

## همبستگی قرائت‌های دستگاه القاء گر الکترومغناطیس (EM<sub>38</sub>) با برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در شرایط شور

محمدحسن رحیمیان<sup>1</sup>، محمدرضا نوری امامزاده‌ئی، سیدحسن طباطبائی و علی محمد قائمی نیا

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه شهرکرد؛ mbrahimian@gmail.com

استادیار و عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد؛ Nouri1351@yahoo.com

دانشیار و عضو هیأت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد؛ stabaei@agr.sku.ac.ir

کارشناس ارشد مدیریت بیابان، مرکز ملی تحقیقات شوری؛ a.ghaemini@yahoo.com

دریافت: 91/9/20 و پذیرش: 92/4/17

### چکیده

دستیابی به ابزارها و روش‌های مطمئن، سریع و کم‌هزینه تعیین ویژگی‌های فیزیکی خاک در مزرعه می‌تواند تهیه نقشه این ویژگی‌ها در مقیاس‌های مختلف را تسهیل کرده و مدیریت مکانی منابع خاک و آب در این اراضی را سرعت بخشد. یکی از این ابزارها القاء گر الکترومغناطیس (EM<sub>38</sub>) است که توانائی‌های زیادی در تعیین خصوصیات خاک سطحی و عمقی از خود نشان داده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی کارآیی این دستگاه در تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک نظیر درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، جرم مخصوص، تخلخل، رطوبت و دمای خاک در باغات شور پسته اردکان در استان یزد انجام شده است. بدین منظور همزمان با انجام قرائت‌های دستگاه EM<sub>38</sub> در 90 نقطه از منطقه مطالعاتی، در 25 نقطه نیز نمونه‌برداری از خاک اعماق 0-30، 30-60، 60-90 و 90-120 انجام و درصد رس، سیلت، شن، رطوبت وزنی، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت حجمی و دمای آن‌ها تعیین شد. سپس روابط رگرسیونی بین قرائت‌های EM<sub>38</sub> با پارامترهای فیزیکی خاک استخراج و کارآیی این دستگاه بررسی گردید. نتایج این پژوهش حاکی از عدم وجود روابط آماری معنی‌دار بین قرائت‌های EM<sub>38</sub> با درصد رس، سیلت، شن و دمای خاک بود. این در حالی است که همبستگی‌ها بین قرائت‌های افقی EM<sub>38</sub> و جرم مخصوص ظاهری خاک در اعماق 0-30 و 0-60 سانتی‌متری با ضرایب تبیین (R<sup>2</sup>) 0/68 و 0/65 معنی‌دار بدست آمد. همچنین ضرایب تبیین اصلاح شده (R<sup>2</sup><sub>adj</sub>) برای درصد رطوبت حجمی اعماق 0-30، 30-60 و 0-90 سانتی‌متری خاک معنی‌دار بوده و به ترتیب برابر با 0/69، 0/74 و 0/78 بدست آمد. بر اساس این روابط، نقشه‌های جرم مخصوص ظاهری، درصد رطوبت حجمی و رطوبت اشباع (تخلخل) خاک در اعماق مختلف تهیه و تفسیر شدند. نتایج این پژوهش مناسب بودن روش القای الکترومغناطیس در تعیین و پهنه‌بندی سریع و کم‌هزینه برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک نظیر جرم مخصوص، درصد رطوبت و تخلخل لایه‌های مختلف خاک را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: القاء گر الکترومغناطیس، بافت، تخلخل، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت خاک

<sup>1</sup> نویسنده مسئول، آدرس: یزد، انتهای بلوار آزادگان، خ نهالستان، مرکز ملی تحقیقات شوری، ص.پ. 89195-315

## مقدمه

پسته یکی از محصولات اصلی کشاورزی در استان یزد است. مجموع کل باغ‌های پسته استان یزد 42183 هکتار می‌باشد که از این میزان 7060 هکتار (17 درصد) در شهرستان اردکان قرار گرفته است (سازمان جهاد کشاورزی استان یزد، 1390). هم‌اکنون یکی از عوامل محدودکننده کاشت و تولید این محصول در نقاط مختلف کشور مشکلات و محدودیت‌های کیفی و کمی آب آبیاری است (سیاری و همکاران، 1386). در استان یزد و در منطقه اردکان نیز طبق تحقیقات دهقانی و گلشن (1380) اکثر آب مورد نیاز آبیاری توسط چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق تأمین می‌گردد که هدایت الکتریکی آنها بین 10 الی 23 دسی‌زیمنس بر متر متغیر است. همچنین نتایج تجزیه خاک این منطقه نشان داده است که شوری خاک آن بین 1/9 تا 53/4 دسی‌زیمنس بر متر است. نظر به اینکه کلیه عملیات مدیریتی که موجب بهبود سرعت نفوذ آب و حفظ ساختمان خاک می‌شوند، در کنترل شوری خاک نیز اثر مثبت خواهند گذاشت (کافی و همکاران، 1389)، لذا در چنین شرایطی توجه به خصوصیات فیزیکی خاک اهمیت زیادیتری خواهد یافت. خورسندی و همکاران (1389) نیز توجه به ویژگی‌های زمین را از جمله موارد با اهمیتی دانسته‌اند که باید در کشت گیاهان در مناطق شور مورد بررسی قرار گیرد.

هولچک و همکاران (1998) نیز اذعان کرده‌اند که خصوصیات فیزیکی از قبیل بافت، عمق و نفوذپذیری بعد از عوامل اقلیمی از جمله پارامترهایی هستند که بر رشد و پراکنش گیاهان در یک منطقه مؤثرند. یکی از این خصوصیات میزان خلل و فرج است که با بافت و جرم مخصوص (چگالی) ظاهری خاک ارتباط نزدیک دارد. جرم مخصوص بالای خاک نشان دهنده میزان اندک خلل و فرج و فشردگی زیاد خاک است که می‌تواند سبب محدودیت‌های رشد ریشه و انتقال ضعیف هوا و آب در خاک شود.

انجام شخم دائم در یک عمق، تردد زیاد به خصوص در خاک‌های مرطوب، تناوب زراعی اندک با ریشه‌های در یک عمق مشخص، سوزاندن بقایای محصولات، چرای بیش از حد علوفه و استفاده از تجهیزات سنگین برای تسطیح از جمله مواردی هستند که سبب افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شوند (سازمان حفاظت خاک آمریکا، 2008).

یکی از روش‌های تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک در باغات و اراضی کشاورزی استفاده از

مته نمونه دست‌نخورده<sup>1</sup> و برداشت حجم معینی از نمونه خاک است که پس از انتقال به آزمایشگاه و اندازه‌گیری دقیق وزن نمونه‌ها، جرم مخصوص ظاهری آن محاسبه می‌گردد. روش‌های دیگری نیز برای تعیین جرم مخصوص خاک وجود دارند که عمدتاً با صرف وقت و در نتیجه هزینه زیاد همراه هستند. یکی از فناوری‌هایی که می‌تواند در تعیین بافت و جرم مخصوص ظاهری خاک مورد استفاده قرار گیرد، فناوری القای الکترومغناطیس<sup>2</sup> است که عمدتاً برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک استفاده می‌شود. از بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه بررسی ارتباط پارامترهای مختلف خاک با داده‌های قرائت شده توسط EM<sub>38</sub> می‌توان به تحقیق سادوث و همکاران (2005) اشاره کرد. آنها با استفاده از دستگاه EM<sub>38</sub> ارتباط هدایت الکتریکی ظاهری (EC<sub>a</sub>) را با خصوصیات خاک در سطح آمریکای شمالی مرکزی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که همبستگی هدایت ظاهری خاک با میزان رس و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در تمامی مناطق و رطوبت خاک، سیلت، شن، کربن ارگانیک در برخی مناطق مورد بررسی بالا است. آنها پیشنهاد کردند که توسعه روابط میان EC<sub>a</sub> و میزان رس و CEC در دامنه گسترده‌ای از شرایط خاکی و اقلیمی عملی است.

همچنین، اشمیزالتر و همکاران (2001) با هدف کالیبراسیون اندازه‌گیری‌های القای الکترومغناطیس، پارامترهای متعددی مانند میزان رس، سیلت، شن و رطوبت خاک را مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که همبستگی (r<sup>2</sup>) هدایت الکتریکی ظاهری با میزان رس و رطوبت خاک به ترتیب 0/31-0/64 و 0/31-0/67 است در صورتی که به طور کلی با میزان سیلت و شن رابطه‌ای ندارد. کِلرُک (2009) نیز نسبت بین قرائت‌های افقی به عمودی دستگاه EM<sub>38</sub> را در جنوب آفریقا محاسبه کرد و ضریب همبستگی پیرسون این نسبت‌ها را با برخی خصوصیات خاک مانند pH، EC<sub>e</sub>، Ca<sup>2+</sup>، Mg<sup>2+</sup>، K<sup>+</sup>، Na<sup>+</sup> و SAR بدست آورد. نتایج وی نشان داد که نسبت قرائت افقی به عمودی با SAR و Ca<sup>2+</sup> به ترتیب با 0/34- و 0/30 دارای بیشترین ضریب همبستگی هستند.

رحیمیان و هاشمی‌نژاد (1389) و چراغی و همکاران (2007) در تحقیقات خود که در باغ‌های پسته منطقه چاه افضل در شمال اردکان در استان یزد انجام گردیده است، از EM<sub>38</sub> برای تهیه نقشه شوری خاک اعماق مختلف در دو قطعه زمین با مساحت‌های 45 و

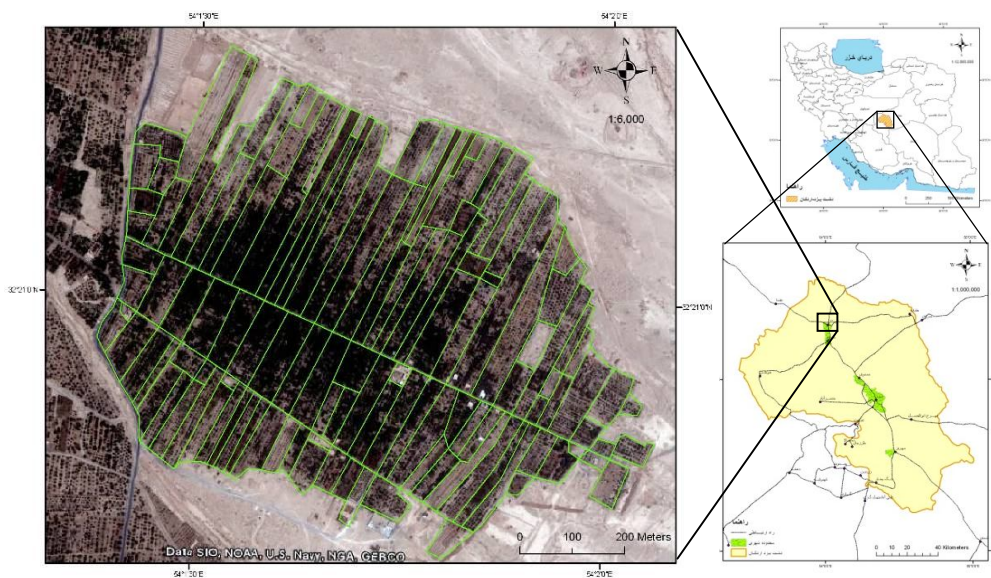
<sup>1</sup> Undisturbed soil sampler

<sup>2</sup> Electromagnetic induction

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در قسمتی از باغات پسته شمال اردکان در استان یزد بین طول‌های جغرافیایی  $54^{\circ} 01' E$  تا  $54^{\circ} 03' E$  و عرض‌های جغرافیایی  $32^{\circ} 20' N$  تا  $32^{\circ} 22' N$  و با وسعت 62 هکتار انجام شده است. شکل 1 نشان‌دهنده موقعیت منطقه مطالعاتی در دشت یزد- اردکان و همچنین تصویر ماهواره‌ای از محدوده مطالعاتی است.

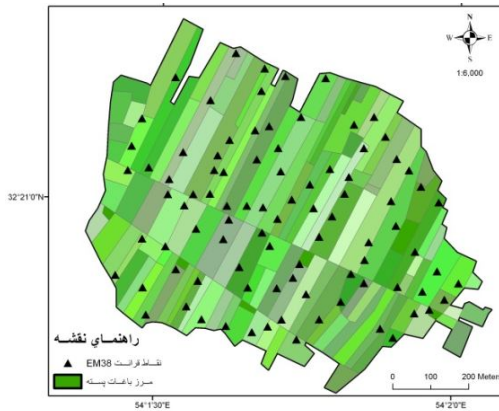
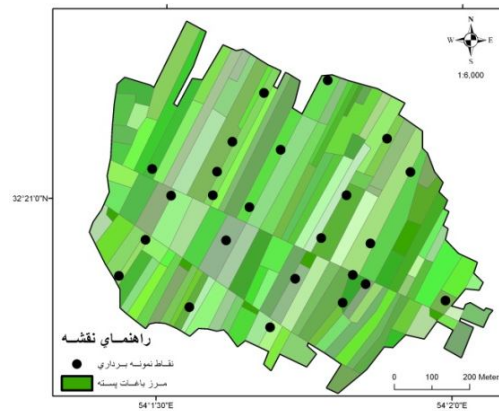
40 هکتار با متوسط درصد رطوبت وزنی 25 و 35 درصد استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که روابط رگرسیونی بین شوری اعماق مختلف خاک و قرائت‌های افقی و عمودی دستگاه مذکور ( $EC_e = f(EM_{10}, EM_v)$ ) در رطوبت وزنی 35 درصد بهتر قابل استخراج بوده و ضرایب  $R^2$  بین  $0/67$  تا  $0/85$  به دست آمد. پژوهش حاضر نیز با هدف بررسی کارایی دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس ( $EM_{38}$ ) در تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند بافت، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک باغات پسته اردکان در استان یزد انجام گردیده است.



شکل 1- موقعیت منطقه مطالعاتی بر روی نقشه دشت یزد- اردکان و تصویر ماهواره‌ای از باغات پسته مورد مطالعه

تهیه و جرم مخصوص ظاهری خاک خشک در هر عمق به صورت جداگانه محاسبه گردید. بنابراین امکان محاسبه درصد رطوبت حجمی اعماق مختلف خاک فراهم شد. مرحله دوم این تحقیق شامل پیمایش منطقه مطالعاتی توسط دستگاه القاءگر الکترومغناطیس مدل  $EM_{38}$  (رودز و همکاران، 1999) می‌باشد که در 90 نقطه انجام شده است. شکل 3 نشان‌دهنده نقشه پراکنش نقاط قرائت شده توسط  $EM_{38}$  است. این نقشه شامل نقاط نمونه‌برداری شده از خاک (شکل 2) و نقاط جدید است.

عملیات زمینی این پژوهش شامل دو مرحله است که به صورت همزمان در تابستان سال 1391 انجام شده است. در مرحله اول با انتخاب 25 نقطه در منطقه مطالعاتی، اقدام به نمونه‌برداری از اعماق مختلف خاک ( $0-30, 30-60, 60-90$  و  $90-120$  سانتی‌متر) به منظور تعیین درصد شن، سیلت، رس، رطوبت وزنی و دمای خاک شده است (شکل 2). دمای اعماق مذکور توسط دماسنج مادون قرمز مدل EXTECH-IR400 و همزمان با نمونه‌برداری‌ها صورت گرفت. همچنین برای تعیین جرم مخصوص ظاهری، نمونه دست‌نخورده از اعماق مختلف خاک ( $0-30, 30-60, 60-90$  و  $90-120$  سانتی‌متر)

شکل 3- پراکنش نقاط قرائت  $EM_{38}$ 

شکل 2- پراکنش نقاط نمونه برداری از اعماق مختلف خاک

میانگین برای عمق‌های مختلف خاک در 25 نقطه نمونه برداری ارائه گردیده است.

جدول 2 نیز ماتریس ضرایب همبستگی ( $r$ ) بین ویژگی‌های فیزیکی خاک اعماق مختلف و قرائت‌های عمودی و افقی دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس ( $EM_{38}$ ) را نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه می‌گردد بیشترین همبستگی‌ها بین قرائت‌های  $EM_{38}$  و درصد رطوبت (وزنی و حجمی) تمامی اعماق خاک و نیز جرم مخصوص ظاهری خاک اعماق 0-30 و 30-60 سانتی‌متری دیده می‌شود. نکته حائز اهمیت اینکه علی‌رغم مطالعات موجود در زمینه بکارگیری این دستگاه در تعیین درصد رس (سادوث و همکاران، 2005، ایشمی‌آلتر و همکاران، 2001)، همبستگی‌های بالایی بین قرائت‌های  $EM_{38}$  و درصد رس و سایر ذرات خاک در اعماق مختلف دیده نشد. هرچند که همبستگی‌های مربوط به درصد رس عمق دوم (30-60 سانتی‌متر) و همچنین درصد شن اعماق اول و دوم (0-30 سانتی‌متر) و 30-60 سانتی‌متر) از نظر آماری معنی‌دار گزارش گردیده است. نظر به قابل توجه بودن همبستگی‌ها برای پارامترهای جرم مخصوص و رطوبت خاک، در این پژوهش اقدام به بررسی روابط رگرسیونی موجود بین این پارامترها و قرائت‌های هدایت‌گر الکترومغناطیس ( $EM_{38}$ ) در وضعیت‌های مختلف فرارگیری دستگاه بر روی زمین (افقی و عمودی) شد. نتایج بررسی‌های آماری در این پژوهش نشان داد که روابط بین قرائت‌های افقی دستگاه  $EM_{38}$  ( $EM_h$ ) و جرم مخصوص اعماق 0-30 و 0-60 سانتی‌متری خاک ( $BD_{0-30}$  و  $BD_{0-60}$ ) معنی‌دارتر از سایر روابط بوده و به صورت زیر قابل ارائه است.

پس از تعیین پارامترهای فیزیکی اعماق مختلف خاک در آزمایشگاه (درصد شن، سیلت، رس و جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک) و اتمام قرائت‌های  $EM_{38}$  در دو وضعیت افقی و عمودی ( $EM_h$  و  $EM_v$ )، اقدام به تحلیل آماری آن‌ها و بررسی همبستگی بین ویژگی‌های خاک و قرائت‌های  $EM_{38}$  شد. بدین منظور داده‌ها به صورت تصادفی به دو دسته آموزش<sup>1</sup> و ارزیابی<sup>2</sup> تقسیم شدند. از 25 نقطه نمونه برداری در سطح منطقه مطالعاتی، 15 نقطه برای مرحله آموزش و تعیین بهترین روابط رگرسیونی انتخاب و 10 نقطه برای ارزیابی و تعیین دقت روابط مذکور کنار گذاشته شدند. روابطی که از نظر آماری معنی‌دار بوده و قادر به تعیین یک یا چند پارامتر خاک به کمک قرائت‌های  $EM_{38}$  بودند، شناسایی و بر روی تمامی نقاط قرائت شده در منطقه مطالعاتی (90 نقطه) اعمال گردیدند تا پارامتر مورد نظر در نقاط نمونه برداری نشده نیز پیش‌بینی شود. سپس با کمک نرم افزار Arc-GIS درون‌یابی پارامتر مورد نظر در این نقاط انجام و نقشه آن‌ها تهیه شد. مقادیر عددی این نقشه‌ها در نقاط مربوط به مرحله ارزیابی (10 نقطه) استخراج و توسط نمایه‌های آماری  $R^2$  و RMSE با مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) مقایسه شد.

### نتایج و بحث

جدول 1 نشان‌دهنده خلاصه آماری ویژگی‌های فیزیکی مورد بررسی در اعماق مختلف خاک منطقه اردکان است. در این جدول مقادیر حداقل، حداکثر و

<sup>1</sup> Train  
<sup>2</sup> Test

جدول 1- خلاصه آماری ویژگی‌های فیزیکی مورد بررسی در اعماق مختلف خاک

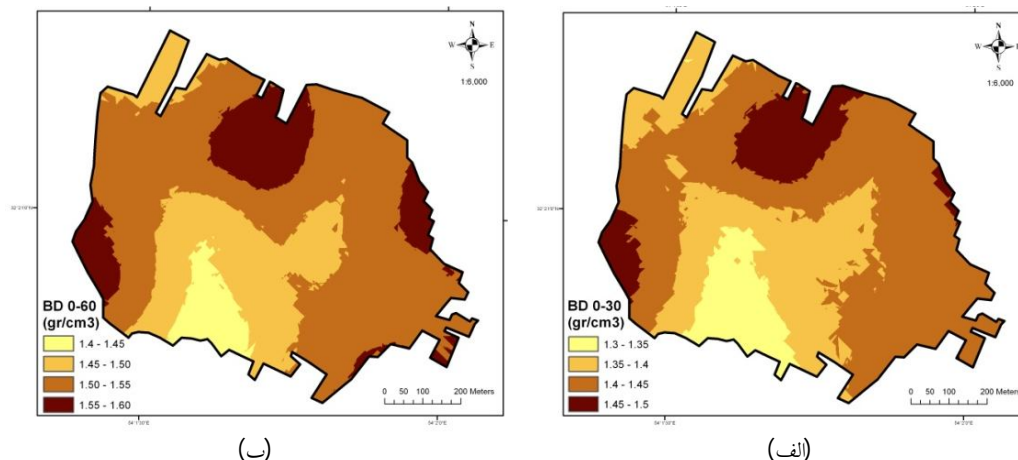
عمق خاک / نام پارامتر	0-30 سانتی متر			30-60 سانتی متر			60-90 سانتی متر			90-120 سانتی متر		
	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل
درصد شن	42/4	50/8	30/4	40/8	49/6	29/4	38/0	58/8	22/8	64/4	24/0	40/4
درصد سیلت	30/8	44/0	22/4	30/1	39/0	18/8	32/0	45/5	15/4	48/4	16/4	32/3
درصد رس	26/8	33/6	21/6	29/1	35/6	25/0	30/0	35/6	20/8	37/6	12/8	27/3
چگالی ظاهری	1/48	1/76	1/30	1/59	1/81	1/49	1/64	1/75	1/44	1/79	1/51	1/69
رطوبت وزنی رطوبت	10/88	18/57	3/91	11/73	17/81	6/98	13/45	19/38	8/44	19/55	10/79	13/86
حجمی	16/30	30/42	6/18	18/84	32/24	10/39	22/02	30/28	13/67	34/21	17/64	23/35
دمای خاک	21/10	32/40	13/60	23/80	29/30	21/20	23/70	28/20	20/90	26/50	20/40	23/30

$$BD_{0-30} = 0.0029 * EM_h + 1.1509 ; (n=15, R^2 = 0.6815) \quad (1)$$

$$BD_{0-60} = 0.0022 * EM_h + 1.2786 ; (n=15, R^2 = 0.6517) \quad (2)$$

بین 1/4 تا 1/6 گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده است. از این پارامتر که بطور عمومی برای خاک‌های شنی تا 1/6 و برای خاک‌های رسی و لوم تا 1/1 گرم بر سانتی‌متر مکعب گزارش شده است (بای‌بوردی، 1382)، برای تعیین تخلخل خاک و تبدیل درصد رطوبت وزنی به حجمی استفاده می‌شود.

با استفاده از این روابط و قرائت‌های نقطه‌ای  $EM_{38}$  جرم مخصوص ظاهری خاک در نقاط فاقد نمونه‌برداری تعیین و سپس درون‌یابی شدند. شکل 4 نشان‌دهنده نقشه‌های جرم مخصوص ظاهری اعماق 0-30 و 0-60 سانتی‌متری خاک است که در نقاط مختلف از منطقه مطالعاتی متفاوت بوده و برای خاک سطحی بین 1/3 تا 1/5 گرم بر سانتی‌متر مکعب و برای خاک عمقی



شکل 4- (الف) نقشه جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق 0-30 و (ب) نقشه جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق 0-60 سانتی‌متری از سطح زمین

جدول 2- ماتریس ضرایب همبستگی (r) بین خصوصیات خاک اعماق مختلف و قرائت‌های دستگاه هدایتگر الکترومغناطیس<sup>+</sup>

	EM_V	EM_H	SAND1	SILT1	CLAY1	SAND2	SILT2	CLAY2	SAND3	SILT3	CLAY3	SAND4	SILT4	CLAY4	BD1	BD2	BD3	BD4	BD12	Temp1	Temp2	Temp3	Temp4	THETA_M1	THETA_M2	THETA_M3	THETA_M4	THETA_V1	THETA_V2	THETA_V3	THETA_V4
EM_V	1	.956**	-.462*	0.296	0.288	-.423*	0.187	.513**	-.231	0.196	0.212	0.077	-.0198	0.129	.787**	.637**	-.0207	-.0297	.769**	-.0046	-.0049	-.0032	0.08	.538**	.773**	.770**	.687**	.618**	.764**	.755**	.617**
EM_H		1	-.437*	0.312	0.23	-.406*	0.226	.434**	-.243	0.195	0.244	0.107	-.0222	0.102	.826**	.671**	-.0184	-.0393	.807**	-.0179	-.0133	-.0072	0.092	.679**	.873**	.832**	.668**	.757**	.860**	.822**	.574**
SAND1			1	-.743**	-.488*	.779**	-.503*	-.749**	0.14	-.0214	0.039	-.0121	0.181	-.0103	-.0394	-.0075	0.239	.535**	-.0279	-.0096	-.0036	0.084	0.087	0.086	-.0171	-.0293	-.0374	0.013	-.0146	-.0254	-.0253
SILT1				1	-.0222	-.613**	.709**	0.206	-.0386	.462*	0.116	-.0217	0.273	0.055	0.232	-.0105	-.0071	-.453*	0.1	-.0047	-.0271	-.0339	-.421*	-.0028	0.172	0.094	0.311	0.022	0.124	0.074	0.194
CLAY1					1	-.0334	-.0193	.822**	0.299	-.0291	-.0208	.458*	-.619**	-.0052	0.27	0.246	-.0255	-.0189	0.278	0.201	.405*	0.318	.422*	-.0088	0.024	0.317	0.139	-.0048	0.052	0.273	0.114
SAND2						1	-.832**	-.734**	0.086	-.015	0.056	-.0128	0.116	0.097	-.0379	0.019	0.151	0.38	-.0228	-.0084	-.0119	-.0068	-.0071	0.109	-.0158	-.0254	-.0357	0.025	-.0121	-.0234	-.0272
SILT2							1	0.234	-.0219	0.258	0.075	-.0115	0.225	-.0089	0.147	-.0236	0.036	-.0228	-.0011	-.0101	-.0153	-.0143	-.0171	-.0067	0.109	0.045	0.278	-.0017	0.049	0.059	0.218
CLAY2								1	0.118	-.0052	-.0191	0.366	-.480*	-.0062	.484*	0.256	-.0308	-.0387	.414*	0.272	.396*	0.294	0.333	-.0109	0.144	0.39	0.266	-.0024	0.153	0.336	0.21
SAND3									1	-.929**	-.768**	.550**	-.527**	-.0378	-.0179	-.0107	.514**	.414*	-.0158	-.027	0.127	0.114	0.22	-.0185	-.0206	-.0223	-.0278	-.0215	-.0196	-.0113	-.0166
SILT3										1	.476*	-.448*	.508**	0.194	0.175	0.114	-.484*	-.412*	0.158	0.244	-.0172	-.0202	-.0304	0.122	0.166	0.216	0.16	0.16	0.116	0.117	
CLAY3											1	-.532**	0.375	.585**	0.127	0.06	-.0381	-.0271	0.106	0.216	-.0004	0.077	0.003	0.231	0.205	0.157	0.271	0.236	0.192	0.071	0.193
SAND4												1	-.901**	-.773**	-.0018	0.011	0.009	0.014	-.0007	0.108	0.299	0.264	0.286	-.0041	0.072	0.154	-.0056	0.045	0.161	-.0234	
SILT4													1	.423*	-.0135	-.0173	-.0012	0.039	-.016	-.0187	-.0378	-.0303	-.0348	0.043	-.009	-.0237	0.187	0.023	-.0097	-.0245	0.183
CLAY4														1	0.236	0.23	-.0001	-.0085	0.248	0.047	-.0072	-.0108	-.0089	0.023	-.002	0.025	0.252	0.084	0.049	0.021	0.222
BD1															1	.775**	-.0289	-.541**	.961**	-.002	0.09	0.108	0.214	.499*	.726**	.702**	.537**	.643**	.764**	.664**	.407*
BD2																1	-.0384	-.0378	.919**	-.0098	0.002	0.036	0.25	.653**	.730**	.736**	.470*	.741**	.819**	.875**	.0372
BD3																	1	-.0298	-.0283	-.0124	-.0209	-.0259	-.0149	-.0157	-.0245	-.0043	0.022				
BD4																		1	-.502*	-.01	-.0105	-.0096	-.012	-.0209	-.0347	-.0288	-.0116	-.0294	-.0374	-.0142	0.127
BD12																			1	-.0055	0.057	0.083	0.242	.596**	.771**	.759**	.540**	.724**	.834**	.709**	.416*
Temp1																				1	.773**	.559**	0.235	-.592**	-.0368	-.0111	-.0239	-.525**	-.0345	-.0217	-.0266
Temp2																					1	.914**	.743**	-.473*	-.0223	0.016	-.0145	-.400*	-.0196	-.006	-.0164
Temp3																						1	.903**	-.0025	-.0045	0.113	0.028	-.0197	-.003	0.044	0.01
Temp4																							1	0.038	0.184	0.327	0.169	0.081	0.211	0.279	0.146
THETA_M1																								1	.886**	.691**	.515**	.981**	.881**	.690**	.460*
THETA_M2																									1	.867**	.654**	.929**	.988**	.853**	.564**
THETA_M3																										1	.753**	.873**	.976**	.823**	
THETA_M4																											1	.561**	.849**	.690**	.970**
THETA_V1																												1	.937**	.747**	.484*
THETA_V2																													1	.849**	.550**
THETA_V3																														1	.856**
THETA_V4																															1

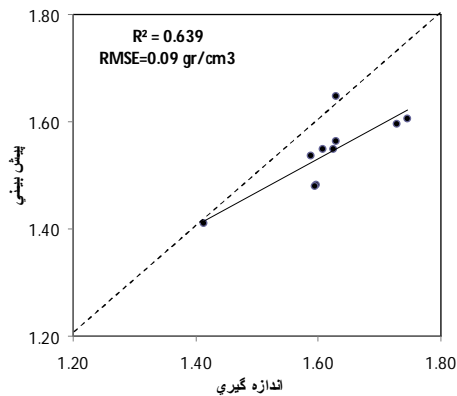
+ اندیس‌های 1، 2، 3، 4 و 12 مربوط به عمق خاک (به ترتیب: 0-30، 30-60، 60-90، 90-120 و 0-60 سانتی‌متر) است، EM\_V و EM\_H به ترتیب نشان‌دهنده قرائت‌های عمودی و افقی دستگاه EM38 می‌باشد، BD چگالی

ظاهری خاک، Temp دمای خاک، THETA\_M و THETA\_V به ترتیب درصد رطوبت‌های وزنی و حجمی خاک است.

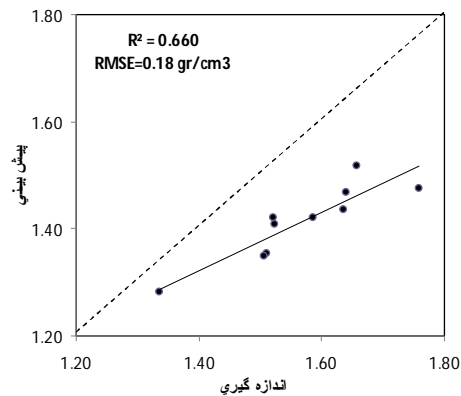
\*\* معنی دار بودن همبستگی‌ها در سطح اطمینان 1 درصد \* معنی دار بودن همبستگی‌ها در سطح اطمینان 5 درصد

مخصوص در دو عمق 0-30 و 30-60 سانتی متری خاک است. اما توجه به مقادیر عددی RMSE این دو نقشه (به ترتیب برابر با 0/18 و 0/09 گرم بر سانتی متر مکعب) و مقایسه با میانگین جرم مخصوص خاک این دو عمق (به ترتیب برابر با 1/48 و 1/53 گرم بر سانتی متر مکعب)، حاکی از ناچیز بودن انحراف از معیار این نقشه‌ها به‌ویژه در عمق 0-60 سانتی متری خاک می‌باشد.

شکل 5 دقت نقشه‌های حاصل از درون‌یابی از طریق مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده جرم مخصوص ظاهری عمق‌های 0-30 و 0-60 سانتی متری خاک را نشان می‌دهد. در این شکل انحراف از معیار پیش‌بینی‌ها نسبت به مقادیر مشاهداتی (خط یک به یک) و نمایه RMSE هر نقشه ارائه گردیده است. نکته حائز توجه در این شکل انحراف مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر مشاهداتی و کم برآورد جرم



(ب)

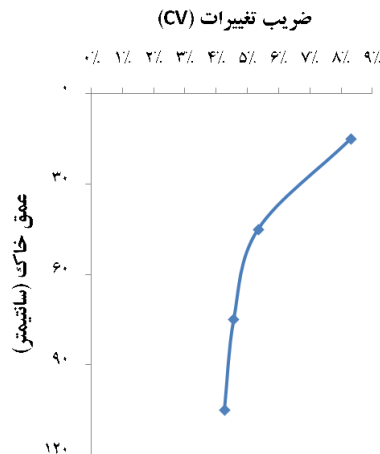


(الف)

شکل 5- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده جرم مخصوص ظاهری خاک عمق‌های (الف) 0-30 و (ب) 0-60 سانتی متری از سطح زمین

یا افزایش درصد رس افزایش می‌یابد (در شکل 4 نیز مشهود است)، اما همانطوری که در این شکل ملاحظه می‌گردد، تغییرات جرم مخصوص خاک با افزایش عمق خاک کاهش یافته است. این کاهش که نشان‌دهنده تثبیت و همگنی خاک لایه‌های زیرین بدلیل انجام نشدن عملیات عمقی خاک‌ورزی در باغات پسته است، جرم مخصوص عمق‌های 60-90 و 90-120 را فاقد تغییرات مکانی معنی‌دار کرده و لذا انتظار می‌رود که با روند تغییرات جرم مخصوص خاک در لایه‌های بالایی خود و همچنین روند قرائت‌های EM<sub>38</sub> هم‌خوانی و ارتباط معنی‌دار آماری نداشته باشد.

یکی از نکات قابل توجه در این تحقیق، عدم دست‌یابی به رابطه رگرسیونی معنی‌دار برای جرم مخصوص ظاهری خاک اعماق 60-90 و 90-120 سانتی متری است، در حالی که بسیاری از منابع علمی عمق موثر نفوذ امواج الکترومغناطیسی دستگاه EM<sub>38</sub> برای سنجش پارامترهای مختلف خاک را تا 1/5 متر عنوان کرده‌اند. برای روشن شدن علت این موضوع اقدام به بررسی تغییرات مکانی جرم مخصوص خاک در اعماق مختلف خاک منطقه مطالعاتی با محاسبه ضریب تغییرات (CV) داده‌های مشاهداتی گردید. شکل 6 ضریب تغییرات مشاهده شده در جرم مخصوص خاک اعماق مختلف را نشان می‌دهد. اگرچه با افزایش عمق خاک، جرم مخصوص ظاهری به دلیل اثر وزن لایه‌های بالایی، کاهش ماده آلی خاک، فشرده‌تر شدن ساختمان خاک و



شکل 6- ضریب تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک منطقه مطالعاتی در اعماق مختلف

می‌گردد، دقت تمامی این معادلات مناسب و از نظر آماری قابل قبول است. متوسط خطای استاندارد (SE) این معادلات حدود 3 درصد حجمی (3 سانتی‌متر بر متر) است.

جدول 3 معادلات تعیین رطوبت حجمی خاک به کمک قرائت‌های عمودی (EM<sub>v</sub>) و افقی (EM<sub>h</sub>) دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس را به همراه دقت هر یک از این معادلات نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه

جدول 3- معادلات تعیین رطوبت حجمی خاک به کمک قرائت‌های عمودی (EM<sub>v</sub>) و افقی (EM<sub>h</sub>) دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس

SE	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	R <sup>2</sup>	R	معادله تعیین رطوبت حجمی	عمق خاک (سانتی‌متر)
3/63	0/694**	0/720**	0/848**	$\theta_v = -0.248 * EM_v + 0.377 * EM_h + 8.553$	0-30
2/65	0/769**	0/788**	0/888**	$\theta_v = -0.119 * EM_v + 0.248 * EM_h + 7.459$	30-60
2/87	0/662**	0/690**	0/831**	$\theta_v = -0.057 * EM_v + 0.169 * EM_h + 10.798$	60-90
3/00	0/745**	0/766**	0/875**	$\theta_v = -0.184 * EM_v + 0.313 * EM_h + 8.011$	0-60
2/51	0/782**	0/800**	0/895**	$\theta_v = -0.142 * EM_v + 0.265 * EM_h + 8.936$	0-90

\*\* معنی دار بودن همبستگی‌ها در سطح اطمینان 1 درصد

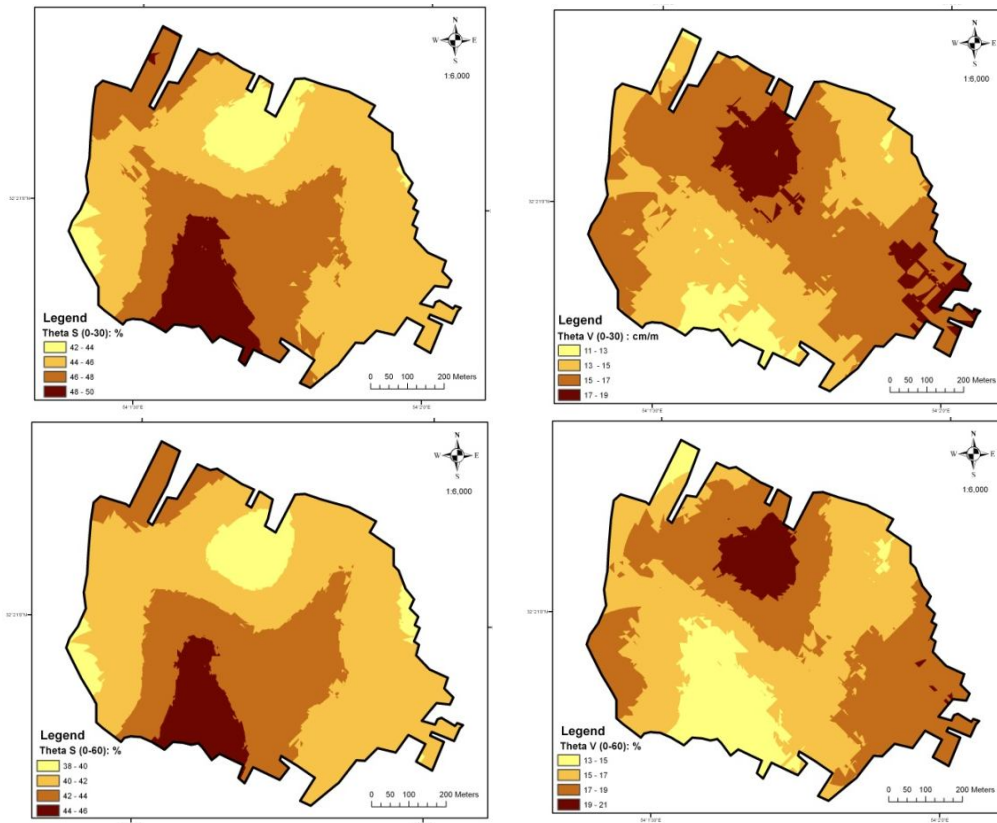
(0-30 سانتی‌متر) کمتر از رطوبت خاک عمقی (0-60 سانتی‌متر) است. همچنین حداقل و حداکثر رطوبت خاک (بین 11 تا 21 درصد حجمی) که به دلیل تفاوت در تاریخ وقوع آبیاری هر ناحیه است، ظرفیت نگهداری رطوبت خاک منطقه مطالعاتی را حدود 100 میلیمتر در هر متر تخمین می‌زند. اگرچه این رطوبت‌ها وابسته به زمان تهیه نقشه و تقدم و تاخر آبیاری‌ها در منطقه مطالعاتی است، اما اهمیت اصلی این نقشه (و همچنین نقشه‌های جرم مخصوص و تخلخل) در روش، زمان و هزینه‌ای است که صرف تهیه آن شده است. تهیه نقشه‌های رطوبت حجمی، جرم مخصوص و تخلخل

با مشخص بودن جرم مخصوص ظاهری ( $\rho_b$ ) و ثابت در نظر گرفتن چگالی واقعی ذرات خاک ( $\rho_s = 2.6 \text{ gr/cm}^3$ )، به کمک رابطه  $n = \theta_s = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$  می‌توان تخلخل ( $n$ ) یا رطوبت اشباع خاک ( $\theta_s$ ) هر نقطه را بدست آورد و نقشه آنرا ترسیم نمود. شکل 7 نقشه‌های رطوبت حجمی ( $\theta_v$ ) و رطوبت اشباع ( $\theta_s$ ) در لایه‌های 0-30 و 0-60 سانتی‌متری خاک را نشان می‌دهد. همانطوری که در این شکل ملاحظه می‌گردد، درصد رطوبت خاک در نواحی جنوب و شمال‌شرق منطقه مطالعاتی کمتر از سایر نواحی است و نیازمند آبیاری مجدد است. علاوه بر این، رطوبت لایه سطحی



نمونه‌برداری مستقیم از خاک برای پهنه‌بندی‌ها معرفی نماید.

خاک برای یک منطقه 62 هکتاری در کمتر از یک روز کاری، می‌تواند روش مذکور را جایگزین مناسب



شکل 7- نقشه‌های رطوبت حجمی ( $\theta_v$ ) و رطوبت اشباع ( $\theta_s$ ) در لایه 0-30 و 0-60 سانتی متری خاک

دستگاه هدایت‌گر الکترومغناطیس ( $EM_{38}$ ) - که عمدتاً در پایش شوری خاک در عرصه‌های وسیع کاربرد دارد. قابلیت‌های مناسبی در تعیین رطوبت حجمی، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک دارد. مهمترین مزیت استفاده از این دستگاه در تعیین ویژگی‌های مذکور، سرعت پیمایش‌ها و قرائت‌های انجام شده توسط این دستگاه است (پایش 62 هکتاری منطقه مطالعاتی در کمتر از یک روز کاری) که از نظر زمان صرف شده برای تهیه نمونه دست‌نخورده خاک صرفه‌جویی زیادی را به دنبال دارد.

از مزایای دیگر این روش قابلیت تعیین ویژگی‌های مذکور در لایه‌های زیرین خاک (حداکثر تا 90 سانتیمتر) بدون تماس مستقیم و یا تخریب خاک است که نسبت به سایر روش‌های موجود متمایز است. بر خلاف نتایج مطالعات دیگر، ارتباط آماری قوی و معنی‌دار بین قرائت‌های این دستگاه با دمای خاک، درصد رس، سیلت و شن (باستثنای درصد رس

بر اساس نقشه‌های رطوبت اشباع (تخلخل) اعماق مختلف خاک، حداقل و حداکثر تخلخل خاک در منطقه مطالعاتی بین 38 تا 50 درصد متغیر بوده و به ترتیب در شمال و جنوب منطقه مطالعاتی مشاهده شده است. این پارامتر که معرف حجم خلل و فرج موجود در خاک است، در خاک‌های مختلف و بطور عمومی بین 0/3 تا 0/6 نوسان می‌کند (بای‌وردی، 1382). خلل و فرج خاک در جذب آب و هوا و انتقال آن‌ها، گسترش ریشه‌ها، هدایت حرارتی و قدرت ساختمانی خاک اهمیت فراوانی داشته (بای‌وردی، 1382) و تعیین کم‌هزینه و سریع این پارامتر (به‌ویژه در خاک‌های رسی که مرتباً در حال تغییر است) به مدیریت مناسب‌تر خاک‌های کشاورزی منطقه مطالعاتی کمک خواهد نمود.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اجرای این پژوهش نشان داد که:

عمق دوم و درصد شن اعماق اول و دوم) بدست نیامد. بنابراین ضمن پیشنهاد انجام تحقیقات بیشتر و کنکاش در مورد علل این موضوع، می‌توان گفت که روابط و نتایج بدست آمده توسط این دستگاه در شرایط خاک محدوده مطالعاتی (از نظر عملیات خاک‌ورزی و مدیریتی، نوع و میزان کوددهی و غیره) اعتبار دارند و قابل تعمیم به سایر شرایط و مناطق نیستند.

### فهرست منابع:

1. بای‌وردی، م.؛ 1382. فیزیک خاک، ویرایش دوم، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران، ص. 523.
2. خورسندی، ف.؛ وزیری، ژ. و عزیززهان، ع.؛ 1389. شورورزی، استفاده پایدار از منابع آب و خاک شور در کشاورزی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، 336 ص.
3. دستورانی، م. ت.؛ صادق‌زاده، م. ع. و حشمتی، م.؛ 1387. بررسی کارایی آبیاری زیرسطحی در میزان رشد و تولید درختان پسته، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک، 47-35: (1) 22.
4. دهقانی، ف. و گلشن، م.؛ 1380. مدیریت منابع آب و خاک شور باغات پسته شمال اردکان (ارزیابی وضع موجود). گلشن، م. و م. میراب‌زاده (ویراستار). مجموعه مقالات جشنواره پسته. (صفحه 32 - 48). اردکان، ایران.
5. رحیمیان، م. ح. و هاشمی‌نژاد، ی.؛ 1389. واسنجی دستگاه القاءگر الکترومغناطیس (EM38) برای ارزیابی شوری، پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد 24، شماره 3، صفحات 252-243.
6. سازمان جهاد کشاورزی استان یزد؛ 1390. اطلاعات آماری، گزارش محصولات باغی، محصول پسته، سایت [www.yazd.agri-jahad.ir](http://www.yazd.agri-jahad.ir) بازبینی شده در 02-10-2012.
7. سیاری، ن.؛ قهرمان، ب. و داوری، ک.؛ 1386. بررسی توزیع رطوبت خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) در باغ‌های پسته (مطالعه موردی: اراضی رفسنجان با آب‌های شور)، پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، 77-65: (3) 7.
8. صداقتی، ن.؛ محمدی محمدآبادی، ا. و حسینی‌فرد، س. ج.؛ 1387. بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر روی زود خندانی پسته رقم اوحدی، پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، 158-149: 78.
9. کافی، م.؛ صالحی، م. و عشقی‌زاده، ح.؛ 1389. کشاورزی شورزیست: راهبردهای مدیریت گیاه، آب و خاک، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، 380 ص.
10. هاشمی‌نیا، م.؛ کوچکی، ع. و قهرمان، ب.؛ 1376. بهره‌برداری از آب‌های شور در کشاورزی پایدار، (ترجمه و تدوین)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، 236 ص.
11. Cheraghi, S.A.M., Y. Hasheminejhad and M.H. Rahimian. 2007. An Overview of salinity problem in Iran: Assessment and Monitoring technology. First expert consultation on "Advances in Assessment and Monitoring of Salinization for Managing Salt-affected Habitats" of the Global Network on Salinization Prevention and Productive Use of Salt-affected Habitats (SPUSH) and Meeting on the Status and Progress of Biosaline Agriculture of the Inter-Islamic Network on Biosaline Agriculture. Dubai, UAE.
12. Clercq, I.W. 2009. Space-time Variability of soil salinity in irrigated vineyards of South Africa, PhD Thesis, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, 209 pp.
13. Holecek, J.L., Pieper, R.D. and Herbal, C.H., 1998. Range management, Principles and practices 3th, Prentice Hall, Inc, pp: 542.

14. Rhoades, J. D., Corwin, D. L. and Lesch, S. M., 1999. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. p. 197-215.
15. Schmidhalter, U., A. Zintel and E. Neudecker. 2001. Calibration of electromagnetic induction measurements to survey the spatial variability of soils. Conference Precision Agriculture, Montpellier, 479-484.
16. Sudduth, K.A., N.R. Kitchen, W.J. Wiebold, W.D. Batchelor, G.A. Bollero, D.G. Bullock, D.E. Clay, H.L. Palm, F.J. Pierce, R.T. Schuler, K.D. Thelen. 2005. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA, Computers and Electronics in Agriculture, 46: 263-283.
17. USDA Natural Resources Conservation Service, 2008. Soil Quality Indicators, Bulk Density, 2 pp, from [www.soils.usda.gov](http://www.soils.usda.gov), retrieved, 2012-10-02.