عدد ١١٤، يوليو ٢٠٠٤، ٩ - ٤٠

منهج حاسوبي للتعامل مع إسناد الأفعال إلى الضمائر

صلاح راشد الناجم
جامعة الكويت - دولة الكويت

يقدم هذا البحث منهجاً حاسوبياً للتعامل مع التغييرات الصوتية phonological والصرف-صوتية morphophonological التي تحدث للأفعال عند إسنادها إلى الضمائر. هذا المنهج مبني على صياغة لسانية حديثة linguistically- motivated لهذه التغييرات تستخدم التحليل المقطعي syllabification وتأخذ بعين الاعتبار التعميمات generalizations التي تحكم عملية تصريف الأفعال وإسنادها إلى الضمائر، وهي تعميمات تتناول الجانب الصوتي والصرفي لعملية الإسناد. تم بناء هذه الصياغة الحاسوبية لتلك التغييرات باستخدام منهج حاسوبي صُمِّم باستخدام تقنية Finite-State . في هذا المنهج تُطبَّق القوانين الصوتية التي تحكم التغييرات المتعلقة بإسناد الأفعال إلى الضمائر بواسطة قوانين حاسوبية خاصة باستخدام عمليات رياضية تُطَبَّق على الشبكات منتهية الحالة finite-state transducers أهمها عمليات الاتحاد union والتركيب composition .

يشكل الصرف العربي نظاما خاصا من الأنظمة الصرفية. فهو نظام غير إلصاقي non-concatenative يتعامل مع أوزان وجذور بطريقة غير إلصاقية تعتمد على عمليات مثل التضعيف و إدخال المورفيمات في بنية الكلمة infixation. خلافا للأنظمة الصرفية الإلصاقية كالإنجليزية والتركية، فلا تتم صياغة بنية الكلمة في اللغة العربية بواسطة إلصاق المورفيمات بشكل متتالي.

إضافة إلى ذلك، فالأفعال والأسماء المشتقة باستخدام العمليات الاشتقاقية السابقة يمكن أن تخضع أثناء اشتقاقها و/أو أثناء تصريفها لعمليات صوتية كي نحصل على بنية سطحية لها. فهنالك - على سبيل المثال - عمليات صوتية تحدث عند التعامل مع الأفعال المعتلة مثل حذف بعض حروف الجذر أو تغييرها. هنالك أيضاً عملية حذف للحركات تحدث عند التعامل مع الأفعال المضعفة.

تدرس هذه التغييرات الصوتية في الصرف التقليدي في إطار موضوعين رئيسين. يعرف الأول بالإسناد إلى الضمائر، ويعرف الثاني بالإعلال والإبدال. وأما في علم اللغة الحديث Linguistics فتدرس هذه التغييرات variations في إطار ما يعرف بالقوانين الصوتية السياقية

تم تسليم البحث في ديسمبر ٢٠٠٢ وأجيز للنشر في يوليو ٢٠٠٣.

Phonological Context-Sensitive Rules وهي قوانين تحكم الأصوات في نطاق الكلام Sounds in Speech. هذه القوانين تحدد السياقات التي تحدث في إطارها تغييرات لأصوات معينة في مجال صوتي أو صرفي معين.

تمثل هذه التغييرات الصوتية تحدياً يواجه الأنظمة الحاسوبية التي تحاول التعامل مع النظام الصرفي العربي، ويعود ذلك إلى كثرة هذه التغييرات وتنوعها. كذلك فإن من أسباب تلك الصعوبة ندرة الصياغات اللسانية النظامية systematic linguistically-motivated formalizations لهذه التغييرات. حيث إننا نجد هذه التغييرات عادة في كتب الصرف التقليدية مصوغة بأسلوب سردي وصفي تعليمي بعيد عن الصياغة العلمية الدقيقة التي نجدها في دراسات علم اللسانيات linguistics الذي يقوم على أساس الصياغة النظامية البعيدة عن الفائضية redundancy والحريصة على صياغة التعميمات الشاملة generalizations التي تحكم الظواهر اللغوية المختلفة.

تعاني ساحة البحث العلمي في العالم العربي عموما، وفي منطقة الخليج والجزيرة العربية بشكل خاص من قلة في الأبحاث العربية التي تتطرق للمعالجة الحاسوبية للصرف العربي مقارنة بالجهود التي تبذل في أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية لمعالجة اللغات اللاتينية[١]. وفي محاولة لسد هذا النقص، يقدم هذا البحث منهجاً حاسوبياً (نظاماً حاسوبيا) للتعامل مع التغييرات الصوتية المتعلقة بتصريف الأفعال العربية. هذا المنهج مبني على صياغة لسانية نظامية للتغييرات المتعلقة بإسناد الأفعال إلى الضمائر. هذا المنهج الحاسوبي يمثل جزءا من منهج حاسوبي أشمل للتعامل مع اشتقاق وتصريف الأفعال. بُنِيَ هذا المنهج باستخدام تقنية finite-state المستخدمة بكثرة في مجال علوم الحاسوب عموما وفي مجال معالجة اللغة الطبيعية Natural Language Processing بشكل خاص. تمت مناقشة الجانب الاشتقاقي والتصريفي من هذا المنهج الحاسوبي في أبحاث أخرى قيد النشر. طُبِّق هذا المنهج على اللغة العربية باستخدام نظام Xerox Finite-State Tools والذي استخدم لتطوير مناهج وأنظمة حاسوبية لمعالجة لغات عالمية عديدة. باستخدام نظام Xerox Finite-State Tools تم تصميم نظام تحليل وتوليد آلي للصرف العربي Morphological Analysis and Generation System وفقا للمنهج الحاسوبي المقترح. يعمل هذا النظام على أجهزة الحاسوب المتوافقة مع IBM والتي تعمل باستخدام نظام التشغيل Windows ويمكن أن يتم استخدامه أيضا على الأجهزة التي تعمل باستخدام نظام التشغيل Unix أو Linux. سيتم إن شاء الله استخدام هذا المنهج الحاسوبي لبناء أنظمة معالجة لغوية متقدمة. حيث سيستخدم لبرمجة نظام تدقيق إملائي وصرفي مبني على أسس لسانية سليمة[٢] linguistically-motivated spell checker. كذلك يمكن استخدام هذا المنهج (النظام) بوصفه جزءاً من نظام تدقيق نحوي أو نظام تعرف آلي على الكلام speech recognition system أو نظام توليد آلي للكلام speech synthesis system.

ولعل من أهم ما يميز هذا المنهج أنه منهج (نظام) حاسوبي يمكن استغلاله لبناء أنظمة معالجة للغة دون تقيد بنظام تشغيل معين platform-independent. حيث صُمم هذا المنهج (النظام) الحاسوبي باستخدام شفرة تعتمد على ترميز لاتيني قياسي standard encoding متوافر في كل أنظمة التشغيل. هذا الترميز اللاتيني يمكن تحويله إلى اللغة العربية وفقا للترميز العربي المتوافق مع نظام التشغيل المطلوب كترميز ISO 8859-6 و Microsoft Window CP1256 و UNICODE (UTF-8) أو غير ذلك من أنواع الترميز دون حاجة لتغيير الشفرة الأصلية.

٢ - اشتقاق وتصريف الأفعال:

٢ – ١ الاشتقاق:

في هذا المنهج، يتم اشتقاق الأفعال من الجذور باستخدام الأوزان الصرفية بطريقة تركز على الاستفادة من العلاقات الداخلية بين الأوزان المختلفة dependencies. يتم ذلك بواسطة استخدام ما يعرف بالشبكات منتهية الحالات واستخدام عمليات رياضية يتم تطبيقها على هذه الشبكات وهي عمليات الاتحاد والتركيب والطرح. عملية الاشتقاق هذه تُنتِج جذوعاً تصريفية inflectional stems مشتقة من الجذور باستخدام الأوزان. هذه الجذوع التصريفية تُستخدم لصياغة الأفعال الماضية (المبنية للمعلوم والمجهول)، الأفعال المضارعة (المبنية للمعلوم والمجهول)، وأفعال الأمر عن طريق إضافة لواحق أو سوابق ولواحق تصريفية تدل على الشخص و العدد و الجنس. على سبيل المثال، الجدول (١) يحوي الجذوع التصريفية التي نحصل عليها من الجذر كسر باستخدام الوزنين فَعَل وفَعَّل.

الجدول رقم (١)
جذوع مشتقة من الجذر "كسر" باستخدام الوزنين فَعَل و فَعَّل

الوزن	الماضي المعلوم	الماضي المجهول	المضارع المعلوم	المضارع المجهول	الأمر
فَعَل	كَسَر	كُسِر	كسِر	كسَر	كسِر
فَعَّل	كَسَّر	كُسِّر	كَسِّر	كَسَّر	كَسِّر

٢ – ٢ التصريف:

بعد تكوين الجذوع، يتناول الجانب التصريفي من المنهج (النظام) تصريف هذه الجذوع لتصبح أفعالا مصرفة بإضافة لواحق أو سوابق ولواحق تصريفية تدل على الشخص والعدد و الجنس. عل سبيل المثال، الجدول (٢) يحوي تصريفات الجذع (كتب) في زمن الماضي المبني للمعلوم:

الجدول رقم (٢)
تصريفات الجذع "كتب" في زمن الماضي المبني للمعلوم

	مذكر	مؤنث
مفرد		
المتكلم	كَتَب - تُ	كَتَب - تُ
المخاطب	كَتَب - تَ	كَتَب - تِ
الغائب	كَتَب - َ	كَتَب - َت
مثنى		
متكلم	كَتَب - نا	كَتَب - نا
مخاطب	كَتَب - تُما	كَتَب - تُما
غائب	كَتَب - ا	كَتَب - َتا
جمع		
متكلم	كَتَب - نا	كَتَب - نا
مخاطب	كَتَب - تُم	كَتَب - تُنَّ
غائب	كَتَب - وا	كَتَب - نَ

يعالج الجانب التصريفي من المنهج تصريف الأفعال بطريقة تهدف إلى الاستفادة من التعميمات وجوانب الاشتراك syncretisms التي تحكم عملية التصريف. وهو يعطينا أيضاً في النهاية أفعالا مصرفة كتلك التي في الجدول (٢). إلا أن بعض هذه الأفعال لا تمثل بنية سطحية، حيث إنها تتطلب إجراء تغييرات صوتية عليها لتصبح بنية سطحية. وعلى سبيل المثال، جذع الماضي قَوَل نحصل عليه من الجذر قول باستخدام الوزن فَعَل. إلا أن الفعل الماضي قَوَل يتحول إلى بنية سطحية أخرى وهي قال بعد تطبيق قانون صوتي معين عليه.

يتم تطبيق هذه التغييرات الصوتية على الأفعال في المنهج الحاسوبي الذي بين يدينا عن طريق قوانين حاسوبية خاصة تعرف بقوانين الاستبدال Replace Rules. هذه القوانين يتم تحويلها آليا إلى شبكات منتهية الحالات عن طريق نظام Xerox Finite-State Tools. هذه القوانين تصاغ على أساس لساني علمي وهي تشبه إلى حد بعيد القوانين الصوتية المرتبطة بالسياق context-sensitive phonological re-writing rules. يكتب القانون وفقا للصيغة التالية:

$$A \rightarrow B \,||\, L _ R$$

يقول هذا القانون إن A تحول إلى B عندما يكون L هو السياق الأيسر و R هو السياق الأيمن.

تتم صياغة قانون لكل تغيير صوتي. يمكن أن يكون القانون إجباري التطبيق أو اختياري التطبيق. يتم تطبيق القوانين على فعل معين بشكل متواز (في نفس الوقت) أو بشكل متسلسل

بحيث يصبح ناتج output قانون معين مدخلا input لقانون تال. في أدبيات معالجة اللغة الطبيعية، تعرف الطريقة الأولى من طرق تطبيق القوانين بالتطبيق المتوازي Parallel Application وتعرف الطريقة الثانية بالتطبيق المتتالي Cascade Application. تُطَبّق القوانين على الأفعال باستخدام عملية رياضية تجرى على شبكات منتهية الحالات وهي عملية التركيب. تم تناول تفاصيل تطبيق القوانين عن طريق التركيب في بحث آخر قيد النشر.

٣ - إسناد الأفعال إلى الضمائر:

هنالك تغييرات صوتية تحدث عند إسناد الأفعال إلى الضمائر. فالفعل سارَ- على سبيل المثال - يصبح سِرْن مع حذف الألف (الحركة الطويلة) عندما يسند إلى نون النسوة. أما الفعل كتَب فلا يحدث له تغيير عندما يسند إلى نون النسوة. فالتغييرات الصوتية التي تحدث للأفعال عند إسنادها للضمائر ترتبط بنوع الفعل. فهي تحدث عادة عند إسناد الأفعال المعتلة (مثال، أجوف، ناقص) و المضعفة إلى الضمائر. يتناول هذا البحث قوانين الإسناد الخاصة بالأفعال المعتلة وكيفية معالجتها حاسوبياً. القوانين الخاصة بالأفعال المضعفة تصاغ وتعالج بطريقة مشابهة (مع إضافة قوانين حاسوبية خاصة لمعالجة مسألة الإدغام)، لذلك لن يتم تناولها في هذا البحث. أما الأفعال المهموزة وقواعد رسم الهمزة فقد تمت معالجتها في بحثين قيد النشر يتناولان الجانب الإملائي للغة العربية. الأفعال السالمة تمت معالجتها في بحث قيد النشر أيضا يتناول موضوع تصريف الأفعال العربية عموما والأفعال السالمة بشكل خاص.

١ – ٣ قوانين استبدال خاصة بالفعل المثال:

١-١-٣ القوانين اللغوية[٣]:

الفعل المثال هو الفعل الذي تكون فاؤه (أول حرف من حروف جذره) واواً أو ياء مثل: وعد، ويئس. لا يحدث أي تغيير لهذا الفعل في الماضي عند إسناده:

(١)

أ – وَعَدتُ

ب – وعدنا

ج – وعدنَ

في المضارع والأمر، لا يحدث له أي تغيير عند إسناده إذا كانت فاؤه ياء:

(٢)

أ – أيأَس

ب – تيأسنَ

ج – ييأسُ

أما إذا كانت فاؤه واوا، فإنها تحذف عند الإسناد في المضارع والأمر بشرطين: الأول أن يكون الماضي ثلاثيا مجردا. الثاني أن تكون عين الفعل المضارع[٤] مكسورة. على سبيل المثال:

(٣)

ورِث (ماض) ← يَرِث (مضارع) ← رِث (أمر)

أما إذا لم يكن الشرطان موجودين، فإن حرف العلة حينئذ لا يحذف:

(٤)

أ - واعَد (ماض) ← يُواعِد (مضارع) ← واعِد (أمر)

ب - وَجَلَ (ماض) ← يوجَل (مضارع) ← اوجَل (أمر)

الفعل (واعد) ليس مجردا وهذا يخالف الشرط الأول. أما الفعل المضارع يوجَل فهو ليس مكسور العين وهذا يخالف الشرط الثاني. إلا أن معظم الأفعال التي تستخدم الآن، والتي تكون عينها مفتوحة في المضارع، يتم حذف واوها في المضارع والأمر (الراجحي ١٩٩٣) مثل: وسِع (يسع)، وَهَب (يهب)، ووقَع (يقع).

٢-١-٣ القوانين الحاسوبية:

ننتقل الآن إلى قوانين الاستبدال الحاسوبية التي تطبق التغييرات التي تحدثت عنها القوانين اللغوية السابقة. أولا وقبل صياغة أي قانون استبدال، يتم تعريف الصوامت باستخدام متغير variable وهو C. يتم تعريف المتغيرات عن طريق الأمر define:

define C [%@ | b | t | th | j | H | kh | d | D | r | z | s | sh | S | dh | T | zh | %3 | g | f | q | k | l | m | n |h | w |y];

يقابل الرمز @ الهمزة أ[٥] ويقابل الرمز 3 صوت العين. الرمز | يعني الاتحاد الذي يرمز إليه رياضيا بـ U. يمكن قراءة هذا التعريف كالتالي:

مجموعة الصوامت تساوي ناتج اتحاد المجموعات الأحادية singleton stets التي تحوي كل واحدة منها صامتا واحدا:

C = {%@} ∪ {b} ∪ {t} ∪ {th} ∪ {j} ∪ {h} ...

يتم كذلك تعريف متغير يمثل الأصوات الانزلاقية[٦] glides وهما صوتا العلة /ي/ و /و/. هذان الصوتان يحكمان الكثير من التغييرات الصوتية كما سنلاحظ لاحقا:

define glide [w|y];

يتم أيضا تعريف الحركات القصيرة بواسطة المتغير V والحركات الطويلة بواسطة المتغير Long V.

define V [a | A | u | i];

define LongV [aa | uu | ii];

إضافة إلى ذلك، يتم تعريف سوابق prefixes المضارع بواسطة المتغير *ImperfPre*:

define ImperfPre [[n|%@|y|t] [a|u]];

يقول هذا التعريف إن سوابق المضارع تتكون بلصق concatenation مجموعتين. المجموعة الأولى مكونة من اتحاد المجموعات الأحادية التي تحوي الصوامت n,%@,y,t. المجموعة الثانية تتكون من اتحاد المجموعتين الأحاديتين اللتين تحويان الحركتين a و u. ويكون ناتج عملية الإلصاق والاتحاد هو مجموعة السوابق التالية:

{n a, n u, %@ a, %@ u, y a, y u, t a, t u}

مجموعات الصوامت الأحادية تقابل مايعرف تقليديا بحروف المضارعة "نأيت". تم لصق هذه المجموعات الأحادية باتحاد المجموعتين الأحاديتين اللتين تحويان الحركتين a و u لأن حركةَ سابقةِ المضارع هي إما الفتحة مثل يَكتُب أو الضمة كما في يُعَلِّم. كما ذكرت في بحث قيد النشر، يتم تحديد حركة سابقة المضارع تبعا لنوع وعدد مقاطع جذع المضارع.

إضافة إلى تعريف لواحق المضارع، يتم أيضا تعريف لواحق الأمر بواسطة المتغير ImperativeSuff:

define ImperativeSuff [Nil|a a|u u|ii|na];

أما لواحق الماضي فيتم تعريفها بواسطة المتغير PerfSuff:

define PerfSuff [t u| t a | t i | a | n aa| t u m aa| aa |

a t aa | t u m | u n n a | uu | n a];

بعد تعريف هذه المتغيرات، نبدأ بتعريف قوانين الاستبدال. قانون الاستبدال الذي يحكم التغييرات المذكورة في (٣) يتم تعريفه كالتالي:

[w -> 0 || .#. ImperfPre %- _ C i C %- , .#. _ C i C %- ImperativeSuff] ;

يقول هذا القانون إن الصوت الانزلاقي /w/ يتحول إلى 0 (Epsilon) أي يُحذف - في سياقين مختلفين:

السياق الأول (سياق المضارع): إذا كان الصوت /w/ في بداية جذع وسُبِق بسابقة من سوابق المضارع ImperPre وجاء بعده مقطع طويل مغلق CVC نواته nucleus هي الحركة القصيرة /i/. الرمز "-" هو فاصل صرفي morpheme boundary يأتي ليفصل بين السوابق التصريفية و بين بداية الجذع التصريفي كما يفصل بين اللواحق التصريفية ونهاية الجذع التصريفي. الرمز # يعني حدود الكلمة word boundary (بدايتها و نهايتها).

السياق الثاني (سياق الأمر): إذا كان الصوت /w/ في بداية الكلمة (إذا كان مسبوقا بـ#) و جاء بعده مقطع طويل مغلق CVC نواته nucleus هي الحركة القصيرة /i/. وجاءت بعد هذا المقطع المغلق لاحقة من لواحق الأمر ImperativeSuff.

ولأن معظم الأفعال المستخدمة الآن والتي تكون عينها مفتوحة في المضارع تحذف واوها في المضارع والأمر (خلافا للقاعدة الأصلية)، فإن علينا أن نسمح للنظام الحاسوبي بأن يولد ويتعرف على أفعال مفتوحة العين في المضارع لا تحذف واوها في المضارع والأمر

(حسب القاعدة الأصلية)، وأن يولد ويتعرف على أفعال مفتوحة العين في المضارع تحذف واوها في المضارع والأمر (كما يحدث الآن في الاستخدام اللغوي). لتحقيق ذلك، نستخدم نوعا جديدا من قوانين الاستبدال وهو القوانين الاختيارية. قانون الاستبدال الاختياري optional replace rule يصاغ بالشكل التالي:

A (- >) B || L_R

أي أن A يمكن أن تحول إلى B في سياق قبل R وبعد L. معنى هذا أن A يمكن أن تحول إلى B ويمكن ألا تحول.

لتحقيق الاختيارية في حذف الواو، نستخدم قانون الاستبدال التالي:

[w (->) 0 || .#. ImperfPre %- _ C a C %- , .#. _ C a C %- ImperativeSuff]

هذا القانون يقول إن الواو يمكن أن تحول إلى 0 (Epsilon) في سياقين:

- السياق الأول (سياق المضارع): إذا جاءت الواو بعد أحد سوابق المضارع وجاء بعدها مقطع طويل مغلق نواته الحركة القصيرة | *a* | (الفتحة) يليه فاصل صرفي.
- السياق الثاني (سياق الأمر): إذا جاءت الواو في بداية الكلمة (بعد حد الكلمة #) وجاء بعدها مقطع طويل مغلق نواته هي الحركة القصيرة /*a*/ يليه فاصل صرفي تليه لاحقة من لواحق الأمر.

هذا القانون يسمح لنظامنا الحاسوبي بأن يحلل ويولد أفعالا مثل يَهَب، يَقَع، يَضَع كما يحلل ويولد أفعالا مثل يوهَب، يَوقَع، يَوضَع.

٢ - ٣ قوانين استبدال خاصة بالفعل الأجوف:

١-٢-٣ القوانين اللغوية:

الفعل الأجوف هو الفعل الذي تكون عينه (ثاني حرف من حروف جذره) واواً أو ياء (صوتاً انزلاقيا) مثل: قَوَل، خَوَف، وبَيَع. العين المعتلة هذه يمكن أن تبقى كما هي كما في عَورَ، ويمكن أن تتحول إلى ألف حسب قوانين صوتية تعرف باسم قوانين الإعلال كما في قَوَل ← قال. وسيتم التطرق إلى المعالجة الحاسوبية لقوانين الإعلال والإبدال في بحث آخر إن شاء الله تعالى.

عند إسناد الفعل الأجوف إلى الضمائر لا يتغير في الفعل شئ إذا كانت عينه المعتلة قد بقيت كما هي:

(٥)

أ - عَورتُ، عَورنا، عَورَت

أما إذا انقلبت العين إلى ألف كما في قوَل ← قال، فإن التغييرات التالية تحدث عند إسناد الفعل الأجوف:

في الماضي: تحذف عين الفعل إذا اتصل بضمير متحرك مثل {-تُ}، {-نا}:

(٦)

- قلتُ، قلنا، بعتُ، بعنا

في المضارع والأمر: تحذف عين الفعل عند جزمه بالسكون، وإذا كان مبنيا على السكون:

(٧)

- لم يقُل، لم يَبِع، قُل، بِع

في الحالات الأخرى من حالات المضارع والأمر، تبقي عين الفعل دون تغيير وتعود إلى أصلها (الواو أو الياء):

(٨)

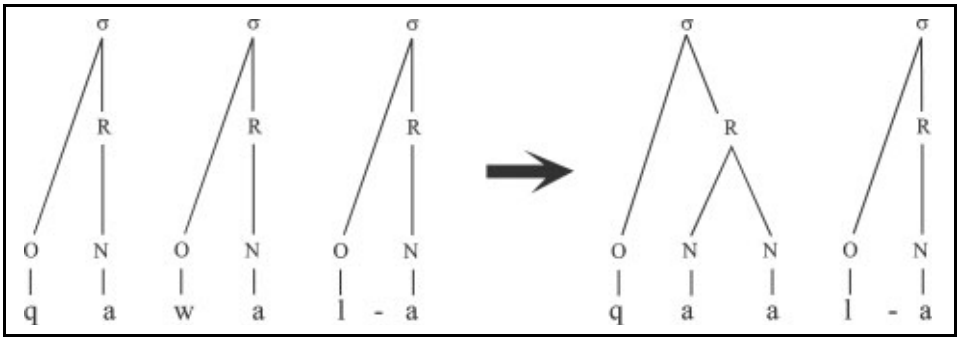
- أبيع، لن أبيعَ، قولي

٢-٢-٣ القوانين الحاسوبية:

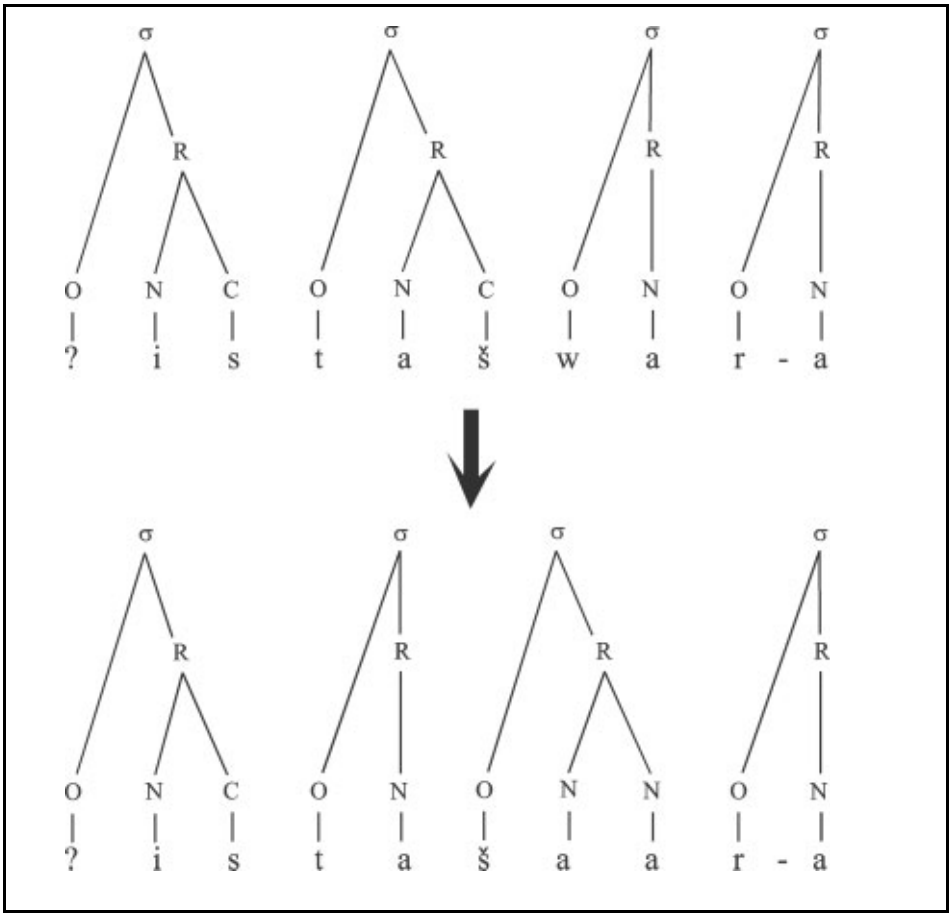
يمكننا أن نكتشف تعميماً صوتياً لم يذكر في القوانين اللغوية. هذا التعميم يفسر تحول عين الفعل الأجوف إلى ألف في الماضي. يقول هذا التعميم أنه إذا كانت الفتحة هي نواة المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف (الصوت الانزلاقي) وحركة قصيرة، فإن استهلال onset هذا المقطع يحذف (أي تحذف عين الأجوف). ونواة هذا المقطع المتبقية لها حالتان نذكرهما في (٩):

(٩)

الحالة الأولى: تندمج هذه النواة (الحركة القصيرة) مع نواة المقطع الذي يسبقها لِتُكَوِّن حركة طويلة إذا كان المقطع الذي يسبقها قصيرا. تصبح الحركة الطويلة نواة لمقطع مغرق في الطول يختم جذع الماضي كما في قَوَلَ ← قالَ



الشكل رقم (١) تحليل مقطعي للفعل قوَل ← قالَ



الشكل رقم (٢) تحليل مقطعي للفعل استَشْوَرَ ← استشارَ

الرموزσ، N, R, O, و C تعني المقطع، النواة Nuclues، القافية Ryhm، الاستهلال Onset، والخاتمة Coda على التوالي. هذه الرموز هي رموز متعارف عليها في الأدبيات المعاصرة لعلم اللغة الحديث. تمت كتابة الأصوات العربية باستخدام تمثيل صوتي transliteration مشتق من رموز الأبجدية الصوتية العالمية IPA. هذا التمثيل الصوتي متعارف عليه في التحليل الصوتي والصرفي للغة العربية في الأدبيات المعاصرة.

الحالة الثانية: تحول هذه النواة (الحركة القصيرة) إلى حركة طويلة إذا كان المقطع الذي يسبقها مغلقا. تصبح الحركة الطويلة نواة لمقطع مغرق في الطول يختم جذع الماضي كما في استَشوَر ← استشار.

هذه التغييرات تحدث فقط إذا توفرت الشروط التالية:

١) إذا كانت لاحقة الماضي التصريفية ليست مقطعا كاملا كما في: قالـ-ا (اللاحقة نواة لمقطع وليست مقطعاً)، قالـ-تَ (اللاحقة قافية مقطع (أي نواة وخاتمة) وليست مقطعا كاملا).

٢) إذا كانت نواة كل مقطع من مقاطع الفعل حركة متدنية low vowel كما في قَوَل ← قال، استقوَل ← استقالَ، استَشوَر ← استشار[٧]. أما إذا كانت نواة أحد مقاطع الفعل حركة غير متدنية، فإن العين لا تتغير كما في عَوِر[٨]. الحركة المتدنية هي الحركة التي يتم النطق بها عن طريق خفض اللسان إلى مستوى أدنى من المستوى الذي يكون عليه في الحالة الطبيعية (Crystal, 1997).

أما إذا كانت لاحقة الماضي التصريفية مقطعا كاملا، وكان المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة مسبوقا بمقطع قصير مفتوح، فإن المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة يحذف ويحل محل نواة المقطع القصير المفتوح الذي يسبقه حركة قصيرة تلائم في صفتها استهلال المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة. إذا كان هذا الاستهلال صوت/و/ يأخذ محل نواة المقطع السابق له الحركة القصيرة الضمة / ُ /. أما إذا كان هذا الاستهلال صوت/ي/ فيأتي في مكان نواة المقطع السابق له الحركة القصيرة الكسرة / ِ /. أمثلة:

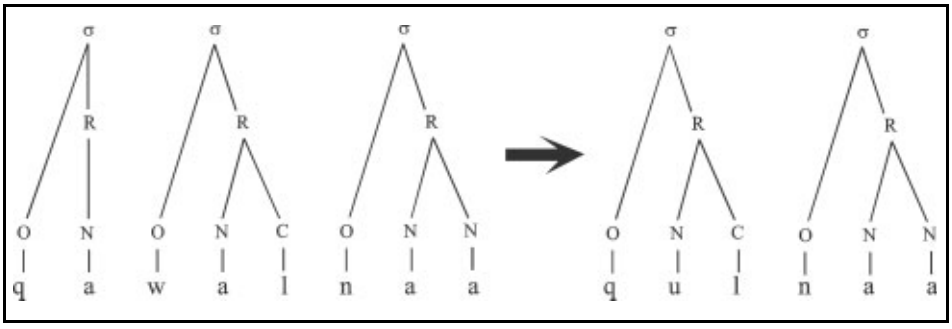
(١٠)

أ – قوَل -نا ← قُلـ نا

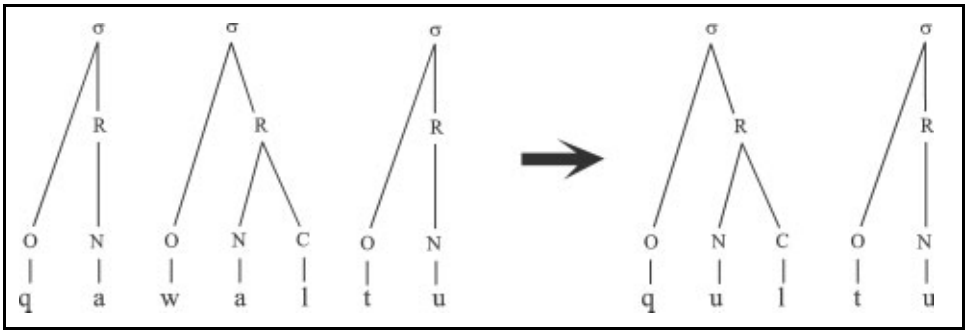
ب – قوَل - تَ ← قُلـ تَ

و ← الضمة

$\begin{bmatrix} +glide \\ +high \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} +glide \\ +high \end{bmatrix}$



الشكل رقم (٣) تحليل مقطعي للفعل قَوَلْنا ← قُلنا



الشكل رقم (٤) تحليل مقطعي للفعل قَوَلْتُ ← قُلْتُ

هذه القاعدة لا تنطبق على الأفعال الماضية التي تصاغ على وزن استفعل. إذا كان الفعل الأجوف على وزن استفعل، و إذا كانت لاحقة الماضي التصريفية مقطعا كاملا، فإن استهلال المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة يحذف وتصبح هذه الحركة القصيرة نواة لمقطع طويل مغلق يبدأ بفاء الفعل وينتهي بلام الفعل. مثال:

(١١)

أ - استشوَر-تُ ← استشَر-تُ

ب - استشوَر-نا ← استشَر-نا

قانون الاستبدال التي يقابل الحالة الأولى المذكورة في (٩) هو:

[glide -> 0 || .#. C a _ a [C-glide] %-[V\LongV]];

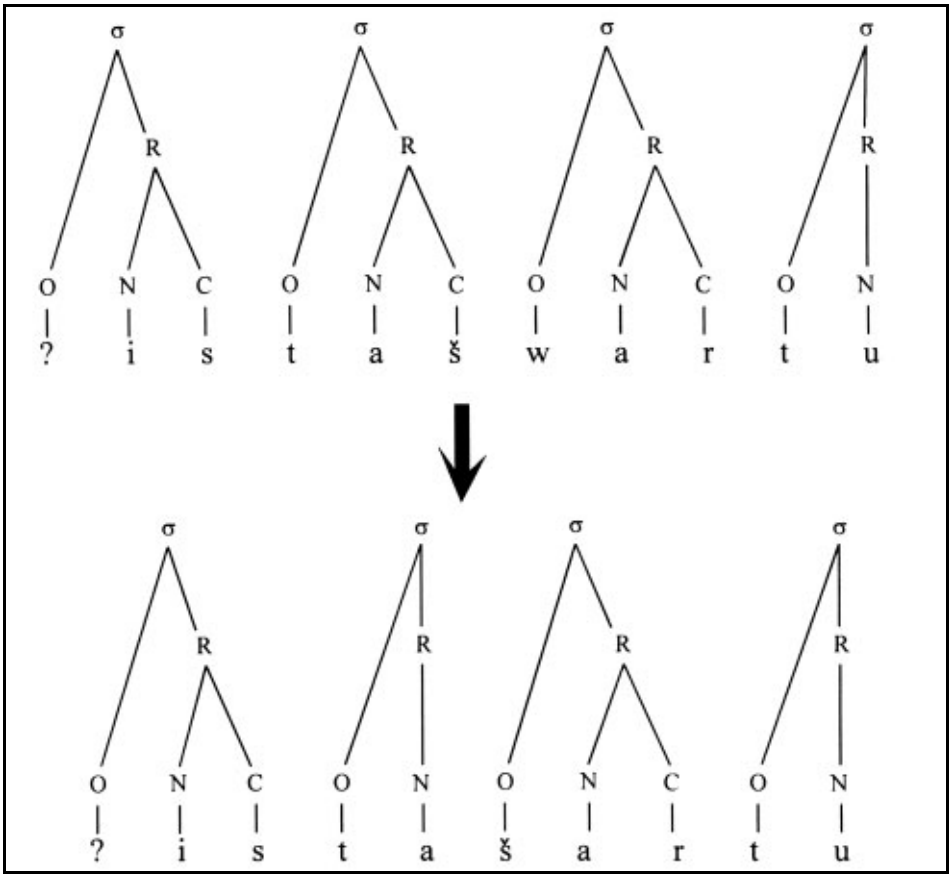
هذا القانون يحذف عين الفعل الأجوف (الصوت الانزلاقي). تندمج نواة المقطع القصير المكون من عين الأجوف والحركة القصيرة الفتحة مع نواة المقطع القصير الذي يسبقها لتصبحا حركة طويلة. يحدث ذلك فقط إذا كانت لاحقة الماضي التصريفية ليست مقطعا كاملا أي إذا كانت اللاحقة نواة (حركة قصيرة أو حركة طويلة) أو قافية تبدأ بنواة. يُعبَّر عن الحركة القصيرة بالمتغير V وعن الحركة الطويلة بالمتغير *LongV*. واتحاد المتغيرين يعني أن النواة قد تكون حركة قصيرة V أو حركة طويلة *LongV*. والتعبير *[C-glide]* يعني أي صامت عدا الأصوات الانزلاقية. هذا التعبير يضمن لنا انتهاء الجذع بصامت أي انتهاءه بمقطع مغلق.

قانون الاستبدال التي يقابل الحالة الثانية المذكورة في (٩) هو:

[glide α -> aa || .#. ?+C _ [C-glide] %-[V\LongV]];

هذا القانون يحول المقطع القصير المكون من عين الأجوف والحركة القصيرة الفتحة إلى حركة طويلة وهي المد بالألف aa. يحدث ذلك إذا كان المقطع الذي يسبق عين الأجوف مغلقا. وتصبح خاتمة هذا المقطع المغلق استهلالا لمقطع مغرق في الطول يختم جذع الماضي، وتصبح الحركة الطويلة نواة لهذا المقطع المغرق في الطول. التعبير C+? يقابل أي مقطع ينتهي بصامت (مقطع مغلق). أما التعبير +? (وفقاً لمصطلحات علم الحاسوب) فهو

تعبير اعتيادي regular expression يعني واحداً أو أكثر من واحد من الرموز أياً كان نوعها. التغيير الذي يتحدث عنه هذا القانون يحدث فقط إذا كانت اللاحقة التصريفية ليست مقطعا كاملا أي إذا كانت اللاحقة التصريفية نواة أو قافية تبدأ بنواة.



الشكل رقم (٥) تحليل مقطعي للفعل اسَشْوَرتُ ← استَشَرتُ

قانون الاستبدال التي يقابل الحالة المذكورة في (١٠) هو:

[a w V -> u ||.#. C _ [C-glide] %- C];

هذا القانون خاص بالحالات التي يكون فيها الفعل الأجوف مختوما بلاحقة تصريفية تشكل مقطعا كاملا. اللواحق التصريفية للماضي والتي تشكل مقطعا كاملا هي اللواحق التي تبدأ بصامت. يعبر عن هذه الحقيقة بالتعبير C-% الذي يختتم السياق الأيمن. هذا التعبير يقول إن السياق الأيمن يجب أن ينتهي بحد صرفي (-) متبوع بصامت.

يقول هذا القانون إنه إذا كان المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة مسبوقا بمقطع قصير (يعبر عن هذا المقطع القصير بالرمز *C* الموجود في نهاية السياق الأيسر والفتحة الموجودة في بداية الجزء المستبدل *a w V*) فإن المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة يحذف. ويتم تحويل نواة المقطع القصير المفتوح الذي يسبقه (وهي الفتحة الموجودة في بداية الجزء المستبدل *a w V*) إلى حركة قصيرة تلائم في صفتها استهلال المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة (أي تناسب في صفتها عين الفعل الأجوف). هذا القانون يستبدل الضمة بالنواة إذا كانت الواو هي استهلال المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة. هذا القانون يطبق لصياغة قلتُ من قول. هنالك قانون آخر مشابه يستخدم لاستبدال الكسرة بالنواة إذا كانت الياء هي استهلال المقطع المفتوح المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة. هذا القانون يطبق لصياغة سِرتُ من سير:

[a y V - > i ||.#. C _ [C-glide] %- C];

إضافة إلى القوانين السابقة، هنالك قانون استبدال خاص يستخدم لتطبيق التغييرات المتعلقة بالأفعال الجوف الماضية التي تصاغ على وزن استفعل والتي تكون لاحقتها التصريفية مقطعا كاملا. في هذه الأفعال يتم حذف استهلال المقطع القصير المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة. يعبر عن هذا الحذف بتحويل ذلك الاستهلال (أي عين الأجوف) إلى 0. نواة المقطع القصير المكون من عين الفعل الأجوف وحركة قصيرة (فتحة أو كسرة كما يقول التعبير *[V-u]* تصبح نواة لمقطع طويل مغلق CVC يبدأ بفاء الفعل وينتهي بلام الفعل. يُعَبَّر عن فاء الفعل بالرمز *C* الموجود في التعبير *C [V-i] s t .#.* الموجود في نهاية السياق الأيسر من القانون. يُعَبَّر عن لام الفعل بالرمز *C* الموجود في التعبير *-% [C-glide]* الموجود في نهاية السياق الأيمن من القانون.

[w- > 0 || .#. st [V-i] C_ [V-u] [C-glide] % - c ;

أخيرا، هنالك عدد من الأفعال الجوف التي لها وجهان تصريفيان، أحدهما على الإعلال والآخر على التصحيح مثل استراح واستروح. هذان الفعلان مختلفان في المعنى، إلا أنهما على وزن واحد (استفعل) ولهما جذر واحد (روح). نلاحظ أن الفعل الأول أُعِلَّت عينه، أما الثاني فلم تُعل عينه بل بقيت على التصحيح. عند إسناد الفعل الأول إلى الضمائر نقول: استراحَت استراحا استراحُوا. عند إسناد الفعل الثاني إلى الضمائر نقول: استروحَت استروَحا استروَحوا. في هذه الحالة يتم استخدام قوانين الاستبدال الاختيارية التي تمكن النظام من توليد وتحليل استراح واستروح على وجه الإعلال أو على وجه التصحيح.

٣ – ٣ قوانين استبدال خاصة بالفعل الناقص:

١-٣-٣ القوانين اللغوية:

الفعل الناقص هو الفعل الذي تكون لامه (آخر حرف من حروف جذره) حرف علة. حرف العلة هذا قد يكون ألفا أو واوا أو ياء.

الإسناد في الماضي:

- **الحالة الأولى**: إذا كانت لام الفعل الناقص ألفاً مثل (دعا، سعى، استرعى)، فإن التغييرات التالية تحدث عند إسناده:

١) تحذف لام الفعل إذا ما أسند إلى واو الجماعة أو تاء التأنيث. في هذه الحال يتم تحريك الحرف الذي يسبق اللام بالفتحة للدلالة على الألف المحذوفة:
- سَعَوُا ← سَعوْا
- دَعَوَت ← دَعَت
- استَرعَوَت ← استرعَت

٢) إذا أسند الفعل الناقص إلى غير واو الجماعة أو تاء التأنيث فإن التغييرات سوف تعتمد على كون الفعل مجرداً أو مزيداً. إذا كان الفعل مجرداً، تعاد الألف إلى أصلها (الواو أو الياء):
- سَعَيتُ
- دعَوتم

أما إذا كان الفعل مزيدا، فإن الألف تقلب ياء:
- أعطيتُ
- استدعيت

- **الحالة الثانية**: إذا كانت لام الفعل الناقص واواً أو ياء مثل (بقي)، فإن التغييرات التالية تحدث عند إسناده:

١) تحذف لام الفعل (الواو أو الياء) إذا أسند هذا الفعل إلى واو الجماعة، ويضم ما قبل اللام ليتناسب مع واو الجماعة:
- بَقُوا
- رَضُوا

٢) تبقى لام الفعل (الواو أو الياء) دون تغيير إذا أسند هذا الفعل إلى غير واو الجماعة:
- بقينا
- رضيتُ

الإسناد في المضارع والأمر:

- **الحالة الأولى**: إذا كانت لام الفعل الناقص ألفاً مثل (يسعى، يخشى)، فإن التغييرات التالية تحدث عند إسناده:

١) تحذف لام الفعل (الألف) إذا أسند إلى واو الجماعة أو ياء المخاطبة ويبقى الحرف الذي قبل لام الفعل مفتوحا:
   - يخشَون
   - تَسعَين
   - اسعَي

٢) تقلب لام الفعل (الألف) ياء إذا أسند الفعل إلى ألف الاثنين أو إلى نون النسوة:
   - يسعَيان
   - يسعَينَ
   - اسعَيا
   - يخشيان
   - يخشينَ

- **الحالة الثانية**: إذا كانت لام الفعل الناقص واوا أو ياء مثل (يدعو، يرمي)، فإن التغييرات التالية تحدث عند إسناده:

١) تحذف لام الفعل (الواو أو الياء) إذا أسند هذا الفعل إلى واو الجماعة أو ياء المخاطبة. يتم تحريك ما قبل واو الجماعة بالضم و يتم تحريك ما قبل ياء المخاطبة بالكسر:
   - يدعون، يرمون
   - تدعين، ترمين
   - ادعوا، ارموا
   - ادعي، ارمي

٢) تبقى لام الفعل (الواو أو الياء) دون حذف إذا أسند هذا الفعل إلى ألف الاثنين أو إلى نون النسوة:
   - يدعوان، يرميان
   - يدعُوْنَ، يرمِيْنَ
   - ادعوا، ارمِيا
   - ادعُوْنَ، ارمِيْنَ

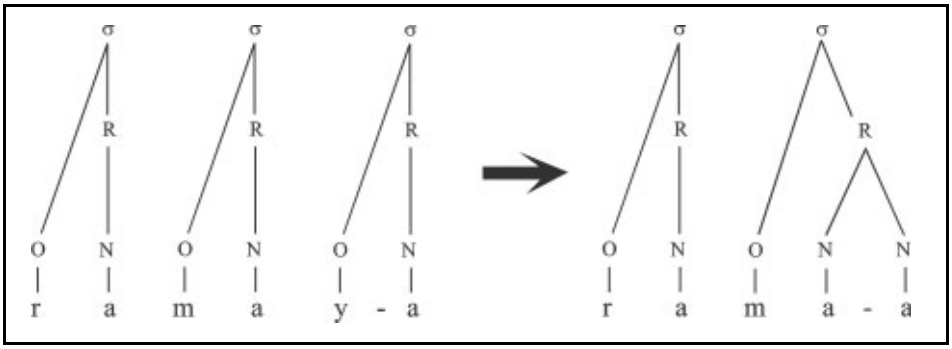
٢-٣-٣ القوانين الحاسوبية:

التعميم الصوتي الذي يجب أن نذكره هنا ولم يذكر في القوانين اللغوية هو أنه لا يوجد

فعل ناقص ماض ينتهي بألف. الفعل الناقص ينتهي بصوت انزلاقي (/ي/ أو /و/). هنالك بعض الأفعال الناقصة التي تنتهي بأحد هذين الصوتين وهو الياء إلا أن هذه الياء تكون مسبوقة بالحركة القصيرة الفتحة وتكون متبوعة بلاحقة لا تشكل مقطعا كاملا وهي لاحقة الشخص الثالث المذكر الغائب {ـــَـ}. هذه اللاحقة هي عبارة عن نواة وهي الفتحة. في هذا السياق يتم حذف الصوت الانزلاقي (الياء) لينتهي الفعل بقافية مكونة من حركة طويلة aa. القانون الصوتي المسؤول عن هذا التغيير هو:

$$y \rightarrow 0 \,/\, a_a$$

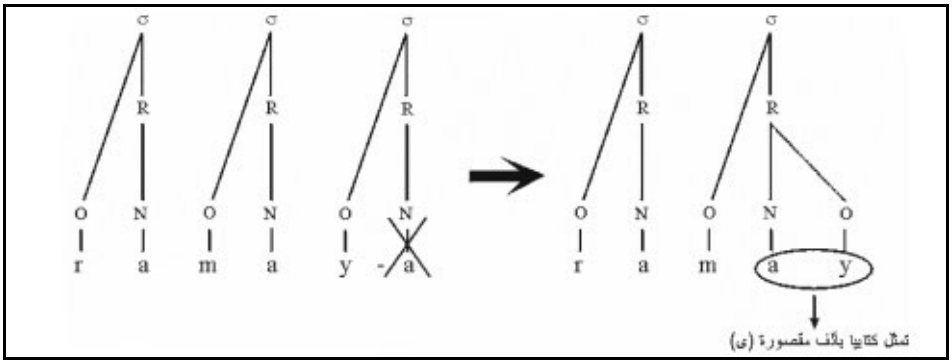
يقول هذا القانون الصوتي إن الصوت الانزلاقي الياء /y/ يحذف في سياق يكون فيه بين فتحتين. التحليل المقطعي التالي للفعل رمى يوضح هذا التغيير الصوتي



الشكل رقم (٦) تحليل مقطعي للفعل رَمَيَ ← رَمَى

هذا من الناحية الصوتية، من الناحية الكتابية orthography يتم تمثيل المد بالألف (aa) الذي ينتهي به الفعل الناقص بالرمز الكتابي grapheme المعروف باسم الألف المقصورة (ى). قد يتساءل القارئ هنا، كيف يمكن لنظامنا الحاسوبي أن يميز المد بالألف aa الذي يمثل كتابيا بألف مقصورة (ى) كالمد الموجود في الفعل رمى، من المد بالألف aa الذي يمثل كتابيا بألف ممدودة (ا) كالمد الموجود في الفعل دعا. هنا نجد أنفسنا أمام صوت واحد وهو المد بالألف (الحركة الطويلة) aa إلا أن هذا الصوت الواحد له تمثيلان كتابيان orthographic representations الألف المقصورة (ى) و الألف الممدودة (ا). من أجل جعل نظامنا الحاسوبي يميز الأول من الآخر فإننا سوف نقوم مباشرة بتطبيق قانون كتابي orthographic rule على الفعل الناقص الذي تكون لامه ياء دون تطبيق القانون الصوتي phonological rule الذي يحذف هذه الياء (الصوت الانزلاقي) عندما تكون هذه الياء مسبوقة بالحركة القصيرة الفتحة وتكون متبوعة بلاحقة لا تشكل مقطعا كاملا وهي لاحقة الشخص الثالث المذكر الغائب {ـــَـ}[٩].

هذا القانون الكتابي يقوم بحذف لاحقة الشخص الثالث المذكر الغائب {-ـــَـ} إذا جاءت بعد جذع ينتهي بمقطع مختوم بقافية نواتها الفتحة وخاتمتها هي الصوت الانزلاقي الياء. هذا القانون الكتابي يجعل الفعل ينتهي بمقطع مختوم بقافية نواتها الفتحة وخاتمتها الصوت الانزلاقي الياء. هذه القافية (ay) التي تختم الفعل يتم تمثيلها كتابيا بالألف المقصورة (ى).



الشكل رقم (٧) تحليل مقطعي للفعل رَمَيَ ← رَمَى

في كتب علم اللسانيات linguistics يتم استخدام الرمز ay للتعبير عن الألف المقصورة عندما نكون في سياق نقوم فيه بتمثيل الأحرف والأصوات العربية بأحرف لاتينية (راجع على سبيل المثال: (McCarthy 1981, 1982). تعرف عملية التمثيل هذه بمصطلح transliteration. يلاحظ القارئ أننا في النظام الحاسوبي الذي بين أيدينا نحتاج إلى تمثيل الحروف العربية بحروف لاتينية.

القانون المستخدم في حذف لاحقة الشخص الثالث المذكر الغائب {-ـــَـ} في السياق المذكور أعلاه هو القانون التالي:

[%-a -> 0|| .#.?+ C a y _ .#.];

يقول هذا القانون إن لاحقة الشخص الثالث المذكر الغائب {-ـــَـ} يتم حذفها إذا جاءت في نهاية الفعل وجاء قبلها مقطع طويل مغلق CVC نواته هي الحركة القصيرة الفتحة وخاتمته هي الصوت الانزلاقي ي (Cay). يمكن أن يأتي قبل هذا المقطع الطويل المغلق واحد أو أكثر من الرموز كما يعبر عن ذلك التعبير الاعتيادي +?. استُخدِم التعبير الاعتيادي +? في السياق الأيسر للتعامل مع الأفعال المزيدة، حيث يُمَكِّننا هذا التعبير من قبول الأفعال المزيدة المصاغة على أوزان منها افتعل واستفعل كما في ارتمى.

الإسناد في الماضي:

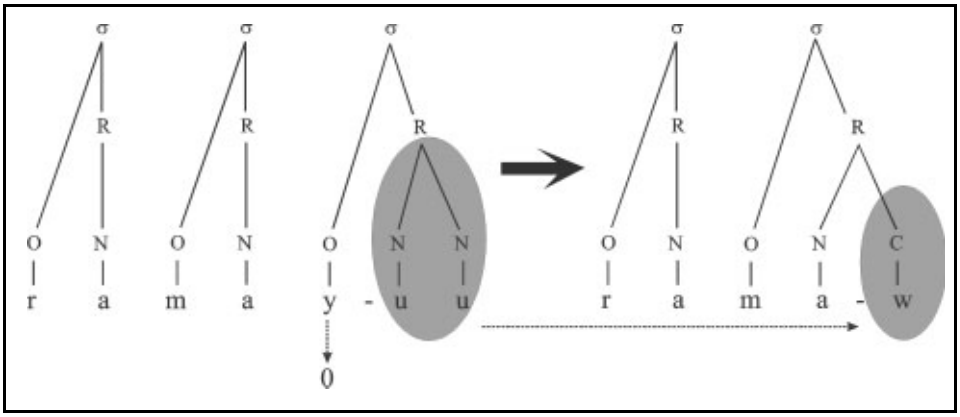
الحالة الأولى:

هذه الحالة تتعلق بالأفعال الناقصة الماضية التي تكون نواة المقطع الأخير في جذعها حركة متدنية وهي الفتحة. بالمعنى التقليدي، تتعلق هذه الحالة بالأفعال الماضية الناقصة التي تكون حركة عين الفعل فيها الفتحة وتكون لام الفعل فيها ألفاً. في هذه الحالة يتم حذف القافية الأخيرة في الجذع - وهي قافية مكونة من الحركة المتدنية وهي الفتحة (النواة) تليها خاتمة وهي لام الفعل الناقص (الصوت الانزلاقي) - وذلك إذا كانت لاحقة الماضي هي تاء التأنيث. تاء التأنيث هي لاحقة مكونة من قافية. هذه القافية مكونة بدورها من فتحة (نواة) وتاء التأنيث (خاتمة). هذه القافية تأخذ مكان القافية التي حُذِفت (الفتحة + لام الناقص). هذه القافية الجديدة تصبح مقطعا كاملا حين تندمج مع آخر صامت في الجذع وهو ثاني حروف الجذر الذي كان استهلالا لآخر مقطع في الجذع وهو المقطع المكون من ثاني حرف من حروف الجذر + الفتحة + لام الناقص).

[aglide → 0 || C_%-at];

تقول القوانين اللغوية في هذه الحال إنه يتم حذف الألف (لام الفعل الناقص) ويتم تحريك الحرف الذي يسبق اللام للدلالة على الألف المحذوفة. كما ذكرنا سابقا الأفعال الناقصة لا تنتهي بألف، فهنالك صوت انزلاقي (لام الناقص) تم حذفه. والفتحة التي يتحدث عنها اللغويون في قولهم (يتم تحريك الحرف الذي يسبق اللام للدلالة على الألف المحذوفة) هي فتحة موجودة أصلا وهي نواة اللاحقة التصريفية تاء التأنيث {-ـَـت}.

يتم أيضا حذف لام الفعل الناقص إذا تلت لام الفعل الناقص لاحقة الماضي التصريفية واو الجماعة {-ـــوا}. ومع حذف لام الفعل الناقص يتم تحويل واو الجماعة التي تتكون أصلا من حركة طويلة uu إلى صوت انزلاقي يماثل الحركة الطويلة uu من الناحية الصوتية والنطقية. هذا الصوت الانزلاقي هو الواو w. التماثل هنا يظهر في أن كلا الصوتين الحركة الطويلة uu و الصوت الانزلاقي الواو w صوتان علويان أي ينطقان واللسان مرتفع للأعلى. إلى جانب ذلك، كلا الصوتين ينطقان واللسان متجه للخلف صوب اللهاة ومع تدوير الشفتين. الصوت الانزلاقي w يصبح خاتمة لمقطع طويل مغلق يختم الفعل، ويبدأ بثاني حرف من حروف الجذر.



الشكل رقم (٨) تحليل مقطعي للفعل رَمَيُوا ← رَمَوا

يتم حذف لام الفعل الناقص وتحويل واو الجماعة إلى واو w عن طريق قانونين يتم تطبيقهما بشكل متتالي. القانون الأول يحذف الصوت الانزلاقي w إذا جاءت بعد هذا الصوت الانزلاقي لاحقة الماضي التصريفية واو الجماعة {– ـوا} والمتمثلة بالحركة الطويلة uu. التعبير *#.[u u|uu].* يقابل لاحقة الماضي التصريفية واو الجماعة {– ـــوا}.

[glide -> 0 || C a _ %- [u u|uu] .#.];

القانون الثاني يحول لاحقة الماضي التصريفية واو الجماعة {–ـــوا} إلى الصوت الانزلاقي الواو:

[%- [u u|uu] -> %- w || C a _ .#.];

نواة المقطع الأخير في جذع الفعل الناقص (الفتحة) تصبح بعد تطبيق القانونين المذكورين أعلاه نواة للمقطع الطويل المغلق الذي ينتهي به الفعل الناقص. هذا المقطع مكون من ثاني حرف من حروف الجذر ويرمز له في القانونين المذكورين بالرمز (C) والفتحة والواو التي تحولت إليها واو الجماعة.

نبقى في الحالة الأولى من حالات الإسناد إلى الفعل الناقص في الماضي والتي ذكرناها في القسم السابق. تقول القوانين اللغوية إنه إذا أسند الفعل الناقص إلى غير واو الجماعة أو تاء التأنيث وإذا كان الفعل مجرداً، فإن ألف الفعل الناقص تعاد إلى أصلها (الواو أو الياء). كما أشرنا في بداية هذا القسم. الفعل الناقص هو فعل آخر حرف من حروف جذره (لامه) صوت انزلاقي (واو أو ياء). معنى هذا أنه لا يحدث للفعل الناقص أي تغيير إذا أسند إلى غير واو الجماعة وتاء التأنيث لأن لام الفعل الناقص تبقى على أصلها دائما (واو أو ياء). كما في سَعَيتُ و دعَوتم.

أما إذا كان الفعل مزيداً، فإن الألف كما يقول اللغويون- تقلب إلى ياء. ولأنه كما أثبتنا

لا يوجد فعل ناقص ينتهي بألف، ولأن الفعل الناقص ينتهي إما بواو أو ياء، فإن القاعدة ستصبح كالتالي:

(١٢) قاعدة إسناد الفعل الناقص الماضي المزيد إلى غير واو الجماعة وتاء التأنيث (النسخة المعدلة):

إذا كان الفعل مزيداً، فإن الواو تقلب إلى ياء. الفعل الناقص الذي تكون لامه ياء تبقى لامه دون تغيير.

قانون الاستبدال المسؤول عن هذا التغيير هو:

[w -> y || .#. \ [C[V-i]] C [V-u] _%- [PerfSuff-[a t| uu]] .#.] ;

يقول هذا القانون إن الواو تحول إلى ياء إذا:

١) كانت الواو خاتمة لمقطع طويل مغلق *CVC* استهلاله هو الصامت الثاني في الجذر (عين الناقص) *C* وكان هذا المقطع المغلق مسبوقا بأي تتابع من الأصوات عدا المقطع القصير المكون من صامت وحركة قصيرة (الضمة أو الفتحة). الرمز \ يعني عدا والرمز.#. في بداية السياق الأيسر يعني بداية الفعل. استبعاد هذا المقطع القصير يعني أن سياق القانون لا يشمل أي جذع لفعل ماض مجرد وذلك لأن جذع الفعل الماضي المجرد يتكون من مقطعين فقط: قصير مفتوح CV يليه مقطع طويل مغلق *CVC*. نواة المقطع القصير هي الفتحة ونواة المقطع الطويل هي الفتحة أيضا إذا كان الفعل مبنيا للمعلوم. إذا كان الفعل المجرد الماضي مبنيا للمجهول فإن نواة المقطع القصير تكون الضمة و نواة المقطع الطويل تكون الكسرة. هذا يفسر طرح الكسرة من مجموعة حركات نواة المقطع القصير [V-i] وطرح الضمة من مجموعة حركات نواة المقطع الطويل المغلق [V-u]. بكلمات أخرى أكثر بساطة، يمكن قراءة القانون كالتالي:

يتم تحويل الواو إلى ياء إذا لم يكن جذع الفعل الماضي مكونا من مقطع قصير CV نواته ليست الكسرة ويليه مقطع طويل مغلق CVC نواته ليست الضمة. الحالة الوحيدة التي يكون فيها جذع الفعل الماضي مكونا من مقطع قصير مفتوح CV يليه مقطع طويل مغلق CVC هي الحالة التي نكون فيها أمام فعل ماض مجرد. هذا القانون إذن يطبق فقط على الأفعال الماضية المزيدة.

٢) جاءت بعد الواو أي لاحقة تصريفية من لواحق الماضي ماعدا اللاحقتين تاء التأنيث (a t) و واو الجماعة (uu). هذا الاستثناء يعبر عنه باستخدام عمليتين رياضيتين تطبقان على المجموعات وهما عمليتا الطرح والاتحاد. التعبير:

[PerfSuff-[a t| uu]]

الموجود في السياق الأيمن من القانون يقول إن السياق الأيمن (ما بعد الواو) يتكون من مجموعة لواحق الماضي PerfSuff ناقص المجموعة المكونة من اتحاد اللاحقتين a t و uu. بمعنى آخر السياق الأيمن (ما بعد الواو) يمكن أن يكون أي لاحقة من لواحق الماضي عدا اللاحقتين تاء التأنيث و واو الجماعة.

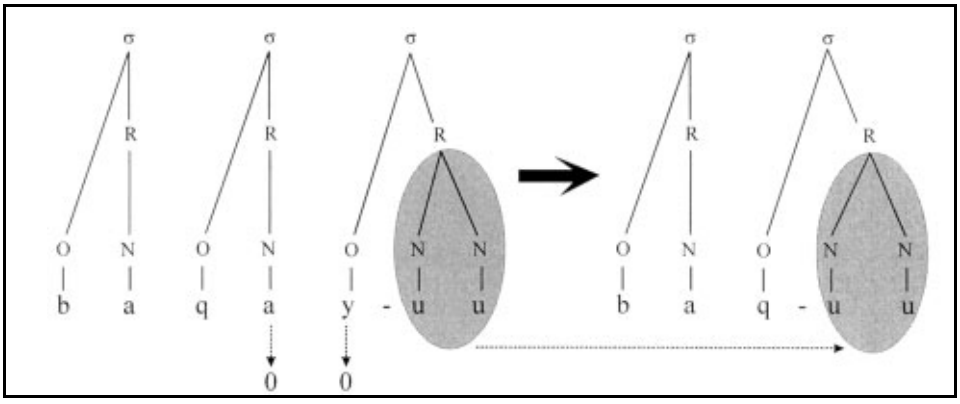
الحالة الثانية:

هذه الحالة تتعلق بالأفعال الناقصة الماضية التي تكون نواة المقطع الأخير في جذعها حركة غير متدنية. بالمعنى التقليدي تتعلق هذه الحالة بالأفعال الناقصة الماضية التي تكون حركة عين الفعل فيها أي حركة عدا الفتحة. هذه الحالة تصفها القوانين اللغوية بأنها الحالة التي تكون فيها لام الفعل الناقص واوا أو ياء وليست ألفا.

الفعل الناقص الذي تكون نواة المقطع الأخير في جذعه حركة غير متدنية لا يحدث له تغيير إذا أسند إلى غير واو الجماعة. أما إذا أسند هذا الفعل إلى واو الجماعة فإن تغييرا يحدث فيه. القانون المسؤول عن هذا التغيير هو:

[[V-a] glide - > 0 || .#. ?+ C _ %-uu .#.];

يقول هذا القانون إن الصوت الانزلاقي (لام الناقص) يحذف مع الحركة القصيرة التي تسبقه إذا كان هذا الصوت الانزلاقي خاتمة لمقطع طويل مغلق *CVC* يختم جذع الماضي وكانت الحركة القصيرة المحذوفة نواة لهذا المقطع المغلق، وكان استهلال هذا المقطع المغلق ثاني حرف من حروف الجذر *C*. الحركة القصيرة المحذوفة (نواة المقطع الأخير في الجذع) يمكن أن تكون أي حركة عدا الحركة المتدنية الفتحة. واستبعاد الفتحة يتم عن طريق عملية الطرح المذكورة في التعبير [V-a]. تقول القوانين اللغوية إن ما قبل اللام المحذوفة يضم ليتناسب مع واو الجماعة. في الواقع لا تضاف أي ضمة هنا وذلك لأن واو الجماعة ببساطة هي ضمة طويلة (uu) تأتي بعد الصامت الثاني في الجذر الذي يسبق اللام المحذوفة. هذه الحركة الطويلة تصبح نواة لمقطع طويل مفتوح CVV يختم الفعل. استهلال هذا المقطع الطويل المفتوح هو الصامت الثاني في الجذر (عين الفعل). التحليل المقطعي التالي يوضح هذا التغيير مستخدما الفعل بقوا مثالاً:



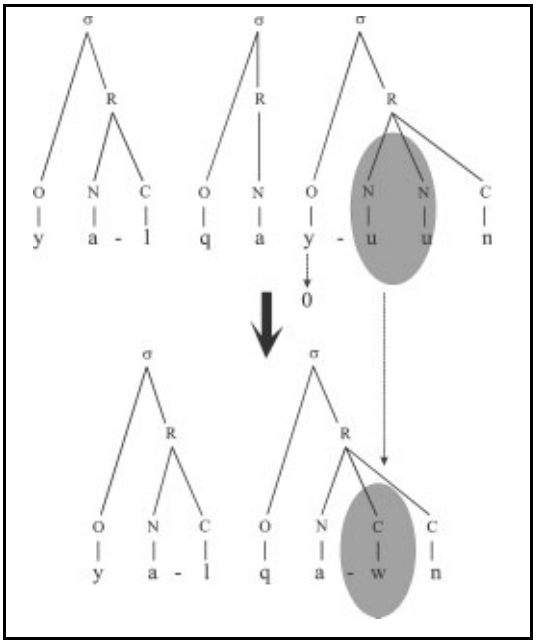
الشكل رقم (٩) تحليل مقطعي للفعل بَقَيوا ← بَقُوا

الإسناد في المضارع والأمر:

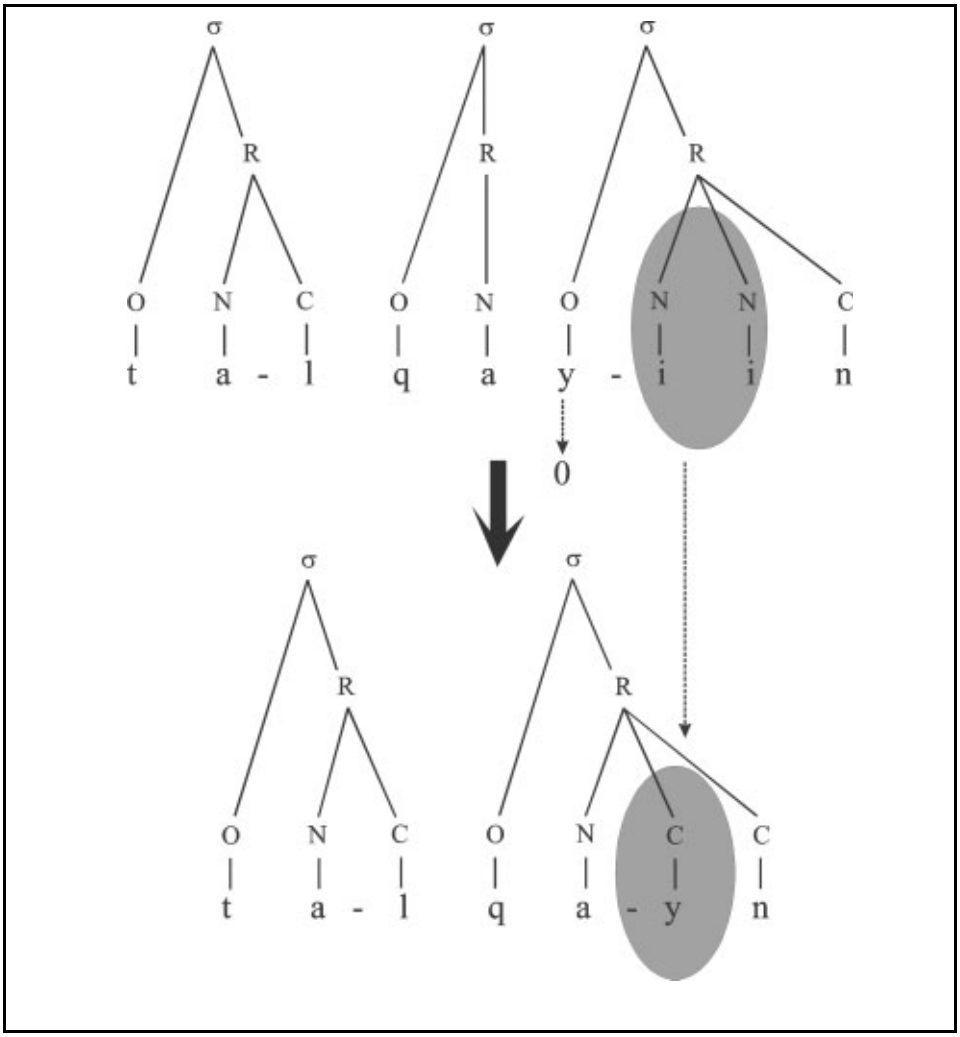
الحالة الأولى:

هذه الحالة تتعلق بالأفعال المضارعة الناقصة وأفعال الأمر الناقصة التي تكون نواة المقطع الأخير في جذعها حركة متدنية وهي الفتحة. بالمعنى التقليدي، تتعلق هذه الحالة بالأفعال المضارعة الناقصة وأفعال الأمر الناقصة التي تكون حركة عين الفعل فيها الفتحة. ومن أمثلة هذه الأفعال الفعل يسعى. وفي ما يلي نذكر التغييرات التي تحدث عند إسناد هذه الأفعال إضافة إلى قوانين الاستبدال المستخدمة لتطبيق تلك التغييرات:

إذا أسند الفعل إلى ياء المخاطبة ({-ين}) أو إلى واو الجماعة ({-ون}) يتم حذف الصوت الانزلاقي (لام الناقص) و تحويل النواة (الحركة الطويلة) التي تبدأ بها اللاحقتان (وهي المد بالياء (ii) في اللاحقة الأولى والمد بالواو (uu) في اللاحقة الثانية) إلى صوت انزلاقي يتناسب مع هذه النواة (الحركة الطويلة) قي ارتفاع ووضعية اللسان. يتم تغيير المد بالواو وهو صوت علوي +high خلفي +back بالصوت الانزلاقي w وهو صوت علوي خلفي أيضا. كما يتم تغيير المد بالياء وهو صوت علوي غير خلفي back- بالصوت الانزلاقي y وهو صوت علوي غير خلفي أيضاً. التحليلان المقطعيان التاليان يوضحان هذا التغيير باستخدام الفعلين يلقَوْن وتلقَين:



الشكل رقم (١٠) تحليل مقطعي للفعل يلقَيُون ← يلقَوْن



الشكل رقم (١١) تحليل مقطعي للفعل تلقَيين ← تلقَيْن

قوانين الاستبدال الذي تستخدم لتطبيق التغيير المتعلق بالإسناد إلى واو الجماعة هي:

[glide -> 0 || C a _ %- [uu n| u u]];

[uu -> w || C a %- _ n .#.];

[u u -> w || C a %- _.#.];

هذه القوانين الثلاثة تطبق بشكل متسلسل (ناتج output القانون الأول يصبح مدخلا input للقانون الثاني أو مدخلا للقانون الثالث حسب السياق). يقوم القانون الأول بحذف لام الفعل

الناقص (الصوت الانزلاقي) إذا تلت هذه اللام لاحقة المضارع التصريفية واو الجماعة {-ون} ويعبر عنها بالتعبير *(uu n)* أو إذا لحقتها لاحقة الأمر التصريفية واو الجماعة {-وا} ويرمز لها بالتعبير *(u u)*. يجب أن تُسبَق لام الفعل الناقص بمقطع قصير CV استهلاله الصامت الثاني في الجذر *C a*. القانون الثاني يقوم باستبدال الحركة الطويلة uu (المد بالواو) وهي نواة لاحقة المضارع التصريفية واو الجماعة {-ون} بالصوت الانزلاقي[١٠] المقارب لها صوتيا وهو الواو w. يتم ذلك إذا كانت نواة المقطع الأخير في جذع الفعل حركة متدنية وهي الفتحة -*% a C)*. الواو w مع الصامت الذي يختم اللاحقة n يصبحان خاتمة للمقطع الأخير في الفعل وهو مقطع مغرق في الطول CVCC. استهلال هذا المقطع هو الصامت الثاني في جذر الفعل (عين الفعل) C ونواة هذا المقطع هي الحركة القصيرة المتدنية الفتحة التي تختم الجذع.

القانون الثالث يقوم بتغيير الحركة الطويلة uu (المد بالواو) وهي نواة لاحقة الأمر التصريفية واو الجماعة {-وا} بالصوت الانزلاقي المقارب لها صوتيا وهو الواو w. يتم ذلك في إطار سياق أيسر مطابق لسياق القانونين الأول والثاني. الواو w تصبح خاتمة للمقطع الأخير في الفعل وهو مقطع طويل مغلق CVC. استهلال ونواة هذا المقطع هما نفس استهلال ونواة المقطع الأخير في القانون الثاني. قد يتساءل القارئ هنا عن سبب استخدام التعبير uu للتعبير عن المد بالواو الموجود في لاحقة المضارع التصريفية واو الجماعة {-ون} ثم استخدام التعبير u u (مع مسافة) للتعبير عن المد بالواو الذي تتكون منه لاحقة الأمر التصريفية واو الجماعة {-وا}. السبب في ذلك تقني برمجي وليس سبباً لغوياً. حيث إننا نحتاج إلى أن نجعل نظامنا الحاسوبي يفرق بين المد بالواو المستخدم بوصفه لاحقة تصريفية لأفعال الأمر {-وا} من جهة وبين المد بالواو بوصفه لاحقة تصريفية للأفعال الماضية {-وا} من جهة أخرى. واستخدام المسافة لتمييز لاحقة الأمر u u (مع مسافة) عن لاحقة الماضي uu (بلا مسافة) يبعد نظامنا عن المشاكل البرمجية الناجمة عن الخلط بين واو الجماعة المستخدمة بوصفها لاحقة لأفعال الأمر من جهة و واو الجماعة المستخدمة بوصفها لاحقة للأفعال الماضية من جهة أخرى.

قوانين الاستبدال الذي تستخدم لتطبيق التغيير المتعلق بالإسناد إلى ياء المخاطبة هي نفس القوانين المستخدمة لتطبيق التغيير المتعلق بالإسناد إلى واو الجماعة مع وضع المد بالواو (الموجود في قوانين واو الجماعة) موضع المد بالياء وكذلك جعل الصوت الانزلاقي w (الموجود في قوانين واو الجماعة) مكان الصوت الانزلاقي y.

إذا أسند الفعل الناقص إلى ألف الاثنين {-ان} أو إلى نون النسوة {-نَ} فإن لام الناقص (الصوت الانزلاقي) يتم تحويلها إلى ياء إذا كانت واواً[١١]. هنا تحدث عملية صوتية تعرف بعملية المماثلة Assimilation. الواو صوت خلفي +back أما المد بالألف في اللاحقة

التصريفية ألف الاثنين {–ان} و النون في اللاحقة التصريفية نون النسوة {–نَ} اللذان يأتيان بعد الواو فصوتان غير خلفيين – back. لذلك يتم تحويل الواو w(الصوت الخلفي) إلى صوت غير خلفي الياء (y) ليتماثل مع الصوت الذي يأتي بعده (المد بالألف أو نون النسوة) ولتسهيل النطق. حيث يصعب نطق صوت خلفي (الواو) يتراجع فيه اللسان إلى الخلف ثم النطق بصوت غير خلفي (المد بالألف أو نون النسوة). وقانون المماثلة المسؤول عن هذا التغيير هو:

[+ Back] → [-Back]/ ___[- Back]

المد بالألف/ النون ي و

قانون الاستبدال الذي يستخدم لتطبيق هذا التغيير عند إسناد الأفعال المضارعة هو:

[w -> y|| ImperfPre %- ?+ C V _%- [aa | n]];

هذا القانون يحول صوت الواو w إلى ياء y إذا جاءت الواو في نهاية جذع الفعل المضارع وتلت الواو الحركة الطويلة aa (المد بالألف)، أو الصوت n الذي تبدأ به نون النسوة.

قانون الاستبدال الذي يستخدم لتطبيق هذا التغيير عند إسناد أفعال الأمر هو:

[w -> y ||.#.?+ C V _%- [a a | n]];

هذا القانون يحول صوت الواو w إلى ياء y إذا جاءت الواو في نهاية جذع الأمر وجاء بعد الواو المد بالألف ويرمز له بالتعبير (a a) أو الصوت n الذي تبدأ به نون النسوة. سبب استخدام التعبير aa للتعبير عن المد بالألف الموجود في لاحقة المضارع التصريفية ألف الاثنين {–ان} ثم استخدام التعبير a a (مع مسافة) للتعبير عن المد بالألف الذي تتكون منه لاحقة الأمر التصريفية ألف الإثنين {–ا} سبب تقني برمجي أيضا وليس سبباً لغوياً. حيث إننا نحتاج إلى أن نجعل نظامنا الحاسوبي يفرق بين المد بالألف المستخدم بوصفه لاحقة تصريفية لأفعال الأمر {–ا} من جهة وبين المد بالألف المستخدم بوصفه لاحقة تصريفية للأفعال الماضية {–ا} من جهة أخرى. استخدام المسافة لتمييز لاحقة الأمر a a (مع مسافة) عن لاحقة الماضي aa (بلا مسافة) يبعد نظامنا عن المشاكل البرمجية الناجمة عن الخلط بين ألف الاثنين المستخدمة بوصفها لاحقة لأفعال الأمر من جهة و ألف الاثنين المستخدمة بوصفها لاحقة للأفعال الماضية من جهة أخرى.

الحالة الثانية:

هذه الحالة تتعلق بالأفعال المضارعة الناقصة وأفعال الأمر الناقصة التي تكون نواة المقطع الأخير في جذعها حركة غير متدنية. بالمعنى التقليدي، تتعلق هذه الحالة بالأفعال

المضارعة الناقصة وأفعال الأمر الناقصة التي تكون حركة عين الفعل فيها أي حركة عدا الفتحة. هذه الحالة تصفها القوانين اللغوية بأنها الحالة التي تكون فيها لام الفعل المضارع الناقص ولام فعل الأمر الناقص واوا أو ياء وليست ألفا.

التغييرات التي تحدث في هذه الحالة تحدث فقط عند إسناد الفعل إلى واو الجماعة {-ون} أو ياء المخاطبة {-ين}. عند إسناد الفعل المضارع الناقص أو فعل الأمر الناقص إلى واو الجماعة {-ون} أو ياء المخاطبة {-ين} يتم ببساطة حذف قافية المقطع الأخير في الجذع *VC* المكونة من الحركة غير المتدنية (الضمة أو الكسرة) والتي تمثل نواة و الصوت الانزلاقي (لام الناقص) والذي يمثل خاتمة. وحذف هذه القافية يجعل الحركة المقطعية +syllabic التي تبدأ بها لاحقة المضارع (واو الجماعة {-ون} أو ياء المخاطبة {-ين}) نواة لمقطع مغرق في الطول CVVC ينتهي به الفعل. في حالة فعل الأمر الناقص، حذف القافية VC يجعل الحركة المقطعية +syllabic التي تتكون منها لاحقة الأمر (واو الجماعة {-وا} أو ياء المخاطبة {-ي}) نواة لمقطع طويل مفتوح CVV ينتهي به الفعل. وأما استهلال المقطع المغرق في الطول CVVC (في حالة الفعل المضارع الناقص) أو الطويل المفتوح CVV (في حالة فعل الأمر الناقص) فهو الصامت الثاني في جذر الفعل (عين الفعل). وخاتمة المقطع المغرق في الطول (في حالة الفعل المضارع الناقص) هي النون n التي تنتهي بها واو الجماعة {-ون} أو ياء المخاطبة {-ين}. بمعنى آخر تصبح لاحقة المضارع التصريفية واو الجماعة {-ون} أو ياء المخاطبة {-ين} قافية للمقطع الأخير في الفعل المضارع الناقص. وقانون الاستبدال الذي يطبق هذا التغيير عند إسناد الفعل المضارع الناقص هو:

[[u|i] glide -> 0 || ImperfPre %-?+ C _ %- [uu n| ii n].#.];

هذا القانون يحذف القافية VC المكونة من نواة المقطع الأخير في الجذع (الحركة غير المتدنية) وخاتمة هذا المقطع الأخير (لام الفعل الناقص). واللاحقتان التصريفيتان واو الجماعة uu n و ياء المخاطبة ii n تتخذان مكان القافية المحذوفة[١٢].

قانون الاستبدال الذي يطبق هذا التغيير عند إسناد فعل الأمر الناقص هو نفس قانون الاستبدال الذي يطبق عند إسناد الفعل المضارع الناقص مع حذف سابقة المضارع ImperfPre -% وتحويل السياق الأيمن إلى .#. [ii |u u]-%. هذا السياق الأيمن يحوي لاحقتي الأمر التصريفيتين واو الجماعة {-وا} (والتي يعبر عنا بالتعبير (u u)) و ياء المخاطبة {-ي} (التي يعبر عنا بالتعبير (ii)).

٤ - ٣ قوانين استبدال خاصة بالفعل اللفيف:

٤-٣-١ القوانين اللغوية:

الفعل اللفيف هو الفعل الذي يحوي حرفي علة، وهو نوعان:

- اللفيف المفروق: وهو الفعل الذي تكون فاؤه (أول حرف من حروف جذره) ولامه (ثالث حرف من حروف جذره) حرفي علة. ومن أمثلته:

  وَقَيتُ، وَقَوا، يقون

- اللفيف المقرون: وهو الفعل الذي تكون عينه (ثاني حرف من حروف جذره) ولامه (ثالث حرف من حروف جذره) حرفي علة. ومن أمثلته:

  طويتُ، طَوَوا، يطوون

يعامل الفعل اللفيف المفروق عند إسناده معاملة الفعل المثال من حيث فاء الفعل (أي تحدث لفاء الفعل اللفيف المفروق التغييرات التي تحدث لفاء الفعل المثال)، ويعامل معاملة الفعل الناقص من حيث اللام (أي تحدث للام الفعل اللفيف المفروق التغييرات التي تحدث للام الفعل الناقص). يعامل الفعل اللفيف المقرون عند إسناده معاملة الفعل الناقص من حيث لام الفعل (أي تحدث للام الفعل اللفيف المقرون التغييرات التي تحدث للام الفعل الناقص)، أما عين الفعل اللفيف المقرون فلا يحدث لها تغيير.

٤-٣-٢ القوانين الحاسوبية:

لا يتم استخدام قوانين استبدال جديدة خاصة بالفعل اللفيف. كما ذكرنا في القسم السابق، التغييرات التي تحدث للفعل اللفيف هي نفس التغييرات التي تحدث للفعل المثال والناقص. لذلك، فإن التغييرات التي تحدث للفعل اللفيف يتم تطبيقها باستخدام قوانين الاستبدال الخاصة بالفعل المثال والفعل الناقص.

٤ - الأبحاث المستقبلية:

في الأبحاث القادمة إن شاء الله تعالى، سوف نتناول توسيع نطاق المنهج الحاسوبي الذي قدمناه في هذا البحث ليشمل تصميم أنظمة part of speech taggers و أنظمة part of speech guessers. هذه الأنظمة هي أنظمة حاسوبية تقوم بتحليل الكلمات في النصوص وتحديد نوعها (أسماء، أفعال...إلخ). كذلك سوف تتناول الأبحاث القادمة إن شاء الله كيفية استخدام هذا المنهج الحاسوبي لتصميم أنظمة التدقيق الصرفي والإملائي Spell Checkers. إضافة إلى ذلك، سوف تتناول الأبحاث القادمة استخدام هذا المنهج الحاسوبي لتصميم أنظمة

تحليل / توليد صرفية تعمل بصفتها جزءاً من أنظمة أكبر لمعالجة اللغة الطبيعية Natural Language Processing Systems.

٥ - الخلاصة:

قدم هذا البحث منهجا حاسوبيا للتعامل مع التغييرات الصوتية التي تحدث للأفعال عند إسنادها إلى الضمائر. بُني هذا المنهج على أساس صياغة لسانية حديثة لهذه التغييرات تأخذ بعين الاعتبار التعميمات الصوتية والصرفية التي تحكم عملية تصريف الأفعال وإسنادها إلى الضمائر. من خلال هذه التعميمات يظهر لنا دور التحليل المقطعي في تحليل وتفسير هذه التغييرات تفسيرا لسانيا علميا دقيقا. هذا التحليل المقطعي قدم لنا أرضية مناسبة حاسوبيا لمعالجة التغييرات الصوتية التي تحدث للأفعال عند إسنادها إلى الضمائر.

تتم الصياغة الحاسوبية لتلك التغييرات عن طريق منهج حاسوبي صُمِّم باستخدام تقنية finite-state وذلك من خلال نظام Xerox Finite-State Tools. تستخدم تقنية finite-state بكثرة في مجال المعالجة الآلية للغة الطبيعية عموما، وفي مجال المعالجة الحاسوبية للصرف بشكل خاص. في هذا السياق، تعد تقنية finite-state من أهم التقنيات المستخدمة لمعالجة الصرف العربي ولتصميم أنظمة الصرف الحاسوبية التي تتعامل مع اللغة العربية. راجع (Kay 1987)، (Beesley 1991, 1996, 1998)، (Kiraz 1994, 2001)، (Kornai 1991)، (Bird and Ellison 1992, 1994)، و (Narayanan and Hashem 1993).

في هذه الصياغة الحاسوبية، طُبِّقَت القوانين الصوتية التي تحكم التغييرات المتعلقة بإسناد الأفعال إلى الضمائر عن طريق قوانين الاستبدال باستخدام عمليات رياضية تُطَبَّق على الشبكات منتهية الحالة أهمها عمليات الاتحاد والتركيب.

من خلال التحليل المقطعي للتغيرات ومن خلال المعالجة الحاسوبية لهذه التغييرات المبنية أساساً على هذا التحليل المقطعي، بات واضحاً أن التفسير اللغوي للتغييرات المتعلقة بإسناد الأفعال إلى الضمائر يغفل كثيرا من التعميمات و جوانب الاطراد التي تحكم تلك التغييرات. هذه التعميمات وجوانب الاطراد تشكل ركيزة أساسية لبناء نظام معالجة حاسوبية للصرف العربي يتمتع بكفاءة عالية. أَخْذُ تلك التعميمات وجوانب الاطراد بعين الاعتبار يحفظ النظام الحاسوبي الذي يتعامل مع اللغة العربية من أضرار الفائضية التي يسببها إهمال تلك التعميمات و جوانب الاطراد. إضافة إلى ذلك فقد بين هذا البحث أن هنالك تغييرات كتابية كانت تعتبر في التفسير اللغوي تغييرات صوتية. المعالجة الحاسوبية الجيدة للصرف العربي يجب أن تتعامل مع التغييرات الصوتية من جهة والتغييرات الكتابية من جهة أخرى بوصفهما نوعين مختلفين من التغييرات.

ملحق: أمثلة من مخرَجات النظام Sample Log

Outputs مخرجات	Inputs مدخلات
+qwl+FORM1+PERF+ACT+SECOND+PL+MAS	apply up qultum
+qwl+FORM1+PERF+ACT+THIRD+SING+FEM	apply up qaalat
+s3y+FORM1+PERF+ACT+THIRD+PL+MAS	apply up sa3aw
+wqy+FORM1+PERF+ACT+FIRST+SING+FEM +wqy+FORM1+PERF+ACT+FIRST+SING+MAS	apply up waqaytu
+wqy+FORM1+PERF+ACT+THIRD+PL+MAS	apply up waqaw

الهوامش

(١) للاطلاع على أمثلة من الجهود العربية في مجال المعالجة الحاسوبية للغة العربية، راجع: Al-Wakil and Shoukry (1987)، Hegazi, N and El-Sharkawi (1985)، Ali (1988) و El-Saadany, T and Hashish (1988)

(٢) في هذا السياق، فقد استُخدِم هذا المنهج لتصميم نظام تدقيق إملائي تجريبي مصغر.

(٣) القوانين اللغوية هي القوانين الوصفية التعليمية التي نجدها في الكتب اللغوية التي تتناول موضوع الصرف. القوانين اللغوية المذكورة في هذا البحث هي تلك القوانين اللغوية التي جمعها (الراجحي، ١٩٩٣).

(٤) عين الفعل تقابل ثاني حرف من حروف الجذر.

(٥) الرمز ٪ رمز خاص يستخدم قبل بعض الرموز المحجوزة لنظام Xerox Finite-State Tools. هذه الرموز المحجوزة تشمل. إضافة إلى رموز أخرى - الرمز @.

(٦) الصوت الانزلاقي glide (ويعرف أيضا بالصوت شبه الصائت) هو صوت ينطق كما تنطق الحركات (الصوائت) vowels ويصنف كصوت صامت consonant (راجع (الخولي ١٩٨٢).

(٧) الفتحة حركة قصيرة متدنية short low vowel. المد بالألف حركة طويلة متدنية long low vowel.

(٨) الكسرة في المقطع الثاني حركة علوية high vowel. الحركة العلوية هي الحركة التي يتم النطق بها عن طريق رفع اللسان إلى مستوى أعلى من المستوى الذي يكون عليه في الحالة الطبيعية (Crystal, 1997).

(٩) تم الحديث عن هذا القانون الصوتي في بداية هذا القسم.

(١٠) في علم الأصوات تُعرف الأصوات الانزلاقية بأشباه الحركات semi-vowels.

(١١) لا يحدث للام الفعل الناقص أي تغيير إذا كانت هذه اللام ياء.

(١٢) القافية الجديدة المتمثلة باللاحقة التصريفية واو الجماعة و باللاحقة التصريفية ياء المخاطبة هي قافية مكونة من حركة طويلة وصامت VVC.

المراجع

- الخولي، محمد. ١٩٨٢. معجم علم اللغة النظري. بيروت: مكتبة لبنان.
- الراجحي، عبده. ١٩٩٣. التطبيق الصرفي. الإسكندرية: دار المعرفة الجامعية.
- Ali, N. 1988. Arabic Information Retrieval: What and How?. In Proceedings of the Regional Conference on Informatics and Arabization, Vol. I, 110-117, Tunis.
- Al-Wakil, M and Shoukery A. 1987. On-Line Recognition of Hand-Written Isolated Arabic Characters. In Proceedings of the 1st Symposium on Computer Arabization, King Saud Univesity, 109-120.
- Beesley, K. 1991. Computer Analysis of Arabic Morphology: A Two-Level Approach with Detours. In Comrie, B. and M. Eid (eds.), Perspectives on Arabic Linguistics III: Papers from the Third Annual Symposium on Arabic Linguistics, pp. 155-72. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.
- Beesley, K. 1996. Arabic finite-state morphological analysis and generation. COLING'96 1: 89-94. Copenhagen.
- Beesley, K. 1998. Arabic morphology using only finite-state operations. In Michael Rosner (ed.), Computational Approaches to Semitic Languages: Proceedings of the Workshop, pp 50-7. Montreal: University of Montreal.
- Bird, S and T. Ellison. 1992. One-level phonology: Autosegmental representations and rules as finite-state automata. Technical report, Research Paper EUCCS/RP-51, University of Edinburgh.
- Bird, S and T. Ellison. 1994. One-level phonology. Computational Linguistics 20(1): 55-90.
- Crystal, D. 1997 A Dictionary of Linguistics and Phonetics. Oxford: Blackwell.
- El-Saadany, T and Hashish, M. 1988. Semi-Automatic Vowelization of Arabic Verbs. In Proceedings of the 10th National Computer Conference, 735-732, Jeddah.
- Hegazi, N and El-Sharkawi. 1985. A Computerized Lexical Analyzer for Natural Arabic Text. In Working papers of the workshop: Computer Proceeding of the Arabic Language, Vol. I, Kuwait.
- Kay, M. 1987. Nonconcatenative Finite-State Morphology. In Proceedings of the Third Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, pp. 2-10. Copenhagen.

- Kiraz, George. 1994. Multi-tape Two-level Morphology: A Case Study in Semitic Non-linear Morphology. In: Proceedings of Coling 94, pp. 180, 6.
- Kiraz, George. 2001. Computational Nonlinear Morphology: With Emphasis on Semitic Languages. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kornai, A. 1991. Formal Phonology. Ph.D thesis. Stanford University.
- McCarthy, John. 1981. A Prosodic Theory of Nonconcatenative Morphology. Linguistic Inquiry 12: 373-418.
- McCarthy, John. 1982. Formal Problems in Semitic Phonology and Morphology. A PhD thesis. Indiana: Reproduced by the Indiana University Linguistics Club.
- Narayanan, A. and L. Hashem. 1993. On abstract finite-state morphology. In Proceedings of the Sixth Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, pp 297-304.

صلاح راشد الناجم: دكتوراه PhD في علم اللغة الحاسوبي Computational Linguistics من جامعة إيسيكس البريطانية عام ١٩٩٨م، ومدرس بقسم اللغة العربية، كلية الآداب، جامعة الكويت، وله اهتمامات بحثية في مجال: المعالجة الآلية للغة الطبيعية، والمعالجة الآلية للصرف العربي، وصيغ النحو الاتحادية، والتحليل الآلي للغة، والتوليد الآلي للغة، والاسترجاع الآلي للمعلومات، والتعلم عن بعد، والتعلم الإلكتروني، والنشر الإلكتروني.

E-mail: alnajem@kuc01.kuniv.edu.kw