الصفات الحركية لتحرر الحديد في بعض الترب الكلسية

عباس خضير عباس جارالله* حمدالله سليمان راهي جواد كاظم العكيلي
كلية الزراعة / جامعة بغداد متقاعد كلية مدينة العلم الجامعة
* Abbas_altaae@hotmail.com

الملخص:

بهدف دراسة تحرر الحديد فقد أجريت تجربة مختبرية تضمنت تحرر الحديد من المصدر المخلبي FeEDDHA والصفات الحركية لتحرره عند ثلاث درجات (10 و25 و35 º م و10 مدد (تراوحت من 1 إلى 90 يوما) في ستة ترب كلسيه من وسط العراق. أستعمل تصميم القطاعات العشوائية الكاملة RCBD بثلاثة مكررات. أظهرت النتائج أن تحرر الحديد ازداد معنويا بزيادة درجة حرارة التحضين من 10 إلى 35 ºم ولجميع مدد التحضين كما أن تحرر الحديد انخفض معنويا وتدريجيا نتيجة زيادة مدة التحضين من 1 إلى 90 يوما ولجميع درجات حرارة التحضين. فقد بلغت نسب تحرر الحديد 68 و63 و54 و37% لمدد التحضين 1 و10 و30 و90 يوم على التوالي. معادلة الرتبة الأولى كانت الأكفأ في وصف تفاعلات تحرر الحديد لامتلاكها أعلى معامل تحديد r^2 (0.975**) و أعلى قيمة t (15.20) ،تفاوتت قيم طاقة التنشيط في ترب الدراسة إذ بلغت أقل قيمة لها 12.58 في تربة الراشدية وأعلى قيمة لها 15.68 كيلوجول مول$^{-1}$ في تربة بلد. ارتبط معامل إطلاق الحديد k خطيا معنويا مع خصائص التربة :الكاربونات الكلية والكاربونات النشطة والحديد الجاهز للنبات.

الكلمات المفتاحية: معامل تحرر، حديد ، طاقة تنشيط ، FeEDDHA

KIENTIC PROPERTIES OF IRON RELEASE IN SOME CALCAREOUS SOILS

Abbas Kh. A. Jarallah Hamd Allah S. Rahi Jawad K. Al-Uqaili
Coll. of Agric. /Univ. of Baghdad Retired Madenat Alelem College
*** Abbas_altaae@hotmail.com**

ABSTRACT:

Laboratory experiment was carried out in order to study the release of Fe of chelated FeEDDHA and its kinetic properties at three incubation temperatures (i.e., 10, 25, and 35ºC) for 10 incubation periods (1 to 90 day) in six calcareous soils from middle of Iraq. Randomized complete block design was used with three replicates.The results showed that iron release was significantly increased as the incubation temperature increased from 10 to 35ºC for all incubation periods but it was gradually decreased significantly as increased the incubation period from 1 up to 90 day period. Iron release percentages for all temperatures and soils used were 68, 63, 54 and 37% for 1, 10, 30 and 90 day, respectively. The first order equation was the best for prediction and describing the iron release with highest r^2 value (0.975**) and t value (15.20). The activation energy was vary in the study soils whereas the lowest was 12.58 recorded in Al-Rashidaa soil while the highest value was 15.68 KJmol^{-1} obtained in Balad soil. Release rate constants of iron were significantly correlated with some soil properties (i.e., total and active carbonate, and plant available Fe).

Key words: Sorption coefficient , Iron , Activation Energy. FeEDDHA

المقدمة:

تتأثر جاهزية الحديد بعوامل عدة تخص التربة تشمل درجة تفاعل التربة ومحتوى الطين والمادة العضوية ونوع ومحتوى معادن الكاربونات ، فضلا عن ذلك مقدرة التربة على إمداد الحديد المحتجز على مواقع الامتزاز وسهولة وسرعة تحرره إلى محلول التربة وما يمتص من قبل جذور النبات و ما يفقد عن طريق الغسل والتي تشكل عوامل أضافية تؤثر بدرجة أو بأخرى في جاهزية الحديد (Bell وDell،2008 وRomheld و Nikollic،2007 و Ifansyah ،2013 وBehera وShukla،2014).

لقد أوضحت نتائج الدراسات تأثير عدة عوامل في تحرر الحديد المضاف إلى التربة منها صفات التربة ونوع ومستوى وصفات مركب الحديد المضاف ودرجة الحرارة وزمن التفاعل (التحضين). فقد وجد Lucena وآخرون (1987) أن 0 و22 و14 % من الحديد المضاف على شكل FeEDTA وFeEDDHA وFeDTPA إلى تربة كلسيه بقي ذائبا في محلول التربة بعد 43 يوما من الإضافة. وبين Al-Uqaili وآخرون (2002) أن نسبة تحرر الحديد المضاف على شكل $FeSO_4$ وFeDTPA وFeEDTA و FeHEDTA في ثمان ترب كلسيه بلغت 1 و35 و13 و17 % بعد45 يوما من التفاعل على التوالي. كما

البحث مستل من أطروحة دكتوراه للباحث الأول.

أشار Goos و Germain (2001) في دراستهم تقييم 12 مصدرا للحديد المعدني والمخلبي في تربتين كلسيتين أن أعلى مقدار من الحديد الجاهز كان من المركبات المخلبية FeDTPA وFeEDDHA بعد 56 يوما من أضافته بينما فقد جميع الحديد من المركب $FeSO_4$ بعد 7 أيام من التحضين. لقد وجد Gil-Ortiz and Butista-Carrascosa (2004) أن تحرر الحديد من المركب FeEDDHA تعتمد على صفات التربة ومستوى الإضافة وزمن التفاعل.

أشارت الدراسات إلى أن لدرجة الحرارة تأثيرا كبيرا في سرعة ومسار تحرر الحديد في التربة ، وأوضح Lindsay و Norvell (1978) في دراستهما بأن زيادة درجة الحرارة بمقدار 10°م أدت إلى زيادة الحديد الجاهز خلال مدة الاستخلاص البالغة ساعتين بنسبة 30 % في35 عينة تربة. ولاحظ Ryan و Hariq (1983) زيادة مقدار تحرر الحديد من المركب المخلبي FeEDDHA طرديا مع زيادة درجة حرارة التحضين من 5 إلى25 و35°م . وأشار Jorda وآخرون (1992) زيادة معامل تحرر الحديد من المركب FeEDDHA عند رفع درجة حرارة التفاعل من 40 إلى 50 و60°م خلال 48 ساعة من التفاعل. كما بين الغريري (2003) أن تحرر الحديد من المصدرين $FeSO_4$ وFeEDDHA زاد بمستوى 0.0082 و0.0084 ملغم كغم$^{-1}$تربة عند زيادة درجة الحرارة درجة مئوية واحدة وفقا للمعادلة الآسية ولكلا السمادين على التوالي وبعد 30 يوما من التفاعل.

حركيات تحرر الحديد

يوجد نوعان من المعادلات في وصف العلاقة بين مسار وسرعة تفاعلات تحرر الحديد مع الزمن أحداهما يعتمد على أسس الكيمياء الحركية Kinetic Chemistry كمعادلة الرتبة صفر والأولى والثانية Chang (1977) والثاني يعتمد على أسس طبيعية كمعادلة الانتشار وأسس تجريبية (Empirical) كدالة القوى وايلوفج ومعادلة فرندلخ (Sparks، 1989).

من الدراسات التي ركزت اهتمامها على استعمال تلك المعادلات في وصف تحرر الحديد مع الزمن ، فقد أشار Dyanand و Sinha (1980) في دراستهما لتفاعلات مركب الحديد FeDTPA في سبع ترب كلسيه أن تحرر الحديد خلال مدة التفاعل من 2 إلى 48 ساعة وصف من خلال معادلة الرتبة الأولى وتراوحت قيم معامل التحرر بين $10.5x10^{-3}$ و$26.8x10^{-3}$ وبين $5.64x10^{-3}$ و$20.6x10^{-3}$ ساعة$^{-1}$ لكلا المركبين على التوالي في ترب الدراسة. ولاحظ Al-Uqaili وآخرون (2002) تفوق معادلة الرتبة الأولى في وصف تحرر الحديد من المركبات $FeSO_4$ وFeDTPA وFeEDTA وFeHEDTA في ثمان ترب كلسيه. كما أشارت دراسة الغريري (2003) إلى أن معادلة الرتبة الأولى كانت الأفضل في وصف العلاقة بين تحرر الحديد من مصدريه المعدني $FeSO_4$ والمخلبي FeEDDHA مع الزمن في تربة كلسيه.

ولاتزال الدراسات محدودة باستعمال تلك المعادلات بنوعيها في وصف سير التفاعلات الكيميائية للحديد في أنظمة الترب المختلفة وعلاقة الصفات الحركية لهذه التفاعلات بخصائص التربة.

المواد وطرائق العمل:

عينات التربة:

اختيرت ست ترب مواقع بلد و الخالص و الوحدة و الرائد و المسيب و الراشدية. وجدول (1) يبين مواقع أخذ العينات وبعض الملاحظات الحقلية لها. صنفت ترب تلك المواقع عند مستوى تحت المجموعة Typic Torrifluvents والتي تعود جميعا لرتبة Entisols وفقا للتصنيف الأمريكي (Soil survey staff،2006). أخذت عشرين عينة ترابية من كل موقع عند عمق 0-15سم ثم مزجت للحصول على عينة مركبة، جففت هوائيا وطحنت ونخلت بمنخل قطر فتحاته 2 ملم. تم تحليل ترب المواقع أعلاه فيزيائيا و كيميائيا جدول(2) وفقا للطرائق المعتمدة في (Page وآخرون ،1982) أما الكاربونات النشطة فقد قدرت وفق طريقة (Carter،1981) وقدر الحديد الجاهز تبعا لطريقة (Lindsay و Norvell 1978).

تحرر الحديد

أجريت هذه التجربة لإيجاد معامل تحرر الحديد Release rate constant في الترب الست ولأجل ذلك تم استعمال أصص بلاستيكية ذات سعة 125 غم. تم وزن 100 غم من كل تربة على انفراد وعبئت في تلك الأصص ثم أضيف لها سماد الحديد المخلبي FeEDDHA (acid Ethylenediaminedihydroxyphyenylacetic)على شكل محلول وبمستوى واحد (0.7162 ملي مولار Fe كغم$^{-1}$تربة) أو ما يعادل 40 ملغم Fe كغم$^{-1}$تربة. تم ضبط محتوى رطوبة التربة عند 80 % من السعة الحقلية لكل من الترب الست طيلة مراحل التحضين العشر وهي : 1 و 10 و 20 و 30 و 40 و 50 و 60 و 70 و 80 و90 يوما. حفظت الأصص عند ثلاث درجات حرارة 10 و25 و 35 °م (283 و298 و308 كلفن K). تم تعويض الفقد في الرطوبة دوريا اعتمادا على الوزن طيلة مدة الدراسة. بعد انتهاء كل مدة تحضين، أخذت النماذج وجففت هوائيا وغربلت بمنخل قطر فتحاته 2.0 ملم. أستخلص الحديد بالمركب المخلبي DTPA وكلوريد الكالسيوم وفقا لطريقة (Lindsay و Norvell 1978). وقدر باستعمال مطياف الامتصاص الذري Atomic absorption spectrophotometer .

حركيات تحرر الحديد

استعملت عدة معادلات حركية تستند على أسس الكيمياء الحركية (Sparks، 1989) وهي:-

معادلة الرتبة صفر Zero order equatio $C_t = C_o - kt$

معادلة الرتبة الأولى First order equation $\ln C_t = \ln C_o - kt$

معادلة الرتبة الثانية Second order equation $1/C_t = 1/C_o + kt$

معادلة الانتشار Parabolic diffusion equation $C_t = C_o - k\sqrt{t}$

جدول:1 الترب المستعملة في الدراسة ومواقعها والملاحظات الحقلية لها.

رقم النموذج	أسم الموقع	موقع أخذ النموذج	الملاحظات الحقلية
1	الخالص	محافظة ديالى-قضاء الخالص- قرية الخويلص	تربة محروثة ومهيأة لزراعة الحنطة
2	المسيب	محافظة بابل-قضاء المسيب- مشروع المسيب	تربة مستصلحة مهيأة لزراعة الحنطة
3	الراشدية	محافظة بغداد-ناحية الراشدية - قرب مشروع آسالة ماء الراشدية	تربة محروثة مهيأة لزراعة محاصيل الحبوب
4	بلـــد	محافظة صلاح الدين- قضاء بلد - - قرية الشباب	تربة مزروعة محاصيل بقوليه، مزروعة حنطة سابقا
5	الوحدة	محافظة واسط- ناحية الوحدة- مشروع الوحدة- الكرزية الشرقية	تربة محروثة مهيأة لزراعة الشعير، تروى سيحا
6	الرائد	محافظة بغداد - محطة الرائد التابعة لوزارة الموارد المائية	تربة محروثة ، مزروعة حنطة للموسم الماضي

* معادلة دالة القوى Power function equation $\ln C_t = \ln C_o - k \ln t$

* معادلة أيلوفج Elovich equation $C_t = C_o - k \ln t$

إذ أن:

C_t: مقدار تحرر Fe عند $t > 0$

C_o: مقدار تحرر Fe عند $t = 0$

k: معامل التحرر Release rate constant

ln: اللوغاريتم الطبيعي

t : الزمن

لتحديد المعادلة ذات الكفاءة تم اعتماد عدة مؤشرات إحصائية وهي: معامل الارتباط البسيط والتحديد (r وr^2) وقيمة t والخطأ القياسي التقديري SE.e (Standard error of estimate) .

طاقة تنشيط تحرر الحديد

تم حساب طاقة تنشيط Ea (Activation Energy) لتفاعل تحرر الحديد من المركب FeEDDHA في نظام التربة وفقا لمعادلة ارينوس Arrhenius equation (Chang، 1977) وهي :-

$$\ln k = \ln A - Ea / RT$$

إذ أن:

k: معامل تحرر الحديد

Ea: طاقة التنشيط

R: ثابت الغازات

T: درجة الحرارة المطلقة (كلفن)

ln: اللوغاريتم الطبيعي

A: ثابت Frequency factor

التحليل الإحصائي ومعالجة النتائج:

أستعمل تصميم القطاعات العشوائية الكاملة RCBD بثلاثة مكررات في هذه الدراسة.

جدول 2. بعض الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للترب قيد الدراسة.

رقم العينة	الموقع	EC* دسي سمنز م$^{-1}$	pH*	الحديد الجاهز ملغم Fe كغم$^{-1}$	المادة العضوية	الحديد الكلي	الكربونات الكلية	الكربونات النشطة	CEC سنتي مول + كغم$^{-1}$ تربة	مفصولات التربة غم كغم$^{-1}$ تربة			نسجه التربة
					غم كغم$^{-1}$ تربة					طين	رمل	غرين	
1	الخالص	9.5	7.4	1.19	16.20	28.59	315.0	122.5	28.4	321.6	378.4	300.0	مزيجه طينية
2	المسيب	5.1	7.4	6.81	19.10	45.04	310.0	97.5	23.6	460.0	220.0	320.0	طينية
3	الراشدية	2.3	7.7	9.03	18.27	22.41	296.3	87.5	27.2	560.0	80.0	360.0	طينية
4	بلد	12.4	7.0	0.98	18.00	41.99	371.3	142.5	30.8	440.0	140.0	420.0	طينية غرينية
5	الوحدة	6.4	7.9	2.51	18.60	38.41	320.0	110.0	30.0	621.6	118.4	260.0	طينية
6	الرائد	7.1	7.6	2.36	19.52	40.53	325.0	112.5	26.8	480.0	140.0	380.0	طينية

* قدرت في مستخلص عجينة التربة المشبعة.

استعملت معادلات الانحدار البسيط ومعادلات الانحدار اللاخطي. تم استعمال اختبار أقل فرق معنوي LSD (Significant Difference Least) لمقارنة متوسطات المعاملات عند مستوى معنوية 0.05 و0.01 وفقا لـ Steel and Torrie و Torrie).

النتائج والمناقشة:

تحرر الحديد

لقد أوضحت النتائج أن متوسط تحرر الحديد لجميع الترب المستعملة انخفض طرديا مع زيادة مدة التحضين من يوم واحد إلى 10 و30 و90 يوما لجميع درجات الحرارة الثلاث شكل (1 و2) فقد بلغ متوسط تحرر الحديد لتلك المدد على التوالي 19.62 و18.56 و17.04 و12.50 ملغم كغم$^{-1}$تربة عند درجة حرارة 10 °م وبنسبة تحرر 49.1 و46.4 و42.6 و31.3 % من مقدار الحديد المضاف عند الزمن (t=0) بينما كان متوسط تحرر الحديد عند درجة الحرارة 25 °م هو 26.82 و24.15 و21.30 و14.47 ملغم كغم$^{-1}$تربة وبنسبة تحرر 67.1 و 60.4 و53.3 و 36.2 % بينما كان متوسط تحرره عند درجة حرارة 35 °م 34.92 و32.91 و26.52 و17.44 ملغم كغم$^{-1}$تربة و بلغت نسبة تحرره 87.3 و82.2 و66.3 و 43.6 % لمدد التحضين الأربع على التوالي.

لقد انخفض متوسط تحرر الحديد لمدد التحضين من يوم واحد إلى 10 و30 و90 يوما وعند درجة الحرارة 10 °م بنسبة 6 و13 و36 % لمدد التحضين 10 و30 و90 يوما مقارنة بمدة التحضين الأولى بينما انخفض بنسبة 10 و21 و46 % للمدد على التوالي عند درجة حرارة 25 °م أما عند درجة الحرارة 35 °م فقد كانت نسبة الانخفاض 6 و24 و50 % لتلك المدد على التوالي ، إذ بلغت نسبة الانخفاض في تحرر الحديد كمتوسط عام لدرجات الحرارة الثلاث هي 7 و19 و44 % لمدد التحضين 10 و30 و90 يوما مقارنة بمدة التحضين الأولى (يوم واحد).

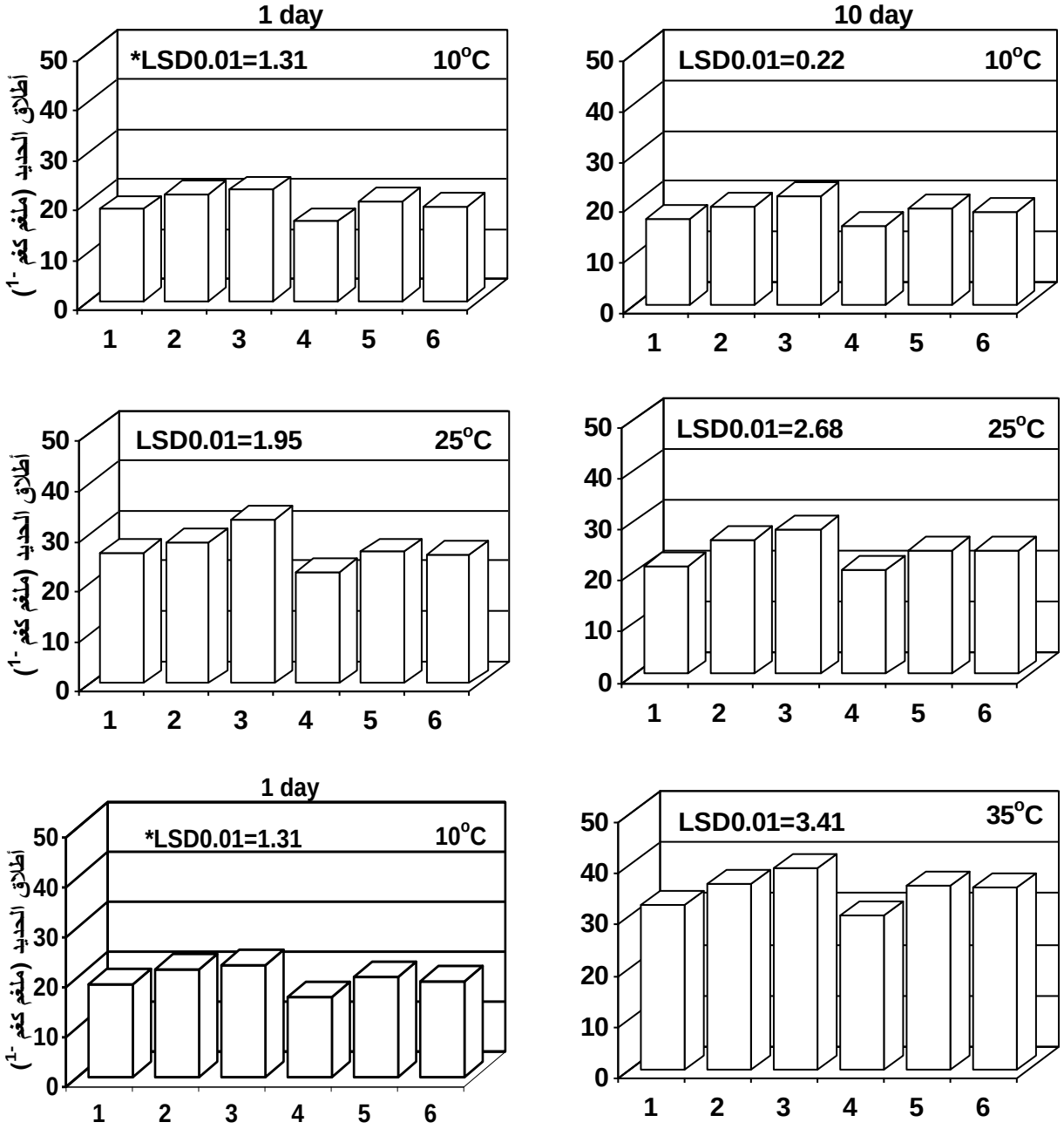
أن انخفاض متوسط تحرر الحديد من المركب المخلبي في ترب الدراسة الحالية مع زيادة مدة التحضين يعزى إلى تعرض الحديد عند أضافته إلى الترب الكلسية كالترب المستعملة في هذه الدراسة إلى تفاعلات عدة كالاحتجاز وتكوين معقدات سواء بفعل غرويات التربة المعدنية والعضوية أم بفعل معادن الكاربونات الكلية والنشطة منها فضلا عن ذلك التحولات البايولوجية كعمليات الأكسدة والاختزال (Goos,2001 و Germain ،2001 و Jiang وآخرون،2009).

كما أظهرت النتائج أن نسبة تحرر الحديد كمتوسط عام لجميع الترب الست ودرجات الحرارة الثلاث بلغت 68 و63 و54 و37 % من مقدار الحديد المضاف ولمدد التحضين 1 و10 و30 و90 يوم على التوالي شكل(1 و2) أن نسبة متوسط التحرر انخفضت بنسبة 46 % عند مدة التحضين 90 يوما مقارنة بمدة التحضين يوم واحد إذ يبدو أن عملية تحرر الحديد الأولى (1 يوم) سريعة نسبيا ثم تنخفض تدريجيا وتصبح بطيئة عند مدة التحضين الأخيرة (90 يوما). أن هذا السلوك يمكن تفسيره بكون تفاعلات تحرر الحديد عند الأزمنة القصيرة هي تفاعلات سريعة Fast reactions أما تفاعلاته اللاحقة فهي بطيئة Slow reactions وهذا يعزى لكون ان تحرر الحديد عند الأزمنة الأولى يبدو سهلا بسبب عدم توافر الوقت الكافي لتعرض الحديد لتفاعلات الاحتجاز (الامتزاز والترسيب) أو تكوين معقدات مع العناصر أو معادن الكاربونات في التربة أما في الأزمنة الطويلة (90 يوما) فيوجد وقت كاف لحدوث تلك التفاعلات وهذا يتفق مع كل من (الغريري، 2003 و Jalali وآخرون،2013).

لقد أشارت النتائج أن نسبة متوسط تحرر الحديد من المصدر المخلبي FeEDDHA عند مدة التحضين 90 يوما بلغت % 37 ولجميع درجات حرارة التحضين ، أن وجود هذه النسبة من الحديد الجاهز من ذلك المركب المخلبي بعد مدة 90 يوما من التحضين يدل على أن هذا المركب له المقدرة على أمداد النبات بالحديد الجاهز طيلة مراحل نموه ولذلك تأتي أهمية استعمال هذا المركب ومركبات الحديد المخلبية الأخرى في تسميد معظم المحاصيل الاقتصادية في الترب المختلفة ولاسيما الكلسية منها وهذا يعزى كون هذا المركب المخلبي ذي استقرارية و ثباتية عاليتين فضلا عن مقدرته العالية للاحتفاظ بعنصر الحديد مما يسهم في خفض مسار وسرعة تفاعلاته في التربة (Goos و Germain،2001 وJiang واخرون،2009) .

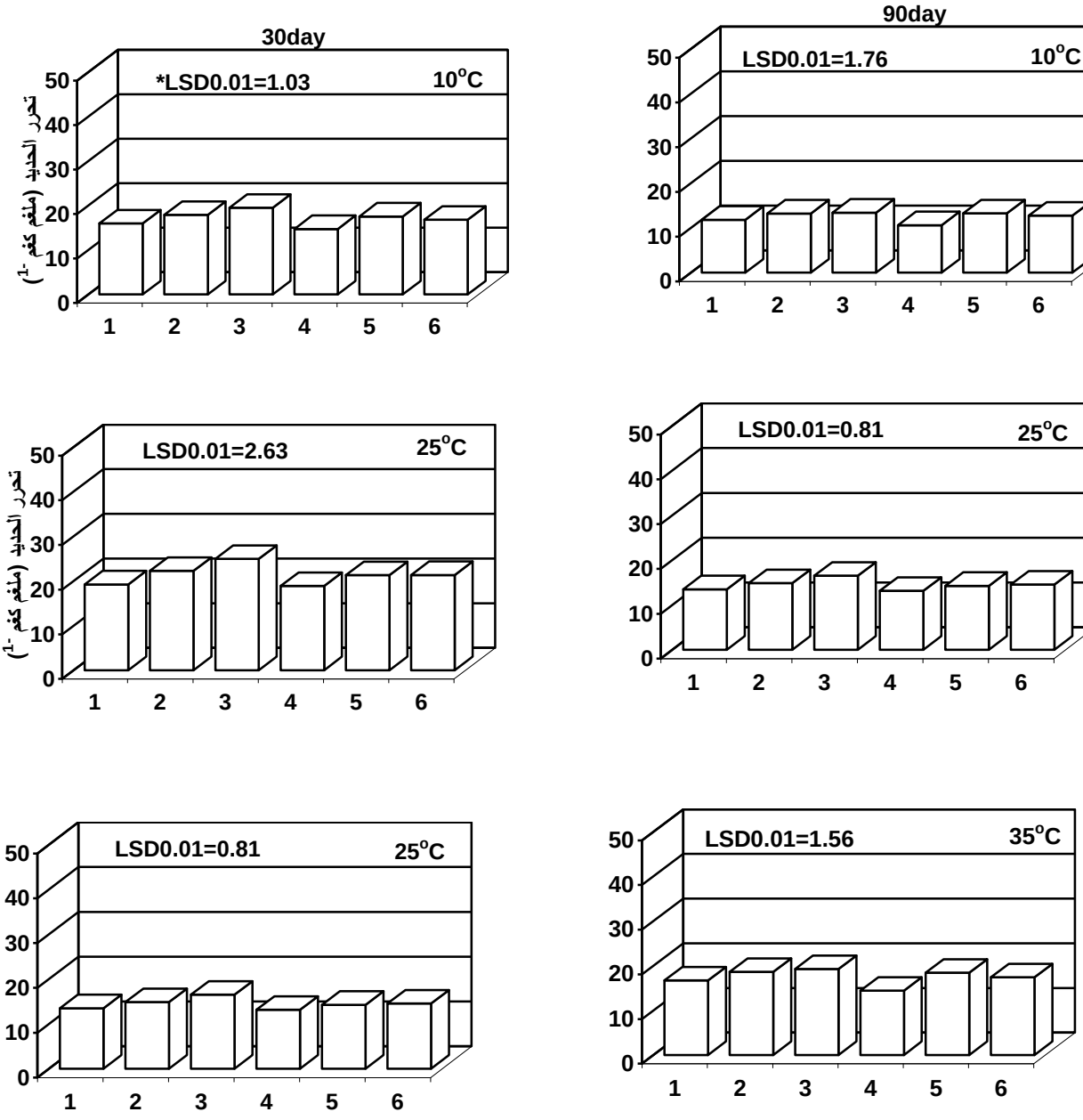
كما بينت النتائج أن زيادة درجة حرارة التحضين أدت إلى زيادة متوسط تحرر الحديد شكل (1 و2) ، فقد أوضحت نتائج تحليل الانحدار جدول (3) وجود علاقة ارتباط بين متوسط تحرر الحديد من المركب المخلبي FeEDDHA في الترب الست قيد الدراسة لمدد التحضين 1 و10 و30 و90 يوما مع درجة حرارة التحضين وفقا للمعادلة الآسية Exponential equation ،لقد أظهرت تلك النتائج جدول (3) وجود علاقة ارتباط موجبة بين متوسط تحرر الحديد مع زيادة درجة حرارة التفاعل ، إذ أدت زيادة درجة الحرارة درجة مئوية واحدة وفقا لتلك المعادلات إلى زيادة تحرر الحديد من المركب المخلبي FeEDDHA لجميع الترب قيد الدراسة بمستوى 0.0226 و0.0219 و0.0167 و0.0159 ملغم كغم$^{-1}$تربة عند مدد التحضين 1 و10 و30 و90 يوما على التوالي. لقد تأثر مقدار تحرر الحديد ايجابيا بدرجة حرارة التفاعل إذ يؤدي ارتفاع حرارة التفاعل إلى زيادة الطاقة الحركية للجزئيات في وحدة الزمن مما يؤدي إلى زيادة عدد الجزئيات التي تمتلك طاقة حركية تساوي أو تفوق طاقة التنشيط التي تسهم في زيادة أو مضاعفة سرعة تفاعلات التحرر وهذا ما أشارت أليه أيضا نتائج دراسات في تحرر العناصر المغذية الكبرى كالفسفور والعناصر الصغرى كالزنك (الساعدي،2000 و العامري،2001) . أما فيما يخص تحرر الحديد فقد أشار كل من (Jorda واخرون،1992) إلى زيادة مقدار وسرعة تحرر الحديد عند زيادة درجة حرارة التحضين من 10 إلى 40 °م ومن 40 إلى 60 °م على التوالي . كما وجد Lindsay و Norvell (1978) زيادة مقدار الحديد المستخلص بطريقة DTPA+$CaCl_2$ بمقدار 30 % في 35 عينة تربة عند زيادة درجة حرارة الاستخلاص بمقدار 10 °م . كما ذكر الغريري (2003) أن متوسط تحرر الحديد من المركب المخلبي FeEDDHA ازداد بمقدار 0.0069 و0.0084 ملغم كغم$^{-1}$

[1]تربة عند زيادة درجة الحرارة درجة مئوية واحدة ولمدتي التحضين 2 و720 ساعة على التوالي وفقا للمعادلة الآسية.



الخالص	المسيب	الراشدية	بلد	الوحدة	الرائد
1	2	3	4	5	6

شكل 1: تحرر الحديد عند درجات الحرارة المختلفة وعند مدتي التحضين (1و10 أيام) في الترب المستعملة في الدراسة .
*** اقل فرق معنوي عند مستوى 0.01.**



الرائـد	الوحـدة	بلـد	الراشديـة	المسيـب	الخـالص
6	5	4	3	2	1

شكل 2: تحرر الحديد عند درجات الحرارة المختلفة وعند مدتي التحضين (30 و90 يوما) في الترب المستعملة في الدراسة .
*** اقل فرق معنوي عند مستوى 0.01.**

جدول 3: العلاقة بين تحرر الحديد q مع درجة حرارة التحضين (T) (^{o}C) لمدد التحضين المختلفة (n=6) .

مدة التحضين (يوم)	المعادلـة الآسية	معامل الارتباط (r)**
1	ln q = 2.750 + 0.0226 T	0.998
10	ln q = 2.689 + 0.0219 T	0.985
30	ln q = 2.654 + 0.0167 T	0.998
90	ln q = 2.309 + 0.0159 T	0.989

** معنوي عند مستوى 0.01

لقد أكدت النتائج وجود تأثير معنوي لنوع التربة عند مستوى ($p \leq 0.01$) في تحرر الحديد لجميع مدد التحضين عند درجات الحرارة 10 و25 و35 °م فقد تفوقت تربة الراشدية على بقية الترب في أعطاء أعلى قيمة لتحرر الحديد فقد بلغ متوسط تحرره 22.39 و21.59 و19.48 و13.42 لمدد التحضين 1 و10 و30 و90 يوما على التوالي عند درجة حرارة 10 °م وبمتوسط عام 19.22 ملغم كغم$^{-1}$تربة شكل (1 و2) بينما بلغ متوسط تحرره عند درجة حرارة 25 °م هو 32.75 و28.31 و24.91 و16.62 لمدد التحضين الأربع على التوالي وبمتوسط عام 25.65 ملغم كغم$^{-1}$تربة بينما بلغ 40.28 و37.66 و30.15 و19.23 عند درجة حرارة 35 °م وبمتوسط عام 31.83 ملغم كغم$^{-1}$تربة و بلغت نسبة تحرر الحديد كمتوسط لمدد التحضين الأربع 48.1 و64.1 و79.6 % من مقدار الحديد المضاف عند درجات الحرارة الثلاث على التوالي اذ بلغ متوسط نسبة تحرر الحديد 64.1 % لجميع درجات الحرارة بينما كان أقل متوسط لتحرر الحديد في تربة بلد وقد بلغ 16.01 و15.67 و14.68 و10.60 وبمتوسط 14.24 ملغم كغم$^{-1}$تربة لمدد التحضين الأربع على التوالي عند درجة حرارة 10 °م أما عند درجة حرارة 25 °م فقد بلغ 22.21 و20.40 و18.85 و13.05 وبمتوسط 18.63 ملغم كغم$^{-1}$تربة بينما كان 29.11 و29.80 و21.54 و14.37 وبمتوسط 23.71 ملغم كغم$^{-1}$تربة عند درجة حرارة 35 °م لقد بلغت نسبة تحرر الحديد كمتوسط لمدد التحضين الأربع المشار أليها أعلاه هي 35.6 و46.6 و59.3 % من مقدار الحديد المضاف عند درجات حرارة التحضين 10 و25 و35 °م على التوالي وبمتوسط عام 47.2 % . لقد زاد تحرر الحديد في تربة الراشدية بنسبة 37 و38 و34 % مقارنة بتربة بلد عند درجات الحرارة 10 و25 و35 °م ، لقد تفوقت تربة الراشدية في تحرر الحديد على تربة بلد بنسبة 36 % .

أن تحرر الحديد في تربة الراشدية كان اكبر مقدارا وذلك لقلة محتواها من معادن الكاربونات الكلية و الكاربونات النشطة وهذا ما أكدته نتائج دراسات عدة (Sharma وآخرون،2004 وKumar وBabel،2011) الذين أشاروا في دراستهم إلى زيادة مقدار تحرر الحديد بزيادة محتوى الطين وانخفاض محتوى معادن الكاربونات الكلية و الكاربونات النشطة كما وجدت علاقات ارتباط معنوية موجبة بين تحرر الحديد ومحتوى الطين وسالبة مع محتوى معادن الكاربونات في التربة . فضلا عن ذلك فأن تربة بلد تتميز بارتفاع التوصيل الكهربائي EC مقارنة بتربة الراشدية جدول (2) والذي ربما أسهم في خفض تحرر الحديد من المركب المخلبي FeEDDHA ، فقد أشار Dahiya و Singh (1979)إلى انخفاض تحرر الحديد المضاف على شكل $FeSO_4$ بمقدار 15 % في 9 عينات تربة عند زيادة ملوحة التربة من 1 إلى 8 ديسي سمينزم$^{-1}$.

حركيات تحرر الحديد

لغرض تحديد العلاقة بين سلوك وسرعة تفاعلات تحرر الحديد مع مدة التحضين (زمن التفاعل) استعملت ست معادلات اعتمد بعضها على أسس الكيمياء الحركية Kinetic Chemistry وهي معادلات الرتبة صفر والأولى والثانية والآخر على أسس طبيعية كمعادلة الانتشار وأسس رياضية تجريبية كمعادلتي ايلوفج و فرندلخ للترب الست قيد الدراسة عند ثلاث درجات حرارة هي 10 و25 و35 °م . لقد أوضحت النتائج جدول (4) أن معادلة الرتبة الأولى First order reaction كانت هي الأكفأ في وصف العلاقة بين تحرر الحديد مع زمن التفاعل (t) معنويا عند مستوى ($p \leq 0.01$) وذلك لحصولها على أعلى معامل تحديد (r^2) 0.975 وأعلى قيمة t 29.70 مقارنة ببقية المعادلات المستخدمة في الدراسة بينما كانت معادلة فرندلخ اقل كفاءة في وصف تحرر الحديد وذلك لامتلاكها اقل معامل تحديد 0.741 واقل قيمة t 5.03 ، لقد بلغت كفاءة تلك المعادلتين في وصف العلاقة بين تحرر الحديد مع الزمن 97.5 و74.1 % على التوالي ويمكن ترتيب المعادلات المستخدمة حسب كفاءتها في وصف تلك العلاقة كما يأتي:

الرتبة الأولى > **الانتشار** > **الرتبة الثانية** > **الرتبة صفر** > **ايلوفج** > **فرندلخ** أن تفوق معادلة الرتبة الأولى على بقية المعادلات الأخرى في وصف تحرر الحديد مع الزمن مما يؤكد أن سير التفاعل يعتمد بالدرجة الرئيسية على مستوى

الحديد المضاف وزمن التفاعل (مدة التحضين). أن الديناميكية (الرتبة الأولى والثانية) والتجريبية (ايلوفج) كانت هي الأفضل في وصف تحرر الحديد من المركب المخلبي FeEDDHA مع زمن التفاعل (48 ساعة) في خمس ترب كلسيه. كما أظهرت نتائج دراسة الغريري (2003) و تفوق معادلة الرتبة الأولى على بقية المعادلات المستخدمة في دراستهما في تقييم معامل سرعة تحرر الحديد من المركبين FeEDDHA و$FeSO_4$ في ترب كلسيه.

كما أظهرت النتائج جدول (5) بأن زيادة درجة حرارة التحضين أدت إلى زيادة معامل تحرر الحديد k وفقا لمعادلة الرتبة الأولى ، فقد أدت زيادة درجة الحرارة من 10 إلى 25 و35 °م زيادة متوسط معامل التحرر لجميع الترب الست قيد الدراسة ولجميع مدد التحضين من $4.628x10^{-3}$ إلى $6.415x10^{-3}$ و$7.403x10^{-3}$ ملغم كغم$^{-1}$يوم$^{-1}$ وبنسبة زيادة بلغت 39 و60 % لدرجتي الحرارة 25 و35 °م على التوالي مقارنة بدرجة الحرارة10 °م . لقد أكدت تلك النتائج وجود علاقة ارتباط معنوية موجبة عند مستوى ($p \leq 0.01$) بين درجة حرارة التفاعل (T) ومعامل تحرر الحديد k وفقا لمعادلة الانحدار الخطي البسيط

$$\mathbf{k = -\ 0.0269 + 0.000116T \qquad r = 0.999^{**}}$$

وتوضح المعادلة أعلاه بأن زيادة درجة حرارة التفاعل درجة مطلقة واحدة أدت إلى زيادة معامل تحرر Fe بمقدار $1.16x10^{-4}$ ملغم كغم$^{-1}$درجة مطلقة$^{-1}$. أن زيادة درجة حرارة التفاعل (التحضين) أدت إلى زيادة مقدار الطاقة الحركية للجزئيات التي تؤدي إلى زيادة عدد الاصطدامات بين تلك الجزئيات في وحدة الزمن وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة عدد الجزئيات التي تمتلك طاقة تساوي أو تفوق طاقة التنشيط Ea مما يؤدي إلى زيادة أو مضاعفة سرعة تفاعلات التحرر (Bohn وآخرون،1985). لقد أشارت عدد من الدراسات إلى تأثير درجة الحرارة في سرعة ومسار معامل تحرر الحديد فقد أشارJorda وآخرون (1992) أن زيادة درجة حرارة التحضين من 40 إلى 50 و60 °م أدت إلى زيادة معامل تحرر الحديد من المركب المخلبي FeEDDHA من$3.7x10^{-2}$ إلى $5.6x10^{-2}$ و$8.9x10^{-2}$ ملغم Feكغم$^{-1}$تربة ساعة$^{-1}$ وفقا لمعادلة الرتبة الأولى. وبينت نتائج دراسة الغريري (2003) أن معامل تحرر الحديد زاد من $12.07x10^{-4}$ إلى $14.23x10^{-4}$ و$14.86x10^{-4}$ ملغم Feكغم$^{-1}$تربة ساعة$^{-1}$ عند زيادة درجة حرارة التحضين من 10 إلى 25 و35 °م وفقا لمعادلة الرتبة الأولى. هذه النتائج تتفق مع ما أشارت أليه بعض الدراسات، فقد أشارت دراسة (Dahiya و Singh، 1979) إلى أن تحرر الحديد من المركبين المخلبين FeEDTA وFeDTPA في سبع ترب كلسيه يتبع معادلة الرتبة الأولى. كما وجد Al-Uqaili وآخرون (2002) أن معادلة الرتبة الأولى كانت الأكفأ في وصف تحرر الحديد من مركباته المعدنية والمخلبية $FeSO_4$ وFeDTPA وFeEDTA وFeHEDTA في ثمان ترب كلسيه مع الزمن ، كما بين Jorda وآخرون (1992) أن المعادلات

كما بينت النتائج أن أعلى مقدار لمتوسط معامل تحرر الحديد ولجميع درجات الحرارة ومدد التحضين كان في تربة الراشدية وقد بلغ 6.570x10-3 بينما كان أقل مقدار له في تربة بلد 5.795x10-3 إما في تربة الرائد فقد بلغ تحرر6.046x10-3 ملغم Feكغم-1تربة يوم-1 وفقا لمعادلة الرتبة الأولى. لقد ازداد متوسط معامل تحرر الحديد في تربة الراشدية بنسبة 9 و13% مقارنة بتربتي الرائد وبلد على التوالي . ويعزى ذلك إلى الصفات الكيميائية والفيزيائية لهذه الترب فارتفاع محتوى الطين في تربة الراشدية وانخفاض محتواها من معادن الكاربونات الكلية والكاربونات النشطة فضلا عن انخفاض التوصيل الكهربائي لها جدول (2) قد أسهم في زيادة سرعة تحرر هذا العنصر وقد يحتمل أن يعود إلى مقدرة تلك الصفات على خفض سرعة تعرض الحديد إلى عمليات الترسيب وتكوين المعقدات وكذلك مساهمتها في زيادة معامل انتشاره من طور التربة الصلب إلى طور التربة السائل (محلول التربة) مقارنة بتربتي الرائد وبلد.

لقد أظهرت تربة الرائد قيمة متوسطة لمعامل تحرر الحديد مابين تلك التربتين وذلك لامتلاكها قيم متوسطة من تلك الصفات (محتوى الطين ومعادن الكاربونات الكلية و الكاربونات النشطة والتوصيل الكهربائي) وهذا يتفق مع العديد من الدراسات التي أشارت إلى زيادة تحرر الحديد بزيادة محتوى الطين وانخفاض محتوى كل من الكاربونات الكلية و الكاربونات النشطة وانخفاض التوصيل الكهربائي كما وجدت علاقة ارتباط موجبة بين تحرر الحديد ومحتوى الطين وسالبة مع كل من محتوى الكاربونات الكلية والتوصيل الكهربائي (Nazif وآخرون ،2006 و Ibrahim وآخرون ،2011 وKumar وآخرون ،2011 وKumar وBabel،2011).

وجدت علاقة ارتباط عالية المعنوية عند مستوى($p \leq 0.01$) بين معامل التحرر k ودرجة الحرارة المطلقة فقد بلغ معامل الارتباط 0.999 و0.995 و0.952 و0.990 و0.996 و0.994 لترب الخالص و المسيب و الراشدية و بلد و الوحدة والرائد على التوالي وبمتوسط عام 0.998 وبكفاءة بلغت 97.6 %.

جدول (4) : كفاءة بعض المعادلات الحركية والفيزيائية والتجريبية في وصف العلاقة بين تحرر الحديد مع الزمن.

المعادلة	المؤشر الإحصائي	الترب قيد الدراسة						المتوسط (X)
		الخالص	المسيب	الراشدية	بلـد	الوحدة	الرائد	
الرتبة صفر	R^2	0.955	0.924	0.963	0.948	0.935	0.973	0.950
	SE.e	0.699	0.723	0.693	0.832	0.834	0.681	0.744
	T	18.45	9.48	19.11	13.01	10.37	20.75	15.20
الرتبة الأولى	R^2	0.973	0.984	0.966	0.953	0.985	0.987	0.975
	SE.e	0.024	0019	0.034	0.040	0.023	0.019	0.027
	T	30.50	33.66	16.21	17.23	33.43	47.15	29.70
الرتبة الثانية	R^2	0.972	0.878	0.933	0.942	0.990	0.989	0.951
	SE.e	0.001	0.004	0.002	0.003	0.001	0.001	0.002
	T	19.75	13.56	17.57	12.93	33.30	34.28	21.90
الانتشار	R^2	0.970	0.964	0.961	0.926	0.979	0.977	0.963
	SE.e	0.642	0.796	0.789	0.897	0.597	0.572	0.716
	T	16.33	15.26	23.14	10.70	20.22	19.41	17.51
أيلوفج	R^2	0.842	0.790	0.812	0.748	0.826	0.817	0.806
	SE.e	1.514	2.059	2.055	1.644	1.709	1.630	0.027
	T	7.14	5.48	6.32	5.03	6.30	6.28	6.09
دالة القوى	R^2	0.780	0.726	0.699	0.699	0.777	0.764	0.741
	SE.e	0.090	0.106	0.394	0.101	0.091	0.092	0.146
	T	5.32	4.60	5.10	4.41	5.34	5.20	5.03

* تمثل تلك المؤشرات متوسط تحرر الحديد لدرجات حرارة التحضين الثلاث.

r^2 = معامل التحديد SE.e = الخطأ القياسي التقديري t = قيمة t.

جميع قيم r^2 و t معنوية عند مستوى 0.01.

جدول 5: معامل تحرر وطاقة تنشيط الحديد عند درجات حرارة التحضين المختلفة ولجميع مدد التحضين .

رقم النموذج	الموقع	معامل تحرر الحديد ($k \times 10^{-3}$)*				طاقة التنشيط** Ea كيلوجول مول$^{-1}$
		درجة حرارة التحضين			المتوسط (X)	
		10°C	25°C	35°C		
1	الخالص	4.451	6.233	7.436	6.040	14.96
2	المسيب	4.831	6.616	7.501	6.316	12.94
3	الراشدية	4.960	7.252	7.509	6.574	12.58
4	بلد	4.297	5.641	7.446	5.795	15.62
5	الوحده	4.657	6.397	7.304	6.119	13.52
6	الرائد	4.569	6.348	7.222	6.046	13.48
المتوسط (X)		4.628	6.415	7.403	6.149	13.80

* معامل التحرر (ملغم كغم $^{-1}$يوم$^{-1}$) وفقا لمعادلة الرتبة الأولى.
** طاقة التنشيط وفقا لمعادلة ارينوس.

لقد أشارت النتائج إلى تأثير الترب قيد الدراسة في طاقة تنشيط تحرر الحديد جدول (5) ، فقد بلغ المتوسط العام لطاقة تنشيط تحرر الحديد لجميع الترب الست 13.80 وكان أعلى مقدار لها في تربة بلد حيث بلغت 15.62 بينما أظهرت تربة الراشدية اقل مقدار لها بلغ 12.58 بينما أعطت تربة الرائد قيمة متوسطة بلغت 13.48 كيلوجول مول$^{-1}$. لقد زادت طاقة تنشيط تحرر الحديد في تربة بلد بنسبة 16 و24 % مقارنة بقيمتها في تربتي الرائد و الراشدية على التوالي. وهذا يعزى إلى ارتفاع محتوى معادن الكاربونات الكلية والكاربونات النشطة والتوصيل الكهربائي وانخفاض محتوى الطين في تربة بلد التي يكون فيها الحديد عرضة للتفاعلات السريعة كالاحتجاز (الامتزاز والترسيب) على سطوح معادن الكاربونات الكلية والنشطة كيميائيا فضلا عن تكوين معقدات مع الايونات السائدة في التربة مما أسهم في خفض معامل تحرر الحديد في تلك التربة مقارنة بتربتي الراشدية والرائد وهذا ما أكده كل من (Sharma وآخرون،2004 وNazif وآخرون ،2006 و Celik وKathat، 2007a وb) والذين أشاروا إلى أن تحرر الحديد يزداد بزيادة محتوى الطين وانخفاض التوصيل الكهربائي ومحتوى معادن الكاربونات وهذا يعني انخفاض طاقة التنشيط لسير تفاعل التحرر نتيجة لذلك.

كما أكدت النتائج أن للصفات الكيميائية والفيزيائية للترب الست قيد الدراسة تأثيرا في معامل وطاقة تنشيط تحرر الحديد ، فقد أظهرت نتائج تحليل الانحدار وجود علاقة خطية معنوية بين بعض صفات تلك الترب مع كل من معامل وطاقة تنشيط تحرر الحديد جدولي (6 و7) فقد ارتبط معامل تحرر الحديد (وفقا لمعادلة الرتبة الأولى) سالبا ومعنويا عند مستوى ($p \leq 0.05$ و0.01) ومع كل من التوصيل الكهربائي ومحتوى كل من معادن الكاربونات الكلية والنشطة (**0.959 و*0.871 و**0.962 على التوالي) وايجابيا مع محتوى الحديد الجاهز (**0.947) وعلى خلاف ذلك أكدت النتائج وجود علاقة ارتباط معنوية موجبة بين طاقة تنشيط تحرر الحديد Ea مع كل من التوصيل الكهربائي ومحتوى الكاربونات النشطة (**0.963 و**0.953 على التوالي) وسالبة مع محتوى الحديد الجاهز (*0.815). وقد يعزى الحصول على علاقات سالبة بين معامل تحرر الحديد مع كل من التوصيل الكهربائي ومحتوى معادن الكاربونات الكلية والكاربونات النشطة إلى تعرض الحديد من السماد إلى التفاعلات الكيميائية السريعة كالاحتجاز وتكوين معقدات مع الايونات الحرة في محلول التربة كما أن ارتفاع التوصيل الكهربائي أسهم في سرعة تكوين المعقدات نتيجة زيادة محتوى الايونات الحرة في محلول التربة بينما كانت العلاقة موجبة مع محتوى الحديد الجاهز إذ أدت زيادة معامل تحرر الحديد إلى زيادة جاهزيته وهذا ما أشار أليه كل من (Al-Uqaili وآخرون ،2002 وKumar و2011,Babel وSidhu وSharma،2010) إذ وجدوا زيادة تحرر الحديد بانخفاض التوصيل الكهربائي ومحتوى معادن الكاربونات كما وجدت علاقات ارتباط سالبة بين تحرر الحديد وكل من التوصيل الكهربائي ومحتوى الكاربونات الكلية وموجبة مع محتوى الحديد الجاهز.

أن معامل تحرر الحديد يزداد بانخفاض طاقة التنشيط Ea ولذلك فصفات التربة كمحتوى معادن الكاربونات الكلية والكاربونات النشطة التي تؤدي إلى زيادة طاقة التنشيط في خفض معامل تحرر الحديد وخفض جاهزيته وهذا يتفق مع ما وجدته بعض الدراسات على العناصر الكبرى كالفسفور والصغرى كالزنك (الساعدي،2000 والعامري،2001) والذين أشاروا إلى زيادة طاقة التنشيط اللازمة لتحرر العنصر من المصادر المختلفة في الترب ذات المحتوى العالي من معادن الكاربونات الكلية والكاربونات النشطة .

جدول 6: العلاقة الخطية بين معامل تحرر الحديد وفقا لمعادلة الرتبة الأولى (Y) مع خصائص التربة (X) .

صفات التربة	معادلة الانحدار	المؤشر الإحصائي	
		معامل الارتباط (r)	معامل التحديد(r^2)
الغرين	$Y= 0.0066 - 1.221x10^{-6} X$	0.265	0.070
الطين	$Y= 0.0056 + 1.080x10^{-6} X$	0.418	0.175
EC	$Y= 0.0067 – 7.317x10^{-3} X$	0.959	0.920
pH	$Y= 0.0037 + 3.300x10^{-4} X$	0.433	0.188
OM	$Y= 0.0053 + 4.782x10^{-5} X$	0.207	0.043
الكاربونات الكلية	$Y= 0.0091 – 9.071x10^{-6} X$	0.871	0.759
الكاربونات النشطة	$Y= 0.0077 – 1.344x10^{-5} X$	0.962	0.926
الحديد الجاهز Fe-DTPA	$Y= 0.0059 + 7.640x10^{-5} X$	0.947	0.897

* قيمة r الجدولية عند مستوى 0.05 و0.01 = 0.811 و0.917

جدول 7: العلاقة الخطية بين طاقة تنشيط Ea (Y) تحرر الحديد مع صفات التربة(X).

صفات التربة	معادلة الانحدار	المؤشر الإحصائي	
		معامل الارتباط *(r)	معامل التحديد(r^2)
الغرين	Y= 11.26 + 0.0075 X	0.358	0.128
الطين	Y= 17.56 – 0.0078 X	0.669	0.448
EC	Y= 11.43 + 0.3326 X	0.963	0.927
pH	Y= 32.75 – 2.5106 X	0.727	0.529
OM	Y= 25.22 – 0.6249 X	0.598	0.358
الكاربونات الكلية	Y= 1.69 + 0.0375 X	0.795	0.632
الكاربونات النشطة	Y= 7.090 + 0.0596 X	0.953	0.908
الحديد الجاهز Fe-DTPA	Y= 14.91 – 0.2904 X	0.815	0.664

- قيمة r الجدولية عند مستوى 0.05 و0.01 = 0.811 و0.917

المصادر:

الساعدي ، نصير عبد الجبار .2000. سلوك وكفاءة الأسمدة الفوسفاتية الامونياكية في الترب الكلسية. رسالة ماجستير. كلية الزراعة . جامعة بغداد .

العامري ، بيداء حسن علوان .2001. سلوك وكفاءة بعض أسمدة الزنك في التربة الكلسية. رسالة ماجستير. كلية الزراعة .

الغريري ،فاضل عودة كريدي .2003. سلوك وكفاءة أسمدة الحديد في التربة الكلسية تحت ظروف الزراعة المحمية. رسالة ماجستير. كلية الزراعة . جامعة بغداد .

Al-Uqaili, J. K., A. A. Al-Hadethi, and A. k. A. Jarallah .2002. Adsorption – desorption of iron in some calcareous soils. Basrah J. Agric. Sci. 15(2): 49 – 64.

Behera, S.K., and A.K. Shukla. 2014.Total and extractable manganese and iron in some cultivated acid of India: Status, Distribution and relationship with some soil properties. Pedosphere 24(2):196 – 208.

Bell, R.W., and B. Dell. 2008. Micronutrients for Sustainable Food, Feed, Fibre and Bioenergy Production.1st edition, IFA, Paris, France.

Bohn, H. L., B. L. McNeal, and G. A. O'Connor .1985. Soil Chemistry. John Wiley & Sons, N. Y.

Carter, M. R. 1981. Association of total $CaCO_3$ and active $CaCO_3$ with growth of five tree species on chernozermic soils. Can. J. Soil Sci. 61: 173 – 175.

Celik, H., and, A. V. Kathat. 2007a. Some Parameters in Relation to Iron Nutrition Status of Peach Orchards. J. BIOL. ENVIRON. SCI. 1 (3) :111 – 115.

Celik, H., and, A. V. Kathat. 2007b. Some physical soil properties and potassium as an intensified factor on iron chlorosis. Int. J. Soil Sci. 2(4):294 – 300.

Chang, R. 1977. Physical Chemistry with Application to Biological System. Macmillan Pub. Co., Inc. N. Y.

Kumar, M.,S.K. Singh, P. Raina, and B.K. Sharma, B.K.2011 Status of available major and micronutrients in arid soils of Churu district of western Rajasthan. Journal of the Indian Society of Soil Science. 59: 188-192.

Kumar, M., and A.L. Babel. 2011. Available micronutrient status and their relationship with soil properties of Jhunjhunu Tehsil, District Jhunjhunu,

Dahiya, S. S., and M. Singh .1979. Effect of salinity, alkalinity and iron sources on availability of iron. Plant Soil 51: 13 – 18.

Dyanand, S., and M. K. Sinha .1980. The kinetics of reaction of FeDTPA and Fe-fulvate in calcareous soils. J. Indian Soc. Soil Sci. 28: 429 – 435.

Gil-Ortiz, P., and I. Bautista-Carrascosa .2004. Effect of FeEDDHA chelate application on evolution of soil extractable iron, copper, manganese, and zinc. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35: 559 – 570. (Abstract).

Goos, R. J., and S. Germain .2001. Solubility of twelve iron fertilizer products in alkaline soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32: 2317 – 2323. (Abstract).

Ibrahim, A. K., A. Usman, B. Abubakar, and U.H. Aminu. 2011. Extractable micronutrients status in relation to other soil properties in Billiri Local Government Area. J. Soil Sci. Environ. Manage. 3(10: 282-285.

Ifansyah, H. 2013. Soil pH and Solubility of Aluminum, Iron, and Phosphorus in Ultisols: the Roles of Humic Acid. J. Trop Soils 18(3): 203-208.

Jalali, M., and S. Moharami. 2013. Kientics of iron and manganese release from contaminated calcareous soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 44(22): 3365 – 3380. (Abstract).

Jiang Y, G. Zhang, D. Zhou, Y. Qin, and W. Liang.2009. Profile Distribution of Micronutrients in an aquic brown soil as affected by land use. Plant & Soil Environ. 155(11): 468 - 476.

Jorda, J., J. Sanchez-Andreu, and M. Juarez .1992. Effect of temperature on the kinetics of FeEDDHA sorption on a calcareous soil. Soil Sci. 153: 45 – 52.

Rajasthan, India. Journal of Agriculture Science 3(2): 97 – 106.

Lindsay, W. L., and W. A. Norvell .1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421 – 425.

Page, A. L. (ed.). 1982. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Am. Soc. Agron. Madison, WI.

Nazif, W., S. Perveen, and I. Saleem. 2006. Status of micronutrients in soils of district Bhimber (Azad Jammu and Kashmir). Journal of Agricultural and Biological Science 1(2): 35 – 40.

Romheld, V., and M. Nikollic. 2007. Iron. *In* Barker, A. V., and D. J.

Pilbeam -book of Plant Nutrition. CRC Press, Taylor and Francis,

USA pp.330.

Ryan, J., and S. N. Hariq .1983. Transformation of incubated micronutrient chelates in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 806 – 810.

Sharma, B. D., H. Arora, R. Kumar, and V.K. Nayyar.2004. Relationships between soil characteristics and total and DTPA-extractable micronutrients in Inceptisols of Punjab. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35: 799 – 818. (Abstract).

Sidhu, G. S. and Sharma, B. D. 2010. Diethylenetriaminepentaacetic Acid-Extractable Micronutrients Status in Soil under a Rice-Wheat System and Their Relationship with Soil Properties in Different Agro-climatic Zones of Indo-Gangetic Plains of India. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 41, (1): 29 – 51.

Sparks, D.L. 1989. Kinetics of Soil Chemical Processes. Academic Press, San Diego, Calif.

Soil Survey Staff .2006.Key to Soil Taxonomy.10th edition. USDA-NRCS.

Steel, R.G.D., and J. H. Torrie .1980. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill, Inc., N. Y.