جامعة حماه
كلية الهندسة الزراعية – السلمية

الجلسة العملية الثامنة

تقدير البوتاسيوم والصوديوم

Determination of potassium and Sodium

إعداد: د. حيدر الحسن، 2026

يعدّ البوتاسيوم من العناصر الأساسية الكبرى الهامة جداً بالنسبة للنبات، وتحتوي معظم الترب على نسبة مرتفعة منه يمكن أن تصل إلى حوالي 2% ، ويوجد هذا العنصر في بعض المعادن الأولية، والتي من أهمها الميكا Mica (كالبيوتيت Biotite والموسكوفيت Muscovite والفلدسبار Feldspath (كالأورثوكلاز Orthoclase والميكروكلين Microcline) ويعتبر الإيليت Ilite كمعدن ثانوي من أهم مصادر البوتاسيوم في التربة، وتشكل هذه المعادن حوالي 95 % - 90 من بوتاسيوم التربة، وهو غير صالح لإفادة النبات نسبياً حيث يتحرّر البوتاسيوم منها ببطء نتيجة عمليات التجوية.

يشكّل البوتاسيوم القابل للإفادة مباشرة في التربة Readily Available حوالي 1-2% من الكمية الإجمالية حيث يوجد في التربة إما بشكل ذائب (Soluble K)، أو متبادل (Exchangeble K)، ويمثل هذان الشكلان المصدر الأساسي لتغذية النبات، وهما موجودان بحالة توازن مع بعضهما، إذ يؤدي امتصاص النبات للبوتاسيوم من التربة إلى تحرر كميات من البوتاسيوم المتبادل للحفاظ على حالة التوازن.

تمتص بعض أنواع النباتات كميات مرتفعة نسبياً من البوتاسيوم في التربة كنبات الفصّة والبطاطا والذرة الصفراء والتبغ، بينما يقل الاحتياج النسبي من هذا العنصر بشكل عام في حال الأشجار المثمرة والحبوب والسبانخ، ويتم تقدير هذا العنصر في التربة بوساطة محلول 0.1 N من أسيتات الأمونيوم المتعادلة، ومن المحتمل أن تظهر أعراض نقص هذا العنصر على النباتات إذا انخفض تركيزه في التربة عن 100 ppm .

يسبب ارتفاع تركيز الصوديوم في التربة، سواء كان مدمصاً، أو متبادلاً، إلى ظهور أضرار كبيرة على النباتات، حيث يعمل على بعثرة التجمعات الحبيبية في التربة، ويؤدّي إلى انخفاض نفاذيتها للماء والهواء، وكذلك يلاحظ ارتفاع الـ PH، وهجرة الغرويات من الطبقة السطحية للتربة، وترسيبها في أفق ترسيب قلوي بشكل طبقات كتيمة غير نفوذه للماء، تحدّ من انتشار الجذور. وتعمل الظروف القلوية على ترسيب كل من الكالسيوم والمغنزيوم على شكل كربونات، كما تنخفض تحت هذه الظروف الإفادة النسبية من العناصر الصغرى.

يتم تقدير الصوديوم في التربة من أجل حساب النسبة المئوية للصوديوم المتبادل ESP، والتي يتم حسابها من العلاقة:

$$ESP = \frac{Na}{CEC} x100$$

حيث :

ESP- النسبة المئوية للصوديوم المتبادل Exchange Sodium Percentage

Na- عدد مليمكافئات الصوديوم المتبادل في 100غ تربة

CEC- سعة التبادل الكاتيوني Cation Exchange Capacity مقدرة بالميليمكافىء/ 100غ تربة.

وبتعيين الصوديوم وسعة التبادل الكاتيوني يمكن تقدير مايسمى نسبة، أو معدل ادمصاص الصوديوم SAR كما يلي:

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}$$

حيث :

SAR- نسبة ادمصاص الصوديوم Sodium Adsorption Ratio

Na^{+} , Ca^{+2} , Mg^{+2} - تراكيز الكاتيونات في لتر من محلول التربة .

وبما أن تقدير سعة التبادل الكاتيوني في الترب المالحة والقلوية يتطلب جهداً كبيراً، فإنه يمكن الاعتماد على حساب قيمة SAR لمستخلص العجينة المشبعة التي تربط مابين SAR وESP بالعلاقة التالية:

$$ESP = \frac{(0.01475 SAR - 0.0126)}{(0.01475 SAR - 0.0126)} .100$$

وبحل هذه العلاقة تصبح:

$$ESP = \frac{SAR - 58.4}{SAR - 66.9}$$

إن تصنيف الترب المالحة والقلوية يعتمد وبالإضافة إلى حساب الموصلية الكهربائية للأملاح، على معرفة النسبة المئوية للصوديوم المتبادل، كما أن حساب SAR، يعد من المؤشرات الهامة التي يتم اللجوء إليها عند وجود أملاح ذائبة بكميات كبيرة في التربة من أجل تشخيص القلوية. يؤدي ارتفاع ESP عن 15 إلى نشوء خطر القلوية في التربة.

3-5-1- طرائق تقدير البوتاسيوم والصوديوم :

1- طريقة التحليل باللهب (Flamephotometry) :

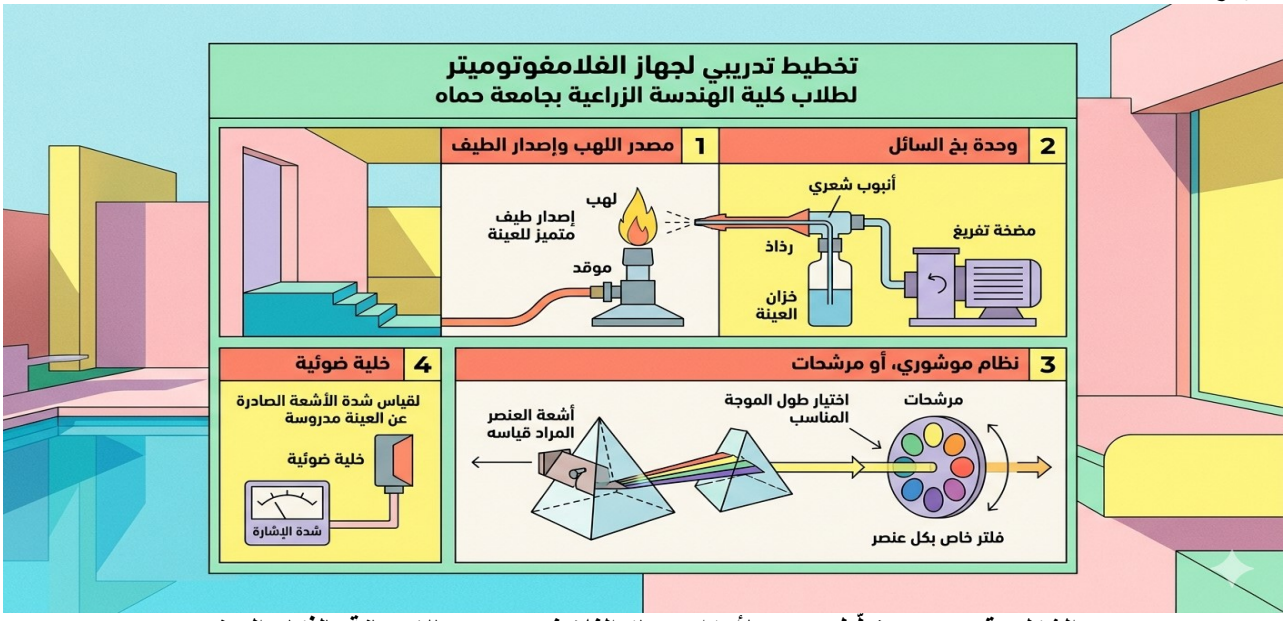
وهي إحدى طرائق تحليل الإرسال الطيفي Emission Spectroscopy التي تستخدم أنواعاً من اللهب ذات درجات حرارة منخفضة نسبياً، وبالتالي فإنّ عدداً قليلاً من العناصر يمكن تحديدها بهذه الطريقة، وهي تستخدم على نطاق واسع في أثناء تقدير العناصر القلوية والقلوية الترابية ، بسبب أن الكتروناتها السطحية قابلة للتهيج بسهولة بوجود مصدر ضعيف للطاقة كلهب البروبان، أو البوتان أو الغاز الطبيعي، ويمكن باستخدام مصدر طاقة ذات درجة حرارة عالية كلهب أوكسجين-أستيلين، أو تحت أوكسيد الآزوتي ـ أستيلين، تقدير عدد كبير من العناصر.

مبدأ الطريقة:

تعتمد طريقة التحليل باللهب على الاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق غازات اللهب في الحصول على ذرات حرة ، ثم تهييج هذه الذرات، حيث تمتص الكتروناتها التكافؤية الموجودة في المدارات الخارجية لذراتها، الطاقة المعرضة لها، فتنتقل من مستوى طاقة منخفض يدعى بالمستوى الأرضي، إلى مستوى طاقة أعلى يدعى بالمستوى المهيج، وعند اصطدام الإلكترونات المهيجة اصطداماً مرناً مع الذرات أو الجزيئات الموجودة في اللهب، فإنها تعود إلى مداراتها الأصلية (المستوى الأرضي)، وتعطي الطاقة التي اكتسبتها على شكل أشعة كهرطيسية صادرة (Electromagnetic Radiation) ذات أطوال موجات مميزة لكل عنصر . إن شدة الأشعة الصادرة الخاصة بكل عنصر تتناسب طرداً مع تركيزه في المحلول، وبمقارنة شدة الإصدار الطيفي للعنصر في العينة مع شدة الإصدار التي تعطيها محاليل قياسية له (وذلك بعد رسم الخط البياني الذي يوضّح العلاقة بين القراءة والتركيز)، يصبح بالإمكان الحصول على تقدير كمّي للعنصر في المحلول.

أقسام الجهاز الأساسية:

1- مصدر اللهب وإصدار الطيف.
2- وحدة بخ السائل: وتتألف من مضخة تفريغ ، والأجزاء التي تدفع السائل على شكل رذاذ إلى الحراق.
3- نظام موشوري ، أو مرشحات: حيث يسمح هذا النظام فقط للأشعة الصادرة عن العنصر المراد قياسه بالمرور إلى الخلية الضوئية ، وذلك عن طريق اختيار طول الموجة المناسب، أو الفلتر الخاص بكل عنصر .
4- خلية ضوئية: تستخدم لقياس شدة الأشعة الصادرة عن العينة المدروسة. والشكل التالي(شكل رقم 1) تخطيطي تدريبي لهذا الجهاز



الشكل رقم(1) : مخطّط تدريبي لأجزاء جهاز الفلامفوتوميتر (بالاستعانة بالذكاء الصنعي 2026)

الكواشف :

1- محلول صـوديوم (1000 ppm) : أذب 2.5419غ من كلوريد الصـوديوم المجففة عند درجة حرارة 105^oC لعدة سـاعات في ليتر من الماء المقطر .

2- محاليل صـوديوم قياسـية 0 - 50 ppm : ينقل من محلول الصـوديوم 1000ppm الحجوم التالية بالميليليتر : (5,4,3,2,1,0) إلى دوارق معيارية سعة 100 مل ، ثم يضاف إليها 25 مل محلول اليثيوم القياسي 100 ppm لجعل تركيز الليثيوم في المحلول مساوياً ppm 25 ، ثم يكمل الحجم بالماء المقطر، وتمزج جيداً ، فنحصل على محاليل قياسية للصوديوم تراكيزها بالـ ppm على التوالي : (30 , 40 , 50, 0, 10 , 20 ,)

3- محلول بوتاسـيوم (1000 ppm) : يذاب 1.9069غ بالضـبط من كلوريد البوتاسـيوم النقي ، والمجفف لمدة سـاعتين عند درجة 110^oCفي ليتر من الماء المقطر .

4- محاليل بوتاسـيوم قياسـية (100 ppm - 0) : تنقل الحجوم التالية من محلول البوتاسـيوم 1000 ppm بالميليتر على التوالي (10,8,6,4,2,0) إلى دوارق معيارية سعة 100 مل ، ثم يضاف إلى كل دورق 25 مل محلول ليثيوم(*) قياسي 100 ppm ، ثم يكمل الحجم بالماء المقطر، وتمزج جيداً ، فنحصل على تراكيز للمحاليل القياسية مقدرة بالـ ppm كمايلي :
(0 , 20 , 40 , 60 , 80 , 100) .

5- محلول ليثيوم (1000 ppm): يذاب 9,9349 غ من نترات الليثيوم في ليتر من الماء المقطر.

6- محلول ليثيوم قياسي (100ppm) : يخفف 100 مل محلول ليثيوم 1000 ppm إلى لتر

7- (**) محلول 1 N خلات الأمونيوم (CH_3COONH_4): يضـاف 57 مل من حمض الخل المركز إلى حوالي 700 مل من الماء المقطر، ثم يضـاف بوسـاطة اسـطوانة مدرجة (سـلندر) 68 مل من ماءات الأمونيوم المركزة، ويكمل الحجم حتى الليتر بالماء المقطر وتمزج جيداً. اضبط PH المحلول عند الرقم 7 باستخدام حمض الخل أو ماءات الأمونيوم.

طريقة العمل: تحضير المستخلص.

أولا - تحضير المستخلص المائي (للشكل الذائب):

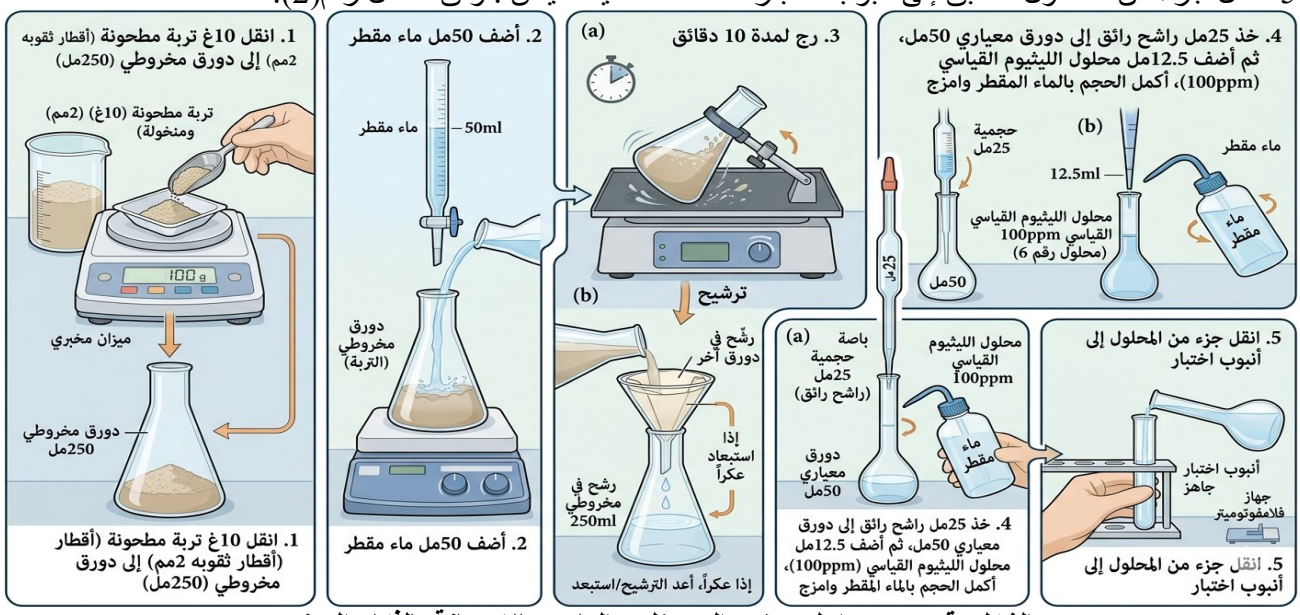
1- انقل 10غ من التربة المطحونة، والمنخولة في منخل أقطار ثقوبه 2 مم إلى دورق مخروطي سعة 250 مل .

2- أضف 50 مل ماء مقطر.

3- رج لمدة عشر دقائق ، ثم رشّح في دورق مخروطي آخر ـ أعد الترشيح إذا كان الراشح عكراً، أو أستبعده كلياً.

4- خذ من الراشح الرائق 25 مل إلى دورق معياري سعة 50 مل، ثم أضف إليها 12,5 مل من محلول الليثيوم القياسي 100ppm (محلول رقم 6)، ثم أكمل الحجم بالماء المقطر، وامزج جيداً.

5- انقل جزء من المحلول السابق إلى انبوب اختبار استعداداً لعملية القياس . وفق الشكل رقم(2).



الشكل رقم (2): مراحل تحضير المستخلص المائي (بالاستعانة بالذكاء الصنعي 2026) .

(*) يضـاف محلول الليثيوم بحيث يصـبح تركيزه 25 ppm ، وذلك للحد من تأثير بعض الكاتيونات، والأنيونات التي تسبب الزيادة، أو الإقلال من الأشعة المقاسة.

(**) يسـتخدم محلول خلات الأمونيوم 1 N عند الرغبة في تقدير الصـوديوم والبوتاسـيوم المتبادلين، ويراعى في حال اسـتخدامها عمل محاليل قياسية وإجراء عمليات التمديد باستخدام المحلول نفسه، ويتم استخدام مستخلص تربة 1:25 حتى تقع التراكيز ضمن مجال المحاليل القياسية المحضرة.

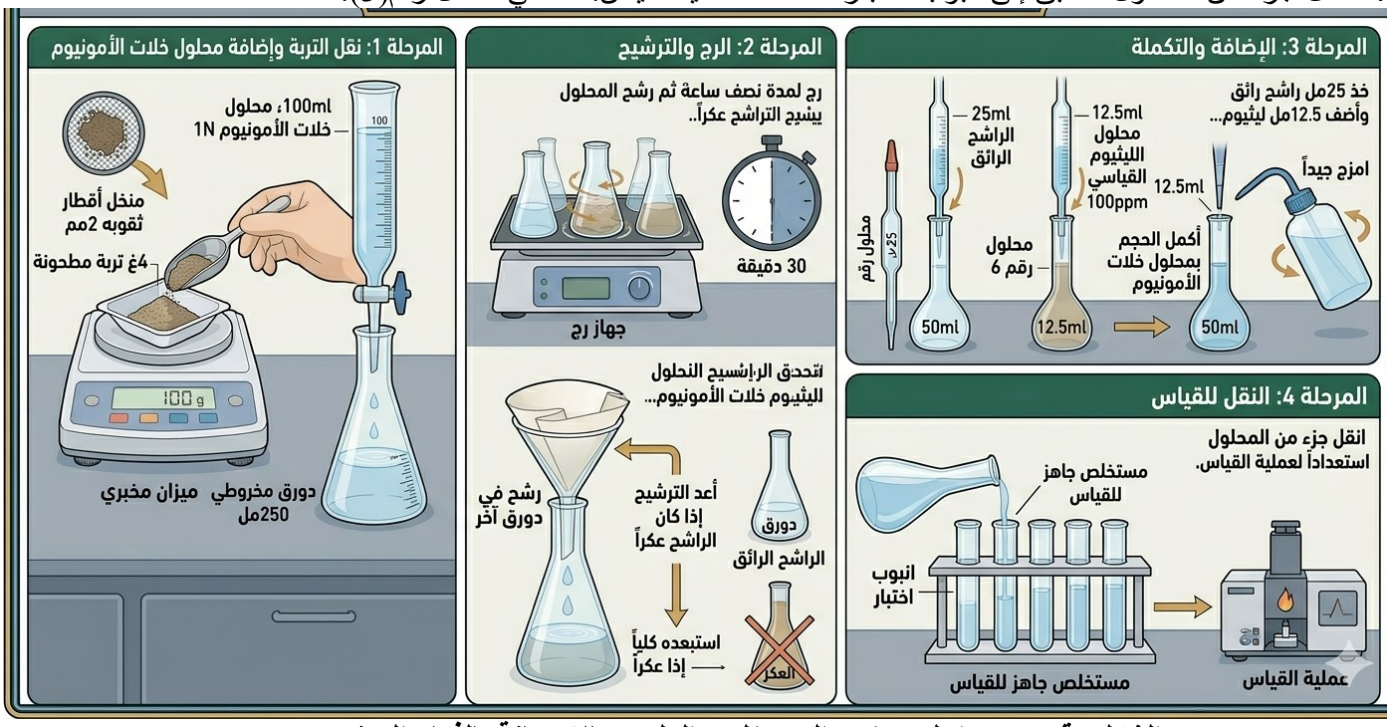
ثانياً ـ تحضير المستخلص الملحي (للشكل المتبادل) :

1- انقل 4 غ من التربة المطحونة في منخل أقطار ثقوبه 2مم، إلى دورق مخروطي سعة 250 مل ، ثم أضف 100 مل من محلول خلات الأمونيوم1N.

2- رج لمدة نصف ساعة، ثم رشح المحلول في دورق مخروطي آخر ـ أعد الترشيح إذا كان الراشح عكراً، أو أستبعده كلياً.

3- خذ من الراشح الرائق 25 مل إلى دورق معياري سعة 50مل، ثم أضف إليها 12,5 مل من محلول الليثيوم القياسي 100ppm (محلول رقم 6)، ثم أكمل الحجم بالماء بمحلول خلات الأمونيوم، وامزج جيداً.

4- انقل جزء من المحلول السابق إلى انبوب اختبار استعداداً لعملية القياس. كما في الشكل رقم(3).



الشكل رقم 3 : مراحل تحضير المستخلص الملحي(بالاستعانة بالذكاء الصنعي 2026).

ثالثاً ـ تشغيل الجهاز، وأخذ قراءات المحاليل القياسية والعينات ورسم الخط البياني:

لا تختلف طريقة تشغيل أجهزة اللهب عن بعضها، إلاّ أن بعض الشركات الصانعة توصي باتباع بعض التعليمات بغية الحصول على اداء أمثل للجهاز، فبالنسبة لجهاز اللهب ماركة JENWY، تقترح الشركة المصنعة ما يلي:

1- يجب التأكد من وجود وحدة التصريف أسفل الجهاز، وأن تكون محتويةً على الماء، وخالية من الهواء.

2- أغلق صمام الوقود Fuel ، وذلك بتدويره باتجاه عقارب الساعة دون تطبيق قوة زائدة عليه.

3- ادر صمام الوقود أربع دورات كاملة بعكس اتجاه عقارب الساعة.

4- افتح صمام اسطوانة الغاز.

5- اضغط زر التشغيل Power

6- اضغط زر التشغيل Ignition حتى يضيء على الشاشة الرمز FLM ، ثم حرر الزر برفع ضغط الإصبع عنه.

7- إذا لم يظهر الرمز FLM على الشاشة خلال 20 ثانية ، يتم تحرير الزر ويدار مرة أخرى بعكس اتجاه عقارب الساعة، ثم يعاد الضغط على مشعل اللهب كما ورد سابقاً.

8- تعاد العملية نفسها في حال عدم ظهور الإشارة FLM بدوره اخرى خلال 20 ثانية ، ويجب ألاّ يتعدى عدد الدورات لصمام الوقود تسع دورات.

9- ضع الأنبوب الشعري للجهاز ضمن عينه من الماء المقطر ، ثم اضبط زر الشاهد BLANK عند الرقم صفر.

10- أدر مفتاح اختيار الفلتر Filter Select على الوضعية المناسبة (K, Na,...) .

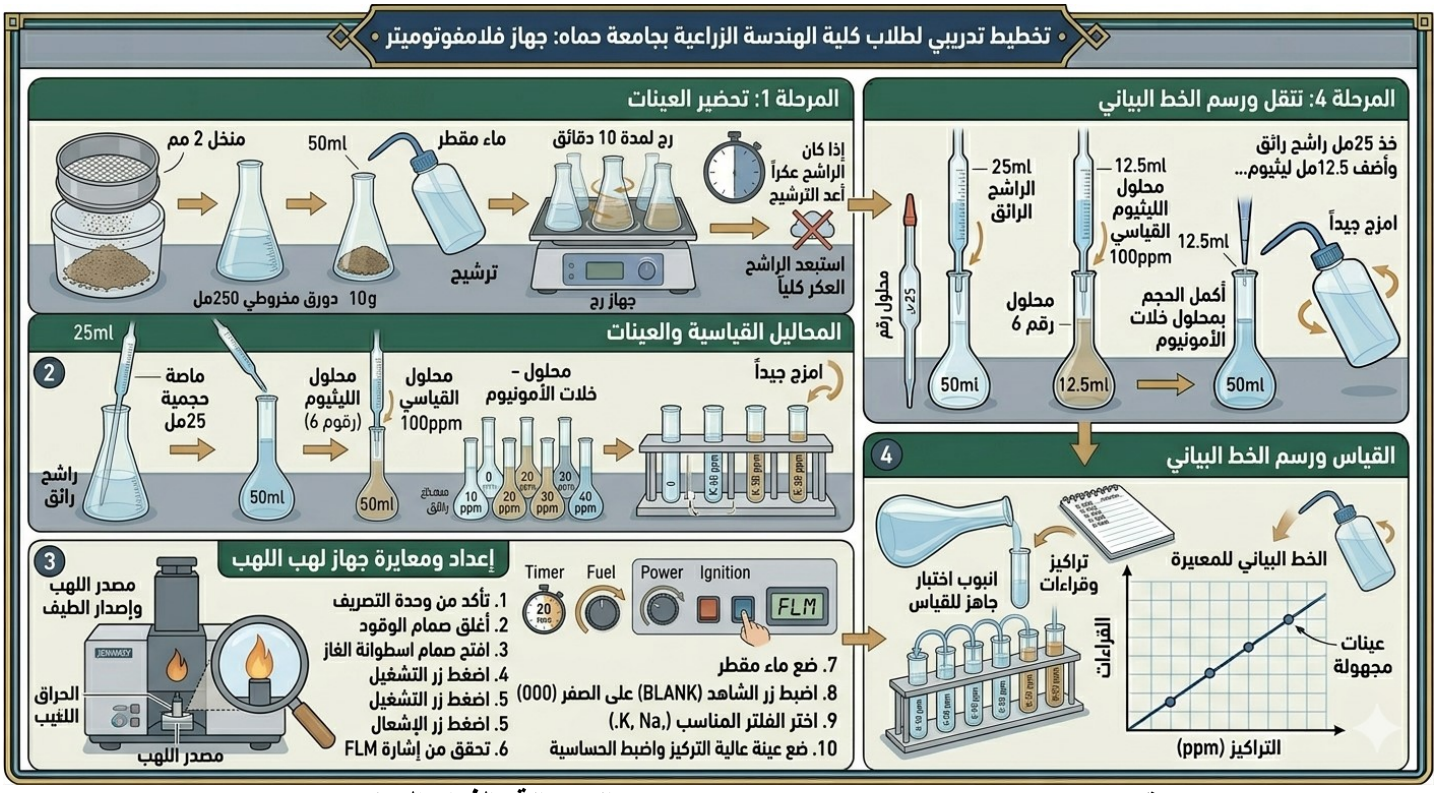
11- ضع عينه محلول ذو تركيز أعلى بقليل من التركيز المتوقع في العينات المدروسة، واضبط زر الحساسية Sensivity (Fine - Coares) لتحصل على قراءة إيجابية.

12- اضبط مفتاح الوقود Fuel حتى تحصل على أعلى قراءة ممكنة ، حيث أن هناك تأخراً زمنياً بسيطاً (بضع ثوان) بين ضبط زر الـ Feuel ، ورؤية تأثيره على القراءة.

13- يجب ترك الجهاز لمدة 12 دقيقه للاستقرار وذلك باستخدام عينه ماء مقطر بهدف الحصول على نتائج جيده.

14- قم بإجراء معايرة للشاهد ، ثم خذ قراءة المحاليل القياسية.

15- ارسم الخط البياني بين التراكيز والقراءات. (شكل رقم 4).



الشكل رقم (4) (مراحل القياس على جهاز الفلامفوتوميتر (بالاستعانة بالذكاء الصنعي 2026).

الحساب :

$Na\ (ppm) = Na \times DF$
$Na(ppm) = Na \times 10$

$K(ppm) = K \times DF$
$K(ppm) = K \times 10$

حيث : Na(ppm) - تركيز الصوديوم - جزء بالمليون في التربة
K(ppm) - تركيز الصوديوم - جزء بالمليون في التربة
Na - تركيز الصوديوم - جزء بالمليون من الخط البياني
K - تركيز البوتاسيوم - جزء بالمليون من الخط البياني
DF - معامل تمديد العينة Dilution Factor ، ويساوي 10 في هذه الحالة .

ويمكن حساب تركيز كل من الصوديوم، والبوتاسيوم، في المستخلص المائي، أو في محلول 1 N من خلات الأمونيوم، وبذلك يمكن تقدير الصوديوم والبوتاسيوم المتبادلين بطرح الصوديوم الذائب من الصوديوم المستخلص بخلات الأمونيوم، وكذلك البوتاسيوم المنحل من البوتاسيوم الكلّي.

مثال : تم استخلاص 10 غ تربة بـ 50 مل من الماء المقطر، و10 غ أخرى لنفس العينة بـ 50 مل خلات أمونيوم N1 .
فإذا علمت أن 25 مل من المستخلص المائي تم تمديها إلى 50 مل و10 مل من المستخلص الملحي تم تمديدها إلى 50 مل أيضاً وكان تركيز عينة المستخلص المائي المقروء من الخط البياني مساوياً 5 ppm ، وتركيز عينة المستخلص الملحي المقروء من الخط البياني أيضاً مساوياً 8 ppm فاحسب تركيز البوتاسيوم المتبادل في التربة.

$$\text{Soluble K (ppm)} = 5 \times (5 \times 2) = 50 \text{ ppm}$$
$$\text{Extractable K (ppm)} = 8 \times (5 \times 5) = 200 \text{ ppm}$$
$$\text{Exchangeable K (ppm)} = 200 - 50 = 150 \text{ ppm}$$

حيث : Soluble K (ppm) بوتاسيوم منحل (جزء بالمليون)
Extractable K (ppm)- بوتاسيوم متبادل (جزء بالمليون)
Exchangeable K (ppm)- بوتاسيوم ذائب + متبادل

ملاحظة : تحفظ المحاليل القياسية للصوديوم بعد تحضيرها في أوعية بلاستيكية لتجنب تلوثها بالصوديوم من جدران الأوعية الزجاجية .

3-5-2- الطريقة الحسابية لتقدير الصوديوم والبوتاسيوم :

يســتند مبدأ هذه الطريقة على أن مجموع عدد مليمكافئات الأنيونات يســاوي مجموع مليمكافئات الكاتيونات ، فإذا ما تمّ تقدير مســبق لكل من الأنيونات SO_4^{-2} , Cl^- , CO_3^{-2}, HCO_3^- وكذلك الكاتيونات Mg^{+2} , Ca^{+2} فإن الفرق بين عدد مليمكافئات الشرسبات والشرجبات يساوي عدد مليمكافئات الصوديوم والبوتاسيوم أي أن :

$$meq\ (Na + K) = meq\ (SO_4^{-2} + Cl^- + HCO_3^-) - meq(Ca^{+2} + Mg^{+2})$$

ولا يمكن استخدام هذه الطريقة بشكل مطلق، بسبب احتواء التربه على شوارد أخرى قد ترتفع أحياناً، ويمكن اعتبارها طريقة تقريبية تعطي فكرة أولية عن محتوى التربة من هذين العنصرين .

مثال : تبين في أثناء تحليل عينه تربة احتواؤها على الشوارد التالية مقدر بالمليمكافئات 100 غ تربة:

$$Mg^{+2} = 0.6 \quad Ca^{+2} = 1 \quad , \quad HCO_3^- = 0,9 \ , \ Cl^- = 3.2 \ , \ SO_4^{-2} = 1.8$$

فيكون : $meq\ (Na+K) = (1.8 + 3.2 + 0.9) - (1 + 0.6) = 4.3$

تقييم التربة حسب محتواها مكن البوتاسيوم المتاح						
العنصر	**طريقة القياس**	**منخفض**	**متوسط**	**كافٍ**	**مرتفع**	**فائض**
البوتاسيوم المتاح	خلات الأمونيوم (ppm)	100 >	200 - 100	400 - 200	600 - 400	800 <

الشكل رقم (5): بعض نماذج جهاز الفلام فوتوميتر (من الانترنت، 2026)

..... نهاية الجلسة الثامنة.....

المرجع: عودة، وشمشم (2007): خصوبة التربة وتغذية النبات، الجزء العملي، منشورات جامعة حمص.