

مبادئ عامة

(١,١) إجراءات العمل في المختبر

كما هو معلوم أن المختبر الكيميائي مكان يحتوي على الكثير من المواد الخطرة والأدوات التي يجب الحرص عليها عند التعامل معها ويوجد بالمختبر ملصقات عديدة خاصة بإجراءات السلامة يجب اتباعها عند دخول المختبر والعمل فيه. كما يوجد في المختبر أدوات مكافحة الحريق والإسعافات الأولية يجب عدم العبث بها بل يجب تعلم كيفية استخدامها استخداماً أمثل قبل العمل في المختبر وللأهمية يجب على كل طالب يدخل المختبر التقيد بما يلي :

- ١- ارتداء الملابس الملائمة المنصوص عليها وعدم ارتداء الشماع والغتر أو ثوب واسع أو نعل غير مغطى ويلبس فوق الزي الوطني المجاز من قبل الإدارة بالطول أبيض طويل .
- ٢- استعمال نظارة مضادة للكيمائيات وقفازات ضد الكيمائيات .
- ٣- الامتناع التام عن الأكل والشرب داخل المختبر .
- ٤- عدم العبث بصنابير المياه أو الغازات وعدم تركها مفتوحة بعد الاستعمال .
- ٥- عدم ترك المخلفات حول الموازين أو الطاولات والتخلص منها تخلصاً آمناً حسب نوعها .

- ٦- عدم العبث مع الزملاء ورميهم بالكيمائيات وعدم تعرضهم للخطر أثناء التسخين.
- ٧- عدم شم وتذوق الكيمائيات أو سحب أي منها بالماصة .
- ٨- التأكد التام من الكيمائيات قبل الاستخدام وقراءة الملصقات قراءة جيدة ومراعاة علامات الخطر الموجودة عليها .
- ٩- استشارة الأستاذ المشرف على المختبر في حالة الشك في أي مادة .
- ١٠- الحضور للمختبر في الموعد المحدد حسب الجدول.

(١, ٢) حسابات كيميائية

تعتمد الكيمياء على كثير من العمليات الحسابية التي تعتبر معضلة أمام الكثير من الطلاب وذلك لأسباب عدة منها ضعف الطالب في المراحل الأولية في مادة الرياضيات أو ضعف في فهم المصطلحات الرياضية وكذلك اعتقاد الطالب بأن القيم التي توصل إليها صحيحة وتحقيق الهدف مباشرة دون مراعاة للأخطاء الشخصية وأخطاء الجهاز أو الوسيلة المستخدمة وكذلك إهمال الطالب للمعلومات والمفاهيم الأساسية التي تعتبر مفتاحاً لفهم الطالب وكذلك عدم قدرة الطالب على استخدام التقنيات الحديثة مثل الآلة الحاسبة العلمية وبعض الطلاب لديهم لامبالاة، يريد الوصول للنتائج دون الفهم اختصاراً للزمن .

لذلك لا بد من التوضيح لبعض المصطلحات الكيميائية وطريقة حسابها .

(١, ٢, ١) تحضير المحاليل القياسية

تختلف المحاليل عن بعضها بكمية المادة المذابة فيها ، ويمكن التعبير عن ذلك بوحدات الوزن أو الحجم وهناك عدة طرق للتعبير عن تركيز المحاليل منها المولارية Molarity والعيارية Normality والجرام /لتر والجزء من المليون (ppm) parts per million ولتحضير محلول قياسي يجب معرفة الحجم المطلوب وليس من الصعب تحضير المحاليل

القياسية فيما إذا كانت المادة المراد تحضيرها صلبة حيث يستخدم ميزان حساس أما إذا كانت العينة سائلة كأحد الحموض المعدنية مثلا ، فإن العملية تصبح أكثر صعوبة باستخدام الميزان الحساس ؛ لأنه لا ينصح بوزن الحموض المركزة على الميزان مما يؤدي إلى تلفه ولهذا تقوم بأخذ حجم محدد ولذلك يجب معرفة كثافة الحمض ونسبته المئوية الوزنية وبحسب الحجم من العلاقة :

$$V = \frac{w.100}{C.d}$$

حيث w : الوزن

C : النسبة المئوية الوزنية للحمض

d : كثافة الحمض

كل هذه المعلومات تكون مدرجة على العبوة من قبل الشركة المصنعة .

يعتبر هذا القانون مباشر ولكن يجب إيجاد الوزن المطلوب من العلاقة :

الوزن = (عدد المولات \times الوزن الجزيئي) في حالة المولارية أو (الوزن المكافئ) في حالة العيارية .

مثال :

احسب حجم حمض الكبريتيك H_2SO_4 المركز اللازم لتحضير لتر من محلول حمض الكبريتيك $0.1N$ علما بأن كثافة الحمض تساوي $1.835g/cm^3$ ونسبته المئوية الوزنية % 95.72 .

كمية الحمض الواجب أخذها هي $49 \times 0.1 = 4.9g$

$$V = \frac{4.9 \times 100}{1.835 \times 95.72} = 2.8ml = \text{إذاً حجم الحمض}$$

(١,٢,١,١) تحضير محلول بالمولارية

تعبر المولارية عن عدد المولات المذابة في لتر واحد من المحلول وحسب حالة المادة (صلبة أو سائلة) المستعملة نقوم بتطبيق القانون .

(أ) تحضير محلول مولاري من مادة صلبة

$$W = \text{Molarity} \times MW \times \frac{V_{ml}}{1000}$$

حيث w : الوزن

MW : الوزن الجزيئي

V : الحجم المطلوب

مثال (١) :

احسب الوزن اللازم لتحضير محلول من كلوريد البوتاسيوم تركيزه $0.1M$ وحجمه $100ml$.

$$W = 0.1 \times 74.55 \times \frac{100}{1000} = 0.75g$$

(ب) تحضير محلول مولاري من مادة سائلة

أولا يجب تحويل المحلول المركز إلى تركيز مولاري من العلاقة :

$$\text{Molarity} = \frac{\% \times d \times 10}{MW}$$

MW : الوزن الجزيئي .

d : كثافة المحلول المركز .

% : تركيز المحلول المركز بالنسب المئوية .

ثم بعد ذلك نطبق قانون التخفيف $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$.

C_1 : التركيز المولاري للمحلول المركز .

C_2 : التركيز المولاري للمحلول المطلوب تحضيره .

V_1 : حجم المحلول المركز بالمليتر .

V_2 : حجم المحلول المطلوب تحضيره بالمليتر .

مثال (٢) :

احسب الحجم اللازم لتحضير محلول من حمض الهيدروكلوريك HCl تركيزه $2M$ وحجمه لتر علما بأن كثافة حمض الهيدروكلوريك تساوي $1.19g/cm^3$ وتركيزه يساوي 37% .

$$M = \frac{1.19 \times 37 \times 10}{36.45} = 12.1M$$

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1} = \frac{2 \times 1000}{12.1} = 165.29$$

ثم نعوض في قانون التخفيف

ملحوظة: نطبق نفس هذه القوانين في حالة العيارية ولكن مع تحويل الوزن الجزيئي إلى وزن مكافئ .

(١, ٢, ١, ٢) تحضير مادة بالجزء من المليون ppm

$$W = \frac{ppm}{1000} \times \frac{MW}{at.Wt \times no. of atoms} \times \frac{V_{ml}}{1000}$$

القانون العام لذلك

مثال (٣) :

احسب وزن كربونات الصوديوم Na_2CO_3 اللازم لتحضير محلول من الصوديوم تركيزه $1000ppm$ وحجمه لتر

$$W = \frac{1000}{1000} \times \frac{106}{2 \times 23} \times \frac{1000}{1000} = 2.3g$$

(١, ٢, ١, ٣) تحضير المخاليل بالنسبة المئوية

أنواع التركيز بالنسبة المئوية هي :

أ) النسبة الحجمية $(V/V)\%$ وهي عدد المثلثرات المذابة Volume of solute في 100ml من الحجم الكلي

$$\%(V / V) = \frac{\text{volume of solute}}{\text{volume of solution}} \times 100$$

ب) النسبة المئوية الوزنية $(W/V)\%$ وهي تعبر عن عدد الجرامات من المذاب في 100ml من المحلول

$$\%(W / V) = \frac{\text{volume of solute}(g)}{\text{volume of solution}} \times 100$$

ج) النسبة المئوية الوزنية $(w / w)\%$ أو $(m / m)\%$ وهي عدد الجرامات المذابة من المذيب في 100ml من حجم المحلول الكلي

$$\%(W / W) = \frac{\text{wieght of solute}(g)}{\text{mass of total solution}} \times 100$$

مثال (١) :

احسب الحجم اللازم من الأسيتون لتحضير محلول $(V/V)\%$ 10 وحجمه لتر

$$V = \frac{10 \times 1000}{100} = 100ml$$

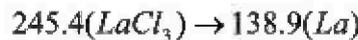
مثال (٢) :

احسب وزن كلوريد اللانثانوم $LaCl_3$ اللازم لتحضير لتر من محلول قياسي من

اللانثوم La تركيزه $1\% (w/v)$

التركيز 1% يعني إذابة 1g في 100ml

إذا في لتر نذيب 10g من اللانثوم



$$x \rightarrow 10g$$

$$x(LaCl_3) = 17.667g$$

مثال (٣)

أذيت 25g من كلوريد الصوديوم $NaCl$ في 100g من الماء . احسب تركيز المحلول بالنسبة % (w/w)

$$\%(w/w) = \frac{25g}{100 + 25} \times 100 = \%20$$

(١, ٢, ٢) المحاليل المنظمة

المحلول الممانع buffer solution هو المحلول الذي يتميز بمقاومته للتغيرات في الرقم الهيدروجيني pH الناتجة عن إضافة كميات صغيرة من حمض أو قاعدة ولا يتغير بالتخفيف يتكون المحلول الممانع من خليط من حمض ضعيف وأحد أملاحه ، أو قاعدة ضعيفة وأحد أملاحها وتستخدم المحاليل الممانعة أثناء تعيير جهاز الرقم الهيدروجيني pH_{meter} أو لتثبيت الرقم الهيدروجيني في معايرات التحليل الحجمي أو التحليل الوزني ويمكن شراء المحاليل الممانعة من الشركات أو تحضيرها في المختبر .

(١, ٢, ٣) طرق تحضير المحاليل المنظمة

١- اختر المركب المناسب بحيث تكون قيمة pK_a قريبة من قيمة ال pH المرغوب فيها .

٢- حدد التركيز والحجم الذي ترغب فيه

وهناك عدة طرق لتحضير المحاليل المنظمة :

(أ) استخدام معلومات المراجع .

(ب) حساب كمية المواد المكونة للمحلول الممانع وإذابتها في الحجم المناسب

من ماء مقطر ثم التأكد من الرقم الهيدروجيني مستخدما جهاز قياس ال pH_{meter}

ج) يمكن حساب الـ pH للمحلول المنظم عن طريق معادلة

Henderson-Hasselblalch .

أولاً في حالة تحضير محلول منظم من حمض ضعيف واحد أملاحه

$$pH = -\log K_a + \log \frac{[Salt]}{Acid}$$

علما بأن :

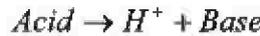
K_a : ثابت التفكك للحمض .

Acid : المادة المانحة للبروتون .

Base : المادة المستقبلة للبروتون.

حسب نظرية برونستد ولوري (Bronsted-Lowry) الحمض هو المادة المانحة

للبروتونات والقاعدة هي المادة المستقبلة لهذه البروتونات



(١, ٢, ٤) تحضير محلول منظم من قاعدة ضعيفة وأحد أملاحها

$$pH = (14 - pK_b + \log \frac{[salt]}{[base]})$$

$$pOH = pK_b + \log \frac{[Salt]}{[base]}$$

$$pH = 14 - pOH$$

علما بأن $pK_b = -\log K_b$

مثال

احسب الـ pH لمحلول منظم حضر بإضافة $10ml$ من حمض الخليك

CH_3COOH تركيزه $0.1M$ إلى $20ml$ من خلات الصوديوم CH_3COONa تركيزه

$0.1M$ (K_a لحمض الخليك : 1.75×10^{-5}) .

أولاً: نحسب تركيز كل من الحمض وملحه بعد مزج هذه المحاليل في الحجم

$$0.1 \times 10 = 1 \text{mmol} = \text{كمية حمض الخليك}$$

$$0.1 \times 20 = 2 \text{mmol} = (\text{CH}_3\text{COO}^-) \text{ عدد مليمولات ايون الخلات}$$

$$M_{\text{CH}_3\text{COOH}} = \frac{1}{30} = 0.033 \text{M}$$

$$M_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = \frac{2}{30} = 0.067 \text{M}$$

ثانياً: نحسب الـ pH :

$$pH = -\log_{10}(1.75 \times 10^{-5}) + \log_{10} \frac{0.067 \text{ M}}{0.033 \text{ M}}$$

$$pH = 4.76 + \log_{10} 2$$

$$pH = 5.06$$

(١,٣) خطوات التحليل

العمل المخبري التعليمي الطلابي في المعاهد والجامعات عمل بسيط وفي الغالب المطلوب هو تحليل عينة بسيطة تحتوي على عناصر بسيطة وكميات معقولة نسبياً ، لذلك العوامل التي تؤثر على التحليل بسيطة وقليلة جداً يمكن تلافيها أو تصحيحها أما المختبرات المتخصصة في المجالات الصناعية والزراعية والجنائية فتحتاج إلى عمليات معقدة وعلى عدة عناصر مما يستوجب الخبرة الكافية لذلك لا بد من إجراء بعض الخطوات التي تسبق عملية التحليل القياسية الأخيرة التي تمثل محصلة التحليل ولذلك لا بد من ذكر هذه الخطوات التي تسبق عملية التحليل :

١- اختيار طريقة التحليل

هذا يعتمد على كمية المادة المراد تحليلها فإذا كانت كمية المادة كبيرة فقد تستخدم طريقة التحليل الوزني أو الحجمي أي الطرق التقليدية أما إذا كانت الكمية بسيطة أو شوائب فإننا نلجأ إلى الطرق الآلية الحديثة التي لا تستخدم كواشف كيميائية مثل الامتصاص أو الانبعاث وغيرها .

٢- المصادقية المطلوبة

إذا كان التحليل يحتاج إلى مصادقية كبيره فيجب اعتماد الطريقة المناسبة حتى لو كان ذلك على حساب الزمن ؛ لأن العمل الدقيق يحتاج إلى زمن أطول ويكون أكثر تعقيدا .

٣- عدد العينات المراد تحليلها

تعتمد الطريقة على عدد العينات فلا بد من اختيار طريقة ذاتية قادرة على إنجاز ذلك في وقت مناسب.

٤- التداخلات

يجب اختيار الطريقة التي لا تتداخل فيها العينة مع الشوائب الموجودة فيها مع العنصر المراد تحليله .

٥- توفر الأجهزة والكواشف

يجب توفر الأجهزة والكواشف اللازمة والجدول رقم (١,١) يوضح مقارنة بين طرق التحليل المختلفة.

الجدول رقم (١،١). مقارنة بين طرق التحليل المختلفة .

الاستخدام الرئيسي	التكلفة	السرعة	الانتقائية	الذقة التحليلية	المدى التقريبي	الطريقة
غير عضوية	منخفضة	بطيئة	ضعيفة- متوسطة	0.1	10^{-2} - 10^{-1}	التحليل الوزني
غير عضوية و عضوية	منخفضة	متوسطة	ضعيفة متوسطة	0.1-0.2	10^{-1} - 10^0	التحليل الحجمي
غير عضوية	منخفضة	سريعة	جيدة	2	10^{-6} - 10^{-4}	الطرق الجهدية
غير عضوية وعضوية	متوسطة	بطيئة-متوسطة	متوسطة	0.01-2	10^{-4} - 10^{-6}	الطرق الإلكترونية
غير عضوية وعضوية	متوسطة	متوسطة	جيدة	2-5	10^{-1} - 10^{-3}	الفولتامترية
غير عضوية وعضوية	منخفضة - متوسطة	سريعة - متوسطة	جيدة - متوسطة	2	10^{-4} - 10^{-2}	الامتصاص الجزئي
عضوية	متوسطة	متوسطة	متوسطة	2-5	10^{-6} - 10^{-4}	التألق الجزئي
غير عضوية	متوسطة - عالية	سريعة	جيدة	2-10	10^{-9} - 10^{-3}	طرق الطيف الذرية
عضوية	متوسطة - عالية	سريعة - متوسطة	جيدة	2-5	10^{-9} - 10^{-3}	الطرق الكروماتوغرافية

(١,٤) أخذ العينة

من الصعب الحصول على عينة واحدة متجانسة للتحليل لأن أغلب العينات غير متجانسة التركيب فعند تحليل عينة دواء تؤخذ كبسولة للتحليل ولكن هذه الكبسولة أو القرص لا تمثل تركيب كل محتوى علبة الدواء ولكن هذا الأمر يختلف بالنسبة للسوائل ؛ لأنها أكثر تجانسا من المواد الصلبة ولهذا يسهل الحصول على عينة متجانسة من السوائل ولهذا فإن الحصول على عينة من الماد الصلبة تتضمن أخذ قطع وبشكل عشوائي ثم تجفف وتطحن في هاون للحصول على مسحوق متجانس يؤخذ منه العينة الممثلة بالقدر المطلوب حسب نوع وطريقة التحليل ، ويستبعد الباقي. وعلى الطالب الرجوع للمراجع التي تحتوي على كيفية جمع العينات ووقت جمعها وكيفية جمعها فمثلا عند تحليل الدم يجب أخذ العينة في الصباح قبل الإفطار أي قبل الأكل وتأثير المواد المهضومة على مستوى المواد الكيميائية في الدم.

أما الفلزات والخبثات تؤخذ العينات بواسطة الحفر على أعماق مختلفة ، أما المواد الغازية التي غالبا ما تكون متجانسة تمرر على محلول ماص مناسب حيث تذوب المواد المراد تحليلها في هذا المحلول وبعد ذلك يتم تحليلها بالطرق المناسبة .

(١,٥) تجفيف العينة

تحتوي العينة بعد جمعها على الماء في صورة مرتبط كيميائي (Hydrates) أو منحسب داخل البلورات أو الحبيبات أو عبارة عن رطوبة على السطح الخارجي للبلورات أو الحبيبات قد تصل نسبة الماء إلى 90% في العينات النباتية أما الفلزات فإن النسبة بسيطة لا تتعدى أجزاء قليلة من المليون ولكن لا بد من التخلص من الماء قبل التحليل وذلك للحصول على نتائج دقيقة ذات تكرارية جيدة ويمكن معرفة كمية الماء في العينة من مقارنة وزنها قبل وبعد التجفيف أو امتصاص بخار الماء أثناء التجفيف

بواسطة كلورات المغنيسيوم اللامائية حيث يمرر على العينة أثناء التجفيف غاز جاف ليحمل بخار الماء إلى المادة الماصة كما يمكن أن تستخدم طريقة كارل- فيشر لتقدير محتوى العينة من الماء.

(١, ٦) إذابة العينة

بعد تجفيف العينة ووزنها يجب إذابتها في المذيب المناسب ويجب أن يذوب العينة إذابة تامة ولا يتداخل في طريقة التحليل ويتم ذلك كالآتي:

١- الماء

كثير من المركبات العضوية والأملاح غير العضوية تذوب في الماء وفي بعض الحالات يلزم إضافة كمية صغيرة من حمض لمنع التحلل المائي أو الترسيب الجزئي لبعض الكاتيونات .

٢- المذيبات العضوية

مثل الكحولات والهيدروكربونات المحتوية على الكلور والكيونات وغيرها والتي تستخدم لإذابة المركبات العضوية .

٣- الأحماض المعدنية

معظم السبائك والفلزات والأكاسيد والكربونات والكبريتيدات وغيرها تذوب في الأحماض المعدنية المخففة أو المركزة مثل حمض النتريك أو الهيدروكلوريك أو الماء الملكي (3 هيدروكلوريك : 1 نيتريك) أو حمض الكبريتيك وفي بعض الحالات يستخدم حمض فوق الكلوريك (HClO_4) أو حمض الفسفوريك كما يستخدم الهيدروفلوريك بمفرده أو بعد خلطه بحمض آخر لإذابة الفلزات التي تكون مركباتها معقدة ذائبة في الوسط المائي.

٤- الصهر

إذا فشلت الطرق السابقة نلجأ إلى الصهر في بوتقة مع مادة ثابتة حرارياً ، وهذه قد تكون حمضية مثل بيروكبريتات البوتاسيوم أو قاعدية مثل كربونات الصوديوم أو مادة مؤكسدة مثل فوق أكسيد الصوديوم ، وبعد تبريد البوتقة نذيب المصهور المتجمد في محلول مائي من حمض مخفف وبالنسبة للأنسجة الحيوانية أو النباتية والسوائل الحيوية والمركبات العضوية غالباً ماتتفكك عند خلطها بحمض أو مخلوط من الحموض المؤكسدة وتسخينها إلى درجة الغليان حيث يؤكسد الحمض المركب العضوي إلى ثاني أكسيد الكربون وماء ونواتج أخرى متطايرة والتي يمكن التخلص منها ويتبقى الأملاح غير العضوية المراد تحليلها ، أو عن طريق حرقها عند درجات حرارة عالية (Dry Ashing) باستخدام الهواء الجوي أو الأكسجين كمؤكسد أو إضافة مادة مؤكسدة مساعدة حيث تحترق المواد العضوية تاركة الأملاح والمركبات غير العضوية ، ويتم ذلك إما في بوتقة أو في فرن أو في أتايب ضغط خاصة . وعند تعيين العناصر في المركبات العضوية يفضل استخدام طريقة دورق الأكسجين Oxygen flask method حيث يحرق المركب العضوي في جو من الأكسجين ، ثم تمتص نواتج الاحتراق غير العضوية في محلول امتصاص مناسب .

(١,٧) فصل المواد المتداخلة

من النادر وجود طريقة مثالية لفصل المادة تحت كل الظروف في وجود خليط منها ويمكن وصف بعض الطرق بأنها انتقائية selective بمعنى أنها تستجيب لعدد محدود من المواد ولكن تحت ظروف معينة يمكن جعلها تستجيب لمادة واحدة فقط. ولكن في

بعض الحالات لا يمكن تلافي التداخلات عن طريق التحكم في ظروف التجربة ، ولهذا لابد من اللجوء إلى عمليات فصل المواد المتوقع تداخلها والتي توجد كشوائب مع المادة المراد تحليلها وذلك قبل عملية التحليل. عن طريق عدة طرق منها التبادل الأيوني ، والطرق الكروماتوغرافية.

(١,٨) خطوات التحليل

بعد اختيار طريقة التحليل المناسبة وبعد فصل المواد المتداخلة المحتملة نقوم بالقياسات اللازمة .

(١,٩) كتابة التقرير

يجب أن يكون التقرير مرتب ويحتوي على :
تاريخ التجربة وعنوان التجربة ، المرجع الذي اعتمدت على التجربة ، اسم الجهاز ومواصفاته ، مبدأ التجربة .

(١,١٠) النتائج والحسابات

لابد من تدوين النتائج في جدول خاص حسب طبيعة التجربة وعند القياسات لابد من تكرار كل قياس ثلاث مرات على الأقل وتدوين النتائج حسب طبيعة العينة . فمثلا بالنسبة للعينات الصلبة نستخدم الأوزان لكل وحدة وزن (wt/wt) للتعبير عن التركيز ، بينما نستخدم غالبا بالنسبة للعينات السائلة عدد الأوزان لكل وحدة حجم (W/V).

الوحدة	اختصارها	W/W	W/V
Parts per million جزء من المليون	PPM	mg/kg $\mu g/g$	mg/l $\mu g/ml$
Parts per billion جزء من البليون	PPb	$\mu g/kg$ ng/g	$\mu g/l$ ng/ml

مجدان $1ng=10^{-9}g$ نانوجرام $1g=10^{-6}g$ ميكروجرام

من نتائج التحليل يمكن حساب كمية المادة الموجودة في العينة المحللة وكذلك حساب النسبة المئوية ويجب التقيد بالأرقام المعنوية وعند رسم المنحنيات في حالة وجود نقاط مبعثرة لاتقع في مستقيم واحد نلجأ إلى طريقة أدني المربعات (least square method) أفضل خط مستقيم).

(١,١١) مناقشة النتائج

هي إجابة على التساؤلات مثل هل طريقة التحليل سهلة أم معقدة ؟ هل نتائجها دقيقة أم لا ؟ هل استغرقت زمناً طويلاً أم سريعة ؟ هل يوجد تداخلات ؟ وهل يمكن تلافئها ؟ هل الطريقة حساسة ؟ هل يلزمها مواد كثيرة ؟ أو هل الطريقة مكلفة أم رخيصة ؟ هل هي أفضل طريقة أم هنالك طرق أخرى أفضل منها ؟ هل لديك اقتراح لتطوير هذه الطريقة .

أخيراً يجب أن يتضمن التقرير إجابات الأسئلة الموجودة في آخر كل تجربة .