جامعة حماه
كلية الهندسة الزراعية – السلمية
السنة الثالثة

المحاضرة النظرية العاشرة في خصوبة التربة وتغذية النبات

المولبيدنم

The Molybdenum

إعداد: د. حيدر الحسن

17/6/2026

مقدمة:

لا يعد عنصر المولبدنم عنصراً من العناصر الصغرى الأساسية للنبات فقط وإنما يؤدي دوراً أساسياً مهماً في الكائنات الحية الأخرى كالإنسان والحيوان والبكتريا كالآزوتوباكتر والرايزوبيوم وغيرها.

١- المولبدينم في التربة:

تحتوي الترب الناشئة عن صخور حامضية بشكل عام على تراكيز مرتفعة نسبياً من عنصر المولبدنم مقارنة مع تلك التي نشأت من صخور قاعدية.

وتعدّ صخور **البازلت والغنايس** من أكثر الصخور غنىً بهذا العنصر.

يتراوح التركيز الكلي من عنصر المولبدينم في التربة بين **٢.٠-١٠ مغ/كغ تربة ووسطياً حوالي ٢مغ/كغ تربة،**

يتواجد المولبدنم في التربة على شكل شاردة سالبة ويتم امتصاصه من قبل النبات على شكل مولبدنم سداسي التكافؤ MoO_4^{-2} عند درجة pH أعلى من ٥-٦. أمّا عند درجات pH أقل من ذلك فإنّ امتصاصه يكون على شكل $HMoO_4^-$.

١-١- أشكاله في التربة:

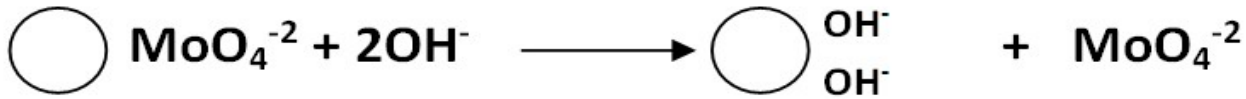
- المولبدنم الفلزي يعد المولبيدينيت MoS_2 Molybdenite، والبوفيليت Powellite CaMoO4 والفولفينيت Wulfenit pbMoO4 من أكثر الفلزات المحتوية على المولبدنم.

المولبدنم الذواب: يتواجد المولبدنم الذواب في محلول التربة على شكل MoO_4^{-2}، $HMoO_4^-$ وينخفض تركيزه كثيراً في الترب مقارنة مع الأشكال الأخرى، إذ لا يتعدى تركيز المولبدنم الذواب عدة أجزاء بالبليون **(٢-١٠ ppb)**، ويتأثر هذا الشكل من المولبدنم بشكل واضح في درجة حموضة التربة حيث ينخفض تركيزه بما يعادل ١٠ أضعاف عند انخفاض درجة الـ pH درجة واحدة، ويعدّ هذا الشكل من الأشكال المتاحة للامتصاص المباشر من قبل النبات.

المولبيدنم المدمص: يحصل ادمصاص المولبدنم في التربة على مكونات التربة المعدنية والعضوية حيث يُدمص على الأكاسيد المائية للحديد والأمنيوم ومعادن الطين وكذلك على المركبات الدبالية ويحصل ذلك عن طريق التبادل بين المجموعات الوظيفية على مكونات التربة. إن شدة الادمصاص بين المولبدن والأكاسيد المائية للحديد والألمنيوم تزداد بانخفاض pH التربة. **ويعبّر الشكل رقم (١) عن أشكال المولبيدنم في التربة.**

١-٢-أهم العوامل المؤثرة في حركية عنصر المولبدنم في التربة:

١- pH التربة: يؤثر pH التربة تأثيراً واضحاً على إتاحة عنصر المولبدنم في التربة، وعموماً يلاحظ إتاحة هذا العنصر في التربة **بزيادة درجة الـ pH** بينما يزداد الادمصاص على الأكاسيد المائية للحديد والألمنيوم بانخفاض درجة pH التربة حيث تضعف الرابطة بين أكاسيد الحديد والألمنيوم والمولبدنم بزيادة تركيز شوارد الهيدروكسيل، **حيث يحصل التفاعل التبادلي التالي:**



الشكل رقم (١) عن أشكال الموليبدنم في التربة.

وعلى العكس من ذلك، فإنّ **انخفاض درجة الـ pH** يزيد من ادمصاص شاردة المولبدنم في التربة، وإضافة أسمدة ذات **تأثير قلوي** إلى الترب الحامضية يمكن أن تحسّن من **إتاحة** عنصر المولبدنم في التربة.

- **الفوسفور:** يتشابه المولبدنم مع الفوسفور في طريقة ادمصاصه في التربة ولو أن شاردة الفوسفات تُدمص بقوة **أكبر**. لذلك فإنّ ارتفاع تركيز عنصر الفوسفور في التربة يزيد من إتاحة عنصر المولبدنم **حيث يحصل تبادل بين شاردتي المولبدات والفوسفات كما يلي:**

٣- كربونات الكالسيوم: تبيّن أبحاث عديدة الدور الذي تقوم به **كربونات الكالسيوم في إتاحة عنصر المولبدنم في التربة.** ومن المتوقع أن كربونات الكالسيوم تؤثر بشكل غير مباشر عند إضافتها إلى الترب الحامضية في رفع درجة pH الترب الذي **يضعف من ادمصاص المولبدنم**، ومن جهة أخرى فإن إضافة كربونات الكالسيوم تقلل من إتاحة عنصري النحاس والمنغنيز الذين ينافسان عنصر المولبدنم على الامتصاص من قبل النبات.

٤- المادة العضوية: يتم ادمصاص المولبدنم على المركبات العضوية في التربة ادمصاصاً قوياً ويكون **غير متاح للامتصاص** من قبل النبات ويشكل مولبدنم المادة العضوية جزءاً هاماً يتعدى بعدة مرات أشكال المولبدنم الأخرى في التربة، إلا أنّ عملية تمعدن المادة العضوية تؤدي إلى **إتاحة** عنصر المولبدنم في التربة، ويمكن أن يكون لإضافة الأسمدة العضوية في الترب الحامضية أثراً أكبر في تحسين التغذية بعنصر المولبدنم مقارنة مع الترب ذات التفاعل القلوي.

٥- قوام (نسيج) التربة: يختلف محتوى الترب اختلافاً كبيراً باختلاف درجة نعومة الحبيبات، فكلما زادت نسبة حبيبات التربة ذات الأقطار الصغيرة (الطين والسلت) كلما **زاد** محتواها من المولبدنم بسبب زيادة السطح النوعي للادمصاص والذي يقل في حال **الترب الرملية** والتي تتعرض للغسيل وانخفاض محتواها من عنصر المولبدنم.

٢- المولبدنم في النبات:

يتواجد عنصر المولبدنم في النبات بتركيز منخفض جداً **(أقل من ١مغ/كغ مادة جافة)** وهو من أقل العناصر الصغرى تواجداً في النبات وبشكل عام.

٢-١- تركيز عنصر المولبدنم:

يتراوح تركيز عنصر المولبدنم في النباتات التي تنمو طبيعياً **بين ٠.٥-٥ مغ/كغ** مادة جافة، بينما يكون بحدود ٠.٠٢-٠.٢ مغ/كغ مادة جافة في النباتات التي تظهر عليها أعراض نقص هذا العنصر.

يختلف محتوى النباتات اختلافاً كبيراً في محتواها من عنصر المولبدنم وتعد نباتات العائلة الصليبية والبقولية أكثر احتواءً على هذا العنصر بينما ينخفض التركيز في النباتات أحادية الفلقة.

وبشكل عام يمكن القول بأن النباتات التي تنمو في **ظروف الترب الحامضية** بشكل جيد تكون عادةً ذات احتياجات أقل من عنصر المولبدنم مقارنة مع النباتات التي تنمو في **الترب المتعادلة والقلوية**. ومن النباتات الحساسة لنقص المولبدنم: الفصة، البرسيم، القنبيط، الخس، السبانخ، البندورة **ويبين الجدول (١٦-١) تركيز عنصر المولبدنم في بعض النباتات.**

جدول (١٦-١): تركيز المولبدنم في بعض النباتات

النبات	تركيز Mo مغ/كغ مادة جافة
ترمس	0.47
فاصولياء	0.60
ذرة صفراء	0.76
حبوب القمح	0.77
قشر القمح	0.99

٢-٢- امتصاص المولبدنم من قبل النبات:

يمتص النبات المولبدنم من التربة أو المحاليل المغذية على شكل $MoO4^{-2}$ من خلال جذور النباتات، التي تتم غالباً بآلية جريان الكتلة Mass Flow، كما ويمكن أن يمتص النبات عنصر المولبدنم عن طريق المجموع الخضري. وتعرقل الشاردة $SO4^{-2}$ امتصاص المولبدنم في التربة وعلى العكس من ذلك فإن وجود شاردة الفوسفات $H2PO4^{-}$ تحفز امتصاص النبات للمولبدنم.

يؤدي ارتفاع تركيز **المنغنيز** في التربة إلى انخفاض امتصاص النبات للمولبدنم لذلك تزداد الحاجة لإضافة المولبدنم بوجود **تركيز مرتفع من المنغنيز** والأمر ذاته يتم بوجود تركيز **مرتفع من النحاس** الذي يحدّ من امتصاص النبات لعنصر المولبدنم.

٢-٣- الدور الفيزيولوجي للمولبدنم في النبات:

١- يؤدّي دوراً مهماً كحامل للإلكترون لمختلف العمليات الحيوية في النبات من خلال قدرته على تغيير رقم أكسدته بين الخماسي والسداسي

$$Mo^{+5} \rightleftharpoons Mo^{+6} - e^{-}$$

٢- يساهم في مختلف التحولات الأنزيمية في النبات وخاصة أنزيم نترات ريدوكتاز (Nitrate Reductase). حيث يؤدي **نقص** المولبدنم إلى **تراكم النترات** وعدم تحولها إلى أحماض أمينية وبروتينات.

٣- يدخل في تركيب أنزيم النتروجيناز (Nitrogenase) الضروري لتثبيت الآزوت الجوي والذي يؤدي دوراً هاماً في نباتات العائلة البقولية.

٤- يؤدي دوراً مهماً في عمليات التمثيل الغذائي في اصطناع ونشاط حمض الأسكوربيك.

٥- ارتفاع تركيزه في النبات يعيق نشاط أنزيمات السايتوكروم أوكسيداز التي تنشط **النحاس** بسبب علاقة التضاد بين المولبدنم والنحاس.

٢-٤- أعراض نقص المولبدنم: (الشكل رقم ٢)

تظهر أعراض نقص المولبدنم على النباتات عند انخفاض تركيزه عن **٠.٠٢-٠.٠٢ مغ/كغ** مادة جافة وتظهر أعراض النقص **عادة في الترب الحامضية والرملية**، كما وتختلف أعراض النقص من نبات لآخر.

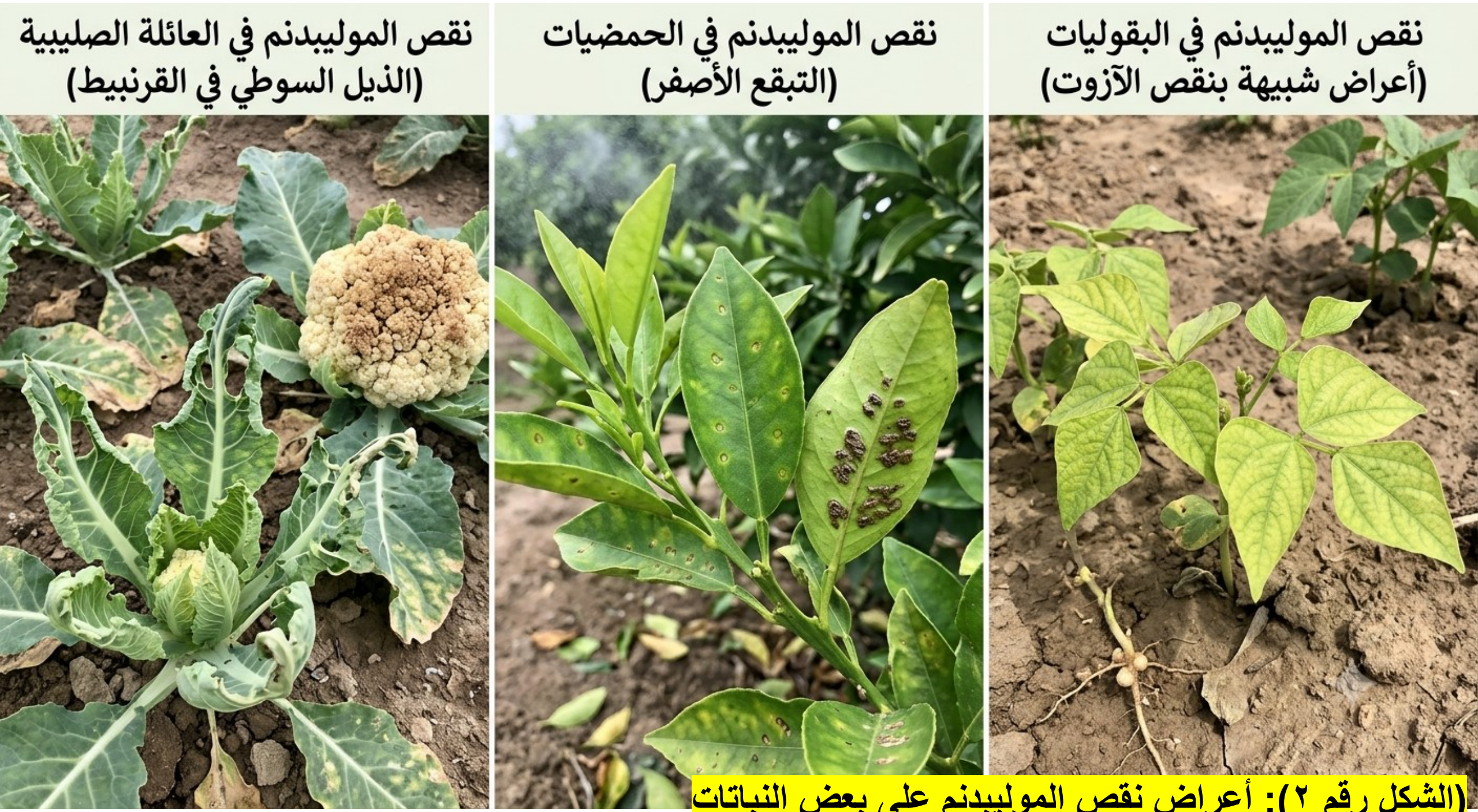
- **العائلة الصليبية**: يحدث انكماش لحواف الأوراق الحديثة باتجاه الداخل ثم تتعرى أجزاء من صفيحة الورقة حول العرق الرئيسي حيث تبدو الأوراق مشوهة وغير مكتملة النمو وتظهر بقع باهتة بين العروق ويسمى هذا العرض **بالذيل السوطي Whip tail** **ويظهر القرص الزهري على القرنبيط بشكل غير متراص مع تلونه باللون البني.**

- **الحمضيات**: تظهر أعراض نقص المولبدنم على شكل بقع مائية على الوجه العلوي للأوراق الحديثة وبقع صمغية على الوجه السفلي ويسمى هذا العرض بالتبقع الأصفر **yellow spot** ثم تتساقط الأوراق.

- **البقوليات**: تظهر على **الأوراق المسنة والمتوسطة** النمو أعراض مشابهة لأعراض **نقص الآزوت**.

٢-٥- التسميد بالمولبدنم:

يوجد طرائق كثيرة لتحديد حاجة النبات للتسميد بالمولبدنم ومن هذه الطرائق تقدير محتوى التربة من المولبدنم باستخلاصه بأسيتات الأمونيوم عند pH = 3.3 وتتم عملية التسميد إذا انخفض تركيزه بهذه الطريقة عن 0.15 مع/كغ تربة.



(الشكل رقم ٢): أعراض نقص الموليبدنم على بعض النباتات

ومن الطرائق المستخدمة في التسميد بالمولبدنم:

- **الإضافة المباشرة للتربة:** ومن أهم الأسمدة المستخدمة مولبدات الأمونيوم ومولبدات الصوديوم وكلا السمادين جيدي الانحلال بالماء لذلك يمكن استخدامهما في التسميد الورقي أيضاً وفي حال إضافة هذين السمادين فإن الإضافة تكون بحدود ١-٢ كغ/هـ.

- **التسميد الورقي:** يفضل استخدام سماد مولبدات الأمونيوم في التسميد الورقي بتركيز ١غ/ل وبمعدل ٠.٨ كغ/هـ.

- **نقع البذور:** يمكن تلافي نقص المولبدنم عن طريق نقع البذور قبل الزراعة وعادة يكفي استخدام ٦٠غ مولبدنم لبذور يتم زراعتها في هيكتار من الأرض.

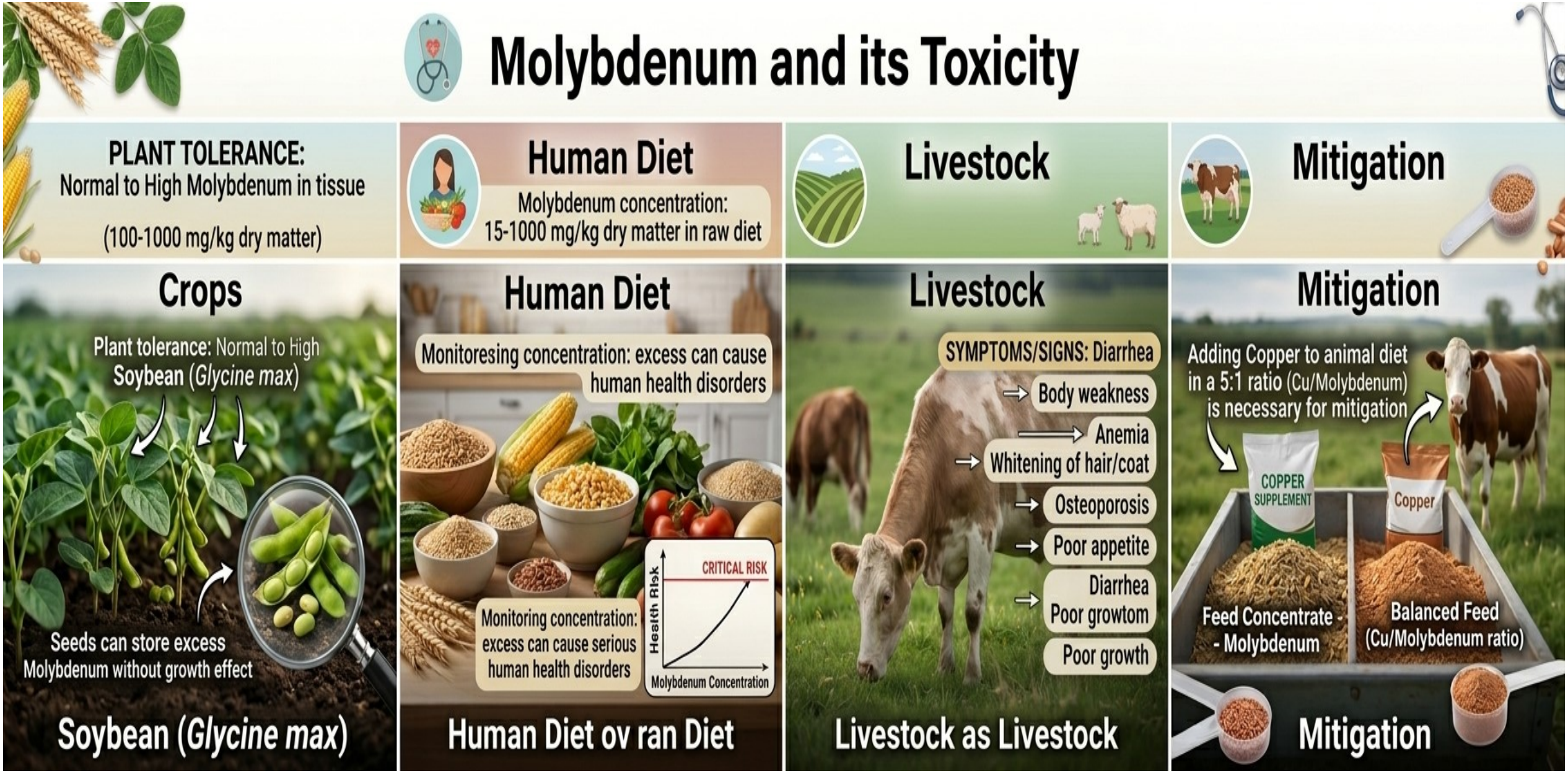
- **إضافة الكلس:** يمكن في كثير من الحالات **تحسين التغذية بعنصر المولبدنم عن طريق إضافة الكلس** إلى الترب الحامضية التي تحتوي على تركيز كلي مرتفع من المولبدن وقد أثبتت هذه الطريقة فعالية كبيرة مقارنة مع الطرائق الأخرى للتسميد بهذا العنصر، **ويبين الجدول (١٦-٢) أهم الأسمدة المستخدمة في معالجة نقص المولبدنم.**

جدول (٢-١٦): أهم الأسمدة المحتوية على المولبدنم

اسم السماد	الصيغة الكيميائية	% M0
مولبدات الأمونيوم	$(NH4)_2MoO_4$	49
مولبدات الصوديوم	$Na2\ MoO_4$	46
مولبدات الصوديوم المائية	$Na2\ MoO_4.H2O$	39
مولبدات المولبدنيوم	$H2MoO_4.5H2O$	26

٢-٦- التسمّم بالمولبدنم:

لا تتأثر النباتات عادةً بارتفاع تركيز المولبدنم في أنسجتها عن الحد الطبيعي ولا تظهر عليها أعراض السمية بهذا العنصر. ويمكن أن يرتفع تركيزه إلى **١٠٠٠-١٠٠ مغ/كغ مادة جافة** عند زيادة تركيز عنصر المولبدنم في الوسط الغذائي ويوجد بعض المحاصيل كالعائلة البقولية يمكنها تخزين كميات كبيرة منه في البذور زيادة عن حاجتها دون أن يتأثر نموها، لذلك من الضروري معرفة تركيز المولبدنم فيها لأن ارتفاع تركيزه عن حد معين يؤدي إلى أمراض خطيرة على **صحة الإنسان والحيوان**. فارتفاع تركيز المولبدنم عن ١٥مغ/كغ مادة جافة في علائق الحيوانات يسبب **مرض Molybdenosis والذي يتمثل بأعراض عديدة منها الإسهال وضعف الجسم وفقر الدم وابيضاض الشعر وترقق العظام وضعف الشهية**، وقد لوحظ أن إضافة **النحاس** إلى علائق الحيوانات بنسبة Cu/M0 : 5/1 ضرورية للتخفيف من هذا المرض. **كما في الشكل رقم(٣).**



الشكل رقم(٣): بعض أعرض التسمّم بالموليبدنم.

المادة العضوية والدبال

Soil Organic Matter & Humus

١- المادة العضوية

المادة العضوية هي مجموع البقايا النباتية أو المخلفات الحيوانية التي تصل إلى التربة، وكذلك الأحياء الدقيقة الموجودة فيها، سواء كانت هذه البقايا متحللة كلياً أو جزئياً أو في طريقها إلى التحلل.

١-١ مصدر المادة العضوية في التربة:

أ- البقايا النباتية المضافة إلى التربة (سوق – أوراق – جذور) أو الأجزاء النباتية التي تبقى تحت سطح التربة (جذور النباتات) في أثناء حصاد المحصول، أو الأسمدة الخضراء التي تقلب في التربة. أو إضافة الأسمدة غير التقليدية ذات المنشأ النباتي كتفل الزيتون والكومبوست النباتي.

ب- المخلفات الحيوانية المضافة إلى التربة (أسمدة الأبقار – الأغنام ...) والأسمدة غير التقليدية كبقايا المسالخ ومخلفاتها.

ج- كائنات التربة: وهي مجموعة الأحياء الدقيقة والفطور والقوارض وغيرها، حيث تعمل هذه الكائنات عند نفوقها وكذلك في أثناء نقلها البقايا العضوية في التربة إلى إغناء التربة بالمادة العضوية.

١-٢ تركيب البقايا العضوية النباتية الطازجة:

إن تركيب البقايا النباتية يتوقف على عوامل عديدة كنوع النبات، وعمره، وأجزاء النبات. وبشكل عام، يشكل الماء حوالي ٧٥% من مكونات الأنسجة النباتية الخضراء، و ٢٥% عبارة عن مادة جافة، حيث تتكون المادة الجافة من الكربون والأكسجين والهيدروجين والنتروجين والعناصر المعدنية، وتتحد هذه العناصر مع بعضها البعض بنسب مختلفة مشكلة المركبات العضوية ضمن الأنسجة النباتية وهي بدورها تختلف بحسب النسيج النباتي. ويبين الجدول التالي (جدول رقم ١٧-١) النسب التقريبية لبعض المركبات العضوية ضمن أنسجة النبات.

جدول (١٧-١): المحتوى النسبي لبعض المركبات في أنسجة النبات (% من المادة الجافة)

اسم المركب	النسبة المئوية
سكريات ونشويات	١ - ٥
هيميسللوزات	١٠ – ٢٨
سللوزات	٢٠ – ٥٠
دهون – شموع – تانينات	١ – ٨
لجنينات	١٠ – ٣٠
بروتينات	١ – ١٥

١-٣ تحلل المادة العضوية في التربة وتكوين الدبال:

بعد إضافة البقايا العضوية إلى التربة، وعند توافر الظروف الملائمة من حرارة ورطوبة، تقوم الأحياء الدقيقة في التربة بتحليلها وذلك بهدف الحصول على الغذاء والطاقة اللازمة لعملياتها الحيوية. وتختلف سرعة تحلل المركبات العضوية في التربة اختلافاً كبيراً، ففي حين تتحلل السكريات والنشويات والبروتينات بسرعة، فإن مركبات أخرى كاللغنين تحتاج لفترة زمنية كبيرة من أجل تحللها. **ويمكن ترتيب سرعة تحلّل المركبات المختلفة كما يلي:**

سكريات ونشويات وبروتينات بسيطة > بروتين خام > هيميسللوز> سللوز > لجنين، دهون، شموع.

إنّ عملية التحلل تتم في الوقت نفسه لجميع المركبات، إلا أن سرعة التحلل تختلف من مركب لآخر. وتتحول المركبات في أثناء التحول في التربة إلى مركبات بسيطة. فالنشاء يتحول إلى سكريات بسيطة، والبروتينات إلى أحماض أمينية والمواد الدسمة إلى غليسيرين وحموض دسمة، وبالإضافة إلى ذلك ينتج مركبات ذوابة عبارة عن شوارد معدنية.

يعد الليغنين من أكثر المركبات العضوية مقاومة للتحلل، لكنه يخضع لبعض التغيرات في تركيبه الكيميائي ويساهم في تشكيل الدبال بشكل أساسي. **ويمكن التمييز في أثناء تحلل المادة العضوية في التربة نوعين من التحلل:**

تمعدن سريع: تتطلب بعض أنواع الكائنات الحية الدقيقة في التربة (الأنواع غير ذاتية التغذية)، الطاقة لبناء أجسامها، حيث تقوم بتفكيك المادة العضوية، وينتج عن هذا التحلل مركبات ذوابة مثل $PO4^{-3}$ ، Ca^{+2} ، Mg^{+2}، Na^{+}، NO_3^{-} وكذلك مواد غازية مثل NH_3، CO_2، حيث يستفيد النبات من نواتج هذه التحلل، ويضيع جزء آخر منه مع المياه الراشحة خلال التربة، ويمكن أن يدمص جزء منه على غرويات التربة.

تمعدن بطيء: ينتج عن مرحلة التحلل السريع للمادة العضوية بالإضافة إلى المركبات الذوابة السابقة الذكر، نواتج انتقالية، حيث تتم عملية التمعدن البطيء على هذه النواتج الانتقالية. وكذلك على أجسام الكائنات الحية الدقيقة بعد موتها، وتتم هذه العملية ببطء شديد، وتتأثر كثيراً بظروف الوسط مثل درجة الـ PH، الرطوبة، CO_2، الحرارة، النسبة C/N.

ويمكن تمثيل ذلك لكلا النوعين من التمعدن حسب المخطّط (الشكل رقم ٤).

دورة المادَّة العُضويَّة في التُّربة: عمليَّات التَّحوُّل

الشكل رقم (٤) تمعدن المخلفات العضوية فى التربة.

٢- الدبال:

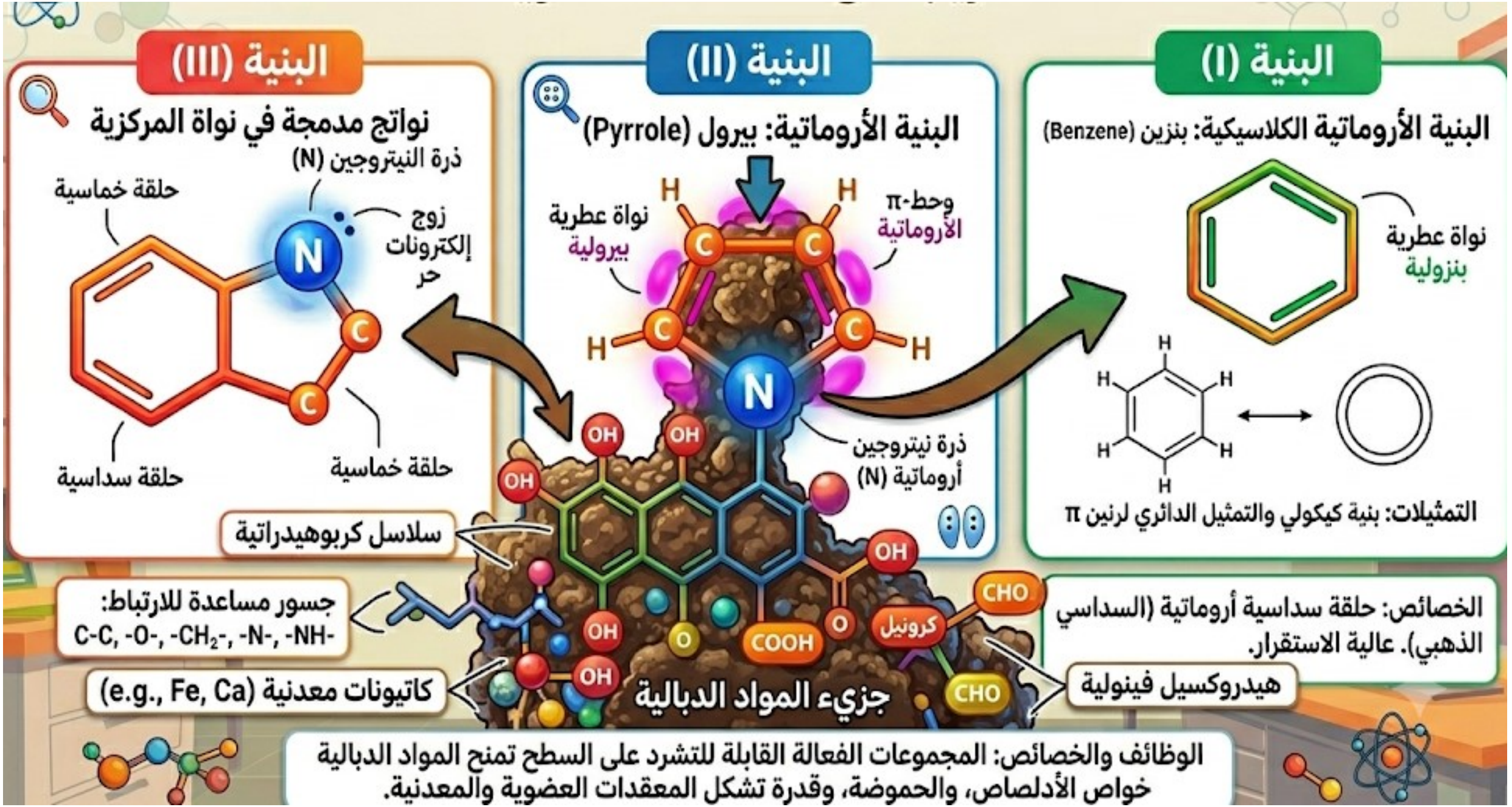
عبارة عن مواد عضوية غامقة اللون، ذات طبيعة غروية وأوزان جزئية مرتفعة ترتبط بعلاقة وثيقة مع معادن التربة، وتتوزع فيها بشكل منتظم، وتتمتع بخواص فيزيائية محددة وتركيب كيميائي شبه ثابت. **وتنتج عن عمليتين حيويتين هما:** تحلل المادة العضوية، واصطناع مركبات دبالية جديدة اعتباراً من المركبات الانتقالية.

٢-١ بنية الدبال: (الشكل رقم ٥)

يعدّ الدبال من مستجدات التربة، وهو ذو طبيعة كيميائية حيوية، وتتألف جزيئة المواد الدبالية من نواة عطرية بنزولية(I) أو بيرولية(II) أو اندولية (III) متعددة الحلقات، حيث ترتبط مع هذه النواة المركزية مع سلاسل جانبية من الكربوهيدرات، والبيبتيدات، والكاتيونات المعدنية والحموض الفينولية، كما ترتبط هذه السلاسل الجانبية مع النواة المركزية بجسور مساعدة كالروابط C-C، -O-، -CH2-، -N-، -NH-، ...الخ. وينتشر على سطح الجزيئة الدبالية مجموعة من **الوظائف الفعالة القابلة للتشرد مثل (-OH ، -COOH، -CO، -CHO، هيدروكسيل الفينول)** وهذه الوظائف يعود إليها خواص المركبات الدبالية كالادمصاص والحموضة وغيرها كما يعود إليها قدرة هذه الوظائف على تشكل معقدات عضوية ومعدنية.

٢-٣ تشكّل الدبال:

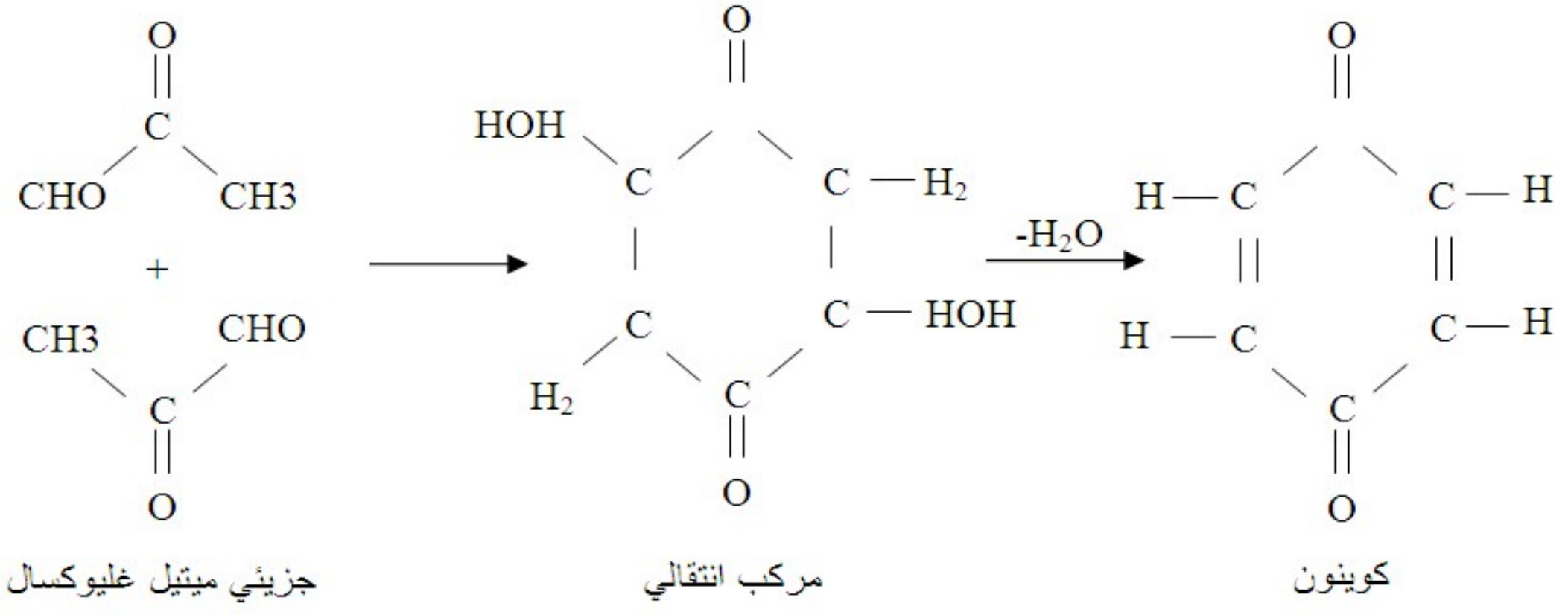
يتشكل الدبال اعتباراً من النواتج الانتقالية للتحلل، مضافاً غليها نواتج تحلل الأحياء الدقيقة بعد موتها حيث تتعرض هذه المركبات إلى التكثيف والبلمرة (تضاعف)، مشكلة المواد الدبالية ذات التركيب الكيميائي المعقد وأوزان جزئية كبيرة ويطلق على هذه المركبات اسم **الحموض الدبالية**.



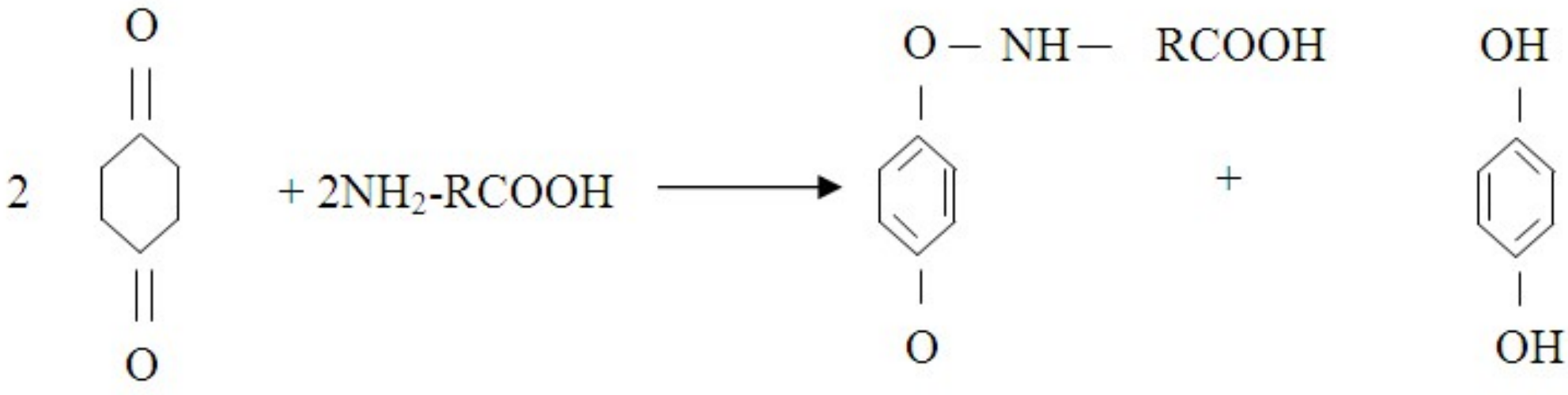
(الشكل رقم ٥): بنية الدبال

وبالتالي فإن تشكل الدبال يمر من خلال ثلاث خطوات هي: تحلل المركبات العضوية إلى مركبات بسيطة (انتقالية)، وإعادة تركيب هذه المواد الانتقالية بمساعدة الأحياء الدقيقة في التربة، **وأخيراً تشكل الدبال.**
تتشكل النواة العطرية للمركبات الدبالية من حلمهة وأكسدة الليفينين والمواد الراتينجية ويمكن أن يتم ذلك على مائيات الفحم اعتباراً من سلاسل مفتوحة **ويمكن بيان تشكل النواة العطرية اعتباراً من سكر الغلوكوز كما يلي:**

$$C6H2O6 \rightarrow 2CH3 - CO - CHO + 2H2O$$



يتفاعل الكونيون المتشكل مع المركبات الآزوتية (نشادر، حموض أمينية، بيبتيدات ...الخ). ويمكن تمثيل التفاعل بين الكونيون والحموض الأمينية حسب ما يلي:



وتؤدّي عملية التكثيف والبلمرة إلى تركيب مواد أخرى واصطناع المركبات الدبالية.

٤-٢- التركيب العنصري للدبال:

يتكون الدبال من العناصر التالية:

C: 56 - 61%

O: 30 – 40%

N: 3 – 6%

H: 3.5 – 4.5%

كما يحتوي الدبال على عناصر معدنية شاردية مثل Ca^{+2}، Mg^{+2}، K^{+}، Na^{+}، PO_4^{-3}، S.

٢-٥ مجموعات الدبال:

أ- مجموعات رئيسة وتقسم إلى: حموض هيومية Humic Acids ، حموض فولفية Folvic Acids

ويبيّن الجدول التالى خصائص كل من الحموض الهيومية والفولفية.

الحموض الهيومية	الحموض الفولفية
ذات أوزان عالية جداً	ذات أوزان جزيئية عالية جداً ونسبياً أقل من الهيومية
تحتوي على تركيز مرتفع من الكربون C والآزوت N	تحتوي على N وC بنسب أقل من الحموض الهيومية
لونها يتراوح من الكرزي إلى البني	لونها من الأصفر إلى البرتقالي
سعتها التبادلية عالية من ٣٥٠-٥٠٠ ميلي مكافئ في ١٠٠غ تربة	سعتها التبادلية عالية ومساوية تقريباً للأحماض الهيومية (٣٥٠-٥٠٠ ميلي مكافئ في ١٠٠غ تربة)
تنحل في القلويات فقط	تنحل في الماء والحموض والقلويات
PH معلقها المائي حوالي ٣	PH معلقها المائي بين ٢,٢-٢,٨
تشكل مع المعادن **القلوية** مركبات ذوابة يسهل رشحها في التربة، بينما تشكل مع المعادن القلوية الترابية هيومات المعادن (هيومات الكالسيوم والمغنزيوم)، حيث تتجمع ضمن مقطع التربة وتترسب وتساهم في لصق حبيبات التربة	تشكل مع المعادن القلوية والقلوية الترابية فولفات ذوابة، لذلك يمكن أن تتعرض للغسيل من مقطع التربة إذا سمحت الظروف بذلك.
غير شرهة للماء بسبب انخفاض محتواها من السلاسل الجانبية (التي تحتوي على المجموعات الوظيفية الفعّالة)	شرهة للماء بسبب احتوائها على سلاسل جانبية بكمية كبيرة مقارنة مع الهيومية

هيومين Humin

الهيومين هو ذلك الجزء من الدبال الذي لا يمكن استخلاصه بالحموض والقلويات المعروفة، ويعتبر حمضاً هيومياً غير قابل للاستخلاص بسبب الروابط المتينة الذي يشكلها مع معادن الطين من النوع **(مونتموريللونيت)**، حيث يملأ الفراغات بين الوحدات البلورية.

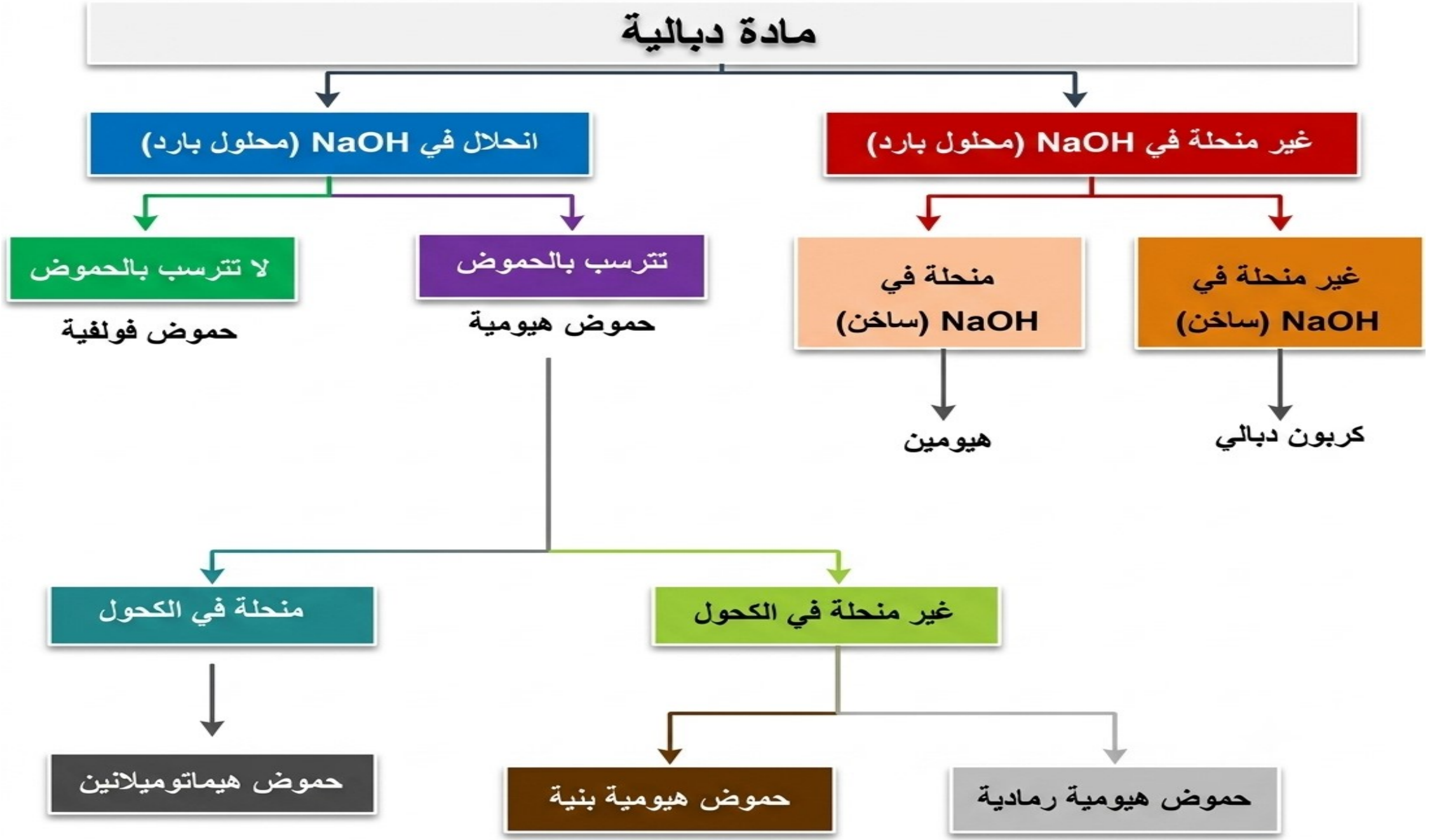
إنّ نسبة الهيومين في دبال التربة لا تتعدى ١٥-٢٠% ويمكن أن تصل في بعض الحالات إلى ٤٠%.

ب- مجموعات غير رئيسة:

مواد راتينجية، دهون، ماءات الفحم، كحولات، ألدهيدات، مركبات نتروجينية.

٦-٢- استخلاص المركبات الدبالية:

يبين المخطط التالي (الشكل رقم ٦) طريقة من بعض الطرائق المستخدمة في استخلاص المركبات الدبالية.



الشكل رقم(٦): مخطط استخلاص المركبات الدبالية

٢-٧- أنواع الدبال:

يمكن تصنيف الأنواع المتباينة من الدبال حسب Dvchaufour عام ١٩٧٠ (في أبو نقطة ١٩٨٠) **حسب ظروف تكوينه إلى دبال متكون في ظروف لا هوائية ويضم ثلاثة أنواع.**

٣- المعقدات العضوية كعوامل امتصاص:

يشكّل الفوسفور العضوي حوالي ٣٠% من الفوسفور الكلي في التربة، ويشكل حوالي ٢٥-٦٠% من الفوسفور القابل للإفادة. ويتوافد الفوسفور بشكل أساسي **على شكل فيتين وفوسفولبيدات** ويلاحظ وجود علاقة ارتباط ايجابية بين محتوى التربة من الفوسفور ومحتواها من المادة العضوية. حيث يصبح الفوسفور في أثناء تحلل المادة العضوية مصدراً لتغذية النبات بهذا العنصر.

الأمر ذاته يلاحظ بالنسبة لعنصر **الكبريت**، بينما تنخفض أهمية المادة العضوية في حال **التغذية البوتاسية** وكذلك الأمر بالنسبة **للكالسيوم والمنغنزيوم**، حيث تلعب مكوّنات التربة المعدنية (معادن الطين) دوراً أهم في هذا المجال.

ويمكن أن تكتسب الجزئيات العضوية الشحنة السالبة أو الموجبة حيث تقوم بامتصاص الأيونات من الوسط وتمنعها من الانغسال أو التثبيت بأشكال غير متاحة.

تعمل الزراعة الكثيفة على **خفض محتوى التربة من المادة العضوية** وخاصة عند زراعة المحاصيل الجذرية والدرنية، حيث تقل مخلفات حصادها من جهة وتتطلب زراعتها زيادة التهوية للتربة من جهة أخرى.

يتشابه الدبال مع معدن الطين في عمليات الامتصاص، ويختلف عنه في أنه عديم الشكل ويكون بحالة مبعثرة، في حين يكون معدن الطين في حالة متبلورة وبشكل منتظم. يمكن أن يحدث الامتصاص بنتيجة تشكل معقدات عضوية معدنية، كما هو الحال مع معدن المونتموريللونيت، حيث يحصل امتصاص متبادل. كما أن بعض مجموعات الدبال وخاصة الجذور الكربوكسيلية. **لديها القدرة على التبادل حيث يتم استبدال الكايتون في موقع الهدروجين:**

$$R - CooH \leftrightarrows R - Coo^- + H^+$$

$$R - Coo^- + Me^+ \leftrightarrows R - CooMe$$

يؤثر pH التربة دوراً هاماً في التأثير على **قدرة الدبال التبادلية**، ففي **الأوساط الحمضية**، تعبق شوارد الألمنيوم قدرتها على التبادل، **أما في الأوساط المعتدلة أو القلوية**، وبسبب ترسب شوارد الألمنيوم. فإن المركبات الدبالية تصبح أكثر قدرة على التبادل مع **الكاتيونات المعدنية**.

الامتصاص البيولوجي:

وتساهم في الأحياء الدقيقة والنباتات بسبب استخدامها لنواتج تحلّل المركبات العضوية.

وبعد موت الأحياء الدقيقة في التربة وكذلك وجود المخلفات العضوية للنباتات تبدأ عليها من جديد عملية التحلل، ويمكن أن يسبب هذا النوع من الامتصاص في بعض الأحيان أعراض نقص للعناصر على النباتات وخاصةً **النتروجين**، ويمكن أن يحدث ذلك عند إضافة الأسمدة العضوية غير المتخمرة أو إضافة كميات كبيرة من الأسمدة العضوية المتخمرة وكذلك عند إضافة السماد الأخضر والقش، حيث يحضر ذلك ظهور أعداد كبيرة من الأحياء الدقيقة المحللة للمادة العضوية، حيث تستهلك المواد الغذائية البسيطة في بناء أجسامها. والهام هنا هو الآزوت وعلى الرغم من أن العناصر تصبح متاحة في التربة في مرحلة متقدمة من التحلل، إلا أن ذلك يتطلب الاهتمام بالتسميد الآزوتي في هذه المرحلة.

٣- تأثير بعض العوامل على تطوّر المادة العضوية والدبال في التربة:

أ- **تأثير المناخ:** يلاحظ أن انخفاض النشاط الميكروبي في ترب المناطق القطبية ويؤدي إلى ما يسمى بالتبادل اللاحيوي، ويتشكل دبال من **النوع Mor**، وهو دبال حمضي، يتصف بأوزان جزئية منخفضة، ويكون أكثر ذوباناً، وعلى العكس في المناطق المدارية والدافئة حيث يتشكل **الدبال من النوع Mull**. حيث يحيط بحبيبات التربة ويحسن بنائها.

ومن ناحية أخرى ينخفض محتوى الترب في المناطق الجافة وشبه الجافة مقارنة مع المناطق المعتدلة والباردة بسبب **زيادة التمعّدن** في الترب الجافة.

ب- **التضاريس:** تتطوّر المادة العضوية في المناطق المنخفضة (الوديان) **بشكل أكبر** مقارنة مع السفوح.

ج- **الغطاء النباتي:** يزداد تفكك المادة العضوية عند عدم وجود غطاء نباتي فوق سطح التربة وهذا يعود إلى سخونة سطح التربة وازدياد معدل التمعدن، كما أنّ عدم وجود غطاء نباتي لفترة من الزمن يقلّل من رفد التربة بالمخلفات النباتية.

د- **نوعية البقايا النباتية:** تتحلّل البقايا النباتية التي **لا تحوي على الليغنين** بسرعة أكبر من البقايا المحتوية على الليغنين، كما أن الأنواع **العريضة الأوراق** تتحل بسرعة أكبر من أوراق الصنوبر.

هـ- **النسبة C/N:** تتطلب الكائنات الجيدة الدقيقة في التربة وجود الكربون والآزوت بشكل أساسي لنشاطها في التربة وبناء أجسامها. وتعتبر النسبة $C/N \approx 10$ مؤشراً جيداً على عدم التمعدن السريع للمادة العضوية في التربة.

"تعتبر النسبة $C/N \approx 10$ مؤشراً على استقرار المادة العضوية (الدبال) في التربة والوصول إلى حالة التوازن الحيوى، حيث تضمن هذه النسبة إمداداً مستداماً ومتوازناً للعناصر الغذائية (كالنيتروجين) عبر التمعدن التدريجي، دون حدوث غسيل سريع للعناصر أو تثبيت حيوى مؤقت يعيق امتصاص النبات."

قيمة النسبة C/N	الحالة الحيوية في التربة	النتيجة على النيتروجين والنبات
أعلى من 30	المادة العضوية خام (مثل القش، الخشب)	**تثبيت (Immobilization):** الميكروبات تستهلك كل النيتروجين، ويصفر النبات.
بين 20 و 30	مرحلة انتقال وتحلل نشط	تعادل بين التثبيت والتمعدن.
من 10 إلى 15	**تربة متوازنة ومادة عضوية مستقرة**	**تمعدن مستدام (Mineralization):** إطلاق متوازن للنيتروجين الجاهز للنبات.

٤- فوائد المادة العضوية والدبال في التربة:

١-يتميز الدبال بسعته التبادلية العالية **(٣٥٠-٥٠٠ ميلميكافئ /١٠٠غ تربة)** مقارنة مع معادن الطين (٥-١٠٠ ميلميكافئ **/١٠٠غ تربة)**.

٢- ارتفاع السعة المائية حيث **يمتص الدبال حوالي ٨٠-٩٠% من وزنه من الماء**، وبالتالي يزيد من قدرة التربة على حفظ الماء (مقارنة مع السعة المائية للطين ١٥-٢٠% فقط).

٣- مصدر لكل النتروجين ولجزء من الفوسفور والكبريت اللازمين لنمو النبات.

٤- يعطي التربة لوناً داكناً وبالتالي تزداد قدرة التربة على امتصاص الحرارة.

٥- مصدر طاقة للكثير من الأحياء الدقيقة التي تؤدي دوراً هاماً في خصوبة التربة.

٦- تحسّن من بناء التربة عن طريق تكوين الحبيبات المركبة وبالتالي تزداد نفاذية التربة للماء ويحسن من التوازن المائي/الهوائي.

٧ - حفظ العناصر المغذية مثل النتروجين والفوسفور وكذلك العناصر الصغرى.

المرجع:

- المعلومات العلمية من: عودة، محمود وشمشم، سمير (٢٠١١): كتاب خصوبة التربة وتغذية النبات (الجزء النظري)، منشورات جامعة حمص.

- الصور: بالاعتماد على الذكاء الصنعي ٢٠٢٦.