

حركات أكسدة الكبريت الزراعي في تربة كلسية من شمال العراق

لزكين احمد ميروين ميمداني
قسم علوم التربة والمياه / كلية
الزراعة / جامعة دهوك - العراق

محمد علي جمال العبيدي
مازن فيصل سعيد
قسم علوم التربة والمياه / كلية الزراعة والغابات / جامعة الموصل - العراق

الخلاصة

تم دراسة تأثير الزمن على تحرر الكبريتات الناتجة من الأكسدة البيولوجية للكبريت الزراعي المضاف الى تربة كلسية calciorthid بمستويات ٢٥٠ ، ٥٠٠ ، ٧٥٠ ، ١٠٠٠ ملغم S كغم^{-١} تربة باستخدام تقنيات الاتزان المستقر (تقنية الموجبة) Batch technique بعد تحضينها لفترات زمنية ٧ الى ١٦٨ يوم على درجة حرارة ثابتة ٢٩٨ °C كلفن تحت مستوى رطوبي ثابت ٣٣٠ كيلو باسكال . حيث تم وصف الكبريتات المتحررة من عملية الاكسدة البيولوجية باستخدام معادلات رياضية (معادلة الرتبة صفر ومعادلة الرتبة الاولى ومعادلة الانتشار ذات القطع المكافئ ومعادلة ايلوفج ودالة القوى) وقد اظهرت النتائج بان جميع المعادلات اعطت وصفاً رياضياً عالي المعنوية ($r > 0.9$) بين كمية الكبريتات التجميعية المتحررة والزمن الا ان دالة القوى اعطت افضل وصف رياضي (اعلى معامل ارتباط واقل خطأ قياسي) وبلغ معامل سرعة التحرر ازاء هذه المعادلة بلغ (٧.٠ - ٧٤.٠) ملغم . كغم^{-١} يوم^{-١} كما اظهرت النتائج وجود مرحلتين من الاكسدة البيولوجية للكبريت الاولى بطيئة لفترة ٢٨ يوم تعقبها مرحلة سريعة وان الطاقة الحرة لتفاعل ت الاكسدة البيولوجية كانت من النوع الباعث للحرارة، وان المدة الزمنية لاختفاء نفس الكمية المضافة هي ٥٧ يوم.

المقدمة

يعد الكبريت سماً يقدم افضل الحلول لمشكلة نقص العديد من العناصر الغذائية خصوصاً في ظروف الترب الكلسية (Boswell و Friesen ، ١٩٩٣) ومع تزايد الطلب لاستخدام الكبريت المعدني كمصدر سمادي ومصلح كيميائي يتطلب وبدقة تحديد الظروف التي تجعل معدل تحولات الكبريت البيولوجية لكي يكون بصيغة قابلة لمتصاص من قبل النبات ، يجب ان يتحول الى صيغة ذائبة عبر عملية اكسدة بايولوجية الى صيغة جذر الكبريتات وهذا يتم بفعل عمليات احيائية ودرجة اقل بكثير بوساطة عمليات غير احيائية (Lee واخرون، ١٩٨٧ و Tabatabai ، ١٩٩٤ و Prasad و Power ، ٢٠٠٠ و Ribeiro واخرون ، ٢٠٠١). وتعد دراسة اكسدة الكبريت في الترب الكلسية مهمة جداً ولهذا توجد دراسات عديدة اجريت في ترب كلسية سلطت الاضواء على عملية معدنة الكبريت واكسدته بايولوجياً بنوعيه المعدني والعضوي. واثار ذلك على خصائص الترب الكيميائية خصوصاً درجة التفاعل واثار ذلك على الحالة الخصوبية للترب (Hillal ، ١٩٧٨ و Dawood ، ١٩٨٠ ، العقبي ، ١٩٨٨ ، Lindeman واخرون ١٩٩١ ، راهي واخرون ، ١٩٩٤) . الا ان هذه الدراسات لم تسلط الضوء على ادخال الزمن كعامل فيزيائي في دراسة تحولات واكسدة الكبريت بايولوجياً في التربة وفق مفهوم الحركات الكيميائية لذا بات من الضروري التوجه نحو هذا المدخل لفهم معدل سرعة الاكسدة البيولوجية للكبريت . فقد حصل Blair (١٩٨٧) على معدل سرعة الاكسدة البيولوجية لكبريت في حقول استرالية بلغ ٥٤ مايكروغرام كبريت S لكل سم^٢ . يوم^{-١} وقد وصفت حديثاً هذه التحولات بمعادلات الحركات الكيميائية وهي (معادلة الرتبة صفر ومعادلة الرتبة الاولى) فقد اشار Sing ، ١٩٨٤ الى ان الاكسدة البيولوجية للكبريت في بعض الترب الهندية يمكن وصفه بمعادلة الرتبة الاولى ولمدة تحضين تزيد عن عشرة ايام لتربتين خفيفتين Vertisol و Entisol وازاء هذه المعادلة فقد تراوح معامل سرعة الاكسدة البيولوجية من ٠.٠٤ - ٠.٠٦ يوم^{-١} لفترة التفاعل الاول (١٠-١٠٠ يوم) بعدها بلغ معامل سرعة الاكسدة البيولوجية من ٦ - ١٠ x ٧ يوم^{-١} لفترة التفاعل الثانية (١٠ - ٣٠ يوم). كما حصل كل من Ellert و Bettany ، (١٩٩٢) على وصف لأكسدة الكبريت بايولوجياً وفق معادلة الرتبة الاولى اما في العراق فان دراسة معدل سرعة الاكسدة البيولوجية للكبريت فكانت قليلة جداً ولا توجد سوى دراستين الاولى اجريت من قبل المنصوري (٢٠٠٠) وفيها حصل على تفوق معادلة دالة القوى على معادلات الرتبة الاولى والرتبة صفر

والانتشار وايلوفيج . والثانية اجريت من قبل البياتي واخرون ، ٢٠٠٤ حصل على نتائج اشارت الى تفوق معادلة دالة القوى (متعدد الرتب multiororder) تعد افضل معادلة بين المعادلات المذكورة اعلاه في وصف اكسدة الكبريت بايولوجياً تحت ظروف رص مختلفة من وسط العراق حيث بلغت قيم معامل سرعة الاكسدة من ٠.٠٢ الى ٠.٠٤ ملغم^{-١} SO₄ اسبوع^{-١}. لذا فان دراستنا الحالية تعد محاولة هامة لكشف مسار عملية الاكسدة البايولوجية للكبريت وتحرر الكبريتات وبالتالي قياس سرعة التفاعل في ظروف الترب الكلسية من شمال العراق.

مواد البحث وطرائقه

اجريت تجربة مختبرية لتربة مزيجية طينية. أخذت من الأفق السطحي (صفر - ٣٠ سم) لأحد الحقول المستغلة بزراعة المحاصيل الزراعية في كلية الزراعة والغابات في مدينة الموصل والمصنفة ضمن رتبة Aridsol ومجموعة ترب عظمى Calciorrhid ، Soil Survey Staff (١٩٩٩). جففت الترب هوائياً ثم طحنت ومررت من خلال منخل قطر فتحاته ٢ ملم واجري لها تحليل كيميائي وفيزيائي وحسب الطرائق الواردة في Rawall (١٩٩٦) . وقد ادرجت نتائج التحليل في الجدول (١).

الجدول (١) بعض الصفات الفيزيائية والكيميائية للتربة

القياس	الوحدة	الصفة	القياس	الوحدة	الصفة
٨	٠	درجة تفاعل التربة	٣٢٦	غم.كغم ^{-١}	الرمل
٢٦٠	غم.كغم ^{-١}	الكلس	٣٤٠	غم.كغم ^{-١}	الغرين
٢٠	غم.كغم ^{-١}	المادة العضوية	٣٤٤	غم.كغم ^{-١}	الطين
٠	٨	التوصيل الكهربائي	مزيجية طينية		النسجة
٢٤	سنتي مول.كغم ^{-١}	السعة التبادلية لـ يونات الموجبة	٢٥٠	غم.كغم ^{-١}	السعة الحقلية

مزج الكبريت الزراعي (S %٩٥) انتاج الشركة العامة لكبريت المشراق قطر حبيباته ٥٠ ملم مع التربة بالمستويات (٢٥٠ و ٥٠٠ و ٧٥٠ و ١٠٠٠ ملغم كبريت S .كغم^{-١} تربة). ثم اضيف الماء الى زم للوصول الى الرطوبة المثلى بشكل رذاذ باستعمال مرشحة مع مزج التربة بصورة مستمرة خلال عملية رش الماء وضعت التربة في علب بيستيكية سعة ١ كغم في حاضنة على درجة حرارة ثابتة ٥٢٩٨ كلفن تحت المحافظة على رطوبة التربة عند السعة الحقلية وتعديلها الى المستوى نفسه عند فقدان ٥٠ % من قابلية التربة على الاحتفاظ بالماء ولثلاث مكررات لكل نموذج وبتابع التصميم العشوائي الكامل.

تحت متابعة التغيرات في الكبريتات الناتجة من الاكسدة البايولوجية بعد ٧ و ١٤ و ٢٨ و ٣٥ و ٥٦ و ٧٠ و ٨٤ و ٩٦ و ١١٢ و ١٢٦ و ١٤٠ و ١٥٤ و ١٦٨ يوم وعقب كل فترة زمنية خلطت تربة كل وحدة تجريبياً جيداً بعد تحفيها تجفيفاً هوائياً واخذت منها عينة لتقدير الكبريتات SO₄ مائياً لعمل معلق تربة الى ماء نسبة ١: ١٠ حسب Aslying وقدرت الكبريتات بطريقة العكارة Turbidimetry حسب Rawall (١٩٩٦).

الحسابات الرياضية: تم التعبير عن الكبريتات الناتجة من الاكسدة البايولوجية بوحدات ملغم.كغم^{-١} واخذت القيم التجميعية للكبريتات المتحررة واخضعت هذه النتائج الى عدد من المعادلات الحركية Kinetic equations لوصف تحرر الكبريتات من مستويات الكبريت المضافة خلال مدة التحضين المختبري وكانت المعادلات المطبقة وبصيغتها الخطية هي:-

$$[SO_4]_t = [SO_4]_0 - Kt \dots\dots\dots (1)$$

١- معادلة الرتبة الصفر

$$\ln [SO_4]_t = \ln [SO_4]_0 - Kt \dots\dots\dots (2)$$

٢- معادلة الرتبة الاولى

$$\dots\dots\dots (3) \frac{[SO_4]_t}{[SO_4]_0} = \partial + K \sqrt{t}$$

٣- معادلة الانتشار

$$[SO_4]_t = [SO_4]_0 + K \ln t \dots\dots\dots (4)$$

٤- معادلة ايلوفيج

$$\ln [SO_4]_t = [\ln SO_4]_0 + K \ln t \dots\dots\dots$$

٥- دالة القوى (متعدد الرتب)

(5)

حيث تعبر $[SO_4]_t$ عن الكمية التجميعية للكبريتات المتحررة عند الزمن t .
 $[SO_4]_0$ فتعبر عن الكبريتات المتحررة عند الزمن صفر والتي تساوي قيمة قاطع
 الخط المستقيم.
 K تعبر عن ميل الخط المستقيم والذي يعبر عن معامل سرعة الاكسدة
 البيولوجية للكبريت
 تم تحديد افضل المعادلات اعتماداً على مقارنة قيم معامل التحديد والخطأ القياسي للمعادلات الخطية
 للمعادلات الخطية اع ه.
 تم حساب الطاقة الحرة لعملية الاكسدة البيولوجية وفق المعادلة المقترحة حسب Sparks ، (١٩٩٨)
 وكالاتي :

$$\Delta G = \tau RT \ln Kr \dots\dots\dots (6)$$

حيث ΔG تعبر عن الطاقة الحرة بوحدات السرعة . مول^{-١}.
 R ثابت الغازات . درجة الحرارة المطلقة بوحدات الكلفن ، Kr معامل سرعة البيولوجية
 للكبريت لتفاعل الرتبة الاولى بوحدات يوم^{-١}.
 تم حساب زمن نصف العمل $t_{1/2}$ الزمن الذي زم لتحويل نصف المادة المتفاعلة الى ناتج وفق معادلة
 الرتبة الاولى حسب Sparks ، (١٩٩٨).

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{Kr} \dots\dots\dots (7)$$

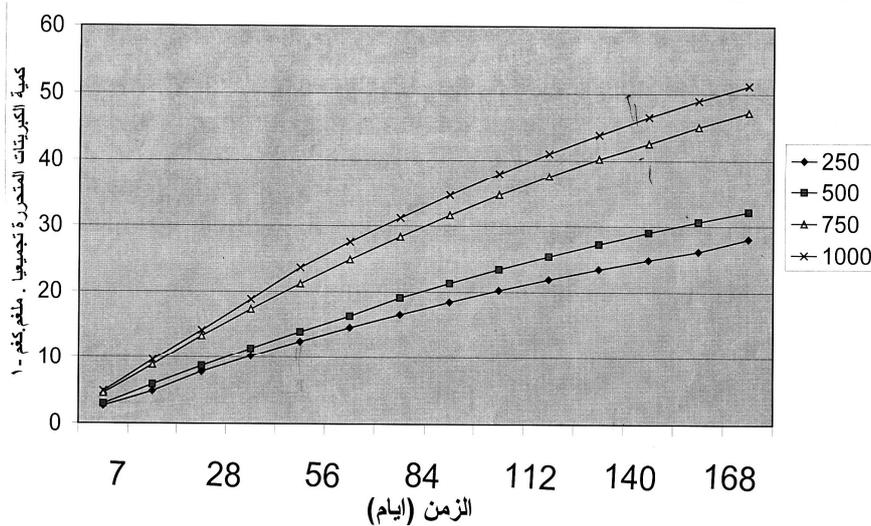
النتائج والمناقشة

منحنيات تحرر الكبريتات : اظهرت النتائج المبينة في الشكل (١) تأثير مستوى الكبريت الزراعي
 المضاف على كمية الكبريتات المتجمعة في التربة خلال مدة الحضانة البالغة (١٦٧ يوم) الى اخذ
 الكمية التجميعية للكبريتات المتحررة عقب عمليات الاكسدة البيولوجية. اذ ازدادت كمية الكبريتات
 التجميعية مع ازدياد مدة التدخين وتناقص مقدار الزيادة كثيراً في الفترات الاخيرة . ومن الواضح ان
 تلك الكميات المقاسة من الكبريتات تعكس مدى نشاط عملية الاكسدة الاحيائية لعنصر الكبريت اذ ان
 انتاج الكبريتات يعد مؤشراً على اكسدة الكبريت (Tabataba ، ١٩٩٤) وبهذا يمكن تمييز مرحلتين من
 الاكسدة المرحلة الاولى كانت مرحلة سريعة لغاية ٣٥ يوم بعدها مرحلة بطيئة لغاية ١٦٨ يوم وهذا
 يتفق مع النتائج التي حصل عليها Singh واخرون (١٩٨٩) والمنصوري ، (٢٠٠٠) والبياتي ،
 (٢٠٠٤) على ترب كلسية.

لقد تم وصف العلاقة بين كمية الكبريتات المتجمعة والزمن باستخدام المعادلات الحركية
 المتضمنة معادلات الرتبة الاولى والانتشار ومعادلة ايلوفيج ودالة القوى . وتبين النتائج المعروضة في
 الجدول (٢) قيم معامل التحديد R^2 مبن الكمية التجميعية للكبريتات المتحررة مع الزمن وقيم الخطأ
 القياسي SE وبين القيم الفعلية للتجربة والمحسوبة ازاء كل معادلة. لقد اوضحت النتائج تفوق معادلة
 دالة القوى Power function على بقية المعادلات في وصفها لسرعة الاكسدة الاحيائية للكبريت اذ
 حققت اعلى قيم معامل تحديد R^2 تراوحت (٩٠ - ٩٩) واقل خطأ قياسي تراوح بين (٣٠ - ٣٤) . ان
 النتائج التي حصلنا عليها تتفق مع ماتوصل اليه كل من المنصوري (٢٠٠٠) في ترب كلسية من وسط
 العراق والبياتي (٢٠٠٤) ويوضح الشكل (٢) المعادلات الخطية حسب معادلة دالة القوى التي نجحت
 في وصفها لتحرر الكبريتات.

يبين الشكل (١) مسار عملية تحرر الكبريتات الناتجة من عمليات الاكسدة البيولوجية للكبريت
 الزراعي ويظهر من سلوكية المنحنيات بان هناك اتجاهاً عاماً يتمثل في زيادة الكمية التراكمية
 للكبريتات المتحررة مع زيادة زمن التحقير. وان هذه الزيادة تأخذ بالتناقص مع مرور الزمن خاصة
 في المراحل الاخيرة من التحرر. وهذا يتفق مع ما حصل عليه عدد من الباحثين (Blair ، ١٩٨٧
 والمنصوري ، ٢٠٠٠ والبياتي ، ٢٠٠٤). ومن الواضح ان تلك الكميات المقاسة من الكبريتات تعكس
 مدى نشاط عملية الاكسدة الاحيائية لعنصر الكبريت اذ ان انتاج الكبريتات يعد مؤشراً على اكسدة

الكبريت (Tabataba، ١٩٩٤) وعند متابعة مسار عملية التحرر وسلوكيتها من خلال شكل منحنى التحرر يمكن تمييز مرحلتين مختلفتين الأولى عكست لنا الانحدار الشديد لمنحنى التحرر خلال فترة زمنية تراوحت ٣٥ يوماً بعد انخفاض انحدار المنحنيات وبذلك تمثل مرحلة الأكسدة البيولوجية البطيئة، وعموماً فإن منحنيات تحرر الكبريتات تعكس وتوضح بشكل مفصل التغيرات التي تطرأ على وضع الكبريتات التي يمكن أن تحصل فصلياً خلال المواسم الزراعية المشجرة. ان النتائج حصلنا عليها تتفق مع ما توصل اليه كل من Singh (١٩٨٩) في تربة كلسية من الهند والمنصوري (٢٠٠٠) والبياتي وآخرون (٢٠٠٤) على تربة العراق.



الشكل (١) : العلاقة بين كمية الكبريتات المتحررة تجميعياً كدالة للزمن

وصف تحرر الكبريتات على اساس الحركيات الكيميائية : لقد تم وصف تحرر الكبريتات بهدف كشف مدى صحتها المعادلات الرياضية المعتمدة على اساس الحركيات الكيميائية وذلك باعتماد كمية الكبريتات المتحررة كدالة للزمن وهذه المعادلات هي (الرتبة صفر والرتبة الاولى ومعادلة الانتشار ومعادلة ايلوفيج ودالة القوة) وقد اشارت النتائج الى وقوع اغلب قيم الكبريتات المتحررة على هذه الخطوط مما يعطي دلالة قاطعة على صحتها جميع المعادلات المذكورة اعلاه في وصف عملية تحرر الكبريتات وهذا ما اكدته نتائج التحليل الاحصائي (الجدول ٢) الذي بين بوجود علاقة مؤكدة احصائياً بين تحرر الكبريتات وزمن التحضين وان لارتفاع قيم R^2 تقودنا الى الاستنتاج الى امكانية استخدام أي من هذه المعادلات في وصف تحرر الكبريتات. وهذا يتفق مع ما توصل اليه كل من Sing (١٩٨٤) و Hodegs و Jonhnsan (١٩٨٧) و Courchesne و Hendeeshot (١٩٩٠) و Ellert و Bettany (١٩٩٢) و Chengge وآخرون (١٩٩٩) و Wer وآخرون (٢٠٠١) و Satton وآخرون (٢٠٠١). ولغرض كشف افضل المعادلات المطبقة في وصف عملية تحرر الكبريتات فقد اعتمد تحليل Least square باخذ اعلى معامل تحديد R^2 واقل خطأ قياسي SE. حيث توضح معطيات القيم في الجدول (٢) قيم معامل التحديد والخطأ القياسي والتي يمكن ترتيب المعادلات من ناحية افضليتها في وصف عملية تحرر الكبريتات كالآتي : دالة القوة < الانتشار < الرتبة الاولى < ايلوفيج < الرتبة صفر .

ان النتائج التي حصلنا عليها تتفق مع ما توصل اليه كل من Courchensne و

Hendeeshot

(١٩٩٠) و Ellert و Bettany (١٩٩٢) ، Chengge ، وآخرون (١٩٩٩) و Robiro وآخرون (٢٠٠٠) والمنصوري (٢٠٠٠) والبياتي وآخرون (٢٠٠٤) الى افضلية دالة القوة في وصف حركيات تحرر الكبريتات من التربة مقارنة بعدد من المعادلات الرياضية . ونعرض في الشكل (٢) العلاقات الخطية لتحرر الكبريتات حسب معادلة دالة القوى والتي اثبتت نجاحها في وصف عملية التحرر. ان وصف معادلة الرتبة الاولى لعملية تحرر الكبريتات بوصف مقبول يعطي دلالة واضحة بان سرعة التفاعل تعتمد الى حد ما على تركيز المادة المتفاعلة (الكبريت الزراعي) وان سرعة التفاعل في

الجدول (٢) : قيم معامل التحديد R^2 للخطأ القياسي لتحديد افضل معادلة وصف رياضي لتحرر الكبريتات.

الرتبة الاولى		الرتبة صفر		ايلوفج		الانتشار		دالة القوى		مستوى الكبريت المضاف
SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	SE	R^2	
٠.٨٢	٠.٨٣	٠.٨٠	٠.٩٧	٠.٥٧	٠.٩١	٠.٣٦	٠.٩٩	٠.٣٢	٠.٩٩	٢٥٠
٠.٨٤	٠.٨٤	٠.٨٢	٠.٩٨	٠.٥٧	٠.٩٠	٠.٣٨	٠.٩٩	٠.٣٥	٠.٩٩	٥٠٠
٠.٨٨	٠.٨٣	٠.٨٢	٠.٨٣	٠.٥٦	٠.٩١	٠.٤٠	٠.٩٩	٠.٣٢	٠.٩٩	٧٥٠
٠.٩٢	٠.٨٢	٠.٨٠	٠.٨٤	٠.٦٠	٠.٩١	٠.٣٧	٠.٩٩	٠.٣٧	٠.٩٩	١٠٠٠
٠.٨٦	٠.٨٣	٠.٨١	٠.٩٠	٠.٥٨	٠.٩١	٠.٣٧	٠.٩٩	٠.٣٤	٠.٩٩	المعدل

الجدول (٣) : قيم معامل سرعة التحرر حسب المعادلات المستخدمة في وصف تحرر الكبريتات

معادلة الرتبة الاولى يوم ^١	معادلة الرتبة صفر ملغم.يوم ^١	معادلة الانتشار ملغم. يوم ^١	معادلة الانتشار ملغم.يوم ^{٢/١}	معادلة دالة القوى ملغم.يوم ^١	مستويات الكبريت المضاف ملغم.كغم ^١
٠.١١	٠.١٤٠	١١ ١٧٠	٠.٨٩٢	٠.٧٠٦	٢٥٠
٠.١١	٠.٢٤٧	١٣ ٠٠٠	٠.٩٤	٠.٧١٣	٥٠٠
٠.١١	٠.١١	١٩ ٠٠٠	٠.٨٥٠	٠.٧٠٠	٧٥٠
٠.١١	٠.١١	٢٠ ٧٥٠	٠.٨٧٦	٠.٧٠٦	١٠٠٠
٠.١١	٠.١٥	١٥ ٩٨٠	٠.٨٧٨	٠.٧٠٦	المعدل

KINETICS OF SULFATE RELEASE FROM ADDING AGRICULTURAL SULFUR TO SOIL.

M. A. Alobaidi.
Soil & Water Dept., College of Agric. And
Forestry, Mosul Univ., Iraq.

M. F. Said.

L. A. Mahmady.
Soil & Water Dept., College
of Agric., Dohok Univ., Iraq.

ABSTRACT

A study was conducted to evaluate sulfate release kinetics in calcareous soil amended with different levels of agricultural sulfare and to select the best mathematical models that describes the mechanism of sulfate under different time of incubations. Agricultural sulfur was mixed with soil at the rates (0, 250, 500, 750 and 1000 mgS.Kg⁻¹ soil. Water was added to rais the soil moisture content to field capacity. The soil samples were incubated at 298 k°. Sulfate content of treated soil were determined after (1, 7, 14, 28, 56, 168) day. Five kinetics models (zero order, first order, parabolic diffusion, Elovich, and power function) were applied to describe sulfate release rate coefficient, in order to select the best model according to high (r) value and lowest (SE) value and to calculate ΔG° and $t^{1/2}$ for sulfate release. The results showed a significant increase in the accumulated sulfate release with sulfur treatments with increasing incubation period but the increase declined in the last periods of incubation. The results showed that power function equation was the best equation to describe the rate coefficient of sulfate accumulation that range from 0-70 to 0-71 mg-kg-day⁻¹ and free energy of reaction was negative and spontaneous change.

المصادر

- ألبياتي علي حسين، عبد الكريم حمد حسان، محمد علي جمال العبيدي (٢٠٠٤) دراسة حركيات تحرر الكبريتات من الكبريت الزراعي المضاف للتربة عند مستويات رص مختلفة. مجلة الزراعة العراقية- ٩ (٢): ٦٥-٧٤.
- راهي حمدالله سليمان، محمد علي جمال العبيدي. اسماعيل ابراهيم خضير (١٩٩٤)، تأثير مستوى الكبريت الزراعي ورطوبة التربة على تحولات الفسفور تحت ظروف الترب الكلسية. مجلة العلوم الزراعية ١٥ (٢): ٦٦-٧٦.
- المنصوري، جمال علي قاسم سيف (٢٠٠٠). الاكسدة الاحيائية للكبريت في التربة الكلسية، اطروحة دكتوراه كلية الزراعة والغابات جامعة الموصل.
- Blair, G.J. (1987). Sulfur supply to crops and pastures from elementals. Proc.Int.symp-on Elementalsulfar Agric. V2. pp-483.
- Boswell, C.C. and D.K. Friesen (1993). Elemental sulphur fertilizers and their use on crops and pastures. Fert. Res. 35: 127-149.
- Champain. S.J. (1989). Oxidation of microjed elemental sulfur in soil. Plant soil. 116: 69-76.
- Chenge. Y.C.; R.Y. Peny Jcc su- and Dy.Lo. (1999). Mechanisum and kinetics of sulfur oxidation by thiobacillis thiooxidanus in bath for menter. Environ. Techinol (20) (a) 933-933-943.
- Cifuentes, F.R., and W.C. Lindeman (1993). Organic matter stimulation of elemental sulfur oxidation in calcareous soil. Soil. Sci. Soc. Am. J.57: 727-731.
- Courchesne, F.and W. H. Hendes (1990). kinetics of sulfate desorption from spodosols of the Laurentians Quebec. Soil. Sci 156: 838-866.
- Dawood, F.A. (1980). Sulfare waste materials for calcareous soils acidulation. Ph.D. Thesis. Univ. of Arizona.
- Ellert, R.H., and J.R. Bettany (1992). Temperature dependence of net nitrogen and sulfur mimeralization. Soil.Sci.Soc.Am.J. 56: 1133-1141.
- Germid, J.J., and H.H. Janzen (1993). Factors affecting the oxidation elemental sulfur in soil. Fert. Res. 35: 101-104.
- Hodegs, S.C., and G.C. Johnson (1987). Kinetics of sulfate adsorption and desorption by cacil soil using missible displacement..Soil. Sci. Soc. Am.J. 51: 323-331.
- Kelly, D. (1982). Biochemistry of the chemolithotrophe oxidation of organic sulfur. Phil. Trans. R. Soc. London. 289: 499-528.
- Kelly, D.L. (1982). Biochemistry of the chemol, thotrophic oxidation of in organic sulfur. Phil. Trans-R. Soc. London. 298: 499-528.
- Lee, A., J.H. Watkinson; G.J. Orbell : Bagyaraj. and D.R.Lauren (1987). Factors influencing dissolution of phosphate nock and oxidation of elemental sulphur in some Neul Zealand soils. Newzealand. J Agric. Res., 30: 377-385.
- Lindemann, J., J. Aburtou., M.Haffiner and A.A. Bono (1991). Effect of sulfur on sulphur oxidation. Soil. Sci. Soc. Am J. 55: 85-90.
- Pederson, C.A., KL. Knudsen and E. Schnug (1998). Sulfur fertilization P. 115-134. in sulfur in ogrosystems. E. Schoug (ed). Kluwer, academic-dordrecht. Netherland.

- Pederson, C.A., L.Knudsen and E.Schinug (1998). sulphur fertilization –P : 115-134. in sulphur in agroecosystem-E-schoug (ed) khuwer, academic-Dordrecht Netherlands.
- Prasad, R. and J. F. Power (2000). Soil fertility management for sustainable Agriculture. New York. USA.
- Riberro, J.E.S., L.E. Dias, V.H. Alvarnz J.W.V. Mello and W.L. Deniels (2001). Dynamic of sulfur-fraction in brazilian in soils subnitted to consecutive harvest of sorghum. Soil. Sci. Soc. Am. J.65: 787-794.
- Rowell. D.L. (1996). Soil science methods and application. Langman Group (UK) Limited.
- Salton, N.A.; R.J. Norman, and J.T Gilmour (2001) . Oxidation rates of commercial elemental sulfur products applied to an alkaline silt loam from Arkansas. Soil. Sci. Soc. Am. J. 65 (1): 239-243.
- Sing. B.R.(1984). Sulfate sorption by acid forest soils. 4-kinetics and effect of temperature and moisture soil.Sci.136: 440-447.
- Soil survey staff (1999). Soil Taxonomy. Basic system of soil classification for making and interpreting. soil survey. Agr. Handbook No. 436 USA printing office. Washington. D.C.
- Sparks, D.L. (1992). Kinetic of soil chemical processes. Acad. Press. Inc. New York. Pp 21-31.
- Sparks, D.L. (1998). Soil physical chemistry. CRK. Press, LLC. Pp135-192.
- Tabatabai, M.A. (1994). Soil enzymes P: 775-833. In Weaver. R.W (ed) methods of soil analisis part 2. Microbiological and biochemical properties 3rd ASA. Madison.WI.
- Walkinson, J.H. (1989). Measurement of the oxidation rate of elemental sulfure in soil. Aust. J. Soil Res. 27: 365-375.
- Watkinson.J.H. (1989). Measurement of the oxidation rate of elemental sulphur in soil. Austr. Soil. Res, 27; 365-375.
- Wer, G.; J. Schonaij; T. Yamamoto and M. Inooue (2001). A model of oxidation of an elemental sulfure in soil. Soil Sci. 166: 607-613.