

دراسة خصائص الشحنات المتغيرة لبعض الترب المختارة من شمال العراق

عادل مولود صالح
قسم علوم التربة والموارد المائية / كلية الزراعة والغابات / جامعة الموصل – العراق
E-mail: Adel_mawlood@yahoo.com

الخلاصة

شملت الدراسة ثلاثة مناطق مختارة من شمال العراق وهي مخمور والشيخان وزاخو وهذه المناطق تتفاوت فيها درجات الحرارة وكميات الأمطار السنوية. جمعت تسعة عينات تربة من ثلاثة مقادير وبواقع مقد واحد لكل منطقة. تم فصل الطين لعينات الترب المدروسة من دون استخدام حوامض او قواعد قوية للحفاظ على التراكيب المعدنية للطين. تم قياس الشحنات المتغيرة والمعتمدة على الدالة الحامضية (pH) باستخدام منحنيات التسحيح المقدره بالجهد الكهربائي بعد إزالة كربونات الكالسيوم باستخدام خلاص الصوديوم المنظم عند (pH 5). أظهرت منحنيات التسحيح تباينا واضحا في موقع نقطة التعادل الكهربائية وكذلك كمية الشحنات السالبة والموجبة مع اختلاف ترب الدراسة وقد تراوحت قيم نقطة التعادل الكهربائية بين درجات تفاعل (8-4.5، pH=4). أما كمية الشحنات السالبة فقد تراوحت بين (180-100) سنتيمول/كغم والشحنات الموجبة بين (350-150) سنتيمول/كغم. طين. إن سبب هذا التباين في منحنيات التسحيح يعود بصورة جزئية الى وجود الاكاسيد وبنسب مختلفة والى الاختلاف في التركيب المعدني لترب الدراسة اضافة إلى احتمال وجود كميات قليلة من كربونات الكالسيوم والتي لم يتم إزالتها بشكل كامل مما أثرت على سلوك منحنيات التسحيح. الكلمات الدالة: الشحنات المتغيرة، نقطة التعادل الكهربائية، التركيب المعدني.

تاريخ تسلّم البحث: 2012/12/6 ، وقبوله: 2013/3/18.

المقدمة

تعد الشحنات السطحية إحدى الخصائص الفيزيوكيميائية المهمة للجزء الغروي للتربة لما لها من دور فعال في السيطرة على امتزاز الايونات على الطور الصلب للتربة (Ge و Hendershot, 2004) وهذه الشحنات هي مفتاح لعمليات تجهيز المغذيات للنبات والسيطرة على حركة الايونات المختلفة وتنظيم درجة تفاعل التربة (Karlen و Stott, 1994؛ Bouman وآخرون، 1995). إن الطور الصلب للتربة يشمل مكونات مختلفة مثل معادن الطين والأكاسيد الحرة والمرتبطة مع المادة العضوية وإن السطوح الفعالة لهذه المواد تمتلك شحنات دائمة وشحنات متغيرة معتمدة على الـ pH ويمكن أن تكون على شكل مواد غروية أو أغلفة وهذه تشكل جزء مهم من الشحنات المتغيرة للتربة (Sposito, 1998).

تنشأ الشحنات المتغيرة (Variable Charges) والتي تسمى أيضا الشحنات المعتمدة على الـ (pH) - (pH-dependent Charge) نتيجة لتأين مجاميع الهيدروكسيل المرتبطة بالسيليكون وعند حدوث تكسر في تتراهيدرا السيليكا، هذه الشحنات تكون متركزة عند الحواف والزوايا التي يحدث عندها التكسر، وتزداد كثافة الشحنة المتكونة بهذه الطريقة مع زيادة السطح النوعي للمعادن، كما إن هناك مصدر ثاني لهذه الشحنة وهو المجاميع الكاربوكسيلية المرتبطة بالمادة العضوية والتي تتأين في حدود درجة تفاعل الوسط من 3 إلى 5، ومجاميع الفينولات التي تتأين بعد ارتفاع درجة تفاعل الوسط إلى أكثر من 7، وبذلك تزداد الشحنة السالبة مع ارتفاع درجة تفاعل الوسط (Evangelou, 1998). بين Barrow (1987) إن الشحنة المتغيرة تتطور من خلال التغير في درجة التفاعل والقوة الأيونية لمحللول التربة من جهة والامتزاز النوعي للأيونات الموجبة والايونات السالبة من جهة أخرى، أما المصدر الثالث للشحنة المتغيرة فهي أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم والمنغنيز.

أوضح Naidu وآخرون (1990) بأن المجاميع الفعالة المسؤولة عن الشحنة المتغيرة متشابهة في أكثر الغرويات اللاعضوية، حيث تظهر الشحنة الموجبة عند قيم درجة التفاعل تحت نقطة التعادل الكهربائية (ZPC)، بينما تظهر الشحنة السالبة عند قيم درجة التفاعل فوق نقطة التعادل الكهربائية (ZPC)، في حين إن صافي شحنة السطح يساوي صفر عند القيم المتوسطة لدرجة التفاعل. أما (Phillips و Sheehan, 2005) في دراسة لخصائص الشحنات لستة أنواع من الترب في استراليا فقد أوضحوا إن جميع الترب أظهرت زيادة في

كثافة الشحنت السالبة مع ارتفاع درجة تفاعل التربة، وان مقدار الزيادة في كل تربة كان معتمدا على نوع وكمية المواد الغروية، وان زيادة الشحنت السطحية كان سببه تأين مجاميع الكاربوكسيل من المادة العضوية ومجاميع الهيدروكسيل في أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم ومواقع حافات الكاولينات والسمكتايت. كما بينا أيضا إن كمية الشحنت المتغيرة لم تكن متفاوتة بين أنواع الترب فقط، بل تكون متفاوتة أيضا ضمن المقطع الواحد للتربة.

إن محتوى الترب العراقية من أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد الحرة قليل جدا (AL-Taie، 1968) ولكن مع ذلك يظهر تأثير أكاسيد الحديد الموجودة في التربة والتي تتميز بطبيعتها الأمفوتيرية ومساحتها السطحية النوعية العالية. كما إن الطبيعة الأمفوتيرية للشحنت الموجودة على سطوح الأكاسيد تعتمد أساسا على الـ pH حيث تكون سالبة فوق نقطة التعادل الكهربائي (ZPC) وموجبة تحت نقطة التعادل الكهربائي.

إن الهدف من هذه الدراسة هو التعرف على اهم الاسباب التي تؤدي الى التحكم في خصائص الشحنت المتغيرة لمفصول الطين لبعض الترب المختلفة والمتكونة في شمال العراق.

مواد البحث وطرقه

1- أختيار مواقع الدراسة: شملت الدراسة ثلاثة مناطق مختارة من شمال العراق وهي مخمور والشيخان وزاخو وهذه المناطق تتفاوت فيها درجات الحرارة وكميات الأمطار السنوية. جمعت تسعة عينات تربة من ثلاث مقدرات وبواقع مقد واحد لكل منطقة. جففت عينات التربة هوائيا وطحنت باستخدام مطرقة خشبية ثم نخلت بمنخل 2ملم وحفظت العينات في علب بلاستيكية محكمة الغلق

2- فصل الطين Separation of Clay: تم فصل الطين عن مكونات التربة الأخرى بدون معاملة التربة بأية مادة أو مركب كيميائي عدا الكالكون (Sodium hexa meta phosphate) لتفرقة حبيبات التربة للإبقاء على التركيب المعدني والكيميائي لها من دون تغيير وتم فصل الطين اعتمادا على قانون ستوك وباستعمال طريقة السكب والترسيب (Sedimentation and Decantation) وحسب الطريقة الموصوفة من قبل (Jackson ، 1985).

بعد عملية الفصل اخذت كمية مناسبة من الطين واضيف اليها كميات متزايدة من محلول H_2O_2 6% لإزالة المادة العضوية في مفصول الطين. (على الرغم من المحتوى القليل جدا من المادة العضوية في مفصول الطين). أما كاربونات الكالسيوم النشطة (الموجودة بحجم الطين) فقد تم ازالتها حسب الطريقة الموصوفة من قبل (Dekimpe ، 1976) وذلك باستخدام محلول منظم من خلات الصوديوم (1) عياري ودرجة تفاعله (5) حيث اضيفت كميات متزايدة من الخلات وترك المعلق عدة أسابيع لإزالة الكاربونات (بسبب التفاعل البطئ بين خلات الصوديوم وكاربونات الكالسيوم) وتم التأكد من الإزالة التامة للكاربونات بأخذ عينة من المعلق ومعاملتها بمحلول (1 عياري) من حامض الهيدروكلوريك، تضاف الخلات مرة ثانية في حالة وجود أي كمية متبقية من الكاربونات. تم بعدها غسل الطين بالماء المقطر لازالة الخلات المتبقية.

3- قياس الشحنت المتغيرة باستخدام منحنيات التسحيح المقدره بالجهد الكهربائي

Determination of Variable Charge by Using Potentiometric Titration Curves

تم قياس الشحنت المتغيرة والمعتمدة على الـ pH لمفصول الطين الخالي من كاربونات الكالسيوم والمادة العضوية باستخدام منحنيات التسحيح المقدره بالجهد الكهربائي ومن خلال اضافة كميات متزايدة من حامض الهيدروكلوريك (HCl 0.5M) وهيدروكسيد الصوديوم (NaOH 0.5M) الى معلق الطين وباستخدام ثلاثة تراكيز من المحلول الالكتروليتي كلوريد البوتاسيوم (KCL) ويتم احتساب كمية الشحنت الموجبة والسالبة من خلال احتساب كمية H^+ و OH^- الممتز عند قيم الـ (pH) المختلفة وعند كل اضافة من المحلول الالكتروليتي، وعند بعض قيم الـ (pH) تتساوى كمية H^+ مع كمية OH^- الممتزة وعند هذه النقطة يكون صافي الشحنت السطحية يساوي صفر وتسمى هذه النقطة بنقطة التعادل الكهربائي (ZPC) Zero Point of Charge وتظهر هذه النقطة عند تقاطع منحنيات التسحيح مع بعضها عند نقطة محددة وقد تمت المعايرة واحتساب قيم الشحنت باستخدام الطريقة الموصوفة من قبل (Van Raij و Peech، 1972) وتتلخص كما يلي:

استخدمت ثلاث مجاميع من البيكرات (A,B,C) حجم (50مل)، تحتوي كل مجموعة على (15) بيكر وتم وضع ما يعادل (2) غم من الطين في كل بيكر اضيف إليها (20 مل) من المحلول الالكتروليتي (KCl) وبالتراكيز (0.01، 0.1، 1 عياري) وللمجاميع (A,B,C) على التوالي ثم اضيفت كميات متزايدة من (0.5 M) حامض الهيدروكلوريك إلى يسار المجموعة وكميات متزايدة من (0.5 M) هيدروكسيد الصوديوم إلى يمين

المجموعة مع جعل البيكر الوسطي (الثامن) على أساس انه صفر من حيث إضافة الحامض و القاعدة في كل صف ، أضيف الماء المقطر لكل بيكر ليصبح الحجم الكلي للمعلق (30 مل) وتركت المعلفات لمدة أربعة أيام مع الرج وبشكل دوري حتى وصلت الى حالة الاتزان بشكل كامل وبعدها تم قياس درجة التفاعل (pH) للمعلق لكل بيكر وتم رسم العلاقة بين كمية (H⁺) و (OH⁻) الممتزة (pH) و (pOH) عند كل إضافة للحامض والقاعدة ووضعت مع درجة التفاعل (pH) لكل تركيز الكتروليتي على مخطط بياني واحد مع ملاحظة تقاطع المنحنيات عند نقطة مشتركة لبعض عينات الطين وهذه النقطة تمثل نقطة التعادل الكهربائية (ZPC) للمعلق.

النتائج والمناقشة

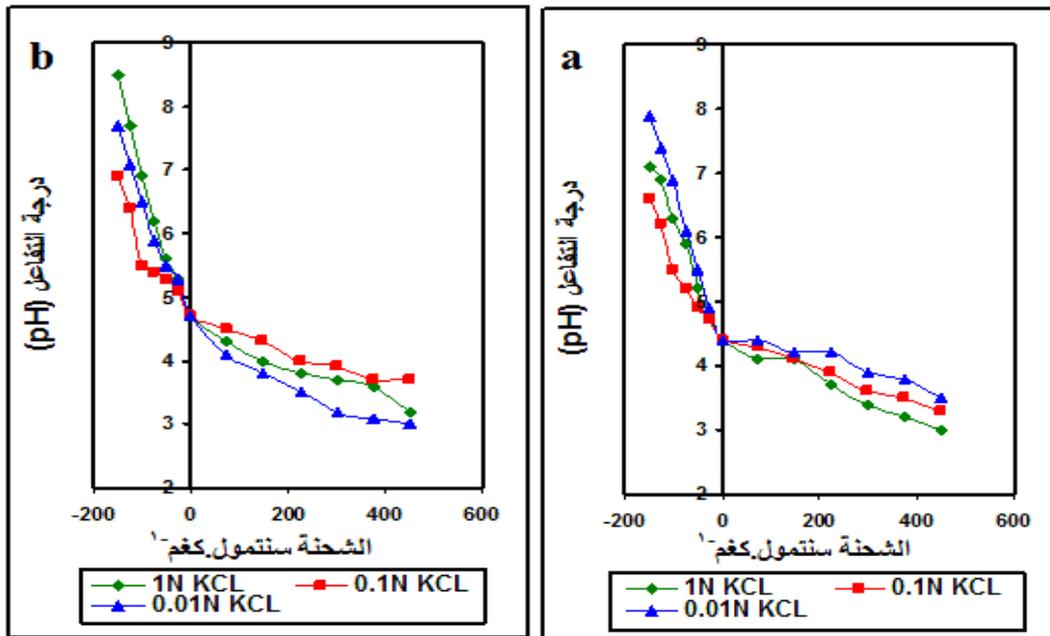
من أجل التعرف على سلوك الشحنات على سطوح مفصول الطين في ترب الدراسة فقد تم استخدام منحنيات التسحيح المقطرة بالجهد الكهربائي (Potentiometric titration curves) وحسب الطريقة التي وصفها (Van Raij و Peech، 1972) كما تم اعتماداً على بيانات التسحيح الخاصة بارتباط الحامض (HCl) مع القاعدة (NaOH) وباستخدام ثلاثة تراكيز من المحلول الإلكتروليتي (KCl) (0.01، 0.1، 1 عياري) وحسب نظرية التوازن بين الشحنات السطحية والأيونات الممتزة والتي توصل إليها كل من (Mott، 1970 و Lyklema، 1971 و Sposito، 1989)، أظهرت نتائج الدراسة على حسب موقع نقطة التعادل الكهربائية (ZPC) فانه أمكن تقسيم منحنيات التسحيح إلى ثلاث مجاميع: الأولى: تتقاطع منحنياتها الثلاثة في نقطة محددة وواضحة كما في العينات السطحية لترب مخمور وزاخو (الأشكال 1-a و 3-a) والعيّنات تحت السطحية لترب مخمور وزاخو (الأشكال 1-b و 3-b) والعيّنات السفلية لترب مخمور والشيخان (الأشكال 1-c و 2-c). أما الثانية: تتقاطع فيها اثنتين من منحنيات التسحيح في نقطة محددة كما في الأشكال الخاصة بالعيّنات تحت السطحية لتربة الشيخان (الشكل 2-b). والثالثة: لا تتقاطع أي من منحنياتها الثلاثة مع بعض حيث تكون منحنيات هذه المجموعة مشتتة كما في نماذج العيّنات السطحية لترب الشيخان (2-a) والعيّنة السفلية لتربة زاخو (3-c).

إن سبب هذا التباين في منحنيات التسحيح لترب الدراسة يعود بصورة جزئية الى وجود الأكاسيد وينسب مختلفة (الجدول 3) إضافة إلى احتمال وجود كميات قليلة ومتبقية من كاربونات الكالسيوم والتي لم يتم إزالتها بصورة كاملة باستخدام خلات الصوديوم. إضافة إلى التركيب المعدني لترب الدراسة حيث تميزت تربة مخمور بأن السيادة فيه كانت لمعادن الفيرميكيولايت والايلايت والكاولينات ومن ثم مجموعة السمكتايت والباليكورسكايت والكلورايت والمعدن المستطبق (سمكتايت.كلورايت)، في حين تميزت تربة الشيخان بأن السيادة فيها كانت لمعدن الايلايت يليه معدن الكاولينات ثم الفيرميكيولايت و الباليكورسكايت والمعادن المستطبقة (الكلورايت.فيرميكيولايت) و(السمكتايت.كلورايت)، اما في تربة زاخو كانت النتائج مختلفة عن بقية ترب الدراسة، فقد اختفت معادن الباليكورسكايت والكلورايت والسمكتايت في حين ازدادت نسب الفيرميكيولايت والايلايت والكاولينات. اما المعادن المستطبقة فقد تميزت عن الترب الأخرى بسيادة معادن (البايوتايت.فيرميكيولايت). جميع هذه الأسباب قد ينتج عنها عدم انتظام في الطبقة الكهربائية المزدوجة (Electrical Double Layer) مما يتسبب في عدم انتظام هذه المنحنيات ويتفق ذلك مع ما ذكره (Van Olphen، 1977 و Naidu وآخرون، 1990).

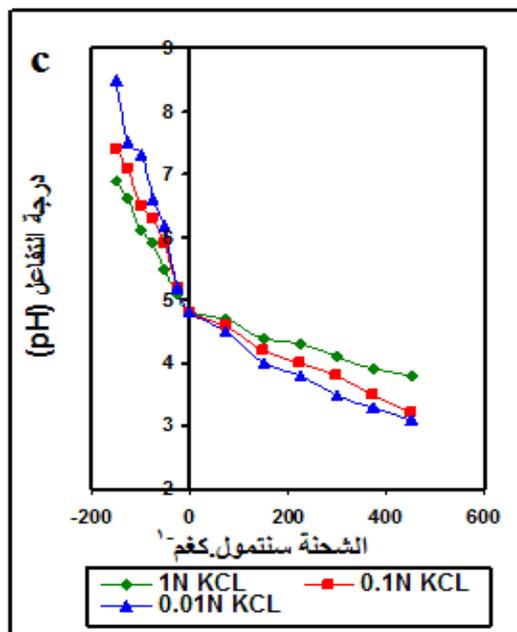
عموماً وعلى الرغم من عدم وجود سلوك محدد في تحديد نقطة التعادل الكهربائية (ZPC) لجميع عينات الدراسة إلا أن مواقع نقطة التعادل الكهربائية (ZPC) التي تم تحديدها كانت محصورة بين درجة تفاعل (4,4 – 5,8) (pH) ويمكن تفسير انخفاض هذه القيم هو بسبب إزالة كاربونات الكالسيوم والايونات القاعدية عند معاملة الطين بمحلول خلات الصوديوم المنظم عند الـ (pH= 5). أما سبب الاختلاف في القيم ضمن التربة الواحدة أو الترب المختلفة فقد يعود إلى الاختلاف في التركيب المعدني لهذه الترب ونوعية معادن الطين وكذلك كمية أكاسيد الحديد السائدة في هذه الترب. هذه النتائج تتفق مع ما توصل إليه كل من (Kodama، 1979 و Norrish و Pickering، 1983 و Sakurai وآخرون، 1990) حيث وجدوا عند دراستهم لبعض الترب في المناطق ذات التجوية المختلفة بأن قيم نقطة التعادل الكهربائية (ZPC) في الطبقات تحت السطحية كانت أعلى من قيمها في الطبقات السطحية لمقدمات الدراسة وعزوا سبب ذلك إلى تراكم أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد نتيجة لعمليات التجوية والغسل.

ظهرت الشحنات الموجبة لعيّنات الطين عند درجات التفاعل تحت قيم نقطة التعادل الكهربائية (ZPC) بينما ظهرت الشحنات السالبة عند قيم درجة التفاعل فوق قيم نقطة التعادل الكهربائية (ZPC) ووجود هذه الشحنات الموجبة والسالبة والناجمة عن أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل والتي تكون ذات جهد ثابت تعد من المصادر المهمة للشحنات السطحية (Adam و Espinoza، 1975 و Naidu وآخرون، 1990). يتضح من

النتائج المتحصلة من منحنيات التسحيح في عينات الطين زيادة الشحنات الموجبة على الشحنات السالبة لجميع عينات الطين وذلك بسبب زيادة تراكيز الاكاسيد ذات الشحنة الامفوتيرية والتي تكون موجبة تحت درجات التفاعل في مناطق الدراسة، وظهرت من منحنيات التسحيح إن هناك ارتفاع في قيم الشحنات المتغيرة في تربة مخمور وتبدأ بالانخفاض تدريجياً إلى أن وصلت إلى أدنى قيمة لها في زاخو والسبب في ذلك يعود إلى التركيب المعدني المتباين في الترب المدروسة حيث تسود في تربة مخمور معادن السمكتايت والباليكورسكايت والكلورايت والايلايت والفيرميكيولايت والكاؤلينات في حين تسود في تربة زاخو معادن الايلايت والفيرميكيولايت والكاؤلينات.



العمق الأول (0 – 20 cm) العمق الثاني (20 – 40 cm)



العمق الثالث (40 – 60 cm)

الشكل (1): منحنيات التسحيح المقطرة بالجهد الكهربائي لمفصول الطين في مقطع تربة مخمور موضحاً خصائص الشحنات المتغيرة ونقطة التعادل الكهربائية.

Figure (1): Potentiometric Titration Curves Of Clay Fraction From Makhmour Profile Showing The Variable Charges Properties And ZPC.

الجدول (1) : كمية الامطار الشهرية والسنوية لمنطقة مخمور والشيخان وزاخو للسنوات (1995 - 2009):

Table (1) : Monthly and Annually Rainfall in Makhmour, Shikhan & Zakho (years:1995-2009):

مجموع الامطار السنوية Rainfall Total	معدلات كميات الامطار الشهرية Monthly Rainfall Average												الموقع Location
	كانون 1 December	ت 2 November	ت 1 October	أيلول September	اب August	تموز July	حزيران June	أيار May	نيسان April	اذار March	شباط February	كانون 2 January	
241.75	29.75	18.44	13.18	2.44	0.0	0.3	1.45	8.95	28.28	30.35	53.60	54.99	مخمور Makhmour
406.80	99.88	39.62	24.94	0.0	0.0	0.0	0.0	3.44	60.72	68.81	92.02	122.45	الشيخان Shikhan
543.95	107.27	74.53	21.35	0.0	0.0	0.0	1.59	17.63	36.49	64.93	79.13	141.77	زاخو Zakho

الجدول (2) : معدلات درجات الحرارة الشهرية والسنوية لمنطقة مخمور و زاخو للسنوات (1999 - 2008)

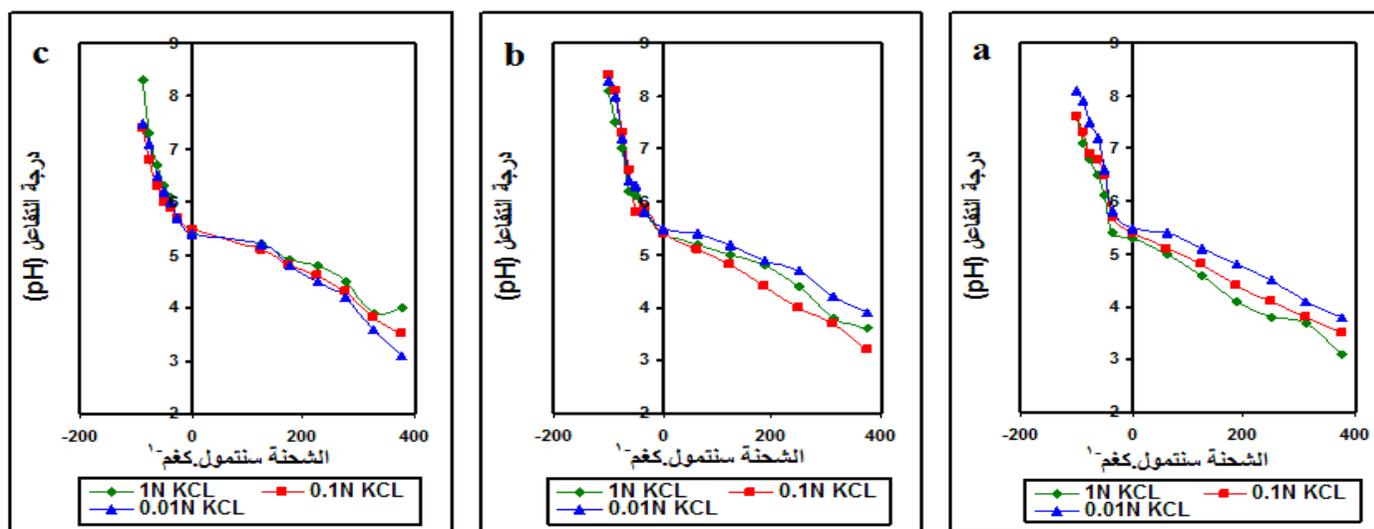
Table (2) : Monthly and Annually Average Temperature in Makhmour & Zakho (years:1999-2008)

المعدل السنوي Yearly Average	معدلات درجات الحرارة الشهرية Monthly Temperature Average												الموقع Location
	كانون 1 December	ت 2 November	ت 1 October	أيلول September	اب August	تموز July	حزيران June	أيار May	نيسان April	اذار March	شباط February	كانون 2 January	
23.16	10.97	16.47	25.71	31.42	36.50	36.61	33.37	27.80	21.31	15.88	11.43	9.23	مخمور Makhmour
21.76	11.37	14.17	22.95	28.60	33.22	34.24	29.40	24.54	18.32	13.64	9.87	8.92	زاخو Zakho

Table (3) : Some Chemical Properties Of The Studies Soils:

الجدول (3) : يوضح بعض الصفات الكيميائية للتربة المدروسة:

نسجة التربة Soil Texture	مفصولات التربة (غم.كغم ⁻¹) Soil Separates (gm.kg ⁻¹)			اكاسيد الحديد الكلية (Fe ₂ O ₃)		CEC	CaCO ₃	pH	العمق Depth	عينات التربة Soil Samples
	الرمل	الغرين	الطين	المعدل (%)	%	سنتمول.كغم ⁻¹	غم.كغم ⁻¹	سم		
طينية	100	400	500	5.22	5.35	15.21	256.0	7.27	0-20	مخمور Makhmor
طينية	246	185	569		5.22	16.52	282.4	7.28	20-40	
طينية	146	310	544		5.09	17.39	308.8	7.43	40-60	
طينية	31	325	644	7.04	7.58	30.43	237.4	7.17	0-20	الشيخان Shikhan
طينية	73.5	275	651.5		6.85	30.43	247.5	7.35	20-40	
طينية	48.5	275	676.5		6.70	32.60	247.5	7.43	40-60	
طينية غرينية	81	425	494	8.80	8.77	26.08	65.9	6.50	0-20	زاخو Zakho
طينية	28.5	250	726.5		8.70	32.60	126.4	6.63	20-40	
طينية	28.5	250	726.5		8.95	32.60	187.0	6.67	40-60	



العمق الثالث (40 – 60 cm)

العمق الثاني (20 – 40 cm)

العمق الأول (0 – 20 cm)

الشكل (2): منحنيات التسحيح المقطرة بالجهد الكهربائي لمفصول الطين في مقطع تربة الشيخان موضحاً خصائص الشحنات المتغيرة ونقطة التعادل الكهربائية.

Figure (2): Potentiometric Titration Curves Of Clay Fraction From Shikhan Profile Showing The Variable Charges Properties And ZPC.

ABSTRACT

This study was carried out in three selected areas from North Iraq included (Makhmour, Shikhan and Zakho).these location Varied in annual temperature and rainfall .Nine soil samples were collected from three soil profiles (one soil profile from each location). Clay was separated without using any corrosive acid or base, except sodium acetate in order to remove calcium carbonate. Variable charge (pH-dependent charge) was measured using potentiometric titration. Results from titration curves showed a clear variations in positions of (ZPC) and the amounts of negative and positive charges from different samples. The extent of (ZPC) varies from (pH 4.4-5.8).However the amount of negative varies between(100-180) C.mole/kg. and the positive charge between(150-350) C.mole/kg. These variations in potentiometric titration curves are partially related to the presence of varying amounts of iron oxides and also the variations in type of minerals dominant in clay samples .In addition to that, there is a possibility of the presence of some calcium carbonate in clay that not completely removed by treatments with sodium-acetate.

Keywords: Variable Charge , ZPC , Mineralogical Composition.

Received: 6/12/2012, Accepted: 18/3/2013.

المصادر

- AL-Taie, F.H. (1968). The Soils Of Iraq. Ph.D. Thes0069s, State Univ. of Ghent, Belgium.
- Barrow, N.J. (1987). Reactions With Variable Charge Soils. Martinus Nijhoff Publishers: Dordrecht.
- Bouman, O.T., D. Curtin., C.A. Campbell., V.O. Biederbeck, and H. Ukrainetz, (1995). Soil acidification from long-term use of anhydrous ammonia and urea. *Soil Science Society of American Journal*. 59:1488-1494.
- Dekimpe, R. C. (1976). Mineralogical analysis. In J. A. Mckeague (ed.) Manual On Soil Sampling and Method Of Analysis. Soil Research Institute, Ottawa. P.203-287.
- Espinoza, W. R. and R. S. Adams (1975). Charge Characteristics and nitrate retention by two andepts from Chile. *Soil Science Society of American Proceeding*. 39: 556-561.
- Evangelou, V.P. (1998). Environmental Soil and Water Chemistry. Academic Press, Inc. New York.
- Ge, Y. and W. Hendershot (2004). Evaluation of soil surface charge using the back-titration technique. *Soil Science Society of American*, 68:82-88.
- Jackson, M. L. (1985). Soil Chemical Analysis. Advance course. Dept. of Soil Science. University of Wisconsin 2nd edition.
- Karlen, D.L. and D.E. Stott (1994). A frame work for evaluating physical and chemical Indicators of soil quality . P. 53-72 in J.Doran, D.C.Coleman.D.F.
- Kodama, H. (1979). Clay minerals in Canadian soils: their origin, distribution and alternation. *Candian Journal of Soil Science*. 59: 37-58.

- Lyklema, J. (1971). General discussion. P. 318. In *Surface Chemistry of Oxides*. Discuss. Faraday Soc. 52.
- Mott, C. J. B. (1970). Sorption of anions by soils. In *Sorption and Transport Processes In Soils. Society Chemistry of Indian Monograph*. No. 37: 40-53.
- Naidu, R., Syers, J.K., Thillman , R.W. and J.H. Kirkman (1990). Effect of liming and added phosphate on charge characteristics of acid soils. *Journal of Soil Science*. 41:157-164.
- Norrish, K. and J. G. Pickering (1983). Clay Minerals. In: "Soils: An Australian Viewpoint". PP. 281-308 (CSIRO: Melbourne).
- Phillips, I.R. and K.J. Sheehan (2005). Importance of surface charge characteristics when selecting soils for wastewater re-use. *Australian Journal of Soil Research*, 43:915-927.
- Sakurai, K., Teshima, A. and K. Kyuma (1990). Charges in zero point of charge (ZPC), specific surface area (SSA). and cation exchange capacity (CEC) of Kaolinite and Montmorillonite and strongly weathered soils caused by Fe and Al coatings. *Soil Science of Plant Nutrition*. 36:73-81.
- Sposito, G. (1989). *The Chemistry of Soils*. Oxford Univ. Press.
- Sposito, G. (1998). On points of zero charge. *Environmental Science and Technology*. 32:2815-2819.
- Van Olphen, H. (1977). *An Introduction To Clay Colloids Chemistry*. 2nd.ed. Inter Science. New York.
- Van Raij, B. and M. Peech (1972). Electrochemical properties of some oxides and alfisols of the tropics. *Soil Science Society of American Proceeding*. 36: 587-593.

