Journal of Agricultural, Environmental and Veterinary Sciences
Volume (3), Issue (4) : 30 Dec 2019
P: 18 - 32

AJSRP
ISSN: 2522-3364

مجلة العلوم الزراعية والبيئية والبيطرية
المجلد (3)، العدد (4) : 30 ديسمبر 2019 م
ص: 18- 32

Soil Salinity: Causes and Impacts on Agriculture and the Environment

Sleem Ali Saleem Kreba

Marine Resources College || Al-Asmarya Islamic University || Libya

Abstract: Soil salinity is an important issue for agriculture and the environment, especially in arid and semi-arid regions. Soil salinity influences agricultural productivity and soil properties. It is strongly related to irrigation and groundwater. This review article considers collecting published scientific knowledge about the soil salinity issue. It considers introducing the soil salinity, its types, its causes, its impacts on agriculture and the environment, its measuring methods, and its reclamation methods. The article considers also the remote sensing technology and its use in monitoring and predicting soil salinity. This article was prepared to help farmers, students, scientists, and researchers in agricultural and environmental sectors. Conserving affected lands with salinity is costly and time consuming, and choosing the right crops and plant species is the most important method to deal with this issue.

Keywords: soil salinity - electric conductivity – adsorbed and exchangeable sodium – soil properties – remote sensing technology.

ملوحة التربة: أسبابها وآثارها على الزراعة والبيئة

سليم علي سليم كريبة

كلية الموارد البحرية || الجامعة الأسمرية الإسلامية || ليبيا

الملخص: تعتبر ملوحة التربة من أهم المشاكل التي تواجه قطاعي الزراعة والبيئة خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة. ومن أهم آثار ملوحة التربة هو أثرها السلبي على الإنتاجية الزراعية والأمن الغذائي بالإضافة إلى خواص التربة والماء. إن ملوحة التربة لها علاقة وطيدة مع مياه الري والمياه الجوفية. الهدف من الورقة هو تجميع مادة علمية باللغة العربية لتسليط الضوء على مشكلة ملوحة التربة من حيث التعريف بها وأنواعها وأسبابها وأثرها على الزراعة والبيئة وطرق تقديرها وكيفية معالجتها، بالإضافة إلى التطرق إلى تقنية الاستشعار عن بعد واستعمالاتها في المراقبة والتنبؤ بملوحة التربة. المستهدفون من تجميع هذه المادة العلمية هم المزارعون والمهتمون بمجال البيئة والأكاديميون من طلبة وباحثين في مجالي البيئة والزراعة. خلاصة الورقة أنه لازال هناك حاجة لمزيد من الأبحاث العلمية لدراسة مشكلة ملوحة التربة وكيفية معالجتها. معالجة التربة المتأثرة بالأملاح مكلف من الناحية المالية ويحتاج إلى وقت طويل لكن الاختيار الصحيح للنبات أو المحصول المراد زراعته يعتبر أهم طريقة للتغلب على أثر ملوحة التربة السلبي.

الكلمات المفتاحية: ملوحة التربة - الالتوصيلية الكهربية – الصوديوم المدمص والمتبادل - خواص التربة – تقنية الاستشعار عن بعد.

المقدمة

هناك العديد من التحديات التي يواجهها العالم للوصول إلى الأمن الغذائي مثل ارتفاع درجات الحرارة، وتأثير الرياح القوية، والجفاف، والفيضانات، تعتبر ملوحة التربة إحدى أهم هذه الصعوبات وأكثرها تأثيرا على قطاعي الزراعة والبيئة لما لها من أثر سلبي على الأمن الغذائي والبيئة (Shahbaz and Ashraf, 2013). كما تعتبر ملوحة التربة وقلة مصادر المياه وتلوث البيئة أكبر اهتمامات البشرية منذ بداية القرن الواحد والعشرين (Shrivastava and

(Kumar, 2015، ويرجع تاريخ هذه المشكلة إلى بداية تاريخ الزراعة على كوكب الأرض، وارتفعت حدة المشكلة بارتفاع وتيرة استثمار الأرض في الزراعة. فملوحة التربة تعتبر مشكلة عالمية لأثرها الواضح على البيئة، والجيوكيمياء، والهيدرولوجي، والمناخ، والإنتاج الزراعي، والاقتصاد.

فمشكلة ملوحة التربة يمكن أن تؤثر على مساحات شاسعة من الأراضي المستثمرة أو غير المستثمرة. إن مجموع مساحة سطح الكرة الأرضية يقدر ب13.2 مليار هكتار، ويقدر ما هو مستثمر للزراعة ب1.5 مليار هكتار وما هو غير مستثمر للزراعة ب1.5 مليار هكتار (Massoud, 1981). اختلفت المصادر العلمية في تحديد مساحات الأراضي المتأثرة بملوحة التربة ولكن يمكن القول بصفة عامة أن أكثر من مليار هكتار من الأراضي في العالم تعاني من مشكلة الملوحة وهو ما يعادل 7% من مساحة الكرة الأرضية (Glick, Cheng, Czarny, and Duan, 2007). وفي إحصائية أخري قدرت مساحة الأراضي المتأثرة بالملوحة والصودية ب932 مليون هكتار، هذا يمثل حوالي 10% من الأراضي المروية في العالم (Mateo-Sagasta and Burke, 2011). إن مساحة الأراضي المتأثرة بالملوحة تزداد بمعدل 2 مليون هكتار سنويا ويرجع ذلك إلى عدة أسباب منها التغيرات المناخية، والاستمرار في الري بمياه منخفضة الجودة، واستثمار أراضي جديدة في الزراعة، والإدارة السيئة للأراضي الزراعية، وانخفاض معدل الأمطار، وارتفاع معدلات البخر، وتجوية الصخور (Shrivastava and Kumar, 2015).من المتنبأ به أن 50% من الأراضي غير المستصلحة زراعيا يمكن أن تعاني من مشكلة ملوحة التربة مع حلول عام 2050 (Jamil, Riaz, Ashraf, and Foolad, 2011). حيث إن حوالي 20% من الأراضي المروية في العالم تعاني من ارتفاع ملوحة التربة ويرتفع هذا المعدل إلى 30% في المناطق الجافة وشبه الجافة في العالم (Goossens and van Ranst, 1998).

فمشكلة ملوحة التربة منتشرة في أكثر من 100 دولة أشهرها الولايات المتحدة الأمريكية، الهند، إيران، باكستان، الصين، الأرجنتين، كوريا الجنوبية، السودان (Ghassemi, Jakeman, and Nix, 1995). فهي مشكلة متوقع أن تسوء في العقود القادمة نتيجة لظاهرة التغير المناخي (Climat Change) أو ما يسمى بظاهرة الاحتباس الحراري(Patel, Patel, Bharat, and Dave, 2011)، بذلك أصبحت هذه المشكلة من أولويات المهتمين بهذه الظاهرة. ظاهرة التغير المناخي هي حبس الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي للكرة الأرضية نتيجة لزيادة استهلاك وحرق الوقود الإحفوري. تعتبر ملوحة التربة أهم أسباب التصحر وخاصة في المناطق المطلة على البحر المتوسط بسبب نشاطات الإنسان والري بمياه ذات تركيز ملحي عال واستنزاف الماء الجوفي مما يؤدي إلى انتشار وتسرب ماء البحر إلى الخزانات الجوفية (Domínguez-Beisiegel, Herrero, and Castañeda, 2013).

وتعرف التربة المتأثرة بالملوحة على أنها التربة التي تصل التوصيلية الكهربية لمستخلصها والمأخوذة من منطقة الجذور إلى 4 دسي سيمن/متر عند درجة حرارة 25 درجة مئوية وتحتوي على 15% صوديوم متبادل (Shrivastava and Kumar, 2015). في الحقيقة كل الترب تحتوي على نسبة معينة من الأملاح الذائبة وعدد من هذه الأملاح يعتبر مصدرا للعناصر المغذية للنبات. ولكن عند زيادة تركيز هذه الأملاح عن حد معين فإنها تؤثر سلبا على نمو وإنتاج المحاصيل الزراعية. هذا التأثير يعتمد على نوع وتركيز الأملاح في التربة، مرحلة النمو للنبات، نوع النبات، العوامل البيئية المحيطة به. فالتربة تعتبر أحد أهم المصادر المتجددة المتاحة للإنسان لاستثمارها مما يضعها تحت ضغط الاستنزاف نتيجة لزيادة عدد السكان وزيادة الاحتياج للغذاء. إن التحدي الأكبر هو أن الإنتاج الزراعي يجب أن يزداد بما يعادل 50% بحلول عام 2050 ليكفي احتياجات الزيادة الكبيرة في عدد سكان كوكب الأرض (Godfray et al., 2010). فاستنزاف التربة أدى إلى تحويل الأراضي الجرداء والعشبية والغابات إلى أراضي محاصيل زراعية. ومن أهم المشاكل المصاحبة لاستنزاف التربة المروية والتي تؤثر على ديمومة إنتاجها هي استنزاف العناصر المغذية للنبات وتغذق التربة والملوحة الثانوية. إن ثلث الإنتاج الزراعي العالمي هو نتاج استغلال أراض زراعية مروية ومن المخطط

له أن يرتفع هذا الرقم إلى النصف في عام 2040 (FAO, 1988). لكن هذا لن يكون سهلا نظرا إلى المشاكل المترتبة عن ري واستنزاف الأراضي الزراعية، ملوحة التربة نتيجة للري هي إحدى أهم هذه المشاكل. تمثل الأراضي المروية ما نسبته 35-40% من الأراضي الزراعية في العالم ونصف هذه الأراضي (ما يقارب 250 مليون هكتار) معرضة إلى مشكلة ارتفاع ملوحتها بسبب الري (Corwin, Rhoades, and Simunek, 2007). ولذلك انبثقت فكرة إعداد هذه المقالة نتيجة للحاجة إلى مقالات علمية باللغة العربية في مجالي الزراعة والبيئة والتي تناقش مشاكل تحتاج إلى فهم علمي جيد وحلول جذرية منطقية.

إن الهدف من هذه المقالة المسحية (Review Article) هو تجميع مادة علمية من مقالات وتقارير علمية لتسليط الضوء على مشكلة ملوحة التربة في العالم من حيث أسبابها وآثارها على الزراعة والبيئة وطرق معالجتها باللغة العربية للاستفادة منها من قبل الطلبة، والباحثين، والمزارعين، والمهتمين بمجال البيئة. تهدف هذه المقالة أيضا إلى توفير معلومات وبيانات علمية باللغة العربية عن مشكلة ملوحة التربة، نتيجة لوجود نقص في المعلومات المتوفرة باللغة العربية عن هذه المشكلة في العالم.

أنواع ملوحة التربة

تصنف ملوحة التربة على حسب مصدر الأملاح الذائبة إلى ملوحة أولية وملوحة ثانوية. فملوحة التربة الأولية هي الملوحة التي يكون مصدرها ترسب الأملاح من مصادر وعمليات طبيعية لا دخل للإنسان بها. هذه العمليات هي التجوية الفيزيائية والكيميائية للصخور ومادة الأصل والترسبات الجيولوجية والمياه الجوفية. فيمكن لنواتج التجوية من أملاح ذائبة أن تأخذ طريقها عبر التربة إلى البحار والمحيطات في المناطق الرطبة. فمثلا أوضح سميديما وشياتي Smedema and Shiati (2002)أن ملوحة التربة الأولية هي السبب الرئيسي في ارتفاع نسبة الأملاح في الأنهار. لكن في المناطق الجافة وشبه الجافة تتجمع هذه الأملاح في قطاع التربة. وتكتسب التربة ملوحتها من مادة الأصل (الصخور) عندما يكون مكونها الرئيسي هو الكربونات والفلسبارات. وبالطريقة نفسها يمكن للماء الجوفي أن يكتسب الملوحة وبالتالي يؤثر على نسبة الأملاح في قطاع التربة عن طريق ارتفاع الماء الجوفي في الأنابيب الشعرية للتربة نتيجة لارتفاع معدلات البخر (Geeson, Brandt, and Thornes, 2003). أما ملوحة التربة الثانوية فهي عكس الملوحة الأولية حيث يكون الإنسان ونشاطاته سببا في تكونها. فتقدر مساحة الأراضي المتأثرة بملوحة التربة الثانوية بحوالي 3.8 مليون هكتار في قارة أوروبا وحدها (Stanners and Bourdeau, 1995). إن أهم أسباب الملوحة الثانوية هو الري بمياه منخفضة الجودة مع رداءة الخواص الهيدروليكية للتربة(Fan et al., 2012).

أسباب ملوحة التربة

تجوية الصخور تعتبر مصدرا متجددا للأملاح الذائبة في التربة وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تكون فيها التجوية بطيئة. كما تعتبر الطبقات الملحية المتحجرة أو المترسبة والمتكونة في حقب زمنية سابقة مصدرا لملوحة التربة. فهذه الطبقات الملحية يكون سببها هو الترسبات البحرية في أزمنة سابقة أو نتيجة لمياه جوفية ذات تركيز ملحي عال. وتنتشر الأملاح من هذه الطبقات المتحجرة في التربة طبيعيا أو بفعل تدخل الإنسان. والمياه الجوفية العميقة وذات الملوحة العالية قد تسبب في نشوء طبقات ملحية بدورها قد تسبب في ارتفاع ملوحة التربة في قطاع التربة العلوي. تعتبر البحار والمحيطات أحد أسباب ملوحة التربة وذلك إما بغمر مياهها المالحة المناطق الساحلية أو بتداخلها مع مياه الأنهار العذبة، أو بتداخلها مع المياه الجوفية، أو بانتقال الأملاح مع الرذاذ عن طريق الرياح إلى مساحات شاسعة من الأراضي الساحلية. إن ماء المطر المتكون نتيجة تكثف بخار الماء المتصاعد من البحار

والمحيطات يعتبر مصدرا من مصادر الأملاح الذائبة والمسببة لملوحة التربة. أوضح جونقJunge (1963) أن تركيز الأملاح يبقي تابتا ولا يتغير في الهواء الجوي في المناطق الساحلية لمسافة 50-150 كلم من البحر أو المحيط.

ويعتبر المناخ من أهم العوامل المؤثرة على النبات والإنتاج الزراعي لحساسية المحاصيل الزراعية للظروف المناخية وكذلك له أثر غير مباشر على الإنتاج الزراعي والبيئة متمثل في أثره على الدورة الهيدرولوجية بصفة عامة وعلى البخر والنتح بصورة خاصة. إن زيادة معدلات البخر والنتح تسبب في زيادة تركيز الأملاح وذلك بتراكم هذه الأملاح في قطاع التربة بعد فقدان الماء منها. إن عملية البخر والنتح هي العامل الرئيسي في ظاهرة ارتفاع الماء في الأنابيب الشعرية للتربة، بذلك ارتفاع الماء الجوفي من الخزانات الجوفية الضحلة يزيد تركيز الأملاح في قطاع التربة العلوي إذا كانت المياه الجوفية ذات تركيز ملحي عال.

إن معظم الأراضي التي تعاني من مشكلة الملوحة تقع في المناطق الجافة وشبه الجافة نتيجة للري بمياه في العادة رديئة الجودة مما يسبب أو يزيد مشكلة ملوحة التربة. حوالي 40% من الأراضي المروية أي ما يعادل 110 من أصل 270 مليون هكتار تقع في نطاق المناطق الجافة وشبه الجافة. أما الباقي (60%) فهي تقع في المناطق التي بها معدلات هطول جيدة نسبيا لذلك لا حاجة للري مما يؤدي إلى غسل قطاع التربة من الأملاح المتراكمة (Smedema and Shiati, 2002).

إن تحويل الأراضي من غابات أو أعشاب إلى أراضي زراعية يؤدي إلى استنزاف محتوي هذه الأراضي من المادة العضوية والعناصر المغذية للنبات واضمحلال جودتها الزراعية (Zheng and Sha, 1994). فزيادة استعمال الأراضي يتبعه في أغلب الأحوال استعمال أنظمة ري يمكن أن تؤدي إلى ارتفاع ملوحة التربة نتيجة للري بمياه غير جيدة. إن استعمال الأراضي يؤدي أيضا إلى تردي بناء التربة (Kreba, 2013; Kreba, Wendroth, Coyne, and Walton, 2017)بذلك يعمل على تغدق التربة وزيادة معدلات البخر مما ينتج عنه ارتفاع ملوحة التربة (Lefebvre and Moletta, 2006). كما تعتبر الأسمدة الكيميائية إحدى مصادر ملوحة التربة عند إضافتها إلى التربة بكميات كبيرة أو في التوقيت غير المناسب. كذلك مخلفات المصانع الكيميائية الصلبة والسائلة ومخلفات البناء والتشييد وعمليات رش الأملاح على سطح التربة لإذابة الثلج المتراكم في الشتاء تعتبر من أهم مصادر الملوحة عند تراكمها على سطح التربة.

أثر ملوحة التربة على الزراعة

تؤدي زيادة تركيز الأملاح في التربة إلى تغير في الخواص والدورات الفيزيائية، والهيدرولوجية، والكيميائية، والبيولوجية في التربة(Keesstra et al., 2012). فزيادة تركيز الأملاح تسبب في ظهور أعراض العطش على النباتات بالرغم من وجود رطوبة كافية في التربة لأن زيادة تركيز الأملاح المذابة في التربة يسبب انخفاضا في الجهد الإسموزي لمحلول التربة لذلك يتعذر على النبات امتصاص الماء من التربة (Koorevaar, Menelik, and Dirksen, 1983). حيث أشار وارنس وباودر وبيرسن Warrence, Bauder, and Pearson (2003) أن إرتفاع تركيز الأملاح المذابة في محلول التربة يؤثر سلبا علي الماء المتاح للنبات وبالتالي يؤدي إلى إنخفاض الإنتاج الزراعي. كما أن بعض هذه الأملاح له تأثير سام على بعض النباتات وخاصة إذا زاد تركيزها عن الحد الذي يحتاجه النبات فتعيق نموه أو تؤدي إلى موته (Munns, 2005). إن تأثير الأملاح الذائبة في التربة يعتمد على مرحلة نمو النبات وارتفاع تركيز عنصر الصوديوم يؤثر على النبات بطريقة غير مباشرة حيث أنه يؤثر على خواص التربة الفيزيائية وبناء التربة. تختلف قدرة النباتات على تحمل ملوحة التربة العالية ولكن بصفة عامة تعتبر محاصيل الخضروات لها حساسية أعلى إلى ملوحة التربة من محاصيل الحبوب والأعشاب، كما أن معظم أشجار الفاكهة لها حساسية خاصة لارتفاع كلوريد الصوديوم في التربة (Shannon, 1997). ارتفاع ملوحة التربة قد يسبب تنافسية بين أيونات الأملاح والأيونات التي يحتاجها النبات حيث يمتص

النبات أيونات الأملاح بدلا من الأيونات التي يحتاجها بسبب زيادة تركيز الأولي في محلول التربة (Verbruggen and Hermans, 2013). من أعراض ارتفاع نسبة الأملاح في التربة هو صغر حجم أوراق النباتات ولونها الأخضر القاتم وزيادة سمكها مقارنة بأوراق نباتات تنمو في تربة لا تعاني من ارتفاع نسبة الأملاح بها. كذلك زيادة تركيز الأملاح يسبب خللا في توازن ظاهرة التبادل الكاتيوني في التربة (Corwin, Rhoades, and Simunek, 2007). فظاهرة التبادل الكاتيوني هي المسئولة على تبادل الأيونات بين محلول التربة وسطوح حبيباتها وعلى توفير العناصر المغذية للنبات واتزان الأيونات في محلول التربة.

تؤثر زيادة تركيز بعض الأملاح على الخواص الفيزيائية للتربة مما يسبب سوء تهوية وتغدق التربة. زيادة ملوحة التربة تؤدي إلى زيادة احتمالية انجرافها عن طريق الماء أو الرياح نتيجة لتشتت وتفتت تجمعاتها (Soil Aggregates). فانجراف التربة السطحية الغنية بالمادة العضوية والعناصر المغذية للنبات يسبب في خفض الإنتاجية الزراعية. تؤدي كذلك إلى زيادة الفيضانات نتيجة انخفاض رشح الماء في التربة وارتفاع معدل الجريان السطحي. إن إرتفاع تركيز الأملاح الذائبة في محلول التربة يعمل على تحسين خواصها الفيزيائية وذلك لأن هذه الأملاح تعمل على تكوين تجمعات التربة (Warrence, Bauder, and Pearson, 2003). ولكن ارتفاع تركيز الصوديوم في التربة يسبب تفريق تجمعاتها حيث يحل الصوديوم محل الكالسيوم والماغنسيوم على أسطح معادن الطين مما يؤدي إلى تفريق حبيبات التربة في هذه التجمعات مما يؤدي إلى رداءة بنائها وخواصها الفيزيائية (Six, Paustian, Elliott, and 2000). Combrink,هذه الظاهرة تؤدي إلى انجراف التربة المفككة بالهواء أو بالماء (Paix et al., 2013). تعمل كذلك على رفع كثافة التربة الظاهرية وخاصة عند السطح نتيجة لتفكك التجمعات بالتالي تؤثر على نمو البادرات، وظهور تشققات التربة عند الجفاف، وانخفاض قدرتها على حفظ الرطوبة، وانخفاض تهويتها، وانخفاض رشح الماء; ذلك لأن حبيبات الطين الصغيرة في الحجم والناتجة من تفكك تجمعات التربة تعمل على سد مسام التربة (Department of Natural Resources DNR, 1997).

أثر ملوحة التربة على البيئة

ملوحة التربة لها أثر فعال وسلبي على المصادر الطبيعية والأنظمة والصحة البيئية وصحة الإنسان بالتالي على المجتمع. تؤثر ملوحة التربة على صحة الإنسان من خلال زيادة تركيز العناصر السامة في الغذاء والشراب (Rengasamy, 2006). تؤدي ملوحة التربة إلى تلوث المياه الجوفية التي تعتبر مصدرا مهما لمياه الشرب والري. فخلال القرن المنصرم سببت ملوحة التربة أضرارا في الخواص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمصادر الطبيعية والأنظمة البيئية. من هذه الأضرار رص التربة والتلوث العضوي والغير عضوي وأثرها على تنوع ونشاط الكائنات الحية الدقيقة في الأنظمة البيئية (Shrivastava and Kumar, 2015). إن ملوحة التربة تؤدي إلى تفريق تجمعات التربة وإثارة الغبار بذلك تزيد من نسبة المواد الصلبة في الغلاف الجوي مما يؤدي إلى تلوث البيئة. ملوحة التربة تؤثر على نشاط الكائنات الحية الدقيقة في التربة والماء بالتالي تؤثر على عملية تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الهواء الجوي والتربة وعملية تحلل وتبات المادة العضوية في التربة بالتالي تؤثر على دورة الكربون في الطبيعة. ملوحة التربة تؤثر كذلك على دورة النيتروجين في الطبيعة من خلال أثرها على عمليات تحول وتثبيت النيتروجين في التربة (Singh, 2015).

ملوحة التربة لا تؤثر على الإنتاجية الزراعية فقط وإنما تؤثر كذلك على التوازن البيئي والبيولوجي للمنطقة نتيجة تأثيرها على خواص التربة الفيزيائية والكيميائية. وزيادة ملوحة التربة تؤثر على الأحياء المائية ذلك بزيادة ملوحة الأنهار والبحيرات. ملوحة التربة تؤثر على التوازن البيولوجي خاصة على الغطاء النباتي والغابات بالإضافة إلى تأثيرها

على الاقتصاد من خلال ارتفاع تكلفة التخلص أو خفض تركيز الأملاح في التربة وانخفاض المردود الاقتصادي للأراضي المتأثرة بالملوحة. كذلك تؤدي ملوحة التربة إلى ارتفاع تكلفة الصيانة الدورية والعمر الافتراضي للمباني، الطرقات، السدود، قنوات الصرف الصحي، صرف مياه الأمطار، والآلات الزراعية.

قياس ملوحة التربة

هناك بعض العوامل التي من خلالها يمكن تحديد ملوحة التربة ومياه الري. هذه العوامل تتمثل في تركيز الأملاح الكلى والتوصيلية الكهربية ومعدل الصوديوم المدمص ونسبة الصوديوم المتبادل والرقم الهيدروجيني. فيعتبر تركيز الأملاح الكلي (Total Salt Concentration, TSC) في الماء أو مستخلص التربة من أهم العوامل المستخدمة في تحديد ملوحة التربة أو الماء. وهذا العامل يعرف أيضا بمجموع المواد الصلبة الذائبة (Total Dissolved Solids, TDS) في الماء أو مستخلص التربة. يستعمل تركيز الأملاح الكلي في العادة في قياس الجهد الإسموزي المتكون نتيجة الأملاح الذائبة في الماء أو مستخلص التربة. والجهد (أو الضغط) الإسموزي له أثر على جذور النبات ولا يستطيع النبات امتصاص الماء والعناصر المغذية عند انخفاض الجهد الإسموزي للتربة المحيطة بالجذور. إن تركيز الأملاح الكلي المسموح به في مياه الري يتراوح بين 50-1000 ملي غرام/لتر. ويمكن حساب الجهد الإسموزي بمعلومية مجموع المواد الصلبة الذائبة باستعمال معادلة (1) (US Salinity Laboratory Staff, 1954):

$$\varphi = -5.6x10^{-4}xTDS \qquad (1)$$

حيث إن φ هو الجهد الإسموزي لمحلول معين (بار) وTDS هو مجموع المواد الصلبة الذائبة (ملي غرام/لتر). وتعتبر التوصيلية أو المقاومة الكهربية (EC) أكثر استخداما من تركيز الأملاح الكلي في القياس والتعبير عن درجة ملوحة التربة والماء؛ وذلك لسهولة الحصول على البيانات في الحقل أو المعمل وسهولة تكرار أخذها. فالتربة تعتبر موصلا معتدلا للشحنة الكهربية ومدى توصيلها للشحنة يعتمد على خواصها الفيزيائية والكيميائية مثل القوام، الملوحة، محتواها المائي. إن طريقة المقاومة الكهربية هذه استعملت في البداية من قبل الجيولوجيين وشركات النفط للتعرف على مكامن النفط، ويعتبر مالامفي Malamphy في الولايات المتحدة الأمريكية أول من استعمل خاصية المقاومة الكهربية في دراسة خواص التربة سنة 1938. فمنذ ذلك الوقت توالت البحوث العلمية وتعددت استعمالات خاصية التوصيلية الكهربية في دراسة العديد من خواص التربة وطرق تحسينها بالإضافة إلى خواص الماء. وتعتمد طريقة المقاومة الكهربية على قياس توزيع المقاومة الكهربية في التربة وذلك عند مرور تيار كهربائي بها عن طريق قضيب كهربائي. وتتأثر التوصيلية أو المقاومة الكهربية في التربة بعدة عوامل منها: قوام التربة، ومحتواها المعدني، ومساميتها، ورطوبتها، وتركيز الأملاح في محلولها، ودرجة حرارتها. إن التوصيلية الكهربية للتربة تعتمد على تركيز الأيونات في محلول التربة وبالتالي تعتبر مقياسا لملوحة التربة. لأن الماء موصل للشحنة الكهربائية، فالمقاومة الكهربية للتربة تعتمد على محتواها المائي. إن طريقة التوصيلية الكهربية استعملت أيضا في قياس المحتوي المائي وحركة الماء في التربة لوجود علاقة العكسية بين التوصيلية الكهربية للتربة ومحتواها المائي. إن التوصيلية الكهربية للتربة تعتمد على حركة الأيون في محلول التربة الموجود في مساماتها لذلك التوصيلية الكهربية تعتمد على تركيز الأملاح ولزوجة محلول التربة (Scollar, Tabbagh, Hesse, and Herzog, 1990). فلا يمكن تقدير رطوبة التربة بطريقة التوصيلية الكهربية بدون معلومية تركيز الأملاح الذائبة بها (Rhoades, Kaddah, Halvorson, and Prather, 1977). وبمنظور آخر، لا يمكن مقارنة الملوحة لترب مختلفة ليس لها نفس معدل الرطوبة. لتجنب هذه المشكلة تقاس ملوحة التربة بطريقة التوصيلية الكهربية عندما تكون التربة مشبعة بالماء. إن التوصيلية الكهربية تعتمد على نوع الأملاح الذائبة وليس على تركيزها فقط وذلك لأن إمكانية تنقل الأيونات في محلول التربة تختلف من أيون لآخر. حركة وتهيج الأيونات في

محلول التربة تزداد بارتفاع درجة الحرارة لكن لزوجة السائل تنخفض بارتفاع درجة الحرارة وبذلك التوصيلية الكهربية تزداد والمقاومة الكهربية تنخفض بارتفاع درجة الحرارة. أوضح كامبل وباور وريشارد (1948) ,Campbell Bower, and Richards أن التوصيلية الكهربية ترتفع بمقدار 2.02% لكل ارتفاع درجة مئوية واحدة بين 15-35 درجة مئوية، ولهذا التوصيلية الكهربية يجب أن تقاس عند درجة حرارة موحدة (25 درجة مئوية). فتصحح قراءة التوصيلية الكهربية بمعلومية درجة الحرارة باستعمال معادلات متفق عليها والتي تعتبر معادلة كامبل (معادلة 2) من أشهرها (Campbell et al., 1948):

$$EC_T = EC_{25°C}[1 + \alpha(T - 25°C)] \quad (2)$$

حيث إن EC_T هي التوصيلية الكهربية (دسي سيمن/متر) عند درجة حرارة T، $EC_{25°C}$ هي التوصيلية الكهربية عند درجة حرارة 25 مئوية، α هو معامل التصحيح ويساوي 2.02%. وحدة قياس التوصيلية الكهربية هي دسي سيمن/متر (dS/m) أو ملي سيمن/سم (mS/cm) أو ملي موز/سم (mmho/cm). كما يمكن حساب الجهد الإسموزي بمعلومية التوصيلية الكهربية لمحلول معين باستعمال معادلة (3) (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954):

$$\varphi = -0.36xTDS \quad (3)$$

ويمكن حساب مجموع المواد الصلبة الذائبة بمعلومية التوصيلية الكهربية باستعمال معادلة (4) (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954):

$$TDS = 0.64x10^3xEC \quad (4)$$

حيث إن وحدة الجهد الإسموزي هي البار، ومجموع المواد الصلبة الذائبة هي ملي غرام/لتر، والتوصيلية الكهربية هي دسي سيمن/متر. وتعتبر التربة متأثرة بالأملاح أو ذات ملوحة عالية إذا كانت التوصيلية الكهربية لمحلولها أكبر من 4 دسي سيمن/متر. أوضحت الجمعية الأمريكية لعلوم التربة أن الترب التي لها توصيلية كهربية >2 دسي سيمن/متر يمكن اعتبارها ذات ملوحة عالية ذلك لأن بعض المحاصيل الاقتصادية تتأثر بملوحة التربة عند هذا المعدل. إن مصطلح ملوحة التربة لا يعبر على ارتفاع تركيز الأملاح في التربة فقط بل يعبر كذلك على صودية وقلوية التربة (van Beek and Tóth, 2012). فمصطلح صودية التربة يعبر على ارتفاع تركيز أيون الصوديوم في محلول التربة أما قلوية التربة فيعبر على إرتفاع الرقم الهيدروجيني (pH) في محلول التربة في الغالب نتيجة ارتفاع تركيز الكربونات فيها. إن صودية التربة تعتمد على نسبة تركيز الصوديوم بالنسبة إلى تركيزي الكالسيوم والماغنسيوم في التربة أو محلولها. هناك مقياسان يستعملان للتعبير على نسبة تركيز الصوديوم في التربة هما معدل الصوديوم المدمص SAR (Sodium Adsorption Ratio) ونسبة الصوديوم المتبادل ESP (Exchangeable Sodium Percentage) اللذان يمكن حسابهما باستعمال المعادلتين (5) و(6) (Shahid, Abdelfattah, and Taha, 2013).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{+2}+Mg^{+2})/2}} \quad (5)$$

$$ESP = \frac{Na^+}{CEC}x100 \quad (6)$$

حيث إن وحدة SAR تكون (ملي مول/لتر)$^{0.5}$ وتركيزات الصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم يكون (ملي مكافي/لتر) من المحلول المترشح من تربة مشبعة بالماء. الصوديوم المتبادل يعبر عنه بوحدة ملي مكافي لكل 100 جرام تربة وCEC هي السعة التبادلية الكاتيونية للتربة (ملي مكافي/100 جرام تربة). تعتبر التربة صودية إذا كان معدل الصوديوم المدمص يساوي أو أكبر من 13 (ملي مول/لتر)$^{0.5}$ أو أن نسبة الصوديوم المتبادل أكبر من أو يساوي 15%(Richards, 1954). هناك العديد من تصنيفات التربة على حسب ملوحتها من أشهرها النظام الأمريكي USDA System، النظام الروسي RSC System، النظام الأوروبي European System، والنظام الأسترالي Australian System.

ويعتبر التصنيف الأمريكي أشهر هذه التصنيفات وهو يعتمد على تصنيف التربة على حسب معدل ملوحتها (EC)، وصوديتها (ESP/SAR)، وقلويتها (pH) (جدول 1). بعض المصادر العلمية تعتبر تركيز عنصر البورون في التربة مهما ويفترض أن يؤخذ بعين الاعتبار ذلك لحساسية بعض النباتات له. ويعتبر تركيز البورون عاليا إذا تجاوز 2 ملي جرام/لتر. وكذلك تركيز بعض العناصر الأخرى مثل الكلوريد والليثيوم يفترض أن تؤخذ بعين الاعتبار وذلك لسميتها للنبات وتأثيرها السلبي على خواص التربة.

جدول (1) تصنيف التربة على حسب معدل ملوحتها (EC) وصوديتها (ESP/SAR) وقلويتها (pH) (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

تصنيف التربة	EC (دسي سيمن/متر)	SAR (ملي مول/لتر)$^{0.5}$	ESP (%)	pH
ذات ملوحة وصودية وقلوية منخفضات	4>	13>	15>	8.5>
ذات ملوحة مرتفعة وصوية وقلوية منخفضتان	4<	13>	15>	8.5>
ذات ملوحة منخفضة وصودية وقلوية مرتفعتان	4>	13<	15<	8.5<
ذات ملوحة وصودية وقلوية مرتفعات	4<	13<	15<	8.5<

معالجة ملوحة التربة

توجد عدة طرق متبعة لخفض ملوحة التربة أو للتقليل من تأثيرها على البيئة والزراعة. لكن يجدر القول أنه لا توجد طرق تقضي على مشكلة ملوحة التربة تماما. يمكن تلخيص أشهر الطرق والسياسات المتبعة للتقليل من أثر ملوحة التربة في النقاط التالية:

1. إن التخطيط الجيد للمشاريع الزراعية هو الأسلوب الأمثل لمعالجة مشكلة ملوحة التربة. فالأراضي ذات ملوحة أولية عالية يفترض تجنبها لأن استثمارها وإقامة مشاريع زراعية عليها يسبب في استفحال مشكلة ملوحة التربة.
2. تصميم وتجهيز نظامين متكاملين للري والصرف للحد من مشكلة زيادة ملوحة التربة في المشاريع الزراعية. فالأملاح في التربة تنتقل عن طريق الماء ويستعمل الماء في زيادة أو خفض نسبة الملوحة في التربة. إن عملية صيانة التربة ذات الملوحة العالية مرتبطة بعمليات صيانة وإدارة المياه، حيث إن الري باستعمال مياه ذات جودة منخفضة يؤدي إلى ارتفاع ملوحة التربة، في نفس الوقت يستعمل الماء في غسل الأملاح في قطاع التربة باستعمال أنظمة التصريف السطحية وتحت السطحية. إن اختيار نظام الري المناسب يعتبر أحد أهم الطرق للحد أو معالجة مشكلة ملوحة التربة. إن كمية المياه المستعملة لغسل الأملاح الذائبة في قطاع التربة تعتمد على عدة عوامل أهمها: نسبة الأملاح في قطاع التربة، طريقة الري، خواص التربة الفيزيائية، المناخ السائد في المنطقة. هناك عدد من الصعوبات التي تواجه عملية غسل الأملاح الذائبة في قطاع التربة منها صعوبة التخلص من المياه المضافة إلى التربة لوجود مياه جوفية قريبة من سطحها أو لرداءة خواصها الهيدروليكية، وصعوبة الحصول على مياه ذات جودة عالية وبكميات كبيرة، والتكلفة العالية لأنظمة غسل التربة. هناك العديد من الدراسات أجريت على أنظمة التصريف السطحية وتحت السطحية وفعاليتها في خفض تركيز الأملاح الذائبة في قطاع التربة ووجد أن أنظمة التصريف تحت السطحية أكثر فعالية(Gao, 2001) ولكن هذه الأنظمة لا تعتبر طرق اقتصادية لخفض مستوي ملوحة التربة؛ لأنها تستوجب استعمال كميات كبيرة من المياه العالية الجودة بالإضافة إلى تكلفتها العالية. طريقة التصريف تحت السطحي لا تستعمل في غسل

قطاع التربة من الأملاح فقط وإنما تستعمل أيضا لخفض مستوى المياه الجوفية بحيث لا يرتفع الماء الجوفي إلى منطقة الجذور عبر الأنابيب الشعرية في التربة.

3. استعمال الطرق الكيميائية يمكن أن يحد من مشكلة ملوحة التربة، فإضافة المحسنات الكيميائية مثل الجبس، وحامض الكبريتيك المخفف، ومخلوط الجبس مع الفسفور، تعمل على خفض ملوحة التربة (Hulugalle, Weaver, Ghadiri, and Hicks, 2006). إضافة حامض الكبريتيك المخفف إلى مياه الري مثلا تعمل على خفض ملوحة التربة في الترب التي تعاني من نسبة كربونات أو بيكربونات عالية. إضافة الحامض المخفف لا تعمل على خفض تركيز الكربونات فقط وإنما تعمل أيضا على خفض قلوية (pH) التربة (Miyamoto, and Ryan, 1976) ويساعد على غسل عنصر البورون من قطاع التربة (Prather, 1977). ويضاف الجبس إلى التربة الصودية لأنه مصدر لعنصر الكالسيوم الذي يحل محل الصوديوم الموجود على أسطح معادن الطين وبالتالي تنخفض نسبة الصوديوم المدمص في التربة.

4. استعمال الطرق البيولوجية للحد من تأثير ملوحة التربة على النبات. فزراعة نباتات ومحاصيل تتحمل الملوحة العالية تعتبر طريقة فعالة للتغلب على مشكلة ملوحة التربة. هذه الطريقة تم تطويرها باستعمال الهندسة الوراثية وإنتاج سلالات من نباتات معدلة وراثيا تتحمل الملوحة العالية (Kang, Chen, and Wan, 2010). تعمل العديد من مراكز البحوث العالمية على تطوير وإنتاج سلالات نباتية غير قادرة على تحمل ملوحة التربة العالية فقط بل بعض النباتات لها جذور تنمو وتمتد أعمق من غيرها في قطاع التربة. هذه النباتات تستهلك مياه أقل من غيرها باعتبار أن المنطقة العميقة من قطاع التربة تحافظ على رطوبتها مدة أطول من التربة السطحية وتقلل من فرصة تملح التربة بواسطة مياه الري رديئة الجودة (Venkateswarlu and Shanker, 2009). هذا النوع من النباتات لها القدرة على عدم السماح للماء الجوفي بالإرتفاع عبر الأنابيب الشعرية في التربة والتسبب في تملحها (Manchanda and Garg, 2008) . هناك أنواع من الأحياء الدقيقة في التربة تساعد النبات على النمو في تربة عالية الملوحة. هذه الأحياء من بكتيريا وفطريات تسمي بالميكروبات المساعدة في النمو وهي تعمل على مقاومة تأثير سمية الأملاح الذائبة في محلول التربة علي النبات بالإضافة إلى مقاومة تأثير جفاف التربة;(Cho et al., 2006) (Dimkpa, Weinand, and Ash, 2009) . هذه الأحياء الدقيقة يوصى إضافتها إلى التربة التي تعاني من الملوحة العالية والجفاف كسماد بيولوجي. إن التأثير الإيجابي لهذه الأحياء الدقيقة على النبات النامي في تربة ذات ملوحة عالية يتمثل في التغير المورفولجي في جذور النبات مثل زيادة نمو الجذور وزيادة مساحتها السطحية مما يؤدي إلى زيادة إمتصاص الماء وبالتالي يؤدي إلى خفض تركيز الأملاح في خلايا النبات.

5. المادة العضوية تعمل على تحسين خواص التربة المتأثرة بالأملاح. بعض الدراسات أوضحت أن هناك علاقة بين ملوحة التربة والمادة العضوية، حيث إن إضافة المادة العضوية تعمل على خفض ملوحة التربة ولكن لم تتوصل هذه الأبحاث إلى تفسير علمي منطقي عن الأثر المباشر للمادة العضوية على ملوحة التربة (Mavi, Marschner, Chittleborough, and Cox, 2012).

6. العمل على دراسة وابتكار طرق لخفض البخر والنتح وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة. هناك بعض الطرق المتعارف عليها والمستعملة لخفض معدلات البخر والنتح مثل استدامة الغطاء النباتي، إضافة المادة العضوية، واستعمال أنظمة ري متطورة. أثبتت العديد من الأبحاث الحديثة أهمية عدم الحراثة وترك بقايا المحاصيل على سطح التربة في الزراعة والبيئة وعلم المياه بصفة عامة. فعدم حراثة التربة وترك بقايا النباتات على سطحها يعمل على خفض معدل بخر الماء من التربة. وهذه الطريقة مهمة كذلك في رفع نسبة

المادة العضوية في التربة وبالتالي تحسين خواص التربة الفيزيائية، والكيميائية، والبيولوجية. فالمادة العضوية تعمل على تحسين بناء التربة بالتالي تحسين خواصها الهيدروليكية وتحسين عملية غسل الأملاح الذائبة في قطاع التربة. إن طريقة إضافة بقايا النباتات إلى سطح التربة لتقليل البخر وتحسين الخواص الهيدروليكية للتربة متعارف عليها منذ زمن(Carter and Fanning, 1964, 1965).

7. التبوير الشتوي يعمل على خفض نسبة الأملاح في التربة. ويقصد بالتبوير الشتوي عدم زراعة وري التربة لموسم أو عدة مواسم لإعطاء الفرصة لمياه الأمطار لغسل الأملاح الذائبة في قطاع التربة.
8. إنشاء مراكز بحثية متخصصة في دراسة ملوحة التربة وتغيرها في قطاع التربة، المياه الجوفية، مياه الأنهار. لازال هناك حاجة ملحة لدراسات علمية تهتم باستصلاح التربة المتأثرة بالأملاح.

استعمال الاستشعار عن بعد في دراسة ومراقبة ملوحة التربة

يقصد بالاستشعار عن بعد هو كشف وجمع وتفسير المعلومات المتحصل عليها عن بعد عن طريق المستشعرات (Sensors). هذه المستشعرات المستعملة في العادة في الأقمار الاصطناعية الموجودة في الفضاء تقيس درجة الانعكاس للإشعاعات الكهرومغناطيسية لهدف معين على سطح الأرض. توجد العديد من المستشعرات المستعملة في مراقبة وإنتاج خرائط ملوحة التربة منها على سبيل المثال مستشعرات الصور الفوتوغرافية (Photographic Sensors)، مستشعرات الطيف المتعدد (Multi Spectral Sensors)، مستشعرات الطيف المفرط (Hyper-spectral Sensors)، مستشعرات الرادار (Radar Sensors)

(Brevik et al., 2015). هناك العديد من الأقمار الاصطناعية استعملت لإنتاج خرائط عن ملوحة التربة مثل(Dehaan and Taylor, 2003). ASTER, Hymap, Landsat, LISS, IKONOS, SPOT وتتعدد أنواع البيانات المتحصل عليها من المستشعرات والمستخدمة في دراسة ملوحة التربة منها الصور الجوية، ومقاطع الفيديو، والأشعة تحت الحمراء، وصور الميكروويف(Metternicht and Zinck, 2003). إن اختيار طريقة الاستشعار عن بعد والأشعة المناسبة تعتمد على: الهدف من الدراسة أو الاستعمال ودقة المعلومات المتحصل عليها من تقنية الاستشعار عن بعد، خواص الجسم المراد دراسته على سطح الأرض، الظروف المناخية السائدة في المنطقة، مساحة منطقة الدراسة.

إن مراقبة ملوحة التربة يجب أن تكون جزءا من أي مشروع زراعي وخاصة في المشاريع الزراعية المروية. فتستعمل تقنية الاستشعار عن بعد بصفة عامة في مراقبة عمليات استصلاح الأراضي المتأثرة بالأملاح والتنبؤ بالمناطق المعرضة لخطر تملح التربة. استعملت تقنية الاستشعار عن بعد في تقدير ومراقبة التغيرات الحاصلة في ملوحة التربة منذ 1960 (Dale, Hulsman, and Chandica, 1986) ، تفضل هذه الطريقة على الطرق التقليدية في تقدير ومراقبة ملوحة التربة لأنها طريقة سريعة ولا تحتاج إلى وقت طويل وجهد مضن ولأنها تغطي مساحات كبيرة من المنطقة المراد دراستها وإلي كونها تمكننا من مراقبة التغيرات الحاصلة في ملوحة التربة لمدة طويلة ولمرات عديدة. وتتمثل أهمية تقنية الاستشعار عن بعد في علوم التربة والمياه بصفة عامة كونها تساعد في رسم السياسات، وأخذ القرارات، وإدارة الموارد المتعلقة بالتربة والمياه، ومراقبة تأثير استثمار الأراضي على البيئة. أهميتها تتمثل في تزويدنا ببيانات لمناطق شاسعة يصعب الحصول عليها على الأرض أو أنها مكلفة وتحتاج إلى وقت.

إن سطح التربة يمكن أن يعكس وجود الأملاح الذائبة في التربة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة. ففي الطريقة المباشرة يقدر وجود وتركيز الأملاح في التربة في المناطق الجرداء التي لا يوجد بها نباتات، أما في الطريقة غير المباشرة فتحدد ملوحة التربة عن طريق النباتات المغطية لسطح التربة أو من خلال رطوبتها (Mougenot, Poiget, and Epema, 1993). حيث إن ملوحة التربة تؤثر على الغطاء النباتي ورطوبة التربة. كما يمكن لتقنية الاستشعار عن بعد تحديد

نوع الأملاح الذائبة في التربة السطحية بالإضافة إلى تركيزها. تقنية الاستشعار عن بعد توفر خرائط عن ملوحة التربة للطبقة السطحية لقطاع التربة ولا يمكنها توفير بيانات دقيقة عن ملوحة التربة لأعماق مختلفة. ولكن أوضح شوشاني وآخرون Shoshany Goldshleger, and Chudnovsky, (2013) بأنه يمكن مراقبة ملوحة التربة تحت السطحية بطرق غير مباشرة.

مستقبل البحث العلمي وملوحة التربة

هناك بعض المواضيع والمشاكل المتعلقة بملوحة التربة والتي تحتاج إلى دراسات وتركيز أكبر من قبل العلماء والباحثين في مجالي البيئة والزراعة. هذه المواضيع توجد عليها معلومات وبيانات محدودة نحاول تسليط الضوء عليها أكثر. من أهم هذه المواضيع ظاهرة التغيرات المناخية وأثرها على ملوحة التربة، التي تعتبر من أهم الظواهر الطبيعية التي حازت على اهتمام البشرية على كوكب الأرض مؤخرا لأهميتها وأثرها على مستقبل الكوكب. ظاهرة التغيرات المناخية هي تغير أو تباين في المناخ عن معدله الطبيعي لمدة طويلة تزيد عن 30 سنة حسب المنظمة العالمية للأرصاد الجوية. بغض النظر عن تضارب الآراء حول أسبابها، هذه الظاهرة لها أثر مباشر على ملوحة التربة. حيث إن ارتفاع درجة حرارة كوكب الأرض له أثر كبير على استفحال مشكلة ملوحة التربة في المناطق التي تعاني منها أو انتشارها في مناطق جديدة. إن التنبؤ بالظواهر الطبيعية والصناعية باستخدام البرامج الرقمية أو الإحصاء يعتبر من اهتمام العصر الحديث لأهميته ولتوفر وسائل التكنولوجيا التي سهلت على الإنسان القيام بعمليات التنبؤ بسهولة. التنبؤ بملوحة التربة له أساليب ومجالات متعددة كلها تخدم كيفية التحكم في ملوحة التربة وكل هذه المجالات تعتبر مواضيع نحتاج إلى تطويرها والاستفادة منها. فمنها التنبؤ بالملوحة بعد معالجة التربة باستخدام أساليب جديدة وغير معروفة، أو التنبؤ المكاني والزمني لملوحة التربة، أو التنبؤ لغرض إنتاج خرائط جغرافية لملوحة التربة لمنطقة معينة.

تعتبر طريقة إنتاج سلالات نباتية لها القدرة على تحمل الملوحة العالية من أهم الطرق للتغلب على ظاهرتي ملوحة وانجراف التربة. العديد من الأبحاث اهتمت بإنتاج هذه السلالات النباتية ولكن لازال هناك فجوة عميقة تحتاج منا إلى المزيد من العمل والبحث على تطوير وإنتاج المزيد من هذه السلالات النباتية. بالإضافة إلى المواضيع السابقة، أشار وونق وقرين ودالال ومورفي and Murphy Wong, greene, Dalal, (2010) أنه لا يوجد دلائل وأبحاث كافية على علاقة ملوحة التربة بالتغيرات في مخزون الكربون والنيتروجين في التربة وبديناميكية الكربون في التربة المتأثرة بالأملاح حيث يعتبر عنصرا الكربون والنيتروجين من أكثر العناصر ديناميكية في الطبيعة وأهمها للزراعة والبيئة. تؤثر ملوحة التربة على عنصري الكربون والنيتروجين بتأثيرها على الغطاء النباتي والأحياء الدقيقة في التربة والماء التي بدورهما لهما أثر فعال في دورتي الكربون والنيتروجين في الطبيعة. ويبدو أن المشكلة الحقيقية لا تكمن في الأثر المباشر وغير المباشر لملوحة التربة على دورتي الكربون والنيتروجين في الطبيعة بل في أثر الوسائل المستعملة والمبتكرة للحد من ملوحة التربة. حيث إن هذه الوسائل تعمل على التغير البيئي الحاد في الأنظمة البيئية للنباتات والأحياء الدقيقة في التربة والماء مما يؤدي إلى الحد من نشاطها وتنوعها الحيوي في الوسط مما يؤثر على دورتي الكربون والنيتروجين في الطبيعة.

قائمة المراجع

- Brevik, E., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J., Six, J., & van Oost. K. (2015). The interdisciplinary nature of soil. *Soil,* 1, 117–129. DOI:10.5194/soil-1-117-2015

- Campbell, R.B., Bower, C.A., & Richards, L.A. (1948). Change of electrical conductivity with temperature and the relation of osmotic pressure to electrical conductivity and ion concentration for soil extracts. *Soil Science Society of America Journal,* 13, 66-69.
- Carter, D.L., & Fanning, C.D. (1964). Combining surface mulches and periodic water applications for reclaiming saline soils. *Soil Science Society of America Proceedings,* 28, 564-567.
- Carter, D.L., & Fanning, C.D. (1965). Cultural practices for grain sorghum production through a cotton bur mulch. *Journal of Soil Water Conservation,* 20, 61-63.
- Cho, K., Toler, H., Lee, J., Owenley, B., Stutz, J., Moore, J., & Auge, R. (2006). Mycorrhizal symbiosis and response of sorghum plants to combined drought and salinity stresses. *Journal of Plant Physiol*ogy, 163, 517–528. DOI:10.1016/j.jplph.2005.05.003
- Corwin, D., Rhoades, J., & Simunek, J. (2007). Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models. *Agricultural Water Management,* 90, 165-180. DOI:10.1016/j.agwat.2007.02.007
- Dale, P., Hulsman, K., & Chandica, A. (1986). Classification of reflectance on colour infrared aerial photographs and sub-tropical salt-marsh vegetation types. *International Journal of Remote Sensing,* 7(12), 1783-1788.
- Dehaan, R., & Taylor, G.R. (2003). Image-derived spectral end members as indicators of salinization. *International Journal of Remote Sensing,* 24(4), 775–794. DOI:10.1080/01431160110107635
- Dimkpa, C., Weinand, T., & Ash, F. (2009). Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Plant Cell Environment,* 32, 1682–1694. DOI:10.1111/j.1365-3040.2009.02028.x
- DNR. 1997. *Salinity Management Handbook*. Brisbane, Australia: Department of Natural Resources (DNR).
- Domínguez-Beisiegel, M., Herrero, J., & Castañeda, C. (2013). Saline wetlands' fate in inland deserts: an example of 80 years' decline in Monegros, Spain. *Land Degradation and Development,* 24, 250–265. DOI:10.1002/ldr.1122
- Fan, X., Pedroli, B., Liu, G., Liu, Q., Liu, H., & Shu, L. (2012). Soil salinity development in the yellow river delta in relation to groundwater dynamics. *Land Degradation and Development,* 23, 175–189. DOI:10.1002/ldr.1071
- FAO. (1988). *World Agriculture Toward 2000: An FAO Study*. London, UK: Bellhaven Press.
- Gao, C.Y. (2001). Open ditch drainage and tube well drainage. *Groundwater,* 23(4), 194-206.
- Geeson, N.A., Brandt, C.J., & Thornes, J.B. (2003). *Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Ghassemi, F., Jakeman, A.J., & Nix, H.A. (1995). *Salinization of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies.* Oxfordshire, UK: CAB International.

- Glick, B.R., Cheng, Z., Czarny, J., & Duan, J. (2007). Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. *European Journal of Plant Pathol*ogy, 119, 329–339. DOI:10.1007/s10658-007-9162-4
- Godfray, H.C., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., ... & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science,* 327, 812–818. DOI:10.1126/science.1185383
- Goossens, R., & van Ranst, E. (1998). The use of remote sensing to map gypsiferous soils in the Ismailia Province (Egypt). *Geoderma,* 87(1), 47–56. DOI:10.1016/S0016-7061(98)00069-X
- Hulugalle, N., Weaver, T., Ghadiri, H., & Hicks, A. (2006). Changes in soil properties of an eastern Australian vertisol irrigated with treated sewage effluent following gypsum application. *Land Degradation and Development,* 17(5), 527–540. DOI:10.1002/ldr.734
- Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2011). Gene expression profiling of plants under salt stress. *Critical Reviews in Plant Sciences,* 30(5), 435–458. DOI:10.1080/07352689. 2011.605739Junge, C.E. (1963). *Air chemistry and radiation*. London, New York: Academic Press.
- Kang, Y.H., Chen, M., & Wan, S.Q. (2010). Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (Zea mays L. var. ceratinaKulesh) in North China Plain. *Agricultural Water Management,* 97(9), 1303–1309. DOI:10.1016/j.agwat.2010.03.006
- Keesstra, S., Geissen, V., Mosse, K., Piiranen, S., Scudiero, E., Leistra, M., & van Schaik, L. (2012). Soil as a filter for groundwater quality. *Current Opinion in Environmental Sustainability,* 4, 507–516. DOI:10.1016/j.cosust.2012.10.007
- Koorevaar, P., Menelik, G., & Dirksen, C. (1983). *Elements of Soil Physics.* Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Kreba, S.A. (2013). *Land-use impact on soil gas and soil water transport properties* (Doctoral Dissertation, University of Kentucky, USA). Retrived from https://uknowledge.uky.edu/pss_etds/31/
- Kreba, S.A., Wendroth, O., Coyne, M., & Walton, R. (2017). Soil gas diffusivity, air-filled porosity, and pore continuity: Land use and spatial patterns. *Soil Science Society of America Journal,* 81, 477–489. DOI:10.2136/sssaj2016.10.0344
- Lefebvre. O., & Moletta, R. (2006). Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: A literature review. *Water Research,* 40, 3671-3682. DOI:10.1016/j.watres.2006.08.027
- Manchanda, G., & Garg, N. (2008). Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiologiae Plantarum,* 30, 595–618. DOI:10.1007/s11738-008-0173-3
- Massoud, F.I. (1981). *Salt-affected soils at a global scale and concepts of control.* Technical Paper. Rome, Itali: FAO Land and Water Development Division.
- Mateo-Sagasta, J., & Burke, J. (2011). *Agriculture and water quality interactions: a global overview.* SOLAW Background Thematic Report-TR08. Rome, Itali: FAO Land and Water Development Division.

- Mavi, M.S., Marschner, P., Chittleborough, D.J., & Cox, J. (2012). Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils varying in texture. *Soil Biology and Biochemistry,* 45, 8–13. DOI:10.1016/j.soilbio.2011.10.003
- Metternicht, G.I., & Zinck, J.A. (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment,* 85, 1-20. DOI:10.1016/S0034-4257(02)00188-8
- Miyamoto, S., & Ryan, J. (1976). Sulfuric acid for the treatment of ammoniated irrigation water. II. Reducing calcium precipitation and sodium hazard. *Soil Science Society of America Journal,* 40, 305-310. DOI:10.2136/sssaj1976.03615995004000020029x
- Mougenot, B., Poiget, M., & Epema, G. (1993). Remote sensing of salt affected soils. *Remote Sensing Reviews,* 7, 241-259. DOI:10.1080/02757259309532180
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist,* 167, 645–663. DOI:10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x
- Paix, M., Lanhai, L., Xi, C., Varenyam, A., Nyongesah, M., & Habiyaremye, G. (2013). Physicochemical properties of saline soils and aeolian dust. *Land Degradation and Development,* 24, 539–547. DOI:10.1002/ldr.1148
- Patel, B., Patel, B., Bharat, B. & Dave, R.S. (2011). Studies on infiltration of saline–alkali soils of several parts of Mehsana and Patan districts of north Gujarat. *Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation,* 1(1), 87–92.
- Prather, R.J. (1977). Sulfuric acid as an amendment for soils high in boron. *Soil Science Society of America Journal,* 41, 1098-1101. DOI:10.2136/sssaj1977.03615995004100060016x
- Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal Experimental Botany,* 57, 1017–1023. DOI:10.1093/jxb/erj108
- Rhoades, J.D., Kaddah, M.T., Halvorson, A.D., & Prather, R.J. (1977). Establishing soil electrical conductivity salinity calibration using four electrodes cells containing undisturbed soil cores. *Soil Science,* 123, 137-141.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science,* 78, 154-208.
- Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., & Herzog, I. (1990). *Archaeological prospecting and remote sensing*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2013). Improving salinity tolerance in cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32, 237–249. DOI:10.1080/07352689.2013.758544
- Shahid, S.A., Abdelfattah, M.A., & Taha, F.K. (Eds.) (2013). *Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture.* Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Shannon, M.C. (1997). Adaptation of plants to salinity. *Advanced Agronomy,* 60, 75–120. DOI:10.1016/S0065-2113(08)60601-X

- Shoshany, M., Goldshleger, N., & Chudnovsky, A. (2013). Monitoring of agricultural soil degradation by remote-sensing methods: a review. *International Journal of Remote Sensing,* 34(17), 6152-6181. DOI:10.1080/01431161.2013.793872
- Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences,* 22, 123-131. DOI:10.1016/j.sjbs.2014.12.001
- Singh, K. (2015). Microbial and enzyme activities of saline and sodic soils. *Land Degradation and Development,* 27, 706–718. DOI:10.1002/ldr.2385
- Six, J., Paustian, K., Elliott, E., & Combrink, C. (2000). Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal,* 64, 681–689. DOI:10.2136/sssaj2000.642681x
- Smedema, L.K., & Shiati, K. (2002). Irrigation and salinity: a perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. *Irrigation and Drainage System,* 16(2), 161-174. DOI:10.1023/A:101600841
- Stanners, D., & Bourdeau, P. (1995). *Europe's Environment: The Dobris Assessment.* Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities.
- U.S. Salinity Laboratory Staff (1954). *Diagnosis and improvement of saline alkali soils.* USDA Agricultural Handbook No. 60. Washington, DC: US Government Printing Office.
- van Beek, C.L., & Tóth, G. (Eds.). (2012). *Risk assessment Methodologies of Soil Threats in Europe, JRC Scientific and Policy Reports EUR.* Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities.
- Venkateswarlu, B., & Shanker, A.K. (2009). Climate change and agriculture: adaptation and mitigation strategies. *Indian Journal of Agronomy,* 54, 226–230. DOI: 10.1016/bs.agron.2015.12.005
- Verbruggen, N., & Hermans, C. (2013). Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. *Plant Soil,* 368, 87–99. DOI:10.1007/s11104-013-1589-0
- Warrence, N., Bauder, J., & Pearson, K. (2003). Basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties. Montana State University, Bozeman.
- Wong, V., Greene, R., Dalal, R.C., & Murphy, B.W. (2010). Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. *Soil Use Management,* 26, 2–11. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00251.x
- Zheng, D.X., & Sha, J.Q. (1994). The change in soil properties under beefwood shelter belt on the aeolian sandy coast in Fujian and its influence on the reforestation of the Slashland. *Acta Geographica Sinica,* 49(4), 345–352.