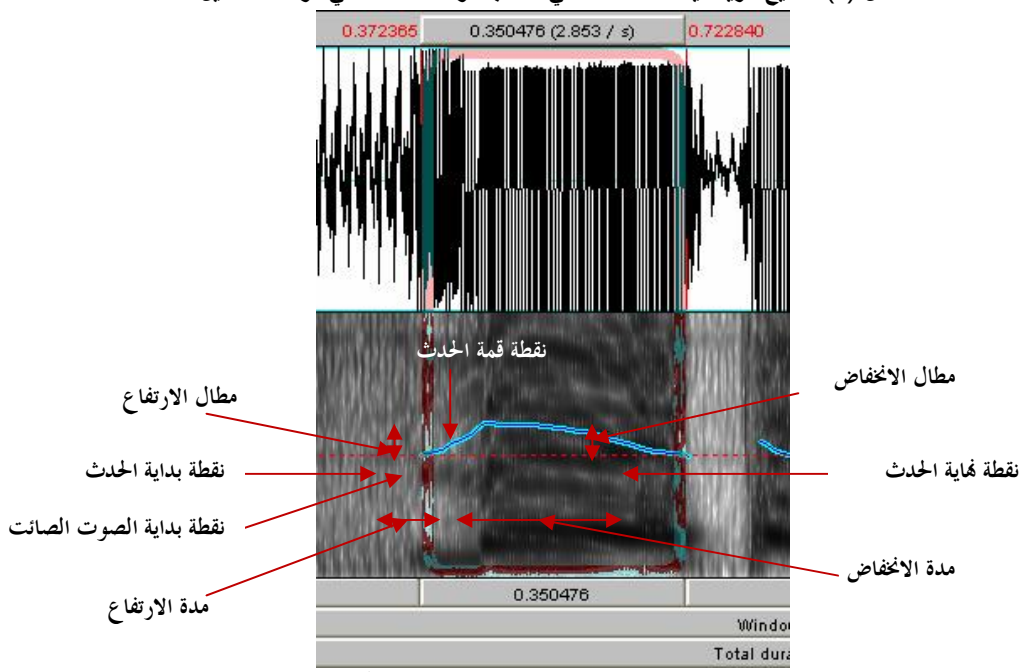
نلاحظ من خلال حساب المعامل TILT في الجدول (2) أن الحدث المنخفض نسبته أكثر من الحدث المرتفع، وهذا واضح في الشكل (6).

$$D_{event} = D_{rise} + D_{fall} \quad (1)$$

$$A_{event} = |A_{rise}| + |A_{fall}| \quad (2)$$

$$tilt = \frac{|A_{rise}| - |A_{fall}|}{2 * (|A_{rise}| + |A_{fall}|)} = \frac{D_{rise} - D_{fall}}{2 * (D_{rise} + D_{fall})} \quad (3)$$

الشكل (5) الصيغ الرياضية المستخدمة في حساب موسطات تلت في مرحلة التحليل.



الشكل (6) تحليل الحدث الأول في جملة النفي: "لَا طَمَعَاً فِي خَيرِه."

جدول (2) استخراج قيم موسطات التنغيم للحدث الأول لجملة النفي : "لَا طَمَعَاً فِي خَيرِه."

نقطة بداية الحدث (F_0 ولحظة الحدث)	نقطة القمة (F_0 ولحظة الحدث)	نقطة نهاية الحدث (F_0 ولحظة الحدث)	مدة الارتفاع بالزمن	مدة الانخفاض بالزمن	مطال الارتفاع بالتردد	مطال الانخفاض بالتردد	مدة الحدث	مطال الحدث	موسط الحدث تلت
235.320 هرتز 0.370 ثانية	292.22 هرتز 0.456 ثانية	230.344 هرتز 0.729 ثانية	0.0998 ثانية	0.266 ثانية	56.9 هرتز	61.87- هرتز	0.365 ثانية	118.77 هرتز	0.2-

4-5 تركيب منحنيات F_0 واستنتاج القواعد:

نقوم في مرحلة التركيب باستخدام الموسطات الثلاثة المستخرجة من مرحلة التحليل، لتركيب إشارة الكلام وتوليد منحنى F_0 للإشارة؛ وذلك باستخدام صيغ رياضية عكسية موضّحة في الشكل (7) [9].

ثم نقوم بتجزئة كل حدث إلى مكون الارتفاع والانخفاض الخاص به، ونركب قيم F_0 الموافقة.

إِذْ إنَّ A هي مطال الارتفاع أو الانخفاض، وD هي مدة الارتفاع أو الانخفاض، وA_{abs} هي القيمة المطلقة F_0 عند بداية الارتفاع أو الانخفاض التي نحصل عليها من القيمة النهائية للحدث السابق.

وبتطبيق المعادلات (8) و(9) على الحدث المحسوب في الفقرة (5-3) نحصل على قيم F_0 المحسوبة في الجدول (3)، إِذْ A_{abs} هي قيمة F_0 عند بداية الحدث لأنَّه أول حدث يرد في الجملة. نرى من خلال القيم التي حصلنا عليها من الجدول أن قيمة F_0 في بداية الحدث أكبر منه في نهاية الحدث، وهذا منطقي لأنَّ الحدث من الشكل حدث مرتفع يليه حدث منخفض.

أمَّا القواعد التي استنتجناها لجمل النفي باختلاف الأداة فهي:

- تعدُّ جمل النفي من الجمل القصيرة غالباً، ونادراً ما تكون جملة طويلة.
- ترتكز النغمة في جمل النفي على المقاطع الصوتية لأداة النفي حصراً، وخاصة على الأصوات المجهورة فيها إن كانت هذه الأداة تقع في بداية الجملة أو في منتصفها ولا فرق بين شكل النغمة باختلاف موقع الأداة.
- مهما كانت أداة النفي: يبدأ المنحنى بالصعود ممثلاً بنغمة مرتفعة.
- في أدوات النفي جميعها عدا الأداة "لم"، ينتهي المنحنى بشكل منخفض(نغمة منخفضة) يقع على المقاطع الصوتية للكلمة الأخيرة، في حين في أداة النفي "لم" ينتهي المنحنى بشكل مرتفع يمثل النغمة المرتفعة ويقع على المقاطع الصوتية للكلمة الأخيرة.
- يتميّز منحنى F_0 لجمل النفي باختلاف الأداة المستخدمة باستقراره مقارنة بمنحنيات F_0 لأنواع أخرى من الجمل الخبرية أو الإنشائية إِذْ نلاحظ النغمة المرتفعة في بداية المنحنى، ثم يليها عدد من النغمات المستوية وفي نهاية المنحنى النغمة المنخفضة.
- يمكن تمثيل النغمة المرتفعة في بداية المنحنى بحدث من نوع حدث مرتفع، يليه حدث منخفض، وهو من نوع حدث نغمة الصوت.
- يمكن تمثيل النغمة المنخفضة في نهاية المنحنى بحدث من نوع حدث منخفض، وهو من نوع حدث نغمة الحد.
- يمكن تمثيل النغمة المرتفعة في نهاية المنحنى بحدث من نوع حدث مرتفع، وهو من نوع حدث نغمة الحد. في حين مُثِّلَتِ النغمات المستوية في باقي المنحنى بأخذ وسطي تغيّرات التردد الأساسي في الجملة المقروءة.
- نفسر وجود الأحداث على أدوات النفي بسبب التشديد في النطق الذي ينعكس على تغيّرات في قيم F_0 ومدة الحدث كما شاهدناها في الفقرة (3), إِذْ لاحظنا أن الأدوات" لا و ليس و ما" من الأدوات التي تأخذ مدة زمنية أطول في نطقها لاحتوائها على حرف مد، ومن ثَمَّ تكون نسبة مدة

الحدث الواقع على هذه الأدوات من نسبة طول الجملة تقريباً بين 0.15 إلى 0.20 في حين تأخذ باقي الأدوات نسبة أقل من 0.15 من طول الجملة.

- لاحظنا أن التغيّرات في قيم F_0 تنحصر في أداة النفي والمقاطع الأخيرة في الجملة.
- يُقسم الحدث المرتفع الذي يليه حدث منخفض إلى مركبتين، مركبة ارتفاع ومركبة انخفاض. إن قيمة F_0 في مركبة الارتفاع للمقاطع التي تقع عليها أعلى بمقدار 30 إلى 50 هرتزاً من وسطي تغيّرات F_0 لكامل الجملة، في حين هي أقل بمقدار 40 إلى 60 هرتزاً من وسطي تغيّرات F_0 لكامل الجملة في مركبة الانخفاض.
- في الحدث المنخفض، تبدأ قيمة F_0 من قيمة أعلى بزهاء 80 هرتزاً (من آخر قيمة مستقرة وصل إليها قبل الحدث) لتتناقص إلى زهاء أيضاً 80 هرتزاً في نهاية الحدث (القيمة المستقرة قبل الحدث).
- في الحدث المرتفع، تبدأ قيمة F_0 من قيمة أقل بزهاء 40 هرتزاً (من آخر قيمة مستقرة وصل إليها قبل الحدث) لتتزايد إلى زهاء 70 هرتزاً في نهاية الحدث عن آخر قيمة مستقرة قبل الحدث.

6- تطبيق النتائج على كلام مركب باستخدام الأداة مفتوحة المصدر MBROLA:

تسمح MBROLA بتركيب الكلام باستخدام ثنائيات صوتية لمجموعة لغات منها العربية، تأخذ كدخل سلسلة محارف تمثل الرموز الصوتية الموافقة للنص المطلوب تركيبه، ثم تُركب الكلام باستخدام الثنائيات الصوتية الموافقة لهذه الرموز الصوتية. لاستخدام هذه الأداة لتركيب اللغة العربية يجب إضافة قاعدة المعطيات الخاصة باللغة العربية AR1 عند تنصيب هذه الأداة.

سنأخذ المثال الذي ناقشناه في الفقرات السابقة لجملة النفي "لَا طَمَعَاً فِي خَيرِهِ." ونركبه باستخدام MBROLA ونقارن منحنى F_0 الناتج بعد التركيب بمنحنى F_0 للجملة الأصلية، كما هو موضّح بالشكلين (8) (9).

7- تقييم النتائج ودقة التركيب باستخدام النموذج المطبق (17)

يُعدّ التقييم في مثل هذه البحوث نسبياً، ولكن أكثر ما يهم في عملية تقييم نتائج مركب الكلام هي وضوح النص المقروء، وأن يكون أقرب ما يمكن إلى الصوت الطبيعي أي للصوت البشري، وأن يكون الصوت ودياً أي أن يستمتع السامع بما سيسمعه.

جرى الطلب من مجموعة من الأشخاص لا يتجاوز عددهم 40 شخصاً (يختلف هؤلاء الأشخاص من حيث الثقافة اللغوية، والثقافة المعلوماتية، والتجارب السابقة للمستمعين في هذا المجال من البحوث) الإجابة عن استبيان، جرى وضعه ضمن مرحلة تقييم النتائج، يتضمن هذا الاستبيان مجموعة من الأسئلة لا تتجاوز الـــ 50 سؤالاً عن النص الذي جرى تركيبه في مدونة الاختبار، وجرت الإجابة عن هذه الأسئلة وفقاً لما قد سمعوه.

جرت تجميع نتائج الاستبيان وكانت نسبة الإجابات الصحيحة إلى الإجابات المغلوط فيها 78%، أي 78% إجابات صحيحة مقابل 22% إجابات مغلوط فيها؛ وذلك بالشكل العام، وسنرى في الفقرات الآتية تفصيل أكثر للنتائج.

تراوح الأسئلة الموجودة ضمن الاستبيان بين أسئلة لتمييز أنواع الجمل عن بعضها بعضاً، وأسئلة للتحقق

من جودة النص المركب، وأسئلة للتحقق من سمة الطبيعية، وأسئلة للتحقق من وضوح الأصوات.

أكد المستمعون أن الجمل تحمل التنغيم المطلوب والدلالة المطلوبة وفقاً للنغمة المقروءة بها، فضلاً عن السمة الطبيعية في الصوت المركب. يوضح الجدول الآتي نتائج التقييم باستخدام النموذج.

جدول (3) نتائج التقييم باستخدام النموذج المقترح

نوع التقييم	عدد الأسئلة	الإجابة
مدى وضوح الأصوات	3	%69
توافق النغمة مع نوع الجملة	25	%85.5
توافق النغمة مع دلالة الجملة بغض النظر عن نوعها	8	%70

8- الخاتمة والآفاق المستقبلية:

للنتائج التي توصلنا إليها في هذا البحث دوران أساسيان: الأول، كان الهدف منه الوصول إلى قاعدة ثابتة تصف شكل منحنى التردد الأساسي زمنياً لكل نوع من أنواع الجمل في اللغة العربية من حيث مواقع الأحداث المهمة في المنحنى (التي تميّز نوع هذا المنحنى عن غيره)، ونوع هذه الأحداث التي لها دور أساسي في إظهار تنغيمات مختلفة في المنحنى (أي نوع النغمات المختلفة في كل جملة). أمَّا الثاني، فكان الهدف منه الوصول إلى صيغة حاسوبية محددة تصف التنغيم لكل نوع من أنواع الجمل، واستنتاج قواعد حيادية لتوليد التنغيم قابلة للتطبيق على أي مركب كلام للغة العربية بموسطات.

الجدير بالذكر أننا قد قمنا أيضاً بتحليل معظم أنواع الجمل في اللغة العربية (زهاء 18 نوعاً) واستنتاج القواعد اللازمة لتوليد التنغيم الموافق لها، ثم تطبيق القواعد على جمل حيادية باختلاف نوع الجملة؛ وذلك بهدف تركيب التنغيم آلياً، وستعرض هذه النتائج في بحث لاحق. كما أن القواعد المستنتجة قابلة للتطبيق على أي مركب كلام عربي بموسطات، وذلك لأنَّها غير مرتبطة بنوع الوحدات الصوتية المستخدمة للتركيب سواء كانت ثنائيات صوتية أم أنصاف مقاطع.

سمحت الأداة MBROLA بالحصول على الكلام المركب باستخدام نتائج البحث، إلا أن الكلام الذي تنتجه هذه الأداة يفتقر إلى بعض الأصوات العربية لأن أصواته بلهجة مغاربية [13]، ولا يمكن استخدامها أصلاً لأغراض غير بحثية، إلا أن النتائج أظهرت أن الجمل المنفية المركبة من هذه القواعد تحمل التنغيم المطلوب لإعطاء الدلالة المقصودة في هذه الجمل، بغض النظر عن جودة الصوت المركب باستخدام هذه الأداة، قمنا بعرض النتائج الصوتية على لجنة من الحُكّام التي لها خلفية لغوية، إذْ أُعطي كل حاكم مجموعة من الخيارات العشوائية لتحديد نوع الجملة المركبة ودلالاتها وفقاً للنغمة المقروءة بها، وقد أكدوا أن اللهجة تحمل تنغيم النفي المطلوب، وأن الكلام المركب يحمل صفة الطبيعية في نطقه.

يجري حالياً العمل في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا على بناء مركب كلام بموسطات للغة العربية باستخدام أنصاف مقاطع [14]، وستكون الآفاق المستقبلية هي استكمال هذا المركب وتطبيق توليد التنغيم عليه. إذْ قمنا حالياً بتحليل أنصاف المقاطع وتركيبها دون تنغيم، والتجارب الأولية على هذا المركب تبيّن جودة الصوت المركب حتى قبل تطبيق التنغيم عليه.

$$A_{rise} = \frac{A_{event}\,(1 + tilt)}{2} \quad (4) \qquad A_{fall} = \frac{A_{event}\,(1 - tilt)}{2} \quad (5)$$

$$D_{rise} = \frac{D_{event}\,(1 + tilt)}{2} \quad (6) \qquad D_{fall} = \frac{D_{event}\,(1 - tilt)}{2} \quad (7)$$

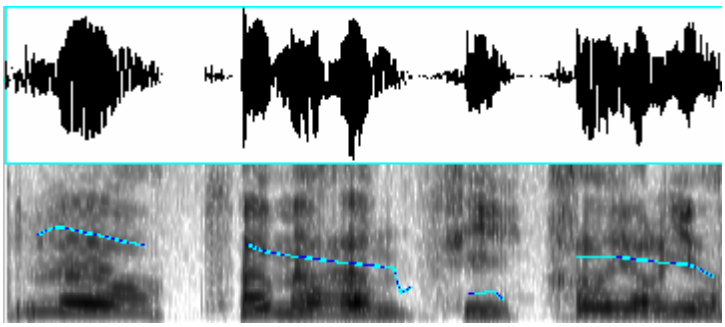
$$f_0(t) = A_{abs} + A - 2.A.(t/D)^2 \quad 0 < t < D/2 \quad (8)$$

$$f_0(t) = A_{abs} + 2.A.(1 - t/D)^2 \quad D/2 < t < D \quad (9)$$

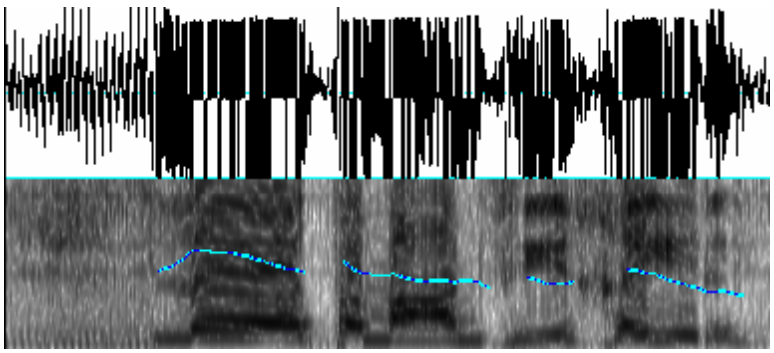
الشكل (7) الصيغ الرياضية العكسية المستخدمة لتركيب منحنى التردد الأساسي في نموذج تلت.

جدول (3) قيم F_0 المركبة لجملة النفي: "لَا طَمَعاً فِي خَيرِهِ.".

قيمة التردد الأساسي من منتصف الحدث حتى نهايته F_0 (e)	قيمة التردد الأساسي في بداية الحدث حتى منتصفه F_0 (s)
$f_0(t) = A_{abs} + 2.A.(1 - t/D)^2 \quad D/2 < t < D$ $f_0(t) = 235.32 + 2.(-61.87).(1 - 0.1825/0.365)^2$ $f_0(t) = 204.935$	$f_0(t) = A_{abs} + A - 2.A.(t/D)^2 \quad 0 < t < D/2$ $f_0(t) = 235.32 + 56.32 - 2.56.32.(0.1825/0.365)^2$ $f_0(t) = 263.84$



الشكل (8) منحنى F_0 المركب لجملة النفي "لَا طَمَعاً فِي خَيرِهِ."



الشكل (9) منحنى F_0 الأصلي لجملة النفي "لَا طَمَعاً فِي خَيرِهِ."

المراجع::

1. الحازمي د عليان، التنغيم في التراث العربي جامعة أم القرى.
2. عوض د. سامي، دور التنغيم في تحديد معنى الجملة العربية، سورية، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية 2006
3. Thomas, Craig. Automatic Generation of French Speech (2004). The ACM Student Magazine
4. Khorasgani, R. R. (n.d.). A Survey on Current Prosodic Modeling Methods. Edmonton, Canada: Department of Computing Science, University of Alberta.
5. Beckman, Mary E.; Hirschberg, Julia. The ToBI Annotation Conventions, Ohio State University, Tech. Rep, 1994.
6. Beckman Mary E. and Gayle Ayers Elam. Guidelines for ToBI Labeling (version 3.0, March) [1997].
7. R. Port. ToBI Intonation Transcription Summary, for L306, Introduction to Phonetics.
8. Oliver, D. (2006). Prosody in text-to-speech synthesis. Saarbrücken, Germany: Institute of Phonetics, Saarland University.
9. 3 Taylor, P. (1998). THE TILT INTONATION MODEL. Edinburgh,: Centre for Speech Technology Research, University of Edinburgh.
10. DONG Minghui, LUA Kim Teng. AN EXAMPLE-BASED APPROACH FOR PROSODY GENERATION IN CHINESE SPEECH SYNTHESIS. Department of Computer Science, School of Computing, National University of Singapore [2000] - isca-speech.org
11. J.A. Louw and E. Barnard. Automatic intonation modeling with INTSINT. Human Language Technologies Research Group. Pattern Recognition Association [2004] meraka.org.za
12. Daniel Hirst, Albert Di Cristo & Robert Espesser. Levels of representation and levels of analysis for the description of intonation system [2000].
13. Al Dakkak O. & Ghneim N. 1999 "Towards Man-Machine Communication in Arabic", Syriano-Libanise Conference on Informatics, Damascus University.
14. Language Resources in HIAST, Oumayma Al Dakkak, Nada Ghneim, Afaf Alshalaby, Riad Sonbol & Mhd. Saïd Desouki, 2nd International Conference on Arabic Resources and Tools, 22-23 April 2009, Cairo-EGYPT,

9- مسرد المصطلحات:

المصطلح باللغة الانجليزية	المقابل له باللغة العربية
Text To Speech Systems	نظم تركيب الكلام
parametric Arabic synthesizer	مركب كلام بموسطات
Prosody generation	توليد التنغيم
Intonation	الترنيم
Pitch	دورية الصوت
Stress	تشديد الصوت
Syllables' length	مدة المقاطع الصوتية
fundamental frequency	التردد الأساسي
Amplitude	مطال الإشارة
Duration	المدة
prosodic analysis	تحليل التنغيم
prosodic phrasing	التقسيم إلى عبارات نغمية
prosodic prominence:	التشديد النغمي
pitch accent	النبر
Tune	اللحن
phonological model	النموذج فونولوجياً
Boundary tones	نغمة الحد
annotates	تذييل
Hand Labeling	وضع اللصيقات يدوياً

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2011/10/30