المحاضرة الاولى

مشكلة الملوحة على الصعيد العالمي والمحلي

مشكلة الملوحة ذات طابع عالمي اذ لا تكاد تخلو قارة من القارات من مساحات شاسعه من الاراضي الملحية والصودية باستثناء المناطق القطبية ٠على صعيد الاحصائيات هناك ما يقارب (٣٩٧) مليون هكتار من مساحة الا راضي الزراعية ملحية اي حوالي (٣,١%) من مجمل مساحة الاراضي و(٤٣٤) مليون هكتار ترب صودية اي حوالي(٣,٤%) من مجمل مساحة الاراضي اي ان مجموع مساحات الاراضي المتأثرة بالأملاح حسب بيانات منظمة الاغذية والزراعة الدولية (FAO) تقدر بحوالي (٨٣١) مليون هكتار وتعادل هذه المساحة اكثر من (٦%) من مساحة اليابسة٠ تعد مشكلة الملوحة من أهم المشاكل التي تعاني منها الزراعة في المناطق الجافة وشبة الجافة، وكما هو معروف ان هناك إمكانية لزيادة مساحة الأراضي الاروائية في هذه المناطق باعتبار أراضيها تعد أثمن الاراضي واكثرها إنتاجية بسبب إمكانية استغلالها لأكثر من محصول في السنة ٠ العامل الاساسي المهم لنجاح استغلالها هو توفر الماء الذي يصبح يوما بعد يوم العامل الأكثر أهمية للتوسع الزراعي في هذه المناطق٠ إدخال الري كأسلوب جديد في الزراعة قد يسبب تحول مساحات واسعة منها الى ترب متأثرة بالأملاح او ما نطلق علية بظاهرة التملح الثانوي (Secondary Salinization) اذا لم تتخذ الاجراءات اللازمة لمنع هذه الظاهرة وسميت بهذه الاسم لتفريقيها عن التملح الاولي الطبيعي (Primary Salinization) ٠ تقارير منظمة الفاو تشير الى ان مساحة الاراضي الاروائية تزيد عن (٢٣٠) مليون هكتار منها (٤٥) مليون هكتار ترب متأثرة بالأملاح ، (١٥٠٠) مليون هكتار تحت ظروف الزراعة الجافة منها (٣٢) مليون هكتار متأثرة بالأملاح بدرجات مختلفة٠ الملوحة تأتي في المرتبة الثانية عالميا بعد التعرية كسبب أولي لتدهور التربة ٠ الاراضي الآروائية تشكل (١٥%) من مجمل الاراضي الزراعية وإنتاجيتها ضعف إنتاجية الاراضي الجافة حيث تنتج حوالي ثلث الانتاج العالمي من الغذاء على الرغم من ان الزيادة في مساحة الاراضي الإروائية انخفضت من (٤,٥%) عام ١٩٦٠الى (١%)عام ١٩٨٥

مشكلة الملوحة في العراق درس من الحضارات القديمة

تعد مشكلة الملوحة من المشاكل المهمة في الزراعة بالعراق وخاصة في الوسط والجنوب فإذا استثنينا المناطق الصحراوية في غرب وجنوب القطر والتي تشكل (٥٠%)من مساحة العراق وكذلك بعض مناطق شمال العراق فوق الخط المطري (٤٠٠-٥٠٠ملم) ، نجد أن معظم الأراضي القابلة للزراعة في العراق متأثرة بالآملاح٠الطائي(١٩٧٠) وبناء على خارطة وضعت من قبلة لتوزيع وانتشار الترب الملحية والغدقة ، استنتج ان حوالي (٧٥%) من اراضي وسط وجنوب العراق تعتبر متأثرة بدرجات مختلفة بالملوحة ٠ البيانات الاخيرة لمنظمة الاغذية والزراعة الدولية (FAO,2011) تشير الى ما يقارب (٦٠%)من الاراضي الزراعية قد تأثرت بشكل خطير بالملوحة (٢٠-٣٠%) تركت وحتى الأراضي المزروعة فان حاصلها قد أنخفض بمقدار(٣٠-٦٠%) نتيجة التملح٠ السؤال الذي يتبادر الى الذهن(**هل ان مشكلة الملوحة ظاهرة اليوم أم رافقت الزراعة منذ القدم ؟)** الإجابة على هذا السؤال يفدينا في:

١- تحديد بداية ظهور مشكلة الملوحة ومدى أنتشارها في وادي الرافدين ويعتبر ذلك مدخلا لدراسة هذه المشكلة في الوقت الحاضر والمستقبل ٠

٢- كشف الحقائق النظرية والتطبيقية لتقييم عوامل تكوين هذه الظاهرة٠

٣- الأساليب التي أستخدمها الفلاح العراقي للتعايش مع هذه الظاهرة٠

مشكلة الملوحة تعتبر من أكثر مظاهر تدهور أراضي بلاد ما بين النهرين وترتبط بتا ريخ وتطور الزرعة خاصة في وسط وجنوب العراق٠ان تراكم الاملاح في التربة والمياه الأرضية في المناطق الجافة وشبة الجافة بسبب العمليات الزراعية الاروائية الخاطئة هو مقلق للحضارات الحديثة كما كان للحضارات القديمة إذ خلال التاريخ البشري تدهورت أو اختفت العديد من الحضارات المزدهرة والتي اعتمدت في تواجدها على الزراعة الاروائية ٠ سهول نهري دجلة والفرات والمعروفة بالهلال الخصيب في منطقة ما بين النهرين القديمة (حاليا بالعراق) رويت لأول مرة قبل أكثر من (٦٠٠٠) سنة قبل الميلاد٠ الإنتاج الزراعي الكبير كان الأساس الذي أدى الى ازدهار الحضارة وكان للمناخ الدافئ والترب العميقة والخصبة والارض المستوية الدور الأكبر استوطنها السومريون وحولوا الصحراء من خلال إيصال الماء من نهري دجلة والفرات عبر سلسلة من القنوات بسبب الظروف الفيزيوغرافية الملائمة للزراعة في جنوب السهل الرسوبي الى حقول منتجة للحنطة والنخيل ومحاصيل الاعلاف٠ وبذلك سجلت أول بداية لاستخدام الري في الزراعة أي إدخال نظام الزراعة الاروائية ، ولكن القنوات التي بنيت في عام (٤٠٠٠) قبل الميلاد لم توفر البزل الكافي لتخليص الأراضي الزراعية من المياه الزائدة وبدأت الأملاح تتجمع في المياه والترب المروية وهي نفس الفترة التي سجلت فيها بداية ظهور الملوحة في جنوب وادي الرافدين٠

لقد أجريت مسوحات وتحريات علمية عدة حول الدور التاريخي لمشكلة الملوحة في الزراعة في وادي الرافدين منها الدراسات التي اجريت من قبل جاكبسون وآدمز(Jacobson and Adams,1958) حيث تم جمع بعض المعلومات من الالواح الطينية الأثرية حول تدهور إنتاج الحبوب كميا ونوعيا خلال فترات تاريخية مختلفة واعتبرت مثل هذه المعلومات دليل على تطور مشكلة الملوحة خلال هذه الفترات التاريخية وكانت ملامحها واضحة من التعاقب التاريخي للمحاصيل ، كانت الاراضي تزرع حوالي (٣٥٠٠) قبل الميلاد مناصفة بين الحنطة والشعير(١:١) وبحلول العام (٢٥٠٠) قبل الميلاد كان الشعير الاكثر مقاومة للملوحة ويمثل أكثر من (٨٠)% من المساحة المزروعة ونسبة الحنطة الى الشعير تمثل (٦:١) وحاصل قدره (٢٥٠٠) كغم/هكتار وبحلول عام(٢٠٠٠) قبل الميلاد أنخفض الحاصل الى (١٦٤٠) كغم/ هكتار ولم تشكل الحنطة سوى(٢%) من محاصيل الحبوب وبحلول عام (١٨٠٠) قبل الميلاد أنخفض الحاصل الى (٨٩٧) كغم/هكتار ولم تشكل الحنطة اي نسبة٠ هذا التتابع في المساحات المزروعة وانخفاض نسبة الحنطة الى الشعير يعتبر دلالة واضحة على تحول الزراعة من محاصيل قليلة التحمل للملوحة (الحنطة) الى محاصيل عالية التحمل نسبيا(الشعير) ويسمح هذا بالافتراض أن سبب هذا التحول هو أتساع مشكلة الملوحة وتطوروها في جنوب وادي الرافدين منذ حوالي(٢٤٠٠) سنة قبل الميلاد ثم أنتشارها في وسط وادي الرافدين بعد سنة (١٨٠٠) قبل الميلاد ٠ يؤكد رسل (Russel,1957) وجهة النظر هذه حول تاريخ مشكلة الملوحة في وادي

الرافدين ويعتبرها ليست ظاهرة اليوم وإنها رافقت الزراعة منذ القدم كما يؤكد ان الفلاح العراقي تمكن من التعايش مع الملوحة من خلال استخدام أساليب معينة كأسلوب النير والنير اي ترك الارض بور لفترة موسم كامل ثم زراعتها بعد ذلك ٠ أستخدم الباحث حردان (Hardan,1970) من العراق نتائج تحليل مواد البناء المستخدمة لتشييد بعض المواقع الأثرية للتحري عن تاريخ الملوحة وأتشارها منذ القدم في وادي الرافدين حيث قام بجمع هذه النماذج من وسط وجنوب العراق على افتراض إنها تمثل مواد التربة الأصلية التي استخدمت لتحضير مواد البناء متجنبا المواقع المتأثرة بالرياح والامطار والغبار والفيضان وعوامل التجوية مستندا على افتراض وهو أن مثل هذه المواد تمثل مواد التربة الاصلية التي استخدمت لتحضير مواد البناءهذه٠لذلك فأن صفاتها الكيميائية وخاصة الملوحة يجب ان تعكس لنا صفات التربة في ذلك الوقت ٠ويظهر من البينات المعروضة في جدول(٢ص٢٥) ان قيم التوصيل الكهربائي لمعظم العينات عالية نسبيا أي تتصف بملوحة عالية الامر الذي يسمح بالافتراض ان التربة التي استخدمت في ذلك الوقت كانت اصلا ملحية٠

ويعتقد بيورنك (Buring,1960) أنه بالرغم من وجود شواهد عديدة تشير الى وجود مشكلة الملوحة في وادي الرافدين منذ القدم ٠الا أن هذه ا لمشكلة برزت بشكل ظاهرة خطرة فقط بعد شق قنوات الري بشكل واسع كتقنية جديدة في الزراعة الاروائية وخاصة خلال النصف الاول من هذا القرن٠ان الاستعراض التاريخي لمشكلة الملوحة في وادي الرافدين يوصلنا الى الاستنتاج التالي وهو ان مشكلة الملوحة قد ظهرت منذ القدم ورافقت الزراعة فيه ، الا ان هذه المشكلة لم تظهر بشكل واضح وذلك بسبب الزراعة غير الكثيفة التي كانت سائدة آنذاك في وادي الرافدين٠اما ظهورها واتساعها بشكل كبير في الوقت الحاضر فيرجع الى استخدام الزراعة الكثيفة واستعمال الري بشكل واسع الأمر الذي عجل في زيادة تملح الاراضي في وسط وجنوب العراق وزاد من خطر هذه المشكلة ٠

أثر مشكلة الملوحة على الانتاج الزراعي

تلعب الزراعة دورا أساسيا في التطور الاقتصادي والاجتماعي في عدد كبير من بلدان العالم وخاصة في البلدان النامية والتي تقع معظمها في المناطق الجافة وشبة الجافة ٠ لذلك فان تطور الزراعة في هذه البلدان سيلعب دورا في توفير الغذاء وتطوير سكان هذه البلدان اقتصاديا واجتماعيا٠ان انخفاض الانتاج الزراعي في وحدة المساحة في بلدان المناطق الجافة وشبة الجافة يعود الى عدة عوامل وتعتبر الملوحة العامل الاساسي في هذا المجال٠ان التأثير السلبي للملوحة في المحاصيل الزراعية حقيقة علمية لا جدال فيها ، وتتوفر في الوقت الحاضر العديد من البيانات في المراجع العلمية توضح تأثيرات الملوحة بشكل كمي على انتاج معظم المحاصيل ، ويمكن ملاحظة ذلك من خلال المعطيات المعروضة في الجدول التالي :

مستوى ملوحة التربة	النسبة المئوية للحاصل
غير ملحية	%١٠٠
قليلة الملوحة	٧٠- ٨٠%
متوسطة الملوحة	٤٠- ٧٠%
شديدة الملوحة	صفر- ٤٠%
شديدة الملوحة جدا	صفر

واذا اعتبرنا ان معظم اراضي وسط وجنوب العراق اراضي متأثرة بالملوحة وبمعدل مستوى (قليلة الملوحة – شديدة الملوحة) عندئذ يمكن الاستنتاج بان هناك فقدان في انتاج معظم المحاصيل يتراوح بين (٢٠ – ٦٠ %) بالمقارنة مع ناتج هذه المحاصيل في الترب غير الملحية٠ان تعميم هذه البيانات على المساحة القابلة للزراعة في وسط وجنوب العراق تظهر لنا مدى الخسارة الفادحة في الانتاج الزراعي بسبب هذه المشكلة ٠

لقد أصبحت مشكلة الملوحة في الوقت الحاضر في العراق مشكلة جدية معرقلة للتطور الزراعي اضافة الى الخسارة الكبيرة الناتجة عن انخفاض الانتاج لمعظم المحاصيل في وحدة المساحة في الاراضي الملحية ، ان نتائج التجارب التي اجريت في العراق والتي خصصت لدراسة استصلاح الاراضي الملحية اثبتت ان تخليص التربة من الاملاح واستغلالها بشكل جيد أدى الى مضاعفة الانتاج ولمعظم المحاصيل الزراعية (جدول ٤وجدول٥ص٢٨) ، وما ينطبق على العراق ينطبق على بلدان عديدة تنتشر فيها الترب الملحية كالباكستان والهند وغيرها ٠ ان نتائج البيانات التي تم الحصول عليها من مشاريع الاستصلاح في معظم دول الشرق الاوسط (AL-khatib,1970) أشارت الى زيادة كبيرة في انتاجية معظم المحاصيل الزراعية بسبب معالجة الملوحة٠ إذ اشارت قسم من هذه البيانات الى زيادة في المحاصيل بمقدار(٣٠-٥٠%) نتيجة فتح شبكات البزل الفعالة وغسل الاملاح من التربة ٠ويؤكد الطائي وحسين (١٩٨٢) على ان معظم أراضي السهل الرسوبي تصبح صالحة للزراعة الاروائية بعد الاستصلاح ، وان عوامل الانتاج الاخرى كالماء والمناخ مؤاتيه للحصول على انتاج عالي اذا ما أتبعت فيها الاساليب العلمية والادارة الجيدة عند الاستغلال لذلك فأن بداية زيادة الانتاج الزراعي في اراضي وسط وجنوب العراق تبدأ وحسب اعتقادنا في معالجة الملوحة في هذه الاراضي٠

المحاضرة الثانية
أصل ظهور الاملاح وطبيعة حركتها وتراكمها

الى حد الان لم يستطيع الانسان التحقق من أصل ظهور الاملاح سهلة الذوبان أي النشأة الاولى لها لازالت مجهولة وأن ظهرت بعض الآراء العلمية الا أنها كانت متباينة ولم تستطيع الوصول الى اجابة مقنعة للسؤال المطروح حول النشأة الاولى للأملاح (هل ان الاملاح الذائبة في البحار والمحيطات نتجت خلال عمليات التجوية للصخور في اليابسة ثم نقلت الى البحار والمحيطات بواسطة المياه الجارية أم ان الاملاح قد وجدت وتراكمت في البحار والمحيطات أثناء تكون هذه البحار والمحيطات ثم نقلت الى اليابسة وتراكمت في مواقع معينة منها وفي ظروف معينة ؟)٠

لقد تناول العالم كولد سمث الاجابة عن هذا السؤال واجرى حسابات عديدة حول التوازن الايوني لمعظم الايونات بين اليابسة والمحيطات ونتيجة هذه الحسابات المعقدة ظهر له ان الكلور والكبريت والبورون التي توجد بكميات ت كبيرة جدا في البحار والمحيطات في الوقت الحاضر وجدت اصلا فيها اثناء تكوينها٠ لذلك يعتبر هذا الباحث ان البحار والمحيطات مصدر هذه الايونات في الطبيعة٠ولكن هذا الباحث لا يستبعد أيضا دور البراكين في المساهمة كمصدر أخر لهذه الايونات في اليابسة٠اما حسابات كولد سميث بالنسبة للكاتيونات وخاصة الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والالمنيوم والسيلكون فأشارت الى ان هذه الايونات تكونت في اليابسة ومن ثم نقلت الى البحار والمحيطات ماعدا الصوديوم الذي يوجد بتراكيز عالية جدا في البحار والمحيطات٠

يؤكد يوكوروف وجهة نظر كولد سمث في ان البحار والمحيطات تعتبر مصدر الايونات المكونة للترب الملحية والتجمعات الملحية على اليابسة مستندا على حقيقة وهي ان البحار والمحيطات تحتوي على تراكيز كبيرة من الاملاح الذائبة (كمعدل حوالي ٣٥غم/لتر) والملح السائد فيها كلوريد الصوديوم والذي يشكل حوالي (٧٧%) من الخليط الملحي فيها ، وهذا الملح نفسه هو السائد بين الاملاح الموجودة على اليابسة٠

إن باحثين آخرين مثل لينك وكوسوفيج يعارضون وجهة نظر كولد سمث حول مصدر الاملاح ويعتقدون ان اليابسة هي مصدر الاملاح ونقلت الى البحار والمحيطات ، ان وجهة النظر هذه وجدت لها صدى كبيرة في حسابات العالم الاميركي كلارك الذي توصل الى ان معدل كمية الاملاح التي نقلت من اليابسة الى البحار والمحيطات تقدر بحوالي (٢٧٣٥) مليون طن أي ان هناك فقدان من اليابسة قدره كمعدل (٢٦,٣٨) طن/كم^{٢} سنويا٠وتشير تقديرات اخرى (Kovda,1948) الى ان احتياطي الاملاح الذائبة في الكرة الارضية يتوزع بالشكل التالي : تحتوي البحار والمحيطات على (٢٠) مليون كم^{٣} من الاملاح بينما تشكل الاملاح الذائبة (٥,٨%) من وزن الصخور الرسوبية في القشرة الارضية اي ما يعادل(١٧) مليون كم^{٣} ٠

لقد توصل كوفدا وبعد استعراض وجهات النظر المختلفة حول مصدر الاملاح الى الاستنتاج التالي : إنه عبر التاريخ الجيولوجي للكرة الارضية خضعت الاملاح الذائبة الى دورات بين اليابسة والمحيطات وبالعكس وكانت محصلة التوازن لصالح البحار والمحيطات ، اي ان كميتها الحالية اصبحت اكبر في البحار والمحيطات٠ وخلال هذه الدورات خضعت الاملاح المختلفة الى تفاضل في التوزيع بين اليابسة والبحار والمحيطات حسب قابليتها على الذوبان ، وسبقت ذلك ترسيب الكبريتات والكربونات بدرجة اساسية في اليابسة والكلوريدات في البحار

والمحيطات الا ان كوفدا يعتبر استنتاجه هذا ليس نهائيا للسؤال الذي طرح في بداية هذا الاستعراض وإنه لايزال هناك بعض الغموض في هذا المجال٠

مصادر الاملاح وتجمعها في الترب المتأثرة بالأملاح

١- تجوية الصخور والمعادن : تعد الصخور والمعادن المكونة للقشرة الارضية مصدر معظم الايونات المكونة للأملاح وذلك بعد تجويتها وانطلاق هذه الايونات باتجاه تكوين الترب والتراكمات الملحية٠ولكي تكون الصورة واضحة لنا يجب اولا ان نتطرق الى نوع وكمية الايونات المكونة للقشرة الارضية ويبين الجدول التالي نسب العناصر الداخلة في تركيب الصخور والمعادن :

العنصر	النسبة المئوية	**العنصر**	النسبة المئوية
الاوكسجين x	٤٩,١٣	الهيدروجين x	١,٠٠
السليكون	٢٦,٠٠	التيتانيوم	٠,٦١
الالمنيوم	٧,٤٥	الكربون x	٠,٣٥
الحديد	٤,٢٠	الكلور x	٠,٢٥
الكالسيوم x	٣,٢٥	الفسفور	٠,١٢
الصوديوم x	٢,٤٠	الكبريت x	٠,١٠
المغنيسيوم x	٢,٣٥	المنغنيز	٠,١٠
البوتاسيوم x	٢,٣٥		

النسب المئوية لمعظم العناصر المكونة للقشرة الارضية التي يقدر عمقها بحوالي (١٦,٥) كم ٠لقد وضعت اشارة (x) امام العناصر المكونة للأملاح المتجمعة في الترب الملحية٠إن هذه العناصر تنطلق اثناء تجوية الصخور والمعادن مكونه املاح جديدة ٠الا ان سرعة انطلاق واستخلاص هذه الايونات من الصخور ليست واحدة حيث تعتمد على : ١- معامل الطاقة للأيون -٢- نصف القطر الايوني -٣- شحنة الايون -٤- ثبات البلورة الداخل في تكوينها الايون او العنصر ٠

جدول يبين معامل الطاقة ونصف القطر لبعض الايونات

الايون	**معامل الطاقة**	**نصف قطر الايون (انكستروم)**
الكلور ، البروم	٠,٢٣	١,١٨
النترات	٠,١٨	
الكبريتات	٠,٦٦	١,٨٢
الكربونات	٠,٧٧	
الصوديوم	٠,٤٥	٠,٩٨
البوتاسيوم	٠,٣٦	١,٣٢
الكالسيوم	١,٧٥	١,٠٤
المغنيسيوم	٢,١٠	٠,٧٤
السليكات	٢,٧٥	٠,٣٩
الحديد	٥,١٥	٠,٦٧
الألمنيوم	٤,٢٥	٠,٥٧

حيث ان استخلاص الايونات وحركتها ثم تجمعها مكونة املاح جديدة يزداد بقلة معامل الطاقة للأيون ونصف القطر الايوني أو الشحنة٠ مفهوم معامل طاقة الايون هو ثابت تجريبي لكل عنصر يمثل مقدار مشاركته في طاقة الشبكة البلورية للمركب الداخل في تكوينها العنصر والتي تكون عالية كلما كانت شحنة الايون مرتفعة والايون صغيرا وكلما كانت العناصر مقتربة من بعضها داخل الشبكة البلورية٠

لقد قسم كوفدا العناصر المختلفة الى مجاميع مختلفة حسب حركتها وتكوين املاح جديدة وبالتالي مشاركتها في تكوين الترب الملحية حسب الجدول التالي :

ت	المجموعة	الايونات
١	عديمة الانغسال والحركة	السليكون في الكوارتز
٢	قليلة الانغسال	الحديد والالمنيوم والسيلكون في معادن اخرى غير الكوارتز
٣	قابلة للغسل	السيلكون والفسفور والمنغنيز في معادن اخرى غير الكوارتز
٤	شديدة الغسل	الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمنغنيز والنحاس والكوبلت والزنك
٥	شديدة الانغسال جدا	الكلور والبروم واليود والكبريت والكربون والبورون

يظهر لنا من الجدول ان ايونات المجموعة الرابعة والخامسة هي اكثر الايونات قابلية على الغسل والحركة وتشارك في تكوين الاملاح على سطح القشرة الارضية عند توفر الظروف الملائمة على ذلك ومنها املاح كلوريد وكبريتات الصوديوم وكلوريد وكبريتات المغنيسيوم وكبريتات الكالسيوم وكربونات الصوديوم والكلس ، ومثل هذه الاملاح تتجمع عادة في المناطق الجافة وفي البحيرات والمحيطات والتراكمات الملحية٠

وعندما تتجمع وتتراكم الاملاح المذكورة اعلاه على سطح اليابسة تخضع بدورها الى عمليات جديدة من التجوية والحركة والنقل ثم تتجمع ثانية لتكوين صخور جديدة ٠ولما كان الماء الناقل الرئيسي في هذه العمليات فنتوقع ان نواتج التجوية تتجه بتأثير حركة الماء من اليابسة الى البحار والمحيطات وهناك تتجمع مرة اخرى مكونة الصخور الرسوبية٠وبعد مرور قرون فإن حجم هذا الترسيب يتضخم مكونا جزرا، وتخضع هذه الجزر بدورها أيضا الى عمليات التجوية والنقل والتجمع من جديد مارة بنفس الدورة ويطلق الجيولوجيون على مثل هذه الدورة بالدورة الجيولوجية الكبرى تميزا لها عن الدورة البايولوجية الصغرى٠حيث يقصد بالدورة البايولوجية الصغرى دورة العناصر ما بين التربة والاحياء (النبات والحيوان) حيث تشترك بعض العناصر في هذه الدورة (العناصر التي تحتاجها الاحياء)٠وبشكل عام فإن معظم العناصر التي تشترك بالدورة البايولوجية الصغرى يكون دورها اقل من العناصر المشاركة بالدورة الجيولوجية الكبرى في تكوين الترب الملحية٠ومثال على ذلك عنصر البوتاسيوم الذي يشترك في الدورة البايولوجية بالمقارنة مع الصوديوم الذي يشترك بدرجة اساسية في الدورة الجيولوجية الكبرى٠لذلك فإننا نادر ما نعثر على ترب ملحية بوتاسية ، الا ان انتشار الترب الملحية الصودية يعتبر شائعا بعبارة اخرى ان البوتاسيوم رغم تشابهه مع الصوديوم من ناحية نسبته في القشرة الارضية وصفاته العامة الا انه لا يلعب دورا في تكوين الترب الملحية بسبب مشاركته في الدورة البايولوجية الصغرى٠

اصبح الان واضحا ان العناصر التي تشارك في الدورة الجيولوجية الكبرى هي العناصر التي تتراكم وتتجمع في المنخفضات مكونة الترب الملحية عند توفر الظروف الملائمة٠الا ان ترسب وتجمع الاملاح ليس واحدا ويختلف من ملح لا أخر لذلك تخضع هذه الاملاح الى تفاضل معين في الترسيب والتوزيع بين اليابسة والبحار من الناحية الافقية على سطح الارض وكذلك خلال مقد التربة من الناحية العمودية ٠

٢- البحار والمحيطات : يعتقد العديد من الباحثين ومنهم يوكوروف إن الاملاح في البحار و المحيطات يمكن ان تساهم وبشكل كبير كمصدر للأملاح الذائبة في الترب الملحية في اليابسة وذلك من خلال الطرق التالية :

أ- عند انسحاب البحر يترك وراءه جزءا من المياه المالحة التي تتبخر بدورها وخاصة في المناطق الجافة وشبة الجافة تاركة ورائها كميات هائلة من الاملاح ٠ويمكن ان ينطبق هذا على ظروف التراكمات الملحية البحرية تحت سطح الارض في وسط وجنوب العراق٠

ب – لسبب ما في الطبيعة أو بسبب فعالية الأنسان يقتطع جزء من البحر، وعند تبخر المياه من هذا الجزء تترك ورائها كميات كبيرة من التراكمات الملحية التي تكون مصدرا مباشرا للأملاح في الترب الملحية٠ومثال ذلك الترب الملحية التي تكونت في هولندا بعد انشاء سد الشمال الكبير الذي اقتطع بواسطته جزء من البحر٠

ج- انتقال الاملاح من البحار والمحيطات مع رذاذ المياه بواسطة الرياح والعواصف المطرية الى المناطق الساحلية المجاورة للبحار والمحيطات مكونة مع مرور الزمن ترب ملحية٠

٣- البراكين : يعتبر كثير من الباحثين البراكين المصدر الأساس للكلور والكبريت من خلال مقذوفاتها والتي تعتبر العامل الرئيسي في توازن الكلور والكبريت على سطح القشرة الارضية حيث تكون الغازات المتصاعدة غنية بغازات كل من كلوريد وكبريتيد الهيدروجين وعند ترسب هذه الغازات وتراكم نواتج تحللها تكون المصدر الاساسي للكلوريدات والكبريتات في اليايسة٠

المحاضرة الثالثة

وسائل نقل الاملاح الى التربة

سنناقش في هذا الجزء أهم الوسائل او الطرق التي تنتقل بواسطتها الاملاح الذائبة من مصادر تكوينها والى التربة ، ويمكن اعتبار اليات نقل الاملاح في حالات معينة كمصادر للأملاح عند مواقع تكوين الترب الملحية٠ ويتفق معظم الباحثين على ان أهم وسائل نقل الاملاح هي :

١-الامطار : الألية الرئيسية لنقل الاملاح من البحار والمحيطات الى اليابسة حسب اعتقاد بريسلر وزملائه (Bresslor et al,1982) هي نقلها مع قطرات الماء المالحة التي يمكن ان تكون نواة لقطرات المطر او الدقائق الثلجية المتساقطة على اليابسة ٠ويمكن ان تشكل الاملاح المتساقطة بهذه الطريقة كميات كبيرة في المناطق الساحلية ويمكن تقدير حجم هذه الطريقة ودورها بالتملح من خلال تقدير ايون الكلوريد في التربة لأنه يعتبر الايون الرئيسي لأملاح البحار والمحيطات٠وتقدر المسافة التي يمكن ان تنقل بها الاملاح بحوالي (٥٠- ١٥٠كم) من ساحل البحر او المحيط ٠

قدر Mason كمية كلوريد الصوديوم المتساقطة بواسطة مياه الامطار بمقدار (٢٠- ٢٠٠ كغم/ هكتار) ، وسجلت معدلات (١٠٠- ٢٠٠كغم/هكتار) في بعض المناطق الساحلية وبالرغم من ذلك فان كمية الاملاح المتساقطة من الفضاء الخارجي سواء بواسطة الامطار او غير ذلك من الظروف لا تشكل سوى (١٠- ٢٥%) من كمية الاملاح الناتجة من تجوية المعادن والصخور والمعادن٠

٢- الرياح : تعد الرياح احد الطرق الرئيسية لنقل الاملاح في الطبيعة حيث تنقل البلورات الملحية مع الدقائق الترابية اثناء حدوث العواصف من موقع الى موقع اخر وتتجمع هناك مكونة تراكمات ملحية او ترب ملحية٠ ان الفضاء الغازي الذي يحيط بالقشرة الارضية يحوي نسبة معينة من الغبار ويدخل في تركيب دقائق هذا الغبار كثير من الاملاح حيث تعمل العواصف على نقل هذه الدقائق لمئات وبعض الاحيان الاف الكيلومترات ويمكن ان تشكل هذه الألية السبب الرئيسي لنقل الاملاح في بعض المناطق من العالم ومن الامثلة على ذلك قدر انه خلال (٢٦٠٠) سنة الماضية ان الرياح نقلت من دلتا النيل طبقة من التربة تقدر ب(٢,٥م) عمق ٠الانفجارات البركانية أيضا تعتبر مصدر اخر للأملاح في الفضاء الخارجي فقد وصلت كمية الاملاح المتساقطة من الفضاء الخارجي (٤٧٥كغم/هكتار) في الاتحاد السوفيتي وبالرغم من ذلك الا انها لا تحمل أهمية كبيرة في نقل الاملاح وتراكمها في وسط وجنوب العراق٠

٣- مياه الري : تعد مياه الري احد الوسائل الرئيسية لنقل الاملاح ومصدرا لها في كثير من المناطق الجافة وشبة الجافة وخصوصا في الترب المروية التي استخدم فيها الري لمئات والاف السنين ٠ويزداد دور مياه الري في تملح الترب كلما كانت كمية الاملاح فيها عالية ، وتعتبر مياه الري في العراق رغم نوعيتها الجيدة نسبيا احد عوامل الرئيسية لتملح الترب في وادي الرفدين وان مياه الري في العراق يمكن ان تضيف سنويا ما يعادل (٣) ملايين طن من الاملاح في الترب الأروائية حسب ما أورده بيورنك (Buringh,1960) ٠ان مياه الري الحاوية على (١غم/لتر) تقوم بنقل (١كغم/م^{٣}) من الاملاح الى المناطق المروية٠

٤- المياه الجوفية : كما هو الحال بالنسبة لمياه الري ، فإن المياه الجوفية يمكن ان تعتبر وسيلة لنقل الاملاح أثناء حركتها من موقع الى موقع اخر تحت سطح الارض ويمكن اعتبارها العامل الرئيسي الناقل للأملاح في كثير من المناطق الجافة وشبة الجافة خاصة عندما تكون هذه المياه ذات تركيز عالي وقريبة من سطح الارض ٠إن المياه الجوفية تذيب كميات كبيرة من الاملاح اثناء مرورها بالتراكمات الملحية في باطن الارض وكذلك عند تماسها مع الصخور والمعادن٠وتعتبر المياه الجوفية مصدرا اساسيا للأملاح في وسط وجنوب العراق بسبب ملوحتها العالية (٧- ٢٠غم/لتر) وكذلك قربها من سطح التربة (١- ٢ م)٠

المحاضرة الرابعة

الخواص الكيميائية والفيزيائية للأملاح المتراكمة في التربة والمياه

خلال عمليات التجوية للصخور والمعادن ينطلق وبدرجات مختلفة عدد كبير من الايونات المختلفة والتي تتحد مع بعضها بعد نقلها مكونة مركبات جديدة و بسبب ظروف معينة وكذلك اختلال التوازن المائي والملحي فأن قسم من المركبات الجديدة سوف تتراكم بشكل املاح وترب ملحية ، ان الاملاح المتراكمة تكون دائما في حالة ديناميكية اي أنها تخضع لعمليات الإذابة والترسيب ضمن مقد التربة وكذلك الحركة الافقية والعمودية في التربة ، ولغرض فهم طبيعة الاملاح وتأثيراتها على التربة والنبات يجب اولا التعرف على أهم خصائصها :

أنواع الاملاح المتراكمة في الترب المتأثرة بالملوحة

يتراكم عدد كبير من الاملاح في الترب المتأثرة بالملوحة والتي تتكون نتيجة اتحاد بين عدد كبير من الايونات المختلفة المنقولة بواسطة عوامل النقل وخاصة المياه ، وتقسم الاملاح الشائعة في التربة تبعا لدرجة ذوبانها وعلاقتها بملوحة التربة الى :

١-املاح سريعة الذوبان : مثل كلوريد الصوديوم ($NaCl$) وكلوريد المغنسيوم ($MgCl_2$) وكلوريد الكالسيوم ($CaCl_2$) وكبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) وكبريتات المغنسيوم ($MgSO_4$) وكربونات الصوديوم (Na_2O_3) ، وتكون هذه الاملاح هي المسؤولة عن ملوحة وقلوية التربة٠

٢-املاح شحيحة الذوبان : مثل كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$) و كربونات المغنسيوم ($MgCO_3$) وكربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) ، ويكون تأثيرها بدرجة اكبر على الخواص الطبيعية للتربة لقلة ذوبانها ٠ولغرض تسهيل دراسة خصائص الاملاح المتراكمة في الترب الملحية يتم تقسيمها الى مجاميع اعتمادا على نوع الأنيون المكون للمجموعة وفيما يلي توضيح لكل من هذه الاملاح على حده مع بيان علاقتها بملوحة التربة :

١-املاح الكربونات :

تنتشر املاح حامض الكربونيك في الترب المتأثرة بالملوحة والمياه الجوفية والمياه السطحية في معظم المناطق الجافة وشبه الجافة سلوك وتأثير هذه الاملاح يعتمد على نوع الملح وتركيزه ودرجة ذوبانه ومدى سميته للنبات والشائع منها :

١- كربونات الكالسيوم (الكالسايت) $CaCO_3$: يتكون هذا الملح من اتحاد ايون البيكربونات مع أيون الكالسيوم لتكوين بيكربونات الكالسيوم٠ وعند تعرض هذا الملح للحرارة والجفاف يفقد جزء من ثاني اوكسيد الكربون بشكل غاز مكونا كربونات الكالسيوم وحسب المعادلات التالية:

$$Ca + 2HCO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

$$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

ويعد كربونات الكالسيوم من أهم الاملاح الكربونية وشائع الوجود في المناطق الجافة وشبه الجافة ومن الاملاح قليلة الذوبان جدا في الماء حيث لا يزيد ذوبانه عن (٠,٠٣١غم/لتر) ٠وتزداد درجة ذوبانه الى (٠,٠٦- ٠,١٤غم/لتر) بوجود حامض الكربونيك في المحلول نتيجة تكون بيكربونات الكالسيوم وحسب المعادلة التالية :

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

كما ان قابلية ذوبانية هذا الملح ترتبط بدرجة تفاعل المحلول فتزداد كلما قلت قيمة الأس الهيدروجيني والعكس بالعكس٠والجدول التالي يبين العلاقة بين ذوبان كربونات الكالسيوم والأس الهيدروجيني للمحلول :

الأس الهيدروجيني	ذوبان كربونات الكالسيوم (ملي مكافئ/لتر)
٦,٢١	١٩,٣٠
٦,٥٠	١٤,٤٠
٧,١٢	٧,١٠
٧,٨٥	٢,٧٠
٨,٦٠	١,١٠
٩,٢٠	٠,٨٢
١٠,١٢	٠,٣٦

ويتميز محلول كربونات الكالسيوم بدرجة تفاعل قاعدية ، وتعتمد قيمة الأس الهيدروجيني على كمية ثاني اوكسيد الكربون في المحلول ٠فعند عدم وجود أي كمية من ثاني اوكسيد الكربون فإن كربونات الكالسيوم تتعرض الى التحلل المائي مكونا محلولا قلويا وحسب المعادلة التالية :

$$CaCO_3 \rightarrow Ca^{++} + CO_3^{--}$$

الا ان مثل هذا التفاعل نادرا ما يحدث في الظروف الاعتيادية وذلك بسبب وجود كمية من ثاني اوكسيد الكربون مماثلة لكميته في الهواء فإن ذلك يؤدي الى تقليل قلوية المحلول٠ وكلما زادت كمية ثاني اوكسيد الكربون او ضغطه في المحلول كلما قلت قيمة الأس الهيدروجيني للمحلول٠ونظرا لقلة ذوبان كربونات الكالسيوم فان وجوده في التربة لا يؤثر على معظم المحاصيل الزراعية ،الا ان بعض المحاصيل تتأثر من حيث كمية المحصول وجودته في حالة وجود نسبة عالية من كربونات الكالسيوم في التربة مثل اشجار الكاكاو والبن والموز والحمضيات٠

وتعد مياه الري والمياه الجوفية المصدر الأساسي لتكوين الكلس في التربة وذلك بسبب احتوائها على كميات معتبرة من بيكربونات الكالسيوم ٠حيث تترسب الكربونات عند وصول المحلول الى حالة الإشباع عند تعرض هذه المياه للجفاف ٠كما تحتوي مياه الري على كميات كبيرة من هذا الملح بشكل دقائق ناعمة حيث تنتقل مع التربة من مصادر التجوية وتترسب لاحقا عند تواجد الظروف الملائمة للترسيب والتجمع ، ويعتقد الباحث ديلفر (Deliver , 1962) أن

معظم كربونات الكالسيوم في الترب العراقية قد نقلت مع مياه دجلة والفرات وروافدهما بشكل دقائق ناعمة من أعالي الشمال وترسبت وتجمعت مع دقائق التربة الاخرى في السهل الرسوبي ٠ الا ان هذا الباحث لا يستبعد احتمال ترسب قسم من كربونات الكالسيوم في التربة كيميائيا وذلك من مياه الري والمياه الجوفية عند تماسها بمقد التربة وذلك نتيجة اتحاد ايونات الكالسيوم مع ايونات البيكربونات ولفظ كمية من غاز ثاني اوكسيد الكربون عند تعرض هذه المياه للجفاف ، حيث تترسب كربونات الكالسيوم بشكل عروق او بشكل نقاط بيضاء في مقد التربة٠توصل (حردان وعباس ،١٩٧٣) ومن خلال حساب قيمة دليل الاشباع (Saturation index) بالنسبة لكربونات الكالسيوم في المياه العراقية الى استنتاج وهو ان معظم المياه العراقية (مياه الري والمياه الجوفية ومياه الاهوار) لها القابلية على ترسيب كربونات الكالسيوم عند تماسها مع التربة وتوفر الظروف الملائمة للترسيب٠

وعند وجود نسبة عالية من كربونات الكالسيوم في احد أفاق التربة بنسبة اعلى من الأفق الذي فوقه او تحته يطلق عليه بالأفق الكلسي والذي يتميز بقلة النفاذية وتسمى الترب الحاوية على مثل هذا الأفق بالترب الكلسية وبسبب قلة ذوبان الكلس فان هذا الملح يعتبر غير سام الا ان وجوده بكميات

كبيرة في الترب الملحية له تأثيرات كثيرة على صفات التربة ونمو النبات قسم منها ايجابية والاخرى سلبية ، فوجوده بكميات كبيرة له تأثيرات سلبية منها تقليل جاهزية عدد كبير من العناصر الغذائية وخاصة الصغرى وتقليل السعة التبادلية الكاتيونية للتربة وجعل درجة التفاعل قاعدية٠ اما التأثيرات الايجابية للكلس فان دقائق الكلس تلعب دورا في تحسين تركيب التربة٠

٢-كربونات المغنيسيوم (الماكنسيايت) $MgCO_3$:

ويسمى هذا الملح بالماكنسايت ويعتبر احد المعادن الرئيسة لمجموعة الكربونات ويتراكم هذا الملح بنفس الطريقة التي يتراكم بها ملح كربونات الكالسيوم، وتتأثر قابلية ذوبانه بنفس الظروف والعوامل التي تؤثر في ذوبانية كربونات الكالسيوم٠الا ان هذا الملح يتصف محلوله بدرجة تفاعل عالية (أعلى من ١٠) لذلك يعد هذا الملح قلوي وسام للنبات٠الا ان وجوده بكميات كبيرة وحره في التربة نادر جدا وذلك للأسباب التالية :

١-أمتزاز المغنيسيوم من قبل غرويات التربة٠

٢-تكون مركب كاربوني قليل الذوبان وهو الدولومايت $Ca.Mg(CO_3)_2$ والذي يعتبر من المعادن ذات الذوبانية القليلة٠

٣- كربونات الصوديوم (الصودا) Na_2CO_3 :

يوجد هذا الملح بشكل حر ونقي أو بشكل خليط مع بعض الاملاح الاخرى في بعض الترب والمياه الجوفية ومياه البحيرات ، ويترسب هذا الملح من المحلول بشكل بلورات مع عدد مختلف من جزيئات الماء وذلك عند وصوله حد الاشباع وبالصيغ التالية:($Na_2CO_3.10H_2O$) و ($Na_2CO_3.H_2O$) ويتصف هذا الملح بقابلية ذوبان عالية (حوالي ١٧٨غم/لتر عند ٢٠م°) ، ونتيجة التحلل المائي لهذا الملح عند الذوبان في الماء فانه يكون وسطا قلويا يصل الآس

الهيدروجيني له في بعض الاحيان الى (١٢) ٠وبسبب قابليته العالية على الذوبان ودرجة تفاعله القلوية فان هذا الملح يعتبر اكثر الاملاح سمية للنبات والاحياء الدقيقة في التربة ، ومن ناحية أخرى فان لهذا الملح القابلية العالية على تشبيع معقد التبادل للتربة بالصوديوم بالمقارنة مع بقية الاملاح الصوديومية الاخرى٠والجدول التالي يبين كمية الصوديوم الممتزة من قبل التربة (ملي مكافئ/١٠٠غم) من محاليل صوديومية مختلفة٠

تركيز الملح (عياري)	كلوريد الصوديوم	نترات الصوديوم	كبريتات الصوديوم	كربونات الصوديوم
٠,٠١	٠,٣٦	٠,٤٥	٠,٤٥	٠,٥٦
٠,٠٢	٠,٧٤	٠,٧٣	٠,٧٠	١,٠٦
٠,١٠	٠,٣٠	٢,٨٧	٢,٧٤	٥,٤٥
٠,٢٠	٥,٢٨	٤,٧١	٣,٩١	٦,٦٣

وكما هو معلوم فأنه كلما ازداد تشبع معقد التبادل بالصوديوم كلما ازداد تأثيره السلبي على صفات التربة وذلك من ناحية تشتت غرويات التربة وتحطم البناء ورداءة النفاذية٠لذلك يعد هذا الملح احد العوامل الرئيسة المحددة لخصوبة التربة٠ووجود كربونات الصوديوم بكثرة يسبب تكوين الترب الصودية٠

اما ملح بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$ فيعتبر اقل قلوية من ملح كربونات الصوديوم وكذلك اقل سمية منه وذلك بسبب معادلة جزء من الكربونات بحامض الكربونيك٠ ومدى تحول كربونات الصوديوم الى بيكربونات الصوديوم يعتمد على كمية غاز ثاني اوكسيد الكربون في هواء التربة ومحلول التربة الذي يعتمد بدوره على كمية المادة العضوية في التربة ودرجة تحللها ٠وكلما زادت كمية ثاني اوكسيد الكربون في هواء التربة كلما زادت كمية بيكربونات الصوديوم المتكونة نتيجة التفاعل التالي:

$$Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2NaHCO_3$$

وعندما تقل نسبة المادة العضوية ويقل النشاط المايكروبي في التربة ، وبذلك تقل نسبة ثاني اوكسيد الكربون وخاصة في ظروف درجات الحرارة العالية ، فان قسم من البيكربونات تتحول الى كربونات الصوديوم وحسب المعادلة التالية :

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$$

واذا حصل تبخر شديد لمحلول التربة الحاوي على كربونات وبيكربونات الصوديوم فان هذين الملحين ينفصلان عن محلول التربة ويترسبان بشكل بلورات على شكل ملح يطلق علية ترونا Trona $(Na_2CO_3.NaHCO_3.2H_2O)$ وكقاعدة عامة نادرا ما تتكون كربونات الصوديوم في التربة الحاوية على الجبس وذلك لحدوث تفاعل سريع بين هذين الملحين حيث تتحول كربونات الصوديوم من خلاله الى الكلس:

$Na_2CO_3 + CaSO_4 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$

لذلك يعتبر وجود الجبس ووجود كمية من أيونات الكالسيوم والمغنسيوم بشكل أيونات متبادلة وذائبة في الترب العراقية وخاصة الملحية منها احد العوامل الرئيسة التي تمنع تكون كربونات الصوديوم فيها ويكسبها سعة تنظيمية عالية ضد تكون الصودا٠

ونلخص أهم التفاعلات الكيميائية التي تلعب دورا في منع تكون الصودا في ظروف الترب العراقية(بالإضافة الى التفاعل السابق):

$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl$

$MgCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow MgCO_3 + 2NaCl$

$X\ Ca + Na_2CO_3 \rightarrow X\ 2Na + CaCO_3$

$X\ Mg + Na_2CO_3 \rightarrow X\ 2Na + MgCO_3$

حيث (X) يعبر عن معقد التبادل للتربة ٠

ونظرا لأهمية هذا الملح فسوف نتطرق بشيء من التفصيل حول ظروف تراكمه في بعض الترب٠

المحاضرة الخامسة

ظروف تكون وتراكم كربونات الصوديوم في الترب

هناك عدة فرضيات طرحت حول الطرق والظروف التي تتكون فيها كربونات الصوديوم في الطبيعة ومن أهمها :

١-تراكم كربونات الصوديوم المتكونة نتيجة لتجوية الصخور الحاوية على الكربونات وخاصة الصخور النارية السليكاتية ٠إذ تنطلق أيونات البيكربونات والكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم اثناء التجوية ، وعند تحول البيكربونات الى الكربونات بسبب ظروف الجفاف فمن المحتمل تتكون كربونات الصوديوم ، وان تكون الكربونات او انفصاله من المحاليل الحاوية على نواتج التجوية يعتمد على نسبة البيكربونات الى مجموع الكالسيوم والمغنيسيوم ، فاذا كانت هذه النسبة اكبر من واحد فان هناك احتمال كبير لتكون كربونات الصوديوم خاصة عند وجود وفره من ايونات الصوديوم في المحلول ، وعندما تكون هذه النسبة اقل من واحد فإن احتمال تكون كربونات الصوديوم يكون قليل جدا٠

٢-تفاعل هيلكارد: يعتقد العالم هيلكارد احتمال تكون كربونات الصوديوم من تفاعل كربونات الكالسيوم مع كلوريد الصوديوم او كبريتات الصوديوم وحسب التفاعلات التالية:

$$CaCO_3 + 2NaCl \rightarrow CaCl_2 + Na_2CO_3$$

$$CaCO_3 + Na_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + Na_2CO_3$$

ولاستمرار التفاعل نحو اليمين (نحو تكون كربونات الصوديوم) يتطلب غسل نواتج هذه التفاعلات وعكس ذلك فإن التفاعل سيتجه نحو اليسار لتكوين كربونات الكالسيوم القليلة الذوبان وتنتج حالة توازن معينة بين المواد المتفاعلة والمواد الناتجة٠

٣- نتيجة التفاعلات التبادلية بين الكالسيوم الذائب والصوديوم المتبادل ، في ظروف التخفيف العالي لمحلول التربة ان هذا التفاعل اقترح من قبل العالم كيدروتيس٠

$$X\ 2Na\ Ca(HCO_3)_2 \rightarrow X\ Ca + NaHCO_3 + Na_2CO_3$$

$$X\ 2Na + H_2O(HOH) \rightarrow X2H + 2NaOH \rightarrow Na_2CO_2$$

ويحتمل ان يحدث التفاعل الاخير أثناء الغسل الطبيعي او الاصطناعي الشديد للترب الحاوية على كميات كبيره نسبيا من املاح الصوديوم٠

٤- نتيجة عمليات الاختزال الجارية في بعض الترب وخاصة الملحية والغدقة والبحيرات ، وذلك باختزال الكبريتات الى كبريتيد الصوديوم وبوجود ثاني اوكسيد الكربون تتكون كربونات الصوديوم حسب التفاعلات التالية:

$$Na_2SO_4 + 2C \rightarrow Na_2S + 2CO_2$$

$$Na_2S + CO_2 + H_2O \rightarrow Na_2CO_3 + H_2S$$

وكما يلاحظ من التفاعل الاخير ينتج عادة في هذه الظروف غاز كبريتيد الهيدروجين ذو الرائحة الكريهة ٠لذلك عندما نشعر برائحة هذا الغاز في المستنقعات والاراضي الغدقة فهو دليل على وجود ظروف اختزال شديدة في هذه المواقع٠ ان تكون كربونات الصوديوم بهذا الاسلوب يتطلب وجود عدة عوامل تساعد على حدوث التفاعلات الانفة الذكر وهي: عدم وجود الاوكسجين- وجود المادة العضوية كمصدر للأحياء الدقيقة - وجود الاحياء الدقيقة الخاصة باختزال الكبريت- وجود تركيز للأملاح الذائبة وخصوصا الكبريتات بحيث لا يؤثر على فعالية الاحياء التي تقوم باختزال الكبريتات٠

٥- احتمال تكون كربونات الصوديوم من تحلل بعض النباتات الحاوية على نسبة من الكربونات مثل نبات عباد الشمس٠لكن كمية الكربونات المتكونة بهذه الطريقة تكون ضئيلة٠

٤- كربونات البوتاسيوم K_2CO_3

يشبه هذا الملح كربونات الصوديوم من ناحية ذوبانه وقلويته وتأثيره على خواص التربة وسميته للنبات٠ الا انه نادر ما نعثر عليه بكميات كبيرة وحره في التربة بسبب مشاركة البوتاسيوم بالدورة البيولوجية الصغرى في الطبيعة٠

٢- املاح الكبريتات :

وهي الاملاح المتكونة نتيجة اتحاد ايونات الكبريتات بأحد الكاتيونات الارضية القاعدية (Na,K,Mg,Ca) الموجودة في التربة والمياه الجوفية وأهم الاملاح المتكونة نتيجة ذلك هي كبريتات الكالسيوم(الجبس) وكبريتات الصوديوم وكبريتات المغنيسيوم وكمية قليلة من كبريتات البوتاسيوم٠

١- كبريتات الكالسيوم (الجبس) $CaSO_4.2H_2O$

يترسب الجبس بشكل دقائق مع جزيئتين من الماء في الترب الملحية والمياه الجوفية نتيجة اتحاد الكالسيوم مع الكبريتات وبالشكل التالي:

$$Ca + SO_4 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O$$

وفي الظروف الصحراوية الجافة يمكن أن يفقد الجبس بعض ماء تبلوره ويبقى محتفظا بجزيئة ونصف من الماء ويسمى الجبس في هذه الحالة (Semi hydrated) ، ويطلق على الجبس المترسب من مياه الري او المياه الجوفية بالجبس الثانوي تمييزا له عن الجبس الاولي الذي يتكون نتيجة تفتت الصخور الجبسية ٠ وعندما يشكل الجبس نسبة عالية في احد افاق التربة يطلق على هذا الافق بالأفق الجبسي (Gypsic horizon) ويطلق على الترب الحاوية على هذا الافق بالترب الجبسية٠وتتميز الترب الجبسية بخصائص معينة وذات مشاكل خاصة بها٠ وتغطي الترب الجبسية مساحة حوالي(٥/١) مساحة العراق اي حوالي(٨٨) الف كم^2 وتنتشر في مسطحات دجلة والفرات٠

ويعد الجبس من الاملاح القليلة الذوبان نسبيا إذ تبلغ قابلية ذوبانه حوالي(٢)غم/لتر او ما يعادل (٣٠)ملي مكافئ/لتر ٠ويزداد ذوبانه بوجود املاح اخرى في المحلول مثل كلوريد

الصوديوم ومن جهة اخرى تقل قابلية ذوبانه بوجود املاح اخرى في المحلول تشترك معه بأيون مشترك مثل كلوريد الكالسيوم٠ والايونات الناتجة من ذوبان الجبس هي الكالسيوم والكبريتات ويعد ملح كبريتات الكالسيوم غير ضار وغير سام للنبات وذلك بسبب قلة ذوبانه اي مشاركته القليلة في رفع الضغط الازموزي ، أن وجود كمية معينة من هذا الملح في التربة يعد ضروريا حيث يعتبر مصدرا جيدا لأيونات الكالسيوم باعتباره عنصر غذائي مهم للنبات٠ووجود الجبس بالتربة يعتبر عامل اساسي في منع تكون الترب القلوية ، لذلك يستخدم الجبس كمصلح للترب الصودية٠ ان مشاكل الجبس تبدأ عندما تكون نسبته عالية جدا في التربة كما هو الحال في الترب الجبسية٠

٢- كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4$

يعد هذا الملح من الاملاح الرئيسية المتراكمة في الترب الملحية والمياه الجوفية ومياه البحيرات كما ويعد احد الاملاح الرئيسية في الترب العراقية ويتميز هذا الملح بدرجة ذوبان عالية جدا تساوي (٢٦٢)غم/لتر ، لذلك يشارك هذا الملح بصوره اساسية في رفع الضغط الازموزي لمحلول الترب المتأثرة بالملوحة٠

٣- كبريتات الصوديوم Na_2SO_4

تعد كبريتات الصوديوم أحد الاملاح الرئيسية في الترب الملحية والمياه الجوفية والبحيرات ويترسب هذا الملح من محلول التربة والمياه الجوفية المالحة بشكل بلورات شفافة كبيره تحتوي على عشرة جزيئات ماء ويطلق عليها معدن (Mirabilite) ٠وعند ارتفاع درجات الحرارة يفقد هذا الملح جزء من ماء تبلوره ويسمى عندئذ بالثيناردايت (Thenardite) ٠ويعد هذا الملح من الاملاح السامة للنبات ، الا ان درجة سميته أقل بحوالي (٢-٣) مرة من سمية كبريتات المغنيسيوم ٠وبالرغم من أن هذا الملح يعتبر من الاملاح العالية الذوبان في درجات الحرارة الاعتيادية حيث تتراوح قابلية ذوبانه من(١٦١-٢٩٠غم/لتر) بين درجة حرارة (٢٠-٣٠ م°) الا ان قابلية ذوبانه تعتمد بشكل كبير على درجة الحرارة ، حيث تنخفض قابلية ذوبانه بشدة عند درجات حرارة واطئة (أقل من ١٠م°) وبالمقابل فان درجة ذوبانه تزداد بشدة عند ارتفاع درجات الحرارة ٠ ان اعتماد قابلية ذوبان هذا الملح على درجات الحرارة يميز هذا الملح بسلوكية معينة في التربة ، ففي المواسم الحارة من السنة تزداد قابلية ذوبانه ويتحرك سوية مع باقي الاملاح خلال التربة باتجاه السطح ، حيث يتراكم على السطح وفي الأفاق العلوية من المقد بشكل بلورات ملحية بيضاء اللون ٠وخلال المواسم الباردة من السنة فان هذا الملح سوف لا يغسل ولا يتحرك مع الماء النازل نحو الاسفل كبقية الاملاح الاخرى٠وانما يبقى في الطبقات والأفاق العليا من التربة وذلك بسبب انخفاض قابلية ذوبانه بشدة في درجات الحرارة الواطئة٠ونتيجة لتعاقب هذه العمليات (عمليات صعود الملح وعدم غسله الى الاسفل) لسنوات عديدة فان هذا الملح سيتراكم بكميات كبيرة نسبيا في الأفاق العليا من المقد مقارنة مع بقية الاملاح وبذلك يسبب تكون ترب ملحية صودية٠

٤- كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4

يشبه هذا الملح ولحد كبير ملح كبريتات الصوديوم الا انه غير سام للنبات٠ كما ان وجوده في التربة بشكل حر وبكميات كبيرة نادر٠ وعندما يتراكم بكميات كبيرة في بعض الترب الملحية فأنه يستخلص ويستخدم كسماد٠

٣- املاح الكلوريدات

تعد الاملاح الكلوريدية من أهم المكونات الاساسية للأملاح المتراكمة في الترب الملحية والمياه الجوفية والبحيرات والتراكمات الملحية الاخرى٠ وتتصف جميع الاملاح الكلوريدية بقابلية عالية على الذوبان وكذلك تتميز بسمية عالية للنبات٠وبشكل عام فان كمية الكلوريدات في التربة تزداد مع زيادة الملوحة (شكل ٨ ص٩٥) ومن أهم الاملاح الكلوريدية:

١- كلوريد الصوديوم NaCl

يعد ملح كلوريد الصوديوم أكثر الاملاح انتشارا في الترب الملحية ، ويتصف بدرجة ذوبان عالية جدا (حوالي ٣٦٠غم/لتر) ٠لذلك يعتبر من اكثر الاملاح مشاركة في رفع الضغط الازموزي لمحلول التربة ومن الاملاح السامة جدا للنبات وذلك لاحتوائه على أيوني الصوديوم والكلور غير الضروريين للنبات٠ ويتراكم هذا الملح بكميات كبيرة في معظم الترب الملحية العراقية وخاصة الشوره٠ ويلاحظ في معظم الاحيان وجود علاقة طردية بين تركيز هذا الملح والتوصيل الكهربائي لمستخلصات الترب الملحية والمياه الجوفية ، الامر الذي يؤكد على المشاركة الرئيسية لهذا الملح في زيادة ملوحة التربة والمياه الجوفية٠

٢- كلوريد المغنيسيوم $MgCl_2$

يعد هذا الملح من الاملاح الشائعة ايضا في الترب الملحية والمياه الجوفية والبحيرات٠ وتراكم هذا الملح يرتبط مع زيادة الملوحة ويعتبر من الاملاح العالية الذوبان(حوالي ٢٥٠غم/لتر) ، لذلك يعتبر سام للنبات ويشارك مشاركة فعالة في رفع الضغط الازموزي لمحلول التربة ٠ ويتصف هذا الملح كملح هايكروسكوبي حيث له القابلية على امتصاص الرطوبة من الجو ويمكن ان يصل محتواه (٦)جزيئات من الماء ($MgCl.6H_2O$) في بعض الاحيان ٠لذلك فإن الترب الملحية الحاوية على نسبة عالية من هذا الملح في الطبقة السطحية (ترب السبخة) تكون رطبه ولزجه وخاصة في المواسم الرطبة والباردة من السنة٠

٣-كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$

يعد كلوريد الكالسيوم من الاملاح العالية الذوبان حيث تبلغ ذوبانيته (حوالي ٥٠٠ عم/لتر) عند درجة حرارة (٣٠م $^{\circ}$) ٠ويعد هذا الملح سام للنبات ، الا ان سميته اقل بكثير من سمية كلوريد الصوديوم وكلوريد المغنيسيوم٠ وبشكل عام نادرا ما نعثر على هذا الملح بكميات كبيرة في الترب الملحية وخاصة في مستويات الملوحة غير العالية ، حيث يتفاعل هذا الملح مع كبريتات وكربونات الصوديوم متحولا الى كبريتات وكربونات الكالسيوم ، وكذلك بسبب القابلية العالية للكالسيوم على الامتزاز على سطوح التبادل في التربة٠

ويعتقد (Kovda,1973) ان ظهور كلوريد الكالسيوم في محلول التربة عند المستويات العالية للملوحة هو بسبب ازاحة الكالسيوم من معقد التبادل من قبل الصوديوم وبالشكل التالي:

$$X\,Ca + 2NaCl \rightarrow X2Na + CaCl_2$$

٤-كلوريد البوتاسيوم KCl

يشبه هذا الملح ولحد كبير ملح كلوريد الصوديوم من ناحية القابلية على الذوبان الا ان هذا الملح نادرا ما نعثر عليه بكميات كبيرة وبشكل حر في الترب الملحية وذلك لاشتراك البوتاسيوم في الدورة البيولوجية للعناصر٠

٤- النترات : بالرغم من ان املاح النترات تعد املاحا سريعة الذوبان ويمكن ان تتراكم في الترب الملحية بكميات كبيره نسبيا في بعض الاحيان ، الا انها لا تعتبر املاح سامة وذلك لان النترات تعتبر أيون غذائي ضروري للنبات والاحياء الدقيقة الموجودة في التربة٠لقد لوحظ تراكم واضح للنترات في بعض الترب الملحية في العراق وخاصة ترب السبخة ، حيث بلغت كمية النترات حوالي(٣,٥) ملي مكافئ/١٠٠غم تربة٠

٥-البورات : يتراكم البورون بشكل بورات في الترب الملحية مع بقية الاملاح السريعة الذوبان وتعد املاح البورون املاحا سامة للنبات وخاصة في التراكيز العالية نسبيا ٠ولقد لوحظت تراكيز عالية نسبيا من البورون في بعض الترب الملحية في العراق ووصلت حدود السمية (اكثر من ٥جزء بالمليون) ٠وبالرغم من ان سرعة غسل املاح البورون اقل من سرعة الاملاح الاخرى الموجودة في الترب الملحية ، الا ان هذه الاملاح يمكن ان تغسل من التربة بوجود شبكات البزل الفعاله٠

ذوبان الاملاح المتراكمة في الترب الملحية

عندما دراسة طبيعة الاملاح المتراكمة في الترب الملحية نهتم كثيرا بقابلية ذوبان هذه الاملاح وذلك لان قابلية ذوبان الاملاح تحدد مدى تواجد واختفاء هذه الاملاح في محلول التربة والمياه الجوفية كما تحدد ايضا سمية هذه الاملاح بالنسبة للنبات وكذلك تحدد مدى تأثيرها على الصفات الكيميائية والفيزيائية للتربة٠ ولغرض تسهيل فهم طبيعة ذوبان الاملاح سنحاول عرض بعض الاسس العامة ذات العلاقة بذوبان الاملاح:

١- تتباين الاملاح المتراكمة في الترب الملحية بشكل كبير من ناحية قابلية ذوبانها ويمكن ترتيب بعض الاملاح الشائعة في الترب الملحية من ناحية قابليتها على الذوبان بالشكل التالي :

$$CaCl_2 > MgCl_2 > NaCl > Na_2SO_4 > Na_2CO_3$$

٢- تعد قابلية ذوبان الملح ليست قيمة ثابتة ، إذ تعتمد على درجة الحرارة كما موضح في جدول(٢٠ ص٩٩) حيث ان قابلية ذوبان الاملاح تتغير وبشكل كبير في المحاليل المعقدة الحاوية على خليط من هذه الاملاح ، حيث تظهر تأثيرات متباينة على قابلية ذوبان كل ملح من الاملاح الموجودة في الخليط الملحي٠وبشكل عام يمكن تمييز التأثيرين الأساسيين التاليين:

أ- تواجد أيون مشترك (Common ion) بين ملحين مختلفين يؤثر سلبا على قابلية ذوبان كل منهما ويكون التأثير اكثر وضوحا على الملح الاقل ذوبانا مثال ذلك وجود الايون المشترك (الكالسيوم) في خليط المحلول الحاوي على الجبس وكلوريد الكالسيوم٠إن وجود أيون الكالسيوم سيؤثر بشدة على ذوبان الجبس كما موضح في الجدول التالي :

تركيز كلوريد الكالسيوم	**قابلية ذوبان الجبس** (غم/لتر)
صفر	٢,٤
٥٢	١,٠٣
٩٩	٠,٨٦
١٨٩	٠,٧٧
٤٠٨	٠,٥٣

ان انخفاض قابلية ذوبان الجبس بوجود الايون المشترك (الكالسيوم) مرتبط بثابت حاصل الذوبان للجبس وبالشكل التالي :

$[Ca] . [SO_4] = K_{SP} = 2.5 \times 10^{-5}$ (قيمة ثابتة)

فإن الزيادة في تركيز الكالسيوم (وبعبارة ادق الفعالية الايونية للكالسيوم) الناتجة من أضافة كلوريد الكالسيوم في المحلول المشبع للجبس ستسبب ترسيب جزء من الكبريتات بشكل جبس للحفاظ على تساوي قيمتي طرفي المعادلة٠

ب- التأثير الملحي (Salt effect) : ان اضافة أي ملح الى نظام ملحي مشبع بملح لا يشترك مع الملح الموجود اصلا بأي أيون مشترك(الكاتيون او الانيون) سيسبب زيادة التركيز الكلي للنظام الملحي وبالتالي زيادة قابلية الذوبان ومثال ذلك زيادة قابلية ذوبان الجبس عند اضافة محلول كلوريد الصوديوم الى محلول الجبس المشبع٠ إن زيادة ذوبان الجبس في هذه الحالة مرتبط بانخفاض معامل الفعالية الايونية (Activity coefficient) لكل من أيونات الكالسيوم والكبريتات الناتجة من زيادة القوة الايونية للمحلول وذلك بسبب اضافة كلوريد الصوديوم الى المحلول المشبع للجبس ٠ ويمكن توضيح ذلك بالشكل التالي :

تركيز كلوريد الصوديوم	**قابلية ذوبان الجبس**
صفر	٢,٠٤
١٧٢	٧,٨٠
٢٠٠	٨,٢٣
٢٤٤	٨,٣٠
٢٩٤	٦,١٤

ان حاصل الإذابة للجبس يساوي

$(Ca)\ (SO_4) = K_{SP}$ (قيمة ثابتة)

( ) الاقواس هنا تعني الفعالية الايونية وعند التعبير عن حاصل الاذابة بالتركيز يجب أخذ معامل الفعالية بنظر الاعتبار حيث أن : **الفعالية = التركيز × معامل الفعالية**

والعلاقة بين معامل الفعالية للأيونات والقوة الايونية حسب نظرية ديباي-هوكل هي انه بشكل عام كلما زادت القوة الايونية للمحلول كلما انخفضت فيه معامل الفعالية للأيونات ،اذن نستنتج من هذا ان اضافة اي كمية من اي ملح والتي ستؤدي الى رفع القوة الايونية للمحلول ستسبب خفض معامل الفعالية للأيونات.

المحاضرة السادسة

كيمياء الترب المتأثرة بالملوحة

لقد نالت دراسة تأثير الاملاح على الصفات الكيميائية للترب المتأثرة بالملوحة أهمية خاصة وذلك لما له علاقة بسلوكية الاملاح وتأثيراتها على التربة ونمو النبات ، لذلك تجمعت في الوقت الحاضر معلومات كثيرة ومهمة حول الطبيعة الكيميائية للترب المتأثرة بالملوحة او ما يطلق عليها بكيمياء الترب الملحية والمتضمنة استخدام المفاهيم الكيميائية في دراسة سلوكية الاملاح المتراكمة وطبيعة الترب المتأثرة بها وطرق تحليل هذه الترب وكذلك استخدام المفاهيم و الاساليب الكيميائية في استصلاح الترب المتأثرة بالملوحة٠

اطوار تراكم الاملاح

ان تراكم الاملاح يجري بميكانيكية معينة تتصف بأطوار معينة تضمن تغير التركيب الايوني والتركيب الملحي للمحاليل الملحية مع زيادة الملوحة٠إن تراكم الاملاح يجري خلال تبخر المياه من المحاليل الحاوية عليها ، وإن الخطوات العامة لعمليات تراكم الاملاح المختلفة في التربة والمياه الجوفية تجري بشكل مشابه لعمليات تراكم الاملاح في البحيرات والتي يطلق عليها بعمليات(metamorphization) ٠الا ان التغير الذي يجري في التركيب الايوني والملحي للمحاليل الملحية في التربة والمياه الجوفية يكون اكثر تعقيدا، حيث يتميز نظام التربة بوجود الجزء الصلب فيها الذي يشارك في عمليات التبادل والامتزاز بينما تتميز البحيرات بطور واحد وهو الطور السائل ، لقد أمكن تشخيص ثلاثة أطوار رئيسية لتجمع تراكم الاملاح وبالتسلسل التالي مع زيادة مستوى ملوحة المحاليل الملحية في التربة والمياه الجوفية:

١-طور الكربونات والبيكربونات ٠

٢-طور الكبريتات ٠

٣-طور الكلوريدات ٠

التبادل الايوني في الترب الملحية

تعد تفاعلات التبادل الايوني من أهم التفاعلات الكيميائية التي تجري في التربة وتحمل هذه التفاعلات أهمية كبيرة جدا في الترب المتأثرة بالملوحة ، حيث تجري هذه التفاعلات بين التربة ومياه الري النازلة خلال التربة وكذلك بين التربة والمياه الصاعدة خلال التربة ٠وتحمل تفاعلات التبادل الأيوني أهمية خاصة في تطور الترب ومستقبلها أثناء عملية التملح وكذلك عند ازاحة الاملاح خلال عمليات الاستصلاح٠ لقد جرت محاولات عديدة لوصف التبادل الايوني في الترب المتأثرة بالملوحة من قبل العديد من الباحثين واقترحت مداخل عديدة لوصف هذا التبادل ونعرض هنا ملخصا لأهم هذه التفاعلات :

$2Na^{+} + Ca\text{-}Clay \leftrightarrow Na_2\text{-}Clay + Ca^{++}$

1-Kerr (mass action law)

$[NaX]^2(Ca)/[CaX](Na)^2 = K$

2-Vanselow

$[NaX]^2(Ca)/[CaX](Na)^2 = K_V(NaX + 0.5\ CaX)$

3- Gapon (squar- root form)

$[NaX](\sqrt{Ca}\ )/[CaX](Na) = K_G$

( ) = فعالية الايون في المحلول (ملي مول /لتر)

[ ] = تركيز الايون الممتز (ملي مكافئ/١٠٠غم)

وتعد معادلة كابون من اكثر المعادلات استخدما في وصف التبادل الايوني في التربة بشكل عام والترب المتأثرة بالملوحة بشكل خاص وذلك لبساطتها وسهولة استخدامها ، ونظر للأهمية التطبيقية لمعادلة كابون فسنتطرق الى الصيغة الاساسية لهذه المعادلة وكيفية صياغتها٠

إن معادلة كابون تصف التبادل بين الصوديوم (كمثال للأيونات الاحادية الشحنة) والكالسيوم (كمثال للأيونات ثنائية الشحنة) وكالاتي:

$Ca1/2x + Na \rightarrow 1/2\ Ca^{++} + Nax$

وثابت التبادل الايوني والذي يطلق علية بثابت كابون (K_G) في هذه الحالة يساوي :

$$\frac{NaX}{CaX} = k_G \frac{Na}{\sqrt{Ca}}$$

واستخدم التركيز (مول/لتر) في هذه المعادلة بدل الفعالية الايونية للكاتيونات وذلك على افتراض ان النسبة بين معامل الفعالية للصوديوم الى الجذر التربيعي لمعامل فعالية الكالسيوم $fNa/\sqrt{fCa}$ تبقى محافظة على قيمة ثابتة في مجال لا بئس به من التركيز ٠والشكل (١٦ص ١١٨) يبين العلاقة بين معامل الفعالية والقوة الايونية لمستخلص ترب سولونيتس ٠

إن الانخفاض في معامل الفعالية للكالسيوم عند زيادة القوة الايونية في التربة يكون اكثر شدة بالمقارنة مع الانخفاض في قيمة معامل الفعالية للصوديوم ، لذلك فأنه وبسبب اخذ الجذر التربيعي لمعامل الفعالية للكالسيوم في هذه العلاقة فإن النسبة $fNa/\sqrt{fCa}$ تبقى ثابتة في مجال واسع من القوة الايونية٠

لقد قام العاملون في مختبر الملوحة الامريكي بتحوير وتطوير هذه المعادلة لغرض استخدامها المباشر في الترب الملحية وذلك عن طريق أضافة المغنيسيوم لطرفي المعادلة ، باعتبار ان الكاتيونات الرئيسية الموجودة في الترب الملحية هي الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم وعلى افتراض ان معامل التفضيل او الانتقاء (Coefficient Selectivity) للمغنيسيوم مساويا لمعامل التفضيل للكالسيوم ، عندئذ تصبح المعادلة:

$$\frac{NaX}{CaX+MgX} = K_G \frac{Na}{\sqrt{Ca+Mg}}$$

ولما كانت معادلة كابون تفترض ان سرعة التبادل الكاتيوني تتناسب مع مساحة السطح المشغول من قبل الكاتيون ، لذلك في هذه الحالة يمكن استبدال (CaX +MgX) بالسعة التبادلية للصوديوم عندئذ تصبح المعادلة بالشكل التالي :

$$\frac{\mathrm{NaX}}{\mathrm{CEC-NaX}} = \mathrm{K_G}\,\frac{\mathrm{Na}}{\sqrt{\mathrm{Ca+Mg}}}$$

وعند التعبير عن تركيز الكاتيونات في محلول التربة بالملي مكافئ/لتر بدل الملي مول/لتر عندئذ تصبح المعادلة بالشكل التالي :

$$\frac{\mathrm{NaX}}{\mathrm{CEC-NaX}} = \mathrm{k_G}\,\frac{\mathrm{Na}}{\sqrt{\frac{\mathrm{Ca+Mg}}{2}}}$$

واطلق العاملون في مختبر الملوحة الامريكي على الطرف الايسر من المعادلة بنسبة الصوديوم المتبادل (Exchangeable Sodium Ratio) ويرمز لها (ESR) وعلى الطرف الايمن بنسبة امتزاز الصوديوم (Sodium Adsorption Ratio) ويرمز لها (SAR) وعند استبدال المصطلحات بالرموز تصبح المعادلة بالشكل التالي :

$\mathrm{ESR} = \mathrm{K_G}\ \mathrm{SAR}$

وتمثل هذه العلاقة معادلة الخط المستقيم ، والانحدار للخط المستقيم عبارة عن قيمة ثابت كابون ويعد ثابت كابون من القيم الخاصة (الوصفية) لكل تربة من الترب ويعكس لنا مدى تفضيل اي تربة من الترب لامتزاز ايونات الصوديوم بالمقارنة مع امتزاز(الكالسيوم + المغنيسيوم) وتعتمد قيمة هذا الثابت بالدرجة الاساسية على طبيعة التربة من ناحية التركيب المعدني ومحتواها من المادة العضوية٠ويبين جدول (٢٦ ص ١٢١) قيم ثابت كابون لبعض المعادن والترب المختلفة٠

العلاقة التجريبية بين (SAR) و(ESP)

لغرض التعبير عن مدى تشبع معقد التبادل للتربة بالصوديوم وذلك من اجل توصيف الترب المتأثرة بالملوحة يستخدم بالإضافة الى قيمة نسبة الصوديوم المتبادل (ESR) قيمة اخرى هي النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (Exchangeable Sodium Percentages) ويرمز لها (ESP) وتحسب بالصيغة التالية:

$$\mathrm{ESP} = \frac{\text{الصوديوم المتبادل } \left(\text{ ملي مكافيء}/100\text{ غم}\right)}{\text{السعة التبادلية الكاتيونية}} \times ١٠٠$$

وفي الواقع تستخدم هذه القيمة بشكل واسع بالمقارنة مع القيمة السابقة (ESR) وذلك لأنه وجد من نتائج العديد من التجارب ان معظم صفات التربة الكيميائية والفيزيائية ومدى تدهورها ذات علاقة وثيقة بهذه القيمة بالمقارنة مع الصوديوم المتبادل (ESR) ٠ وتم الحصول على علاقة احصائية تجريبية بين قيمة SAR و ESP من قبل مختبر الملوحة الامريكي ، ويمكن بواسطتها حساب قيمة ESP بعد معرفة قيمة SAR لمياه الري او مستخلص العجينة المشبعة للتربة وبشكل التالي :

$$ESP = \frac{100\ (-0.0126+0.01475\ SAR\ )}{1+(-0.0126+0.01475\ SAR\ )}$$

وتعطي هذه الصيغة قيم نظرية للنسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) مقاربة جدا من القيم التحليلية المختبرية وخاصة عند المستويات غير العالية من SAR(لحد ٣٠)٠

العلاقة بين الملوحة والقلوية

من العلاقات المهمة في مجال كيمياء الترب المتأثرة بالملوحة هي العلاقة بين الملوحة والقلوية وبعبارة ادق وابسط العلاقة بين التركيز الكلي للأملاح في التربة معبرا عنه بالتوصيل الكهربائي والأس الهيدروجيني (pH) وذلك لان درجة التفاعل تعتبر محصلة او داله للتفاعلات الحامضية والقاعدية لمكونات التربة٠ وبالرغم من ان العلاقة بين الملوحة والقلوية تتأثر بنسبة ونوع المعدن الطيني السائد في التربة وبدرجة تحلل الايونات وخاصة الصوديوم الا اننا سنتطرق الى العلاقة العامة بين الملوحة والقلوية حسب المعلومات المتوفرة من المراجع العلمية٠ لقد حاول كوفدا (Kovda,1973) وبناء على عدد كبير من البيانات التي جمعت من قبله ولمختلف الترب والمياه الجوفية أن يحصل على علاقة بين ملوحة وقلوية التربة حيث يظهر من الشكل(٢٠ ص ١٢٦) إن قيم الأس الهيدروجيني بشكل عام تقل كلما زاد التركيز الكلي للأملاح الذائبة لمحلول التربة او المياه الارضية وفسر هذا الباحث هذه العلاقة على اساس تغير اطوار تراكم الاملاح مع زيادة الملوحة ، حيث ان عملية تراكم الاملاح تبدأ بالطور الاول الذي يتميز بسيادة املاح الكربونات والبيكربونات وبالرغم من ان كمية هذه الاملاح تكون عادة قليلة في التربة الا انها تعمل على رفع قيم الأس الهيدروجيني بشكل نسبي ، وبزيادة الملوحة يظهر الطور الكبريتي ثم الطور الكلوريدي وعندئذ تختفي الاملاح الكاربونية من المحلول ويصاحب ذلك انخفاض في قيم الأس الهيدروجيني لمحلول التربة حيث يتصف الطورين بأس هيدروجيني متعادل أو قريب منه٠

المحاضرة السابعة
طرق التعبير عن ملوحة التربة

اولا: طرق قياس الملوحة ومنها:

١- قياس الملوحة حقليا: لقد برزت في السنوات الاخيرة أتجاه لقياس الملوحة في الظروف الحقلية وذلك على اعتبار ان مثل هذا القياس يعتبر ممثلا فعليا لملوحة التربة التي تنعكس بشكل ضغط ازموزي على النبات٠حيث نتمكن في مثل هذا الاسلوب من رصد ملوحة التربة وتوزيعها أفقيا وعموديا في التربة بظروف الحقل ومنها :

أ- طريقة استخدام الإناء الخزفي (Ceramic cup method) يتم قياس الملوحة في المحلول النافذ الى وعاء خزفي عند جهد مائي (٠,٣بار)٠

ب- مجس التشرب المسامي : وهي عبارة عن خلية خاصة لقياس التوصيل الكهربائي وبداخلها ماء التربة بفعل الخاصية الشعرية وتحتوي على أقطاب كهربائية تسمح بقياس التوصيل الكهربائي بمعرفة ثابت الخلية٠

ج- مجس قياس التوصيل الكهربائي للتربة ٠

٢- قياس الملوحة مختبريا: ويتضمن ذلك استخلاص مكونات محلول الترب المتأثرة بالملوحة وذلك بإضافة الماء الى نموذج التربة ومزجه بشكل جيد لغاية الوصول الى حالة الاتزان ثم استخلاص المحلول الحاوي على معظم المكونات الذائبة في التربة٠وهناك أسلوبين للحصول على المستخلص:

أ- مستخلص العجينة المشبعة ٠

ب- المستخلص المائي عند مستويات رطوبة أعلى من العجينة المشبعة ٠

ثانيا- التعبير عن الملوحة: هناك عدة طرق للتعبير عن الملوحة الهدف منها هو لمعرفة التأثير الفعلي للملوحة على التربة والنبات ، ومن أهم هذه الطرق:

١- النسبة المئوية للأملاح ويعبر عنها (TDS) اي مجموع الاملاح الذائبة وتحسب عن طريق وزن الملح المترسب بعد تبخير المحلول الحاوي على الاملاح ويعبر عنه جزء بالمليون (ppm) أو كنسبة مئوية٠

٢- قياس التوصيل الكهربائي لمستخلص العجينة المشبعة أو اي مستخلص اخر، باعتبار ان هناك علاقة خط مستقيم بين تركيز الاملاح الموجودة في محلول التربة ومستخلصها مع قيم التوصيل الكهربائي لها ، ويعبر عنها بوحدات (ds/m) والشكل (٢٣ ص ١٣٥) يوضح هذه العلاقة٠

ثالثا- الحسابات: يستفاد من قيم التوصيل الكهربائي لمستخلص العجينة المشبعة في حساب النسبة المئوية للأملاح في التربة باستخدام العلاقة التالية:

$$\% \text{ salt in soil} = EC\ ds/m \times 0.064 \times \% \text{ water at extraction}/100$$

وكذلك في حساب تركيز الاملاح في مستخلص التربة معبرا عنه بالجزء بالمليون :

$$(ppm) \text{ salt solution} = EC\ ds/m \times 640$$

ويمثل المعاملان (0.064) و(640) ظل الزاوية لمعادلة الخط المستقيم للعلاقات الخطية المذكورة اعلاه٠كما يمكن الاستفادة من قيم التوصيل الكهربائي في حساب مجموع الكاتيونات والانيونات وحسب العلاقة التالية:

$$\text{Cation or anions} = EC\ ds/m \times 10$$

التركيب الأيوني للترب الملحية

بالإضافة الى قياس التوصيل الكهربائي لمستخلص العجينة المشبعة او اي مستخلص مائي للترب الملحية يتطلب بعض الاحيان قياس الايونات الرئيسية في هذه المستخلصات لمعرفة التركيب الايوني للتربة٠حيث يستفاد من هذه المعلومات في معرفة نوع الايونات السائدة في هذه الترب ومن الكاتيونات الرئيسية الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم اما الانيونات فهي الكلوريدات والكبريتات والبيكربونات والكربونات ، ويعبر عن تركيز هذه الايونات بالملي مكافئ/لتر٠ويفترض نظريا وحسب اسس التعادل الكهربائي ان يكون:

مجموع تركيز الكاتيونات (ملي مكافئ/لتر) = مجموع تركيز الأنيونات (ملي مكافئ/لتر) ، ويستفاد من هذه الطريقة في حساب أحد الكاتيونات او الأنيونات التي يصعب تقديرها او قياسها لسبب ما٠

التركيب الملحي للترب الملحية

بالرغم من ان الاملاح الموجودة في الترب الملحية توجد بشكل ايونات الا انه من الناحية النظرية يمكن ربط هذه الايونات مع بعضها لمعرفة نوع الاملاح السائدة في هذه الترب ، مستخدمين المعلومات المتوفرة والمتعلقة بقابلية ذوبان هذه الاملاح ٠ونستخدم هنا ابسط الصيغ لتعريف القارئ على كيفية ربط الايونات المختلفة المكونة للأملاح السائدة وقبل هذا يجب اولا ان يتوفر المبدأ التالي وهو(مجموع تركيز الكاتيونات = مجموع تركيز الأنيونات) وبعد التأكد من ذلك يتم توزيع الايونات على الاملاح المحتمل تواجدها في معظم الترب الملحية والمياه الجوفية ومياه الري وحسب التسلسل المبني على قابلية ذوبانها بالماء:

١- $CaCO_3$ -٢- $MgCO_3$ -٣- Na_2CO_3 -٤- $CaSO_4$ -٥- $MgSO_4$ -٦- Na_2SO_4 -٧- NaCl
٨- $MgCl_2$ -٩- $CaCl_2$

ونقصد بذلك ان الكربونات الذائبة (CO_3) توزع للارتباط اولا مع الكالسيوم لتكوين $CaCO_3$ والمتبقي ان وجد يرتبط بالمغنيسيوم وحسب تركيز الكالسيوم ، والمتبقي من الكربونات (ان وجد) يرتبط اخيرا مع الصوديوم لتكوين كربونات الصوديوم وهكذا بالنسبة لباقي الأنيونات (SO_4) و(Cl)٠

مثال: مستخلص تربة ملحية يحتوي الايونات التالية وتراكيزها: الكربونات ٤ ملي مكافئ/لتر والكبريتات ١٤ملي مكافئ/لتر والكلوريد ٢٠ملي مكافئ/لتر والكالسيوم ٦ ملي مكافئ/لتر والمغنيسيوم ١٢ملي مكافئ/لتر والصوديوم ٢٠ماي مكافئ/لتر ٠

اولا: مجموع الكاتيونات = ٣٨ملي مكافئ/لتر

مجموع الانيونات = ٣٨ ملي مكافئ/لتر

ثانيا – بعد توزيع الانيونات على الكاتيونات المختلفة نحصل على ما يلي:

نوع الملح	التركيز (ملي مكافئ/لتر)
$CaCO_3$	4
$MgCO_3$	0
Na_2CO_3	0
$CaSO_4$	2
$MgSO_4$	12
Na_2SO_4	0
NaCl	20
$MgCl_2$	0
$CaCl_2$	0

المحاضرة الثامنة
تصنيف وتسمية الترب المتأثرة بالملوحة

لقد وجدت منذ القدم تسميات مختلفة للترب المتأثرة بالملوحة في مختلف بلدان العالم٠الأأنه وبتقدم علوم التربة وطرق التحليل فقد اقترحت مؤشرات أساسية لتوصيف وتصنيف الترب ، ومن اكثر الطرق شيوعا واستعمالا في تصنيف الترب المتأثرة بالملوحة في العالم :

١- التصنيف الامريكي للترب المتأثرة بالملوحة ٠
٢- التصنيف الروسي للترب المتأثرة بالملوحة٠
٣- التصنيف الاسترالي للترب المتأثرة بالملوحة٠
٤- التصنيف المقترح من قبل منظمة الغذاء والزراعة الدولية (FAO) ٠

التصنيف الامريكي للترب المتأثرة بالملوحة

لقد اعتمد مختبر الملوحة الامريكي ثلاثة مؤشرات في توصيف وتصنيف الترب المتأثرة بالملوحة وهي :١-التوصيل الكهربائي لمستخلص العجينة المشبعة (ECe) -٢-الأس الهيدروجيني (pH) -٣-النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) ، وبناء على ذلك قسمت الترب المتأثرة بالملوحة الى المجاميع التالية:

صنف التربة	التوصيل الكهربائي	الاس الهيدروجيني	النسبة المئوية للصوديوم المتبادل
ترب غير ملحية	اقل من ٤	اقل من ٨,٥	اقل من ١٥
ترب ملحية	اكثر من ٤	اقل من ٨,٥	اقل من ١٥
ترب ملحية- قلوية	اقل من ٤	اقل من ٨,٥	اكثر من ١٥
ترب قلوية	اقل من ٤	اكثر من ٨,٥	اكثر من ١٥

وقد جرى في السنوات الاخيرة تعديل في تسمية بعض هذه المجاميع حيث استبدل مصطلح القلوية بالصودية وكذلك اعتبر الحد الفاصل بين الترب غير الملحية والترب الملحية (٢) ديسي سيمنز/م واستخدم مصطلح (SAR) بدلا من النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) للدلالة على الصودية كما استخدم وحدة النظام العالمي (ديسي سيمنز/ م) بدلا من (مليموز/ سم)٠

التصنيف الروسي للترب المتأثرة بالملوحة

لقد اعتمد التصنيف الروسي على المؤشرات الكيميائية والمورفولوجية في تصنيف وتسمية الترب المتأثرة بالملوحة٠فمن الناحية الكيميائية استخدم المؤشرات التالية:

١- الملوحة معبرا عنها كنسبة مئوية للأملاح القابلة للذوبان من وزن التربة الجافة ٠ وتقدر الاملاح الذائبة في مستخلص تربة: ماء (١:٥)٠
٢- التركيب الملحي للأملاح المتراكمة في التربة وذلك للدلالة على نوع الكاتيونات والانيونات السائدة في التربة، ويتم تقديرها في مستخلص تربة: ماء (١:٥) ايضا٠
٣- النسبة المئوية للصوديوم المتبادل في الافق (B) خاصة بالنسبة للترب المتأثرة بأملاح الصوديوم٠

اما من الناحية المورفولوجية فقد استخدم القشرة الملحية ونوع البناء في بعض الافاق كأساس لتصنيف الترب المتأثرة بالملوحة بالإضافة الى التحليل الكيميائي٠وبناء على ذلك قسمت الترب المتأثرة بالملوحة الى مجموعتين رئيسيتين:

١- ترب السولنجاك Solonchak soiles

ويقصد بها الترب الملحية الحاوية على كمية كبيرة من الاملاح في الافاق العليا (صفر-٣٠سم) وتزيد فيها نسبة الاملاح عن (٢%) وتكون درجة التفاعل متعادلة- قليلة القلوية (٧,٥-٨,٣) وتتصف هذه الترب بعض الاحيان بقشرة ملحية على سطح التربة٠ وبشكل عام تعتبر السولنجاك مقابلة للترب الملحية حسب التصنيف الامريكي٠

٢- ترب السولونيتس Solonets soiles

تتميز هذه المجموعة من الترب ببناء عمودي في الافق (B) الذي يكسبه صفات الصلادة وعدم النفاذية للماء والهواء والجذور، ويحتوي الافق (B) عادة على نسبة عالية من الصوديوم المتبادل (ESP) الذي يعتبر السبب المباشر لتكوين البناء العمودي الصلد٠ويعتبر كوفدا(Kovda,1973) الافاق التالية مميزة في ترب السولونيتس:

١- الافق (A) افق مغسول قليل الملوحة تعرض الى عملية التدهور وسمكه يتراوح بين (صفر-١٥سم) و(صفر- ٢٠سم)

٢- الافق (B) تجمعي وسمكه (١٠) او (٢٠) سم ذو بناء عمودي او منشوري و ذو تفاعل قلوي (الأس الهيدروجيني ٩ او اكثر) ويحتوي على بيكربونات الصوديوم بمقدار(٠,١%) كما يحتوي على نسبة عالية من الصوديوم المتبادل بنسبة (٢٠ -٢٥%) من السعة التبادلية الكاتيونية٠

٣- الافق (C) افق في معظم الاحيان يكون ملحي ويحتوي على الكربونات والكبريتات والكلوريدات وبشكل عام تتميز ترب السولونيتس بماء جوفي عميق٠

التصنيف الاسترالي للترب المتأثرة بالملوحة

لقد اعتمد هذا التصنيف والمقترح من قبل العالم (Ske-ne,1969) على ثلاثة مؤشرات لتوصيف الترب المتأثرة بالملوحة:

١- الملوحة معبرا عنها بقيمة النسبة المئوية لكلوريد الصوديوم في التربة ٠

٢- الصودية معبرا عنها بقيمة النسبة المئوية للصوديوم المتبادل ٠

٣- القلوية معبر عنها بقيمة الأس الهيدروجيني في مستخلص (١:٥) تربة: ماء ٠وبناء على هذه القيم الثلاث فقد تم تصنيف الترب المتأثرة بالملوحة في استراليا الى (٢٧) صنف ممثلة بجميع احتمالات التداخل بين هذه القيم الثلاث موزعة على ثلاثة مجاميع رئيسية (جدول ٣٥ ص ١٥٩)٠

تصنيف الترب المتأثرة بالملوحة بالعراق

يعتبر (Russel,1957) اول من حاول تصنيف الترب المتأثرة بالملوحة في العراق معتمدا التسميات المحلية لهذه الترب حيث قسم الترب المتأثرة بالملوحة الى:

١- ترب الشورة (Shura soil)

٢- ترب السبخة (Sabach soil)

وقام بمقارنة هاتين المجموعتين من الترب الملحية من الناحيتين المورفولوجية والكيميائية مبينا ان **ترب السبخة** هي ترب ملحية حاوية على نسبة عالية من املاح كلوريدات ونترات المغنيسيوم

والكالسيوم والتي لها القابلية على التميؤ لذلك فان سطح هذه الترب يتصف بالرطوبة واللزوجة واللون الداكن بينما **ترب الشورة** تتميز بقشرة ملحية بيضاء اللون جافة نوع ما وذلك لتراكم كمية كبيرة نسبيا من املاح كلوريدات وكبريتات الصوديوم والمغنيسيوم المتميئة ٠وتقسم ترب الشورة الى ثلاثة انواع من ناحية التركيب الملحي:

١- ترب شورة كلوريد الصوديوم وتتميز بقشرة ملحية متماسكة مكونة من حبيبات دقيقة٠

٢- ترب شورة كبريتات الصوديوم وتكون قشرتها الملحية مفككة وهشة ومنتفخة وتكون دقائق الملح بشكل ابري٠

٣- ترب شورة كبريتات المغنيسيوم قشرتها الملحية مفككة وهشة ومنتفخة ولكن بدون تجمع الاملاح الابرية البيضاء٠ ومن النادر العثور على مثل هذا النوع بشكل نقي، انما يتواجد في معظم الاحيان بشكل خليط٠

المحاضرة التاسعة

تأثير ملوحة التربة على نمو النبات

تقسم النباتات في الطبيعة الى مجموعتين رئيسيتين من ناحية تأثرها بالملوحة:

أ-المجموعة الاولى- وتظم النباتات الملحية (الهالوفايت) Halophytes وهي النباتات التي تستطيع النمو بشكل اعتيادي في الظروف الملحية حيث تأقلمت على هذا الوسط وذلك من خلال تطورأو تحور بعض الخصائص التشريحية او المورفولوجية او الفيزيولوجية لها لتساعدها على العيش في مثل هذه الاوساط الملحية٠ وبفضل تأقلمها على الملوحة تستطيع التغلب على تأثير الضغط الازموزي العالي للأوساط الملحية٠

ب-المجموعة الثانية – وتظم هذه المجموعة النباتات غير الملحية (الكليكوفايت) Glygophytes التي تشمل جميع المحاصيل الزراعية الاقتصادية التي يتأثر انتاجها بالملوحة ، وان شدة تأثير الملوحة على انتاج المحاصيل الزراعية يعتمد على الظروف المحيطة اي المتعلقة بخصوبة التربة وادارتها وظروف الانتاج الاخرى ، وسنناقش تأثير الملوحة على محاصيل هذه المجموعة باعتبارها هي المحاصيل الاقتصادية والأكثر أهمية لنا٠

طبيعة تأثير الملوحة على النبات

للملوحة تأثيرات متعددة على المحاصيل الزراعية ، وتسهيلا لدراستها تقسم هذه التأثيرات الى :

أ- التأثيرات المباشرة: ويقصد بها تأثيرات الملوحة التي تحدث بشكل مباشر على نمو النبات وتؤدي الى عرقلة نموه وتقليل من انتاجه ويمكن حصر هذه التأثيرات بما يلي:

١- تأثيرات الضغط الازموزي :حيث يؤدي ارتفاع الضغط الازموزي في محلول التربة الى عجز النبات من امتصاص الماء اللازم لفعاليته الحيوية والنتح٠ ويعتبر مدى تأثر النبت بالضغط الازموزي ومدى امكانية تنظيم النبات ضد تأثير الضغط الازموزي احد الاسس التي تستخدم في الوقت الحاضر لتصنيف النباتات من ناحية تأثرها بالملوحة وبموجب هذا تصنف النباتات الى نباتات ملحية ونباتات متحملة للملوحة ونباتات غير متحملة للملوحة٠والشكل (٣١ص١٧٦) يوضح طبيعة هذه العلاقة٠

٢- التأثير السمي أو النوعي للأيونات : ان معظم الايونات الداخلة في تركيب الاملاح والمسببة زيادة ملوحة التربة مثل(الصوديوم والكلور والكالسيوم والمغنيسيوم والكبريتات والكربونات والبيكربونات) يمكن ان تسبب زيادة تراكيزها تأثيرات سمية معينة فبالنسبة للصوديوم والكلوريد قد سجلت حالات عديدة للتأثير السمي لها على كثير من المحاصيل الزراعية٠ومن الايونات الاخرى التي تتميز بتأثير سمي هو البورون الذي يظهر تأثيرات سمية لمعظم المحاصيل الزراعية عند وجوده بتركيز(٠,٥) جزء بالمليون في التربة٠

٣- التأثير على التوازن الغذائي في التربة : إن معظم تأثيرات الملوحة على اختلال التوازن الغذائي للنبات يرتبط بدرجة رئيسية بالتغذية الكاتيونية، خاصة ان امتصاص الكاتيونات من قبل النبات لا يعتمد على الكمية المطلقة لها في التربة وإنما يعتمد أيضا على نسبة هذه الكاتيونات بعضها الى البعض الاخر٠حيث لوحظ تملح التربة بأملاح الصوديوم والكالسيوم سبب انخفاض مستوى البوتاسيوم من النبات٠

٤- التأثير الفيزيولوجي للملوحة: لوحظ ان زيادة الملوحة في التربة تسبب تأثيرا سلبيا على التوازن الهرموني في النبات حيث تسبب انخفاض عمليات النقل من الجذور الى الاوراق وتجمع بعض الحوامض في الاوراق٠ان هذه التغيرات تسبب صغر فتحة الثغور ، وبذلك تقلل فقدان الماء٠

٥- تأثير الملوحة على فعالية الانزيمات في النبات: لقد اثبتت الكثير من الدراسات ان زيادة تركيز بعض الايونات له تأثير خاص على فعالية الانزيمات في النبات ومثال ذلك انخفاض فعالية انزيم (dehydrogenase) وانزيم (acetic thokinase) في النبات عند زيادة تركيز الاملاح في الوسط الخارجي للنبات ، واشارت بعض الابحاث ان زيادة الملوحة تسبب ضعف نشاط الانزيمات المسؤولة عن تمثيل البروتين٠

ب- التأثيرات غير المباشرة: تؤثر الملوحة بشكل غير مباشر على النبات وذلك من خلال تأثير احد مكوناتها سلبيا على صفات التربة ٠ومن الامثلة على ذلك هو تأثير الصوديوم المتبادل (ESP) على الصفات الكيميائية والفيزيائية للتربة مثل رفع درجة التفاعل باتجاه القلوية وخفض نفاذية التربة وضعف البناء وصلادته وانخفاض حركة الماء بالتربة وغيرها٠ ان هذه التأثيرات الناتجة على صفات التربة ستنعكس سلبا على نمو النبات٠

مظاهر تأثير الملوحة على المحاصيل الزراعية

ان المظاهر الناتجة عن الملوحة على المحاصيل الزراعية كثيرة ومتنوعة وتختلف من محصول لأخر ومن طور الى طور اخر لنفس المحصول٠ ونوجز هنا اهم هذه المظاهر:

١- فشل عدد كبير من البذور على الانبات وكذلك تأخر في موعد الانبات لعدم كفاية امتصاص الماء اللازم للتشرب والانتفاخ للبذور٠

٢- تؤثر الملوحة على حجم النبات حيث تكون النبتات النامية في الظروف الملحية صغيرة الحجم وهذا ما يطلق علية بظاهرة التقزم بسبب الملوحة وهذا ينعكس على الحاصل كما ونوعا٠

٣- تؤثر الملوحة على اختلال التوازن الغذائي (Nutritional balance) في التربة والنبات وكذلك تؤثر الملوحة على ظاهرة التفضيل (Selectivity) للنبات في امتصاص العناصر الغذائية اللازمة له فان ذلك يسبب امتصاص النبات عناصر لا يحتاجها وغير مرغوب بها وبالتالي تجمعها داخل النبات مسببة حروق وغيرها من الاضرار٠

٤- لقد لوحظ تغيرات مورفولوجية وتشريحية عديدة على المحاصيل المتعرضة الى تراكيز عالية من الاملاح مثل صغر حجم الورقة وقلة عدد الخلايا فيها مع كبر حجم الخلية ، زيادة سمك الورقة وصغر فتحات الثغور ، زيادة نسبة الازهار الذكرية بالمقارنة مع الانثوية ، تغير لون الورقة الى اخضر مزرق في الظروف الملحية٠

تحمل المحاصيل للملوحة Salt tolerance

يعد مدى تحمل المحاصيل الزراعية الاقتصادية من أهم المواضيع في مجال علاقة النبات بالملوحة وذلك لأهمية الموضوع من الناحية الوراثية والتطبيقية٠ حيث يسعى المختصون في مجال وراثة وتربية النبات الى فهم طبيعة وميكانيكية تحمل المحاصيل للملوحة من اجل استخدام هذه المعطيات لا يجاد اصناف اقتصادية متحملة للملوحة٠ ويعتبر هذا الاسلوب احد الاساليب للتعايش مع الملوحة وادارة الترب الملحية٠

تعريف مصطلح التحمل

من الناحية الفسيولوجية يعرف تحمل النبات للملوحة بأنه تجمع الايونات وتراكمها في جسم النبات دون ظهور أي تأثيرات سلبية على النمو والانتاج اما من الناحية الزراعية فيقرر مدى تحمل المحصول للملوحة ثلاثة معايير :

١- قابلية المحصول للعيش في الترب الملحية٠

٢- مدى تدهور حاصل المحصول بالتربة٠

٣- الحاصل النسبي للمحصول في التربة الملحية مقارنة مع حاصله في الترب غير الملحية وعند نفس ظروف النمو٠ويعد هذا المعيار الاساسي في هذا المجال٠

المؤشرات المستخدمة لتحديد تحمل المحاصيل للملوحة

١- تحديد العوامل التي تؤثر على تحمل المحصول للملوحة : يقصد بذلك اي العوامل تؤثر بشكل اساسي على نمو النبات النامي في الظروف الملحية ، هل ان التأثير أزموزيا او نوعيا لبعض الايونات او لكليهما٠

٢- تحديد كيفية قياس الملوحة والتعبير عنها: وذلك من خلال استخلاص هذه الاملاح بتحضير مستخلص(تربة وماء) وبنسبة (١:٥) ويعبر عن الملوحة كنسبة مئوية٠

٣- تحديد جزء النبات الممثل للملوحة: ان كثير من المحاصيل يتأثر الحاصل بدرجة كبيرة بسبب الملوحة في التربة دون ملاحظة تأثير على النمو الخضري ومثال ذلك الذرة والطماطة والرز، بينما محاصيل اخرى يتأثر حاصلها الخضري بشدة بالملوحة ولكن يبقى حاصلها من الحبوب والالياف اعتياديا مثل الشعير والقطن٠

٤- تحديد مرحلة(طور) النمو الممثل لتأثير الملوحة على النبات: المحاصيل الزراعية تختلف من ناحية تأثرها بالملوحة باختلاف طور او مرحلة النمو٠البنجر السكري يكون حساس للملوحة في مرحلة الانبات بحدود (٤-٦ديسي سيمنز/م) ولكنه يستطيع تحمل ثلاثة اضعاف هذه النسبة عند تجاوز هذه المرحلة ،بينما محاصيل الشعير والحنطة والرز تكون حساسة للملوحة في المراحل الاولى من فترت البزوغ بالمقارنة مع مرحلة الانبات٠ كما ان الرز يظهر حساسية للملوحة مرة اخرى خلال مرحلة التزهير٠

٥- تحديد حساسية الاصناف المختلفة من المحصول للملوحة٠

المحاضرة العاشرة

نوعية مياه الري

ان معرفة نوعية مياه الري ومؤشراتها ذات أهمية كبيرة لذلك اصبح من الضروري تعريف المختصين والعاملين في مجال المياه للأغراض الزراعية على أهم المؤشرات المستخدمة في العالم لتحديد نوعية وصلاحية مياه الري للزراعة٠

تأثيرات الري على التربة

ان ادخال الري في الزراعة سيؤدي الى تغيرات كثيرة ومتنوعة في التربة ، منها ايجابية ومنها سلبية على الامد القريب والبعيد٠ ويمكن ان نوجز اهم التأثيرات التي يمكن ان تجرى في التربة عند استخدام الري في الزراعة :

١- الملوحة ٠

٢- القلوية والصودية٠

٣- التغير في الصفات الكيميائية للتربة٠

٤- التغير في الصفات الفيزيائية للتربة ٠

٥- التغير في الصفات الخصوبية والحيوية للتربة٠

٦- التغير في الطوبوغرافية٠

الملوحة : ان مياه الري يمكن ان تسبب مشكلة الملوحة من خلال تأثيرين – التأثير المباشر من خلال نقل كميات كبيرة من الاملاح الى الأرضي الزراعية ، والتأثير غير المباشر من خلال رفع مستوى المياه الجوفية في الاراضي الزراعية والتي تؤثر بدورها بشكل اساسي في عملية التملح٠ وهذه يمكن ملاحظتها بشكل خاص في المناطق الجافة وشبه الجافه ، وبشكل عام يزداد دور مياه الري في زيادة ملوحة التربة بزيادة عدد الريات وبزيادة تركيز الاملاح فيها٠والشكل (٥٤ ص٢٢٥) يوضح طبيعة هذه العلاقة٠

القلوية والصودية : يمكن ان يؤدي استخدام الري في بعض المناطق وفي ظروف معينة الى زيادة النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) في التربة وتطور مشاكل الصودية فيها خاصة عند استخدام مياه ذات محتوى عالي للصوديوم وبعباره ادق ذات (SAR) عالي نسبيا٠ ويبين الجدول(٥٢ ص ٢٢٦) التغير في قيم النسبة المئوية للصوديوم المتبادل في التربة بعد عدة سنوات من استخدام مياه الري٠

التغير في الصفات الكيميائية للتربة : ان من اهم التغيرات الكيميائية التي يمكن أن تحدث في التربة بسبب استخدام مياه الري هي:

١- تغيرات في قيمة الأس الهيدروجيني للتربة٠

٢- تشبع معقد التبادل بكاتيونات مختلفة ٠

٣- نقل كميات كبيرة من دقائق الطين والغرين والرمل الى التربة المروية والتي ستؤثر حتما على الصفات الكيميائية والمعدنية للتربة٠

٤- إذابة وترسيب بعض الاملاح والمعادن وخاصة الكلس والجبس٠

٥- تغير ظروف الاكسدة والاختزال في التربة ٠

التغير في الصفات الفيزيائية للتربة : يمكن ان يحدث الاستخدام الطويل الامد لمياه الري تغيرات عديدة ومتنوعة في الصفات الفيزيائية للتربة منها :

١- تغير نسب مفصولات التربة الثلاث بسبب نقل كميات من الرواسب تحوي على نسب مختلفة من دقائق الطين والغرين والرمل ٠

٢- التأثير المباشر وغير المباشر على نفاذية التربة ٠

٣- التغير في سرعة الرشح ٠

التغير في الصفات الخصوبية والصفات الحيوية للتربة : إن تغيرات كثيرة يمكن ان تحصل في الصفات الخصوبية والحيوية للتربة نتيجة الاستخدام الطويل الامد لمياه الري ، ومن أهم هذه التغيرات :

١- زيادة احتياطي العناصر الغذائية في التربة بسبب نقل الطين ٠

٢- غسل العناصر الغذائية من الافاق السطحية الى الافاق تحت السطحية٠

٣- يحتمل ان تنقل مياه الري في بعض الاحيان عناصر سامة وملوثة للتربة مثل البورون٠

٤- تغيير بيئة التربة المناسبة للأحياء الدقيقة ٠

٥- ان تغير ظروف الاكسدة والاختزال بالتربة نتيجة الري يؤدي الى حدوث تغير في جاهزية بعض العناصر الغذائية٠

التغيرات في الطوبوغرافية :ان الاستخدام الطويل الامد لمياه الري يمكن ان يؤدي الى تغيرات في الطبوغرافية وخاصة في التضاريس الموقعية في التربة بسبب الكميات الهائلة من الطمى التي تحملها مياه الري سنويا الى الارضي الزراعية٠

المحاضرة الحادية عشر

العوامل المحددة لصلاحية مياه الري :

إن صلاحية المياه لأغراض الري والزراعة تعتمد على العوامل التالية:

١- نوعية مياه الري -٢-التربة -٣- المحصول -٤- الظروف المناخية -٥- أدارة الري والبزل

بالرغم من أن عامل نوعية مياه الري يقع في مقدمة هذه العوامل الا اننا سنرجأ مناقشته لاحقا وسنخصص له جزء مستقل في هذا الفصل لأهميته وسف نتطرق الى دور العوامل الاخرى:

التربة : تؤثر التربة في تحديد صلاحية مياه الري من خلال صفاتها الفيزيائية والكيميائية ، حيث يمكن ان تكون نفس المياه صالحة لري هذه التربة وغير صالحة لتلك التربة وذلك اعتمادا على خواصها الكيميائية والفيزيائية والتي نوجز منها :

١-نسجة التربة: إمكانية استخدام مياه ذات ملوحة عالية نسبيا في الترب الرملية ، ويتعذر استخدامها في الترب الطينية لإمكانية تراكم الاملاح في الترب الطينية وعدم تراكمها في الترب الرملية٠

٢- بناء التربة :يؤثر بناء التربة على كثير من صفات التربة ذات العلاقة بحركة الماء خلال التربة مثل سرعة الرشح والنفاذية والتوصيل المائي وتكوين القشرة على السطح يرتبط ببناء التربة ٠

٣- السعة التبادلية الكاتيونية : تلعب السعة التبادلية الكاتيونية دورا في تحديد القابلية التنظيمية للتربة بالنسبة للأيونات الموجبة المحمولة مع مياه الري بسبب تفاعلات التبادل الايوني بين المياه والتربة لذلك كلما كانت السعة التبادلية للتربة عالية كلما قلت نسبة الصوديوم المتبادل وبالتالي قل تأثيره على صفات التربة٠

٤- وجود الكلس والجبس بالتربة : يعتبر هذين المركبين مصدرا لأيونات الكالسيوم التي تلعب دورا في منع او التقليل من مخاطر الصودية عند سقي التربة بمياه حاوية على تراكيز عالية من الصوديوم٠

المحصول : تقسم المحاصيل الزراعية من ناحية تحملها للملوحة الى محاصيل حساسة للملوحة ومحاصيل متوسطة التحمل للملوحة ومحاصيل متحملة للملوحة ، فان تقرير صلاحية مياه الري في اي ظرف يجب ان يأخذ بنظر الاعتبار نوع المحصول٠ فمياه الري غير المناسبة او الصالحة لري بعض المحاصيل الحساسة يمكن ان تعتبر صالحة لمحاصيل اخرى متحملة للملوحة٠

الظروف المناخية : تشمل الظروف المناخية درجة الحرارة وكمية الامطار الساقطة سنويا وسرعة الرياح وسرعة التبخر٠ إن هذه العوامل تحدد ما يسمى (الاستهلاك المائي) للمحصول ، ففي الظروف المناخية التي يكون فيها الاستهلاك المائي عالي نتجنب استخدام مياه ذات ملوحة عالية لأنه في هذه الظروف نحتاج كميات عالية من مياه الري لسد حاجة النبات

ومتطلبات التبخر وان هذه الكميات من المياه ستنقل معها كميات كبيرة من الاملاح ، ان كثرة الامطار الساقطة تقلل من كمية متطلبات الغسل الازمة٠ وانها تلعب دور في غسل الاملاح المتراكمة في التربة ففي الظروف التي نضطر فيها الى استخدام مياه ذات ملوحة عالية ينصح استخدامها خلال فترة سقوط الامطار وفي الفترات التي تكون فيها سرعة التبخر واطئة للتقليل من اثر ملوحة مياه الري على النبات٠

ادارة الري والبزل : ان استخدام طرق الري المناسبة لكل تربة ولكل محصول تساعد في تحديد مدى صلاحية مياه الري٠ ان اختيار طريقة الري المناسبة يرتبط بنوعية مياه الري المستخدمة وعليه : ١- ينصح باستخدام طريقة الري بالرش للمياه العذبة لان استعمال المياه المالحة بهذه الطريقة يسبب ضرر كبير للنبات بسبب امتصاص الجزء الخضري للأملاح ٢- استخدام المياه المالحة بواسطة الري بالتنقيط في حالة شحة المياه في الترب الرملية فقط ٣- في حالة وجود شبكات بزل يسمح باستخدام مياه ذات ملوحة عالية نسبيا

٤- نتجنب استخدام المياه ذات الملوحة العالية نسبيا في الاراضي غير المجهزة بشبكات بزل فعالة والشكل (٥٥ ص ٢٣١) يوضح العلاقة بين كمية الاملاح المتراكمة في التربة وعدد الريات وعلاقة ذلك بظروف البزل٠

نوعية مياه الري :

ان نوعية مياه الري تعد أحد العوامل الرئيسة المحددة لصلاحية المياه للري ، ويتم الحكم على نوعية المياه للري من خلال اجراء التحليل الكيميائي للمياه المراد استخدامها ، وعلى ضوء بعض المؤشرات يقرر صلاحية المياه لأغراض الري٠ ولأهمية المؤشرات التي تحدد نوعية المياه للري سوف نتطرق الى هذه المؤشرات بالتفصيل :

١- الكمية الكلية للأملاح الذائبة ذات العلاقة بمخاطر الملوحة

تحتوي جميع مياه الري وان اختلفت مصادرها على كميات من الاملاح الذائبة بشكل ايونات مثل (الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكلوريدات والكبريتات والكربونات والبيكربونات) وكميات قليلة من البورون٠وتعد الكمية الكلية للأملاح الذائبة في مياه الري من المؤشرات الاساسية والرئيسية المحددة لنوعية مياه الري٠ وتكمن أهمية هذا المؤشر في انه يعكس لنا مدى ما تحمله مياه الري من املاح ذائبة الى الاراضي الاروائية ، ودور هذه الاملاح في رفع الضغط الازموزي لمحلول التربة وتدهور صفات التربة على مدى فترات طويلة من استخدام الري٠

ويعبر عن الكمية الكلية للأملاح في مياه الري بمجموع المواد الذائبة (TDS) والوحدة المستعملة للتعبير عنها هي (ppm) او (ملغم/لتر) وتعد الوحدة الاخيرة اكثر دقة من ناحية التعبير عن الكمية الكلية للمواد المذابة في مياه الري لان وحدة الجزء بالمليون تعبر عن وزن الاملاح في وحدة وزن من المحلول وليس وحدة حجم من المحلول٠

لقد استخدمت الكمية الكلية للمواد المذابة للتعبير عن الضغط الازموزي لمياه الري ومحلول التربة والعلاقة بين الضغط الازموزي والكمية الكلية للمواد المذابة عند نسبة (٥-١٠) ملغم/ لتر تكون بالشكل التالي :

$$\Psi^{0} \text{bar} = 5.6 \times 10^{-4} \times \text{TDS (mg/L)}$$

كما استخدم التوصيل الكهربائي للتعبير عن الكمية الكلية للأملاح الذائبة في مياه الري٠وذلك لوجود علاقة طردية بينهما ، وتستخدم حديثا وحدة السيمنز (S) للتعبير عن التوصيل الكهربائي حيث أن :

1 S/m = 10 mmhos/Cm

mS / Cm = 1 mmhos/ Cm

1 dS/ m =1 mmhos / Cm

بالنسبة لمياه الري يفضل استخدام (الملي سيمنز/سم) ومن خلال اختبار العلاقة بين التوصيل الكهربائي والضغط الازموزي لعدد كبير من المياه وجدت العلاقة التالية :

$$\Psi^{0} \text{bar} = - 0.36 \times \text{EC mS/Cm}$$

ويمكن تحويل قيم التوصيل الكهربائي الى قيم الكمية الكلية للمواد الذائبة في مياه الري حسب العلاقة التالية :

TDS mg/ L = 0.64 × EC mS/ Cm

ومن أكثر الطرق استعمالا لتصنيف مياه الري حسب الكمية الكلية من للأملاح الذائبة (مخاطر الملوحة)هي :

المحاضرة الثانية عشر

تصنيف مختبر الملوحة الامريكي :

تصنف مياه الري بالنسبة لمخاطر الملوحة حسب مختبر الملوحة الامريكي الى

صنف المياه	الرمز	TDS ملغم/لتر	التوصيل الكهربائي مايكروموز/سم	مدى صلاحية المياه
ذات ملوحة واطئة	C1	اقل من ٢٠٠	اقل من ٢٥٠	مياه صالحة لمعظم المحاصيل وفي معظم الترب
ذات ملوحة متوسطة	C_2	٢٠٠-٥٠٠	٢٥٠-٧٥٠	مياه صالحة لمعظم المحاصيل متوسطة التحمل
ذات ملوحة عالية	C_3	٥٠٠-١٥٠٠	٧٥٠-٢٢٥٠	لا تستخدم هذه المياه الا بوجود شبكة بزل فعالة ومحاصيل عالية التحمل للملوحة
ذات ملوحة عالية جدا	C_4	١٥٠٠-٣٠٠٠	٢٢٥٠-٥٠٠٠	مياه غير صالحة في الظروف الاعتيادية يمكن استخدامها :تربة ذات نفاذية عالية جدا وبزل كفؤ ومحاصيل عالية التحمل

*المايكروموز/سم =١/١٠٠٠ من الملي موز/سم او ملي سيمنز/سم

اما التحوير المقترح لتصنيف مياه الري بالنسبة مخاطر الملوحة حسب التصنيف الامريكي المعدل فهو كالتالي:

صنف مياه الري	الرمز	التوصيل الكهربائي ميكروموز/سم	مدى صلاحية المياه
ذات ملوحة عالية	C_4	٢٢٥٠-٤٠٠٠	
ذات ملوحة عالية جدا	C_5	٤٠٠٠-٦٠٠٠	
ذات ملوحة شديدة جدا	C_6	اكثر من٦٠٠٠	مياه يجب ان لا تستخدم لا اغراض الري

٢- التصنيف الروسي حسب كوفدا

يصنف مياه الري بالنسبة لمخاطر الملوحة الى :

كمية الاملاح الذائبة (غم /لتر)	مدى صلاحية المياه
٠,٢ -٠,٥	مياه من اجود الانواع
١ – ٢	مياه تسبب مخاطر للملوحة
٣ - ٧	مياه يمكن استعمالها فقط في حالة توفر الغسل و البزل التام

٢- التركيب الكيميائي (الأيوني) لمياه الري وخاصة ذو العلاقة بمخاطر الصودية :

بالرغم من ان جميع مكونات (ايونات) مياه الري تعتبر ذات اهمية في تحديد نوعية مياه الري وصلاحيتها للزراعة ، الا ان التركيز قد جرى على ايونات **الصوديوم** باعتبارها مصدر خطر للقلوية والصودية ، اضافة الى تأثيرها السمي المباشر على نمو المحاصيل الزراعية٠ولقد اقترحت صيغ عديدة للتعبير عن خطورة الصوديوم في مياه الري واهمها استعمالا في الوقت الحاضر هو مصطلح نسبة امتزاز الصوديوم (SAR) والمقترح من قيل مختبر الملوحة الامريكي كمؤشر بخطورة الصودية لمياه الري والذي يساوي :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$$

معبرا عن التركيز بالملي مكافئ/لتر ، وان هذه الصيغة مشتقة من معادلة كابون التالية:

$$ESR = K_G .SAR$$

حيث ان (ESR) تعبر عن نسبة الصوديوم المتبادل على اسطح دقائق التربة والذي يساوي

$\left(\frac{Nax}{CEC-Nax}\right)$ وأن x يعني متبادل ٠

لقد حصل العاملون في مختبر الملوحة الامريكي على علاقة احصائية بين قيمة (SAR) وقيمة النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP) في التربة وهي كالاتي :

$$ESP = \frac{100\ (-0.0126+0.01475\ SAR)}{1+(-0.0126+0.01475\ SAR)}$$

حيث ان قيمة (0.0126-) تمثل قيمة التقاطع مع المحور العمودي (Intercept) والقيمة (0.01475) تمثل قيمة معادلة الخط المستقيم ٠

وتعتبر قيمة ال(SAR) من اكثر القيم تطبيقا في تقييم نوعية مياه الري في الوقت الحاضر، وذلك لاشتقاقها من معادلة نظرية معروفة هذا من جهة ونجاح تطبيقها في كثير من الحالات٠ لقد تم تصنيف مياه الري حسب قيمة (SAR) من ناحية مخاطر الصودية بالشكل التالي :

صنف المياه	الرمز	قيمة SAR	الصلاحية
قليلة الصوديوم	S_1	صفر- ١٠	يمكن ان تستخدم في معظم الترب ولمعظم المحاصيل
متوسطة الصوديوم	S_2	١٠- ١٨	يمكن ان تسبب بعض المخاطر في الترب الطينية عند عدم توفر بزل جيد والجبس
عالية الصوديوم	S_3	١٨- ٢٦	يمكن ان تسبب مشاكل بسبب ارتفاع النسبة المئوية للصوديوم في التربة وعند استخدامها تحتاج التربة الى ادارة خاصة
عالية جدا بالصوديوم	S_4	اكثر من ٢٦	تعد غير صالحة للري الا في حالات معينة كتوفر الجبس بكميات كبيرة

ان تطبيق واستخدام صيغة نسبة امتزاز الصوديوم لفترة طويلة من الزمن على ترب متنوعة ومياه ري مختلفة اكد على ضرورة اجراء بعض التحوير على هذه الصيغة وخاصة في مياه الري الحاوية على تراكيز معينة من ايونات الكالسيوم والبيكربونات ، لان استخدام مثل هذه المياه سيؤدي الى ترسيب كربونات الكالسيوم في التربة وبالشكل التالي:

$$Ca + 2HCO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + CaCO_3$$

ان ترسيب الكالسيوم من مياه الري بشكل كربونات سيؤدي الى تغيير نسبة الصوديوم الى مجموع الكالسيوم والمغنيسيوم وبالتالي تغيير نسبة امتزاز الصوديوم ، لذلك وجد من الضروري اجراء تحوير في قيمة امتزاز الصوديوم لكي تصلح لتقييم نوعية مياه الري بشكل دقيق حيث استخدم (دليل التشبع) Saturation Index المقترح من قبل Langelier الذي يعكس مدى ميل المياه لترسيب الكربونات عند تماسها مع التربة وتعرضها للتبخر ويعرف **دليل التشبع** بأنه الفرق بين قيمة الأس الهيدروجيني الفعلية لمياه الري (pHa) وقيمة الأس الهيدروجيني النظرية (pHc) التي تتصف في المياه عندما تكون في حالة من الاتزان مع كربونات الكالسيوم اي ان:

$$\text{Saturation Index} = pHa - pHc$$

فاذا كانت قيم دليل التشبع موجبة فان ذلك يشير الى احتمال ترسيب كربونات الكالسيوم من مياه الري المستخدمة بينما تشير القيم السالبة لدليل التشبع الى احتمال ذوبان كربونات الكالسيوم

، او بعبارة ادق ان المياه المستخدمة تسبب ذوبان كربونات الكالسيوم الموجودة في التربة اصلا٠ ويتم حساب قيمة الأس الهيدروجيني النظرية لمياه الري حسب المعادلة التالية:

$$PHc = (PK_2 – PK_C) + P(Ca +Mg) + PAlK$$

حيث ان : PH_C = اللوغاريتم السالب (Log-) لثابت ذوبان كربونات الكالسيوم

PK_2 = اللوغاريتم السالب لثابت التحلل لحامض الكربونيك ٠

P(Ca +Mg) = اللوغاريتم السالب لتركيز ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم في مياه الري ٠

PAlK = اللوغاريتم السالب لتركيز ايونات الكربونات والبيكربونات في مياه الري ٠

ولغرض تسهيل حساب قيم اللوغاريتم للأيونات السابقة فقد نظمت جداول خاصة (جدول ٥٨ص ٢٤٤) يمكن بواسطتها حساب هذه القيم بعد معرفة تراكيز الايونات حيث يتم حساب قيمة (PK_2- PK_C) من مجموع تراكيز (الصوديوم +الكالسيوم + المغنيسيوم) وحساب قيمة P(Ca + Mg) من مجموع تركيز (الكالسيوم + المغنيسيوم) وحساب قيمة (PAlK) من مجموع تركيز (CO_3 + HCO_3) ، وبعد معرفة القيم المذكورة انفا بواسطة هذا الجدول يمكن حساب قيمة (PH_C) فاذا كانت القيمة اكثر من (٨,٤) فهذا يدل على ان لمياه الري الميل للإذابة الكلس في التربة٠اما اذا كانت اقل من (٨,٤) فهذا يشير الى ان لمياه الري الميل لترسيب الكلس٠

وبناء على ذلك فقد اقترحت قيمة معدلة لقيمة (SAR) اطلق عليها نسبة امتزاز الصوديوم المعدلة (Adjusted SAR) والتي تأخذ بنظر الاعتبار احتمالات ترسيب جزء من الكالسيوم والمغنيسيوم من مياه الري عند تماسها بالتربة٠ وتحسب بالشكل التالي :

$$Adj.SAR = SAR [1+ (8.4 – PH_C]$$

وكقاعدة عامة تكون قيمة (Adj.SAR) مياه الري الحاوية على كمية معتبرة من البيكربونات اكبر من قيمة (SAR) الاعتيادية ، لان قيمة نسبة امتزاز الصوديوم تأخذ بنظر الاعتبار الاحتمالات المذكورة اعلاه٠

خطورة البيكربونات : ان وجود تراكيز عالية من هذه الايونات يؤدي الى ترسيب الكلس في التربة وبالتالي تؤدي الى تغير قيم نسبة امتزاز الصوديوم ، لقد اقترح مصطلح لتقييم نوعية مياه الري من ناحية محتواها من الكربونات والبيكربونات اطلق عليه (كربونات الصوديوم المتبقية) ويرمز له (RSC) كمعيار لتقييم نوعية مياه الري والذي يساوي :

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) – (Ca + Mg)$$

ويعبر عن التركيز بالملي مكافئ/لتر ٠

فالمياه المحتوية على اقل من (١,٢٥) ملي مكافئ/لتر كربونات صوديوم متبقية تعد صالحة للري والمياه المحتوية على (١,٢٥- ٢,٥) تعد هامشية اما المياه الحاوية على اكثر من (٢,٥) ملي مكافئ/لتر كربونات صوديوم متبقية تعد غير صالحة للري٠

خطورة الكلوريد : لقد اقترح مصطلح الملوحة الكامنة (Potential salinity) لمياه الري حيث يساوي : الملوحة الكامنة = تركيز ايون الكلوريد + $\frac{1}{2}$ تركيز ايون الكبريتات ٠ واعتبرت القيم التالية للملوحة الكامنة (٣-٧) و (٣- ١٥) و (٥- ٢٠) ملي مكافئ/لتر لمياه الري مناسبة للترب ذات النفاذية الواطئة والمتوسطة والجيدة على التوالي٠

محتوى العناصر الصغرى التي تسبب مخاطر السمية :

يعد البورون ذو أهمية خاصة بالنسبة لتصنيف مياه الري وتقييم نوعيتها لان كثير من مياه الري تنقل كميات كبيرة من البورون الى الترب المروية هذا من ناحية ، ومن ناحية اخرى ان حدود الكفاية والسمية لهذا العنصر ضيقة جدا٠لقد حدد العاملون في مختبر الملوحة الامريكي حدودا لتركيز البورن المسموح بها في مياه الري ولمختلف المحاصيل ٠حيث صنفت الى ثلاثة مجاميع من ناحية حساسيتها للبورون : حساسة ومتوسطة التحمل ومتحملة للبورون٠ومن المحاصيل الحساسة للبورون هي اشجار الفاكهة والكروم والحمضيات، اما المحاصيل المتوسطة فهي البطاطا وعباد الشمس والشعير والذرة، اما المحاصيل عالية التحمل للبورون فهي النخيل والجت والبصل والقرع والجزر٠

المحاضرة الثالثة عشر

السيطرة على التوازن الملحي في الترب المستصلحة :

ان الترب المستصلحة يمكن ان تتملح مرة ثانية Resalinization نتيجة حدوث اختلال في التوازن الملحي والمائي ، اهمال في صيانة وتشغيل المبازل او نتيجة تراكم الاملاح المنقولة مع مياه الري سنوياً. لذلك تعتبر المحافظة على التوازن الملحي Salt Balance أحد المتطلبات لصيانة الاراضي المستصلحة. التوازن الملحي هو المحافظة على مستوى معين من الملوحة في طبقة الجذور او أي طبقة من طبقات التربة خلال فترة زمنية معينة أو موسم زراعي ولمساحة معينة أي ان كمية الاملاح الداخلة تساوي كمية الاملاح الخارجة ورياضياً يعبر عنها في الترب المروية والتي تشكل فيها كمية الامطار الساقطة قليلة بالمعادلة التالية:

$$I.Ci = E.Ce + P.Cp \ldots(1)$$

حيث ان (I) يعبرعن كمية مياه الري و (E) كمية الاستهلاك المائي و (P) كمية المياه المبزولة من التربة و(Ci) تعبر عن تركيز الاملاح في مياه الري و(Ce) تركيز الاملاح في الاستهلاك المائي و Cp تركيز الاملاح في المياه المبزولة. والواقع ان قيمة (C) تساوي صفراً باعتبار ان تركيز الاملاح في المياه المتبخرة والتي تم نتحها من جسم النبات يساوي صفراً عندئذ تصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$I.Ci = P.Cp \ldots\ldots\ldots (2)$$

وهذا يعني ان كمية الاملاح الداخلة الى التربة تساوي كمية الاملاح الخارجة منها وبذلك يتحقق التوازن الملحي في التربة. اما اذا كانت كمية الاملاح الداخلة اكثر من كمية الاملاح المبزولة وهذا ما يحدث في معظم الاحيان في المناطق الجافة أي :-

أي ان :-

$$I.Ci > P.Cp$$

عندئذ يجري تراكم للأملاح في التربة ويعبر عن ذلك رياضياً بالشكل التالي:

$$I.Ci = P.Cp + \Delta S \ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث ان (ΔS) تمثل التغير في كمية الاملاح او بعبارة اخرى الزيادة في كمية الاملاح في التربة ولغرض جعل (ΔS) تساوي صفراً ، أي المحافظة على وضع المعادلة رقم 3 ، أي يجب ان تكون كمية الماء المبزول تساوي الى

$$P = \frac{I.C_i}{C_p} \cdots (4)$$

الماء يعتبر الوسيلة الاساسية لنقل الاملاح من والى التربة وباعتبار ان كمية الاملاح المتراكمة في التربة (التوازن الملحي) يعتبر محصلة للتوازن المائي في المنطقة المعينة، لذلك يمكن وصف التوازن الملحي من خلال معادلة التوازن المائي. قيمة P في معادلة التوازن المائي تستخرج من المعادلة رقم 5

$$P = I - E \cdot\cdot(5)$$

وبعد التعويض عن قيمة p في المعادلة (4) نحصل على المعادلات التالية

$$I = E + \frac{I.C_i}{C_p} \cdot\cdot(6) \qquad \text{او} \qquad E = \frac{I.C_p - I.C_i}{C_p} \cdots\cdots(7)$$

او بالصيغة النهائية التالية :-

$$I = \left(\frac{C_p}{C_p - C_i}\right) \cdot E \ldots\ldots(8)$$

أي لغرض المحافظة على التوازن الملحي في التربة ($\Delta S = 0$) يجب ان تكون كمية ماء الري مساوية الى الاستهلاك المائي للمحصول مضروباً في معامل قدره

(Cp/(Cp-Ci) وإذا عوضنا عن تركيز الاملاح في مياه الري بقيمة التوصيل الكهربائي (ECiw) واعتبرنا التوصيل الكهربائي لمستخلص العجينة المشبعة للتربة (ECe) مساوياً للتوصيل الكهربائي للمياه المبزولة من التربة (Cp) باعتبار ان ملوحة الماء المبزول مساوية الى قيمة ملوحة محلول التربة خاصة عند الوصول الى حالة الاتزان عندئذ تصبح المعادلة السابقة كما يلي :

$$I = \left(\frac{EC_e}{EC_e - EC_{iw}}\right) E \cdots\cdots(9)$$

ولتطبيق معادلة التوازن الملحي الاخيرة نورد المثال التالي-:

محصول زراعي ذو استهلاك مائي قدره (1000) ملم (عمق ماء) زرع في تربة ذات ملوحة 4دسي سيمنز/م وتسقى بماء ذو ملوحة 1دسي سيمنز/م ، فما هو عمق ماء الري اللازم للحفاظ على التوازن الملحي طيلة الموسم الزراعي ؟.

$$I = \left(\frac{4}{4-1}\right) 1000 = 1330 \text{ mm}$$

معنى هذا ان عمق ماء الري اللازم استخدامه لهذا المحصول خلال الموسم الزراعي اكبر من عمق ماء الري اللازم لسد الاحتياجات المائية للمحصول بمقدار ٣٣٠ملم وهذه الكمية الاضافية من ماء الري ضرورية لغسل الاملاح المتراكمة في التربة (طبقة الجذور) خلال الموسم

الزراعي والتي مصدرها مياه الري وعلى افتراض ان مستوى الماء الارضي عميق نسبيا ومسيطر على مستواه بفضل وجود شبكة بزل فعالة وبذلك فأنه لا يشارك في عملية تراكم الاملاح في هذه الاراضي المستصلحة.

ان الكمية الاضافية من ماء الري اضافة الى ما يحتاجه النبات والتي تعمل على غسل الاملاح المتراكمة باتجاه اسفل منطقة الجذور يطلق عليها (متطلبات الغسل Leaching requirement) . من المفيد ان نشير هنا الى انه عند اجراء الحسابات بواسطة معادلة التوازن الملحي رقم (٩) لتقدير متطلبات الغسل قد افترض ان ملوحة ماء البزل تساوي ملوحة التربة وان هذا الافتراض يمكن قبوله فقط في حالة وجود امتزاج تام لماء الري النافذ مع محلول التربة أي بعبارة اخرى في حالة وجود حالة من الاتزان. ان الواقع ليس كذلك في معظم الترب المستصلحة حيث ان الماء النافذ خلال التربة يتحرك عادة بالمسامات الصغيرة كما ان جزء من الماء يتحرك خلال الشقوق الكبيرة بكفاءة اقل في غسل الاملاح لذلك فأن :-

$ECp \neq Ece$

$ECp < ECe$ والواقع ان :

$ECp = f.\ ECe$ لذلك فأن :

ويطلق على المعامل f عامل كفاءة الغسل Leaching Efficiency Factor وعادة تكون قيمته اقل من الواحد وتعتمد قيمته على صفات التربة. وبناء على نتائج العديد من التجارب التي اجريت في العراق قدر بومانس وزملائه (Dielman 1963) قيمة معامل كفاءة الغسل للترب المزيجية والمزيجية الرملية مساوية الى 0.6 وإذا اخذنا بنظر الاعتبار عامل كفاءة الغسل فأن الصيغة النهائية لمعادلة التوازن الملحي تكون بالشكل التالي:-

$$I = \left(\frac{fECe}{fECe - ECiw} \right) E \quad .....(11)$$

لذلك فإذا عدنا الى تقدير عمق ماء الري اللازم للحفظ على التوازن الملحي في مثالنا السابق، معتبرين ان عامل كفاءة الغسل = 0.6 وعندئذ فأن عمق ماء الري =

$$I = \left(\frac{0.6 \times 4}{0.6 \times 4 - 1} \right) 1000$$

$$I = \left(\frac{2.4}{2.4 - 1} \right) 1000 = 1714\ mm$$

اقترح مختبر الملوحة في الولايات المتحدة الامريكية صيغة رياضية لحساب متطلبات الغسل مشابهة للصيغة المارة الذكر، حيث تعبر عن متطلبات الغسل كنسبة مئوية او كسر اعتيادي (Richards 1954) :

$$LR = 100 \left(\frac{Ddw}{Diw} \right) = 100 \frac{ECiw}{ECdw} \quad .....(12)$$

حيث ان (D_{dw}) = عمق ماء البزل و (D_{iw}) عمق ماء الري و (EC_{iw}) ملوحة ماء الري و (EC_{dw}) ملوحة ماء البزل. وعند اخذ عامل كفاءة الغسل (f) بنظر الاعتبار ومستخدمين ملوحة ماء الري وملوحة ماء البزل عندئذ تصبح المعادلة بالشكل التالي:-

$$LR = \frac{ECiw}{f.EC_e}100 \cdots\cdots (13)$$

وعند تطبيق المعادلة لحساب متطلبات الغسل في مثالنا السابق نحصل على :-

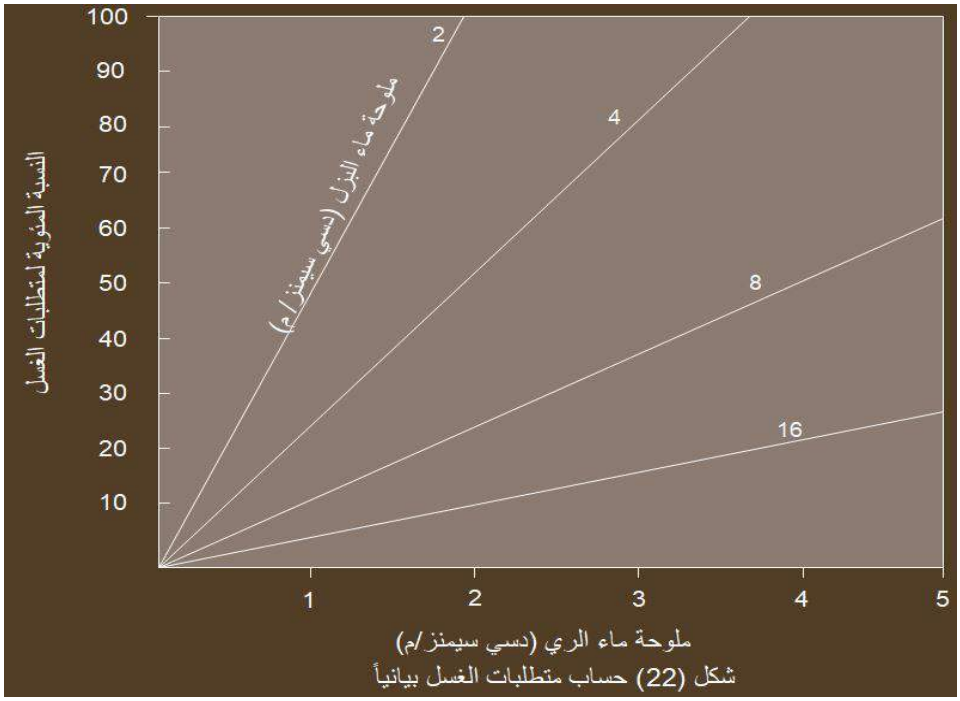
$$LR = \left(\frac{1}{0.6 \text{ x } 4}\right) = \frac{1}{12}$$

أي ان متطلبات الغسل تشكل 5/12 حجم ماء الري اللازم ويشكل الاستهلاك المائي في هذه الحالة 1-5/12 = 7/12 وبعد اجراء التناسب نحصل على عمق ماء الري اللازم للحفاظ على التوازن الملحي:-

$$1 = 1000 \text{ x} \left(\frac{12}{7}\right) = 1714mm$$

عمق متطلبات الغسل = 1714- 1000 = 714 ملم والأرقام التي تم الحصول عليها بواسطة هذه المعادلة مساوية للأرقام التي تم الحصول عليها من تطبيق المعادلة (9) بعد اخذ عامل كفاءة الغسل بنظر الاعتبار.

لقد اقترح (Van Hoorn 1970) مخططا بيانياً لحساب متطلبات الغسل كنسبة مئوية من الحجم الكلي لماء الري ولمجاميع محاصيل زراعية مختلفة التحمل للملوحة (4،2،8,16) دسي سيمنز/م بعد معرفة قيمة التوصيل الكهربائي لماء الري ومدى تحمل المحصول الزراعي وذلك بهدف تسهيل عملية حساب متطلبات الغسل (شكل 1)



شكل (22) حساب متطلبات الغسل بيانياً

كما اقترح (Ayers & Westcott 1976) في نشرة دليل نوعية مياه الري الصادرة من قبل منظمة الغذاء والزراعة الدولية طريقة لحساب متطلبات الغسل اخذين بنظر الاعتبار طريقة الري المستخدمة حيث يرى بعض الباحثين انة يمكن استخدام العلاقة التالية في حساب الحد الادنى من متطلبات الغسل في حالة الري السطحي والري بالرش :

$$LR = \frac{ECw}{5.ECe - ECw} \text{--------(14)}$$

بينما تستخدم العلاقة التالية في حالة الري بالتنقيط :

$$LR = \frac{ECw}{2\,(max\ \ ECe)} \text{--------(15)}$$

1- ECw يقصد بها التوصيل الكهربائي لماء الري ديسي سيمنز/ م وعلى فرض ان متطلبات الغسل تساوي (15- 20%) وان معدل ملوحة التربة الذي يمتص من قبل النبات يعادل ثلاث مرات بقدر ملوحة ماء الري المستخدم أي ان ($ECsw= 3EC_{iw}$) وان ملوحة مستخلص العجينة المشبعة تعادل نصف ملوحة ماء التربة ($EC_{sw}=2ECe$) أي ان ملوحة مستخلص عجينة التربة = 3/2 ملوحة ماء الري ($ECe = 3 / 2EC_{iw}$).

2- الحصول على قيمة التوصيل الكهربائي للتربة والمناسبة لتحمل المحصول المزروع بحيث يكون الفقدان (10%) واقل في حاصل المحصول الزراعي (جدول معتمد).

Table 4 CROP TOLERANCE AND YIELD POTENTIAL OF SELECTED CROPS AS INFLUENCED BY IRRIGATION WATER SALINITY (EC_w) OR SOIL SALINITY (EC_e)[1]

YIELD POTENTIAL[2]

FIELD CROPS	100%		90%		75%		50%		0% "maximum"[3]	
	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w
Barley *(Hordeum vulgare)*[4]	8.0	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
Cotton *(Gossypium hirsutum)*	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
Sugarbeet *(Beta vulgaris)*[5]	7.0	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Sorghum *(Sorghum bicolor)*	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Wheat *(Triticum aestivum)*[4,6]	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
Wheat, durum *(Triticum turgidum)*	5.7	3.8	7.6	5.0	10	6.9	15	10	24	16
Soybean *(Glycine max)*	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7
Cowpea *(Vigna unguiculata)*	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13	8.8
Groundnut (Peanut) *(Arachis hypogaea)*	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Rice (paddy) *(Oriza sativa)*	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
Sugarcane *(Saccharum officinarum)*	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10	6.8	19	12

3- Max ECe يمثل التوصيل الكهربائي الذي يتوقف عنده النمو (الفقدان 100%) .

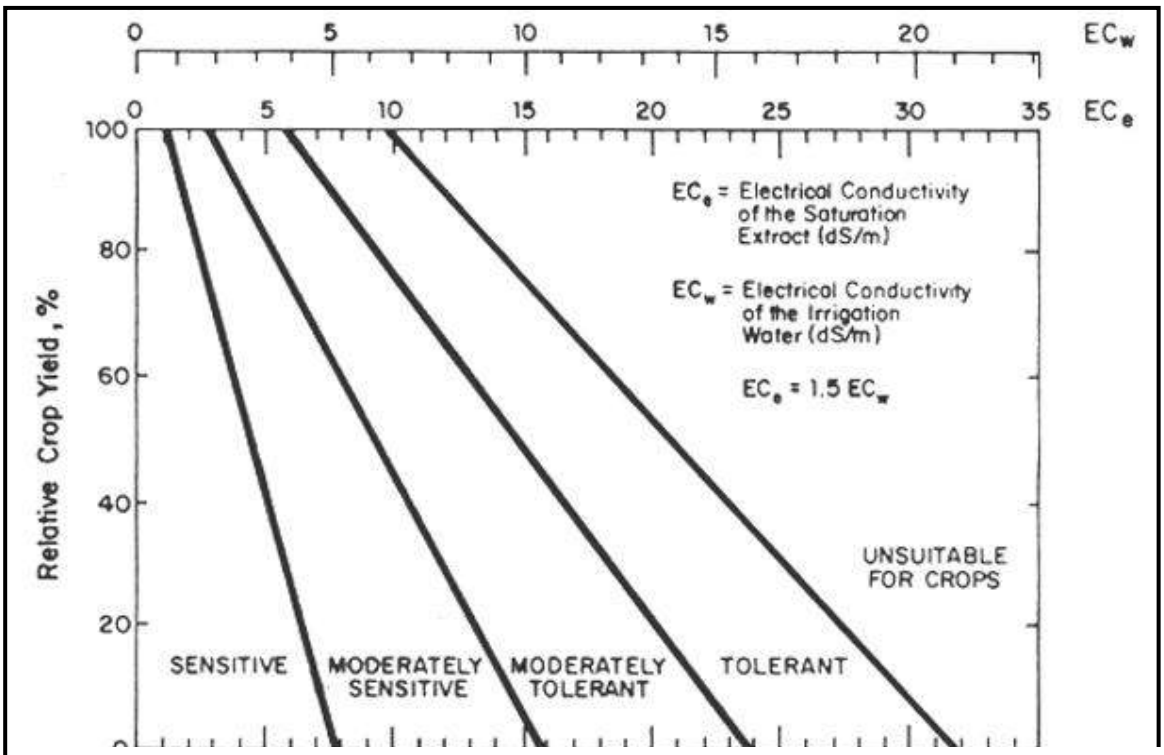


Table I. Threshold (t) and slope (s) values to calculate crop yield as a function of soil salinity for various crops.

Crop	*Threshold (t) dS/m*	*Slope (s) % / dS/m*
Alfalfa	2.0	7.3
Barley for grain	8.0	5.0
Bean, dry edible	1.0	19.0
Clover	1.5	12.0
Corn for grain	1.7	12.0
Corn for silage	1.8	7.4
Fescue, tall	3.9	5.3
Potato	1.7	12.0
Sorghum for grain	6.8	16.0
Soybean	5.0	20.0
Sugar beet	7.0	5.9
Tomato	2.5	9.9
Wheat for grain	6.0	7.1

وبعد الحصول على قيمة متطلبات الغسل يمكن حساب الحجم الكلي لماء الري على شرط معرفة قيمة حجم الاستهلاك المائي للمحصول الزراعي المزروع. وذلك بالمعادلة التالية :

$$Diw = \frac{ET}{1 - LR} \text{ --------(16)}$$

مثال : احسب الاحتياجات الغسيلية الواجب اضافتها لمياه الري اللازمة لمحصول الذرة الذي يروى بطريقة الري السطحي اذا كانت ملوحة ماء الري $ECw = 1.4\ dSm^{-1}$ والاحتياجات المائية للمحصول $ET = 840\ mm/hectar/year$ وكفاءة الري 70% .

الحل : عند انتاج 100% من المحصول فان تحمل الذرة للملوحة يساوي $ECe=1.7\ dS/m^{-1}$ (جدول مرجعي) وبتطبيق المعادلة رقم 14 يكون :

$$LR = \frac{1.4}{5(1.7) - 1.4} \times 100 = 19.71\%$$

وبتطبيق العلاقة في المعادلة 16 نجد ان الاحتياجات المائية للري + متطلبات الغسل في موسم زراعة الذرة تساوي

$$D_{iw} = \frac{840}{1 - 0.197} = 1046\ mm$$

وحيث ان كفاءة الري 70 % فان الاستهلاك المائي يجب ان يزداد الى :

$$ET = \frac{840}{0.70} = 1200\ mm$$

الفاقد في مياه الري بمقدار 30 % الذي يتسرب داخل التربة ويعادل :

$$1200 - 840 = 360\ mm$$

وهي كمية ماء اعلى من الكمية المطلوبة للغسل والتي تساوي

$$1046 - 840 = 206\ mm$$

وهذه الكمية هي الحد الادنى لمتطلبات الغسل . يمكن الاستنتاج من هذا المثل انة لا يوجد حاجة لإضافة مياه زائدة لغسل الاملاح لان الكميات المضافة لتعويض النقص في كفاءة الري تغطي الكمية المطلوبة للغسل .

ويمكن ان يطبق هذا المثال ولحد ما على الظروف العراقية حيث تعود الفلاح العراقي ان يسقي بحجم ماء اكبر من حاجة النبات (الاستهلاك المائي) هذا اذا اخذنا بنظر الاعتبار ان معامل كفاءة الغسل لمعظم الترب العراقية يساوي حوالي (0.6).

لذلك يعتقد انه في كثير من الحالات يصبح ليس من الضروري اضافة متطلبات غسل للسيطرة على الملوحة خاصة عند توفر شبكات البزل الفعالة. ويجب ان لا يؤخذ هذا الافتراض كقاعدة انما يجب التأكد في كل حالة من الحالات المراد تقييمها. وبشكل عام يعتقد انه لغرض السيطرة على الملوحة يجب ان تتراوح قيمة متطلبات الغسل بحدود 0.15 – 0.20 ، وهذا يعني ان 15-20 % من حجم ماء الري يجب ان يغسل اسفل طبقة الجذور بينما 80 – 85 % من الماء يستعمل لغرض التبخر- نتح.

تمرين : محصول الذرة الصفراء يسقى بطريقة الاحواض ومزروع في تربة مزيجية وملوحة ماء الري (ECw) تساوي (3.2) دسي سيمنز/م والاستهلاك المائي للمحصول (5) ملم/يوم. ويسقى كل 20 يوم برية واحدة وتعادل (100) ملم، معامل كفاءة الغسل للتربة تساوي (0.65). بعبارة اخرى ان عمق الماء في كل ريه في هذه الحالة يصبح مساويا 0.65/ 100= (155) ملم. ما هو حجم ماء الري الاضافي الواجب استخدامه للحفاظ على التوازن الملحي المطلوب

المصادر

كتاب ملوحة التربة / د.أحمد حيدر الزبيدي ١٩٨٩

كتاب استصلاح الاراضي / د. أحمد حيدر الزبيدي ١٩٩١

محاضرات من المتصفح الالكتروني / الانترنيت