



Advanced Soil Fertility and Fertilization *Master*

خصوبة التربة والتسميد المتقدم

Second Semester

2022-2023

Lecture 6

المحاضرة السادسة

أ.د. هيفاء جاسم حسين

قسم علوم التربة والموارد المائية

كلية الزراعة / جامعة البصرة

E-mail: hayfaa.hussein@uobasrah.edu.iq



الفوسفور Phosphorus

المقدمة

عنصر الفسفور من العناصر الغذائية الكبرى التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة وهو عنصر ضروري ومحدد لنمو النبات في جميع الترب، وهو يساهم في عملية التركيب الضوئي من خلال مركبات الطاقة ATP , ADP كما يساهم في انقسام الخلايا وتزويد الطاقة وهو عنصر متحرك داخل النبات حيث يقوم بنقل وتوزيع الكربوهيدرات في خلايا النبات .

و تعتمد كميته في التربة على عمليات التجوية وكمية معادن الطين ونوعيتها والأكاسيد والمادة العضوية وكربونات الكالسيوم.

صور الفسفور في التربة **Forms of soil phosphorus**

أن محتوى القشرة الأرضية من الفسفور حوالي 1200 ملغم كغم⁻¹ ويتراوح محتواه في الترب بين 200 الى 500 ملغم كغم⁻¹ تربة. وبمعدل عام 600 ملغم كغم⁻¹ تربة .

ويوجد الفسفور في الترب بشكل مركبات فوسفاتية معدنية ذات تراكيب واذابة مختلفة مثل معادن فوسفات الألمنيوم وفوسفات الحديد وفوسفات الكالسيوم وفوسفات المغنيسيوم وفوسفات المنغنيز و فوسفات البوتاسيوم وغيرها والذي يحدد وجود هذه المعادن هو ظروف تكوين التربة من تجوية وما تتعرض اليه من تفاعلات وإدارة التربة

وقد قسم الباحثين الفسفور الى قسمين رئيسيين هما :

١. الفسفور المعدني Inorganic –P

٢. الفسفور العضوي Organic –P

أولاً: الفسفور المعدني Inorganic –P

ويشمل الصور التالية:-

١. الفسفور الذائب Soluble –P

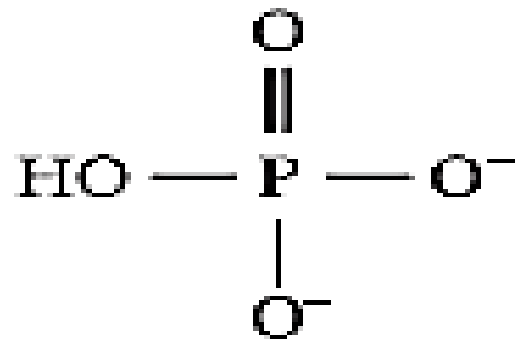
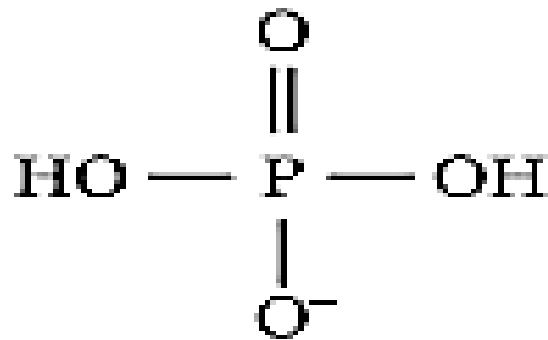
وهو الفسفور الذي يمكن استخلاصه بالماء المقطر او محلول 0.01 مولاري كلوريد الكالسيوم او 0.01 مولاري كلوريد البوتاسيوم وبنسبة (١:١) أي (تربة : محلول استخلاص).

ويوجد البوتاسيوم في محلول التربة بهيئة ايونات الاورثوفوسفات الاحادية ($H_2PO_4^-$) والثنائية (HPO_4^{2-}) والنسبة بينهما تعتمد على قيمة pH المحلول اذ يتساوى نشاطهما عند $pH=7.2$.

ويمتص النبات الفسفور بهيئة ايونات الاورثوفوسفات الأحادية والثنائية ولكن يفضل النبات الصورة الأحادية حيث يمتصها بسرعة تصل الى عشرة اضعاف الصورة الثنائية.

أن تركيز الفسفور الذائب في محلول التربة غالبا ما يكون قليل ويبلغ معدله تقريبا 10^{-8} الى 10^{-4} مول/ لتر الى في الترب الخصبة ويمثل التركيز 10^{-5} مول / لتر وبما يعادل 0.3 ملغم/لتر التركيز السائد في معظم الترب الزراعية ، والفسفور الذائب لا يزيد عن 0.01% من الفسفور الكلي .

Orthophosphate ions



وقد صنف (Havlin *et al* 2017) تركيز الفسفور في محلول التربة اذا كان 10^{-7} مول/لتر (قليل جدا) واذا كان 10^{-4} مول/لتر (عالي جدا) او من 0.003 – 3.0 جزء في المليون وبمعدل (0.05 ppm)

P concentration in plants ranges between 0.1 and 0.5%, considerably lower than N and K. Plants absorb either $H_2PO_4^-$ or HPO_4^{2-} (orthophosphate) depending on soil pH

العوامل المؤثرة في تركيز الفسفور الذائب في محلول التربة

١. درجة تفاعل التربة pH

٢. نسجة التربة

٣. رطوبة التربة

٤. محتوى التربة من كربونات الكالسيوم

٥. محتوى التربة من المادة العضوية

٦. درجة الحرارة

شكل ١ : تأثير pH التربة على صور الفسفور الذائب

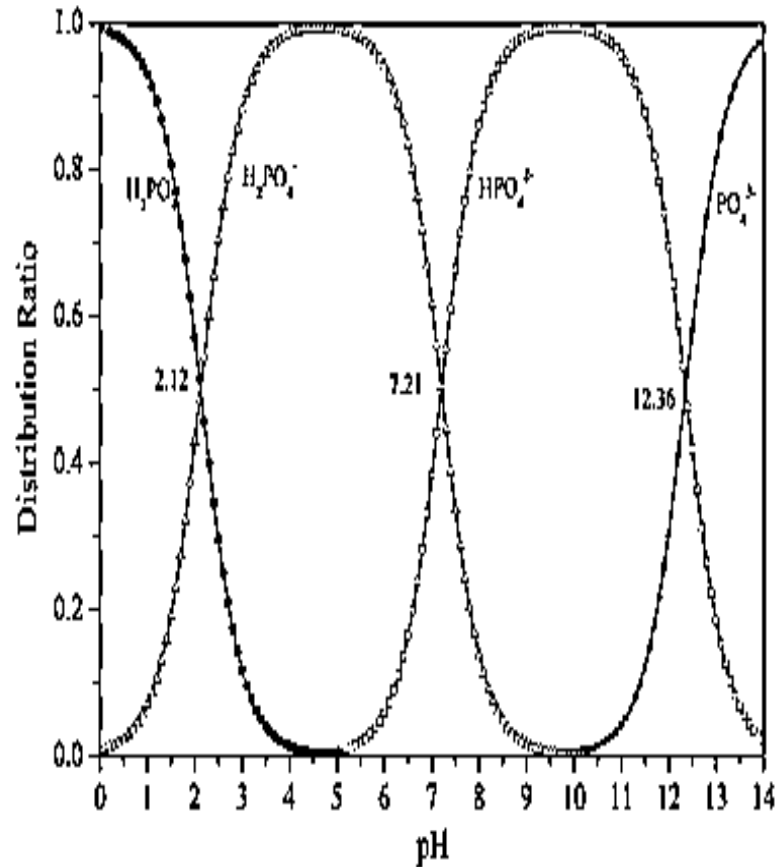
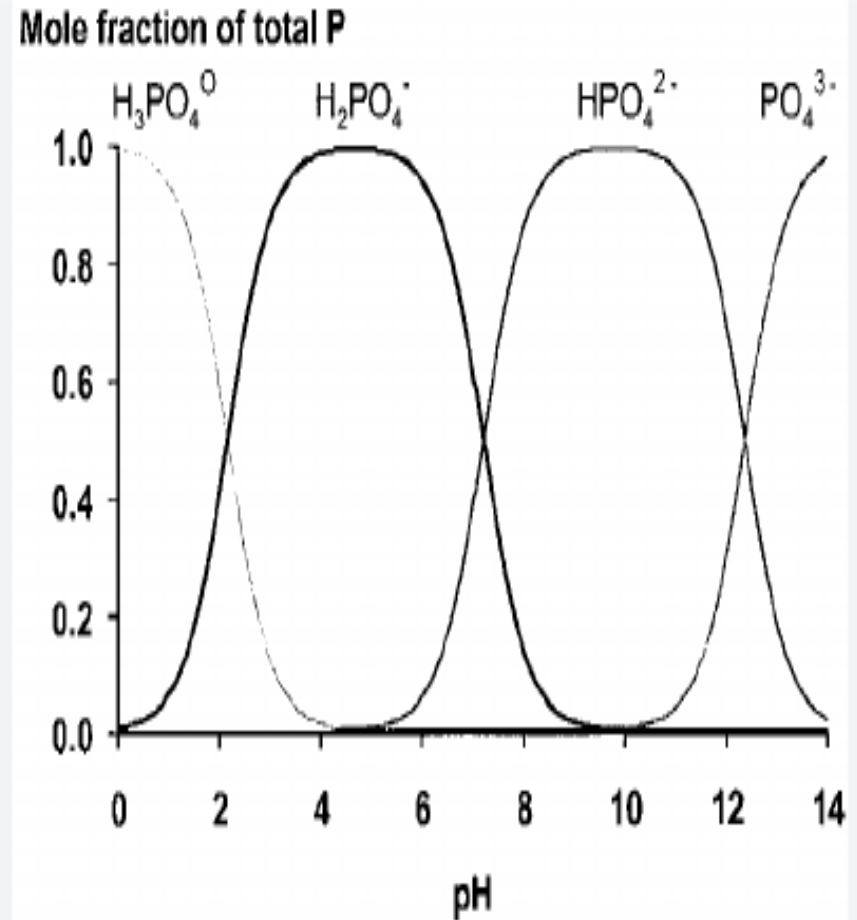
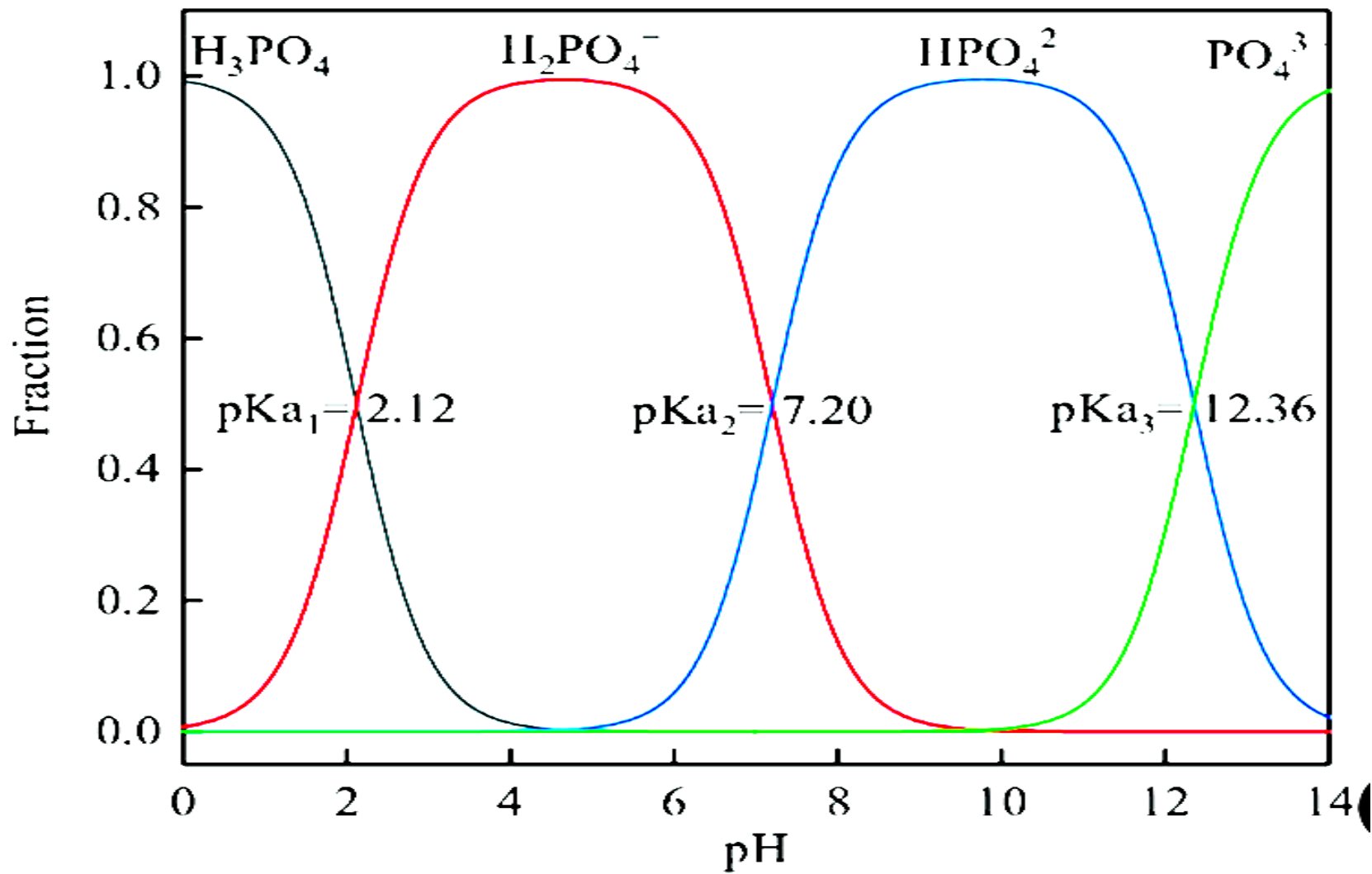


Fig. 2. Phosphate distribution curves.

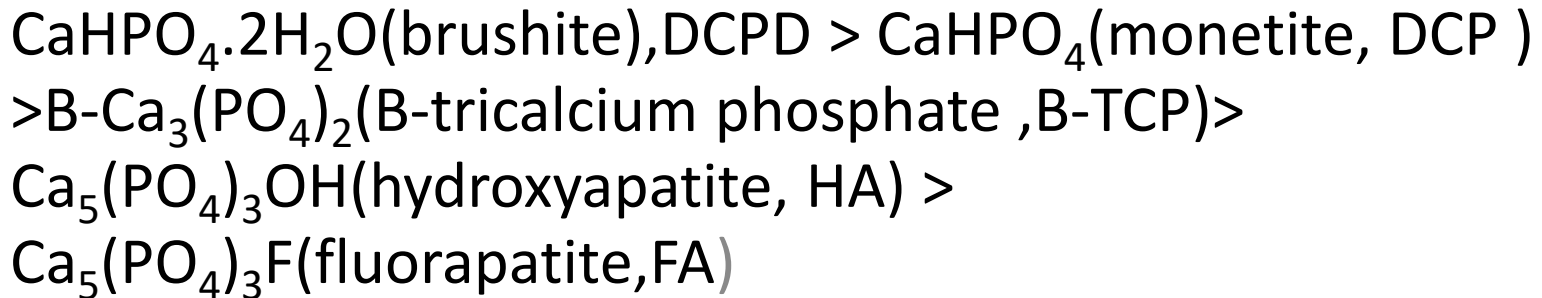




٢. الفسفور المرتبط بالكالسيوم Ca-P

أن الفسفور المرتبط بالكالسيوم هو احد مصادر صور الفسفور المعدني في الترب الكلسية وذلك بسبب زيادة تركيز ايونات الكالسيوم الحرة والمتبادلة وايونات الاورثوفوسفيت ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) عند الـ pH المرتفع (8.4). وان تفاعل ايونات الكالسيوم مع ايونات الاورثوفوسفيت في المحلول ينتج عنه مركبات فوسفات الكالسيوم ذات ذائبية مختلفة اعتمادا على تركيزها في المحلول و pH التربة وضغط غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 .

وتتبع التسلسل التالي في ذائبيتها (Lindsay,1979)



ان فوسفات الكالسيوم تحتاج الى فترة زمنية لكي تتبلور وتعتمد على تركيز الكالسيوم والاورثوفسفيت و pH وضغط غاز ثاني أوكسيد الكربون . وان اول مركب يتكون هو مركب فوسفات الكالسيوم غير المتبلور Amorphous calcium phosphate وهو مركب ضمن الحيز غير المستقر (Labile) والذي يتحول فيما بعد الى صورة مستقرة نسبيا (meta stable) ثم الى الصورة المستقرة (Labile) والمتمثلة بصخر الفوسفات Rock phosphate .

فقد وجد (Diaz ,.al.et(١٩٩٩) ان حوالي 16% من الفسفور الذائب قد ترسب على هيئة صخر الفوسفات عند زيادة قيمة pH التربة من 8.6 الى 9.8 بعد 12 ساعة من الحضان وعند 3% من ضغط CO₂ انخفضت قيمة pH التربة وحوالي 97% من الفسفور الأصلي قد اعيد الى محلول التربة عند إعادته الى pH=6.8.

اجريت بعض الدراسات العراقية حول قيم
فوسفات الكالسيوم في تربها . أن تركيز
فوسفات الكالسيوم قد تراوحت بين ٣٧٠ الى
٤٤٥ ملغم كغم^١ تربة في خمس عينات تربة
جمعت من مناطق متفرقة في العراق . وقد
اختلف تركيزها باختلاف المناطق من العراق
تبعاً لاختلاف النسجة ومحتواها من كربونات
الكالسيوم وغيرها

٣. الفسفور المرتبط مع الألمنيوم Al-P

يعد الألمنيوم احد مكونات التربة الرئيسة إذ يمثل 7.1% من وزن القشرة الأرضية . ينطلق (يتحرر) الألمنيوم خلال عملية التجوية من معادن التربة الأولية ويطرسب على هيئة معادن ثانوية مثل سليكات الألمنيوم وفوسفات الألمنيوم غير الذائبة ومن هذه المعادن معدن ($AlPO_4 \cdot H_2O$)الفرسكايت) الذي يعد احد صور فوسفات الألمنيوم غير الذائبة والمستقرة كمل تحتوي الترب على عدد من مركبات فوسفات الألمنيوم التي تختلف في اذابتها تبعاً لنشاط ايوني الألمنيوم والفوسفات ودرجة تفاعل التربة pH والتي تتخذ الترتيب التالي:

$AlPO_4(\text{berlinite}) > H_2(NH_4)_3Al_5(PO_4).18H_2O(NH_4^-$
 $\text{tarankite}) > H_6K_3Al_3(PO_4)_8.18H_2O(K\text{-trankite}) > AlPO_4.2H_2O(\text{Varscite}).$

وجد ان اذابة معدن Berilinite اكثر 1000 مرة من اذابة معدن Varscite وقد وجد ان معدن Berlinite بشكل متميئ (anhydrous) ولا يتوقع وجوده في اغلب الترب . وان وجوده في الترب العراقية قليل وخاصة في ترب جنوبي العراق قياسا مع الفسفور المرتبط مع ايونات الكالسيوم كما سيتم توضيحه في الجداول اللاحقة .

٤. الفسفور المرتبط مع الحديد Fe-P

توجد هذه الصورة من الفوسفات في الترب الحامضية . وان لدرجة تفاعل التربة دورا كبيرا في تحديد وجود مركبات فوسفات الحديد فيها . ففي الترب الحامضية ذات الـ pH اقل من 4 يثبت الفسفور في التربة عن طريق اتحاده مع الحديد وتكوين مركب فوسفات الحديد .

فق ذكر (Lindsay 1979) الى وجود علاقة بين نشاط ايونات الفوسفات الذائبة في المحلول وبين pH التربة ، ففي الترب الحامضية يتكون معدن السترنكايت $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ومعدن $FePO_4(c)$.

ولم يتوصل بعض الباحثين من وجود فوسفات الحديد في بعض الترب العراقية ووجد البعض تراكيز قليلة .

ثانيا : الفسفور العضوي Organic –P

تتراوح كمية الفسفور العضوي في الترب بين بضع مليغرامات الى 0.5 غرام /كغم تربة ويشكل نسبة تتراوح بين 20-80 () % من الفسفور الكلي وهو صور غير جاهزة للنبات ما لم تتم عليه عملية المعدنة ويتحول الى صور جاهزة ذائبة في المحلول وهي ايونات الاورثوفوسفيت ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}) .

اهم مركبات الفسفور العضوي في التربة

$C_6H_6(OH)_6$ Inositol Phosphates -1

وهي جزيئات سكرية بصورة عامة مع مجموعة او اكثر من الفوسفات ومن اهم مركباتها Phytin الذي يوجد معظمه في البذور وقد تصل نسبته الى اكثر من 75% من فسفور البذور ويشكل (33-62)% من فسفور التربة العضوي .

2-الحامض النووي Nucleic Acid

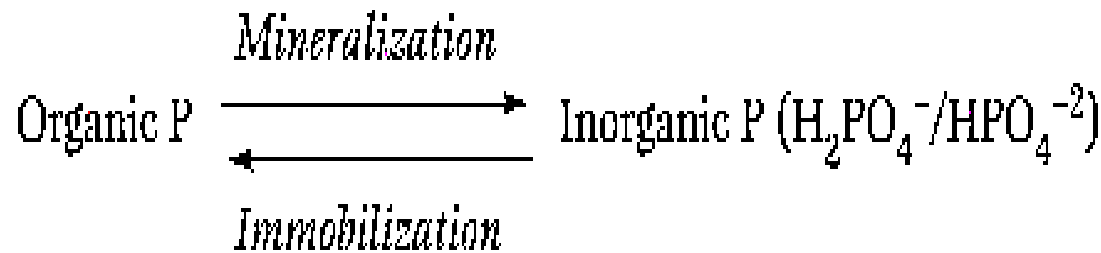
الحامض النووي RNA (Ribo nucleic acid) و DNA (Deoxyribo nucleic acid) واللذين يوجدان في اجسام الكائنات الحية وقد وجد ان حوالي 50% من الفسفور العضوي يوجد بشكل حوامض نووية وتشكل نسبة (0.1-65)% من الفسفور العضوي .

3-الدهون الفوسفاتية Phospho lipids

وهي مركبات فوسفاتية ناتجة من اتحاد الفوسفات مع المركبات الدهنية وقد تصل نسبته بين (5-14)% من الفسفور العضوي ومحتواه في التربة يتراوح بين (0.2-14) ملغم كغم⁻¹ تربة.

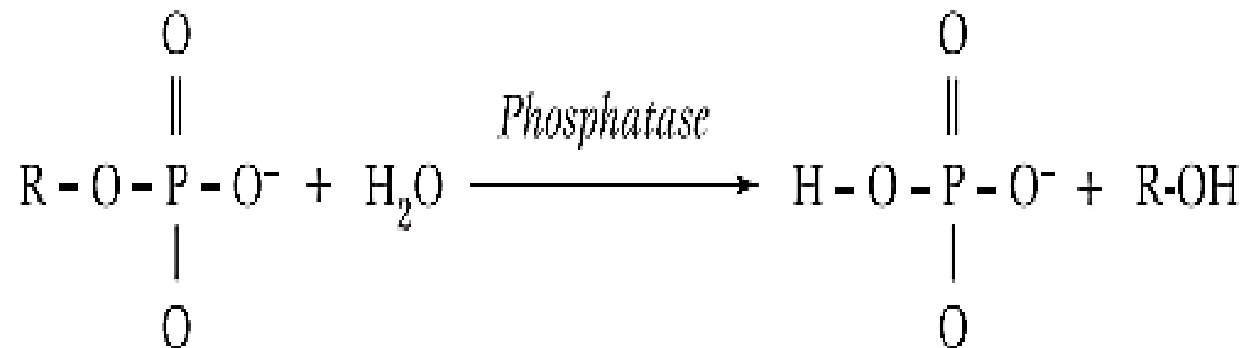
Phosphate Mineralization معدنة الفسفور العضوي

P Mineralization and Immobilization in Soils In general, P mineralization and immobilization are similar to N in that both processes occur simultaneously in soils and can be depicted as follows:



هي عملية تحول الفسفور العضوي الى فسفور معدني جاهز
للامتصاص من قبل جذور النبات

Soil organic P originates from plant and animal residues, which are degraded by microorganisms to produce other organic compounds and release inorganic P (Fig. 5-1). Phosphatase enzymes catalyze the mineralization reaction of organic P by:



The quantity of P mineralized in soils increases with increasing organic P content (Fig. 5-21). In contrast, the quantity of inorganic P immobilized is inversely related to soil organic P, such that as the ratio of soil organic C:P increases (i.e., decreasing organic P), P immobilization increases (Fig. 5-22). Residue C:P ratio determines the predominance of P mineralization over immobilization, just as residue C:N

العامل الرئيسي الذي يحدد سيادة اي من العمليتين هو P/ C في المخلفات العضوي المضافة او الموجودة بالتربة

C / P < 200:1 mineralization

C / P > 300:1 immobilization

C:P Ratio	Mineralization/Immobilization
<200	Net mineralization of organic P
200–300	No gain or loss of inorganic P
>300	Net immobilization of inorganic P

ان عملية تعدن الفسفور بطيئة وتعتمد على

ا- نشاط أحياء التربة المجهرية

ب- فعالية أنزيم ال phosphatase في التربة

ج- الظروف البيئية السائدة بالتربة

الفسفور الكلي P – Total

أن محتوى القشرة الأرضية من الفسفور حوالي 1200 ملغم كغم⁻¹ وفي الترب بين 200 الى 5000 ملغم كغم⁻¹ تربة وبمعدل عام 600 ملغم كغم⁻¹ تربة .

يشمل الفسفور الكلي كل من الفسفور المعدني والعضوي ، والفسفور الكلي في الترب عادة اقل من النيتروجين الكلي والبوتاسيوم الكلي وبما يعادل عشر تركيز النيتروجين الكلي وربع تركيز البوتاسيوم الكلي . وتختلف كمية الفسفور الكلي في الترب اعتمادا على محتواها من المادة العضوية ونسجة التربة والتسميد وطبيعة الصخور وغيرها .

بعض الدراسات التي اشارت الى تركيز الفسفور الكلي في التربة العراقية منها دراسة (Awad,1982) لمواقع زراعية متفرقة في محافظة البصرة ان تركيز الفسفور الكلي في تربة الزبير وسفوان كان بحدود 217 ملغم كغم⁻¹ بينما في تربة حقول ابي الخصيب 650 ملغم كغم⁻¹. ووجد الهيتي (1985) ان تركيز الفسفور الكلي في تربة طوزخورماتو والتون كوبري والشناقبة وزاويته هي (426.10,267.40,654.30,655.85) ملغم كغم⁻¹ على التوالي وان قيم الفسفور الكلي قد اختلفت مع اختلاف محتوى التربة من الطين والمادة العضوية وكربونات الكالسيوم . وتوصل العزاوي (2010) الى ان تركيز الفسفور الكلي في تربة طينية غرينية كلسية هو 609 ملغم كغم⁻¹.

جدول ١ : صور الفسفور في بعض ترب البصرة

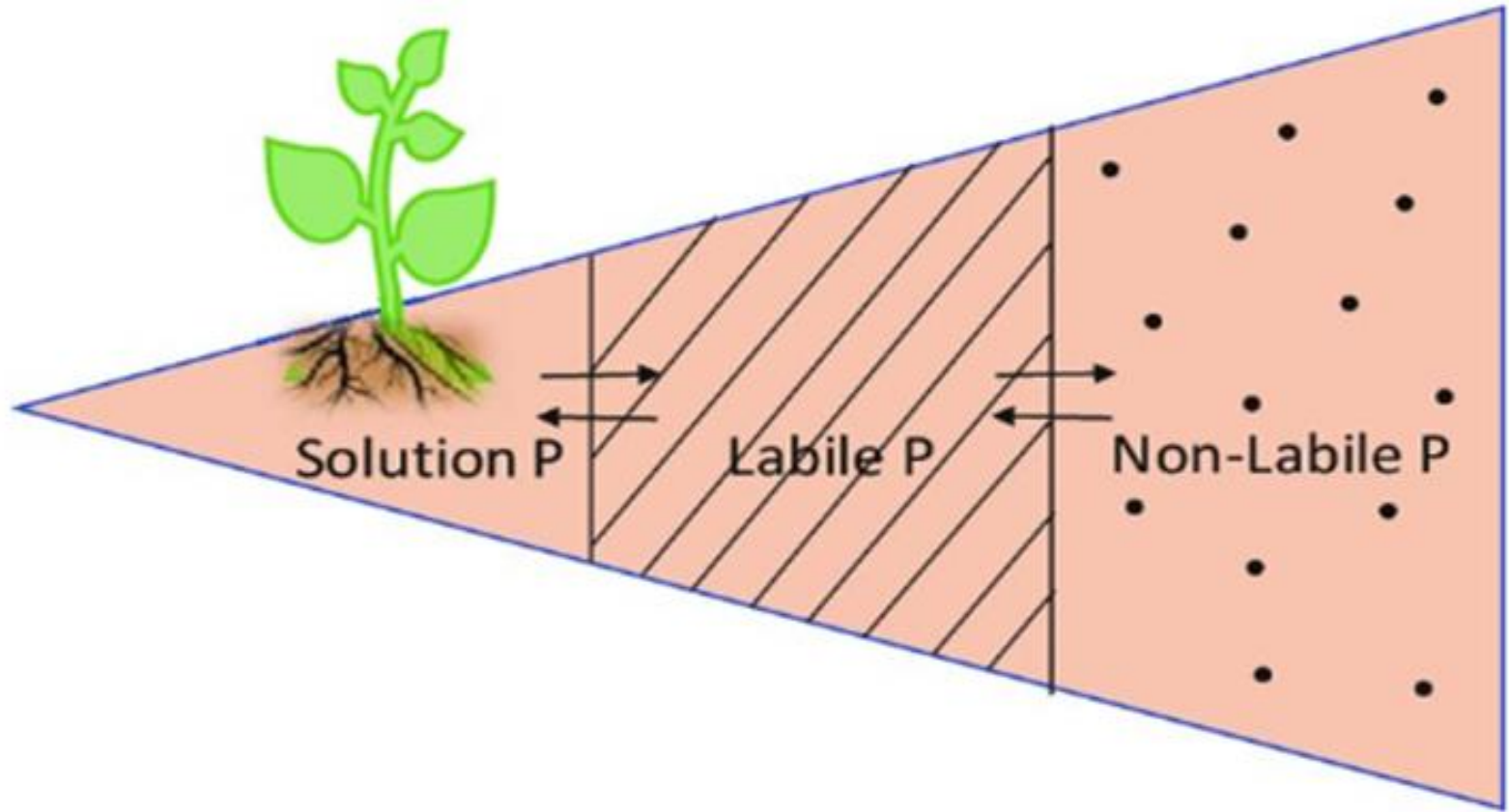
(T-p)	(R-p)	(O-P)	(M-P)	(A-p)	(Fe-P)	(Al-P)	(Ca-P)	(SP) مجم لفر ^٢	الموقع	رقم التربة
مجم كجم ^٢										
275.38	10.97	86.17	189.21	20.10	0.30	0.59	156.20	1.05	القرنة	1
260.08	9.00	89.00	171.08	24.50	0.25	0.42	136.64	0.27	المدينة	2
229.27	7.50	89.70	139.57	25.65	0.76	0.48	104.40	0.78	الدير	3
268.93	10.10	86.87	182.06	20.12	0.34	0.48	150.56	0.46	الهارة	4
294.61	8.10	60.04	234.57	12.10	0.44	0.90	212.72	0.31	كرمة علي	5
277.10	6.50	85.59	191.51	16.90	0.63	0.99	164.64	1.85	كرمة علي / الجامعة	6
261.50	6.00	87.63	173.87	24.20	0.46	0.96	140.64	1.61	البراضعية	7
270.85	9.80	87.25	183.60	22.40	0.15	0.92	148.56	1.77	الفتومة	8
273.51	7.00	64.25	209.26	15.45	0.09	0.65	184.40	1.67	ابوالخصيب / حمدان	9
306.88	11.50	64.27	242.61	12.6	0.28	0.71	216.40	1.12	ابو الخصيب / مركز	10
291.98	8.50	80.54	211.44	13.20	0.17	0.51	188.64	0.42	المهية	11
300.52	12.00	50.12	250.40	10.10	0.71	0.84	226.10	0.65	القار	12
229.27	6.00	50.12	139.57	10.10	0.09	0.42	104.40	0.27	قل لينة	
306.88	12.00	89.70	250.40	25.65	0.76	0.99	226.10	1.85	اطى لينة	
275.88	8.91	77.62	198.27	18.11	0.38	0.70	169.16	0.99	المعل	

الفسفور الذائب S-P، الفسفور المرتبط بالكالسيوم Ca-P، الفسفور المرتبط بالألمنيوم Al-P، الفسفور المرتبط بالحديد Fe-P، الفسفور الجاف A-P، الفسفور المعنى M-P، الفسفور العضوي O-P، الفسفور المتبقي R-P، الفسفور الكلي T-P

T-P	R-P	O-P	M-P	Av-P	Fe-P	AL-P	Ca-p	S-P	خصائص الترب
0.122	-0.189	-0.212	0.169	-0.139	0.116	0.338	0.173	-0.228	pH
0.518	-0.207	-0.553	0.572	-0.641 [*]	0.032	0.315	0.589 [*]	-0.081	E.C
-0.301	-0.178	0.327	-0.334	0.218	-0.042	0.280	-0.286	0.490	CEC
0.880 ^{**}	-0.384	-0.774 ^{**}	0.899 ^{**}	-0.965 ^{**}	-0.112	0.341	0.922 ^{**}	0.025	CaCO ₃
0.773 ^{**}	-0.236	0.924 ^{**}	-0.895 ^{**}	0.837 ^{**}	-0.260	-0.333	-0.887 ^{**}	0.303	المادة العضوية
-0.295	-0.279	0.238	-0.292	0.396	-0.038	-0.368	-0.306	-0.324	الرميل
0.433	0.063	-0.413	0.456	-0.426	-0.029	-0.014	0.426	-0.145	الغرين
-0.307	-0.157	0.330	-0.340	0.212	0.070	0.332	-0.290	0.465	الطين

* معنوي عند مستوى 5%

** معنوي عند مستوى 1%



شكل يوضح توزيع صور الفسفور في التربة

تفاعلات الفسفور في الترب

Phosphate reactions in soils

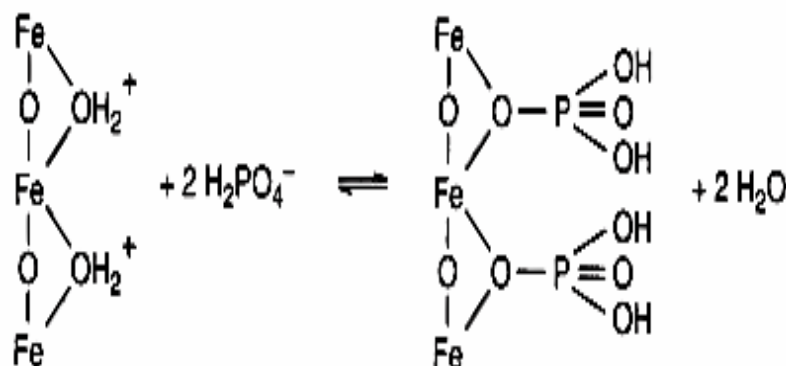
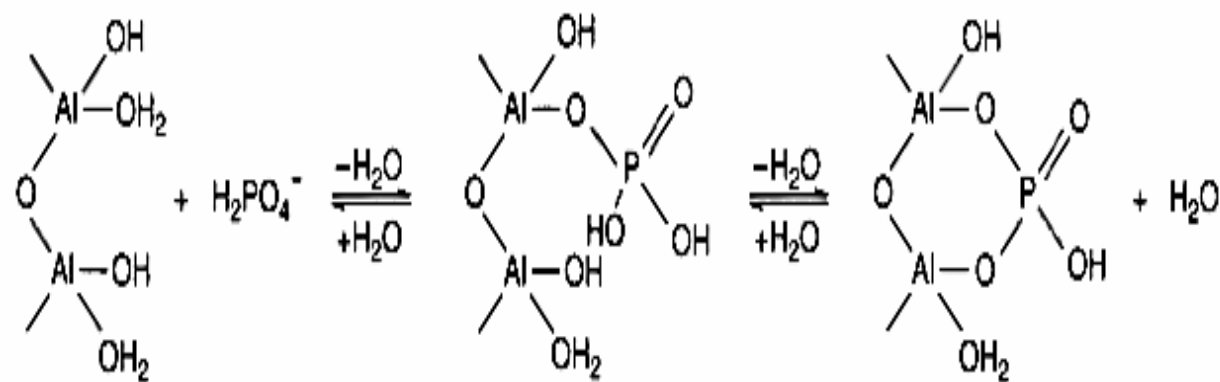
أولاً: تفاعلات امتزاز الفسفور P Adsorption Reactions

تعرف ظاهرة امتزاز الفسفور بأنها تفاعل فيزيوكيميائي تصبح من خلاله ايونات الفسفور مرتبطة مع السطوح الخارجية والداخلية لدقائق التربة وبذلك تقل جاهزيته للنبات ويقل تركيزه في محلول التربة ومن ثم يحدث انخفاض في معدل انتشاره الى جذور النباتات ويحدث الامتزاز اما عن طريق ارتباط ايونات الفوسفات السالبة على سطوح اكاسيد الحديد والالمنيوم الموجبة الشحنة او تحدث عملية اختراق تدخل خلالها ايونات السالبة للفسفور بدلا من ايونات الهيدروكسيل OH^- او الماء الخاصة ببناء هذه الاكاسيد .

P Adsorption Reactions: H_2PO_4^- and/or HPO_4^{2-} will adsorb to mineral surfaces (Fig. 5-1). In acid soils, Al and Fe oxide and hydroxide minerals are primarily involved in P adsorption. Because of the acidic solution, the mineral edge surface has a net (+) charge, although both (+) and (-) sites exist. The predominance of (+) charges readily attracts H_2PO_4^- and other anions. P ions adsorb to the Fe/Al oxide surface by interacting with -OH and/or OH_2^+ groups on the mineral surface (Fig. 5-13).

Figure 5-13

Mechanism of P adsorption to Al/Fe oxide surface. Phosphate bonding through one Al-O bond results in readily desorbed (labile) P; however, bonding through two Fe-O or Al-O bonds produces a stable structure that results in very little P desorption.



When H_2PO_4^- is bonded through one Al-O-P bond, the H_2PO_4^- can be readily desorbed (labile P) from the mineral surface to soil solution. When H_2PO_4^- bonds with two Al-O, a stable six-member ring is formed (Fig. 5-13). Consequently, desorption is more difficult (non-labile P), reducing plant available P. In acid soils, P adsorption also readily occurs on the broken edges of kaolinite clay minerals. Again, exposed-OH groups can exchange for H_2PO_4^- similarly to surface exchange with Fe/Al oxides. Cations held to the surface of silicate clay minerals also influence P adsorption by developing a small (+) charge near the mineral surface saturated with cations. This small (+) charge attracts small quantities of anions such as H_2PO_4^- . As discussed earlier, precipitation of Al-P minerals in acid soils and Ca-P minerals in neutral and calcareous soils occurs at high P concentrations.

في الترب الكلسية يحدث الامتزاز من خلال استبدال ايونات الاورثوفوسفات محل ايونات الكربونات CO_3^{2-} على سطح كربونات الكالسيوم . وهذه العملية تحصل في التركيز القليلة من الفسفور وعند زيادة تركيز ايونات الفسفور والكالسيوم يحصل ترسيب للفسفور ومركباته على سطح كربونات الكالسيوم وبمعادن مختلفة من فوسفات الكالسيوم.

