Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

A Review on "Half a Century Research on Soil Salinity in the Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran"

Mohammad Hossein Mohammadi
Department of Soil Science Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
Email: mhmohmad@ut.ac.ir
(Received: Dec. 12, 2021- Revised: June. 11, 2022- Accepted: July. 2, 2022)

Article Info

Article type: Review Article

Article history:

Received: Dec. 12, 2021

Revised: June. 11, 2022

Accepted: July. 2, 2022

Published online: Aug. 23, 2022

Keywords:
Soil salinity.
Soil management.
Modelling.

ABSTRACT

In this paper, more than one hundred studies on soil salinity which conducted by researchers in the Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran in the last fifty years, are reviewed and then classified as; measuring and estimating the properties of saline and sodic soils, the effect of salinity and sodicity on soil characteristics, the relationship between plant and soil salinity, the effect of vegetation and biological crusts on soil salinity, leaching and modeling of solute movement, genesis and development of saline soils and salinity warnings and finally, biological relationships in saline soils. Summarizing these results reveals that the methods of soil analysis, crop management as well as sustainable soil management, the relationship between soil and micro and macroorganisms and plant nutrition and soil fertility are considerably different from non saline conditions. In addition, the salinity is developing and the need to use the salt affected soils is inevitable. Some findings would be worthwhile in the use and management of these soils. Subsequently it is necessary to define a comprehensive research program for saline sodic soils in Iran.

Cite this article: Mohammadi, M. H. (2022). A Review on Half a Century Research on Soil Salinity in the Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (5), 1423-1445.
© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2022.334892.669148

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۳، شماره ۶ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

مروری بر "نیم قرن تحقیق بر روی شوری خاک در گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران"

محمدحسین محمدی✉
گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. ایمیل: mhmohmad@ut.ac.ir
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۱- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۲۱- تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۴/۱۱)

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۶/۱

واژه‌های کلیدی:
شوری خاک.
مدیریت خاک.
مدل‌سازی

چکیده

مقاله حاضر حاصل مرور بیش از صد پژوهش بر روی شوری خاک که توسط پژوهشگران گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران در پنجاه سال گذشته انجام شده است، بوده و در هفت محور اندازه‌گیری و برآورد ویژگی‌های خاک های شور و سدیمی، تاثیر شور و سدیمی بودن بر ویژگی‌های خاک، رابطه گیاه و شوری و سدیمی خاک، تاثیر پوشش گیاهی و پوسته‌های زیستی بر شوری خاک، آبشویی و جابجایی املاح و مدلسازی آنها، تشکیل و گسترش خاک‌های شور و هشدارهای مربوط به شوری و روابط بیولوژیک در شرایط شور، گروه بندی شده است. جمع بندی این نتایج موید آن است که روشهای تجزیه خاک، مدیریت کشت و کار و نیز مدیریت پایدار خاک، رابطه بین جانداران ریز و درشت با خاک و شرایط تغذیه‌ای گیاه و حاصلخیزی خاک در شرایط شور، تفاوت عمده‌ای با شرایط غیر شور دارد. همچنین معضل شوری رو به گسترش بوده و نیاز به استفاده از اراضی شور نیز اجتناب ناپذیر است. برخی دستاوردهای نوین، کاربرد موثری در استفاده از این اراضی شور دارد. به همین دلیل لازم است یک جهت‌گیری پژوهشی به صورت هدف محور و مشخص در خصوص این معضل زیست محیطی تعریف گردد.

استناد: محمدی، محمدحسین (۱۴۰۱). مروری بر "نیم قرن تحقیق بر روی شوری خاک در گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران". *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۶)، ۱۴۴۵-۱۴۲۳.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijswr.2022.334892.669148

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

با وجود آنکه نسل اول اعضای هیئت علمی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران دانش آموخته کشورهایی بودند که عموما فاقد مشکل و معضل جدی شوری خاک بودند، اما پس از شروع به خدمت، توجه آن‌ها به مساله شوری به عنوان مشکل جدی خاک‌های ایران و تاثیر آن‌ها بر رشد گیاه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک معطوف گردید. به طوری که موضوع اولین پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه به مساله شوری اختصاص یافت. در مقاله حاضر پژوهش‌های۵۰ سال گذشته گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران که مرتبط با شوری می‌باشند، مرور شده و در هفت محور گروه‌بندی و سپس نتایج آن‌ها جمع‌بندی گردیده است. هدف اصلی این بررسی، انعکاس برخی پژوهش‌های ارزشمند ولی منتشر نشده و نگاهی دوباره به تحقیقات انجام شده در مورد شوری خاک در گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران، تجزیه و تحلیل آن‌ها و در نهایت تبیین برخی مشکلات و نیازهای پژوهشی آتی و ارائه راهبردهای مناسب بوده است.

تعریف و اهمیت خاک شور

مطابق تعریف، خاک شور عبارت است از خاکی که دارای قابلیت هدایت الکتریکی EC[۱] عصاره اشباع (ECe) بیش از ۲ dS/m(در دمای ۲۵C°) باشد (Bohn et al., 1985). این تعریف در دستورالعمل وزارت کشاورزی آمریکا (Soil Science Glossary Terms Committee. 2008) نیز مورد پذیرش قرار گرفته است. اما فائو بر اساس تعریف (Richards (1954 و تعریف قبلی وزارت کشاورزی آمریکا، خاک‌های دارای ECe بیشتر از ۴ dS/m را شور و دارای محدودیت شوری معرفی می‌کند (Abrol et al., 1988). این تعریف در ارزیابی و طبقه‌بندی اراضی مورد استفاده محققین کشور ما نیز قرار گرفته است (Jamshidi et al., 2015). بر این اساس، مساحت اراضی دارای خاک‌های با درجات مختلف شوری در ایران ۵۵/۶ میلیون هکتار (Mha)(حدود ۳۴ درصد مساحت کل کشور) برآورد می‌شود که اکثر آنها در دشت‌های ساحلی جنوب، فلات مرکزی و دشت خوزستان پراکنده شده‌اند (Roozitalab et al., 2018). از کل ۱۸/۵ Mha خاک تحت کشت کشور، حدود ۶/۸ Mha به درجات مختلف متأثر از شوری می‌باشند (Moameni 2011). بر خلاف گسترش زیاد خاک های شور در کشور، اطلاعات کافی در مورد خاک‌های شورسدیمی و خاک‌های سدیمی در دسترس نیست. فائو (۱۹۸۸) مساحت خاک‌های سدیمی ایران را حدود ۲/۶ درصد خاک‌های شور کشور برآورد کرده است (Abrol et al., 1988). به همین دلیل عموما شوری خاک در مقایسه با سدیمی بودن آن مشکل مهم‌تری در نظر گرفته می‌شود.

اندازه‌گیری و برآورد ویژگی‌های خاک‌های شور و سدیمی

کاتیون‌های غالب در عصاره اشباع خاک‌های شور کشور شامل سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم و آنیون غالب یون کلر یا سولفات می‌باشد و غالبا غلظت یون کلر همبستگی بسیار قوی (غالبا بیش از ۹۸٪) با مقدار شوری خاک دارد (Farahbakhsh and Toufighi1997). بر همین اساس غلظت کل آنیون‌ها و یا کاتیون‌های خاک TSS[۲] با استفاده از EC خاک قابل برآورد است. Farahbakhsh and Toufighi (1997) برای طیف وسیعی از خاک‌های شور کشور که دارای EC بین ۳ تا ۲۵۰ dS/m هستند رابطه (۱) را بین EC (dS/m) و TSS ($mmol_c/L$) به دست آورده‌اند.

$$TSS = 10.911EC^{1.0222}$$ رابطه ۱)

آنها نشان دادند این رابطه نسبت به رابطه رایج که توسط آزمایشگاه شوری ریورساید (1954) پیشنهاد شده است (رابطه ۲) برآوردهای دقیق‌تری از TSS خاک‌های ایران دارد.

$$TSS = 10\ EC$$ رابطه ۲)

ضریب و توان EC و نیز ماهیت غیر خطی رابطه (۱) نشان می‌دهد که تفاوت مقدار TSS های برآورد شده با رابطه (۱) و رابطه (۲) در شوری‌های بالاتر، بیشتر است. برای مثال برآورد رابطه (۱) در ECهای برابر با ۵ و ۵۰ dS/m به ترتیب ۱۳٪و ۱۸٪ از رابطه (۲) بیشتر است.

غلظت بالای املاح موجب می‌شود که بسیاری از روش‌های رایج در مطالعه و اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک در خاک‌های شور یا سدیمی دقت کافی نداشته باشند. بنابراین بازنگری و یا واسنجی آنها ضروری است. Emami (1974) با مقایسه روش‌های مختلف اندازه

---

۱ Electrical Conductivity

۲ Total Soluble Solute

گیری گنجایش تبادل کاتیونی (CEC[1]) دریافت که روش استفاده از استات آمونیوم و کلرور باریم برای اندازه‌گیری CEC در خاک‌های شور مناسب نیست. مقدار pH زیاد در خاک‌های شور سدیمی و سدیمی (که در روش باور و همکاران (Bower et al (۱۹۵۲) عموما در pH برابر با۸/۲ بافر شده است)، عامل خطای اصلی روش باور در تعیین CEC این خاک‌ها است (Farahbakhsh and Toufighi 1997). در اندازه‌گیری CEC به روش باور چنانچه pH واقعی خاکی بیشتر از ۸/۲ باشد، مقدار CEC به دست آمده کمتر از مقدار واقعی خواهد بود (Kalbasi-Ashtari 1973). یکی دیگر از ویژگی‌های خاک‌های شور و شور سدیمی که مورد توجه محققین قرار گرفته است، ضریب تبادل گاپون (KG) است. این ضریب در برآورد مقدار ESP[2] از SAR[3] کاربرد دارد. توجه پژوهش‌گران گروه علوم خاک نیز از دیر باز به این ضریب و یا برآورد ESP از SAR معطوف شده است. جدول (۱) کلیه روابط ارائه شده و برخی از ویژگی‌های آنها را نشان می دهد. قابلیت به کارگیری و تعمیم هر یک از این روابط به کل خاک‌های کشور، علاوه بر ضریب R^2 آنها، بستگی به تعداد، تنوع و پراکندگی جغرافیایی نمونه‌های بکار رفته دارد. با بررسی روابط ارایه شده در جدول (۱) با این دیدگاه، می توان نتیجه گرفت که رابطه‌های (۴) تا (۶) بر سایر رابطه‌ها ارجحیت دارند. مقایسه این رابطه‌ها در شکل (۱) آمده است.

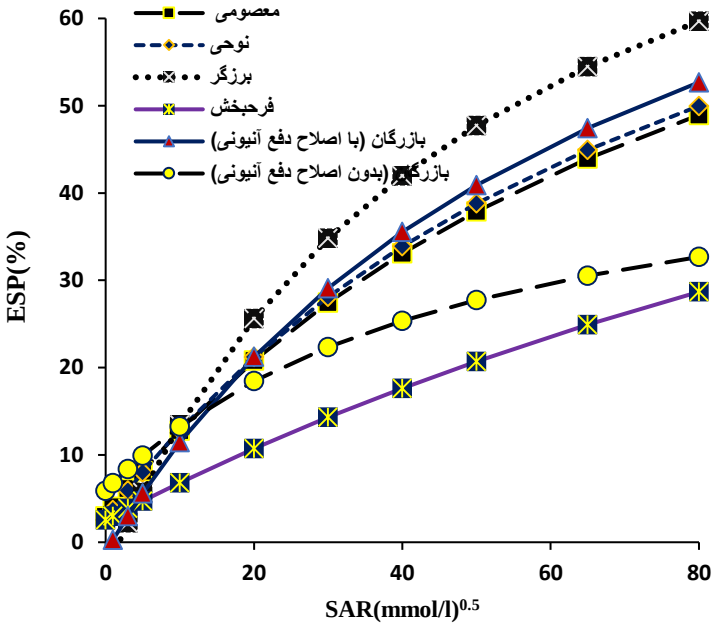
جدول ۱. رابطه‌های ارائه شده برای برآورد ESP از SAR توسط محققین گروه علوم و مهندسی خاک

شماره	منبع	رابطه ESP(%)-SAR(mmol/l)$^{0.5}$	تعداد نمونه	محل و پراکندگی نمونه‌ها
۱	(1973) Masoumi,	$ESP = \frac{100(0.0116SAR + 0.0306)}{1 + (0.0116SAR + 0.0306)}$	۳	اراضی شور دشت قزوین
۲	Nouhi (1979)	$ESP = \frac{100(0.01216SAR + 0.02635)}{1 + (0.01216SAR + 0.02635)}$	۳	برخی خاک‌های زراعی کرج
۳	Barzgar(1980)	$ESP = \frac{100(0.1893SAR-0.0341)}{1 + (0.1893SAR-0.0341)}$	۷۵	منطقه اهواز امیدیه و کوت عبداله
۴	Farahbakhsh and Toufighi (1997)	$ESP = \frac{100(0.0047SAR + 0.02619)}{1 + (0.0047SAR + 0.02619)}$	۵۰	غالبا از استان خوزستان(R^2=50%)
۵	(1997) Bazargan	$ESP = \frac{100(0.0092SAR-0.03522)}{1 + (0.0092SAR-0.03522)}$	۸۰	بدون اصلاح اثر دفع آنیونی (R^2=51%)
۶	(1997) Bazargan	$ESP = \frac{100(0.01406SAR-0.0111)}{1 + (0.01406SAR-0.0111)}$	۸۰	کل کشور بعداز اصلاح اثر دفع آنیونی (R^2=81%)

شکل (۱) نشان می‌دهد، برآورد رابطه‌های تبیین شده در جدول (۱) به ویژه در ESP> ۱۵٪ تفاوت زیای دارند (باید توجه داشت به دلیل رابطه غیر خطی بین SAR و ESP، دقت همه این روابط در SAR های بالا کم است). این امر موید تنوع در ویژگی‌های خاک ها و نیز شرایط استنتاج رابطه‌ها است. رابطه ارائه شده توسط Farahbakhsh and Toufighi (1997) (رابطه شماره ۴ جدول ۱) و Barzgar (1981) (رابطه شماره ۳ جدول ۱) بیشترین تفاوت را دارند. هر چند رابطه به دست آمده توسط Bazargan (1997) (رابطه شماره ۵ جدول ۱) حاصل مطالعه خاک‌هایی با پراکنش وسیع‌تر است، اما برآوردهای قابل قبولی ندارد (R^2=51%). ایشان دلیل پایین بودن ضریب تشخیص و در نتیجه قابلیت استفاده از این رابطه را در درجه اول دفع آنیونی و سپس خطای مستتر در اندازه‌گیری CEC با روش باور می‌داند. Bazargan (1997) با اصلاح تاثیر دفع آنیونی، رابطه دیگری (رابطه شماره ۶ جدول ۱) ارائه نمود که برآوردهای آن مشابه با رابطه‌هایی است که توسط Masoumi(1973) و Nouhi(1979) به دست آمده است (شکل ۱). در خاک‌های شور، زمان عصاره‌گیری

۱ Cation Exchangeable Capacity
۲ Exchangeable Sodium Percentage
۳ Sodium Adsorption Ratio

نیز برخطای اندازه‌گیری SAR و مقدار ECe تاثیر می‌گذارد. برای کاهش این خطا، استفاده از قیف پهن، حداکثر مقدار گل اشباع و مکش نسبتا قوی برای استخراج عصاره اشباع توصیه شده است (Bazargan 1997).



شکل ۱- مقایسه ESP برآورد شده از SAR با استفاده از روابط به دست آمده توسط پژوهشگران گروه علوم و مهندسی خاک

یکی از روش‌های تعیین شوری محلول خاک، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی کل یا ظاهری[۱] خاک (شامل ذرات جامد و محلول و هوای خاک) به همراه ضریب دی‌الکتریک آن با استفاده از تکنیک انعکاس‌سنج بازه زمانی (TDR[۲]) است. برای ارزیابی دقت این تکنیک، (Namdar-Khojasteh and Shorafa, 2011) خاک را با برمید پتاسیم مصنوعا شور نموده و مشاهده کردند که افزایش شوری منجر به بیش‌برآوردی رطوبت و کم‌برآوردی EC با روش TDR می‌گردد. دقت روش TDR در برآورد EC خاک‌های شنی با شوری کمتر از dS/m ۶ مناسب بوده اما در بافت‌های سنگین به دلیل تاثیر چسبندگی بیشتر آب به سطح ذرات رس(Adhesion) برآورد مناسبی ندارد (Namdar-Khojasteh and Shorafa 2010). از طرفی احتمالا به دلیل جذب الکترواستاتیک قوی آب در سطوح رس و تحرک کمتر مولکول‌های آب در این سطوح ضریب دی‌الکتریک آب کمتر از ۸۰ (ضریب دی‌الکتریک آب آزاد) است. این امر موجب افزایش خطای برآورد مدلی می شود که داده‌های TDR را به شوری یا رطوبت خاک تبدیل می‌کند.

استفاده از تکنیک القای الکترومغناطیسی (EM[۳]) نیز روش دیگری برای اندازه‌گیری شوری و یا مقاومت الکتریکی ظاهری خاک است. مدل‌ها و معادلات گوناگونی برای تبدیل قرائت دستگاه EM به شوری خاک توسعه یافته‌اند. Rousta et al. (2014) روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، رگرسیون چند متغیره و مدل نروفازی را در واسنجی داده‌های دستگاه القاگر الکترومغناطیس برای اندازه‌گیری شوری و یا مقاومت الکتریکی ظاهری خاک ارزیابی کرده و مشاهده کردند که دقت روش نروفازی از سایر روش‌ها بیشتر است. دقت این روش در برآورد شوری درجای خاک‌های اردکان یزد، در خاک‌های سطحی ۶۸٪ بوده و برای لایه عمقی مناسب نیست. تلفیق داده‌های EM با روش کوکریجینگ می‌تواند دقت نقشه شوری (تا ۲۰۰ dS/m) را حداقل ۷٪ افزایش دهد (Taghizadeh-Mehrjerdi et al., 2013). نتایج تحقیقات Taghizadeh-Mehrjerdi et al., (2013) موید خطای یک و نیم برابری روش EM در خاک‌های سطحی نسبت به خاک‌های عمیق‌تر است.

یکی دیگر از چالش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک شور، تعیین کربن آلی با روش Walkley and Balck (1934) است. به دلیل غلظت بالای یون کلر و اثر خنثی کنندگی آن بر دی‌کرومات پتاسیم، این روش مقدار کربن آلی خاک‌های شور را حدود ۱۱٪ بیش از مقدار واقعی آن برآورد می‌کند (Bahadori and Toufighi 2017).

---

۱ Apparent Electrical Conductivity
۲ Time Domain Reflectometry
۳ Electromagnetic Induction

در خاک‌های شور و سدیمی اندازه‌گیری بافت یا PSD نیز ملاحظات ویژه‌ای می‌طلبد. Yavari et al. (2020) برای تعیین توزیع اندازه ذرات و یا بافت خاک‌های بسیار شور یا سدیمی توصیه کردند که کل مواد سیمانی شامل مواد آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیم و املاح محلول در آنها حذف شود. در حالیکه حذف همه مواد سیمانی برای خاک‌های غیر شوری که کمتر از ۲/۵ ٪کربن آلی و یا کمتر از ۴٪ مجموع کربن آلی و اکسیدهای آهن دارند، ضروری نیست(Yavari 2019).

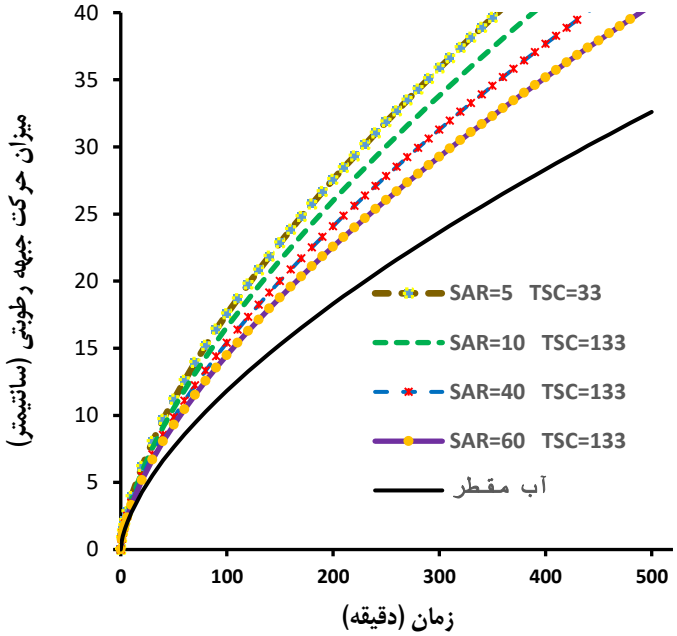
به دلیل حضور املاح فراوان، طیف تابش و بازتابش خاک‌های شور با خاک‌های غیر شور متفاوت است. Taherzadeh (1991) ویژگی‌های طیفی لایه سطحی خاک‌های شور و نیز گیاهان بومی آنها را متمایز از سایر خاک‌ها دانسته (شکل ۲) و در تهیه نقشه شوری با استفاده از سنجش از دور، تصاویر ماهواره‌ای TM را برای تفکیک و تشخیص اراضی شور و مناطق دارای پوشش پراکنده سالسولا در منطقه اهواز مناسب تشخیص داده و اولویت بعدی را به تصاویر TSS اختصاص داد. Khodadadi et al. (2010) با تحلیل داده‌های ماهواره IRS در شناسایی خاک‌های شور و شور و سدیمی دریافتند که برای تفکیک خاک‌های شور به تمام باندهای این سنجنده نیاز است و نیز تلفیق مدل رقومی ارتفاع (DEM) می‌تواند موجب افزایش دقت در تفکیک خاک‌های شور و غیر شور شوند. پوسته‌های صاف روی سطح خاک با رنگ روشن و به ویژه آنهایی که درز و شکاف ندارند، بازتاب طیفی شدیدی دارند و با دقت بالاتری از سایر خاک‌ها تفکیک می‌شوند. Khodadadi (2007) مشاهده کرد، سنجنده ASTER نسبت به دو سنجنده ETM و LISS قدرت بیشتری در تفکیک کلاس‌های شوری خاک دشت قزوین دارد.

شکل ۲- اراضی شور در جنوب حمیدیه اهواز با پوشش پراکنده از سالسولا (عکس و عنوان از Taherzade 1991). رنگ اندوده سطحی و شور خاک به وضوح با رنگ لایه زیرین تفاوت دارد

تاثیر شور و سدیمی بودن بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک

Fallahi (1971) با مطالعه تاثیر شوری بر نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی خاک، مشاهده کرد که در یکSAR معین با افزایش شوری خاک، هدایت هیدرولیکی و نفوذ آب به خاک افزایش می‌یابد و نیز هدایت هیدرولیکی خاک اندازه‌گیری شده با محلول حاوی کلسیم نسبت به محلول حاوی منیزیم بیشتر است و تاثیر آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات در کاهش نفوذپذیری خاک بیش از آنیون‌های سولفات و کلرید می‌باشد. Fallahi (1971) گزارش نمود که در یک ستون خاک، با افزایش SAR محلول ورودی، EC محلول خروجی از خاک بیشتر شده و سرعت پیشروی جبهه رطوبتی کاهش می‌یابد (شکل۳). حداقل سرعت پیشروی جبهه رطوبتی زمانی است که آب نفوذ یافته خالص باشد. ایشان دلیل تاثیر SAR بر پیشروی جبهه رطوبتی را ناشی از افزایش تورم رسها و فروپاشی ساختمان خاک می‌دانند. در برخی مطالعات، تاثیر SAR بر پایداری ساختمان خاک مشاهده نشده است. به عنوان مثال Hosseini (1997) با مطالعه برخی خاک‌های شور و سدیمی منطقه اشتهارد کرج، رابطه معنی‌داری بین پایداری ساختمان خاک و مقدار SAR مشاهده نکرد. ایشان دلیل پراکندگی داده‌ها را به تنوع در ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی مورد مطالعه نسبت دادند. به نظر می‌رسد که سست بودن ساختمان خاک و محدود بودن تعداد نمونه

های مورد مطالعه (۱۱ خاک) دلیل اصلی این مشاهده باشد. Emami et al. (2008) شیب در نقطه عطف منحنی رطوبتی خاک‌ها (S) را با استفاده از برخی ویژگی‌های زودیافت در خاک‌های شور دشت ورامین (EC=2.2 – 8.4dS/m) و (SAR =4-16 و محدود) برآورد کردند و گزارش نمودند که ضریب همبستگی بین صفات زودیافت و S در خاک‌های شور (۸۵٪) کمتر از سایر خاک‌ها (۹۲٪) است. درعین حال در ۲۷ خاک شور مورد بررسی، رابطه معنی‌داری بین S به عنوان شاخص کیفیت فیزیکی خاک و شوری خاک و نیز SAR مشاهده نکردند. در این تحقیق نیز تعداد و تنوع کم نمونه‌ها، تعمیم نتیجه مشاهده شده را محدود می‌کند. در بررسی‌های انجام شده، عموما تاثیر معنی‌دار شوری و سدیمی بر ساختمان یا ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌ها گزارش شده است. به عنوان مثال، Khoshnood-Yazdi (1981)مشاهده نمود، مدل‌های توابع تبدیلی خاکی PTF[1] توسعه یافته برای خاک‌های غیرشور، دقت کافی در برآورد منحنی رطوبتی خاک‌های شور را ندارند. Khaleghpanah et al. (2013) در ۶۸ نمونه خاک (EC=4-110 dS/m) کشاورزی و بایر جنوب تهران مشاهده کردند که اغلب پارامترهای معادله منحنی رطوبتی ونگنوختن همبستگی معنی‌داری با شوری دارند و به همین دلیل نتیجه گرفتند که عامل EC باید به عنوان یک متغیر مستقل در توسعه PTF ها وارد شود. علاوه بر وضعیت ساختمانی، شوری خاک می‌تواند بر ضخامت و نیروی نگهداری لایه نازک آب حول ذرات تاثیر بگذارد و بنابراین بر منحنی رطوبتی خاک موثر است اما نقش شوری در منحنی رطوبتی بیشتر در مکش‌های بالا قابل مشاهده است (Mohammadi and Meskini-Vishkaei 2012). شوری آب یا عصاره خاک بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک نیز موثر است. با افزایش شوری آب آبیاری، شدت جریان زهکشی در خاک افزایش می‌یابد و به همین دلیل شوری آب آبیاری تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان رطوبت در ظرفیت زراعی (تعریف شده با مدل Assouline and Or., 2014) دارد (Ghezelbash 2016).



شکل ۳- تغییرات میزان حرکت جبهه رطوبتی در زمانهای مختلف در وضعیت‌های مختلف شوری (TSC mmol/L) و سدیمی (SAR) آب نفوذ یافته در ستون خاک برگرفته از Fallahi, 1971

فرسایش، تخریب و کنترل آن در خاک‌های شور و سدیمی نیز مورد توجه قرار گرفته است. Shahbazi et al. (2005) مقدار رواناب ایجاد شده ناشی از باران مصنوعی (۵ دقیقه با شدت ۳۰ میلیمتر در ساعت) در چهار خاک رسی و شور و سدیمی (SAR=29-94؛ EC 10-18) از منطقه هشتگرد را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که در این خاک‌ها، ۲۰ کیلوگرم در هکتار پلی‌آکریل‌آمید بیشترین تاثیر را در کاهش رواناب ایجاد شده دارد ولی برای کاهش رواناب در بارش با شدت ۴۰ میلی‌متر درساعت، ۳۰ کیلوگرم پلی‌آکریل‌آمید نیاز است. نتایج Heydari et al. (2016) در یک خاک لوم شور و سدیمی (EC=11; SAR=13.5) از منطقه گیلوان تحت باران مصنوعی ۹۵

[1] PedoTransfer Function

میلی‌متر در ساعت به مدت ۴۰ دقیقه نیز موید یافته‌های Shahbazi et al. (2005) است. آنها مصرف حداقل ۲۵ کیلوگرم پلی‌آکریل‌امید و یا ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا برای کاهش معنی‌دار درصد سدیم تبادلی و رواناب را توصیه می‌کنند و از نظر کاهش غلظت رسوب و شدت فرسایش پاشمانی، ۵ تن در هکتار کمپوست آزولا به تنهایی کافی است و بهتر از تیمارهای ترکیبی پلی‌آکریل‌امید و آزولا عمل می‌کند. استفاده بیش از ۳۰ تن در هکتار کمپوست قارچ می‌تواند باعث شور شدن خاک شود (Heydari et al., 2016). عموما همه بهسازها مانند کودهای آلی وگچ تا حدودی شوری خاک را افزایش می‌دهند (Mirseyed-Hosseini et al., 2018). بیشترین افزایش مقدار EC در تیمار کود سبز و بعد از آن به ترتیب درگچ، بقایای گیاهی و کود دامی رخ می‌دهد (Mirseyed-Hosseini et al., 2018 ؛ Vahabi-mashak et al., 2008). کارآیی مخلوط گچ و کود سبز در کاهش SAR (Vahabi-mashak et al., 2008) و بهبود ویژگی های فیزیکی خاک (Siavashi, 2016) نیز مشاهده شده است. در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی، تاثیر ورمی کمپوست بیش از کود آزولا و کود گاوی است (Sharifi et al., 2019 و Sharifi, 2017). در مدیریت خاک‌های شور می‌توان از مالچ سطحی و غشاء زیر سطحی نیز استفاده کرد. به کارگیری یک غشاء نفوذ ناپذیر در اعماق ۴۰-۶۰ سانتی‌متری یک خاک شنی و آبیاری با آب نسبتا شور (۳/۵ dS/m) موجب بهبود رشد ذرت می‌شود. هر چند در این شرایط، افزودن یک مالچ سطحی برای کنترل شوری خاک در مدت زمان طولانی ضروری است (Amirpour-robat and Shrafa, 2017).

رابطه شوری و سدیمی خاک با گیاه

۱-تاثیر بر عملکرد

مطالعات زیادی نشان داده‌اند که شوری خاک تا زمانی که به یک حد آستانه (EC_T) نرسیده است تاثیری بر عملکرد گیاه ندارد (Asadi 2020; Bazrafshan et al., 2020b). مقدار EC_T برای گیاه آفتابگردان که در محیط شور شده با NaCl رشد یافته بود ۳ dS/m (Bakhtiari 1976) و برای گوجه فرنگی در محیط شور شده با $CaCl_2$، ۶ dS/m (Farshi 1979)، و برای یونجه در محلول مرکب از $CaCl_2$ و NaCl، ۴ dS/m (Asadi 2009) برآورد شده است. این مقادیر به EC_T توصیه شده توسط Rhoades et al. (1992) (نشریه شماره ۴۸ فائو) بسیار نزدیک هستند. در شوری‌های بیش از حد آستانه رابطه بین شوری و عملکرد به صورت کاهش خطی فرض می‌شود (Marzvan 2019 a). اما Bazrafshan et al., (2020b) نشان دادند که پاسخ گیاه به تنش شوری عموما غیرخطی بوده و از توابعی مانند تابع سیگموییدی ونگنوختن تبعیت می‌کند (Bazrafshan et al., 2020b) و بنابراین ممکن است در گیاهی مانند ذرت یک حد آستانه (EC_T) مشخص شوری مشاهده نگردد. حدود تحمل به شوری گیاه در خاک‌هایی با خصوصیات مختلف، متفاوت است و با کاهش جرم مخصوص ظاهری، تحمل به شوری گیاه بیشتر می‌شود. بنابراین بر خلاف آنچه در جدول‌های توصیه شده فائو وجود دارد، نمیتوان یک مقدار ثابت را به عنوان حد تحمل به شوری گیاه فرض کرد (Asadi 2020).

۲-تاثیر شوری بر جذب عناصر غذایی و سمی

گیاهان بومی خاک‌های شور عموما توانایی جذب و انبارش سدیم بالاتری از سایر گیاهان دارند. گیاهان شورپسند در شوری‌های پایین نیز سدیم را جذب می‌کنند ولی گیاهان معمولی چنین ویژگی ندارند (Izadpanah 1974). روابط مستقیمی بین غلظت کاتیون‌های سدیم و پتاسیم و کلسیم و منیزیم در خاک (عصاره طبیعی خاک) و در گیاهان شور پسند مانند گز، اشنان و شوره وجود دارد ولی با افزایش درصد اشباع خاک، مقدار سدیم گیاه کاهش می‌یابد. زیرا در خاک‌های با درصد اشباع بالا، مقدار رس و در نتیجه پتاسیم بیشتر بوده و مانع جذب سدیم می‌شود (Samadi-Shrebabak,1976). افزایش پتاسیم به خاک می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه تحت تنش شوری (عصاره طبیعی) را افزایش داده و مقاومت گیاه را بهبود بخشد (Khadem Moghadam 2019). می‌توان از توانایی آنتی‌اکسیدان‌ها (مانند اسید آسکوربیک ۳ میلی مولار) در راستای بهبود رشد و نمو برخی گیاهان زینتی (مانند گل رز مینیاتوری) نیز در شرایط تحت تنش شوری استفاده کرد (Mirtaheri et al., 2021). افزایش شوری (غلظت برابر از NaCl و$CaCl_2$) منجر به کاهش جذب پتاسیم شده و شوری نسبت Na^+/K^+ در داخل گندم را افزایش می‌دهد (Motesharezadeh et al., 2015) . رابطه مستقیم بین Na^+/K^+ و شوری در گیاه ذرت نیز مشاهده شده است (Sepahi-Broujeni et al., 2005). در شرایط شور ممکن است غلظت فسفر در گیاه یونجه افزایش یابد (Momeni-Renani 2009). در شرایط تهویه محدود، شوری (غلظت برابر از NaCl و$CaCl_2$) موجب کاهش غلظت پتاسیم و افزایش غلظت کلسیم و آهن در گندم و لوبیا می‌شود ولی اثر مشخصی بر میزان غلظت نیتروژن، سدیم و روی در این دو گیاه ندارد (Khatar et al., 2017a; Khatar, 2017b). افزایش غلظت کلسیم مشاهده شده در این مطالعه می‌تواند ناشی از حضور فراوان این یون در محیط رشد ریشه جهت ایجاد شوری مصنوعی باشد (Samadi 2001). افزایش جذب آهن را نیز می‌توان به احیاء Fe^{3+} در شرایط تهویه محدود

نسبت داد. در شرایط تهویه مناسب، افزایش شوری ($0.1MgCl_2$, $0.2CaCl_2$, 0.7 NaCl) باعث کاهش مقدار جذب عناصر فسفر و آهن توسط نهال پسته شده و بر غلظت فسفردر گیاه و مقدار جذب روی تأثیر معنی‌داری ندارد (Sarcheshmehpour et al., 2015). (Khataar et al. (2018a مشاهده کردند در شرایط تهویه نامناسب، تنش تهویه‌ای تاثیر تنش شوری را تشدید می‌کند. بنابراین گیاهان در شرایط تنش شوری به غرقاب حساسیت بیشتری دارند. افزایش غلظت فسفر، روی و منگنز و کاهش غلظت کلسیم، منیزیم، مس و آهن به دلیل افزایش شوری خاک (نمک NaCl) در ذرت مشاهده شده است. افزایش شوری آب آبیاری همچنین می‌تواند باعث افزایش غلظت کادمیوم در اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت گردد (Fathi et al.,2017).

تفاوت پاسخ های گیاهی به شوری مشاهده شده می‌تواند ناشی از نوع نمک اضافه شده، نوع گیاه و شرایط رطوبتی خاک و تقاضای تبخیری جو باشد (Sepahi-Broujeni et al., 2005; Samadi 2001; Asadi 2009; Khatar et al., 2017a). تاثیر نمک NaCl در کاهش عملکرد و اجزای آن بیش از نمک‌های $CaCl_2$ (Mohammadi, 2016) و مخلوط NaCl و CaCl2 (Asadi 2009;Samadi2001) است. Bazrafshan (2019) با مقایسه تأثیر ترکیب های یونی مختلف محلول خاک در شرایط پتانسیل اسمزی یکسان نشان داد که در شوری‌های کم، جذب آب، عملکرد و ویژگی‌های گیاه تحت تأثیر پتانسیل اسمزی خاک هستند اما با افزایش سطح شوری اثرات ویژه یون، مخصوصا یون کلر غالب می‌گردد. مقاومت به شوری گیاه زمانی که با محلول حاصل از یک نمک مواجه می‌شود کمتر از زمانی است که محلول خاک از چند نمک مختلف تشکیل شده است (Bazrafshan, 2019).

شوری آب آبیاری می‌تواند به دلیل افزایش غلظت آنیون‌های رقیب نیترات برای جذب توسط گیاه و نیز کاهش رشد و توسعه سیستم ریشه گیاه، منجر به کاهش کارآیی جذب نیترات در نهال‌های پسته شده و در نتیجه پتانسیل آبشویی نیترات در خاک را افزایش دهد (Sanaei-Ardekani, 2019). تامین نیترات کافی برای گیاه تحت شرایط تنش شوری می‌تواند مقاومت و تحمل گیاه (کشمش ژاپنی) به شوری و حتی غلظت بالای سرب را افزایش دهد (Hosseini et al., 2020). هر چند شوری تاثیری بر انتقال سرب در درون خاک ندارد (Babaei-Darzi, 2015). به دلیل اختلال در جذب پتاسیم، روی و نیز فسفر در شرایط شور، کاربرد به ترتیب ۱۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی و پتاسیم به خاک شور می‌تواند عملکرد گندم را تا ۳۶/۷٪ افزایش دهد(Motesharezadeh et al., 2015). تاثیر مثبت مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کودهای سولفات آمونیوم و سولفات پتاسیم (Mohajeri-Aval, 2011) و محلول پاشی اسید سیلیسیک (Saberian-Ranjbar, 2018) بر مقاومت به شوری گندم نیز مشاهده شده است. Rahbar (1985) اثر برخی ویژگی‌های فیزیکی و نیز شوری خاک بر رشد و گسترش جنگل‌های تاغ در مناطق وسیعی از کشور را مطالعه و مشاهده نمود که ذرات شن درشت (۲-۰/۲ میلی‌متر) نقش اساسی و مثبتی در گسترش جنگل ایفا می‌کند و رابطه مثبتی با شاخص سرسبزی و اندازه درختان تاغ دارد. وی این همبستگی را به شستشوی بهتر، تهویه مناسب‌تر، عدم خیز مویینه در خاک‌ها و نفوذپذیری بیشتر خاک نسبت داد. وی همچنین پیشنهاد نمود از احداث جنگل تاغ در خاک‌های با شوری بیش از ۵ dS/m خودداری گردد.

۳-تاثیر بر جذب آب

در بسیاری از مطالعات، تاثیر شوری فقط به عنوان کاهنده پتانسیل اسمزی و در نتیجه پتانسیل کل آب خاک در نظر گرفته شده (Farshi 1979) و تغییرات جذب آب به عنوان تابعی از پتانسیل اسمزی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مطالعات، مقدار پتاسیل اسمزی و ماتریک با هم جمع می‌شوند تا تاثیر انرژی بر جذب خود بخودی آب توسط ریشه مشخص شود. اما مشاهدات تجربی نشان می‌دهد کاهش جذب آب ناشی از یک واحد کاهش پتانسیل ماتریک بیشتر از یک واحد کاهش در پتانسیل اسمزی است، هر چند پتانسیل اسمزی اثر بیشتری بر کاهش جرم ریشه دارد (Bazrafshan et al., 2020a). مشابه این تاثیر در روند تغییرات جذب عناصر غذایی Mg، Ca، K وN نیز دیده می‌شود (Marzvan et al., 2019b). تاثیر شوری خاک بر جذب آب توسط گیاه به عوامل مختلفی مانند، نوع گیاه، نوع خاک، مرحله رشد گیاه، شدت تعرق، ترکیب شیمیایی محلول خاک بستگی دارد (Mohammadi, 2015). Mohammadi and Khatar (2017) عوامل مهم دخیل در جذب آب را به صورت مفاهیم فیزیکی تعریف کرده و آنها را در یک مدل نیمه تئوریکی باهم مرتبط ساختند و آن را برای تبیین مفهوم گنجایش جمعی آب (IWC[۱]) بکار بردند. آنان ابتدا فرض کردند مفهوم IWC می‌تواند مبین حدود آب قابل استفاده گیاه باشد. سپس یک رابطه عددی برای تابع وزنی شوری (ω_{si}) در مفهوم IWC به صورت زیر ارائه دادند:

رابطه ۳)

$$\omega_{si} = 1 - \frac{EC_i - EC_T}{EC_F - EC_T} \qquad EC_T < EC_i < EC_F$$

$$\omega_{si} = 1 \qquad 0 < EC_i \leq EC_T$$

۱ Integral Water Capacity

$\omega_{si}= 0$ $EC_i \geq EC_F$

EC_T وEC_F ، (dSm^{-1}) به ترتیب، حداکثر شوری خاک بدون کاهش عملکرد و شوری خاک با عملکرد صفر برای گیاه مورد نظر بوده واز جدول‌های پیشنهاد شده توسط فائو استخراج می‌گردد. با فرض اینکه، کل دوره کشت به n فاصله زمانی (Δt) قابل تقسیم است $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ گام زمانی است، θ_i، D_i و ET_i به ترتیب میزان رطوبت خاک، عمق زهکشی و میزان تبخیر و تعرق در زمان t_i و متعاقبا θ_{i+1}، D_{i+1} و ET_{i+1} میزان این عامل‌ها در زمان t_{i+1} هستند ($\Delta\theta$، تغییرات رطوبت خاک (m^3m^{-3}). L، عمق خاک I(m) .، عمق آب آبیاری (m). D، عمق آب زهکشی (m). ET، تبخیر و تعرق واقعی از خاک و گیاه (m) است). ،تغییراتEC از معادله (۴) بدست می‌آید.

رابطه ۴)

$$EC_{i+1} = \left(\frac{\theta_i - \frac{D_{i+1}-D_i}{2l}}{\theta_{i+1} + \frac{D_{i+1}-D_i}{2l}} \right) EC_i$$

EC_i و EC_{i+1}، به ترتیب شوری آب آبیاری در زمان های t_i و t_{i+1} می‌باشد. اگر در شروع فرآیند جذب آب توسط گیاه، i=0 باشد EC_0 همان قابلیت هدایت الکتریکی آب آبیاری است (شرایط اولیه) و معادله (۴) امکان پیش‌بینی سری‌های زمانی شوری خاک را فراهم خواهد کرد..

تغییرات زمانی رطوبت از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

رابطه ۵)

$$\theta_{i+1} = \frac{D_i - D_{i+1} + ET_i - ET_{i+1}}{l} + \theta_i$$

در شرایط اولیه (t or i=0) یا بلافاصله بعد از آبیاری، مقدار رطوبت اولیه ، θ_0 برابر با θ_a +I/L است که درآن θ_a، مقدار رطوبت خاک (m^3m^{-3}) قبل از آبیاری می‌باشد.

عمق آب زهکشی، (D)، توسط مدل Assouline and Or (2014) به عنوان تابعی از زمان و خصوصیات هیدرولیکی خاک بیان شده است:

D_i از رابطه (۶) به دست می آید.

رابطه ۶)

$$D_i = D_\infty \left[1 - \exp\left(-\frac{k_m}{D_\infty} t_i\right)\right]$$

به همین صورت، D_{i+1} با استفاده از $t_i+\Delta t$ در معادله ۶ محاسبه می‌شود.

D_∞، عمق کل آب زهکشی شده (m)، که با رابطه (۷) تعریف می‌گردد.

رابطه ۷)

$$D_\infty = L(\theta_s - \theta_r)$$

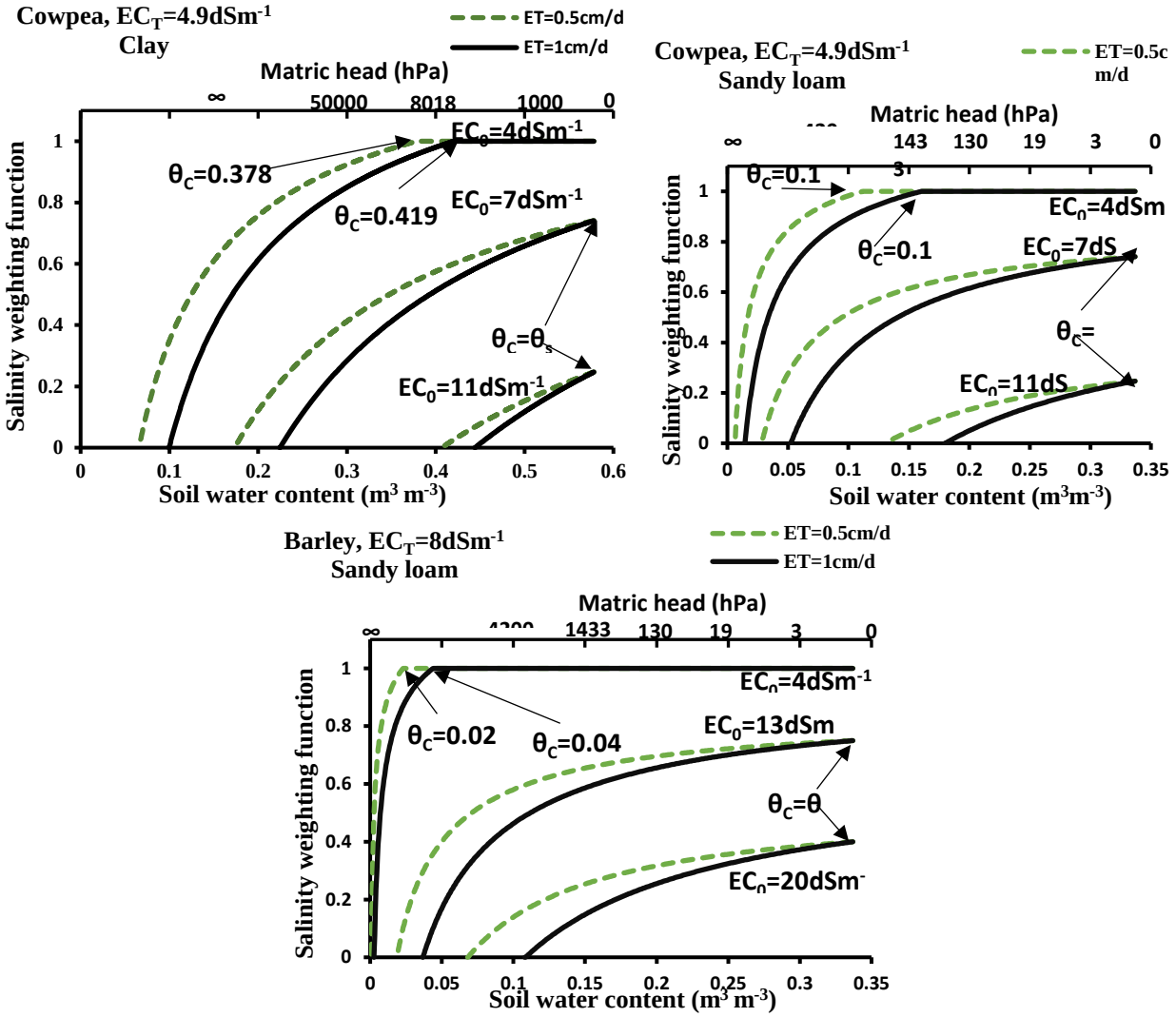
K_m، میانگین وزنی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک (md^{-1})، می‌باشد:

رابطه ۸)

$$K_m = \frac{\int_0^1 SK(S)dS}{\int_0^1 SdS}$$

بررسی تجربی در مقیاس‌های کوچک موید آن است که، دقت مدل زهکشی (رابطه ۶) تحت تاثیر شوری و نوع خاک و نحوه محاسبه و یا برآورد پارامترهای آن قرار می‌گیرد (Asadi et al., 2020). در شرایطی که مدل زهکشی به اندازه کافی دقیق و فواصل زمانی اندازه گیری شوری و مقدار زهکشی (Δt) کم است، برآوردهای این مدل (رابطه‌های ۳ و ۴) بخوبی با مقادیر تجربی جذب آب توسط گیاه انطباق دارد (Asadi et al., 2022)

روابط (۳ تا ۸) امکان برآورد پاسخ گیاهان مختلف به شوری آب آبیاری در خاک‌ها و اقلیم‌های متفاوت را بر اساس یک سری ویژگی های قابل اندازه‌گیری و فیزیکی فراهم می‌کنند. به عنوان مثال، شکل (۴) مقدار (ω_{si}) که بیانی از مقدار تعرق نسبی گیاه در شرایط شوری است، به عنوان تابعی از مکش ماتریک و یا رطوبت خاک را برای دو گیاه نخود و جو را نشان می‌دهد. برای گیاه نخود، در EC های کمتر از EC_T مقدار رطوبت بحرانی، θ_C ، (رطوبتی از خاک که در کمتر از آن مقدار تعرق شروع به کاهش می‌یابد)



شکل ٤. تغییرات تابع وزنی شوری (مبین جذب آب نسبی) به عنوان تابعی از مکش ماتریک (رطوبت خاک)، EC_0 و شدت تبخیر و تعرق برای دو گیاه جو و نخود در دو خاک لوم شنی و رسی. الف) نخود در خاک رسی ، ب) نخود در خاک لوم شنی و ج) جو در خاک لوم شنی (برگرفته از Mohammadi and Khatar, 2017)

بستگی به نوع خاک می‌تواند در مکش حدود ۸۰۰۰ سانتی‌متر (در خاک رسی- شکل ۴ الف) تا مکش ۱۴۰۰ سانتی‌متر(در خاک لوم شنی- شکل۴ ب) رخ دهد. مقدار θ_C در همین خاک برای جو در رطوبت‌های کمتر از ۴٪ اتفاق می‌افتد. علاوه بر آن با کاهش شدت تعرق، θ_C در رطوبت‌های کمتر و یا مکش‌های بالاتر رخ می‌دهد (شکل ۴ج). تاثیر شوری‌های بیشتر از EC_T در روند کاهش تعرق نسبی نیز به نوع خاک، گیاه و شدت تعرق بستگی داشته و قابل برآورد است.Asadi et al (2022) روش پیشنهادی Mohammadi and Khatar (2017) را در کشت گلخانه‌ای ذرت مورد ارزیابی قرار داده و مشاهده کردند که این روش تغیرات شوری و نیز مقدار تغییرات تبخیر و تعرق ناشی از شوری را در چند روز اول پس از آبیاری به خوبی برآورد می‌کند. آنها خطای اصلی روش Mohammadi and Khatar (2017) را ناشی از ویژگی خطی مدل بکار رفته برای تبیین پاسخ گیاه به شوری (رابطه ۳) گزارش نمودند.

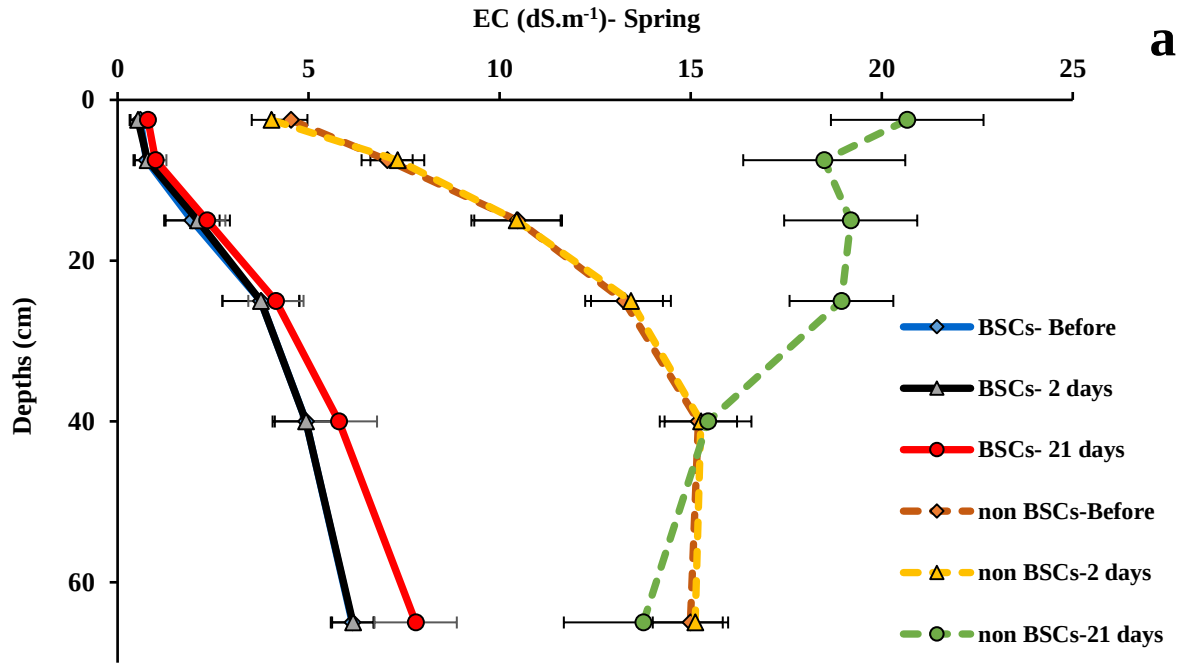
ارزیابی تجربی رابطه‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد نوع پاسخ گیاه به تنش شوری در شرایط تقاضای تبخیری متفاوت یکسان نیست. به عبارت دیگر تاثیر تقاضای تبخیری اتمسفر پیچیده‌تر از مفهوم ساده شدت جریان خروج آب از گیاه است (Bazrafshan et al., 2020b,c). Farshi (1979) بیان می‌کند که پتانسیل اسمزی و ماتریک اثر یکدیگر را تشدید می نمایند.

Bazrafshan et al. (2020a) نشان دادند که فرضیه جمع‌پذیر یا ضرب‌پذیر بودن پتانسیل‌های ماتریک و اسمزی صحیح نمی‌باشد و نحوه برهمکنش آنها پیچیده‌تر از مفاهیم ضرب و یا جمع است. همانند این دو تنش، نحوه برهمکنش شوری و تنش تهویه‌ای و تاثیر هم افزایی آنها نیز مشاهده شده است (Mohammadi et al., 2017). نتایج این مطالعات می‌تواند جهت مدیریت دقیق آب آبیاری تحت

تنش‌های شوری و خشکی استفاده شود. به طور کلی مقدار رطوبت قابل استفاده که به صورت سنتی مقدار آب نگهداری شده بین نقطه پژمردگی دایم و ظرفیت زراعی تعریف می شود برای کلیه خاک‌ها و به ویژه خاک‌های شور دقت کافی ندارد . (Mohammadi 2021; Ghezelbash and Mohammadi 2020)

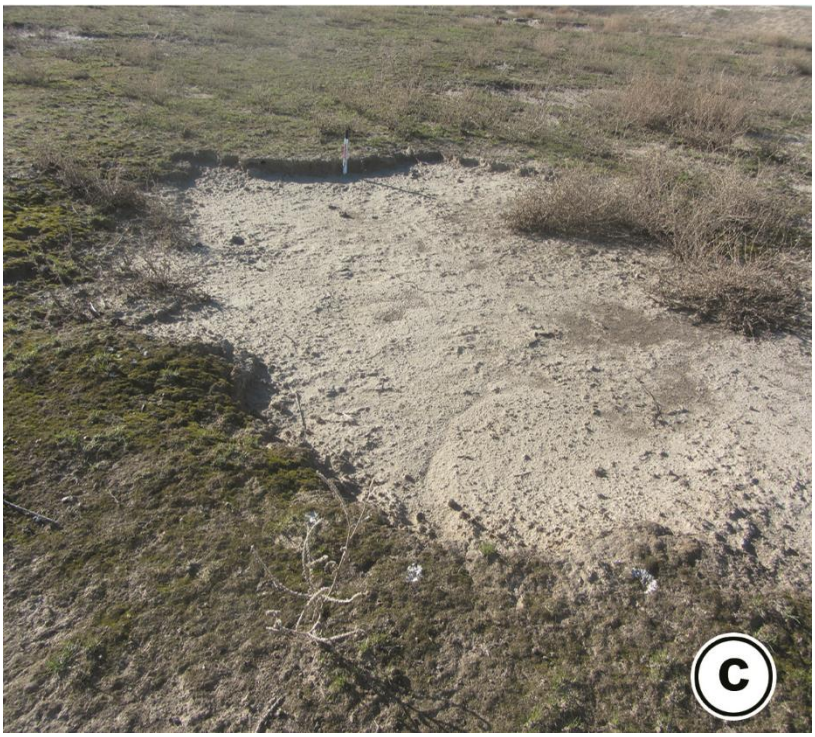
تاثیر پوشش گیاهی و پوسته‌های زیستی بر شوری خاک

پوسته های زیستی خاک، لایه منسجم سطح یا چند میلی متری فوقانی خاک که حاصل از اتصال و اجتماع ذرات خاک و موجودات زنده‌ای از قبیل سیانوباکتر، جلبک، قارچ، گلسنگ‌ها و بریوفیت‌ها در نسبت‌های مختلف هستند. هرچند احتمال دارد تاثیر طولانی مدت پوسته‌های زیستی بر تجمع نمک در سطح خاک‌های بسیار خشک قابل مشاهده نباشد (Bakhosh 2015) اما مطالعات آزمایشگاهی بر روی ستون‌های متوسط خاک نشان می‌دهد که پوسته‌های زیستی (BSCs[1]) می‌توانند در مدت کوتاهی (کمتر از ۵۰ روز) تا ۶۰٪ از تجمع نمک در سطح خاک جلوگیری کنند (Kakeh et al., 2021a). تاثیر پوسته‌های زیستی بر کاهش معنی‌دار تجمع نمک و نگهداری بیشتر آب تا عمق ۱ متری نیز ادامه دارد (Kakeh et al., 2020b). کاهش تجمع نمک و افزایش مقدار آب خاک عمدتا به دلیل کاهش تلفات آب در فاز دوم تبخیر است (Kakeh et al., 2021a). مطالعات صحرایی موید کاهش تبخیر به دلیل تشکیل منافذ درشت ساختمانی توسط پوسته‌های زیستی است. پوسته‌های زیستی با افزایش ماده آلی و بهبود قابلیت جذب برخی عناصر ضروری (Bakhosh 2015; Kakeh et al., 2018) و نیز احتمالا با به دام انداختن ذرات ریز حاصل از فرسایش بادی در مناطق خشک و شور موجب تشکیل خاکدانه می‌شوند (Kakeh et al., 2020a). منافذ درشت حاصل از تشکیل ساختمان خاک از طرفی موجب افزایش نفوذ آب به خاک شده و آبشویی را بهبود می‌بخشند (Kakeh et al., 2021b; Kakeh et al., 2013) و از طرف دیگر از صعود مویینگی آب شور درون پروفیل و رسیدن آن به سطح خاک می‌کاهند (Kakeh et al 2020a). تاثیر پوسته‌های زیستی بر توزیع نمک در پروفیل یک خاک قبل، ۲ و ۲۱ روز پس از یک بارش باران مصنوعی به ارتفاع ۳۶ میلی‌متر در فصل بهار درمنطقه قره قیر استان گلستان در شکل (۵) به عنوان نمونه نشان داده شده است. مقایسه دو خاک با پوسته و بدون پوسته نشان می‌دهد با گذشت زمان، نمک در سطح خاک بدون پوسته به شدت افزایش می‌یابد در حالی که در خاک دارای پوسته مقدار شوری خاک هم در سطح و هم در اعماق کمتر است. این امر می‌تواند ناشی از آبشویی بیشتر املاح و صعود مویینه کمتر در خاک دارای BSCs باشد. شکل (۶) تصویری از تاثیر BSCs بر کاهش تجمع نمک در سطح خاک را نشان می دهد. رنگ سفید و پودر نمک در بخش فاقد پوسته کاملا مشهود است (شکل ۶).



شکل ۵- تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع(EC) در اعماق دو خاک با و بدون پوسته زیستی قبل، ۲ و ۲۱ روز پس از یک بارش باران مصنوعی به ارتفاع ۳٦ میلیمتر در فصل بهار درمنطقه قره قیر استان گلستان. BSCs خاک دارای پوسته و non BSCs خاک فاقد پوسته زیستی است.(بر گرفته از Kakeh et al., 2020a)

[1] Biological Soil Crusts



شکل ٦- تجمع نمک در سطح خاک بدون پوسته زیستی که در مجاورت خاک دارای پوسته زیستی قرار دارد. منطقه قره قیر استان گلستان.(بر گرفته از Kakeh et al 2020a)

آبشویی و مدلسازی جابجایی املاح.

آبشویی[۱] به تنهایی و یا به همراه اقدامات مدیریتی و اصلاحی دیگر، عموما اولین راهکار اصلاح خاک‌های شور است(Rhoades et al., 1992) (نشریه شماره ۴۸ فائو). Khadjehpour (1979) نیاز آبشویی خاک منطقه ارزنه فارس برای زمان‌های مختلف را محاسبه و مشاهده نمود که مقادیر اولیه آب مصرف شده برای آبشویی، در شستشوی املاح راندمان بیشتری دارند و راندمان آبشویی با حجم آب منفذی[۲] به صورت غیر خطی کاهش می‌یابد. وی آبشویی با بیش از ۵۰ سانتی متر آب را توصیه نکرده و نیز مشاهده نمود با افزایش آبشویی درصد سدیم تبادلی نیز کاهش می‌یابد.

محاسبه نیاز آبشویی خاک که بر اساس شوری عصاره اشباع، آب آبیاری و آب زهکشی و حد تحمل گیاه به شوری انجام می‌شود، فرض‌های ساده کننده بسیاری در خود دارد که موجب می‌شود نتایج حاصل نتواند اطلاعات دقیقی از پویایی نمک در خاک ارائه دهد (Mohammadi 2015). این مساله در شرایط افزودن بهسازها به خاک برای اصلاح سدیمی بودن مشهودتر نیز می‌شود (Mirseyed-Hosseini et al., 2018) وجود نواحی آبگریز در درون خاک نیز می‌تواند بر پیچیدگی این مساله بیافزاید. منحنی آبشویی در خاک‌های آبگریز می‌تواند دو نمایی باشد. به نحوی که ابتدا غلظت محلول خروجی به شدت کاهش یافته و سپس با تغییر رفتار هیدرولیکی بخش‌های آبگریز خاک، املاح از خاک آزاد شده و غلظت محلول خروجی به تدریج افزایش می‌یابد و به یک اوج می‌رسد. نقطه اوج غلظت محلول خروجی به شدت جریان به کار رفته برای آبشویی وابسته است. پس از نقطه اوج، غلظت محلول خروجی مجددا رو به کاهش گذارده و در زمان‌های طولانی به غلظت محلول ورودی آبشویی نزدیک می‌شود (Mohammadi and Vanclooster 2009) .برای درک بهتر جریان آب و املاح در خاک، مدل‌های ریاضی انتقال املاح مورد توجه واقع شده‌اند تا نیمرخ توزیع نمک، تغییر پذیری زمانی و نحوه جابجایی آن را به صورت دقیق‌تری برآورد نمایند. به طور کلی سه دسته از مدل‌ها بیش از سایر روش‌ها مورد توجه محققین بوده است (Mohammadi 2006):

الف. مدل‌هایی که از معادلات همرفت–پخشیدگی (CDE[۳]) استنتاج می‌شوند و عموما پایه فیزیکی و تئوریکی دارند.

---

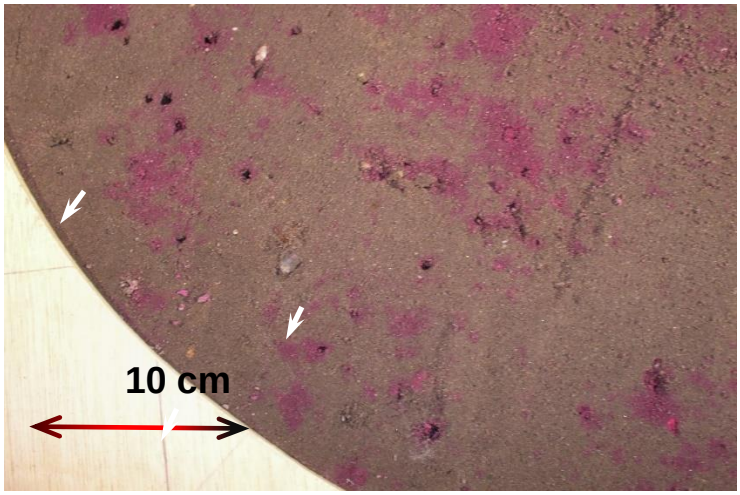
۱ Leaching

۲ Pore volume

۳ Convection-Dispersion Equation

ب. مدل‌های مبتنی بر روابط آماری (SC[1]).

در مدل‌های مبتنی بر روابط آماری فرض می‌شود واریانس زمان انتقال مولکول‌های نمک در خاک با مجذور فاصله (عمق خاک) افزایش می‌یابد. در حالی که در مدل‌های CDE این افزایش به صورت خطی است. بنابراین میزان تغییرات واریانس زمان انتقال مولکول های نمک با عمق خاک تعیین کننده این امر خواهد بود که رژیم جریان از CDE تبعیت می‌کند یا از SC (Simmons 1982). رژیم انتقال املاح و آبشویی کاملا به شدت جریان وابسته است. در شدت جریان کم و در حالت‌های غیر اشباع، رژیم جریان از نوع CDE بوده و با افزایش شدت جریان، رژیم آبشویی به نوع SC تبدیل می‌شود. دلیل احتمالی آن شروع جریان ترجیحی، و نیز کاهش مقدار آب روان در مجاری با اندازه‌های مختلف می‌باشد (Mohammadi and Vanclooster 2011). مسیر جریان ترجیحی می‌تواند کاملا منطبق بر کرم‌راهه و یا کانال حاصل از رشد ریشه‌ای باشد که در حال حاضر پوسیده است (شکل ۷).



شکل ۷- نمای افقی از مسیر جریان ترجیحی که با ردامین بی با شدت جریان Ks ۰/٤ به مدت ۸ ساعت به رنگ قرمز درآمده است. مسیرهای کرم‌راهه با حرف C و کانال های ریشه با حرف R نشان داده شده است (برگرفته از Mohammadi and Vanclooster 2011)

در حالی که کانال حاصل از پوسیدگی ریشه ضریب پخشیدگی هیدرودینامیکی املاح را کاهش می‌دهد (Mohammadi 2006). ،نحوه تاثیر ریشه زنده گیاه بر ضریب پخشیدگی هیدرودینامیکی املاح بستگی به توزیع اندازه و توزیع مکانی ریشه در خاک داشته و می تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال ریشه گیاه جو باعث افزایش ضریب پخشیدگی هیدرودینامیکی املاح و ریشه گیاه ذرت باعث کاهش ضریب پخشیدگی املاح می‌شود (Morsalpour, 2008). بررسی میکرومورفولوژیکی منافذ خاک با روش رنگ آمیزی فلورسنت نیز می تواند روش مناسبی برای تفکیک و تشخیص منافذ عامل جریان ترجیحی آب و املاح باشد (Bakhshi et al., 2018). باید توجه داشت که هر چند وجود منافذ درشت در جریان ترجیحی بسیار مهم است اما پیوستگی آنها اهمیت بیشتری دارد (Amiri-Meijan 2008) و با افزایش شدت جریان نقش پیوستگی منافذ درشت در جریان ترجیحی بارزتر می‌شود (Amiri-Meijan et al., 2008).

ج. مدل‌های برآورد کننده[2] جابجایی املاح که ویژگی‌های خاک و شرایط مرزی سیستم را به منحنی جابجایی املاح [3]ترجمه و تبدیل می‌کنند. Mohammadi et al., (2010) با بسط یک مدل مبتنی بر جریان آب در لوله های منفرد نشان دادند که در شرایط ماندگار اشباع، منحنی رطوبتی یک خاک همگن و دست خورده در مقیاس کوچک می‌تواند به منحنی انتقال املاح تبدیل شود. Mohammadi and Vanclooster (2012) یک مدل تئوریکی را برای پیش‌بینی منحنی جابجایی املاح از منحنی رطوبتی در شرایط غیر اشباع توسعه دادند. ارزیابی مدل در ستون‌های بزرگ خاک طبیعی مطبق نشان داد، این مدل میانگین سرعت حرکت املاح غیر واکنش پذیر با خاک را به خوبی برآورد می‌نماید اما در برآورد ضریب پخشیدگی هیدرودینامیکی املاح به ویژه در اعماق پایین خاک دقت کافی را ندارد.

---

۱ Stochastic-Convective

۲ Prediction Model.

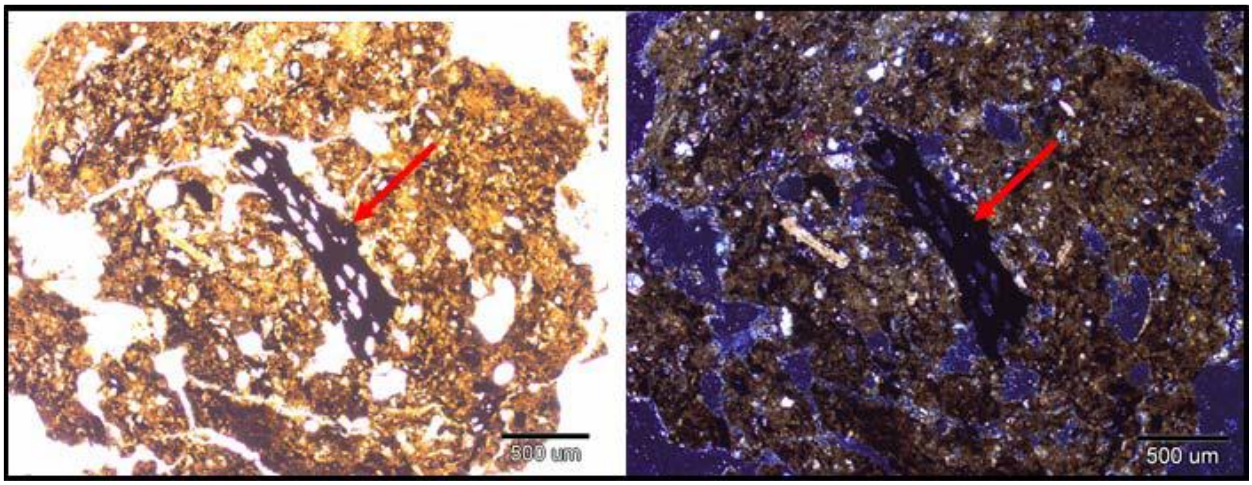
۳ Breakthrough Curve

تشکیل و گسترش خاک‌های شور و هشدارهای شوری

Kalbasi-Ashtari (1973) مشاهده نمود که منحنی‌های هم شوری آب‌های زیر زمینی دشت قزوین، موازی با منحنی‌های هم‌تراز و منحنی‌های هم‌سطح آب زیرزمینی می‌باشند و تیپ آبهای زیرزمینی در هدایت الکتریکی ۱/۲ dS/m از کربناته به سولفاته تبدیل میشوند. این مشاهده، با دلیل شور شدن خاک‌ها که توسط Assadian (1988) مطرح شده است، هماهنگی دارد. Assadian (1988) زهکشی ضعیف را عامل شور شدن خاک‌های منطقه اسد آباد همدان گزارش کرده و مشاهده نمود، نقش اقلیم و جنس تشکیلات زمین شناسی در درجه بعدی اهمیت قرار دارد. اما Gorji-Anari (1983) عامل اصلی شور شدن آب رودخانه آجی‌چای و خاک‌های متاثر از آن را جریان آبهای زیر سطحی می‌داند. در مطالعه Kalbasi-Ashtari (1973) غلظت قابل توجهی از آنیون کربنات مشاهده شده است. اما در خاک های شور عموما غلظت آنیون کلرید بیش از کربنات است (Farahbakhsh and Toufighi 1997) . به عنوان نمونه Mahmoodi-Meimand (1995)آنیون غالب خاک‌های منطقه دشت رباط شهربابک را کلرید و سولفات و کاتیون غالب را سدیم و کلسیم اعلام نموده و البته مقادیر جزیی کانی پالیگورسکایت نیز مشاهده نموده است. به همین دلیل Barani (1976) گروه‌بندی خاک‌های شور به روش ساندنیکوف (بر اساس نسبت Cl/SO4) را مورد نقد قرار داده و گزارش نمود این روش طبقه‌بندی برای خاک‌های گچی منطقه اشتهارد نامناسب است. ایشان نتیجه گرفت که روش رده‌بندی خاک آمریکایی نیز برای خاک‌های منطقه اشتهارد مناسب نبوده و پیشنهاد کرد که وجود گچ در خاک، در تعریف و تفکیک گروه‌های بزرگ خاک گنجانده شود. در بازنگری های بعدی کلید طبقه‌بندی خاک که توسط انجمن علوم خاک امریکا صورت گرفت، این مشکل برطرف شده است.

مطالعات میکرومورفولوژیکی خاک‌های شور نشان می‌دهد تجمع های نمکی به صورت پوسته‌های ناپیوسته و متشکل از بلورهای مکعبی و نیمه گوشه‌دار) ساب هدرال (نمکی در سطوح منافذ و پوسته‌های نمکی پیوسته، پرشدگی‌های نمکی در داخل منافذ کانالی و وگی) هستند (Chakherloo, 2014 Chakherloo et al., 2015). بلورهای مکعبی شکل هالیت در درون حفرات که توسط بلورهای گچ احاطه شده است در یک خاک Petrogypsic Haplosalids مشاهده و گزارش شده است (Moghiseh et al., 2007). نحوه توزیع گچ و املاح با حلالیت بیشتر در منافذ خاک می‌تواند نشان دهد که قندیل‌های گچی (تخت و تقریبا شش گوشه) در شرایط اقلیمی مرطوب‌تری نسبت به اقلیم فعلی تشکیل شده‌اند، در حالیکه اشکال دیگر گچ (بلورهایی با شکل کلی گرانولار، فیبری کشیده، عدسی شکل) واقع در افق سخت پتروجیپسیک فوقانی با اقلیم گرم و خشک فعلی سازگارتر هستند (Moghiseh et al., 2007).

یکی از عوارض خاکساز منحصر به فرد در خاک‌های شور- سدیمی پوشش‌های آلی هستند که در مشاهدات صحرایی به صورت لکه های چربی سیاه رنگ (Slick spot) مشاهده می‌شوند (Chakherloo et al.,2015) . ,Chakherloo et al.(2015) تعدادی از افقهای زیر سطحی خاک‌های با این عوارض را مطالعه نموده و مشاهده کردند این عوارض به صورت پوسته‌هایی سیاه رنگ در سطوح خاکدانه‌ها و در مواردی به صورت مخلوط با توده ریز خاک ظاهر می‌شوند و احتمالا ناشی از تجزیه کامل مواد آلی و آمیختگی آن با بخش ریز خاک می‌باشند شکل (۸).



شکل ۸ - پوشش‌های آلی (Slick Spots) موجود در خاک‌های شور -سدیمی اراضی متاثر از املاح غرب دریاچه ارومیه ، افق Btkn 1 . همچنین گرهک تیپیک موروثی اکسید منگنز ، نیز دیده می‌شود. تصویر سمت راست در نور XPL و تصوصیر سمت چپ در نور PLL تهیه شده است. (عکس و عنوان از (Chakherloo et al., (2015)

شور شدن و تخریب خاک در مطالعات زیادی مشاهده شده و مورد هشدار قرار گرفته است. Kalbasi-Ashtari (1973) خطر استفاده ناصحیح از منابع آب و شور شدن خاک‌ها یادآوری شده و گزارش نموده است که در برخی بخش‌های دشت قزوین، خاک‌ها وارد مرحله سدیمی شدن گشته و در حال تخریب می‌باشند. Gorji-Anari (1983) پیش‌بینی کرده است که مدیریت حاکم بر حوزه رودخانه آجی چای آذربایجان و اقدامات انجام شده در آن، منجر به افزایش شدید شوری خاک در آن منطقه و ایجاد فاجعه زیست محیطی در آینده خواهد شد. هشدار تشدید شوری و سدیمی شدن در خاک‌های استان گلستان توسط Sarmadian (1997) و در استان خوزستان توسط Karmalachaab.(2019) داده شده است. امروزه به نظر می‌رسد متاسفانه دست‌کم بخشی از این پیش‌بینی‌ها به وقوع پیوسته است.

روابط بیولوژیک در شرایط شور

بسیاری از باکتری‌ها می‌توانند در خاک‌های با شوری بالا زنده بمانند. حتی برخی پژوهشگران معتقدند که شوری بالا برای زنده ماندن آنها لازم است. Sarcheshmehpour et al., (2010) به منظور جداسازی و غربال‌گری باکتری‌های ریزوسفری درختان پسته در کرمان، تعدادی نمونه برداشته و ۳۰۰ جدایه را جداسازی کرده و مشاهده کردند که بیش از ۸۰٪ این باکتری‌ها می‌توانند EC برابر با ۶۴dS/m را تحمل کنند. آنان مشاهده کردند شوری بالاتر از ۶۴ dS/m به شدت توده کلنی جدایه‌ها را کاهش داد. Etemadi-Khah et al., (2017) از پارک ملی کویر ۲۷ مورفوتایپ سینوباکتری شناسایی و مشاهده کردند که سویه *Phormidium autumnale 61et 80* قادر به تحمل محلول با غلظت ۷٪ نمک (EC حدود ۱۲۰dS/m) کلرور سدیم است. این سویه از مکانی باEC برابر با ۸۸ dS/m جداسازی شده بود. نتایج تحقیق آنان نشان داد که برخی از سیانوباکترهای جدا شده از خاک پارک ملی کویر می‌توانند در شرایط تنش شوری شدید توده فعال بیولوژیکی ایجاد نمایند. مقاومت به شوری برخی از سویه‌های *Rhizobium leguminosarum b.v. (Rlv)* *viciea (lenti)* جداسازی شده از ریزوسفر عدس دیم به شوری‌های بیش از ۵۰ dS/m گزارش شده است (Alikhani 2011). احتمالا باکتری‌های ریزوبیوم لگومینوزاروم بیووار ویسیه، که مقاوم به شوری هستند نسبت به خشکی هم متحمل می‌باشند (Alikhani 2011). با توجه به آنکه عموما در شرایط شور، شدت فعالیت‌های میکروبی کم است توانایی باکتری‌های مقاوم به شوری در تجزیه آلاینده‌های آلی اهمیت فوق‌العاده‌ای می‌یابد. مشاهده شده است که در محیط‌های با کمبود اکسیژن و شور، باکتری‌های *Bacillus thuringiensis* و *Bacillus sp.* توانایی زیادی در تجزیه زیستی BTEX (آلاینده شامل بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و ایزومرهای زایلن) دارند (Shakiba et al., 2019) . سویه Q-SH1 باکتری *Halobacillus dabanensis* که از خاک شور و سدیمی آلوده به مشتقات نفتی جدا شده است به دلیل سازگاری با شرایط سخت می‌تواند دامنه وسیعی از غلظت فنانترن را تجزیه نماید (Shahriari 2013). در شوری های متوسط این تجزیه شدیدتر است و با کاهش شوری از ۱۰٪ نمک، کار آیی باکتری نیز کاهش می‌یابد (Shahriari 2013).

همزیستی میکروارگانسیم و ریشه می‌تواند مقاومت و یا تحمل گیاه به تنش شوری را افزایش دهد (Shirmardi 2009). تأثیر مثبت تلقیح ریشه آفتابگردان با قارچ میکوریز آربسکولار *Glomus etunicatum* و باکتری *Pseudomonas fluorescens* دارای توانایی تولید آنزیم ACC دآمیناز بر روابط آبی و شاخص‌های زراعی و وزن تر و خشک طبق در خاک شور (شوری طبیعی) با = 7 - 8 dS/m ECمشاهده شده است (Shirmardi et al., 2011). اثر مشابهی توسط Faghih (2016) در ذرت گزارش شده است. Faghih (2016) دریافت آنزیم ACC دآمیناز مانع از تولید اتیلن تنشی شده و از این طریق باعث افزایش عملکرد ذرت می‌شود. در تلقیح گیاه جو با قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* ، مشاهده شد که این قارچ از طریق افزایش بیان پروتئین‌هایی مانند *Ascorbate peroxidase* *Glutathion-sstransfrase* گیاه را درمقابله با تنش اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال حاصل از شوری یاری می‌کند Sepehri (2009). تلقیح مشترک قارچ گلوموس اینترارادیسز و باکتری سودوموناس فلورسنس سویه 12 می‌تواند مقاومت گیاه گندم به شوری (EC ۱۰در خاک اشتهارد کرج) را افزایش دهد (Asgharzadeh 2001). باکتری مولد ACC دآمینیاز جدایه K78 نیز چنین تاثیری بر عملکرد گندم دارد (Bahmani 2014). تاثیر قارچ میکوریز *Glomus etunicatum* بر مقاومت به شوری پیاز و قارچ گلوموس اینترادیسز بر مقاومت به شوری جو نیز مورد تایید قرار گرفته است (Asgharzadeh 2001). نتایج مشابهی توسط Abdolvahab (2009) و Sadat et al., (2010) در گندم گزارش شده است.

تلقیح بذرهای گندم با جدایه‌های باکتری نمک دوست مولد پلی‌ساکارید (دو سویه شبیه به *Bacillus subtlis susp.Inaquosorum (T)* و*Marinobacter lipolyticus*) در نهایت منجر به افزایش عملکرد در شرایط شور(مخلوطی از یون‌های سدیم و کلسیم و منیزیم با نسبتهای نامعلوم) می‌شود (Talebi-Atouei 2013). استفاده از زادمایه باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد

اثرات منفی شوری را بر شاخص‌های رشد و شرایط تغذیه‌ای کلزا و جذب سدیم توسط شاخساره را کاهش می‌دهد (Saghafi et al., 2015).

Saghafi et al., (2015) مشاهده کردند، در حضور باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد، با افزایش سطوح شوری شاخص‌های رشد –به جز کلروفیل – و ترکیب یونی–به جز پتاسیم و سدیم – گیاه کلزا کاهش یافت. Mardani et al., (2018) نشان داد که شوری بالاتر از 300 و400 میلی مول نمک بدون حضور فلاونوئید منجر به بیان ژن گره‌زایی در ریزوبیوم همزیست S. meliloti شد و در شرایطی که شوری بالا و القاکننده‌ها به طور همزمان وجود داشت، بیان ژن nodA بیشتر بود. سویه R128 باکتری سینوریزوبیوم ملیلوتی در شرایط شور سویه برتر همزیست با یونجه است و می‌تواند مقاومت به شوری یونجه را افزایش دهد (Asadi 2009).

در شرایط شور، تلقیح یونجه با باکتری‌های حل کننده فسفات و تثبیت کننده نیتروژن (*Bacillus SP,Pseudemonas florescent*) موجب افزایش عملکرد گیاه می‌شود (Momeni-Renani 2009).

بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی و مقایسه تحقیقات شوری انجام شده در گروه علوم و مهندسی خاک و با نظر به تنوع و تعدد این مطالعات می توان نتایج به دست آمده را به صورت زیر جمع‌بندی نمود :

۱– در کشور ما خاک‌های شور در سطح بسیار وسیعی گسترش یافته‌اند و خاک‌های سدیمی نیز در درجه بعدی اهمیت قرار دارند. در بسیاری از این خاک‌ها کشاورزی صورت می گیرد. به همین دلیل ضرورت دارد تا از طرفی دانش و آگاهی کافی از کشت وزرع در شرایط شور وجود داشته باشد و از طرفی نیز توجه ویژه‌ای به مدیریت خاک و جلوگیری از افزایش شوری و سدیمی بودن آنها و نیز اصلاح خاک‌ها گردد. تلفیق روشهای نوین همراه با راهکارهای ساده می‌تواند تاثیر بسزایی در این امر داشته باشد.

۲–روشهای رایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی که عموما برای خاک های غیر شور توسعه داده شده‌اند در بسیاری از موارد برای تعیین ویژگی‌های خاک‌های شور دارای خطاهای زیادی هستند. به همین دلیل ضروری است روشهای ویژه‌ای برای تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاکهای شور توسعه داده شده و یا روشهای مرسوم اصلاح گردند.

۳–در اغلب تحقیقات مرتبط با شوری فرض میشود که نمک کلرور سدیم تنها نمک موجود در محلول خاک است ولی عملا ممکن است مقادیر متنابهی از سایر املاح مانند سولفات‌ها کربنات‌های کلسیم منیزیم و پتاسیم نیز در خاک موجود باشد. پاسخ گیاهان در شرایط شور به این املاح عموما نیاز به بررسی دارد. در مقایسه مطالعات مربوط به پاسخ گیاهان به شوری باید ترکیب شیمیایی محلول خاک نیز مورد توجه قرار گیرد. در طراحی پژوهش‌ها نیز باید توجه و دقت ویژه‌ای به انتخاب ترکیب محلول خاک معطوف گردد.

۴ –شاخص مقاومت و پاسخ به تنش شوری در گیاهان بر اساس هدایت الکتریکی اشباع خاک بنا شده است. در حالیکه که زمانی که گیاه آب جذب میکند خاک اشباع نیست و طیفی از حالت‌های غیر اشباع خاک را تجربه می‌کند. بنابراین لازم است یک راهکار جامع برای تبیین مقاومت به شوری گیاهان بر اساس پویایی یا دینامیک آب در خاک تهیه گردد.

۵– ممکن است اثر تنش شوری به عنوان یک تنش غیر زنده و بسیار پیچیده در حضور هرگونه تنش زیستی و غیر زیستی دیگری تشدید شود و یا حتی تغییر جزیی برخی عوامل مانند مکش ماتریک خاک و یا تهویه که در حالت عادی محدودیتی برای گیاه ایجاد نمی‌کردند، می‌تواند در شرایط شور عملکرد گیاه و یا جذب آب و عناصر غذایی را به شدت تحت تاثیر قرار دهند.

۶– بهبود شرایط تغذیه‌ای به ویژه تامین برخی یونها مانند نیترات، روی، سیلیسیم و به ویژه پتاسیم و نیز اسید سالسیلیک و یا وجود و تلقیح خاک با برخی ریزجانداران خاکزی نیز با بهبود شرایط رایزوسفر و یا حتی خود ریشه می توانند مقاومت به شوری را تا حد زیادی افزایش دهند. جانداران خاکزی با سازو کارهایی مانند تولید آنزیم ACC دآمیناز ، افزایش حجم ریشه، افزایش بیان پروتئین یا بیان ژن گره زایی و یا کاهش جذب سدیم به مقاومت گیاهان در مقابله با شوری می‌افزایند.

در پایان لازم به ذکر است که تعدادی از پژوهش‌هایی که در مقاله حاضر مورد بررسی قرار گرفتند، به دلایل تفاوت در علاقه‌مندی و تخصص و حتی زمان اشتغال محققین و نیز مقتضیات زمانی الزاما باهم مرتبط نبوده و یا در ادامه پژوهش‌های دیگر نمی‌باشند. پیشنهاد می‌گردد یک جهت‌گیری جامع پژوهشی به صورت مشخص تعریف گردد. این جهت‌گیری می‌تواند مربوط به یک منطقه مشخص از کشور و یا یک هدف تحقیقاتی معین باشد.

سپاس‌گزاری

از جناب آقای دکتر احمد حیدری و جناب آقای دکتر حسن اعتصامی، به ترتیب استاد و دانشیار محترم گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران برای ارائه نظرات ارزشمند، اصلاح و ویرایش نسخه اولیه این مقاله صمیمانه سپاس‌گزاری می‌گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abdolvahab, S. (2009). The effects of Arbuscular Mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria on nutrition and yield of wheat under salt stress. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Abrol, I. P., Yadav, J. S. P., & Massoud, F. I. (1988). Salt-*affected soils and their management* . Food & Agriculture Org.FAO soils bullien.- No 39. Soil resources, management and conservation service. FAO land and wter development division.

Aliasgharzadeh, N (2001). The abundance and distribution of Arbuscular Mycorrhizal fungi in saline soils of Tabriz plain and their inoculation effects on the improvement of salt tolerance in onion and barley. Ph.D. dissertation. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Alikhani, H. A. (2011). Assessing the tolerance of lentil - rhizobial strains to salinity and drought in vitro conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*,42(1):155-161. (In Farsi)

Amiri-Mijan, F., Shorafa, M., Liaghat, A and Mohammadi, M.H (2008). The study of mechanism of preferential flow of olute with and without macropores on two different fluxes rate. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*: 2(2). 73-80. (In Farsi)

Amiri-Mijan, F. (2008). *The study of preferential flow of solute with using breakthrough curve (BTCs)*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Amirpour Robat, M., Shrafa, M. (2017). Effect of subsurface water retention technology, mulch, and water quality on yield of corn in sandy soil in Kerman', *Iranian Journal of Soil Research*, 31(3: 453-462. (In Farsi)

Asadi, N. (2009). The evaluation of effects of sinorhizobium meliloti on N_2 fixation efficiency under different levels of irrigation on yield of alfalfa cultivar Bami. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Asadi, Z (2020). *Modelling of plant water uptake with using soil hydraulic properties, plant charactristics and irrigation water salinity*. Ph.D. dissertation. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Asadi, Z., Mohammadi, M. H., Shorafa, M., Farhbakhsh, M., & Ghezelbash, E. (2022).Using maize to evaluate the Mohammadi–Khataar (M–K) model as a salinity weighting function (ωsi) for the integral water capacity. *Soil Research.* Accepted.

Asadi, Z., Mohammadi, M. H., Shorafa, M., Farhbakhsh, M., & Ghezelbash, E. (2020). Evaluation of Assouline–Or adjusted aodel to express soil drainage curve. *Eurasian Soil Science*, *53*(6), 749-759.

Assadian, M. S. (1988). *Study the factors causing soil salinity and soil alkalinity of Assadabad plain*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Assouline, S., & Or, D. (2014). The concept of field capacity revisited: Defining intrinsic static and dynamic criteria for soil internal drainage dynamics. *Water Resources Research, 50*(6), 4787-4802.

Babaei-Darzi, H. R. (2015). *Study of land movement in saline and sodic soils*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Bahadori, M., & Tofighi, H. (2017). Investigation of soil organic carbon recovery by the Walkley-Black method under diverse vegetation systems. *Soil Science*, *182*(3), 101-106

Bahmani, E. (2014). *Effects of Halophillic bacteria producing enzymes ACC daminase to salinity stress in wheat*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Bakhosh, M. (2015). Evaluation the effects of biological soil crust on soil physical, chemical and biological properties in Jolfa region. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Bakhshi, A., Heidari, A., Mohammadi, M. H. (2018). Quantifying soil pores geometric properties using fluorescent dye method. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(1), pp. 195-206. 10.22059/ijswr.2018.234576.667689 (In Farsi)

Bakhtiari, G. (1976). *Study the effects of salinity and weed soaking in the yield of sunflower*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Barani, Gh. (1976). *Studing the concentration and gypsum content of saline and gypsiferous soils of Eshtehard region*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Barzgar, A. (1981). *Study the possibility of reclamation of saline and alkaline soils in Khuzestan provience (Omidiieh).* MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Bazargan, K. 1997. Estimation of apparent Gapon selectivity coefficient for salt affected soils of Iran and factors affecting this coefficient. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Bazrafshan, A (2019). Investigate the mechanism of interaction between matric potential and osmotic potential on water uptake in maize. Ph.D. dissertation. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Bazrafshan, A., Shorafa, M., Mohammadi, M. H., Zolfaghari, A. A., van de Craats, D., & van der Zee, S. E. (2020a). Comparison of the individual salinity and water deficit stress using water use, yield, and plant parameters in maize. *Environmental monitoring and assessment*, *192*(7), 1-14.

Bazrafshan, A., Shorafa, M., Mohammadi, M.H., Zolfaghari, A. (2020b). 'Maize response to salinity stress using water uptake models in different seasons', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(9), pp. 2171-2182. (In Farsi)

Bazrafshan, A., Shorafa, M., Mohammadi, M.H., Zolfaghari, A. A. (2020c). Investigation of salinity and drought stress on plant water uptake reduction under simultaneous stress condition. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51*(7), 1711-1723. (In Farsi)

Bohn, H. L., & McNeal, B. LO Connor, GA . (1985). *Soil Chemistry*. New York, John Willey & Sons.

Bower, C. A., Reitemeir, R.F. and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of satine and aikali soils.*Soil Science. Society America. Journal* 73: 251-261.

Chakherloo, S. (2014). The study of genesis and micromorphological properties of saline – sodic soils of the west of Urmia Lake, *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 4(3), pp. 87-111

Chakherloo, S., Manafi, S., Heidari, A. (2015). 'The comparison of micromorphological properties of saline – sodic and nonsaline-nonsodic soils around the Urmia Lake. *Water and Soil*, 28(5), pp. 1011-1024. (In Farsi)

Emami H., Shorafa M., Neishaboori M. R., Liaghat A. M (2008) Prediction of soil physical quality index by using conveniently measurable soil properties in some saline and calcareous soils. *Iranian Journal of Soil and Water Research*.39(1):39-46. (In Farsi)

Emami, A. (1974). *Comparison of the methods of determination of exchangeable cations in saline and calcareous soils*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Etemadi-Khah, A., Poorbabaei, A., Alikhani, H., Noroozi, M. (2017). Isolation and identification of cyanobacteria from Kavir National Park hypersaline soils', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(3), pp. 625-637. (In Farsi)

Faghih, F. (2016). The effect of funneliformis mosseae fungi and ACC-deaminase producing bacteria on growth indices of corn plant in saline-sodic soils. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Fallahi, Sh. (1971). *Effects of electrolytes on variation of soil infiltration (hydraulic conductivity).* MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Farahbakhsh, M. and, Toufighi, H (1997). Relationships between electrical conductivity (EC), concentration of total soluble salts in sal affected soils of Iran. *Iranian Journal of Agricultural Science*.28(2): 87-96. . (In Farsi)

Farshi, A.A. (1979). *Effects of variations of soil matric and osmotic potentials on the yield and growth of tomato*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Fathi, E., Parsinejad, M., Mirzaei, F., Motesharezadeh, B. (2017). Effects of salinity and soil contaminated with sewage on cadmium uptake by corn, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(2), pp. 359-368. (In Farsi)

Ghezelbash, E. (2016). *The effect of high salinity of irrigation water in determining field capacity based on new concept*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Ghezelbash, E., Mohammadi, M. (2020). Comparison of three commonly used concepts in explaining soil water availability for plants (CPAW, EI and Mh0) and their feasibility as an indicator of soil management. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(3), 687-696. (In Farsi)

Gorji-Anari, M. (1983). Determination of erodibilty of some parts of Ajichai-River watershed and its role in the salinity of surface water. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Heydari, Z., Asadi, H., Kavoosi, M. (2016). Effect of Azolla compost and polyacrylamide on runoff and splash erosion of a saline-sodic soil. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 10 (33) :27-36. (In Farsi)

Hosseini, M.R. (1997). *Effect of sodicity and salinity on aggregate stabilit*y. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Hosseini, S., Kalatehjari, S., Kafi, M., Motesharezadeh, B. (2020). Investigation of morpho-physiological and biochemical adaptive responses of Hovenia dulcis L. affected by salinity, nitrate and lead', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), pp. 1983-1996. (In Farsi)

Izadpanah, A. (1974). *Study the relationships between salt affected soils and indigenous plants of Zarrine-rood region.* MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Jamshidi, M., Eftekhari,K., Navidi, M., Momeni, A. (2015). *Forty years soil survey in Iranian soil and water research institute*. AREEO publications sery .pp: 1-60. (In Farsi)

Kakeh, J., Gorji, M., Mohammadi, M. H., Asadi, H., Khormali, F., & Sohrabi, M. (2021a). Effect of biocrusts on profile distribution of soil water content and salinity at different stages of evaporation. *Journal of Arid Environments*, *191*, 104514.

Kakeh, J., Gorji, M., Mohammadi, M. H., Asadi, H., Khormali, F., Sohrabi, M., & Eldridge, D. J. (2021b). Biocrust islands enhance infiltration, and reduce runoff and sediment yield on a heavily salinized dryland soil. *Geoderma*, *404*, 115329.

Kakeh, J., Gorji, M., Mohammadi, M. H., Asadi, H., Khormali, F., Sohrabi, M., & Cerdà, A. (2020a). Biological soil crusts determine soil properties and salt dynamics under arid climatic condition in Qara Qir, Iran. *Science of the Total Environment*, *732*, 139168.

Kakeh, J., Gorji, M., Mohammadi, M. H., Asadi, H., Khormali, F., & Sohrabi, M. (2020b). Studying the Effects of Biocrusts on Soil Water Dynamic and Evaporation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51*(5), 1255-1264.

Kakeh, J., Gorji, M., Sohrabi, M., Tavili, A. and Pourbabaee, A.A., 2018. Effects of biological soil crusts on some physicochemical characteristics of rangeland soils of Alagol, Turkmen Sahra, NE Iran. *Soil and Tillage Research*, *181*, pp.152-159.

Kakeh, J., Gorji, M., Tavili, A., Sohrabi, M., & Pourbabaei, A. A. (2013). The effects of biological soil crusts on soil hydrologic properties in range land of Qare Qir, Golestan province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *44*(4), 397-403.

Kalbasi-Ashtari, M. (1973). *Study the chemical quality of ground water in Deshte-Qazvin*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Karmalachaab, S .(2019). Study of soil quality in different land uses in northern Khuzestan (Susa Danial) to provide management advices. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Khadem–Moghadam, N., Motesharezadeh, B., Maali amiri, R. (2019). 'The effect of zinc and potassium treatments on the antioxidant activities and physiological responses of canola in a saline soil', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(6), pp. 1409-1420. (In Farsi)

Khadjehpour, M. (1979). *Effect of leaching and control of salinity on Arzaneh land*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Khaleghpanah N., Shorafa M., Teimouri S.(2013). Estimation of moisture retention curve in some saline and saline-sodic soils with pedotransfer functions. *Iranian Journal of Soil Research (formerly soil and sater sciences)*. 26(4):391-402. (In Farsi)

Khataar, M., Mohammadi, M. & Shabani, F. (2018a). Soil salinity and matric potential interaction on water use, water use efficiency and yield response factor of bean and wheat. *Scientific Re*ports**8,** 2679 (2018).

Khatar, M., Mohammadi, M. H., & Shekari, F. (2017b). Some physiological responses of wheat and bean to soil salinity at low matric suctions. *International Agrophysics*, *31*(1).

Khatar, M., Mohammadi, M., Shekari, F. (2017a). Effect of soil salinity and aeration stresses on the root and yield components in wheat and bean', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48(2), pp. 429-440. (In Farsi)

Khodadadi, M., Sadeghi, M., Refahi, H. G., Nooroozi, A. A., Heydari, A., & Sarmadian, F. (2010). An evaluation LISS_III Data capability for saline and sodic soil mapping. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 41(1).

Khodadadi, M. (2007). *Saline and alkaline soil mapping using remote sensing and GIS (a case study: a part of Qazvin plain)*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Khoshnood-Yazdi, A. (1981). *Estimation of the soil retention curve from soil physical properties in some*

soils of Iran. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Mahmoodi-Meimand, S .(1995). *Genesis and classification of gypsiferous and sodic saline soils in Robatdasht of Shrebabak.* MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Mardani, R., Poustini, K., Abbasi, A., Pourbabaei, A. (2018). The effect of luteolin, seed exudate and salinity on the nod gene expression of R. meliloti using β-galactosidase activity assay', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(4), pp. 907-914. (In Farsi)

Marzvan, S., Mohammadi, M. H., & Shekari, F. (2019a). The effect of-equal osmotic and matric potential on water uptake and yield of corn in complete and partial root irrigation system. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(4), 793-806.

Marzvan, S., Mohammadi, M., Shekari, F. (2019b). Investigating the variations of macronutrient in same osmotic and matric potential of complete and partial irrigation systems corn root. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(2), pp. 85-101. (In Farsi)

Marzvan, S., Mohammadi, M., Shekari, F. (2021). Biochemical reactions of maize leave and roots to simultaneous salinity and drought stress', *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10(4), pp. 155-171. (In Farsi)

Masoumi, A. M. (1973). Estimation of alkalinisation of soils using cationic composition of irrigation water. *Annual Journal of Irrigation and Drainage.* Number, 9. (In Farsi)

Mirseyed Hosseini, H., Moslemi Kalvani, T., Fathi Gerdelidani, A. (2018). Effects of some organic amendments and gypsum application in a saline and sodic soil', *Applied Soil Research*, 6(1), pp. 25-36. (In Farsi)

Mirtaheri, H., KalatehJari, S., Motesharezadeh, B., Fatemi, F. (2021). The effect of ascorbic acid and melatonin on morphophysiological characteristics and salinity tolerance of miniature rose (Rosa chinensis var. minima)', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(3), pp. 651-665. (In Farsi)

Moameni, A. (2011). Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. *Iranian Journal of Soil Research (formerly Soil and Water Sciences)*, 24(3 (special issues)), 203-215. (In Farsi)

Moghiseh, E., Mahmoudi, SH., Heydari, A., Zeynaldini, A., Masihabadi, M.H.(2007). A study of morphology, sem and genesis of some saliferous and gypsiferous soils in barn area. *Iranian Journal of Agricultural Sciences (Journal of Agriculture*, 38(3):431-446. (In Farsi)

Mohajeri-Aval, S (2011). *Effect of nitrogen and potassium fertilizers on four wheat cultivars for increasing salinity tolerance*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Mohammadi, M. H. (2021) Editorial: Highlighting some opinions for studying soil water and plant relationships in arid lands. *Journal of Soil and Plant Interactions*. 12, No. 1.

Mohammadi, M. (2016). *Evaluation of growth indices and yield of canola cultivars to salinity stress conditions*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Mohammadi, M. H. (2006). Simulation of solute breakthrough curve from soil moisture characteristics curve. Ph.D. dissertation. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Mohammadi, M. H., & Khataar, M. (2017). A simple numerical model to estimate water availability in saline soils. *Soil Research*, *56*(3), 264-274.

Mohammadi, M. H., & Meskini-Vishkaee, F. (2012). Predicting the film and lens water volume between soil particles using particle size distribution data. *Journal of Hydrology*, *475*, 403-414..

Mohammadi, M. H., & Vanclooster, M. (2009). Analysis of infiltration and water redistribution in a water repellent soil monolith. In *Proceedings of the 4th Iasme/Wseas International Conference on Water Resources, Hydraulics and Hydrology. World Scientific and Engineering Acad and Soc, Athens* (pp. 59-66).

Mohammadi, M. H., & Vanclooster, M. (2011). Analysis of flow rate dependency of solute transport in an undisturbed Inceptisol. *Vadose Zone Journal*, *10*(1), 394-402.

Mohammadi, M. H., & Vanclooster, M. (2012). Indirect estimation of the Convective Lognormal Transfer function model parameters for describing solute transport in unsaturated and undisturbed soil. *Journal of Contaminant Hydrology*, *132*, 48-57.

Mohammadi, M. H., Neishabouri, M. R., & Rafahi, H. (2009). Predicting the solute breakthrough curve from soil hydraulic properties. *Soil Science*, *174*(3), 165-173.

Mohammadi, M.H. 2015. *Soil water and plant relationships, management of green water*. (Key note). In: 14th National Soil Science Congress. University of Rafsanjan. Sept. . (In Farsi)

Mohammadi, M.H., Khataar, M. & Shekari, F. (2017) Effect of soil salinity on the wheat and bean root respiration rate at low matric suctions. *Paddy and Water Environment* 15, 639–648.

Momeni-Renani, Z. (2009). Effect of phosphate solubilizing on biological nitrogen fixation and nutrition of alfalfa in saline conditions. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Morsalpour, M (2008). *The effect of cornand barley root characteristics on solute transport in soil*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Motesharezadeh, B., Vatanara, F., Savaghebi, G. (2015). Effect of potassium and zinc on some Responses of wheat (Triticum aestivum L.) under salinity stress', *Iranian Journal of Soil Research*, 29(3), pp. 243-258. (In Farsi)

Namdar khojasteh D., Shorafa m., Eskandari Z., Fazeli Sanghani M. (2011). Eeffects of clay content and salinity on volumetric water content using time domain reflectometry. *Iranian Journal of Soil Research (formerly Soil and Water Sciences)* 25(2):103-112. (In Farsi)

Namdar Khojasteh, D., Shorafa, M., Fazeli Sangani, M. (2010). Evaluating the linear model of dielectric constant-electrical conductivity for estimation of soil solution electrical conductivity with TDR, *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 24(2), 317-324. (In Farsi)

Nouhi, K. (1979). *Effects of the irrigation water quality in the alkalinisation of some soils of Karaj region*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Rahbar, E. (1985). *Effects of soil texture, soil salinity and stocking rate on survival and growth rate of Haolxylon sp*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Regional Salinity Laboratory (US). (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (No. 60). *US Department of Agriculture*. pp160.

Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils .. LWW.

Rhoades, J. D., Kandiah, A., & Mashali, A. M. (1992). The use of saline waters for crop production-FAO irrigation and drainage paper 48. *FAO, Rome*, *133*.

Roozitalab, M. H., Siadat, H., & Farshad, A. (Eds.). (2018). *The soils of Iran*. Springer.

Rousta, M., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Sarmadian, F., Rahimian, M. (2014). Comparison of soft computing and regression techniques to calibrate electromagnetic induction in Ardakan. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(1), 55-65. (In Farsi)

Saberian-Ranjbar, S. (2018). Investigation of wheat physiological and nutritional responses to silicon application and increase of salinity stress resistance. Ph.D. dissertation. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Sadat,A., Savaghebi, G., Rejali, F., Farahbakhsh, M., Khavaz, K., Shirmardi, M. (2010). Effects of some arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil', *Water and Soil*, 24(1), pp. 53-62. (In Farsi)

Saghafi, D.Alikhani,H, Motesharezadeh.B. (2015) Mitigation the effects of salt stress in canola (Brassica napus L.) by plant growth promoting rhizobia', *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(1), pp. 23-41. (In Farsi)

Samadi, H. A. (2001). Evaluating the effect of water quality on growth and nutrient uptake in seedlings of two pistachio genotypes. Ph.D. dissertation. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Samadi-Shrebabak,H.A.(1976). Study the relationships between mineral nutrients and natural soil canopy in saline soils of Hossein Abad, Sirjan region. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Sanaei Ardekani, S., Shorafa, M., Liaghat, A., Farahbakhsh, M., Dehghani, F. (2019). Investigation of NO_3–N mass balance between effluent and soil affected by application of raw pistachio residues and its biochar', *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(4), pp. 935-949. (In Farsi)

Sarcheshmehpour, M., Besharati, H., Savaghebi, G. (2015) Increasing the efficiency of rock phosphate by some indigenous microorganisms of pistachio orchards to improve growth and nutrition of pistachio seedlings under salt stress, *Iranian Journal of Soil Research*, 29(3), pp. 371-381. (In Farsi)

Sarcheshmepour, M.,.Savaghebi, Gh. R. Saleh-Rastin, ., Alikhani, H. A ., Pourbabaei, A (2010) Isolation, screening, identification, and salinity and drought stress tolerance of selected plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) of Pistachio (Pistacia vera) trees. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 40(2):177-190.

Sarmadian, F. 1997.Ssoil gensis and classification and land suitability assensment in different climates of Gorgan And Gonbad in north of IRAN. Ph.D. dissertation. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)

Sepahi-Broujeni, M. R., Savaghebi, Gh. R., Mirseyed-Hosseini, H., (2005) Effect of potassium and seed

priming with potassium sufate solution on corn (Zea Mays. L) responses. *Desert* 10(1): 71-86.
Sepehri, M. (2009). Identification of molecular mechanisms of induced tolerance in barley by Piriformosora indica under salinity and drought conditions. Ph.D. dissertation. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)
Shahbazi, A., Sarmadian, F., Rafahi, H. Gh., Gorji, M. (2005). The effect of Polyacrylamide (PAM) application on runoff and erosion of saline–sodic soils. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 36(5); 1103-1112. (In Farsi)
Shahriari, M. H. (2013). *Investigation of bio-availability and biodegradation kinetics of phenantheene in saline soils.* MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)
Shakiba, M., Sohrabi, T., Mirzaei, F., Pourbabaee, A. (2019) Assessment of the BTEX biodegradation by Bacillus thuringiensis and Bacillus sp. under nitrate reducing condition., *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(3), pp. 713-724. (In Farsi)
Sharifi, P. (2017). Comparison of the effect of raw manure, vermicompost and azolla on the physical properties of saline-sodic soil. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)
Sharifi, P., Shorafa, M., & Mohammadi, M. H. (2019). Comparison of the effect of Cow manure, Vermicompost, and Azolla on safflower growth in a saline-sodic soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *50*(12), 1417-1424.
Shirmardi, M. (2009). Effect of of Arbuscular Mycorrhiza and fluorescent pseudomonas on growth and nutrients uptakes of sunflower under salinity stress. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)
Shirmardi, M., Savaghebi Firoozabadi, G. R., Khavazi, K., Farahbakhsh, M., Rejali, F., & Sadat, A. V. (2011). The effects of some microbial inoculants on water relationships and agronomic indices of sunflower (*Helianthus Annuus L*.) in a saline soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 41(2), 221-228.
Siavashi, F. (2016). The effects of poultry manure, bagasse, sugarcane, biochar and gypsum on properties and reclamation of saline-sodic soil. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)
Simmons, C.S., 1982. A stochastic-convective transport representation of dispersion in one-dimensional porous media systems. *Water Resources Research*, *18*(4), pp.1193-1214.
Soil Science Glossary Terms Committee, & Soil Science Society of America. (2008). *Glossary of soil science terms* 2008. ASA-CSSA-SSSA.
Taghizadeh Mehrjardi R.A., Sarmadian F., Omid M., Savaghebi Gh., Rousta M.J., Rahimian M.H (2013) Mapping of soil salinity using geostatistic and electromagnetic induction methods in ardakan *Iranian Journal of Soil Research* (formerly Soil and Water Sciences) 26(4):369-380. (In Farsi)
Taherzadeh, M.H. (1991). *Application of satellite images in identification of saline land of south and southwestern of Ahvaz*. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi)
Talebi-Atouei, M., Pourbabaee, A.A., Shorafa, M (2013) Effect of halophilic exopolysaccharide-producing bacteria on wheat growth under drought and saline stresses. *Iranian Journal of Soil Research (formerly Soil and Water Sciences)*, 27(1):97-106. (In Farsi)
Vahabi-mashak, F., .Mirseyed hossein, H., .Shorafa, M., .Hatami, S. (2008). 'Investigation of the effects of spent mushroom compost (SMC) application on some chemical properties of soil and leachate', *Water and Soil*, 22(2), pp. (In Farsi)
Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37, 29–38.
Yavari,M. (2019). The possibilitry of revisiting the method of soil texture measurement with considering effects of cement agents and coarse fragments. MSc Thesis. Department of Soil Science. University of Tehran. Karaj. (In Farsi).Yavari, M., Mohammadi, M., Shahbazi, K. (2020). The Effect of Cement Removal in Measuring the Texture of Iran Soils, Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(8), pp. 1947-1958. (In Farsi)