

**EXTENDED ABSTARCT**

## **Application of physical model to simulate of permanent and intermittent leaching of saline and sodic soils**

D. Satar Boroujeni<sup>1</sup>, H. Babazadeh<sup>2\*</sup>, E. Pazira<sup>3</sup> and A. Polus<sup>4</sup>

1- PhD Candidate of Soil physics and conservation, Dept. of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2\*- Corresponding Author, Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran ( [h\\_babazadeh@srbiau.ac.ir](mailto:h_babazadeh@srbiau.ac.ir)).

3- Professor of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

### **ARTICLE INFO**

*Article history:*

Received: 18 December 2019

Revised: 31 July 2020

Accepted: 2 August 2020

*Keywords:*

Leaching efficiency, Salty and sodic soil, Soil depth, Leaching depth, Leaching method.

### **TO CITE THIS ARTICLE :**

Satar-Brojeni, D., Babazadeh, H., Pazira, E., Polous, A. (2022). 'Application of physical model to simulate of permanent and intermittent leaching of saline and sodic soils', *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(1), pp. 49-64. doi: 10.22055/jise.2020.31775.1895.

### **Introduction**

Salt-affected soils have gained a major global-regional-national-ecosystem-farm level concern (Hossain, 2018). One of the important options in leaching is to precisely determine the volume of water required due to the problem of water scarcity (Karandish, 2016; Babazadeh *et al.*, 2017). The aim of this study was to evaluate the amount of leaching water in two continuous and intermittent methods to compare these two methods with each other and with pre-leaching soil characteristics on three series of saline soils of Mighan plain in Markazi province with different texture. Leaching operations were performed using the methods described in 50 cm in 5 alterations. Electrical conductivity and soil sodium absorption ratio after leaching were measured and compared with these two parameters before leaching. Also, in order to determine the most appropriate leaching method, Dunnett multiple comparison test was performed in three areas and five soil depths. The results of this study showed that, on average to the desired depth, leaching improved soil salinity and sodicity so that soil salinity was reduced from 20.12 ds/m to 7.80 ds/m in continuous leaching method and to 5.63 ds/m in intermittent method and exchangeable sodium percentage was declined from 40.35 to 37.11 in continuous leaching method and to 29.18 in intermittent method. The lack of decrease in exchangeable sodium percentage due to the decline in soluble salts and relative abundance of sodium ion in soil solution after leaching which confirms the study of soluble cations in the soil. It is resulted that, intermitted leaching method has better leaching efficiency in all three areas and can be recommended for leaching the soils of the study area.

### **Methodology**

The study area was in Markazi Province, central part of Iran. Based on available geo-pedological map and previous salinity reports, the most salt-affected site was selected for collecting field data which were classified in the physiographic unit of Low Land. Soils were classified as calcic Haplosalid and Aquic Natrargid in the American method and the groundwater level in this area is relatively estimated under two meters.

### Soil Sampling and Laboratory Analysis

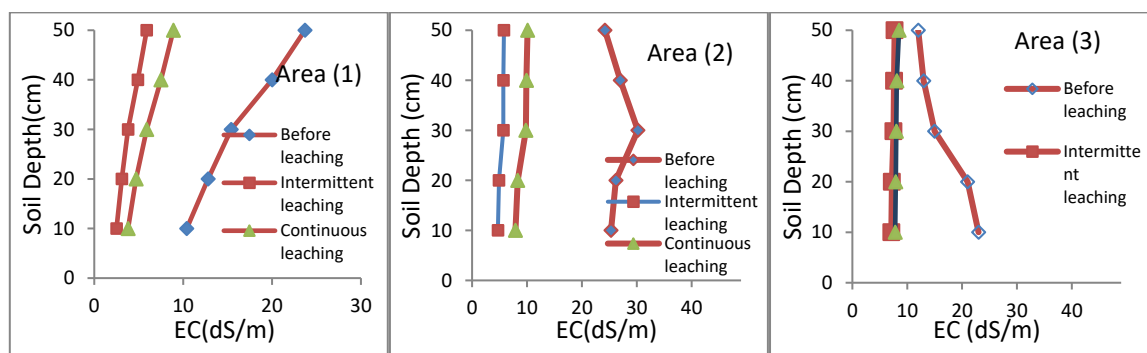
After exploring the most salt-affected series of soil in the study area, a vertical soil profile was excavated and soil samples from 0 to 10, 10–20, 20–30, 30–40 and 40 to 50 centimeter depths were collected. Collected soil samples from different layers were air dried and ordered in to designed cylinders in the laboratory as same as soil profile in the field. Before and after leaching procedure, important physicochemical soil attributes such as EC, SAR, ESP, and pH were measured. The actual soil's specific gravity was measured by pycnometer. Permanent flooding method was applied on the cylinders for leaching salts from soil. In order to simulate reality, required leaching water was provided from the nearest well in the area, which was routinely used for irrigation. Chemical properties of water sample were analyzed.

### Results and Discussion

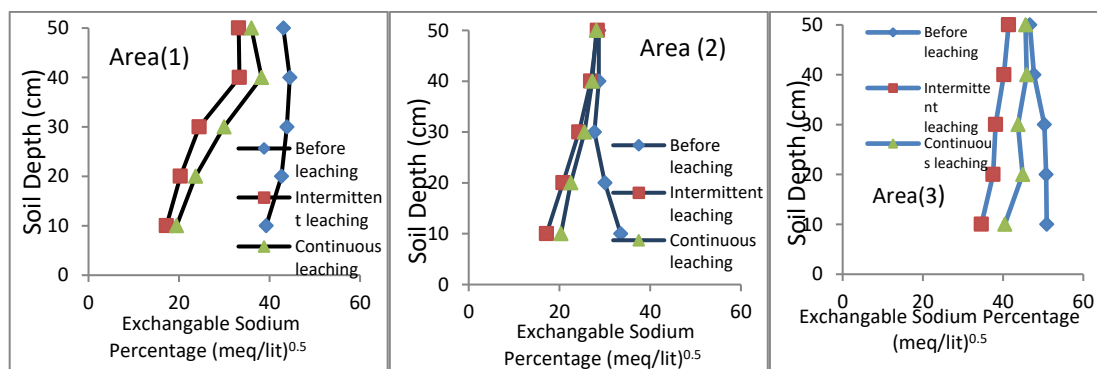
Desalinization and desodification in the two methods of permanent and intermittent leaching in comparison with before leaching are shown in Figure (1). In all areas, both leaching methods have reduced soil salinity but this reduction is more frequent in intermittent leaching, therefore intermittent leaching is more efficient than permanent leaching in this area which confirms the results of Behbahanizadeh *et al.*, (2016) stated that leaching efficiency is more higher in intermittent leaching than permanent leaching method.

As shown in Fig. (2), both leaching methods reduced soil sodium content in all areas, but this reduction was more frequent in intermittent leaching and therefore, it is more efficient for desodification than permanent leaching method in this region which confirms the results of Cote *et al.*, (2000) stated that leaching efficiency in unsaturated methods was higher than permanent waterlogging due to unsaturated conditions and water passes through fine pores.

Then, in order to compare the significant differences between the three zones, different depths, and between the leaching methods and the pre-leaching methods, with respect to desalinization and desodification, Dunnett's test was implemented. The results in table 1. show that desalinization and desodification have significant difference in all areas, all soil depth. Also, there is a significant difference between leaching methods and with before leaching method.



**Fig.1. Comparison of desalinization of soil samples by two permanent and intermittent leaching methods in three areas of study**



**Fig.2. Comparison of desodification of soil samples by two permanent and intermittent leaching methods in three areas of study**

**Table 1. Results of Dunnett's test between three zones with respect to desalinization and desodification**

Treatments				Treatments			
Soil depth	Zones	Leaching method	parameter	Soil depth	Zones	Leaching method	parameter
31.46*	30.09*	29.18*	Desodification	10.27*	8.88*	5.60*	Desalinization
33.93*	32.59*	37.10*		10.67*	10.75*	7.81*	
35.54*	44.08*	40.49*		11.26*	13.71*	19.94*	
38.44*	-	-		11.52*	-	-	
38.58*	-	-		11.86*	-	-	

There is a significant difference between different soil depth and three zones with respect to desalinization and desodification. Leaching in this area is a good way to improve soil salinity and sodicity. Intermittent leaching has higher efficiency in all three zones and it is recommended for leaching of soils in the study area. Although a decrease in salinity and sodicity is observed in the continuous leaching method. The reduction is not as effective as intermittent method.

### Acknowledgment

This paper is extracted from Ph.D. of Soil physic and Conservation Dissertation that hereby we acknowledge Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran for its grateful support.

### References

- 1- Babazadeh, H., Sarai Tabrizi, M. and Homaei, M. 2017. Assessing and modifying macroscopic root water extraction basil (*Ocimum basilicum*) models under simultaneous water and salinity stresses. *Soil Science Society of America Journal*, 81(1), pp.10-19.
- 2- Behbahanizadeh, Z., Pazira, E., Panahpour, A. 2016. Determination of leaching efficiency coefficient for desalinization of saline and sodic soil in Vies area, Khuzestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 5(4), pp. 97-112. (In Persian).
- 3- Corwin, D.L., Rhoades, J.D. and Simunek, J.(2007). Leaching requirement for soil salinity control: Steady – state versus transient models. *Agricul , Water Manage*, 90(3), pp. 165-180.
- 4- Cote, C.M., Bristow, K.L. and Rose, P.J. 2000. Increasing the efficiency of solute leaching: impacts of flow interruption with drainage of the "preferential flow paths". *Journal of Contaminant Hydrology*, 43, pp. 191–209.

- 5- Hossain, Md. 2018. Present scenario of global salt affected soils, its management and importance of salinity research. *International Research Journal of Biological Sciences*. 1(1), pp. 1-3.
- 6- Karandish F. 2016. Improved soil-plant water dynamics and economic water use efficiency in a maize field under locally water stress. *Agronomy and Soil Science*, 62 (9), pp. 1311-1323.



© 2022 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## کاربرد مدل فیزیکی در شبیه سازی روش غرقاب دائم و متناوب خاک‌های شور و سدیمی

درنا ستار بروجنی<sup>۱</sup>، حسین بابازاده<sup>۲\*</sup>، ابراهیم پذیرا<sup>۳</sup> و آناهیتا پلوس<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، گروه خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
 ۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. h\_babazadeh@srbiau.ac.ir  
 ۳- استاد گروه خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
 ۴- استادیار گروه خاکشناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۱۲

بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۱۰

دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۷

### چکیده

شوری و سدیمی بودن خاک یکی از مشکلات بارز در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است. آبشویی نمک‌های محلول، یکی از روش‌های اصلاح و به‌سازی خاک‌های شور و سدیمی است. هدف از این پژوهش، تعیین میزان آب آبشویی لازم به دو روش غرقاب دائم و متناوب، مقایسه این دو روش با یکدیگر، با توجه به ویژگی‌های خاک قبل از آبشویی روی خاک‌های استان مرکزی بوده است. به‌منظور تهیه نمونه خاک در هر منطقه، تعداد پنج نمونه، از سطح تا عمق نیم متری از پروفیل خاک با فواصل ده سانتی‌متری، برداشت شد. نمونه‌های خاک به همان ترتیبی که از نیم‌رخ خاک برداشت شده بودند، درون استوانه‌هایی که به این منظور طراحی شدند، قرار داده شد. عملیات آبشویی به میزان ۵۰ سانتی‌متر در پنج تناوب انجام شد. هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم خاک پس از آبشویی اندازه‌گیری و با مقادیر این دو پارامتر قبل از آبشویی مقایسه گردید. به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش آبشویی آزمون آماری مقایسه میانگین دانت انجام گردید. نتایج نشان داد که آبشویی باعث شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی شده به طوری که به طور متوسط تا عمق مورد نظر، شوری خاک از ۲۰/۱۲ به ۷/۸۰ ds/m در روش غرقاب دائم و ۵/۶۳ ds/m در روش متناوب کاهش یافته و همچنین درصد سدیم تبادلی از ۴۰/۳۵ به ۳۷/۱۱ در روش غرقاب دائم و ۲۹/۱۸ در روش متناوب کاهش یافته است. نتایج نشان داد که آبشویی نمک‌های محلول به روش متناوب در هر سه منطقه راندمان بالاتری داشته و می‌توان روش غرقاب متناوب را برای آبشویی خاک‌های منطقه مورد مطالعه توصیه نمود.

کلیدواژه‌ها: راندمان آبشویی، خاک‌های شور و سدیمی، عمق آب آبشویی، روش آبشویی.

### مقدمه

بر این، برخی یون‌های موجود در عصاره اشباع خاک، مانند سدیم، کلسیم و بر مسمومیت‌های خاصی را برای گیاهان به‌وجود می‌آورند. تأثیر منفی یون سدیم تبادلی بر کاهش رشد و نمو گیاهان را می‌توان به عواملی مانند مسمومیت گیاهی، عدم توازن مواد غذایی در گیاه نسبت داد، ضمن اینکه اثرهای سدیمی بودن بر ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز بسیار حایز اهمیت می‌باشد (Kholova et al., 2009)، (Waheed et al., 2006). شوری شدن خاک‌ها به‌صورت طبیعی یا بر اثر فعالیت‌های انسان ایجاد می‌شود (Noroozi et al., 2012). استفاده از آب‌های شور با کیفیت نامناسب و عدم مدیریت آبیاری و زهکشی، از جمله دلایل شوری و سدیمی بودن خاک‌ها هستند (Ben-Gal et al., 2008). به‌دلیل اثرات سوئی که شور و سدیمی شدن بر روی خاک و عملکرد گیاهان می‌گذارند، اصلاح و به‌سازی خاک‌ها ضروری می‌باشند (Rahimi, 2005; Gharaibeh et al., 2011). اصول کلی اصلاح و به‌سازی خاک‌های شور و سدیمی بر پایه آبشویی نمک‌های محلول و

شوری و سدیمی بودن خاک‌ها از جمله عوامل مؤثر در تخریب اراضی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌آید و به‌عنوان یک بحران اکوسیستمی در جهان محسوب می‌شود (Katerji et al., 2003; Hossain, 2018). در مناطقی که با مشکل کمبود آب رو به رو هستند، استفاده از آب‌های شور زیرزمینی در کشاورزی رایج است. اگرچه ۸۳۰ میلیون هکتار از اراضی تخمین زده شده است که به شوری و سدیمی شدن مبتلا هستند و این میزان، سالانه در حال افزایش است (Minhas et al., 2020). شوری و سدیمی بودن خاک‌ها علاوه بر کاهش توانمندی اراضی قابل کشت بر تولید محصول و پایداری کشاورزی نیز تأثیر می‌گذارد (Kahlon et al., 2013; Momeni, 2009). تجمع نمک در پروفیل خاک می‌تواند خطر شور شدن خاک را افزایش دهد. هم‌چنین کاهش آب قابل دسترس گیاه در ناحیه ریشه نیز شوری خاک را افزایش می‌دهد (Feng et al., 2019). علاوه

انجام دادند. در این پژوهش یک مدل تجربی برای برآورد آب آب-شویی و به‌سازی خاک‌های شور و سدیمی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. هم‌چنین در پژوهشی AkhoondAli و Behzad (2002) به بررسی معادله‌های تجربی شوری و سدیمی‌زدایی خاک‌های شور ملاثانی در استان خوزستان پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که با کاربرد یک واحد عمق آب حدود ۸۰ درصد نمک‌ها از واحد عمق خاک در منطقه مذکور خارج شده است.

در پژوهشی Mostafazadeh-Fard et al. (2008) روی آب‌شویی ستون‌های خاک به این نتیجه رسیدند که کاهش میزان نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبدیلی تا حدود ۲۵ درصد در اعماق مختلف خاک در اثر کاربرد روش آب‌شویی غرقاب متناوب اتفاق افتاده است.

ضریب راندمان آب‌شویی (f) از عوامل مهم و مؤثر در شناخت عکس‌العمل خاک به فرایند آب‌شویی و خروج نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک است. این پارامتر نشان‌دهنده کفایت عمق آب کاربردی برای آب‌شویی نمک‌ها و کاهش میزان شوری و سدیمی بودن خاک می‌باشد. منحنی‌های آب‌شویی مربوطه در دامنه‌ای از تغییرات شوری که در آن شرایط آزمایش انجام شده، صادق می‌باشد (Van Hoorn and Van Alphen, 1990). در تحقیقی Salemi و Heidari (2002) به کمک بسته نرم‌افزاری (NPLEC) انجام دادند، ضریب بازده آب‌شویی خاک‌های منطقه رودت اصفهان را برآورد کردند و به این نتیجه دست یافتند که به دلیل فرضیات به کار رفته در مدل NPLEC3 با شرایط واقعی خاک مطابقت بیشتری داشته، مقادیر شوری محاسبه‌شده با مقادیر مشاهده‌ای همبستگی معنی‌دارتری دارد.

آب‌شویی نمک‌های محلول به روش‌های مختلفی قابل اجرا است، لیکن تعیین این‌که کدام روش به زمان و میزان آب کمتری برای شوری و سدیم‌زدایی نیاز دارد و دارای راندمان آب‌شویی بالاتری است حایز اهمیت می‌باشد. به‌طور عمده آزمایش‌های شوری و سدیم‌زدایی خاک‌ها در مزرعه که تاکنون در نقاط مختلف کشور به انجام رسیده است به‌دلیل عدم امکان کنترل عوامل تأثیرگذار غیرقابل اعمال در مزرعه حاوی مقادیری خطا بوده است. در این تحقیق برای اولین بار، آزمایش‌ها در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی به انجام رسیده که می‌تواند دامنه خطاهای محتمل را به حداقل برساند. اشباع نمودن ستون‌های خاک مورد آزمایش از بخش زیرین به منظور حصول یکنواختی ویژگی‌های کیفی خاک‌ها و تعدد تجزیه‌های اعمال‌شده مؤید نتایج حاصله برای مقایسه آزمون‌های مشابه آتی می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده و اهمیت آب‌شویی در خاک‌های استان مرکزی، هدف از این پژوهش ارزیابی و مقایسه آماری روش‌های آب‌شویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های شور و سدیمی مناطق مورد مطالعه و بررسی ضریب راندمان آب‌شویی می‌باشد.

تراکم‌یافته، در منطقه توسعه ریشه‌ها است (GharaiBeh et al., 2011). به‌طور کلی با به‌کارگیری مقدار مورد نیاز آب آب‌شویی با کیفیت مناسب، می‌توان نمک‌های اضافی را از نیم‌رخ خاک‌ها آب شویی نمود، مگر این‌که ویژگی‌های زهکشی داخلی خاک به هر دلیلی نامناسب و یا بافت خاک سنگین تا بسیار سنگین باشد. با توجه به موارد گفته‌شده، پیش‌نیاز موفقیت در برنامه‌های اصلاحی و آب‌شویی خاک‌های شور، شور و سدیمی به شرایط مطلوب زهکشی خاک‌ها بستگی دارد که اگر این شرایط به‌طور طبیعی فراهم نباشد، به ناچار آن را باید به‌طور مصنوعی ایجاد نمود (Pazira, 1997; Rajabzadeh et al. 2009). برآورد مقدار آب مورد نیاز برای آب‌شویی نمک‌های محلول خاک از اقدامات مهم در برنامه‌ریزی شوری‌زدایی خاک‌های شور و سدیمی است (Corwin et al., 2007). یکی از گزینه‌های مهم در آب‌شویی، تعیین دقیق حجم آب مورد نیاز با توجه به مسئله کمبود آب است (Karandish, 2016; Martinez- Beltran and Manzur, 2005). عمق آب لازم برای آب‌شویی نمک‌ها، به درجه شوری اولیه، بافت، عمق خاک، الگوی تناوب زراعی اصلاحی و روش آب‌شویی نمک‌های محلول بستگی دارد (Konuku et al., 2005). طبق پژوهش‌های صورت گرفته بر روند کاهش همراه شوری و میزان درصد سدیم تبدیلی در اثر فرایند آب‌شویی، به روش غرقاب دایم، در خاک‌های لومی با میزان درصد سدیم تبدیلی ۱۹، پژوهشگران اعلام داشتند که میزان درصد سدیم تبدیلی در همه تیمارها نسبت به تیمار شاهد ۴۰/۶ درصد کاهش داشته است (Li and Keren, 2009; Mohammadzadeh et al., 2013). در روش‌های متداول، تغییرات مقدار نمک‌های محلول با کاربرد مقادیر مختلف آب و تهیه نمونه‌های متعدد آب، خاک و زه‌آب بررسی می‌شود. اجرای این روش‌ها مستلزم صرف وقت، هزینه زیاد و آزمایش‌های میدانی است، اهمیت آب‌شویی سبب شده که مدل‌های نظری و تجربی گوناگونی برای تعیین و پیش‌بینی این فرایند ارائه شوند (Mashal et al., 2013).

در مطالعه‌ای Burt و Isbell (2005) روش آب‌شویی نوینی را برای اصلاح خاک و آب‌شویی در یک باغستان پسته در جنوب کالیفرنیا به‌کار بردند. در این پژوهش مقدار آب مورد نیاز برای انتقال نمک‌ها از ناحیه رشد ریشه درختان را به روش جریان آهسته در خطوط چندگانه به‌کار بردند. این پژوهشگران با بررسی یافته‌هایشان به این نتیجه رسیدند که روش پیشنهادی برای آب‌شویی و اصلاح اراضی مناسب است. در پژوهشی دیگر Rahimi (2005) به بررسی اصلاح‌پذیری خاک‌های کویر بجنستان-ایران پرداخت و بیان کرد که با کاربرد یک متر آب به روش غرقاب متناوب، شوری خاک از ۳۹ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و درصد سدیم تبدیلی از ۶۱ به ۲۵ درصد کاهش یافته است.

در پژوهشی Rajabzadeh et al. (2009) در زمینه کاربرد انواع مدل‌های آب‌شویی در دو منطقه جنوب شرقی استان خوزستان

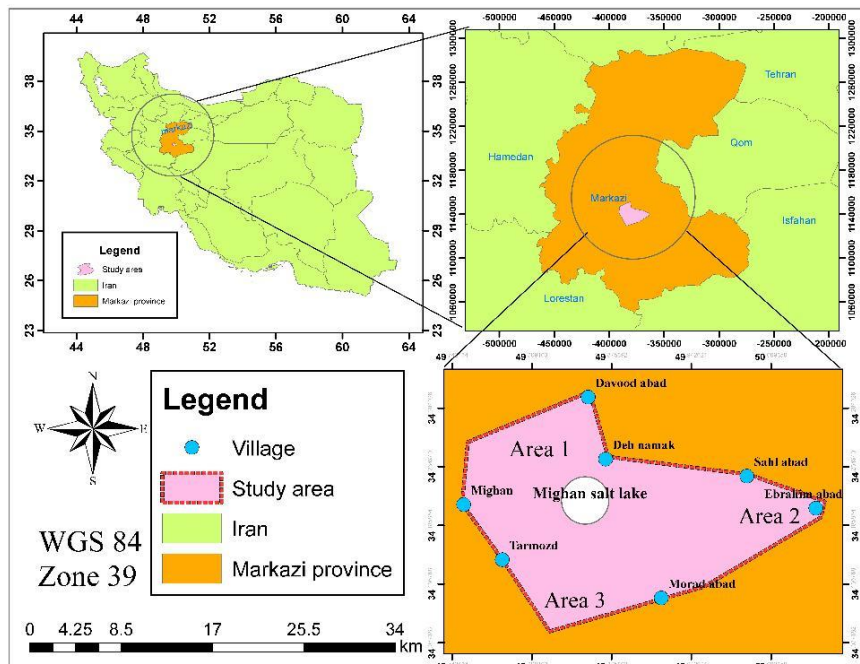


Fig. 1-Geographic location of study area

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Haplosalid و Aquic Natrargid بوده، در گروه هیدرولوژیکی A قرار دارند و سطح آب زیرزمینی در این منطقه کمتر از دو متر می‌باشد. موقعیت جغرافیایی منطقه در شکل (۱) نشان داده شده است.

### روش کار

ابتدا از محلی که معرف اراضی کلاس شوری و یا قلیابیت مربوطه می‌باشد از اعماق ۱۰-، ۲۰-، ۳۰-، ۴۰-، ۵۰- سانتی‌متر سه منطقه گفته‌شده در استان مرکزی به وسیله مته از خاکها نمونه‌برداری شد. سپس نمونه‌های برداشت‌شده به آزمایشگاه برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ارسال گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل هدایت الکتریکی (به روش EC متر)، بافت خاک (به روش هیدرومتری)، میزان آهک (به روش تیتراسیون)، میزان گچ (به روش استون)، میزان سدیم (به روش فلیم فتومتر)، میزان کلسیم و منیزیم (به روش اسپکتروفتومتر)، میزان کلر (به روش موهر)، میزان کربنات و بی کربنات (به روش تیتراسیون) و میزان سولفات (به روش کدورت سنجی) بود. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آزمایشی قبل از عملیات آبشویی در جداول (۱ و ۲) نشان داده شده است.

در آزمایشگاه نمونه‌های برداشت شده از هر عمق کوبیده و پس از عبور از الک دو میلی‌متری به مدت بیست و چهار ساعت در هوای آزاد نگهداری شد. سپس نمونه‌های مربوط به هر عمق به خوبی با

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت منطقه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر در منطقه کویر میقان قرار گرفته است، بین  $49^{\circ} 41'$  تا  $49^{\circ} 53'$  طول شرقی و  $34^{\circ} 13'$  تا  $34^{\circ} 20'$  عرض شمالی در استان مرکزی قرار گرفته است. گزارش‌های خاک‌شناسی انجام‌شده نظیر حوزه آبخیز علیم آباد شهرستان اراک در قسمت جنوب استان، حوزه‌های میچک و مصرقان شهرستان ساوه در قسمت شمال استان، حوزه آبخیز سفید دره شهرستان محلات در قسمت شرق استان، حوزه چارطاق شهرستان خمین در قسمت مرکز استان و حوزه آبخیز کمال صالح شهرستان سربند در قسمت غرب استان (Jame Iran company, 2002). منطقه مورد مطالعه بخشی از خاک‌های استان مرکزی به مساحت ۱۱۰ کیلومتر مربع، با میزان شوری و قلیابیت بالا (S4A3-S4A2) است که در واحد فیزیوگرافی اراضی پست (Low Land) و کویری می‌باشند. شیب اراضی منطقه مورد مطالعه کمتر از یک درصد با بافت لوم رسی و رسی بوده، لیکن خاک‌های نسبتاً تکامل‌یافته‌ای می‌باشند. منشأ این خاک‌ها از رسوبات دوران چهارم زمین‌شناسی (کوآترنر) می‌باشد که به دلیل سنگینی نسبی بافت خاک، وضعیت زهکشی نامناسب (وجود لایه محدودکننده متشکل از ترکیبات گچ و آهک یا به صورت رس فشرده و عمق استقرار آن در گستره محدوده مورد نظر بین دو تا دو نیم متری) و نفوذپذیری آهسته بوده است. خاک‌های منطقه مورد مطالعه از نظر طبقه‌بندی به روش آمریکایی جزء خاک‌های Calcic

سپس خاک درون استوانه‌ها را به حالت اشباع درآورده و برای آن که کلیه منافذ خاک از آب اشباع شوند و هوایی در منافذ محبوس نگردد، ورودی آب به خروجی زهکش‌ها متصل و اشباع نمودن خاک از قسمت پایین ستون خاک به سمت بالا صورت گرفت. در این زمان جریان ورودی آب به درون استوانه‌ها قطع، استوانه‌ها مجدداً توزین گردید. شرایط اشباع به مدت بیست و چهار ساعت نگهداری گردید. پس از بیست و چهار ساعت شیر انتهایی بخش خروجی زهکش‌ها باز و اجازه داده شد که آب ثقلی موجود در ستون خاک از استوانه‌ها خارج گردد. پس از قطع جریان آب ثقلی، استوانه‌ها مجدداً توزین شدند و حجم آب ثقلی خروجی از هر استوانه جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. اشباع نمودن استوانه‌ها با آب آبشویی به منظور حصول یکنواختی و تعادل شیمیایی در ستون خاک‌ها قبل از آبشویی بوده است.

هم مخلوط شده و نمونه یکنواخت برای هر عمق تهیه گردید. سپس به منظور اندازه‌گیری دبی زه‌آب، استوانه‌هایی با قطر ۱۰/۵ و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر از جنس پی وی سی تهیه شد. درون سیلندرها کیسه‌ای از جنس پارچه نازک با ابعاد مشابه به ابعاد داخلی سیلندر به منظور خارج کردن خاک درون استوانه پس از انجام فرایند آبشویی قرار گرفت. سپس مقداری سنگریزه تا ارتفاع پنج سانتی‌متر به منظور جلوگیری از بسته شدن لوله‌های زهکشی کف سیلندرها، در درون هر استوانه قرار داده شد. در زیر و بالای این سنگریزه‌ها نیز دو لایه کاغذ صافی گذاشته شد تا امکان هر نوع گرفتگی در لوله زهکشی مرتفع گردد. سپس استوانه‌ها توزین گردیده و نمونه‌های خاک به همان ترتیبی که از پروفیل برداشته، درون استوانه‌ها قرار داده شد (شکل ۲).

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه پیش از آبشویی

Table 1-Some Physical Properties of Soil Before Leaching

Zone	Soil depth(cm)	Soil texture	Total porosity(%)	Bulk density(g/cm <sup>3</sup> )		Soil moisture		Saturated percent
				$\rho_s$	$\rho_b$	Permanent wilting point(PWP)	Field capacity(FC)	
One	0-10	Si-C-L	50.9	2.67	1.31	16	33	51
	10-20	Si-C-L	51.7	2.65	1.28	19	36	52
	20-30	Si-C	53.4	2.66	1.23	25	41	53
	30-40	Si-C	53.4	2.66	1.24	25	41	53
	40-50	Si-C	65.2	2.66	1.26	22	39	53
Average		-	54.92	2.66	1.26	21.4	38	52.4
Two	0-10	L	46.1	2.60	1.40	12	27	47
	10-20	L	46.6	2.62	1.40	12	27	47
	20-30	C-L	49.0	2.65	1.35	16	29	49
	30-40	L	48.7	2.69	1.38	14	27	48
	40-50	L	48.7	2.69	1.38	14	28	48
Average		-	47.8	2.65	1.38	13.2	27.6	47.8
Three	0-10	Si-C	51.9	2.56	1.23	26	43	54
	10-20	C-L	49.2	2.58	1.31	21	34	51
	20-30	C	50.7	2.58	1.27	23	38	52
	30-40	C	50.5	2.55	1.26	24	39	52
	40-50	C	50.0	2.70	1.26	24	39	52
Average		-	50.4	2.59	1.26	23.6	38.6	52.2



جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه پیش از آبشویی (نمونه‌های خاک فاقد گچ بوده‌اند)  
 Table 2-Some chemical properties of soil before leaching (soil samples were without gypsum)

Zone	Soil depth(cm)	Exchangeable Sodium Percentage (ESP)	Sodium Absorption Ratio (SAR)	Calcium Carbonate (mg/l)	pH	Soil salinity (dS/m)
One	0-10	39.24	44.64	44.30	8.4	10.4
	10-20	42.63	51.25	53.50	8.3	12.8
	20-30	43.83	53.76	50.80	8.3	15.4
	30-40	44.47	54.31	52.50	8.3	20.0
	40-50	43.05	52.12	61.50	8.3	23.7
Average		42.59	51.21	52.5	8.3	16.4
Two	0-10	33.49	35/0	21.25	7.7	25.3
	10-20	30.02	29.94	19.50	7.4	26.2
	20-30	27.71	26.85	20.00	7.3	30.2
	30-40	28.69	28.05	32.25	7.2	27.0
	40-50	29.28	25.93	17.75	7.3	24.2
Average		29.23	29.15	22.15	7.4	26.5
Three	0-10	50.88	71.10	38.75	8.1	23.0
	10-20	50.72	70.65	38.25	8.1	21.0
	20-30	50.28	69.44	39.25	8.3	15.0
	30-40	47.68	62.66	38.75	8.3	13.0
	40-50	46.66	60.17	41.25	8.3	12.0
Average		49.24	66.80	39.25	8.2	16.8



Fig. 2-Physical Designed model for desalinization and desodification

شکل ۲-مدل فیزیکی طراحی شده به منظور شوری و سدیم‌زدایی

و تخییر آب در زمان اضافه نمودن آب، روی سطح خاک هر استوانه سه لایه کاغذ صافی قرار داده شد. در حین عمل آبشویی در زمان‌های ثابت ۱۶۰ دقیقه‌ای، زه‌آب خارج شده از درون هر سیلندر جمع‌آوری و سپس مقادیر EC، pH و SAR (Sodium Absorption Ratio) در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر اندازه‌گیری شد. درصد سدیم تبادلی با استفاده از رابطه شماره یک محاسبه شد.

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

سپس عملیات آبشویی به روش غرقاب متناوب انجام شد. عمق آب آبشویی با توجه به میانگین تخلخل لایه‌های مختلف خاک هر منطقه و در نظر گرفتن حجم آب منفذی محاسبه شد. سپس عمق آب آبشویی برای هر منطقه، در پنج تناوب با فاصله زمانی دو روز برای مناطق یک و سه با بافتی سنگین و سه روز برای منطقه دوم با بافتی متوسط اعمال گردید. البته در هر تیمار، یک استوانه شاهد، به روش غرقاب دائم نیز در نظر گرفته شد. بنابراین برای هر منطقه از چهار استوانه مورد آزمایش سه استوانه به روش آبیاری متناوب و یک استوانه به روش غرقاب دائم آبشویی گردید. در ضمن به منظور جلوگیری از تخریب سطح خاک

آب آیشویی از نزدیکترین چاه به محل حفر پروفیلها تهیه و مورد استفاده قرار گرفت که خواص شیمیایی آبهای آیشویی در جدول (۳) نشان داده شده است.

### نتایج و بحث

هدایت الکتریکی بهطور مستقیم با مجموع آنیونها و کاتیونها مرتبط است. بنابراین بهعنوان شاخصی مناسب برای شناسایی مقادیر کل نمکهای موجود در آب آبیاری و عصاره اشباع خاک محسوب می‌گردد. در شکل‌های (۳) و (۴) مقایسه شوری و سدیمی‌زدایی در دو روش آیشویی غرقاب دایم و متناوب با قبل از آیشویی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است، در تمام مناطق هر دو روش، آیشویی باعث کاهش شوری خاک شده‌اند لیکن این کاهش در روش آیشویی متناوب بیش‌تر بوده و بنابراین نسبت به روش آیشویی دایم در این منطقه برای شوری‌زدایی کارآمدتر می‌باشد.

Behbahanizadeh et al. (2016) گزارش کردند که به‌منظور آیشویی نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک‌های رسوبی و سنگین بافت شور و سدیمی بخشی از اراضی میانی خوزستان روش آیشویی غرقاب متناوب تأثیر مطلوبی داشته است. همچنین گزارش شده است این کاهش در لایه‌های سطحی نیم‌رخ خاک با بافت سیلتی رسی به دلیل تغییرات غرقاب متناوب میزان رطوبت خاک مؤثرتر بوده است (Rajabzadeh et al (2009) که با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

ضریب راندمان آب‌شویی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$f = \frac{r.ECw}{ECeq} \quad (2)$$

در این رابطه  $r$ ، نسبت عمق ناخالص آب آیشویی به عمق خالص آب آیشویی (تراوشات عمقی) بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. همچنین  $ECw$ ، مقدار شوری آب آیشویی (دسی‌زیمنس بر متر) و  $ECeq$ ، شوری نهایی لایه مورد نظر بعد از کاربرد مقدار معینی آب آیشویی (دسی‌زیمنس بر متر) است.

نسبت جذب سدیم تعدیل شده با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$adjR_{Na} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Cax + Mg}{2}}} \quad (3)$$

در این رابطه،  $Na$  سدیم محلول،  $Mg$  منیزیم محلول و  $Cax$  حالت تعدیل شده میزان کلسیم برحسب میلی‌اکی‌والانت بر لیتر می‌باشند.

در نهایت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم خاک بعد از آیشویی اندازه‌گیری و با مقدار این دو پارامتر قبل از آیشویی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 20 مقایسه گردید. همچنین به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش آیشویی آزمون آماری مقایسه میانگین دانت در سه منطقه و پنج عمق خاک انجام گرفت. در این پژوهش

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی آب‌های مورد مصرف در آزمایش‌های آیشویی

Table 3-Results of chemical analysis of water used in the leaching experiments

Water sample	*Water Classification	$adjR_{Na}$	$\frac{HCO_3^-}{Ca}$	$SO_4^{2-}$ $HCO_3^-$ $Cl^-$			$Ca^{2+}$ $Mg^{2+}$ $Na^+$			pH	EC (dS/m)
				(meq/lit) <sup>0.5</sup>			(meq/lit)				
Station One	C3-S2	8.6	0.80	8.0	2.0	6.0	2.5	1.5	12	7.1	1.5
Station Two	C4-S3	11.9	0.52	14.9	2.1	12.0	4.0	3.0	22	7.3	3.3
Station Three	C4-S4	11.2	0.03	22.7	0.3	27.0	8.0	4.0	38	7.5	5.9

\*Classification for irrigation water was done using Wilcox

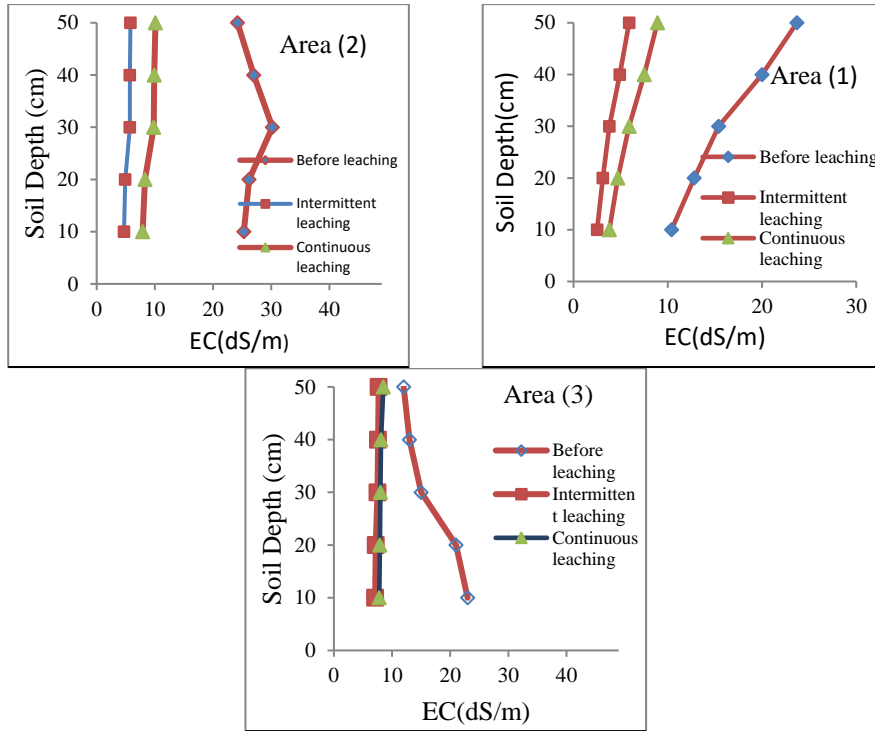


Fig. 3- Comparison of desalination of soil samples by two continuous and intermittent leaching methods in three areas of study

شکل ۳- مقایسه شوری زدایی نمونه‌های خاک به دو روش آبشویی متناوب و دائم در سه منطقه مورد بررسی

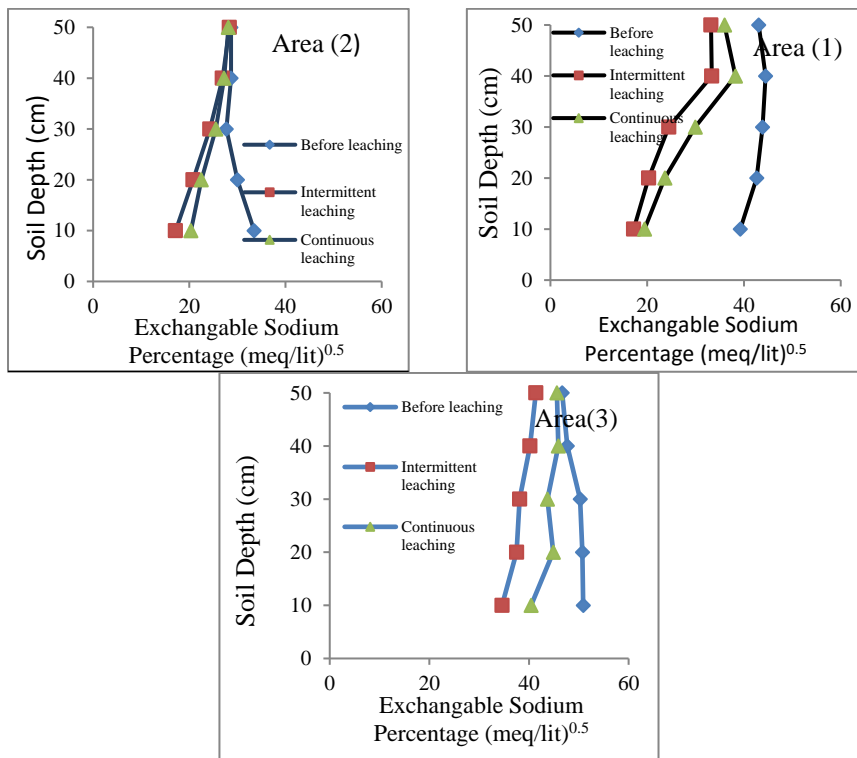


Fig. 4- Comparison of desodification of soil samples by two continuous and intermittent leaching methods in three areas of study

شکل ۴- مقایسه سدیمی زدایی نمونه‌های خاک به دو روش آبشویی متناوب و دائم در سه منطقه مورد بررسی

است در خاک منطقه یک، شوری با افزایش عمق، افزایش یافته است که این روند افزایش شوری در دو روش متناوب و دائم نیز وجود دارد به طوری که در عمق ۴۰-۵۰ سانتی متری بیشترین کاهش شوری اتفاق افتاده است. با توجه به نتایج می توان چنین تفسیر کرد که به دلیل اینکه آبشویی در پنج تناوب انجام شده است و لایه آخر به صورت تجمعی آب حاصل از آبشویی لایه های بالایی را نیز دریافت کرده است، کاهش شوری بیشتری در عمق ۴۰-۵۰ سانتی متری نسبت به سایر لایه ها اتفاق افتاده است. حال با بررسی میزان شوری بعد از آبشویی، مشخص می شود میزان شوری در هر دو روش آبشویی در هر سه منطقه با افزایش عمق افزایش یافته است که به علت شسته شدن نمک ها از سطح به عمق خاک می باشد.

نتایج پژوهش Mohsenifar et al. (2006) در بخشی از اراضی جنوب شرق استان خوزستان نیز نشان می دهد که بیشترین مقدار هدایت الکتریکی قبل از آبشویی به روش متناوب مربوط به عمق ۲۵ سانتی متری خاک برابر ۷۸/۲۰ دسی زیمنس بر متر بوده است که پس از آبشویی با عمق ۲۵ سانتی متر با آبی با شوری دو دسی زیمنس بر متر در عمق مذکور، به طور متوسط به چهار دسی زیمنس بر متر کاهش پیدا کرده است.

همان طور که در شکل (۴) نشان می دهد، در تمام مناطق هر دو روش آبشویی باعث کاهش سدیمی بودن خاک نیز شده است. لیکن این کاهش در روش آبشویی متناوب بیش تر بوده و بنابراین نسبت به روش آبشویی دائم در این منطقه برای سدیم زدایی کارآمدتر می باشد که با نتایج Cote et al. (2000) که بیان کردند راندمان آبشویی در روش های غیراشباع در مقایسه با غرقاب دائم به علت ایجاد شرایط غیراشباع و عبور آب از منافذ ریز، بیش تر است، هم خوانی دارد. به منظور افزایش راندمان آبشویی، بهتر است رطوبت خاک در حد کمتر از رطوبت اشباع باشد. زیرا بیشترین مقدار آبشویی نمک های محلول از خاک در چنین شرایطی صورت می گیرد (Behbahanizadeh et al., 2016). هم چنین در پژوهش MosatafazedehFard et al. (2008) کاهش میزان نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبدلی تا حدود ۲۵ درصد در اعماق مختلف خاک در اثر کاربرد روش آبشویی غرقاب متناوب گزارش شده است که با یافته های پژوهش حاضر مطابقت دارد.

هم چنین ویژگی های شیمیایی خاک ها با میانگین اسیدیته ۷-۸ بعد از آبشویی در هر دو روش دائم و متناوب نیز اندازه گیری و در جداول (۴ و ۵) ارایه شده است. با مقایسه نتایج جدول (۲) با جدول (۴) میزان کاهش شوری خاک تعیین شد. همان طور که مشخص

**جدول ۴- برخی ویژگی های شیمیایی لایه های مختلف نیرخ خاک، بعد از عملیات آبشویی به روش غرقاب متناوب**

(ارقام متن جدول میانگین سه تکرار می باشد)

**Table 4- Some chemical properties of different layers of soil profile after intermittent leaching method**

Zone	Soil depth(cm)	Exchangeable				
		Sodium Percentage (ESP)	<i>adjR<sub>Na</sub></i>	CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	pH	EC(dS/m)
One	0-10	17.21	13.86	41.8	8.3	2.5
	10-20	20.30	16.99	51.1	8.4	3.1
	20-30	24.47	21.61	49.3	8.4	3.8
	30-40	33.35	33.37	54.0	8.4	4.9
	40-50	33.18	33.11	60.9	8.4	5.9
Average		25.70	23.78	51.42	8.4	4.0
Two	0-10	17.16	13.81	19.0	7.3	4.7
	10-20	20.79	17.50	19.1	7.4	4.9
	20-30	24.29	21.40	14.6	7.1	5.7
	30-40	26.91	24.55	16.6	7.1	5.8
	40-50	28.36	26.39	16.5	7.3	5.8
Average		23.50	20.73	17.16	7.3	5.4
Three	0-10	34.59	35.26	34.7	7.4	7.1
	10-20	37.52	40.05	34.6	7.5	7.2
	20-30	38.13	41.10	34.8	7.8	7.5
	30-40	40.20	44.82	38.7	7.6	7.6
	40-50	41.37	47.05	41.6	8.0	7.7
Average		38.36	41.65	36.8	7.6	7.7

سپس به منظور مقایسه وجود تفاوت معنی دار بین سه منطقه، بین اعماق مختلف و بین روش های آبشویی و قبل آبشویی از نظر شوری زدایی و سدیمی زدایی، آزمون فاکتوریل انجام گرفت و چون تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد وجود داشت، فرض صفر که عدم تفاوت گروه ها بود، رد شد. مقایسه میانگین به روش دانت برای هر سه نوع فرض صفر که ذکر گردید، انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۶) آورده شده است. نتایج این جدول نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار شوری و سدیمی زدایی در تمام اعماق با یکدیگر، در سه منطقه با یکدیگر و روش های آبشویی با یکدیگر و با قبل آبشویی می باشد.

با مقایسه نتایج جدول (۲) با جدول (۵) میزان کاهش سدیمی بودن خاک تعیین شد. همان طور که مشخص است در خاک منطقه سه، میزان سدیمی بودن خاک قبل آبشویی با افزایش عمق کاهش یافته است درحالی که این پارامتر بعد از آبشویی با هر دو روش سیر افزایشی پیدا کرده است که این نشان دهنده شستن نمک ها از سطح و تجمع آن ها به عمق می باشد. کاهش  $6/53$  دسی زیمنس بر متر هدایت الکتریکی خاک و  $4/58$  درصدی میزان سدیم تبادل در روش آبشویی غرقاب متناوب پس از صرف ۱۰۰ سانتی متر آب آبشویی در تناوب های ۲۵ سانتی متری، تا عمق ۱۰۰ سانتی متری خاکی با بافت سیلتی رسی، در ۲۰ کیلومتری جنوب شهر اهواز توسط دیگر پژوهشگران نیز ارایه شده است (Asadi Kapourchal et al., 2013).

جدول ۵- برخی ویژگی های شیمیایی لایه های مختلف نیم رخ خاک، بعد از آبشویی نمک های محلول به روش غرقاب دائم  
Table 5-Some chemical properties of different layers of soil profile after permanent ponding method

Zone	Exchangeable					
	Soil depth(cm)	Sodium Percentage (ESP)	$adjR_{Na}$	CaCO <sub>3</sub> (%)	pH	Ec (dS/m)
One	0-10	19.45	16.10	42.2	8.3	3.8
	10-20	23.65	20.65	51.1	8.6	4.7
	20-30	29.93	28.48	49.2	8.7	5.9
	30-40	38.42	41.59	54.5	8.7	7.5
	40-50	35.98	37.47	60.7	8.7	8.9
Average		29.48	28.75	51.6	8.6	6.2
Two	0-10	30.71	29.56	19.0	7.7	7.9
	10-20	34.90	35.74	19.3	7.8	8.3
	20-30	37.82	40.56	15.3	7.7	9.8
	30-40	40.61	45.59	16.3	7.7	9.9
	40-50	41.97	48.22	16.4	7.4	10.1
Average		37.20	39.93	17.3	7.6	9.2
Three	0-10	40.43	45.26	34.8	6.9	7.8
	10-20	44.87	54.26	34.5	8.0	7.9
	20-30	43.71	51.77	35.0	7.5	8.0
	30-40	45.89	56.56	38.6	7.6	8.1
	40-50	48.36	62.44	42.0	7.7	8.5
Average		44.65	54.05	36.9	7.5	8.0

جدول ۶- نتایج آزمون مقایسه دانت بین سه منطقه از نظر شوری زدایی و سدیمی زدایی

Table 6- Results of dunnett's test between three area with respect to desalinization and desodification

Soil depth	Treatments			parameter	Soil depth	Treatments			parameter
	Zones	Leaching method				Zones	Leaching method		
31.46*	30.09*	29.18*	Desodification	10.27*	8.88*	5.60*	Desalinization		
33.93*	32.59*	37.10*		10.67*	10.75*	7.81*			
35.54*	44.08*	40.49*		11.26*	13.71*	19.94*			
38.44*	-	-		11.52*	-	-			
38.58*	-	-		11.86*	-	-			

\*Significant in 5 percent

جدول ۷- تخمین ضریب راندمان آبشویی

Table 7- Estimation of leaching efficiency coefficient

Zone	Parameter	Leaching method									
		Intermittent leaching					Permanent leaching				
		Soil depth(cm)									
		40-50	30-40	20-30	10-20	0-10	40-50	30-40	20-30	10-20	0-10
One	Leaching efficiency coefficient	0.76	0.63	0.48	0.61	0.31	0.57	0.55	0.43	0.31	0.23
	Average	0.55					0.42				
	Soil texture	Si-C-L	Si-C-L	Si-C	Si-C	Si-C	Si-C-L	Si-C-L	Si-C	Si-C	Si-C
Two	Leaching efficiency coefficient	0.73	0.60	0.48	0.42	0.34	0.61	0.56	0.45	0.38	0.31
	Average	0.50					0.46				
	Soil texture	L	L	C-L	L	L	L	L	C-L	L	L
Three	Leaching efficiency coefficient	0.91	0.54	0.45	0.45	0.50	0.69	0.62	0.45	0.42	0.38
	Average	0.56					0.51				
	Soil texture	C-L	Si-C	C	C	C	C-L	Si-C	C	C	C

پژوهشگران گزارش کرده‌اند آبشویی نمک‌ها به شدت تحت تأثیر بافت خاک، کیفیت آب آبشویی، سرعت جریان آب و رطوبت اولیه خاک می‌باشد (Raj and Nath, 1980). همچنین گزارش شده است که راندمان آبشویی در روش آبشویی غرقاب متناوب در مقایسه با غرقاب دائم به علت برقراری شرایط غیراشباع و آب-شویی بهتر نمک‌های خاک بیشتر می‌باشد. (Cote et al., 2000).

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش آبشویی به روش‌های غرقاب متناوب و دائم در سه منطقه و پنج عمق ۱۰-، ۲۰-، ۳۰-، ۴۰-، ۵۰-، ۴۰- انجام گرفت. نتایج نشان داد، شوری زدایی و سدیمی زدایی در اعماق مختلف و در سه منطقه تفاوت معنی‌دار داشته است. با توجه به تغییر شوری قبل و بعد آبشویی و کاهش آن، معلوم گردید آبشویی در این منطقه روش مناسبی برای اصلاح شوری و سدیمی بودن خاک می‌باشد و با عملیات آبشویی می‌توان شوری خاک را کاهش و عملیات کشت و کار را بهبود بخشید. همچنین دو روش آبشویی متناوب و دائم نیز با یکدیگر مقایسه گردید و با توجه به راندمان و میزان کاهش نمک‌ها، مشخص گردید آبشویی به روش متناوب در هر سه منطقه راندمان بالاتری داشته است و می‌تواند روش غرقاب متناوب را برای آبشویی خاک‌های منطقه مورد مطالعه توصیه کرد. در روش آبشویی غرقاب دائم، هر چند کاهش در میزان شوری و سدیمی بودن خاک مشاهده شد، لیکن میزان کاهش

در جدول (۷)، ضریب راندمان آبشویی در سه منطقه به تفکیک عمق و بافت ارائه شده است.

ضریب بازده آبشویی (f) از عوامل مهم و مؤثر در تعیین و شناخت عکس‌العمل خاک به فرایند آبشویی و خروج نمک‌های محلول از نیم‌رخ خاک و همچنین نشان‌دهنده کفایت عمق آب کاربردی برای شستشو و جابه‌جایی نمک‌ها و در نهایت کاهش میزان شوری و سدیمی بودن خاک است (Salemi and Heidari, 2002). نتایج جدول مؤید این مطلب است که در برآورد ضریب راندمان آبشویی، نوع روش آبشویی نیز مؤثر می‌باشد. به طوری که ضریب راندمان آبشویی در روش غرقاب متناوب بیشتر از غرقاب دائم می‌باشد، که به حالت اشباع آب در روش غرقاب دائم و حرکت از منافذ درشت با سرعت بیشتر در شرایط اشباع نسبت داده می‌شود، در حالی که شستشوی املاح از منافذ کوچک بیشتر از منافذ بزرگ صورت می‌گیرد. البته لازم بر ذکر است که هر چه بافت خاک سنگین‌تر باشد و درصد ذرات سیلت و رس بیشتر و شن کمتر باشد، ضریب راندمان آبشویی کمتر است، که به سختی عبور آب آبشویی از میان منافذ ریز مربوط می‌باشد. همچنین توزیع اندازه منافذ خاک، نقش زیادی در راندمان آبشویی دارد. در یک خاک سبک بافت، خلل و فرج از قطر یکنواخت‌تری نسبت به یک خاک سنگین بافت برخوردار می‌باشد. (Behbahanizadeh et al., 2016).

### تقدیر و تشکر

این تحقیق برگرفته از رساله دکتری رشته فیزیک و حفاظت خاک می باشد که بدینوسیله از دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران جهت پشتیبانی این تحقیق قدردانی می گردد.

به اندازه روش متناوب مؤثر نبود. بنابراین، توجه به روش آبشویی مناسبتر که بالاترین راندمان آبشویی و کمترین میزان عمق آب لازم به منظور کاهش نمک‌های خاک و بهسازی اراضی را داشته باشد، حایز اهمیت می‌باشد.

### References

- 1- Asadi Kapourchal, S., Homaei, M. and Pazira, E., 2013. Modeling leaching requirement for desalinization of saline soils. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 2(2), pp.65-84. (In Persian).
- 2-Behbahanizadeh, Z., Pazira, E., Panahpour, A., 2016. Determination of leaching efficiency coefficient for desalinization of saline and sodic soil in Vies area, Khuzestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 5(4), pp. 97-112. (In Persian).
- 3-Behzad, M. and Akhoond-Ali, A., 2002. Investigation and presentation of desalinization and desodification experimental equations in Mollasani region, Khozestan province. *Scientific Agriculture Journal*, 25(1), pp. 106-126.
- 4- Ben-Gal, A., Ityel, E., Dudley, L., Cohen, Sh., Yermiyahu, U., Presnov, E., Zigmond, L. and Shani, U., 2008. Effect of irrigation water salinity on transpiration and on leaching requirements: A case study for bell peppers. *Agricultural Water Management*, 95, pp. 587-597.
- 5- Burt, C.M. and Isbell. B., 2005. Leachjng of accumulated soil salinity under drip irrigation, Transactions of the *American Society of Agriculture Engineers*, 48(6), pp.1-7.
- 6- Corwin, D.L., Rhoades, J.D. and Simunek, J., 2007. Leaching requirement for soil salinity control: Steady – state versus transient models. *Agricultural Salinity Assessment and Management*, 90(3), pp. 165-180.
- 7- Cote, C.M., Bristow, K.L. and Rose, P.J., 2000. Increasing the efficiency of solute leaching: impacts of flow interruption with drainage of the "preferential flow paths". *Journal of Contaminant Hydrology*, 43(3-4), pp. 191–209.
- 8- Feng, G., Zhang, zH. and Zhang, Z., 2019. Evaluation the sustainable use of saline water irrigation on soil water-salt content and grain yield under subsurface drainage condition. *Sustainability*, 11(22), pp. 2-18.
- 9- Gharaibeh, M.A., Eltaif, N.I. and Albalasmeh, A.A., 2011. Reclamation of highly calcareous saline sodic soil using Atriplex halimus and by-product gypsum. *International Journal of Phytoremediation*. 13(9), pp.873–883.
- 10- Hossain, M.D., 2018. Present scenario of global salt affected soils, its management and importance of salinity research. *International Research Journal of Biological Sciences*. 1(1), pp. 1-3.
- 11-Jame Iran, 2002, Soil report, Mighan detailed watershed studies, General department of natural resources and watershed management of Markazi province.
- 12- Kahlon, U.Z., Murtaza, G., Murtaza, B. and Hussain, A., 2013. Different response of soil texture for leaching of salts receiving different pore volumes of water in saline- sodic soil column. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 50 (2), pp.191-198.
- 13- Karandish F. 2016. Improved soil-plant water dynamics and economic water use efficiency in a maize field under locally water stress. *Agronomy and Soil Science*, 62 (9), pp.1311-1323.
- 14- Katerji, N., Van Hoorn, J.W., Hamdy, A. and Mastrotrilli, M. 2003. Salinity effect on crop development and yield analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management*. 62(1), pp.37-66.
- 15- Kholova, J., Sairam, R.K., Meena, R.C. and Srivastava, G. C., 2009. Response of maize genotypes to salinity stress in relation to osmolytes and metal-ions contents, oxidative stress and antioxidant enzymes activity. *Biologia Plantarum*. 53(2), pp. 249-256.

- 16- Konuku, F., Gowing, G.W. and Rose, D.A. 2005. Dry drain: A sustainable solution to water logging and salinity problems in irrigation areas, *Agricultural Water Management*. 83(1-2), pp. 1-12.
- 17- Li, F.H, and Keren, R., 2009. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: A laboratory study. *Pedosphere*, 19, pp. 465-475.
- 18- Martinez-Beltran, J. and Manzur, C.L., 2005. Overview of salinity problems in the world and fAO strategies to address the problem. Proceedings of the international salinity forum, *Riverside*, pp. 311-315.
- 19- Mashal, M., Daneshvar, M., Emami, S. and Varavipour, M. 2013. Evaluation of theoretical models of soil solute leaching. *Journal of Water and Irrigation Management*, 3(1), pp. 121-134.
- 20- Minhas, P.S., Romas, T., Ben-Gal, A. and Pereira, L. 2020. Coping with salinity in irrigated agriculture crop evaporation and water management issues. *Agriculture Water Management*. 227, pp. 1-22.
- 21- Mohammadzadeh, M., Homaei, M. and Pazira, E., 2013. Practical model for reclamation of saline and sodic soils. *Journal of Water and Soil Conservation*, 1(3), pp. 44-58. (In Persian).
- 22- Mohsenifar, K., Pazira, A. and Najafi, P., 2006. Evaluation of different types of leaching models in two pilots of south east Khoozestan province. *Journal of Resarch in Agriculture Science*, 2(1), pp.73-92.
- 23- Momeni, A., 2009. Geographic distribution of saline surface and soil resources in Iran, *Soil Research Journal*. 24(3), pp. 203-215. (in Persian).
- 24- Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M., Aghakhani, A. and Feizi, M., (2008). Effects of leaching soil desalinization for wheat crop in an arid region. *Plant Soil Envionment*, 54(1), pp. 20-29.
- 25- Noroozi, A.A., Homaei, M. and Farshad, A. 2012. Integrated application of remote sensing and spatial statistical models to the identification of soil salinity: A case study from Garmsar plain, *Environmental Science*, 9(1), pp. 59-74.
- 26- Pazira, E., 1997. Study on appropriate of leaching water for soil salt removal from saline and sodic soils of middle part of Khuzestan Province. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(7), pp. 648-655.
- 27- Rahimi, H., 2005. The effects of leaching in decrease saline and sodic land in the margin of Kaveer Namak in Bajestan. *Pajouhesh and Sazandegi*, 18(66), pp. 88-96.
- 28- Raj, M. and Nath, J., 1980. Leaching of salts as modified by soil texture and quality of leaching water. *Indian Society of Desert Technology*, 5, pp. 54-59.
- 29- Rajabzadeh, F., Pazira, E., Mahdian, M.H., Mahmoodi, SH. and Heidarizadeh, M., 2009. Leaching saline and sodic soils along with reclamation-rotation program in the mid-part of Khuzestan, Iran. *Journal of Applied Sciences*, 22(9), pp. 4020-4025.
- 30- Salemi, H. and Heidari, N. 2002. Determination of leaching efficiency coefficient for saline and sodic soil (A case study of Rudasht region, Isfahan province). *Agriculture Engineering Research*, 3(10) pp. 61-74. (In Persian)
- 31- Van Hoorn, J.W. and Van Alphen, J.G., 1990. Salinity control, salt balance and leaching requirement of irrigated soil. In 26<sup>th</sup> international course on land drainage, Netherlands.
- 32- Waheed, A., Hafiz, I.A., Qadir, G., Murtaza, G., Mahmood, T. and Ashraf, M., 2006. Effect of salinity on germination, growth, yield, ionic balance and solute composition of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 38(3), pp. 1103- 1107.