CS441/CS241 Automata Theory and Formal Languages

ربيع 2024

د. عدنان محمود عبدالله الشريف

adnan.sherif@uot.edu.ly

1

الاوتومات المنتهية (Finite Automata)

- درسنا في الأسبوع الماضي اللغات وتم تعريفها كالتالي:
- هي مجموعة السلاسل المختارة من المجموعة Σ^* والمتكونه من الابجدية Σ ونرمز لها بالرمز (L) بحيث $L \subseteq \Sigma^*$. يتم وصف اللغة بتحديد شروط تكوين السلاسل التي تنتمي الى اللغة.

مثال: لتكن $\Sigma = \{a,b\}$ أبجدية واللغة L تحتوي على كلمات تنتهي بالرمز a عليه:

$$L = \{a, aa, ba, aaa, bba, aba, baa, \dots\}$$

يمكن كذلك وصف اللغة باستخدام وصف المجموعات والعمليات عل السلاسل.

مثال: لتكن $\Sigma = \{a,b\}$ أبجدية واللغة L تحتوى على كلمات ab سلسلة جزئية منها

$$L = \{x \cdot ab \cdot y |\ x \in \Sigma^* \wedge y \in \Sigma^*\}$$

2

الاوتومات المنتهية (Finite Automata)

- تستخدم الاوتومات المنتهية لتحديد ما إذا كانت سلسلة معينة تنتمي اللغة
- أنواع الاوتومات المنتهية:

1. الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata - DFA)
2. الاوتومات المنتهية اللاحتمية (Non-Deterministic Finite Automata -NFA)
3. الاوتومات المنتهية اللاحتمية مع ε حركة (Non-Deterministic Finite Automata with ε transition –NFA-ε)

كل أنواع الاوتومات تستخدم لنفس الغرض وتختلف في طريقة عملها وتعريفها وعدد الحالات التي تستخدمها.

3

الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

- يعرف الاوتومات المنتهية الحتمية بالخماسية:

$$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$$

ملاحظة : تعرف هذه الاوتومات بالحتمية لان لكل رمز حافة واحدة من حالة الى اخرى

حيث :

- Q مجموعة منتهية من الحالات وهي مجموعة غير خالية
- Σ الابجدية المستهدفة
- q_0 الحالة الابتدائية ويجب ان تكون أحد عناصر Q يعني $q_0 \in Q$
- F هي مجموعة الحالات النهائية (حالات القبول) وتكون $F \subseteq Q$
- δ دالة التتابع لاوتومات حيث يتم وصفها

$$\delta: (Q \times \Sigma) \rightarrow Q$$

حيث $\delta(q,a) = q'$

يعني عندما تكون الاوتومات في الحالة q وتم إدخال a الحالة الجديدة التي تنتقل لها الاوتومات هي q'

ملاحظة : يجب تعريف الدالة لكل قيم المجال

4

الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

مثال1:

قم بإنشاء اوتومات منتهية حتمية لتعرف على سلاسل اللغة L المبنية على الابجدية $\Sigma = \{a,b\}$ واللغة L معرفة كالتالي :

$$L = \{x \cdot ab \cdot y |\ x \in \Sigma^* \wedge y \in \Sigma^*\}$$

الحل:

نلاحظ ان هذه اللغة لديها عدد لانهائي من السلاسل وهي كل السلاسل التي تحتوي على ab أي ان

$$L = \{ab, aab, bab, aba, abb, bab, aaba, baba, aabb, \dots\}$$

لنقوم بتحليل الحالات التي نمر بها للتعرف على سلسلة من اللغة L

1. لم يتم إدخال أي رمز بعد او الرمز المدخل ليس a ونرمز لها بالحالة q0 وهي بداية الاوتومات
2. لم يتعرف بعد على السلسلة الجزئية ab ولكن اخر ادخال كان a ونرمز لها بالحالة q1
3. تعرف على ab وفي هذه الحالة يمكن قبول أي عدد من الرموز حيث الشرط تحقق وبذلك تكون هذه حالة القبول او الحالة النهائية للاوتومات ونرمز لها بالحالة q_2.

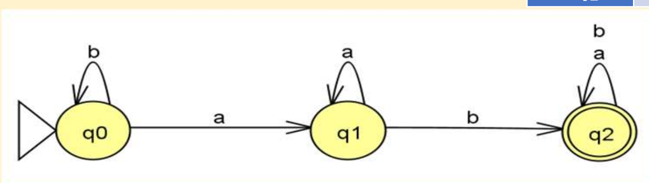
الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

مثال 1 (تابع): يمكن كتابة الاوتومات على شكل الخماسية التالية

$$A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F) = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{a, b\}, \delta, q_0, \{q_2\})$$

حيث يمكن تعريف الدالة δ بالجدول التالي:

	δ	a	b
لم يتم إدخال أي رمز بعد او الرمز المدخل ليس a	$\rightarrow q_0$	q_1	q_0
لم يتعرف بعد على السلسلة الجزئية ab ولكن اخر ادخال كان a	q_1	q_1	q_2
تعرف على ab وفي هذه الحالة يمكن قبول أي عدد من الرموز حيث الشرط تحقق	$* q_2$	q_2	q_2



الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

مثال2:

قم بإنشاء اوتومات منتهية حتمية لتعرف على سلاسل اللغة L المبنية على الابجدية $\Sigma = \{a,b\}$ واللغة L معرفة كالتالي :

$$L = \{x \cdot aa |\, x \in \Sigma^*\}$$

الحل:

نلاحظ ان هذه اللغة لديها عدد لانهائي من السلاسل وهي كل السلاسل التي تنتهي بـ aa

أي ان

$$L = \{aa, aaa, baa, aaaa, abaa, baaa, bbaa \dots\}$$

لنقوم بتحليل الحالات التي نتمر بها للتعرف على سلسلة من اللغة L

1. لم يتم إدخال أي رمز بعد او الرمز المدخل ليس a ونرمز لها بالحالة q0 وهي بداية الاوتومات
2. لم يتعرف بعد على السلسلة aa ولكن اخر ادخال كان a ونرمز لها بالحالة q1
3. تعرف على aa وفي هذه الحالة لو انتهت السلسلة يمكن قبولها وبذلك تكون هذه حالة القبول او الحالة النهائية للاوتومات ونرمز لها بالحالة q_2.

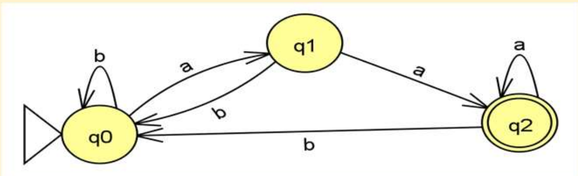
الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

مثال (تابع): يمكن كتابة الاوتومات على شكل الخماسية التالية

$$A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F) = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{a, b\}, \delta, q_0, \{q_2\})$$

حيث يمكن تعريف الدالة δ بالجدول التالي:

	δ	a	b
لم يتم إدخال أي رمز بعد او الرمز المدخل ليس a	$\rightarrow q_0$	q_1	q_0
لم يتعرف بعد على السلسلة الجزئية aa ولكن اخر ادخال كان a	q_1	q_2	q_0
تعرف على aa وفي هذه الحالة يمكن قبول السلسلة في حال عدم وجود رموز أخرى	$* q_2$	q_2	q_0



الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

مثال3:

قم بإنشاء اوتومات منتهية حتمية لتعرف على سلاسل اللغة L المبنية على الابجدية $\Sigma = \{a,b\}$ واللغة L معرفة كالتالي :

$$L = \{ab \cdot x |\ x \in \Sigma^*\}$$

الحل:

نلاحظ ان هذه اللغة لديها عدد لانهائي من السلاسل وهي كل السلاسل التي تبداء بـ ab أي ان

$$L = \{ab, aba, abb, abaa, abab, abba, abbb \dots\}$$

لنقوم بتحليل الحالات التي نمر بها للتعرف على سلسلة من اللغة L

1. لم يتم إدخال أي رمز بعد او الرمز المدخل ليس a ونرمز لها بالحالة q_0 وهي بداية الاوتومات
2. لم يتعرف بعد على السلسلة ab ولكن اخر ادخال كان a ونرمز لها بالحالة q_1
3. تعرف على ab وفي هذه الحالة يمكن قبول أي رمز حيث تحقق الشرط وبذلك تكون هذه حالة القبول للاوتومات ونرمز لها بالحالة q_2.
4. نحتاج الى حالة إضافية وهي في حال السلسلة لم تبدأ بـ a او ab وتعرف هذه الحالة الخاصة بحالة الرفض او الموت (Death State) ولنرمز لها بالرمز q_3.

الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

مثال3 (تابع): يمكن كتابة الاوتومات على شكل الخماسية التالية

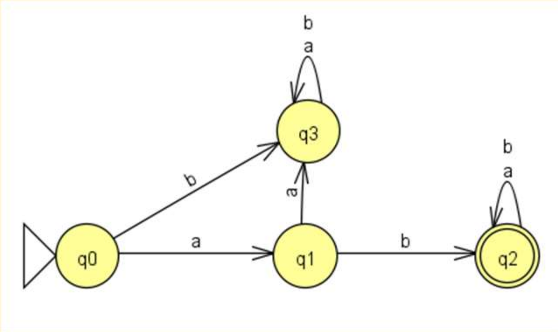
$$A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F) = (\{q_0, q_1, q_2, q_3\}, \{a, b\}, \delta, q_0, \{q_2\})$$

حيث يمكن تعريف الدالة δ بالجدول التالي:

	δ	a	b
لم يتم إدخال أي رمز بعد	$\rightarrow q_0$	q_1	q_3
لم يتعرف بعد على السلسلة الجزئية ab ولكن اول ادخال كان a	q_1	q_3	q_2
تعرف على ab وفي هذه الحالة يمكن قبول السلسلة بغض النظر عن الرموز التي تليها	$* q_2$	q_2	q_2
الحالة الأخيرة تمثل حالة الرفض (Death state) ولاحظ ان لا يمكن الانتقال من هذه الحالة الى اخرى	q_3	q_3	q_3

الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

مثال3 (تابع):



11

الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

تمرين للمشاركة: قم بإنشاء اوتوماتا منتهية حتمية لتعرف على سلاسل اللغة L المبنية على الابجدية $\Sigma=\{a,b\}$ واللغة L تحتوي على سلاسل فيها عدد زوجي من الرمز a و/او عدد زوجي من الرمز b.

توضيح: على سبيل المثال السلاسل التالية تتبع اللغة L

aa, bb, aabb, bbaa, abab, baba

12

الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

نلاحظ بعض الخصائص في الأمثلة السابقة:

1. لا توجد ذاكرة لحفظ المدخلات السابقة والرجوع اليها عند معالجة المدخلات الجديدة، تعتمد الاوتومات على الحالة للتنقل وقبول او رفض المدخلات
2. استخدام δ كدالة يحتم علينا إعطاء حافة لكل رموز الابجدية حتى ولو لم تكن لها تأثير على النتيجة.

الاوتومات المنتهية الحتمية (Deterministic Finite Automata – DFA)

يمكن تعريف دالة $\hat{\delta}$ باستخدام الدالة δ وتكون الدالة الجديدة $\hat{\delta}$ تأخذ الحالة q وسلسلة w وترجع الحالة التي تصل اليها الاوتومات ويمكن استخدام هذه الدالة للتعرف ما إذا كانت السلسلة w مقبولة او مرفوضة ويتم تعريفها بالتكرار كالتالي:

1. في حال ان w سلسلة فارغة ε أي $w = \varepsilon$
$$\hat{\delta}(q, \varepsilon) = q$$
2. الحالة التي تكون السلسلة w تتكون من سلسلة u وهي سلسلة بادئة للسلسلة w و a اخر رمز في السلسلة w . ونعرف الدالة $\hat{\delta}$ كالتالي:
$$\hat{\delta}(q, w) = \delta(\hat{\delta}(q, u), \mathrm{a})$$

في حالة $\hat{\delta}(q,w) \in F$ يدل على ان السلسلة w مقبولة اما غير ذلك فهي مرفوضة.

الاوتومات المنتهية الحتمي (Deterministic Finite Automata – DFA)

مثال 4: بين إذا كانت السلسلة w=aabbb تنتمي الى اللغة L في المثال رقم 1.

الحل: من المثال رقم 1 الدالة δ معرفة بالجدول التالي

δ	a	b
$\rightarrow q_0$	q_1	q_0
q_1	q_1	q_2
$* q_2$	q_2	q_2

$$\hat{\delta}(q_0, aabbb) = \delta(\hat{\delta}(q_0, aabb), b) = \delta(q_2, b) = q_2$$
$$\hat{\delta}(q_0, aabb) = \delta(\hat{\delta}(q_0, aab), b) = \delta(q_2, b) = q_2$$
$$\hat{\delta}(q_0, aab) = \delta(\hat{\delta}(q_0, aa), b) = \delta(q_1, b) = q_2$$
$$\hat{\delta}(q_0, aa) = \delta(\hat{\delta}(q_0, a), a) = \delta(q_1, a) = q_1$$
$$\hat{\delta}(q_0, a) = \delta(\hat{\delta}(q_0, \varepsilon), a) = \delta(q_0, a) = q_1$$
$$\hat{\delta}(q_0, \varepsilon) = q_0$$

الإجابة نعم حيث ناتج $\hat{\delta}(q_0,aabbb) = q_2$ والحالة q_2 تنتمي الى مجموعة حالات القبول F

15

الاوتومات المنتهية اللاحتمية (Nondeterministic Finite Automata – NFA)

- يعرف الاوتومات المنتهية اللاحتمية بالخماسية:

$$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$$

ملاحظة : تعرف هذه الاوتومات باللاحتمية لان يمكن ان نجد لرمز اكثر من حافة واحدة من حالة حالات اخرى

حيث :

- Q مجموعة منتهية من الحالات و هي مجموعة غير خالية
- Σ الابجدية المستهدفة
- q_0 الحالة الابتدائية ويجب ان تكون أحد عناصر Q يعني $q_0 \in Q$
- F هي مجموعة الحالات النهائية (حالات القبول) وتكون $F \subseteq Q$
- δ دالة التتابع لاوتومات حيث يتم وصفها

$$\delta: (Q \times \Sigma) \rightarrow \mathcal{P}(Q)$$

حيث $\delta(q,a) = \{q', q''\}$ يعني عندما تكون الاوتومات في الحالة q وتم إدخال a تنتقل الاوتومات الى الحالتين q', q''

و $\delta(q,a) = \emptyset$ في حال لا توجد حركة من حالة الى اخرى عندما تكون الاوتومات في الحالة q وتم إدخال a.

16

الاوتومات المنتهية اللاحتمية (Nondeterministic Finite Automata – NFA)

مثال5:

قم بإنشاء اوتومات منتهية لاحتمية لتعرف على سلاسل اللغة L المبنية على الابجدية $\Sigma = \{a,b\}$ واللغة L معرفة كالتالي :

$$L = \{x \cdot ab \cdot y |\ x \in \Sigma^* \wedge y \in \Sigma^*\}$$

الحل:

نلاحظ ان هذه اللغة لديها عدد لانهائي من السلاسل وهي كل السلاسل التي تحتوي على ab أي ان

$$L = \{ab, aab, bab, aba, abb, bab, aaba, baba, aabb, \dots\}$$

لنقوم بتحليل الحالات التي نمر بها للتعرف على سلسلة من اللغة L

1. يمكن قبول أي رمز ونرمز لها بالحالة q0 وهي بداية الاوتومات
2. لم يتعرف بعد على السلسلة الجزئية ab ولكن اخر ادخال كان a ونرمز لها بالحالة q1
3. تعرف على ab وفي هذه الحالة يمكن قبول أي عدد من الرموز حيث الشرط تحقق وبذلك تكون هذه حالة القبول او الحالة النهائية للاوتومات ونرمز لها بالحالة q_2.

17

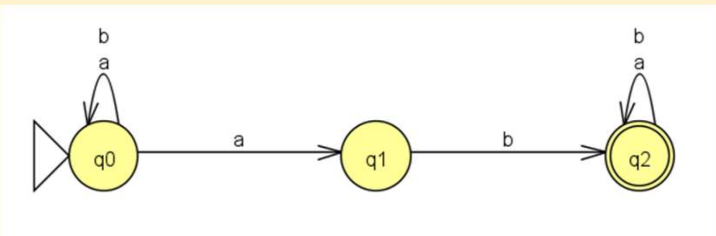
الاوتومات المنتهية اللاحتمية (Nondeterministic Finite Automata – NFA)

مثال 5 (تابع): يمكن كتابة الاوتومات على شكل الخماسية التالية

$$A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F) = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{a, b\}, \delta, q_0, \{q_2\})$$

حيث يمكن تعريف الدالة δ بالجدول التالي:

δ	a	b
$\rightarrow q_0$	$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0\}$
q_1	$\emptyset$	$\{q_2\}$
$* q_2$	$\{q_2\}$	$\{q_2\}$



18

الاوتومات المنتهية اللاحتمية (Nondeterministic Finite Automata – NFA)

مثال6:

قم بإنشاء اوتومات منتهية لاحتمية لتعرف على سلاسل اللغة L المبنية على الابجدية $\Sigma = \{a,b\}$ واللغة L معرفة كالتالي :

$$L = \{x \cdot aa |\ x \in \Sigma^*\}$$

الحل:

نلاحظ ان هذه اللغة لديها عدد لانهائي من السلاسل وهي كل السلاسل التي تنتهي بـ aa أي ان

$$L = \{aa, aaa, baa, aaaa, abaa, baaa, bbaa \ldots\}$$

لنقوم بتحليل الحالات التي نتمر بها للتعرف على سلسلة من اللغة L

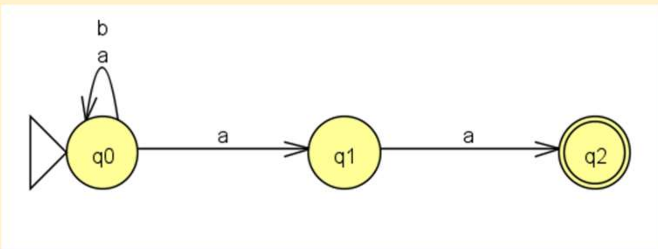
1. لم يتم إدخال أي رمز ويمكن قبول أي رمز ونرمز لها بالحالة q0 وهي بداية الاوتومات
2. لم يتعرف بعد على السلسلة aa ولكن اخر ادخال كان a ونرمز لها بالحالة q1
3. تعرف على aa وفي هذه الحالة لو انتهت السلسلة يمكن قبولها وبذلك تكون هذه حالة القبول او الحالة النهائية للاوتومات ونرمز لها بالحالة q_2.

الاوتومات المنتهية الاحتمية (Nondeterministic Finite Automata – NFA)

مثال 6 (تابع): يمكن كتابة الاوتومات على شكل الخماسية التالية

$$A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F) = (\{q_0, q_1, q_2\}, \{a, b\}, \delta, q_0, \{q_2\})$$

حيث يمكن تعريف الدالة δ بالجدول التالي:



δ	a	b
$\rightarrow q_0$	$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0\}$
q_1	$\{q_2\}$	$\emptyset$
$* q_2$	$\emptyset$	$\emptyset$

الاوتومات المنتهية اللاحتمية (Nondeterministic Finite Automata – NFA)

مثال7:

قم بإنشاء اوتومات منتهية حتمية لتعرف على سلاسل اللغة L المبنية على الابجدية $\Sigma = \{a,b\}$ واللغة L معرفة كالتالي :

$$L = \{ab \cdot x |\, x \in \Sigma^*\}$$

الحل:

نلاحظ ان هذه اللغة لديها عدد لانهائي من السلاسل وهي كل السلاسل التي تبداء بـ ab

أي ان

$$L = \{ab, aba, abb, abaa, abab, abba, abbb \ldots\}$$

لنقوم بتحليل الحالات التي نمر بها للتعرف على سلسلة من اللغة L

1. لم يتم إدخال أي رمز بعد او الرمز المدخل ليس a ونرمز لها بالحالة q_0 وهي بداية الاوتومات
2. لم يتعرف بعد على السلسلة ab ولكن اخر ادخال كان a ونرمز لها بالحالة q_1
3. تعرف على ab وفي هذه الحالة لو انتهت السلسلة يمكن قبولها وبذلك تكون هذه حالة القبول او الحالة النهائية للاوتومات ونرمز لها بالحالة q_2.

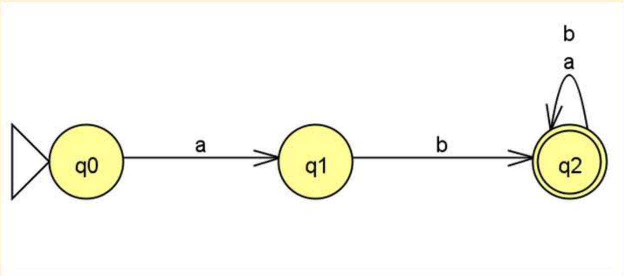
الاوتومات المنتهية اللاحتمية (Nondeterministic Finite Automata – NFA)

مثال7 (تابع): يمكن كتابة الاوتومات على شكل الخماسية التالية

$$A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F) = (\{q_0, q_1, q_2, q_3\}, \{a, b\}, \delta, q_0, \{q_2\})$$

حيث يمكن تعريف الدالة δ بالجدول التالي:

δ	a	b
$\rightarrow q_0$	$\{q_1\}$	$\emptyset$
q_1	$\emptyset$	$\{q_2\}$
$* \, q_2$	$\{q_2\}$	$\{q_2\}$



الاوتومات المنتهية اللاحتمية (Nondeterministic Finite Automata – NFA)

يمكن تعريف دالة $\hat{\delta}$ باستخدام الدالة δ وتكون الدالة الجديدة $\hat{\delta}$ تأخذ الحالة q وسلسلة w وترجع الحالة التي تصل اليها الاوتومات ويمكن استخدام هذه الدالة للتعرف ما إذا كانت السلسلة w مقبولة او مرفوضة ويتم تعريفها بالتكرار كالتالي:

1. في حال ان w سلسلة فارغة ε أي $w = \varepsilon$

$$\hat{\delta}(q, \varepsilon) = q$$

2. الحالة التي تكون السلسلة w تتكون من سلسلة u وهي سلسلة بادئة للسلسلة w و a اخر رمز في السلسلة w . ونعرف الدالة $\hat{\delta}$ كالتالي:

أولا نفرض ان $\hat{\delta}(q,u) = \{p_1,p_2,p_3, \dots p_k\}$

$$\hat{\delta}(q, w) = \bigcup_{i=1}^{k} \delta(p_i, \mathrm{a})$$

في حالة $\hat{\delta}(q,w) \cap F \neq \emptyset$ يدل على ان السلسلة w مقبولة اما غير ذلك فهي مرفوضة.

23

الاوتومات المنتهية الحتمي (Deterministic Finite Automata – DFA)

مثال 8: بين إذا كانت السلسلة w=aabbb تنتمي الى اللغة L في المثال رقم 5.

الحل: من المثال رقم 1 الدالة δ معرفة بالجدول التالي

δ	a	b
$\rightarrow q_0$	$\{q_0, q_1\}$	$\{q_0\}$
q_1	$\emptyset$	$\{q_2\}$
$* q_2$	$\{q_2\}$	$\{q_2\}$

$$\hat{\delta}(q_0, aabbb) = \delta(\hat{\delta}(q_0, aabb), b) = \delta(q_0, b) \cup \delta(q_2, b) = \{q_0, q_2\}$$
$$\hat{\delta}(q_0, aabb) = \delta(\hat{\delta}(q_0, aab), b) = \delta(q_0, b) \cup \delta(q_2, b) = \{q_0, q_2\}$$
$$\hat{\delta}(q_0, aab) = \delta(\hat{\delta}(q_0, aa), b) = \delta(q_0, b) \cup \delta(q_1, b) = \{q_0, q_2\}$$
$$\hat{\delta}(q_0, aa) = \delta(\hat{\delta}(q_0, a), a) = \delta(q_0, a) \cup \delta(q_1, a) = \{q_0, q_1\}$$
$$\hat{\delta}(q_0, a) = \delta(\hat{\delta}(q_0, \varepsilon), a) = \delta(q_0, a) = \{q_0, q_1\}$$
$$\hat{\delta}(q_0, \varepsilon) = \{q_0\}$$

الإجابة نعم حيث ناتج $\hat{\delta}(q_0,aabbb) \cap F = \{q_2\}$

24

تمارين مراجعة

1. الجداول التالية تمثل دالة التعاقب للاوتومات اجب عن التالي:
   - أ- صف مكونات الخماسية (Q,Σ,δ,q_0,F) وحدد قيمة كل عنصر منها.
   - ب- ارسم الاوتومات لكل جدول وبين نوعها
   - ج- باستخدام الفئات (المجموعات) بين وصف اللغة التي تقبلها الاوتومات

δ	a	b
$\rightarrow q_0$	q_0	q_1
$* q_1$	q_1	q_0

الجدول رقم 1

δ	0	1
$\rightarrow q_0$	$\emptyset$	$\{q_1\}$
$* q_1$	$\emptyset$	$\{q_2\}$
$* q_2$	$\{q_2\}$	$\{q_2\}$

الجدول رقم 2

δ	a	b	c
$\rightarrow q_0$	q_0	q_1	q_2
q_1	q_1	q_3	q_2
q_2	q_2	q_2	q_2
$* q_3$	q_3	q_3	q_2

الجدول رقم 3

تمارين مراجعة

2. قم بإنشاء اوتومات منتهية حتمية (DFA) للتعرف على سلاسل اللغات التالية على الابجدية $\Sigma = \{0,1\}$:
   - أ- السلاسل التي تنتهي بـ00.
   - ب- السلاسل التي تحتوي على 111 في أي موقع من السلسلة.
   - ج- السلاسل التي تمثل الأرقام الثنائية بطول 3.
   - د- السلاسل التي تنتج عن التعبير $(101)^*$.
   - هـ- السلاسل التي بها عدد فردي من الرمز 0 او عدد فردي من الرمز 1 او كلاهما.
3. باستخدام دالة التعاقب التي تم تعريفها في التمرين 2 والدالة $\hat{\delta}$ بين الى أي لغة تنتمي السلاسل التالية:

أ- 0100100 ب- 101101101 ج- 101 د- 01011110 هـ- 000

و- ε ز- 111

تمارين مراجعة

4. باستخدام الاوتومات المنتهية اللاحتمية (NFA) اجب مرة أخرى على التمرين رقم 2 و3.