جامعة حماه
كلية الهندسة الزراعية – السلمية
السنة الثالثة

المحاضرة النظرية السادسة في خصوبة التربة وتغذية النبات

The Potassium

5/2026/13

يعد عنصر البوتاسيوم من العناصر الأساسية الكبرى بالنسبة للنبات، ويأتي في المرتبة الثانية بعد النتروجين من حيث تواجده في النبات.
وعلى عكس العناصر المغذية الكبرى الأخرى، فإنه لم يثبت حتى الآن دخول عنصر البوتاسيوم في بناء المركبات العضوية الضرورية لاستمرار حياة النبات.

وعلى الرغم من هذه الحقيقة فأنه لا يمكن الاستغناء عن البوتاسيوم، ولا يمكن لعنصر آخر مشابه له كالصوديوم أو الليثيوم أن يحل مكانه تماماً. وغالباً يوجد البوتاسيوم على هيئة مركبات غير عضوية ذائبة، ويتحد هذا العنصر مع الأحماض العضوية، ويؤثر في تنظيم محتويات الخلية من الماء، وينشِّط عمل العديد من الأنزيمات.

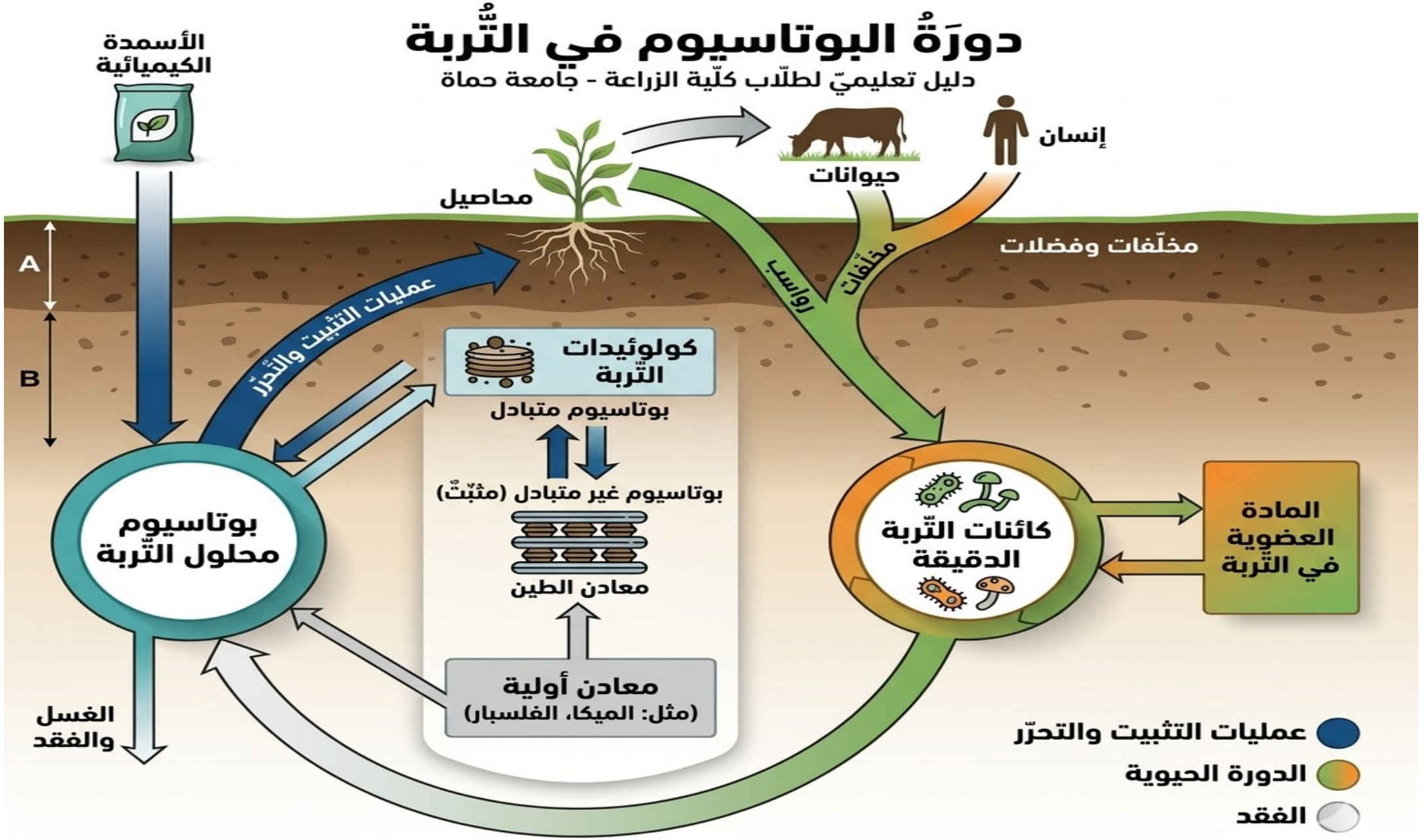
ويوجد هذا العنصر بكميات وافرة في **الأعضاء حديثة السن**، وبخاصة البراعم والأوراق الصغيرة وقمم الجذور، بينما يكون محتوى الأنسجة الناضجة والبذور منه قليلاً.

1 - دورة البوتاسيوم The Potassium Cycle

تشكّل الفلزات الأولية كالمايكا والفلدسبار المصدر الأساسي للبوتاسيوم في التربة. فعند تجوية هذه الفلزات وبمرور الزمن يصبح البوتاسيوم الموجود في الطبقات البلورية من نموذج (2 : 1) للمايكا أكثر قابلية لإفادة النبات من خلال تحوله إلى شكل غير متبادل Non exchangeable لكن قابل للإفادة ببطء، ومن ثمّ عبر تحوله إلى شكل قابل للتبادل Exchangeable وذائب في محلول التربة Soluble يمكن لجذور النبات امتصاصه والإفادة منه.

يوجد القسم الأعظم من البوتاسيوم في الفلزات الأولية، وفي أشكال غير قابلة للتبادل وبالتالي يكون ضعيف الجاهزية للنبات. وسعياً للمحافظة على مستوى مناسب من البوتاسيوم المتبادل والذائب يكفي لتأمين حاجة النبات ولتحقيق إنتاج جيد من المحاصيل المختلفة، لا بد من استعمال الأسمدة الكيميائية التي يتحرر محتواها من البوتاسيوم إلى محلول التربة ليتعرض بعدها إما للامتصاص من قبل النبات، أو الادمصاص على غرويات التربة، أو الغسل مع مياه الصرف.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى يتحرر البوتاسيوم من البقايا النباتية والمخلفات الحيوانية التي تصل التربة إلى محلول التربة عبر النشاط الميكروبي، كما يرتبط قسم منه بالمادة العضوية في التربة.



الشكل (٧-١): دورة البوتاسيوم في التربة (عن Brady, 1996)

٢- البوتاسيوم في التربة Potassium in Soil

٢-١- محتوى التربة من البوتاسيوم Soil K Content

يُعد البوتاسيوم من أكثر العناصر شيوعاً في القشرة الأرضيةLithosphere، حيث **يشكّل 0.3 - 2.5 %** من مكونات القشرة الأرضية.

وتتراوح كمية البوتاسيوم في التربة بين 0.3 و 3 % تبعاً لطبيعة الصخور والفلزات المكونة للتربة، وتركيبها الميكانيكي.

فالترب الطينية تحوي عادةً على كميات كبيرة من البوتاسيوم مقارنة بالترب الرملية والترب العضوية وتشكل الفلزات الأولية والثانوية المصدر الأساسي للبوتاسيوم في التربة.

هناك العديد من الفلزات الأولية الحاوية على البوتاسيوم في التربة، أهمها الفلدسبارات البوتاسية (الأورثوكلاز والميكروكلاين [$KAlSi_3O_8$])، والموسكوفيت [$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$]، والبيوتيت [$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$]، والفلوجوبيت [$KMg_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$].

بالإضافة للفلزات الأولية، تعد الفلزات الثانوية Secondary minerals **كالأيلليت**، **والفيرميكوليت والكلوريت** مصدراً للبوتاسيوم في التربة.

٢-٢ أشكال البوتاسيوم في التربة Potassium Forms

٢-٢-١ البوتاسيوم الفلزي Mineral- K

يدخل البوتاسيوم في تركيب العديد من الفلزات الأولية في التربة كالفلدسبارات البوتاسية (الأوثوكلاز $KAlSi_3O_8$ والميكروكلين)، والموسكوفيت $[KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2]$، والبيوتيت $[K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2]$، والفلوجوبيت $[KMg_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2]$. كما يدخل في تركيب بعض الفلزات الثانوية مثل الايلليت، والفيرميكيوليت، والكلوريت (الجدول ٧-١).

الجدول (٧-١): أهم الفلزات الأولية والثانوية الحاوية على البوتاسيوم

الفلز	K_2O (%)
فلدسبار قلوي	15 – 4
فلدسبار كلسي – صودي	3 – 0
موسكوفيت	11 – 7
بيوتيت	10 – 6
ايلليت	7 – 4
فرميكيوليت	2 – 0
كلوريت	1 – 0
مونتموريونيت	0.5 – 0

تختلف قابلية البوتاسيوم في هذه الفلزات للتحرر بعملية التجوية والتحول إلى أشكال قابلة لإفادة النبات، ويمكن وضع الترتيب التالي لهذه الفلزات من حيث قابلية محتواها من البوتاسيوم للتحرر بعملية التجوية:

ميكروكلين > أورثوكلاز > موسكوفيت > بيوتيت > فلزات ثانوية (ايلليت)

Microcline Orthoclase Muscovite Biotite Illite

يشكّل البوتاسيوم الفلزي الجزء الأكبر من محتوى التربة الكلي من هذا العنصر (90 - 98 %)، وتتراوح كميته عموماً بين 500 - 25000 مغ / كغ .

تؤدي تجوية المايكا (البيوتيت والموسكوفيت) وتحرر البوتاسيوم منها إلى تشكل فلزات **الايلليت Illite**، ومن ثم يتشكل فلز الفرميكيوليت Vermiculite في مرحلة لاحقة. وتترافق هذه التحولات بتحرر للبوتاسيوم وضم لجزئيات الماء من جهة، وبزيادة للشحنة السطحية وبالتالي زيادة سعة التبادل الكاتيوني لفلزات الطين المتشكلة من تجوية وتحولات المايكا من جهة أخرى (الشكل ٧-٢).

إنّ تحرر البوتاسيوم من المايكا عبارة عن عمليتي تبادل كاتيوني وانتشار في آن معاً، ويتطلب هذا التحرر زمناً لوصول الكاتيون المبادل إلى المكان المحدد الذي يشغله البوتاسيوم ولانتشار كاتيون البوتاسيوم (K^+) الذي تمت مبادلته.

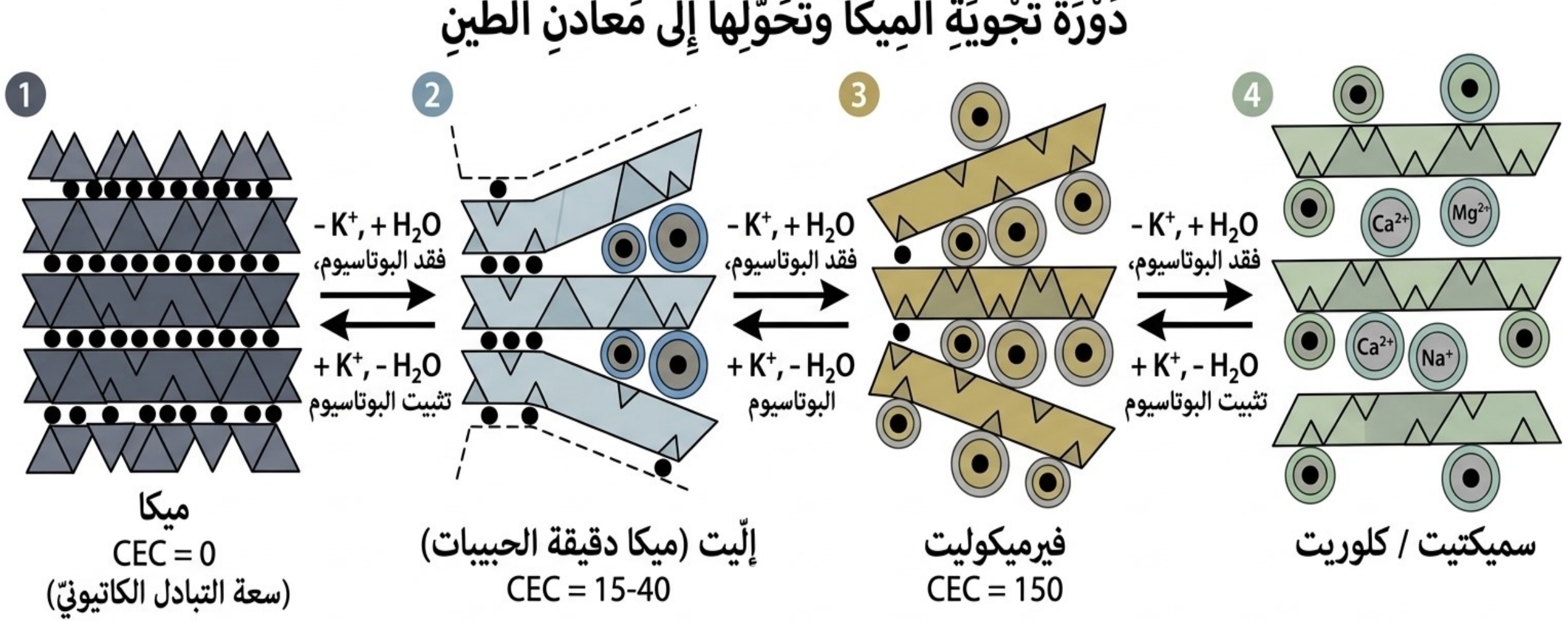
ويؤدّي انخفاض محتوى محلول التربة من البوتاسيوم إلى تحفيز تحرر البوتاسيوم المحتجز بين طبقات الفلزات الحاوية عليه.

ولذلك فإنّ **انخفاض تركيز البوتاسيوم** في محلول التربة نتيجة الامتصاص النباتي أو الغسل، ربما يساعد على **تحرّر** البوتاسيوم من المواقع التي يكون فيها غير قابل للتبادل.

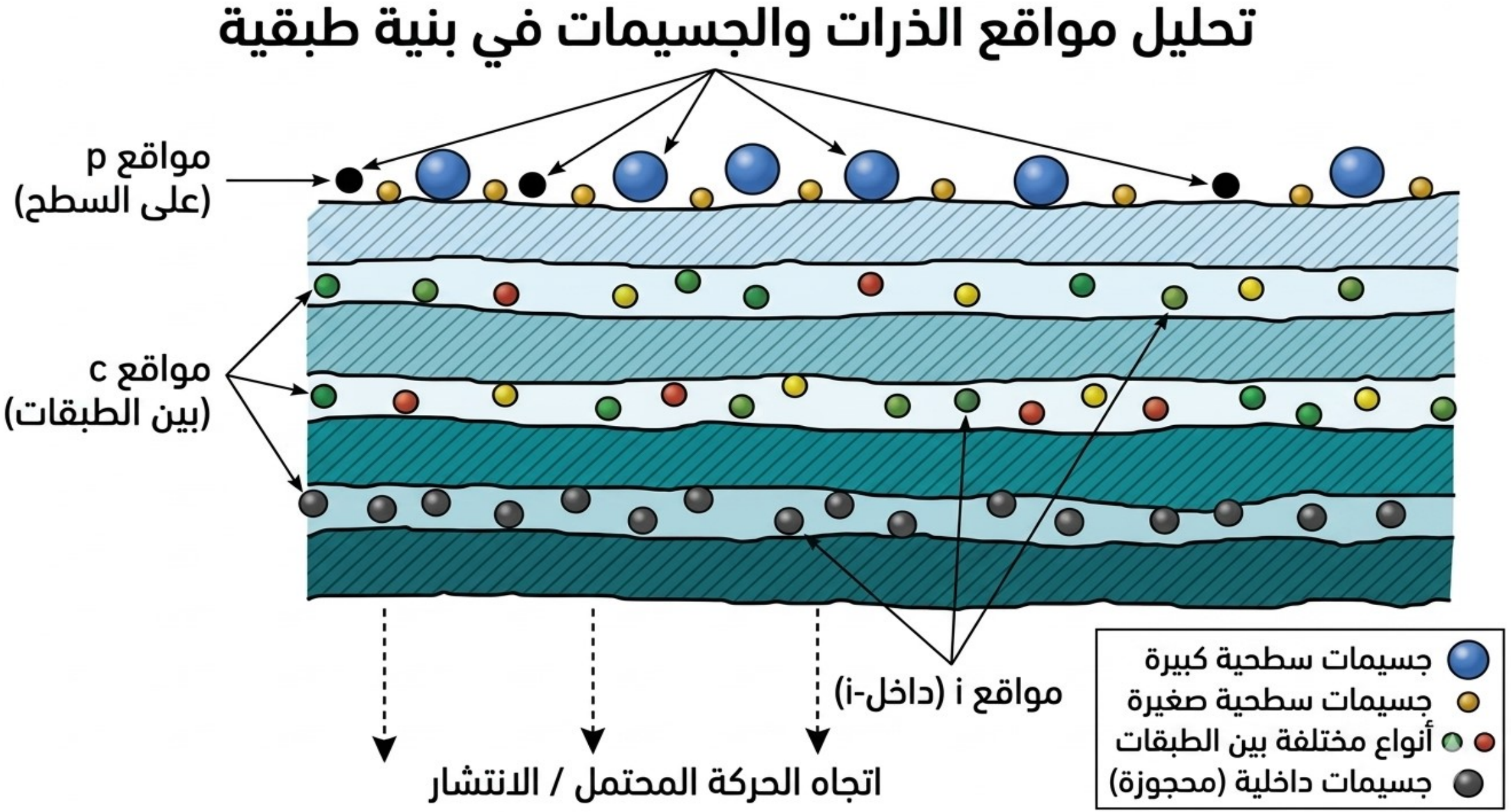
ولابد من الإشارة هنا إلى احتمال تحوّل البوتاسيوم المضاف للتربة حديثاً و/ أو البوتاسيوم الذائب فيها إلى شكل مثبَّت أو غير قابل للتبادل أيضاً.

٢-٢-٢ البوتايسوم غير المتبادل (المثبَّت) Non Exchangeable (Fixed) K

يشكّل البوتاسيوم غير المتبادل **(4 – 10 %)** من محتوى التربة الكلي من البوتاسيوم. ويتكون هذا الشكل أساساً من البوتاسيوم المدمص على المواقع الداخلية بين الصفائح البلورية لفلزات الطين من نموذج (٢ : ١) كالأيلليت والفرميكيوليت، والكلوريت إضافة للبوتاسيوم المدمص على المواقع الجانبية للصفائح البلورية لهذه الفلزات، حيث تضم هذه الفلزات ثلاثة أنواع من مواقع الادمصاص كما هو مبين في الشكل (٧-٣):



الشكل(٧-٢): تحرر البوتاسيوم خلال تجوية المايكا وتحولها إلى فلزات ثانوية(Brady, 1996)



الشكل (٧-٣): مواقع ادمصاص البوتاسيوم على سطوح فلزات الطين من نموذج (1:2)

تتسم مواقع الادمصاص **السطحية** بكونها **غير متخصصة** بالبوتاسيوم، بينما تتصف مواقع الادمصاص الداخلية والجانبية بكونها **عالية التخصص بالبوتاسيوم**.

ويكون البوتاسيوم المدمص على المواقع الأخيرة بطيء التحرر وغير قابل للتبادل مع الأيونات الأخرى المشابهة له في الشحنة الكهربائية من خلال عملية التبادل الكاتيوني Cation Exchange المعروفة، ولذلك يطلق عليه تسمية البوتاسيوم غير المتبادل Non Exchangeable K، أو **البوتاسيوم المثبَّت Fixed K**.

ويُعتقد أن هناك توازناً بطيئاً بين الشكل غير المتبادل للبوتاسيوم من جهة، والشكل المتبادل من جهة أخرى:

$$\text{Fixed}-\text{K} \xrightarrow{(\text{Slow})} \text{Exchangeable}-\text{K}$$

٣-٢-٢- البوتاسيوم المتبادل Exchangeable-K

يُدمص كاتيون البوتاسيوم، كغيره من الكاتيونات القابلة للتبادل، على الشحنات السالبة لسطوح غرويات التربة.

وتكون الكاتيونات المدمصة بهذه الطريقة سهلة التبادل مع كاتيونات أخرى مثل NH_4^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}. ومن الممكن تقدير كمية البوتاسيوم المتبادل في التربة من خلال استخلاصه بمحلول خلات الأمونيوم (NH_4CH_3COO, 1 N). وتقدر كمية البوتاسيوم المتبادل عموماً **بأقل من (1%)** من البوتاسيوم الكلي في التربة.

ويكون البوتاسيوم المتبادل في التربة في حالة توازن مع البوتاسيوم الذائب في محلول التربة. ويتصف التوازن القائم بين هذين الشكلين للبوتاسيوم **بسرعته**، فعندما يمتص النبات البوتاسيوم من محلول التربة فإن البوتاسيوم المتبادل يتحرر مباشرةً إلى محلول التربة حتى يعيد التوازن بين هذين الشكلين من جديد.

وبالعكس، فإنّ إضافة سماد بوتاسي للتربة تؤدي إلى ادمصاص بعض من بوتاسيوم محلول التربة على سطوح غروياتها متحولاً إلى **بوتاسيوم متبادل**، **ولهذا السبب فإن البوتاسيوم المتبادل يشكل آلية تنظيمية هامة لبوتاسيوم محلول التربة :**

$$\text{Exchangeable} - K \overset{(\text{Fast})}{\rightleftharpoons} \text{Soluble - K}$$

٤-٢-٢- بوتاسيوم محلول التربة Soil Solution Potassium

يشكّل البوتاسيوم الذائب (1-2%) من البوتاسيوم المتبادل في التربة

ويتراوح تركيز البوتاسيوم في المستخلص المشبع للتربة بين ٣ و ١٥٦ PPMعادةً .

حيث تلاحظ التراكيز العالية في **ترب المناطق الجافة وفي الترب المالحة**.

ويختلف تركيز البوتاسيوم في محلول التربة تحت الظروف الحقلية بشكل كبير لتأثره بعمليات التمديد والتركيز التي تطرأ على محلول التربة بفعل الهطولات المطرية والتبخر على الترتيب.

يمتص النبات كاتيونات البوتاسيوم من محلول التربة أساساً،
ويختلف تركيز البوتاسيوم الذائب المطلوب للنمو النباتي تبعاً لعوامل عديدة أهمها النوع النباتي ومستوى النمو النباتي المراد الحصول عليه.
ويُعتقد أن التركيز المناسب من البوتاسيوم في محلول التربة يقع **بين ٢٠ و٦٠PPM** تبعاً لطبيعة المحصول، ونسيج التربة، والمستوى العام لخصوبة التربة، إضافة إلى مستوى رطوبتها.

وتُعد الترب الحاوية على (8) PPM بوتاسيوم ذائب فقيرة بالبوتاسيوم .

تتأثّر فعّالية البوتاسيوم الذائب في تلبية المتطلبات الغذائية للمحصول بوجود كاتيونات أخرى، **وبخاصة الكالسيوم والمغنزيوم.**
ويفضّل أن يؤخذ بعين الاعتبار أيضاً كاتيونات **الألمنيوم في الترب شديدة الحموضة، وكاتيونات الصوديوم في الترب المتأثرة بالملوحة. ويعبر عن ذلك بما يسمى نسبة الفاعلية (Activity Ratio , AR):**

$$AR^{K} = \frac{(a_K)}{\sqrt{a_{Ca+Mg}}}$$

تشكّل نسبة الفاعلية (AR^K) لمحلول في توازن مع التربة تقديراً مرضياً لقابلية البوتاسيوم للإفادة. فهذه النسبة تشكل مقياساً لشدة (I) Intensityالبوتاسيوم المتحرك في التربة، وتعد مؤشراً على البوتاسيوم الجاهز فوراً للامتصاص من قبل جذور النبات. وعلى ذلك فإن (AR^K) يعد توصيفاً لجاهزية البوتاسيوم في زمن محدد (زمن القياس)، لكن الترب المتشابهة في قيم (AR^K) قد تختلف في قدرتها على المحافظة على هذه النسبة عندما ينخفض تركيز (K^+) في محلول التربة بسبب الامتصاص النباتي أو الغسل Leaching

لذلك ومن أجل إعطاء توصيف كامل لحالة البوتاسيوم في التربة فإنه من الضروري معرفة، ليس فقط كمية البوتاسيوم المتحرك، بل أيضاً الطريقة التي تكون من خلالها الشدة (I) معتمدة على الكمية (Q) للبوتاسيوم المتحرك. وبعبارة أخرى لابد **من** معرفة العلاقة بين الكمية والشدة (Q / I) للبوتاسيوم المتحرك في التربة.

٢-٣ التوازن البوتاسي في التربة

يمكن وضع الأشكال السابقة لبوتاسيوم التربة من حيث درجة تيسرها للنبات في ثلاث صور رئيسة (الشكل ٧-٤)، هي:

١. البوتاسيوم غير الميسر نسبياً Relatively Unavailable K: ويشكل حوالي 90-95% من محتوى التربة الكلي من البوتاسيوم، ويتكون من البوتاسيوم المضمَّن في الفلزات الأولية والثانوية.

٢. البوتاسيوم بطيء الصلاحية Slowly Available K: ويشكل 1-10% من البوتاسيوم الكلي، ويتكون من البوتاسيوم المثبَّت بواسطة بعض فلزات الطين مثل الأيلليت Illite، والفيرميكيوليت Vermiculite، والكلوريت Chlorite.

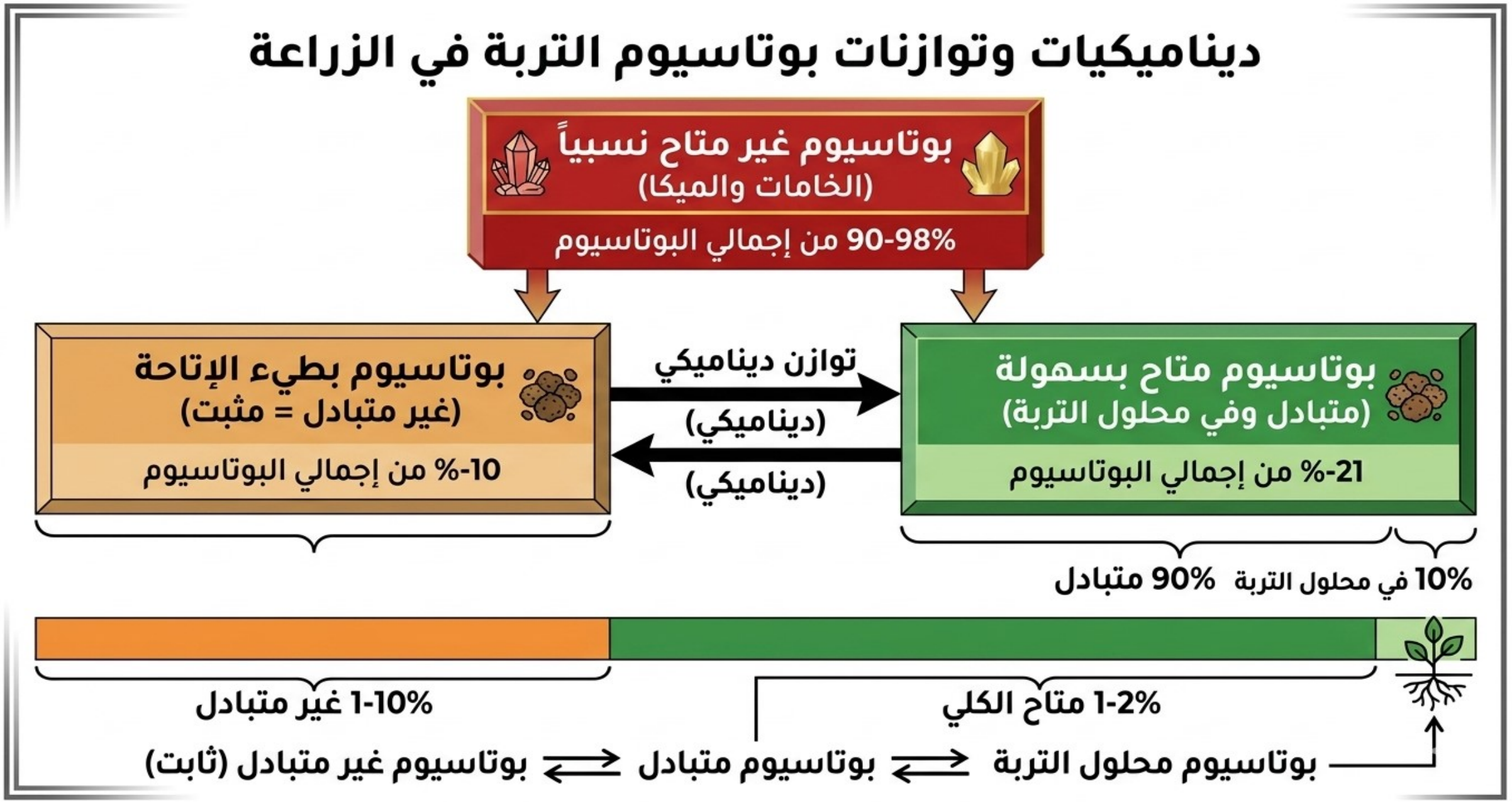
٣. البوتاسيوم سريع الصلاحية Readly Available K: ويشكل **1-2%** من البوتاسيوم الكلي، ويشمل البوتاسيوم الذائب الذي يشكل حوالي 10%من هذه الصورة، والبوتاسيوم المتبادل الذي يشكل حوالي 90% منها. ويمثل البوتاسيوم الذائب والبوتاسيوم المتبادل المصدر الرئيس للبوتاسيوم الممتص من قبل النبات.

٤-٢- تثبيت البوتاسيوم Potassium Fixation

يميل البوتاسيوم الناتج عن تجوية الفلزات الأولية والثانوية الغنية به، أو المضاف للتربة على شكل أسمدة جيدة الذوبان للادمصاص على السطوح الداخلية لصفائح بعض فلزات الطين من نموذج (1:2) كالايلليت والفرميكيوليت والكلوريت بحيث يصبح غير قابل للتبادل **وهذا ما يُعرف بـ " تثبيت البوتاسيوم Potassium Fixation ".**

فالقطر الأيوني للبوتاسيوم (1.3 Å) يسمح له بالدخول بين صفائح فلزات الطين نم
(1:2) للادمصاص على سطوحها الداخلية، بينما لا تستطيع الكاتيونات
الأخرى كالكالسيوم والمغنزيوم والصوديوم القيام بذلك كون أقطارها الأيونية أكبر
من القطر الأيوني للبوتاسيوم.

فقط كاتيون **الأمونيوم** يمكنه أن ينافس البوتاسيوم على مواقع الادمصاص الداخلية في هذه الفلزات كون قطره الأيوني مشابهاً للقطر الأيوني للبوتاسيوم، لذلك يتعرض الأمونيوم أيضاً للتثبيت في التربة بطريقة مشابهة لتلك التي يتم من خلالها تثبيت البوتاسيوم.



الشكل (٧-٤): جاهزية الصور المختلفة لبوتاسيوم التربة للنبات والتوازنات القائمة بينها

٤-٢-١ العوامل المؤثرة في تثبيت البوتاسيوم

مما لا شك فيه أن الكمية المثبتة من البوتاسيوم تختلف من تربة لأخرى، حيث تتأثر عملية التثبيت بمجموعة من **العوامل أهمها:**

1 - فلزات الطين: كما ذكرنا سابقاً، فإن عملية تثبيت البوتاسيوم في التربة مرتبطة أساساً بفلزات الطين سواء من حيث كميتها أو نوعها، حيث تزداد الكمية المثبتة من البوتاسيوم (والأمونيوم) عموماً بارتفاع محتوى التربة من فلزات الطين، وعند سيادة فلزات الطين من نموذج (1:2) كالأيلليت والفيرميكيوليت والمونتموريونيت بالمقارنة مع فلزات الطين من نموذج (1:1) كالكاؤولينيت المعروفة بانخفاض قدرتها على تثبيت البوتاسيوم.

ويمكن وضع الترتيب التالي لفلزات الطين نموذج (1:2) من حيث قدرتها على تثبيت البوتاسيوم: فرميكيوليت > ايلليت > سمكتيت.

2 - تفاعل التربة Soil pH :

قد تؤدي إضافة **الكلس** للترب الحامضية بهدف استصلاحها إلى زيادة الكمية *المثبتة* من البوتاسيوم في التربة.

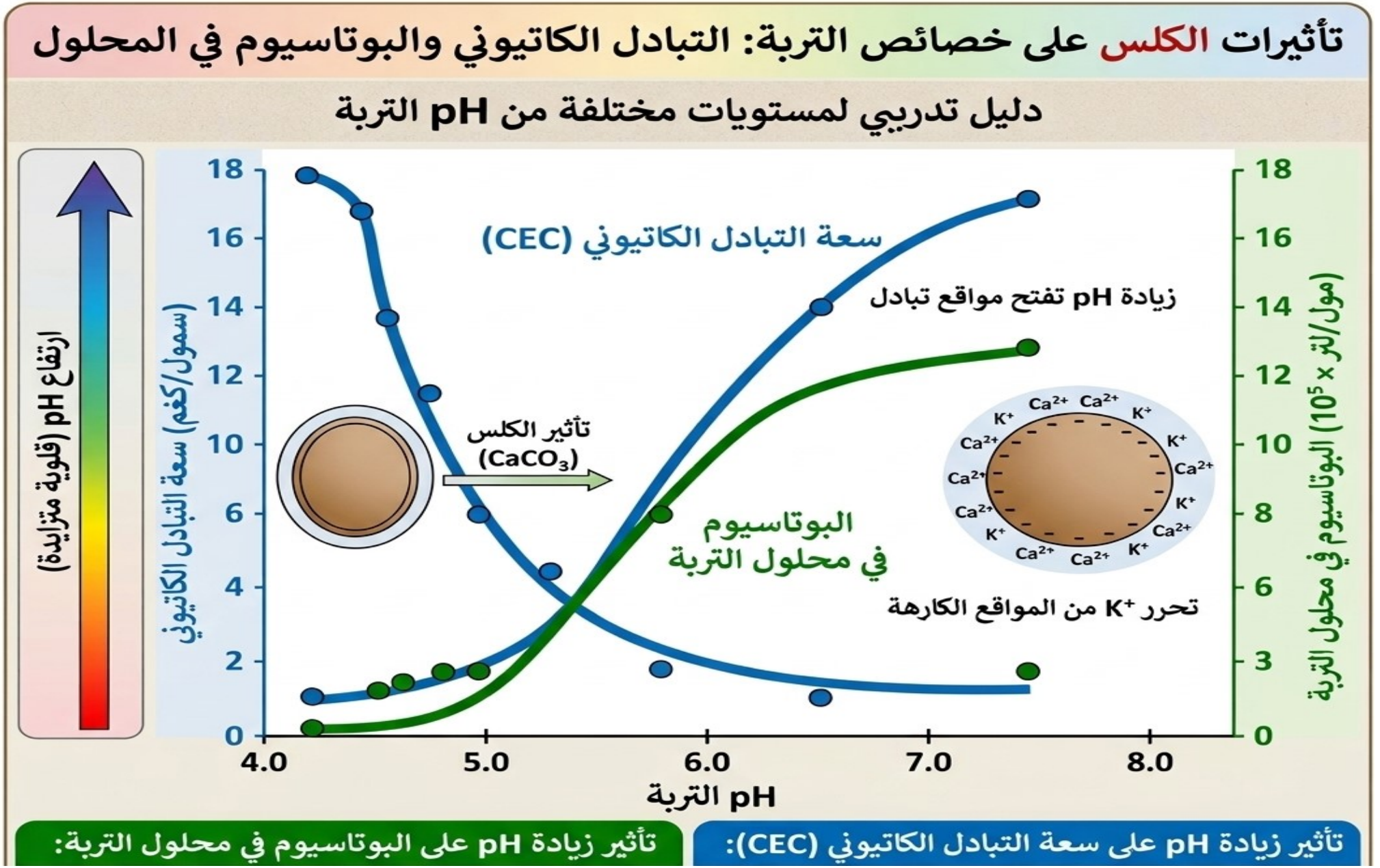
فمع ارتفاع pH التربة الحامضية، فإن أيونات الهيدروجين وهيدروكسي الألمنيوم المدمصة بشدة، تترك مواقع الادمصاص التي تحتلها ليتم شغلها من قبل كاتيونات **البوتاسيوم.**

كما يمكن أن تؤدي إضافة **الجير** إلى تخفيض محتوى التربة من البوتاسيوم القابل للإفادة بطرائق أخرى أيضاً. فعلى سبيل المثال، تؤدي إضافة الكلس للترب التي تكون فيها الشحنة السالبة تابعة للـ pH إلى زيادة سعة التبادل الكاتيوني Cation Exchange Capacity، الأمر الذي يؤدي بدوره إلى زيادة الكمية المدمصة من البوتاسيوم على غرويات التربة مما ينتج عنه **خفض مستوى البوتاسيوم في محلول التربة** (الشكل ٧-٥).

علاوةً على ذلك، فإنّ المستويات المرتفعة **للكالسيوم** في محلول التربة يمكن أن تخفض الكمية التي يمتصها النبات من **البوتاسيوم**، وقد تظهر **أعراض نقص البوتاسيوم** في الترب الحاوية على كميات زائدة من **كربونات الكالسيوم**، بسبب تثبيت البوتاسيوم واختلال النسب الكاتيونية في آنٍ معاً.

3 - التجفيف والترطيب: يؤدي التجفيف الهوائي للتربة الغنية بالبوتاسيوم المتبادل إلى خفض محتواها من البوتاسيوم المتبادل، **وزيادة الكمية المثبتة من البوتاسيوم.** وعلى العكس من ذلك، يمكن أن يؤدي تجفيف تربة منخفضة إلى متوسطة المحتوى بالبوتاسيوم المتبادل إلى زيادة محتواها من البوتاسيوم المتبادل.

وفي بعض الحالات يمكن أن يؤدي **التجفيف** إلى زيادة المحتوى من البوتاسيوم المتبادل مرات عدة في الطبقة تحت السطحية للتربة. وتعزى هذه الزيادة في كمية البوتاسيوم المتبادل إلى تهشم حواف المايكا وتحرّر البوتاسيوم المحجوز بين صفائح فلزات الطين، ليشغل مواقع ادمصاص سطحية متحولاً من شكل غير قابل للتبادل إلى **شكل قابل للتبادل.**



الشكل (٧-٥): تأثير ارتفاع pH التربة الناجم عن إضافة الكلس في سعة التبادل الكاتيوني، وفي مستوى البوتاسيوم في محلول التربة

ويرى البعض أنّ تجفيف التربة أثناء تجهيزها للتحليل المخبري يمكن أن يغير من نتائج البوتاسيوم التي يمكن الحصول عليها بنتيجة التحليل الكيميائي للتربة، الأمر الذي ينعكس على التوصيات السمادية التي تبنى على هذه النتائج.

٢-٥- فقد وكسب البوتاسيوم Losses and Gaines Potassium

هناك مصادر عديدة لفقد البوتاسيوم القابل للإفادة من التربة وكسبه فيها، **وأهم هذه المصادر:**

٢-٥-١ فقد البوتاسيوم Potassium Losses:

٢-٥-١-١ الاستنزاف بواسطة المحصول Crop removal

تستنزف المحاصيل كمية كبيرة من البوتاسيوم مقارنة بما تستنزفه من العناصر المغذية الأخرى (الجدول ٧-٢).

إذ تفوق الكمية المستنزفة من البوتاسيوم بـ **(3 – 4)** مرات الكمية المستنزفة من الفوسفور، وتعادل تقريباً الكمية المستنزفة من **النتروجين** .

وتختلف كمية البوتاسيوم التي تستنزفها المحاصيل المختلفة من التربة **باختلاف نوع المحصول من جهة، وإنتاجيته من جهة أخرى.** والجدول التالي يبين الكميات المستنزفة من البوتاسيوم بواسطة بعض المحاصيل:

الجدول (٧-٢): كمية البوتاسيوم المستنزفة من التربة بواسطة بعض المحاصيل

المحصول	الغلة (طن / هـ)	الكمية المستنزفة (K_2O kg /ha)
قمح	5	100 – 90
ذرة	6	140 – 120
بطاطا	15	140 – 100
شوندر سكري	40	240 – 220
بازلاء	3	120 – 100
جلبانة	6	120 - 100

٢-٥-١-٢ الغسل Leaching:

يتعرّض البوتاسيوم للفقد من التربة بالغسل وبخاصة في الترب الخفيفة(الرملية)، وتزداد الكمية المفقودة من البوتاسيوم بهذه الطريقة بزيادة مستوى التسميد البوتاسي. وتقدّر كمية البوتاسيوم المفقودة بالغسل من تربة واقعة في منطقة رطبة بحوالي 35 كغ K/هـ /سنة، وذلك عند تلقي هذه التربة لكميات متوسطة من الأسمدة البوتاسية).

٢-٥-١-٣ الانجراف Erosion :

تفقد التربة جزءاً لا بأس به من محتواها من البوتاسيوم نتيجة فقدها لجزء من الطبقة السطحية للتربة بفعل الانجراف بنوعيه المائي والهوائي. وتتعلق الكمية المفقودة من البوتاسيوم بهذه الآلية بدرجة تعرض التربة للانجراف. وتقدّر كمية البوتاسيوم المفقودة بالانجراف من تربة يبلغ محتواها الكلّي من البوتاسيوم (1%) بحوالي 633 كغ K/هـ/سنة.

٢-٥-٢ كسب البوتاسيوم Potassium Gaines

٢-٥-٢-١ التسميد Fertilization

تشكّل الأسمدة المعدنية المصدر الأساسي لإغناء التربة بالبوتاسيوم وتعويض ما يفقد منها نتيجة الاستنزاف بواسطة المحاصيل المختلفة.

ويعد كلور البوتاسيوم (K_2O % 63 – 60) KCl، وسلفات البوتاسيوم – K_2SO_4 (K_2O % 53 – 50)، ونترات البوتاسيوم (K_2O % 44) KNO_3، وسلفات البوتاسيوم والمغنزيوم (K_2O % 22، و MgO% 11، و S % 22) من أكثر الأسمدة البوتاسية شيوعاً.

تعد أشجار الفاكهة ومحاصيل الخضار من المحاصيل المتطلبة للبوتاسيوم لذلك فهي تستجيب بشكل جيد للتسميد البوتاسي، بينما تعد محاصيل الحبوب قليلة الاستجابة لهذا النوع من التسميد.

هناك العديد من العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تقدير الجرعة السمادية المطلوبة من البوتاسيوم من أهمها: محتوى التربة من البوتاسيوم القابل للإفادة، والمحتوى المرغوب الوصول له، وسعة التبادل الكاتيوني للتربة، وكمية الإنتاج المخطط له .... الخ. ولقد لخص Tisdale et al., 1993 **هذه العوامل بالعلاقة التالية:**

$$X_K = 75.5 \frac{(X_d + 5\,CEC)^{1/2} - X_o}{4} + (Y_g)(K_r)$$

حيث:

X_K - المعدل السنوي للتسميد البوتاسي (كغ K_2O /هـ).

X_d - التركيز المرغوب الوصول إليه للبوتاسيوم في التربة (مغ K / كغ تربة).

CEC - سعة التبادل الكاتيوني (ميليمكافي /100غ تربة).

X_o - التركيز الملاحظ للبوتاسيوم المتاح في التربة (مغ K / كغ تربة).

- Y_g كمية الإنتاج المخطط الوصول له (طن /هـ).

K_r : الكمية المستنزفة من البوتاسيوم بواسطة المحصول (كغ K_2O / طن محصول).

وعندما يتجاوز محتوى التربة من البوتاسيوم المتاح القيمة $(X_d + 5\ CEC)$، فإن العلاقة السابقة تأخذ الشكل التالي:

$$X_K = 75.5\ [\ (\ X_d + 5\ CEC\ )^{1/2} - X_o^{1/2}\ ] + (Y_g)\ (\ K_r\ )$$

٢-٦- العوامل المؤثرة في جاهزية البوتاسيوم Factors Affecting K Availability:

يتأثر امتصاص النبات للبوتاسيوم بمجموعة من العوامل بعضها **يتعلق بالتربة، وبعضها الآخر يتعلق بالنبات:**

٢-٦-١- عوامل التربة Soil Factors

١. **نوع فلزات الطين السائدة**

تزداد قابلية البوتاسيوم في التربة لإفادة النبات بازدياد محتوى التربة من **فلزات الطين الغنية بالبوتاسيوم، فالترب الغنية بالفرميكيوليت والمونتموريونيت** مثلاً تكون أغنى بالبوتاسيوم القابل للإفادة مقارنة بالترب الغنية بفلز **الكاؤولينيت**.

٢. **سعة التبادل الكاتيوني:**

من المعلوم أن سعة التبادل الكاتيوني للتربة تتعلق بنوع ونسبة فلزات الطين السائدة فيها من جهة، وبمحتواها من المادة العضوية والدبال من جهة أخرى.

وعادةً تملك الترب الغنية بالطين والمادة العضوية سعة تبادل كاتيوني أعلى وبالتالي تملك مقدرة أكبر على الاحتفاظ بالبوتاسيوم بحالة متاحة للنبات مقارنة بالترب الفقيرة بالطين والمادة العضوية. ومع ذلك، فإن ارتفاع محتوى التربة من البوتاسيوم المتبادل **لا يعني** دائماً ارتفاع محتوى محلول التربة منه.

ومن الممكن أن يكون محتوى محلول التربة من **البوتاسيوم** في الترب **الثقيلة** أخفض بكثير من محتوى محلول التربة من هذا الكاتيون في **الترب الخفيفة (الرملية)**. **ويعتقد أن مستويات الكفاية من البوتاسيوم سوف تزداد مع زيادة سعة التبادل الكاتيوني للتربة تبعاً للعلاقة:**

$$\text{Sufficiency exchangeable K(ppm)} = 220 + (5 * \text{CEC})$$

مع الإشارة إلى أن قيمة الثابت (220) يمكن أن تتغير من محصول لآخر، فهي في نبات الذرة الصفراء مثلاً مساوية لـ (220)، بينما تكون مساوية لـ (280) في نبات فول الصويا.

٣. القدرة على تثبيت البوتاسيوم:

تتأثر الكمية **القابلة للإفادة من البوتاسيوم** في التربة بعملية تثبيت البوتاسيوم Potassium Fixation التي تتأثر بدورها بمجموعة من العوامل كما سبقت الإشارة لذلك. ولحسن الحظ فإن بعضاً من البوتاسيوم المثبت يمكن أن يتحول تدريجياً إلى شكل متاح للنبات، لكن عملية التحول هذه يمكن أن تكون بطيئة جداً لتحقيق نمو محصولي مناسب وإنتاج جيد.

٤. **رطوبة التربة:**

يعتقد أن رطوبة التربة تؤثر في امتصاص النبات للبوتاسيوم من خلال تأثيرها في حركة كاتيونات البوتاسيوم من محلول التربة باتجاه جذور النبات بآلية الانتشار Diffiusion. فعند انخفاض مستوى رطوبة التربة تصبح حركة كاتيونات البوتاسيوم بالانتشار باتجاه المجموع الجذري للنبات **بطيئة**، بينما تزداد هذه السرعة بارتفاع محتوى التربة من الرطوبة أو عند زيادة تركيز البوتاسيوم الذائب فيها. ولقد تبين أن رفع مستوى رطوبة التربة من 10% إلى 28% زاد الكمية الكلية المتحركة للبوتاسيوم بمعدل وصل إلى 175%. بينما سبب انخفاض مستوى رطوبة التربة من 38% إلى 22% نقصاً في محصول الذرة الصفراء، لكن هذا الانخفاض كان أقل وطأة عند المستويات العالية للبوتاسيوم المتبادل في التربة.

١. **التهوية:**

يؤدي ارتفاع محتوى التربة من الرطوبة، أو زيادة اندماجها إلى انخفاض معدل تزويدها بالأوكسجين اللازم لتنفس الجذور مما ينعكس **انخفاضاً في معدل امتصاص البوتاسيوم والعناصر المعدنية الأخرى**. ولقد تبين أن الأنظمة الزراعية التي تؤدي إلى **انخفاض مسامية التربة** وزيادة اندماجها تؤثر سلباً في امتصاص النبات **للبوتاسيوم**. ويمكن **للتسميد البوتاسي** أن يساعد في التغلّب على التأثير السلبي لنقص التهوية على امتصاص البوتاسيوم من قبل النبات.

٦. **حرارة التربة:**

من المؤكد أن لدرجة **حرارة التربة تأثيراً كبيراً** في امتصاص النبات للبوتاسيوم، ولا يعرف بدقة فيما إذا كان تأثير درجة الحرارة في امتصاص النبات للبوتاسيوم يعود إلى إحداثها لتغيرات في جاهزية Availability بوتاسيوم التربة، أو إلى إحداثها لتغيرات في فعالية الجذور وفي معدل العمليات الفيزيولوجية داخل النبات.

فانخفاض درجة الحرارة يترافق مع تباطؤ في معدل العمليات الفيزيولوجية ونمو النبات، ومع انخفاض في معدل امتصاص النبات لأيونات العناصر المغذية أيضاً. ولقد وجد انخفاض في معدل التدفق الداخل Influx للبوتاسيوم عند الدرجة (15°C).

ويُعتقد أن إضافة البوتاسيوم اللازمة لزيادة الكمية الممتصة منه عند هذه الدرجة تعد ضرورية للتغلب على التأثير السلبي لدرجة الحرارة المنخفضة في معدل الانتشار.

٧. **تفاعل التربة(الـ pH)**

يترافق وجود تراكيز **سامة** من **الألمنيوم والمنغنيز** المتبادلين في الترب شديدة الحموضة مع تشكيل بيئة **جذرية غير مناسبة لامتصاص البوتاسيوم** أو العناصر الأخرى. كما أنّ امتصاص النبات للكالسيوم والكاتيونات القاعدية الأخرى يكون محدوداً غالباً في مثل هذه الترب، الأمر الذي ينعكس بدوره انخفاضاً في نمو النبات كما في امتصاص **البوتاسيوم** واستعماله من قبل النبات.

وتؤدي إضافة **الكلس** إلى تربة **حامضية** إلى تحول الألمنيوم المتبادل (Al^{3+}) وكاتيونات $[Al(OH)_2^+]$ إلى هيدروكسيد الألمنيوم $Al(OH)_3$ **ضعيف الذوبان**. مما يعني خروج كاتيونات (Al^{3+}) من المنافسة على التبادل الكاتيوني مع **كاتيونات (K^+)**، محررةً بعض مواقع الربط التي يمكن لكاتيونات (K^+) المنافسة عليها مع كاتيونات (Ca^{2+}).

وبالنتيجة فإن كمية كبيرة من **كاتيونات البوتاسيوم** يمكن أن تتحرك من محلول التربة ليُحتفظ بها بواسطة **فلزات الطين**، مما يسهم في خفض الكمية المفقودة من البوتاسيوم بواسطة الغسل. ويمكن أن تسبب إضافة الكلس للترب الحامضية الفقيرة بالبوتاسيوم المتبادل **نقصاً Deficiency في البوتاسيوم** نتيجة التنافس الأيوني. كما أن إضافة **الكلس** إلى تربة بدرجة تفاعل (pH) 6.0 – 7.5 تؤدي غالباً إلى خفض مستوى البوتاسيوم المتبادل في التربة، كما امتصاص البوتاسيوم من قبل النبات.

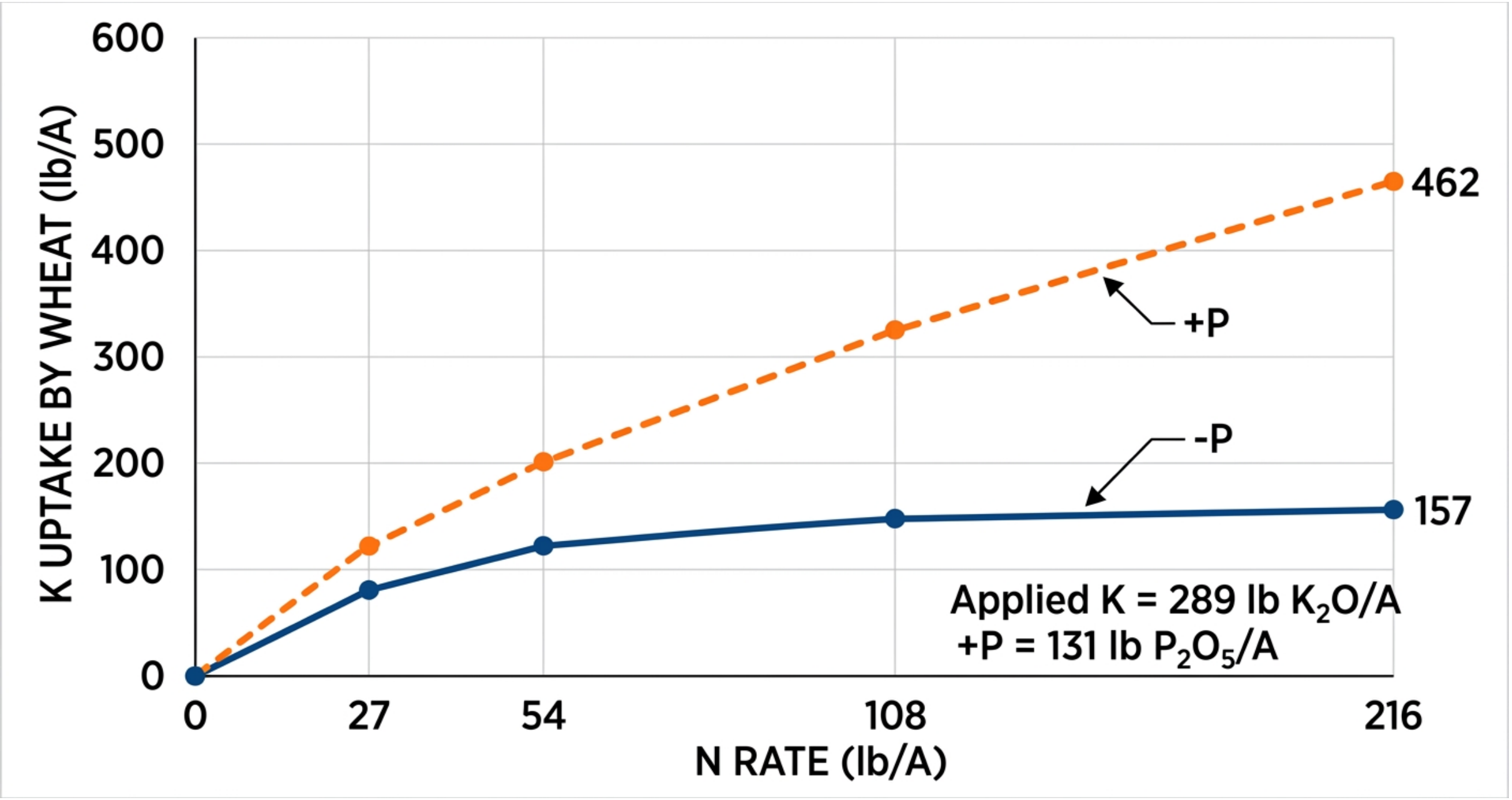
٨. **الكالسيوم والمغنزيوم:** هناك تنافس بين كاتيوني الكالسيوم والمغنزيوم من جهة، وكاتيون البوتاسيوم من جهة على الامتصاص من قبل النبات. لذلك فمن المتوقع أن **الترب الغنية بالكالسيوم أو المغنزيوم تتطلب مستويات عالية من البوتاسيوم لضمان تغذية مناسبة للمحاصيل المختلفة بهذا العنصر.** وتبعاً لمفهوم "نسبة الفعالية Activity ratio" الذي سبقت الإشارة إليه، فإن امتصاص البوتاسيوم سوف ينخفض عندما يزداد امتصاص الكالسيوم والمغنزيوم، وبالمقابل فإن امتصاص هذين الأيونين سوف ينخفض بزيادة الكميات **المتاحة** من البوتاسيوم. ويبين هذا المفهوم أيضاً أن جاهزية البوتاسيوم أكثر ارتباطاً بتركيزه نسبة إلى تركيز الكالسيوم والمغنزيوم من ارتباطها بالكمية الكلية المتوفرة من البوتاسيوم في التربة.

٩. الكميات النسبية للعناصر المغذية الأخرى:

يتأثر امتصاص النبات للبوتاسيوم أيضاً بالكميات المتاحة المتوفرة في التربة من العناصر المغذية الأخرى وبخاصة **النتروجين والفوسفور**.

فلقد وجد أن إضافة **النتروجين** تؤثر بشكل طفيف في امتصاص نبات القمح **للبوتاسيوم** عندما تكون الكميات المتاحة من **الفوسفور** منخفضة، مقابل ذلك تزداد الكميات الممتصة من البوتاسيوم بشكل لافت للنظر عند إضافة **النتروجين والفوسفور** (الشكل ٧-٧).

ومن جهة أخرى فإن توفر مستوى مرتفع من التغذية **بالأمونيوم (NH_4^+)** مع مستوى غير **كافٍ من البوتاسيوم**، يمكن أن يؤدي إلى ظهور **أعراض التسمم بالأمونيوم على النبات** التي يمكن معالجتها بإضافة **البوتاسيوم**. فعلى ما يبدو أن هناك حاجة لكميات **إضافية من البوتاسيوم** لاستعمال مناسب للمستويات المرتفعة من **الأمونيوم NH_4^+**.



الشكل(٧-٧): تأثيرالتسميد النتروجيني والفوسفاتي في امتصاص القمح للبوتاسيوم

٢-٦-٢- العوامل النباتية Plant Factors

من المعروف أن المحاصيل تختلف في قدرتها على امتصاص البوتاسيوم من الترب الحاوية على مستوى محدد من البوتاسيوم المتبادل. كما تختلف أيضاً فيما يخص المستوى الحرج Critical level للبوتاسيوم الضروري لتحقيق المتطلبات الاستقلابية والأسموزية للمحصول.

١. سعة التبادل الكاتيوني للجذور :

يفسّر التباين الملاحظ بين المحاصيل في امتصاص البوتاسيوم من التربة، باختلاف مقدرة جذور هذه المحاصيل على التبادل الكاتيوني.

ويُعتقد أن النباتات التي تتصف جذورها **بسعة تبادل كاتيوني منخفضة**، تكون أكثر قدرة على استخلاص البوتاسيوم من التربة. ويبدو أن امتلاك جذور النبات لسعة تبادل كاتيوني منخفضة، يكون مترافقاً مع **متطلبات منخفضة للنبات من الكالسيوم.**

٢. النظام الجذري Root system

يمكن القول عموماً إن شكل المجموع الجذري وكثافته يعدان من العوامل الأساسية المؤثرة في امتصاص النبات للبوتاسيوم. كما أن قدرة المحاصيل على امتصاص الماء تؤثر أيضاً في امتصاصها للبوتاسيوم.

٣- البوتاسيوم في النبات Potassium in Plant

٣-١ امتصاص البوتاسيوم Potassium Uptake

يتراوح محتوى النبات من البوتاسيوم بين 1 و 3% في المادة الجافة، ويمتص النبات البوتاسيوم على صورة **أيونية (K^+)**، وتتم عملية امتصاصه **بآليات فعالة Active absorption**. ولا يتم تمثيل البوتاسيوم في أي مركب عضوي داخل النبات، وإنما يظل على صورة أيونية في الخلايا والأنسجة النباتية.

يعد البوتاسيوم من أكثر الأيونات أهميةً للنبات، ليس فقط بسبب وجوده بنسبة عالية في الأنسجة النباتية، وإنما بسبب وظائفه الفيزيولوجية والبيوكيميائية الهامة . ولعل سرعة الامتصاص من قبل النبات أهم ما يميز هذا العنصر، الأمر الذي يمكن أن يعزى إلى النفاذية العالية نسبياً التي تتمتع بها الأغشية الخلوية النباتية تجاه كاتيون البوتاسيوم (K^+).

وقد تقود النفاذية العالية للأغشية الخلوية لهذا الكاتيون إلى خروج البوتاسيوم (K^+efflux) من الخلية الجذرية إلى محلول التربة أيضاً، وبخاصةٍ عندما يكون النشاط الاستقلابي للخلية معاقاً. ويبدو أن **الحركية العالية للبوتاسيوم** في النبات مهمة لمختلف العمليات الفيزيولوجية المتأثرة بكاتيون (K^+) مثل: نمو الأنسجة المريستيمية، الحالة المائية، التركيب الضوئي...الخ. وغالباً يكون تحرك البوتاسيوم في النبات باتجاه **الأنسجة الفتية**، ويعاد توزيعه غالباً **من الأعضاء النباتية القديمة إلى الأعضاء الفتية**.

يمتص النبات معظم حاجته من البوتاسيوم خلال مرحلة النمو الخضري، ويشير معدل الامتصاص المرتفع لهذا العنصر إلى أن كاتيون (K^+) يعد منافساً قوياً في الامتصاص للكاتيونات الأخرى، ولهذا السبب يتحسن عموماً معدل امتصاص العديد من الكاتيونات الأخرى عندما يكون امتصاص الـ (K^+) منخفضاً. ومن ناحية أخرى فإن امتصاص النبات لـ (K^+) والاحتفاظ به في الخلايا النباتية يتأثر بدوره بالمنافسة مع كاتيونات أخرى من قبيل: H^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+.

٣-٢- الوظائف الفيزيولوجية للبوتاسيوم Functions of Potassium

يقوم البوتاسيوم بالعديد من الوظائف الفيزيولوجية الهامة في النيات، **يمكن إيجازها بالآتي:**

١. ينظم محتوى النبات من الماء من خلال رفع الضغط الأسموزي للخلايا مما يسمح بالحصول على كمية أكبر من الماء والاحتفاظ به. ويعزى ذلك إلى سيطرته **على آلية فتح الثغور التنفسية وإغلاقها.**

٢. يساعد على انتقال الكربوهيدرات من مناطق اصطناعها إلى الأجزاء النباتية الأخرى، وبخاصة أعضاء التخزين كالجذور في الشوندر السكري (عودة وآخرون، ٢٠٠٧).

٣. ينشّط عمل عدد كبير من الأنزيمات (أكثر من 40 أنزيم)، أهمها: Synthetase, Transferase, Kinase, Dehedrogenase, Nitrate reductase.

٤. يساعد في تمثيل البروتينات من خلال عملية إرجاع النترات واستخدام النشادر الناتج في بناء الأحماض الأمينية.

٥. يزيد من مقاومة النبات للأمراض كصدأ النجيليات واللفحة المتأخرة على البطاطا وذبول القطن، كما يقلل الإصابة بمرض تبقع أوراق التبغ.

٦. يزيد من متانة الجدر الخلوية، مما يسهم في التقليل من تعرض النباتات للضجعان.

٧. يحسِّن الاستفادة من الضوء خلال الطقس البارد، ويزيد من قدرة النبات على تحمل البرودة من خلال تأثيره في تنشيط الأنزيمات الناقلة للكربوهيدرات التي تفقد نشاطها في ظل ظروف البرودة.

٨. يرفع مقاومة النبات للجفاف والملوحة من خلال تأثيره في زيادة تركيز العصارة الخلوية.

٩- يساعد على زيادة مساحة الأوراق من خلال دوره في زيادة كفاءة ومعدّل عملية التمثيل الضوئي ومحتوى النبات من الكربوهيدرات.

١٠. وبمساهمة البوتاسيوم في تنشيط الأنزيمات في مختلف مراحل النمو فإنه يساعد في الحفاظ على أكبر عدد ممكن من الأوراق النباتية بحالة نشطة حتى نهاية موسم النمو مما يؤثر على زيادة الإنتاج وتحسين نوعيته ومحتواه من الكربوهيدرات.

٣-٣ نقص البوتاسيوم Potassium Deficiency

تظهر أعراض نقص البوتاسيوم غالباً في الترب **الرملية** بسبب انخفاض سعتها التبادلية الكاتيونية وتعرضه للانغسال منها. كما يمكن أن تظهر هذه الأعراض في **الترب العضوية** أيضاً نظراً لعدم دخول البوتاسيوم في بناء المادة العضوية، ولتعرّض الكميات المدمصة منه للتبادل الكاتيوني مما يؤدي إلى انغساله منها.

يُعتقد أن **أعراض نقص البوتاسيوم على النبات تظهر** عندما ينخفض محتوى النبات منه **عن 1.5 % في المادة الجافة، وأهم هذه الأعراض:**

أ – اصفرار حواف **الأوراق القديمة** ثم تحول لونها إلى بني بما يشبه **الاحتراق**، ومن ثم امتداد الاصفرار ليشمل مساحة أكبر من الورقة وانتقاله **ليشمل الأوراق الفتية أيضاً.**

ب – انخفاض معدل نمو النبات لعدم كفاية البوتاسيوم المتحرر من الأوراق **القديمة** لتلبية الطلب الكبير عليه من أجل **الأنسجة المريستيمية في القمم النامية**، مما يؤدي في النهاية إلى **تقزم النبات**. وتبدي النباتات التي تعاني من نقص البوتاسيوم **مظهر التورد Rozetting نتيجة لقصر السلاميات.**

جـ - ذبول الأوراق وتهدلها نحو الأسفل، وبخاصة عند ارتفاع درجة الحرارة الجوية والجفاف.

د – تضعف قدرة النبات على مقاومة الرقاد، وعلى تحمل الجفاف والصقيع والملوحة.

هـ - انخفاض عدد الأزهار والثمار، وبقاء الثمار صغيرة الحجم.

و – انخفاض محتوى النبات من الكربوهيدرات.

٤-٣- الاستهلاك الترفي للبوتاسيوم Luxury Consumption of Potasium

تستنزف المحاصيل **كميات كبيرة من البوتاسيوم** بالمقارنة مع العناصر المغذية الكبرى الأخرى.

وتميل النباتات عموماً لامتصاص كميات زائدة من البوتاسيوم تزيد كثيراً عن حاجتها الفعلية للوصول إلى نمو مثالي عند توفره بكمية جيدة في التربة،

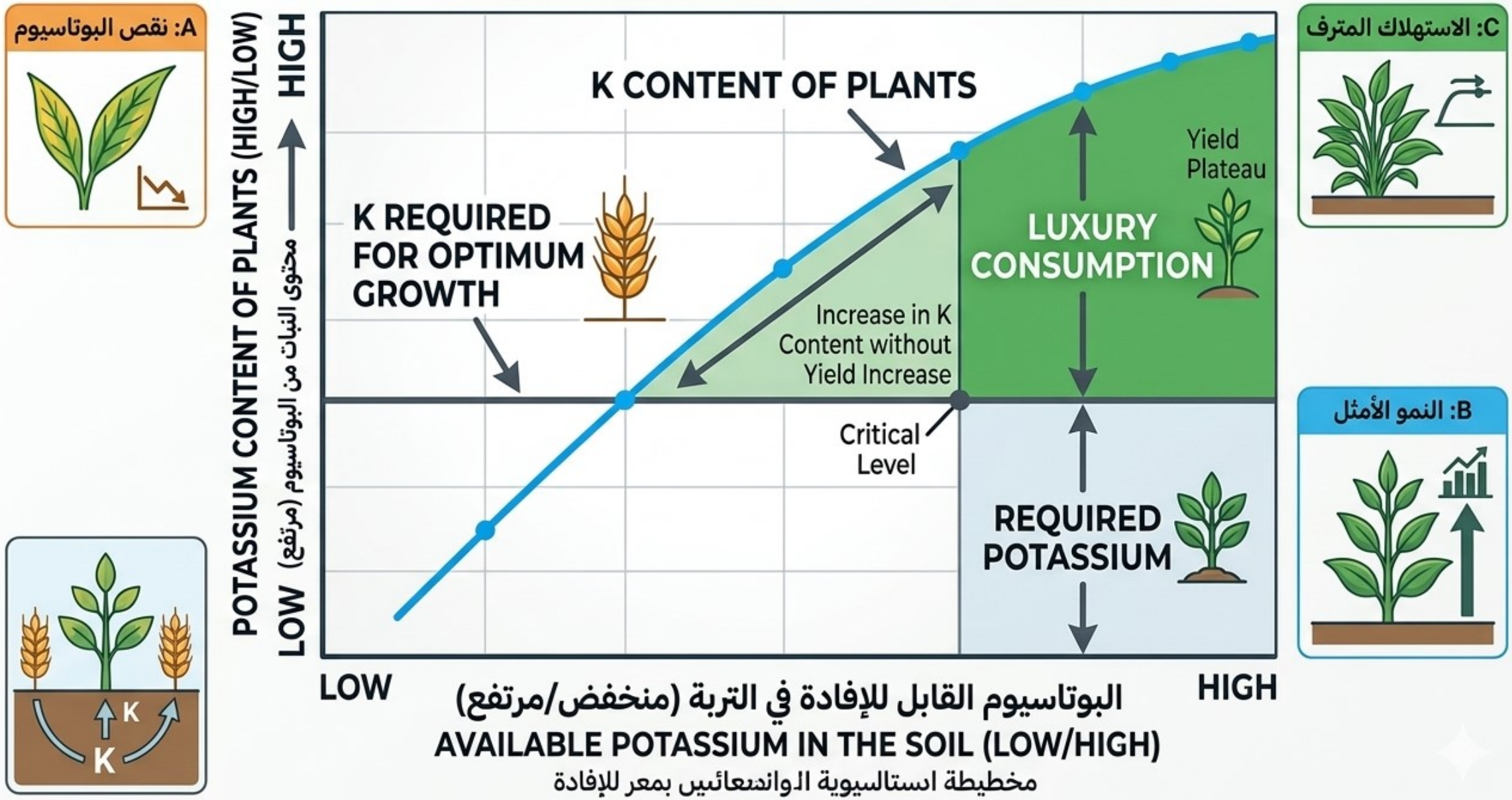
وذلك دون أن ينعكس هذا الامتصاص الزائد للبوتاسيوم على نمو النبات،

بل يترافق فقط مع زيادة تركيزه في النسيج النباتي.

وتعرف هذه الظاهرة باسم الاستهلاك الترفي Luxury Consumption للبوتاسيوم

(الشكل ٧-٨)، وتلاحظ هذه الظاهرة على المحاصيل العلفية بوجه خاص .

تخطيطي: محتوى النبات من البوتاسيوم والغلة تابع لمحتوى لمحتوى التربة من البوتاسيوم القابل للإفادة



مخطيطة استالسيوية الوانسعائيس بمعر للإفادة

أعراض نقص البوتاسيوم على بعض النباتات .

إلى اللقاء في المحاضرة القادمة

المرجع: - عودة وشمشم(٢٠١١) : كتاب خصوبة التربة وتغذية النبات- منشورات جامعة حمص.

ملاحظة: تمَّ تطوير بعض الرسوم البيانية بالاستعانة بالذكاء الصنعي .