

## Comparison of Three Methods for Measuring the Amount of Water-Dispersible Clay in Soils of Khuzestan Province

SIROOS JAFARI<sup>1\*</sup>, ELHAM BORDBAR<sup>2</sup>, MANSUR GHANIAN<sup>3</sup>

1. Associate Professor, Soil Science Department, Agricultural sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran
2. Graduated M.Sc Student, Soil Science Department, Agricultural sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran
3. Associate Professor, Human Geography & Rural Planning, Agricultural sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahwaz, Iran

(Received: Nov. 29, 2017- Revised: Apr. 16, 2018- Accepted: July. 3, 2018)

### ABSTRACT

The fraction of clay that disperses in water, water-dispersible clay (WDC), is recognized as an important property with respect to predicting soil erosion, colloid leaching and soil development. The WDC is measured by different methods producing different results. In this study, three methods (Rasmussen, Mechanical stirrer and Ultrasound) were compared in terms of measuring the amount of WDC in soils. For this purpose soil samples with different physio-chemical properties were collected from different region of Khuzestan province and the WDC were determined by the proposed methods. The correlation between WDC and the soil properties were analyzed using regression model and equations were fitted for the three methods. The results showed that the WDC measured by Rasmussen, Shaker and Ultrasound methods were 72.6 (%), 33.4 (%) and 14.1 (%) from total clay, respectively. The results showed that the most important soil properties affecting the WDC for Rasmussen method were gypsum and clay, for Mechanical stirrer were linear extensibility coefficient (COLE), organic matter (OM), clay, gypsum and total sand, and for Ultrasound method were gypsum content, linear extensibility coefficient and silt. These varieties could be related to the nature of each method. Also, statistical analysis showed that the gypsum, COLE, and silt content had maximum effect on the WDC in Rasmussen, Mechanical stirrer, and Ultrasound methods, respectively. Organic matter, gypsum, sodium adsorption ratio (SAR), soluble sodium, and electrical conductivity had negative correlations with WDC, and the total clay content, lime, COLE, cation exchange capacity and pH had a positive correlation. Therefore, it is suggested that the selected method for measuring WDC should be according to the research emphasizes and soil characteristics. Also, the effect of aggregates size, type and organic matter composition on the WDC should be investigated in future study.

**Keywords:** Mechanical stirrer, Rasmussen, Ultrasound, Water-Dispersible Clay

## مقایسه سه روش اندازه‌گیری میزان رس قابل‌انتشار در خاک‌های خوزستان

سیروس جعفری<sup>۱\*</sup>، الهام بردبار<sup>۲</sup> و منصور غنیان<sup>۳</sup>

۱. دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

۳. دانشیار، گروه آموزش و ترویج کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۴/۱۲)

## چکیده

رس قابل‌انتشار در آب به دلیل پیش‌بینی فرسایش خاک، آبشویی و تکامل خاک دارای اهمیت است. از روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری رس قابل‌انتشار استفاده می‌شود که نتایج هر یک متفاوت است. در این مطالعه برای مقایسه میزان رس قابل‌انتشار با استفاده از سه روش همزن مکانیکی، اولتراسوند و راسموسن، نمونه‌های خاک از مناطق مختلفی در استان خوزستان با تنوع در خصوصیات فیزیکوشیمیایی جمع‌آوری شد. همبستگی بین میزان رس قابل‌انتشار و خصوصیات خاک در هر روش از لحاظ آماری با مدل رگرسیون تحلیل و نتایج با همدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد میانگین میزان رس قابل‌انتشار در روش راسموسن ۷۲/۶٪، همزن مکانیکی ۳۳/۴٪ و اولتراسوند ۱۴/۱٪ درصد از رس کل بود. همچنین تحلیل رگرسیونی نشان داد مهمترین عامل اثرگذار بر پیش‌بینی میزان انتشار رس به روش راسموسن، میزان گچ و رس کل است در حالیکه برای روش همزن مکانیکی ضریب انبساط خطی، ماده آلی، رس، گچ و شن کل در رابطه رگرسیونی موثر بودند. در روش اولتراسوند سیلت، املاح و آهک ویژگی‌های پیش‌بینی کننده رس قابل‌انتشار بودند. علت این تفاوت‌ها به مکانیسم متفاوت بکار رفته در روش‌های مطالعه انتشار رس مربوط می‌شود. در بررسی روابط آماری بین ویژگی‌های خاک و انتشار رس به روش راسموسن، همزن مکانیکی و اولتراسوند به ترتیب بیشترین نقش مربوط به گچ، ضریب انبساط خطی و سیلت بود. ماده آلی، گچ، نسبت جذب سدیم، سدیم محلول و هدایت الکتریکی با انتشار رس همبستگی منفی و رس کل، آهک، ضریب انبساط خطی، ظرفیت تبادل کاتیونی و پهاش همبستگی مثبتی با انتشار رس داشتند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که در مطالعه میزان رس قابل‌انتشار در هر تحقیق، روشی انتخاب شود که با شرایط مورد نظر محقق و یا ویژگی‌های خاک هماهنگی داشته باشد. همچنین در مطالعات آتی اثر اندازه خاکدانه، نوع و ترکیب شیمیایی ماده آلی بر انتشار رس بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: راسموسن، اولتراسوند، رس قابل‌انتشار، همزن مکانیکی

## مقدمه

کربن آلی خاک، گچ، آهک، نوع کانی‌های رس (Ghorbani *et al.*, 2014)، SAR، پایداری خاکدانه‌ها، سرعت خیس شدن خاکدانه‌ها، قدرت یونی محلول خیس‌کننده خاکدانه، میزان رس کل (Curtin *et al.*, 1994) و همچنین کاربری اراضی اشاره کرد. از عوامل مؤثر بر انتشار رس در خاک، پایداری خاکدانه‌هاست (Curtin *et al.*, 1994). در بین ویژگی‌های مؤثر بر پایداری ساختمان خاک، بیشترین نقش مربوط به ماده آلی است (Ghorbani *et al.*, 2014). (Franzen and Richardson (2000). به نقش‌های متعدد گچ در اصلاح و بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک سدیمی از جمله کاهش رس قابل‌انتشار اشاره نمودند. گچ به علت داشتن خاصیت هم‌آوری، باعث اتصال بیشتر ذرات رس و تشکیل خاکدانه‌های کوچک می‌شود. Hosseini and Golchin (2011) نشان دادند که با افزایش SAR، میزان رس قابل‌انتشار نمونه‌ها افزایش و این افزایش در خاک با

قسمتی از رس که در آب پخش می‌شود، رس قابل‌انتشار در آب (WDC)<sup>۱</sup> نامیده می‌شود (Curtin *et al.*, 1994). رس قابل‌انتشار در آب به دلیل قابلیت پیش‌بینی فرسایش خاک، تشکیل سله، آبشویی آن در خاک‌رخ و نیز نقشی که در تکامل خاک دارد از اهمیت زیادی برخوردار است. میزان رس قابل‌انتشار یکی از پارامترهایی است که به عنوان شاخص پایداری ساختمان خاک و فرسایش‌پذیری در نظر گرفته می‌شود (Ghorbani *et al.*, 2014). عوامل مختلفی بر انتشار رس در خاک تأثیر می‌گذارند که از جمله این عوامل می‌توان به قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته خاک (pH) (Sposito, 1996)،

\*نویسنده مسئول: siroosjafari@yahoo.com

۱. Water-Dispersible Clay

رامهرمز در خوزستان با تنوع در فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی به تعداد ۵۶ نمونه از عمق ۲۰-۰ سانتیمتری جمع‌آوری شد. اراضی منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای فیزیوگرافی تراس‌های مرتفع، دشت آبرفتی رودخانه‌ای و اراضی پست بود که بطور کلی دارای شیب کلی و جانبی کم تا خیلی کم (۰-۰.۲٪)، بدون پستی و بلندی ولی با ارتفاع متفاوت از سطح دریا (از کمتر از یک متر تا بیش از ۱۴۰ متر) می‌باشند.

#### آنالیزهای آزمایشگاهی

قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به وسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (Rhoades, 1996)، واکنش خاک توسط دستگاه پ‌هاس متر در گل اشباع خاک (Thomas, 1996)، کربنات‌های معادل خاک به روش هضم و تیتراسیون (Nelson, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از جایگزینی یون سدیم با محلول استات سدیم یک مولار با پ‌هاس ۸/۲ و قرائت با دستگاه فلیم‌فتومتر (Chapman, 1965)، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (Walkley, 1947)، گچ به روش رسوب در استون (Nelson, 1982)، کلسیم و منیزیم محلول با استفاده از تیتراسیون با ورسین اندازه‌گیری شد. نسبت جذب سدیم به وسیله داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه شد (Sposito, 2008).

توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر (Gee and Bauder, 1986)، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین تعیین شد. ضریب انبساط خطی (Coefficient of liner extensibility or COLE)، با استفاده از روش پیشنهادی در Soil Survey Staff (2014) و فرمول زیر تعیین شد:

$$LS = ((L_m - L_d) / L_d) \times 100$$

در این رابطه LS: میزان انقباض خطی،  $L_m$ : طول نمونه گل،  $L_d$ : طول نهایی نمونه در حالت خشک است (Soil Survey Staff, 2014). همچنین برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه از روش الک تر استفاده شد (Marquez et al., 2004).

#### تعیین رس قابل انتشار در آب

رس قابل انتشار در آب به سه روش اندازه‌گیری شد. در روش اول بر اساس روش راسموسن و کالینز، ابتدا سوسپانسیونی از نمونه‌های خاک به نسبت ۱:۱۰ (خاک به آب) تهیه و با همزن مکانیکی با ۲۴ دور در دقیقه برای مدت یک ساعت بهم زده شد و پس از یک ساعت، میزان رس قابل انتشار به وسیله هیدرومتر تعیین و به صورت نسبتی از رس کل خاک بیان گردید (Rasmussen and Collins, 1991).

در روش دوم رس قابل انتشار در آب طبق مقاله Kjaergaard et al. (2004) اندازه‌گیری شد. برای این کار،

کاربری زراعی بیش از کاربری مرتعی بود.

رس قابل انتشار به روش‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شود که هر روش نیز برای یک نمونه خاک نتایج متفاوتی را در پی دارد. در این روش‌ها عوامل مختلفی بر میزان رس قابل انتشار اندازه‌گیری شده، مؤثر هستند. در اغلب تحقیقات ارائه شده، میزان رس قابل انتشار فقط با یک روش اندازه‌گیری شده است. یکی از روش‌های متداول در اندازه‌گیری رس قابل انتشار روش Rasmussen and Collins (1991) است که با استفاده از همزن مکانیکی در الکترولیت، میزان رس قابل انتشار را با استفاده از هیدرومتر اندازه‌گیری می‌نماید. در روش دوم که توسط Fuller et al. (1995) پیشنهاد شده است با استفاده از دستگاه اولتراسوند اقدام به انتشار ذرات رس می‌نمایند. در این روش بسته به سطح نیروی بکار رفته، میزان رس قابل انتشار متفاوت است. روش سوم متداول توسط Kjaergaard et al. (2004) پیشنهاد شده است که در آن از آب مقطر برای شبیه‌سازی اثرات باران استفاده می‌نماید. نمونه‌های خاک با استفاده از همزن مکانیکی بهم زده شده و میزان رس قابل انتشار از تعلیق رویی به صورت نسبتی از رس کل بیان می‌شود. شرح بیشتر این روش‌ها در بخش مواد و روش‌ها آورده شده است.

نظر به اینکه تاکنون در هیچ‌یک از این نوع مقالات و یا مقالات با موضوع مشابه، مقایسه‌ای بین سه روش مهم و متداول اندازه‌گیری میزان رس صورت نگرفته و عوامل مهم مؤثر بر آنها نیز بررسی نشده است، این تحقیق صورت گرفت. در این تحقیق مقرر است که اثرات ویژگی‌های مختلف خاک بر نتایج حاصل در ارتباط با ماهیت هر روش اندازه‌گیری رس قابل انتشار تعیین گردد؛ بنابراین نتایج حاصل از هر روش ممکن است بخشی به ویژگی‌های خاک و بخشی به ذات روش اندازه‌گیری مربوط باشد که در این تحقیق به اثرات هر کدام از این منابع تغییر پرداخته خواهد شد. برای این منظور، میزان رس قابل انتشار در خاک‌های با طیف گسترده‌ای از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی در استان خوزستان به سه روش مختلف اندازه‌گیری خواهد شد تا تفاوت عوامل اثرگذار در هر روش بررسی شود؛ بنابراین هدف از این تحقیق بررسی نتایج حاصل از تعیین میزان رس قابل انتشار به روش‌های مختلف و تعیین علل تفاوت‌های احتمالی در نتایج حاصله است.

#### مواد و روش‌ها

##### موقعیت منطقه

در این پژوهش از خاک‌های شهرستان‌های ایذه، دزفول، سوسنگرد، امیدیه، ملاتانی، شوش، شیبان، هفتکل، آبادان و

مورد بررسی آورده شده است. بافت خاک‌ها لوم رسی سیلتی، لوم و لوم سیلتی بود. دامنه شوری خاک‌ها از غیر شور تا خیلی شور قرار داشتند (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

آماره	شن CEC	سیلت SAR	رس ECe	ماده آلی pH	آهک گچ cmol/kg
میانگین	۲۵/۴	۴۷	۲۶/۹	۰/۴۹	۳۸/۲
حداکثر	۰/۲۷	۱۳/۲	۴/۲	۴/۲	۷/۵
حداکثر	۶۲/۱	۷۲/۱	۴۹/۲	۱/۷۹	۳۹/۹
حداکثر	۳/۸	۲۳/۶	۳۸/۳	۳۱/۸	۶/۸
حداکثر	۵/۹	۴/۰	۴/۷	۰/۱	۳۳/۵
حداکثر	۰	۷/۷	۰/۵	۰/۵	۶/۸

در جدول (۲) خلاصه آماری میزان نسبت رس قابل انتشار از رس کل در روش‌های مختلف آمده است. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد میانگین رس قابل انتشار در روش راسموسن از دو روش دیگر بیشتر بوده است. در روش راسموسن احتمالاً به دلیل نیروی مکانیکی بیشتر، نسبت رس انتشار یافته به رس کل بیشتر از دو روش دیگر است. در این روش احتمالاً اثرات به دام افتادن هوا بر تخریب ساختمان خاک نیز انتشار رس را تشدید نموده است. این در حالی است که در روش اولتراسوند که از انرژی غیر مکانیکی (در دو روش دیگر انرژی مکانیکی بکار رفته) استفاده می‌نماید، سبب کاهش میزان رس قابل انتشار شده است. (Kjaergaard et al., 2004) در تعیین سرعت تر شدن خاکدانه‌ها نشان دادند که هرچه این فرآیند سریعتر باشد، سرعت تخریب خاکدانه بیشتر است.

جدول ۲- برخی از شاخص‌های آماری نسبت میزان رس قابل انتشار از رس کل در روش‌های مختلف

آماره	روش راسموسن	روش همزن الکتریکی	روش اولتراسوند
میانگین (%)	۷۲/۶۶	۳۳/۴	۱۴/۰۸
انحراف معیار	۲۰/۴۶	۱۹/۶۱	۱۰/۳۳
حداقل (%)	۲۴/۵	۰/۶	۰/۳
حداکثر (%)	۱۰۰	۱۰۰	۵۸/۲

ضرایب همبستگی بین برخی از صفات اندازه‌گیری شده با میزان رس قابل انتشار در روش‌های مورد استفاده در جدول (۳) آورده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که میزان شن اثرات معنی‌داری در هیچ یک از سه روش، بر رس قابل انتشار ندارد در حالیکه میزان رس در روش راسموسن و همزن مکانیکی و اثرات سیلت در سطح یک درصد در روش

ابتدا نمونه خاک هوا خشک شد. سپس با غوطه‌ور کردن مستقیم نمونه‌های خاک در یک محلول الکترولیت که ترکیب شیمیایی آن مشابه آب باران طبیعی بود (هدایت الکتریکی دسی زیمنس بر متر ۰/۰۲۵ و SAR برابر با ۰/۷۳۶)، تعلیقی با نسبت ۸:۱ خاک به آب تهیه و به مدت ۸ ساعت به همراه تکان دادن با سرعت ۲۹ دور در دقیقه با همزن مکانیکی دورانی بهم زده شد. پس از انتشار مکانیکی تعلیق، اجزاء  $\geq 2$  میکرومتر بالای رسوب با شیوه‌گرانشی در مرحله اول جدا شد. مقدار رس قابل انتشار در سوسپانسیون بازیابی شده به عنوان وزن خشک اندازه‌گیری و به صورت نسبتی از رس کل خاک گزارش شد. در روش سوم، رس قابل انتشار مطابق تحقیق فولر و همکاران با روش اولتراسوند یا Sonification اندازه‌گیری شدند (Fuller et al., 1995). برای این منظور، یک گرم خاکدانه هوا خشک به بشری با حجم ۵۰ میلی‌لیتر منتقل شد. سپس در بالای بشر، یک بورت ایستاده با زاویه ۲۰ درجه افقی طوری نگه‌داشته شد که خروجی آن در تماس با کنار بشر باشد. با این عمل، بدام انداختن هوا و انفجار ناشی از آن به حداقل کاهش یافت. آب مقطر با سرعت حدود ۲ میلی‌لیتر در دقیقه به بشر افزوده شد تا زمانی که خاکدانه‌ها اشباع شده و کاملاً در آب غوطه‌ور شدند (حدود ۶-۵ میلی‌لیتر). سپس سرعت آن به حدود ۷ میلی‌لیتر در دقیقه افزایش یافت. در مجموع ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به این روش به بشر اضافه شد. بشر بلافاصله در یک حمام یخ قرار داده شد تا انرژی درونی تمامی خاکدانه‌ها یکسان شود. سپس مخلوط آب مقطر و خاکدانه با انرژی ۸۰۰ کیلوژول بر لیتر ارتعاش صوتی شد (Fuller et al., 1995). این سطح از انرژی بسته به پایداری خاکدانه‌ها متفاوت بود. پس از ده دقیقه استراحت از سوسپانسون به روش پیمت نمونه‌برداری شده و میزان رس قابل انتشار در آب برآورد و بصورت نسبتی از رس کل خاک گزارش گردید.

در نهایت تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS صورت گرفت. به منظور مقایسه عوامل مؤثر بر میزان رس قابل انتشار در نمونه‌های مورد مطالعه در روش‌های مختلف از آزمون‌های همبستگی و t استفاده شد. همچنین برای تعیین اثرات مستقل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بر میزان رس قابل انتشار، نیز از آزمون رگرسیون چندگانه به روش گام‌به‌گام استفاده شده و عوامل مؤثر به صورت معادله رگرسیونی ارائه گردید. همچنین مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵٪ بررسی شد.

## نتایج و بحث

در جدول (۱) برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های



انحلال گچ، علی‌رغم وجود سدیم زیاد میزان نسبت جذب سدیم افزایش نیافته و رس‌ها انتشار نمی‌یابند. همچنین افزایش میزان رس نمونه، سبب افزایش رس قابل انتشار گردید که نشان‌دهنده آن است که خاک‌های مورد مطالعه، فاقد حداقل عامل نگهدارنده رس‌ها کنار یکدیگرند (Ghorbani et al., 2014).

#### ب: روش همزن مکانیکی

متغیرهای مؤثر بر انتشار رس به روش همزن مکانیکی شامل ضریب انبساط خطی، ماده آلی، رس کل، گچ و شن کل می‌باشد. میزان آماره F نشان می‌دهد، تأثیر متغیرها بر انتشار رس معنی‌دار شده است ( $F=13/38$ ,  $Sig.=/0001$ ). این متغیرها در کل حدود ۵۷ درصد از تغییرات انتشار رس را توضیح می‌دهند. مقدار  $\beta$  به دست آمده برای هر یک از این فاکتورها نشان می‌دهد که افزایش یک انحراف استاندارد در متغیرهای ضریب انبساط خطی، ماده آلی، رس کل، گچ و شن کل بترتیب سبب افزایش ۰/۲۵، ۰/۲۸، ۰/۴۶، ۰/۲۷ و ۰/۲۷ در انحراف استاندارد متغیر انتشار رس می‌شود. بر اساس جدول (۵)، با توجه به معنی‌دار بودن آماره T در مورد متغیرهای مذکور، تأثیر این متغیرها در توضیح انتشار رس معنی‌دار می‌باشد. در مجموع اثرگذاری این فاکتورها برای تعیین میزان انتشار رس معنی‌دارتر از فاکتورهای تعیین‌شده در روش راسموسن است.

جدول ۵- تحلیل رگرسیون خطی متغیرهای مؤثر بر انتشار رس به روش همزن مکانیکی

متغیرها	B	SEB	$\beta$	Sig.T
ضریب انبساط خطی	۲۱۱/۵۷	۹۰/۷۹	۰/۲۵	۰/۰۲
ماده آلی	-۱۵/۹۷	۵/۴۸	-۰/۲۸	۰/۰۰۵
رس کل	۱/۰۹	۰/۲۸	۰/۴۶	۰/۰۰۰۱
گچ	-۰/۶۲	۰/۲۳	-۰/۲۷	۰/۰۱
شن کل	۰/۴۶	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۰۲

$R^2=0/57$  Sig.=/0001 F=13/38

در تحلیل رگرسیونی به روش گام‌به‌گام برای خاک‌های مورد مطالعه، معادله‌ی زیر برای تعیین میزان رس انتشاریافته به روش همزن مکانیکی بدست آمد:

$$WDC = 211/57 (COLE) - 16/0 (ماده آلی) + 1/1 (رس) - 0/6 (گچ) + 0/47 (شن) - 0/186$$

این معادله نشان می‌دهد که مهمترین عامل اثرگذار بر انتشار رس به روش همزن مکانیکی در این نمونه‌ها ضریب انبساط خطی می‌باشد. ضریب انبساط خطی رابطه مستقیمی با میزان رس قابل انتشار دارد. هرچه رس‌های خاک ریزتر و قابل انبساط‌تر باشند، ضریب انبساط خطی بیشتر و در نتیجه قابلیت انتشار بیشتری دارند. این معادله نشان می‌دهد که ماده آلی

معادله رگرسیون در روش راسموسن وارد شدند (جدول ۴). میزان آماره F نشان می‌دهد تأثیر متغیرها بر انتشار رس معنی‌دار شده است ( $F=14/02$ ,  $Sig.=/0001$ ). از بین همه متغیرهای مورد بررسی، این دو متغیر در کل حدود ۳۵ درصد از تغییرات انتشار رس را توضیح می‌دهند. مقدار  $\beta$  به دست آمده در جدول (۴) نشان می‌دهد که افزایش یک انحراف استاندارد در متغیر گچ، سبب افزایش ۰/۴۸- در انحراف استاندارد متغیر انتشار رس می‌شود. همچنین مقدار  $\beta$  (بعنوان ضریب رگرسیون) به دست آمده در جدول (۴) نشان می‌دهد، افزایش یک واحد در میزان رس، سبب افزایش ۰/۲۸ در انحراف استاندارد متغیر انتشار رس می‌شود. بر اساس جدول (۴)، با توجه به معنی‌دار بودن T در مورد متغیرهای مذکور، تأثیر این متغیرها در توضیح انتشار رس معنی‌دار می‌باشد. همچنین ضریب رگرسیون است و نشان‌دهنده میزان تغییرات متغیر وابسته بر حسب تغییر یک واحد در متغیر مستقل می‌باشد. SEB نیز خطای استاندارد یا معیار برآورد است و نشان‌دهنده این است که مقادیر مشاهده‌شده با مقادیر مورد انتظار به چه میزان تفاوت دارد.

جدول ۴- تحلیل رگرسیون خطی متغیرهای مؤثر بر انتشار رس به روش راسموسن

متغیرها	B	SEB	$\beta$	Sig.T
گچ	-۰/۱۰	۰/۲۵	-۰/۴۸	۰/۰۰۰۱
رس کل	۰/۶۶	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۰۱

$R^2=0/35$  Sig.=/0001 F=14/02

با استفاده از تحلیل رگرسیون به روش گام‌به‌گام برای خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۴، معادله‌ی زیر برای تعیین میزان رس انتشاریافته به روش راسموسن بدست آمد:

$$WDC = -0/1 (گچ) + 0/664 (رس) + 58/201$$

بر اساس این معادله، مهمترین عامل اثرگذار بر انتشار رس در روش راسموسن گچ می‌باشد که افزایش آن، سبب کاهش میزان رس قابل انتشار می‌شود. در این روش احتمالاً با تکان دادن پیوسته خاک، گچ موجود در آن حل شده و با آزادسازی کلسیم سبب کاهش اثرات سوء سدیم می‌گردد. گچ به دلیل آزاد کردن یون کلسیم، سبب انعقاد رس‌ها و کاهش انتشار آنها می‌شود. با توجه به اینکه در این روش املاح با نسبت ۱۰:۱ رقیق می‌شوند، اثرات شوری زیاد بر انتشاردهندگی سدیم نیز کاهش یافته و اثرات گچ بیشتر بارز می‌گردد. چنین نتایجی توسط Sposito (1996) نیز در ارتباط با اثرات عوامل مختلف بر ضخامت لایه دوگانه و انتشار رس آورده شده است. به عبارتی با

سبب کاهش میزان رس قابل انتشار در خاک می‌گردد. با توجه به اینکه در این روش تنها از انرژی برای انتشار استفاده شده و عامل شیمیایی در آن اثرگذار نمی‌باشد لذا اثر میزان شوری بر انتشار رس در خاک به صورت معکوس در این روش ملاحظه می‌گردد. به عبارتی با افزایش میزان شوری، ضخامت لایه دوگانه رس‌ها کاهش یافته و رس‌ها به صورت هم‌آور در می‌آیند (Sposito, 2008). به عبارتی انتشار رس ناشی از انرژی جنبشی و عامل شیمیایی است که در این روش نبود عامل شیمیایی انتشار سبب شده است که عوامل شیمیایی منعقدکننده رس‌ها مثل شوری اثرات خود را بروز دهند. روند افزایش میزان آهک و افزایش رس قابل انتشار در یک راستا می‌تواند چنین توجیه شود که آهک در اندازه رس، بخش قابل توجهی از ذرات رس را در خاکهای آهکی تشکیل می‌دهد (Asgari and Jafari, 2017). لذا با افزایش آهک، میزان رس قابل انتشار نیز افزایش می‌یابد که می‌تواند به آهکی بودن بخشی از جزء رس مربوط باشد.

جدول ۶- تحلیل رگرسیون خطی متغیرهای مؤثر بر انتشار رس به روش

متغیرها	B	SEB	$\beta$	Sig.T
سیلت کل	-۰/۵۶	۰/۱۲	-۰/۵۲	۰/۰۰۰۱
هدایت الکتریکی	-۰/۷۳	۰/۱۸	-۰/۴۲	۰/۰۰۰۱
آهک	۱۳/۲	۰/۶۰	۰/۳۹	۰/۰۰۱
R <sup>2</sup> = ۰/۴ Sig.= ۰/۰۰۰۱ F= ۱۱/۷۵				

بین میزان ماده آلی و انتشار رس در دو روش اولتراسوند و راسموسن همبستگی مشاهده نمی‌شود (شکل ۱). این اختلاف احتمالاً بدلیل مکانیسم عمل متفاوت در سه روش اعمال شده برای انتشار رس می‌باشد. احتمالاً در روش همزن مکانیکی، مدت طولانی‌تر اعمال نیروی فیزیکی نسبت به دو روش دیگر تأثیر بیشتری بر تخریب خاکدانه‌ها داشته ولی در دو روش اولتراسوند و راسموسن نیروی اعمال شده برای غلبه بر اثر عوامل اتصال ذرات و تخریب ساختمان خاک و جدا شدن ذرات رس از ساختار خاکدانه کافی نبوده است. (Fuller et al., 1995) نشان دادند که در اثر کشت و کار و با کاهش ماده آلی خاک، رس قابل انتشار به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد.

میزان رس انتشار یافته به روش همزن مکانیکی در سطح یک درصد با ضریب همبستگی پیرسون  $r = ۰/۵$  و در روش راسموسن در سطح پنج درصد ( $r = ۰/۳۳$ ) معنی‌دار شده ولی در روش اولتراسوند غیر معنی‌دار بود (جدول ۲). (Khazaei et al., 2008) در بررسی ارزیابی پایداری ساختمان خاک به روش الک تر عنوان کردند که با افزایش زمان تکان دادن الک‌ها در آب،

سبب کاهش میزان رس قابل انتشار گردیده و اثرات آن نیز قابل توجه است. ماده آلی با اتصال ذرات رس به یکدیگر، مانع از انتشار آنها می‌گردد. افزایش ماده آلی به خاکهای مناطق خشک سبب تولید هیومین و یا فولویک اسید شده که با واکنش با کلسیم سبب ایجاد ترکیباتی می‌گردد که در اثر هم‌آوری، مانع از انتشار ذرات رس می‌شود (Fuller et al., 1995). مطالعات قبلی محققین در این خاک‌ها نشان داد که افزایش ماده آلی خاک، سبب افزایش میزان پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (Ghorbani et al., 2014) که نتیجه آن کاهش میزان رس قابل انتشار است. همچنین افزایش گچ نیز با رهاسازی کلسیم و هم‌آوری رس‌ها مانع از انتشار ذرات رس در خاک می‌شود (Sposito, 2008). اثرات افزایش میزان شن در افزایش میزان انتشار رس را نیز می‌توان به اثرات تخریبی آن در اثر برخورد به خاکدانه‌ها نسبت داد. در اثر نیروی مکانیکی، ذرات شن می‌توانند با انرژی جنبشی خود سبب تخریب خاکدانه‌ها شوند.

#### ج: روش اولتراسوند

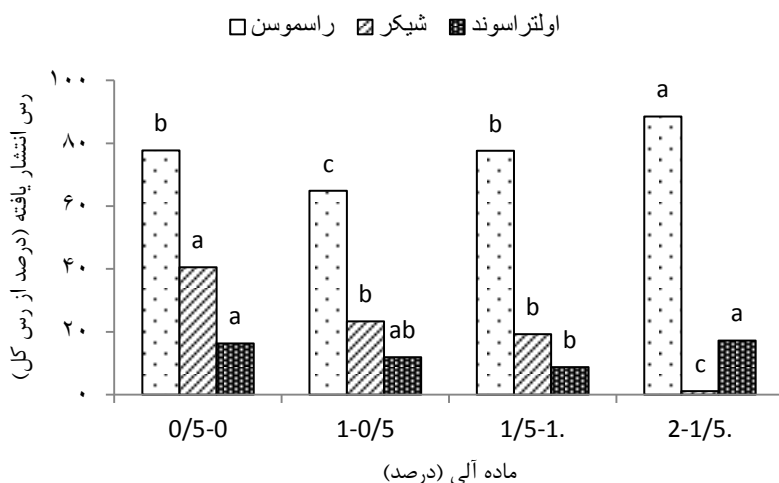
متغیرهای مستقل بر انتشار رس به روش اولتراسوند شامل سیلت کل، هدایت الکتریکی و آهک می‌باشند. همان‌گونه که در جدول (۶) قابل ملاحظه است، متغیرهای سیلت کل، هدایت الکتریکی و آهک به ترتیب وارد معادله رگرسیون شدند. میزان F نشان می‌دهد، تأثیر متغیرها بر انتشار رس معنی‌دار شده است ( $F=۱۱/۷۵$  و  $Sig. = /۰۰۰۱$ ). این متغیرها در کل حدود ۴۰ درصد از تغییرات انتشار رس را توضیح می‌دهند؛ به عبارت دیگر، سیلت کل، هدایت الکتریکی و آهک قادر به تبیین بخشی از تغییرات انتشار رس در این روش می‌باشند. مقدار  $\beta$  به دست آمده در جدول (۶) نشان می‌دهد، افزایش یک واحد در میزان سیلت کل، سبب افزایش ۰/۵۲- در انحراف استاندارد متغیر انتشار رس می‌شود. سیلت به دلیل نداشتن خاصیت تبادل کاتیونی از تمایل کمی برای اتصال ذرات برخوردار است. همچنین افزایش یک واحد در هدایت الکتریکی، سبب افزایش ۰/۴۲- در انحراف استاندارد متغیر انتشار رس می‌شود. این میزان برای هر یک درصد آهک، سبب افزایش ۰/۳۹- در انحراف استاندارد متغیر انتشار رس می‌شود.

در تحلیل رگرسیونی خاک‌های مورد مطالعه، معادله‌ی زیر برای تعیین میزان انتشار رس به روش اولتراسوند حاصل شد:

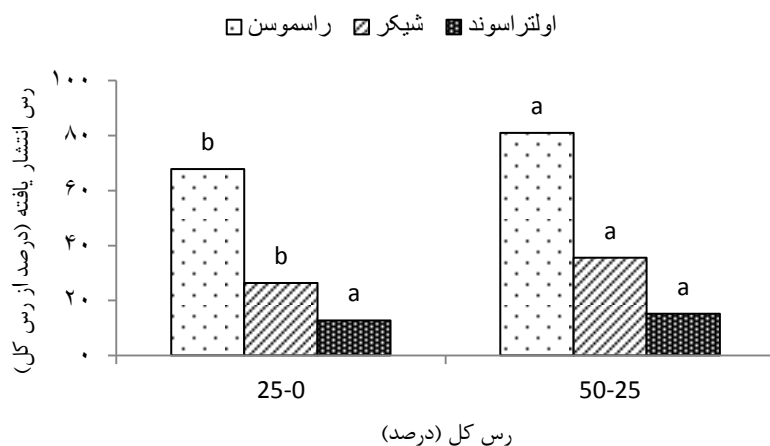
$WDC = ۳۷/۸۷ - (آهک) ۱۳/۲ + (EC) ۰/۷۴ - (سیلت) ۰/۵۶$   
 این معادله نشان می‌دهد که مهمترین ویژگی اثرگذار خاک بر انتشار رس به روش اولتراسوند در این نمونه‌ها، میزان سیلت می‌باشد. سیلت قابلیت چسبندگی ندارد و نیروی وارد شده در اثر امواج صوتی سبب انتشار ذرات خاک و در نتیجه ذرات رس و

میزان رس بر میزان انتشار رس نیز از همین روند پیروی می‌کند. (Brubaker *et al.* (1992) نیز در پیش بینی میزان رس قابل انتشار در خاکهای مختلف نشان دادند که مهمترین فاکتور در پیش بینی میزان رس قابل انتشار میزان رس کل خاک و به ویژه میزان رس خیلی ریز است.

نقش میزان رس در پایداری خاکدانه‌ها افزایش یافت؛ بنابراین شاید بتوان گفت یکی از دلایل اختلاف‌های مشاهده شده در این سه روش، مدت زمان متفاوت کاربرد انرژی برای انتشار رس در نمونه‌ها باشد. مدت زمان تکان دادن مخلوط آب و خاک در سه روش اولتراسوند، راسموسن و همزن مکانیکی به ترتیب افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، اثرگذاری



شکل ۱- مقایسه تأثیر ماده آلی بر میزان انتشار رس در سه روش مورد مطالعه (حروف یکسان معنی‌داری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن)

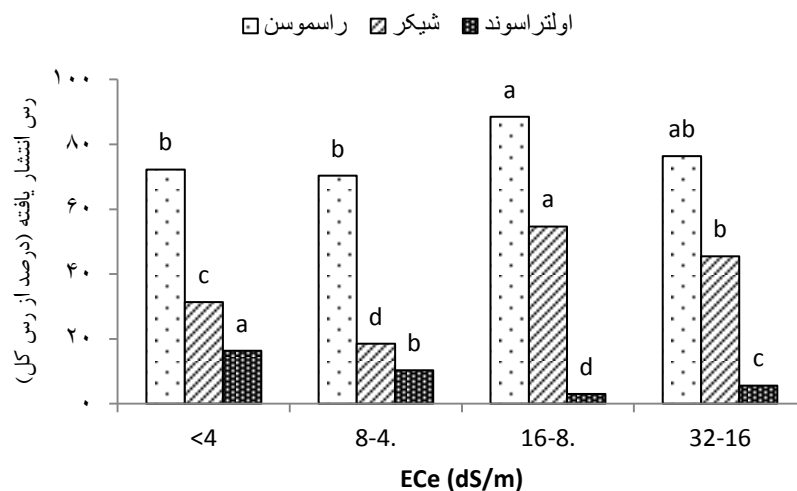


شکل ۲- مقایسه تأثیر رس کل بر میزان رس انتشار یافته در سه روش تعیین میزان انتشار رس (حروف یکسان معنی‌داری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن)

تبادلی، نوع کانی رسی، مقادیر سایر اجزاء اندازه‌ای مثل شن و سیلت، نوع و ترکیب مواد آلی مربوط باشد. اثرات شوری بر میزان رس قابل انتشار در شکل (۳) نشان داده شده است.

در برخی از نمونه‌ها با وجود مقادیر رس یکسان، سطوح انتشار رس متفاوت بود. در مناطقی که مقادیر رس یکسان ولی دارای مقادیر متفاوتی از رس انتشار یافته است علت می‌تواند به فاکتورهای دیگری مثل نوع عامل سیمانی، ترکیب کاتیونهای

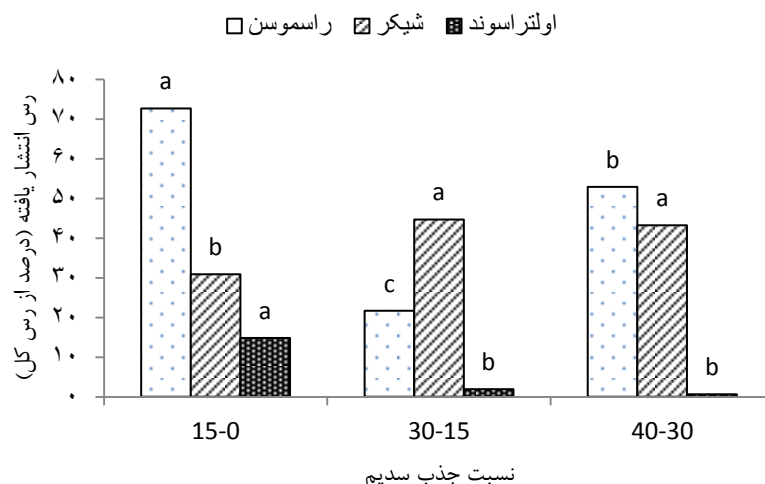




شکل ۳- مقایسه تأثیر شوری بر میزان انتشار رس در سه روش مورد مطالعه (حروف یکسان معنی داری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن)

از مشاهده اثرات شوری بر انتشار رس در این دو روش شده است. در شکل (۴) اثرات سدیم در انتشار رس روندی معکوس نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از اثرات شوری بر کاهش انتشار رس باشد. نتایج تحقیقات در خاکهای خوزستان نشان داده است که این خاکها اغلب شور و سدیمی هستند، به عبارتی در اثر افزایش میزان سدیم، میزان شوری نیز افزایش می‌یابد که با افزایش شوری، با کاهش ضخامت لایه دوگانه بر هم‌آوری رس‌ها افزوده می‌گردد.

طبق نتایج جدول (۲) بین میزان شوری و انتشار رس به روش‌های شیکر و راسموسن همبستگی مشاهده نشد. احتمالاً علت این تفاوت مربوط به تفاوت بین روش اولتراسوند با دو روش دیگر می‌باشد. در روش اولتراسوند صرفاً از یک مکانیسم فیزیکی استفاده شده و هیچ ماده شیمیایی در این روش در انتشار رس دخالت ندارد اما دو روش دیگر که تلفیقی از اثرات فیزیکی و شیمیایی (ماده انتشاردهنده هگزامتاسفات سدیم) هستند، ماده شیمیایی اضافه شده پراکنش رس‌ها را تشدید می‌کند؛ بنابراین احتمالاً هگزامتاسفات سدیم اضافه شده، مانع



شکل ۴- مقایسه تأثیر نسبت جذب سدیم بر میزان انتشار رس در سه روش مورد مطالعه (حروف یکسان معنی داری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن)

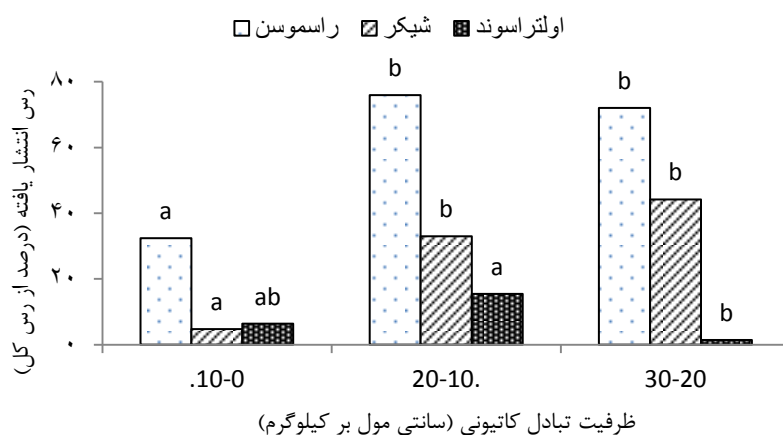
چنانچه در شکل (۵) نیز قابل ملاحظه است، تأثیر ظرفیت تبادل کاتیونی بر انتشار رس در دو روش راسموسن و همزن مکانیکی اختلاف قابل توجهی با رس انتشار یافته در روش اولتراسوند دارد.

همبستگی ظرفیت تبادل کاتیونی در سطح پنج درصد با انتشار رس به روش راسموسن ( $r=0/33$ ) و در سطح یک درصد با انتشار رس به روش همزن مکانیکی ( $r=0/37$ ) معنی دار شد.

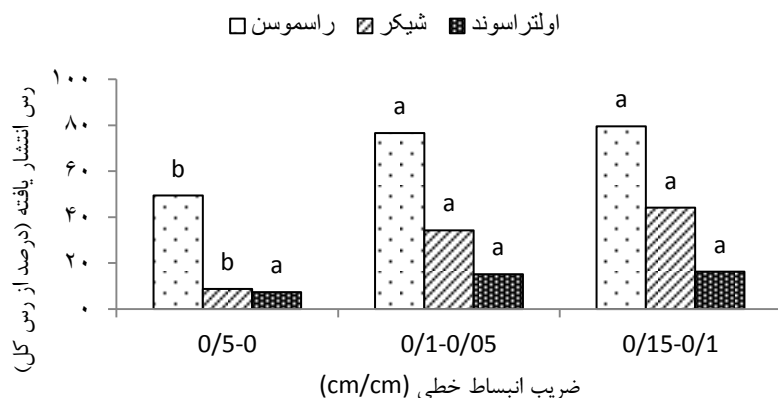
در حالت مرطوب و خشک بیشتر شده و در نتیجه COLE نیز افزایش می‌یابد. همچنین احتمالاً نوع کانی رسی نیز بر این فاکتور تأثیرگذار بوده و حضور کانی‌های انبساط پذیر از جمله اسمکتایت در برخی از خاکها، سبب افزایش این فاکتور شده است؛ بنابراین با توجه به همبستگی مثبت بین میزان رس کل و میزان انتشار رس و همچنین نقش موثر کانی‌های رسی بر انتشار رس، شاید بتوان دلیل همبستگی مثبت مشاهده شده بین ضریب انبساط خطی و میزان انتشار رس را به این عوامل مربوط دانست. از آنجایی که بیشترین عامل موثر بر ضریب انبساط خطی میزان رس کل معرفی شد، احتمالاً دلیل اختلاف مشاهده شده بین روش‌های مختلف انتشار رس نیز همان دلایلی باشد که برای اختلاف بین روش‌های انتشار رس تحت تأثیر رس کل بیان شد. به عبارتی اختلاف مدت زمان تکان دادن نمونه‌ها در سه روش راسموسن، همزن مکانیکی و اولتراسوند موجب تفاوت تأثیر رس در سه روش و نهایتاً موجب تفاوت در نتایج ضریب انبساط خطی شده است.

از طرفی به نظر می‌رسد میزان و نوع رس نسبت به سایر عوامل، بیشترین تأثیر را بر ظرفیت تبادل کاتیونی داشته و عامل تعیین‌کننده میزان انتشار رس است؛ بنابراین احتمالاً دلیل تفاوت مشاهده شده در میزان انتشار رس در سه روش، میزان رس کل باشد که آن‌هم به اختلاف در مدت زمان تکان دادن نمونه‌ها در سه روش انتشار رس مربوط می‌گردد.

ضریب انبساط خطی با انتشار رس به روش راسموسن همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد ( $r=0/45$ ) دارد. این ضریب با انتشار رس به روش همزن مکانیکی نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد ( $r=0/51$ ) دارد، ولی با انتشار رس به روش اولتراسوند تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). این نتایج با نتایج (Brubaker *et al.* (1992) مطابقت داشت. آنان عنوان نمودند میزان رس قابل انتشار در آب به شدت به ضریب انبساط خطی (COLE) وابسته است. یکی از عوامل مؤثر بر ضریب انبساط خطی، میزان رس کل و در مرتبه بعدی نوع رس است. با افزایش میزان رس، اختلاف طول کلوخه



شکل ۵- مقایسه تأثیر ظرفیت تبادل کاتیونی بر میزان انتشار رس در سه روش مورد مطالعه (حروف یکسان معنی‌داری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن)



نمودار ۶- مقایسه تأثیر ضریب انبساط خطی بر میزان رس قابل انتشار در سه روش مورد مطالعه (حروف یکسان معنی‌داری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن)

## نتیجه گیری

فاکتورهای مورد مطالعه در انتشار رس، ماده آلی، گچ، نسبت جذب سدیم، سدیم محلول و هدایت الکتریکی با انتشار رس همبستگی منفی و رس کل، آهک، ضریب انبساط خطی، ظرفیت تبادل کاتیونی و پهاش دارای همبستگی مثبت بودند؛ بنابراین در انتخاب شیوه اندازه گیری میزان رس قابل انتشار در مطالعات آتی، باید به عوامل اثرگذار موجود در شرایط طبیعی بر انتشار رس در خاک دقت نمود. همچنین توجه داشت که نتیجه حاصله در روش های مختلف متفاوت است. پیشنهاد می شود در مطالعات آینده به بررسی تأثیر اندازه خاکدانه بر انتشار رس و همچنین عوامل موثر بر اندازه خاکدانه بیشتر توجه شود. همچنین لازم است ارتباط بین نوع و ترکیب شیمیایی ماده آلی با میزان انتشار رس نیز مورد بررسی قرار گیرد.

نتایج تحقیق نشان داد که برای خاکهای یکسان، میزان رس قابل انتشار حاصله از روش های مختلف متفاوت است. این میزان در برخی موارد به بیش از ۵ برابر نیز رسیده است. بیشترین میزان انتشار رس در روش راسموسن و کمترین آن در روش اولتراسوند بود. بخشی از این اختلاف به وجود یا عدم وجود عامل شیمیایی بر انتشار رس در روش های مورد استفاده مربوط می شد. همچنین فاکتورهای فیزیکوشیمیایی موثر بر میزان انتشار رس نیز در هر روش متفاوت بود. علت این تفاوت ها به مکانیسم متفاوت به کار رفته در روش های انتشار رس مربوط می شد. در بین ویژگی های موثر بر انتشار رس به روش راسموسن، همزن مکانیکی و اولتراسوند به ترتیب بیشترین نقش به گچ، ضریب انبساط خطی و میزان سیلت مربوط بود. از بین

## REFERENCES

- Asgari, N. and Jafari. S. (2017). The study of particle size distribution of calcium carbonate and its effects on some soil properties in Khuzestan province. *Agriculture research Journal*, 36(2), 71-80.
- Brubaker, S. C., Holzhey, C. S. and Brashert, B. R. (1992). Estimating the water-dispersible clay content of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 56(4), 1226-1232.
- Chapman, H.D. (1965). Cation exchanges capacity. PP. 891-901. In: Black, C. A (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical analysis*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Curtin, D., Steppuhn, H. and Selles, F. (1994). Effects of magnesium on cation selectivity and structural stability of sodic soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(3), 730-737.
- Franzen, D.W. and Richardson, J.L. (2000). Soil factors affecting Fe chlorosis of soybeans in the Red River Valley of North Dakota and Minnesota. *Journal of Plant Nutrition*, 23, 67-78.
- Fuller, L. G., Tee Boon, G. and Oscarson, D. W. (1995). Cultivation effects on dispersible clay of soil aggregates. *Canadian Journal of Soil Science*, 75(1), 101-107.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle-Size analysis. P. 383-411. In: Klute, A. (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 7*. Soil Science Society of American.
- Ghorbani, Z., Jafari S. and Khalili Moghaddam B. (2014). The effect of physicochemical properties of soils under different land use on aggregate stability in some part of Khuzestan province. *Soil management and sustainable production*, 3(2), 29-51. (In Farsi)
- Hosseini, M. and Golchin A. (2011). The effect of salinity and sodic of irrigation water on water dispersible clay in a soil under different land use. *5th National conference and exhibition on environmental engineering*. Tehran. (in Farsi)
- Khazaei, A., Mosaddeghi, M.R. and Mahboubi, A.A. (2008). Impacts of test conditions, soil organic matter, clay and calcium carbonate contents on mean weight diameter and tensile strength of aggregates of some hamedan soils. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(44), 123-134. (In Farsi)
- Kjaergaard, C., Jonge, L. W., Moldrup, P. and Schjonning, P. (2004). Water-dispersible colloids. *Vadose Zone Journal*, 3(2), 403-412.
- Marquez, C. O., Garcia, V. J., Cambardella, C. A., Schultz, R. C. and Isenhardt, T. M. (2004). Aggregate-Size Stability Distribution and Soil Stability. *Soil Science Society of America Journal*, 68(3), 725-735.
- Nelson, R.E. (1982). Carbonate and gypsum. P. 181-199. In: Page, A.L. (Eds.), *Methods of soil Analysis. Part 2*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Rasmussen, P. E. and Collins, H. P. (1991). Long-term impacts of tillage, fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semi-arid regions. *Advanced Agronomy*, 45, 93-134.
- Rhoades, J. D. (1996). salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Solid. P. 417-435. In: Sparks, D. L., Helmke, P. A., Leppet, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T. and Summer, M. E. (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods* Soil Science Society American Inc. Book series, No. 5, Madison, WI, USDA.
- Sposito, G. (1996). *The chemistry of soils*. First edition. Oxford university press.
- Sposito, G. (2008). *The chemistry of soils* (2<sup>th</sup> ed.). Oxford university press.
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil Acidity. P. 475-490. In: Sparks, D. L., Helmke, P. A., Leppet, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., Johnston, C. T. and Summer, M.

E(Eds), *Methods of soil analysis*. Part 3. Chemical Methods Soil Science Society American Inc. Book series, No. 5, Madison, WI, USDA.

Walkley, A. 1947. A Critical examination of a rapid

method for determining soil organic carbon in soils. Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63: 251-264.