

ارتباط بین ویژگی‌های مغناطیسی و برخی خصوصیات خاک در رژیم‌های مختلف رطوبتی در استان گلستان

مرتضی والا^۱ - شمس‌الله ایوبی^{۲*} - حسین خادمی^۳ - فرهاد خرمالی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۹

چکیده

از بین عوامل خاک‌سازی، اقلیم نقش اساسی را ایفا می‌کند. بررسی رابطه بین پذیرفتاری مغناطیسی و خصوصیات خاک با رژیم‌های رطوبتی مختلف می‌تواند تغییرات مشخصه‌های خاک‌های مورد مطالعه که تحت تأثیر اقلیم و رژیم رطوبتی بوده است را مشخص نماید. این تحقیق در چهار رژیم رطوبتی مختلف یودیک، زیریک، اریدیک و آکوییک در یک برش اقلیمی در منطقه گرگان با مواد مادری یکسان لسی صورت گرفت. در هر رژیم ۲۵ خاکرخ و در مجموع ۱۰۰ خاکرخ حفر و تشریح شدند. در نهایت از بخش کنترل رطوبتی خاکرخ‌ها برای آزمایش‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد رژیم رطوبتی خاک باعث تفاوت‌های قابل توجهی در خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌ها شده است. از رژیم رطوبتی اریدیک به سمت رژیم رطوبتی یودیک، خاک‌ها از درجه تکامل خاکرخ، تنوع افق‌ها و افزایش مواد آلی برخوردار می‌باشند. نتایج نشان داد که تکامل بیشتر خاک در نتیجه تأثیر عوامل خاک‌ساز به ویژه اقلیم، عامل مهمی در تغییرات میزان اکسیدهای مغناطیسی آهن فری‌مگنتیک از نوع پدوژنیک بوده است. در رژیم رطوبتی یودیک بارندگی علاوه بر افزایش میزان سرعت هوازدگی، موجب آزادسازی بیشتر ترکیبات آهن و افزایش نسبی آنها در نیمرخ خاک می‌گردد، که باعث افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌ها می‌شود. در رژیم رطوبتی آکوییک به دلیل وجود حالت اشباع، انحلال مواد معدنی مغناطیسی نظیر مگنتیت و مگهمیت صورت گرفته است که متعاقباً سبب کاهش پذیرفتاری مغناطیسی خاک شده است. حداکثر پذیرفتاری مغناطیسی در رژیم رطوبتی یودیک و حداقل در رژیم رطوبتی آکوییک مشاهده شد. در مجموع رابطه نزدیکی بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک با رژیم رطوبتی خاک و پذیرفتاری مغناطیسی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، اقلیم، پذیرفتاری مغناطیسی، رژیم رطوبتی خاک، لس

مقدمه

حاصلخیزی (FCC^۵)، رژیم رطوبتی خاک یکی از پارامترها می‌باشد، به طوری که در این روش ارزیابی اراضی از رژیم رطوبتی به عنوان کیفیتی در قابلیت دسترسی به رطوبت، قابلیت دسترسی به اکسیژن و دسترسی به عناصر غذایی استفاده می‌گردد (۲).

خرمالی و همکاران (۱۵) نشان دادند که رژیم‌های رطوبتی خاک می‌توانند روی خصوصیات خاک تأثیر بگذارند، به طوری که اندازه و فراوانی بلورهای کلسیت و پوشش‌ها از رژیم اریدیک به زیریک افزایش یافته است و سپس در خاک‌های با رژیم یوستیک کاهش می‌یابد. علاوه بر این رژیم‌های رطوبتی نیز می‌توانند روی تکامل و تحول خاک تأثیرگذار باشند.

پذیرفتاری مغناطیسی یا قابلیت مغناطیسی شدن، کمیتی است که میزان مغناطیسه شدن یک جسم در یک میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد (۶). مولینز (۱۸) نشان داد که اندازه‌گیری پذیرفتاری

رژیم رطوبتی خاک عاملی در تشکیل خاک و حاصلخیزی است (۹). در تنظیم رژیم رطوبتی، خلل و فرج خاک پر شده از هوا بسیار اهمیت دارد و نیز برای حفظ حیات گیاهان و فعالیت طبیعی ریزموجودات نیاز است (۳). رژیم‌های رطوبتی خاک نقش ویژه‌ای را در مسائل رده‌بندی، طبقه‌بندی و نقشه‌برداری خاک و مسائل مدیریتی و ارزیابی خاک ایفا می‌کنند. رژیم‌های رطوبتی در سیستم Soil Taxonomy اهمیت زیادی در رده‌بندی خاک دارد ولی در سیستم WRB رژیم رطوبتی نقش چندانی ندارد. در ارزیابی خاک‌ها به روش

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادان گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*) نویسنده مسئول: Email: ayoubi@cc.rut.ac.ir

۴- استاد گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجموع افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌ها می‌گردد (۸، ۲۱). در طی چند دهه گذشته در مورد توزیع پذیرفتاری مغناطیسی مطالعاتی صورت گرفته است ولی تا به حال در کشور ما سابقه‌ای در خصوص ارتباط بین رژیم‌های رطوبتی خاک و پذیرفتاری وجود ندارد. لذا این تحقیق در یک برش اقلیمی از منطقه مرطوب به سمت خشک در چهار رژیم رطوبتی مختلف یودیک، زیریک، اریدیک و آکوییک (به صورت موضعی در شرایط ماندابی) واقع در منطقه گرگان استان گلستان طراحی گردید تا رابطه بین پذیرفتاری مغناطیسی و خصوصیات خاک در رژیم‌های رطوبتی مختلف را بررسی نماید.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل ردیفی اقلیمی-ارضی^۲ است که از ارتفاعات مرطوب جنوب گرگان تا منطقه خشک شمال استان ادامه دارد. منطقه مورد مطالعه بین عرض‌های شمالی ۱۰° ۴۶' ۳۶" تا ۲۸° ۲۶' ۳۷" و طول‌های شرقی ۳۱° ۲۹' ۵۴" تا ۴۷° ۱۲' ۵۵" قرار گرفته است. محدوده به صورتی انتخاب شده که بتواند چهار رژیم رطوبتی یودیک، زیریک، اریدیک و آکوییک را در برگیرد (شکل ۱). در منطقه مورد مطالعه میانگین سالانه درجه حرارت از ۱۲/۴ تا ۱۹/۴ درجه سانتی‌گراد متغیر است. میانگین بارش سالانه بین ۲۳۰ میلی‌متر در منطقه اینچه‌برون (رژیم رطوبتی اریدیک و آکوییک) تا ۷۳۲ میلی‌متر در ارتفاعات توسکستان (رژیم رطوبتی یودیک) و مقدار تبخیر در محدوده بین ۸۶۴ میلی‌متر تا ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال تغییر می‌کند. مواد مادری منطقه مورد مطالعه یکسان و شامل مواد لسی و شبه لسی می‌باشد.

نمونه‌برداری

در منطقه مورد مطالعه در طول یک برش شمال-جنوب نمونه‌برداری صورت گرفت. در منطقه به صورت تصادفی و براساس وجود چهار رژیم رطوبتی مختلف، در هر رژیم ۲۵ نقطه انتخاب شده و به صورت خاک‌رخ یا اوگر حفر شده و با استفاده از راهنمای استاندارد خاک^۳ تشریح شده است. در مجموع ۱۰۰ خاک‌رخ و ۳۱۰ نمونه خاک تهیه شد در هر پروفیل بخش کنترل رطوبتی مشخص شد و جهت تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه منتقل گردید. پس از تعیین ویژگی‌های خاک در کل خاک‌رخ، مقدار هر پارامتر در بخش کنترل رطوبتی به روش میانگین وزنی محاسبه شد (میانگین وزنی مقدار با عمق خاک) و در محاسبات بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

مغناطیسی یک روش سریع، غیرمخرب، ساده و ارزان می‌باشد که در دامنه گسترده‌ای از مطالعات مربوط به خاک و سنگ کاربرد دارد. پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس‌های پایین و بالا قابل اندازه‌گیری است. از دیگر عوامل بررسی شده در این روش، عامل پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس است. این پارامتر با کانی‌های فرومغناطیس ثانویه که به علت افزایش خاصیت مغناطیسی پدید می‌آیند، کنترل می‌شود و همچنین برای ارزیابی حلقه‌های پسماند اصلی و فرعی نمونه‌های خاک، پسماند مغناطیسی اشباع (SIRM)^۱ در شدت میدان ۱۰۰۰ میلی‌تسلا و پسماند مغناطیسی در شدت ۱۰۰ میلی‌تسلا (IRM+۱۰۰) اندازه‌گیری می‌شود. پسماند مغناطیسی اشباع در تمام ذرات که دارای پسماند مغناطیسی هستند، وجود دارد. کانی‌های فرومغناطیسی حتی در غلظت‌های بسیار پایین در ایجاد پسماند مغناطیسی در خاک اهمیت دارند (۴).

پذیرفتاری مغناطیسی خاک‌ها از ذرات مگنتیت در اندازه شن ریز و مگهمیت در اندازه‌ی رس ناشی می‌شود، البته این ویژگی می‌تواند به واسطه‌ی فرآیندهای جابجایی و بیوژئوشیمیایی در افق‌های خاک کم و زیاد شود (۸). مگنتیت و مگهمیت مهمترین کانی‌های ایجاد کننده پذیرفتاری مغناطیسی هستند و اکسیدهای آهن هیدرات نظیر گوتیت که بیشترین اکسید آهن در زمین است و همچنین هماتیت که اکسید آهن غالب در خاک‌های مناطق حاره است، نقش کوچکی در پذیرفتاری مغناطیسی خاک دارند (۲۳).

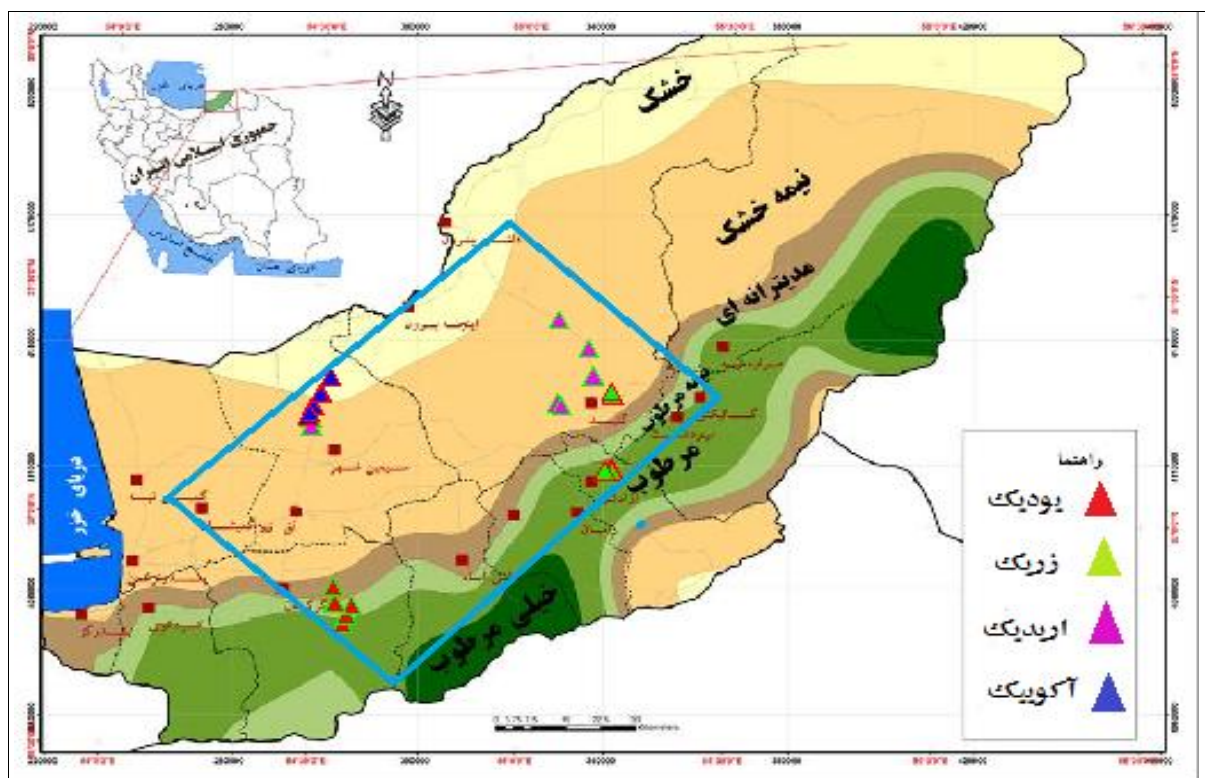
ترابی گل سفیدی و کریمیان اقبال (۲۴) از مطالعه خاک‌های دو منطقه سراوان و تنکابن در استان گیلان نتیجه گرفتند که پذیرفتاری مغناطیسی متأثر از اقلیم و تکامل خاک است. گریملی و همکاران (۱۲) عنوان کردند که خاک‌های با زهکشی خوب معمولاً دارای پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری نسبت به خاک‌های با زهکشی ضعیف (آکوییک) بوده‌اند. شرایط بی‌هوازی منجر به عدم تبدیل کانی‌های پارامگنتیت و کنتد فرو مگنتیت (لپیدوکروسایت و گوتیت) به کانی‌های فری‌مگنتیت (مگنتیت و مگهمیت) می‌شود.

اولیایی و همکاران (۲۰) در مطالعه‌ای که در مورد توزیع پذیرفتاری مغناطیسی و ارتباط آن با ترکیبات آهن در خاک‌های استان فارس داشتند نتیجه گرفتند که خاک‌های با زهکشی ضعیف و نسبتاً ضعیف دارای پذیرفتاری مغناطیسی به مراتب کمتری نسبت به خاک‌های با زهکشی مناسب بوده است.

افزایش بارندگی (رطوبت) علاوه بر افزایش میزان سرعت هوازدگی و آبشویی مواد، موجب آزادسازی بیشتر ترکیبات آهن از ساختار کانی‌ها و افزایش نسبی آنها در خاک‌رخ می‌گردد، به علاوه بیشتر بودن بارندگی موجب افزایش تراکم پوشش گیاهی و ازدیاد فعالیت میکرو ارگانسیم‌ها و تشکیل بیشتر کانی‌های فرومگنتیت و در

2-Territorial
3- Soil Survey Staff, 2010

1-Saturated Isothermal Remnant Magnetization



شکل ۱- محل حفار پروفیل‌ها و نقاط مشاهداتی در منطقه مورد مطالعه در رژیم‌های رطوبتی مختلف
Figure 1- Spatial situbtion of studied profiles in four selected soil moisture regimes

مغناطیسی اشباع^۴ (SIRM) و پسماند مغناطیسی در شدت میدان مغناطیسی ۱۰۰ میلی‌تسلا^۵ (IRM+۱۰۰) در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شدند (۱۴). خصوصیات SIRM و IRM_{100mT} در دانشگاه زنجیانگ چین اندازه‌گیری شدند.

تجزیه‌های آماری

با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16، تجزیه آماره‌های توصیفی میانگین، حداقل، حداکثر، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی، استخراج و آزمون نرمال بودن توزیع فراوانی این ویژگی‌ها با استفاده از آزمون معنی‌دار شدن چولگی ارزیابی شدند (۲۶). داده‌هایی که توزیع فراوانی نرمال نداشتند به روش کاکس و باکس تبدیل شدند و سپس آزمون همبستگی و رگرسیون بین خصوصیات مختلف انجام شد.

مطالعات آزمایشگاهی

آزمایش‌های فیزیکی شامل اندازه‌گیری درصد شن، سیلت و رس به روش هیدرومتر و با استفاده از هگزامتافسفات سدیم انجام گردید (۱۴). آزمایش‌های شیمیایی شامل اندازه‌گیری pH در عصاره ۱:۲، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع، آهک به روش تیتراسیون برگشتی اسید کلریدریک یک نرمال باقیمانده توسط سود نیم نرمال انجام شد (۵). ماده آلی به روش اکسیداسیون مرطوب انجام شد (۱۹). اندازه‌گیری آهن به طوری که ترکیبات آهن متبلور، بی‌شکل و آلی بوسیله عصاره‌گیری توسط سترات بی‌کربنات دی‌تیونات (Fe_d) و میزان اکسید آهن بی‌شکل توسط اگزالات آمونیوم (Fe_o) اندازه‌گیری شد (۱۳). ویژگی‌های مغناطیسی شامل پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین^۱ (If)، پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا^۲ (hf)، پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس^۳ (fd)، پسماند

4-Saturation Isothermal Remanent Magnetization(at the field 1000 mT)

5- Isothermal Remanent Magnetization

1- Low Frequency Magnetic Suseptibility

2-High Frequency Magnetic Suseptibility

3-Dependent Frequency Magnetic Suseptibility

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

توصیف آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

جدول ۱- توصیف آماری برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در بخش کنترل رطوبتی در رژیم‌های رطوبتی مختلف، پروفیل‌های مورد

بررسی، n=۲۵

Table 1- Statistical description of some physicochemical properties in soil moisture control section in different soil moisture regimes, n=25

متغیر Variable	واحد Unit	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max	انحراف معیار SD	ضریب تغییرات CV	چولگی Skewness	کشییدگی Kurtosis	تست نرمالیت K-S
یودیک (Udic)									
pH	-	7.64	6.91	7.99	0.241	3.14	-0.972	1.75	0.221
SOM	(%)	1.63	0.201	3.24	0.918	75.2	0.081	-1	0.254
Fe _o	(%)	0.071	0.022	0.244	0.051	71.4	2.25	5.22	0.003
Fe _d	(%)	0.562	0.271	1.27	0.253	44.6	1.17	0.866	0.093
Fe _d -Fe _o	(%)	0.483	0.256	1.19	0.232	47.9	1.47	2.11	0.082
Fe _o /Fe _d	(%)	0.145	0.055	0.312	0.061	42.8	0.821	0.571	0.191
Clay	(%)	28.6	6	40	8.92	31.1	-1	0.217	0
Silt	(%)	49.8	28	63	1.02	2.04	-1.12	0.214	0.062
Sand	(%)	20.3	6	57	10.5	7.76	1.62	1.33	0.002
زریک (Xeric)									
pH	-	7.71	7.31	8	0.189	2.32	0.636	-0.059	0.245
SOM	(%)	1.98	0.551	5.23	1.45	73.7	1	-0.054	0.001
Fe _o	(%)	0.065	0.032	0.118	0.026	33.3	0.228	-1.46	0.021
Fe _d	(%)	0.372	0.221	0.523	0.089	21.6	-0.162	-1.15	0.171
Fe _d -Fe _o	(%)	0.345	0.197	0.431	0.064	20	0.014	-1	0.223
Fe _o /Fe _d	(%)	0.169	0.098	0.328	0.055	31.2	0.816	0.243	0.021
Clay	(%)	28.7	18	40	6.08	21.1	0.069	-0.436	0.212
Silt	(%)	60.8	51	71	5.48	9	0.155	-1	0.223
Sand	(%)	10.4	3	18	3.27	31.4	-0.178	0.548	0.201
اریدیک (Aridic)									
pH	-	8.04	7.93	8.17	0.067	0.712	0.213	-0.461	0.211
SOM	(%)	0.291	0.051	1.27	0.222	75.8	3.62	15.9	0
Fe _o	(%)	0.031	0.022	0.071	0.011	33.3	0.557	-0.711	0.011
Fe _d	(%)	0.204	0.071	0.381	0.099	45	0.424	-0.862	0.212
Fe _d -Fe _o	(%)	0.261	0.042	0.322	0.073	43.7	0.269	-0.973	0.211
Fe _o /Fe _d	(%)	0.211	0.081	0.411	0.088	40	1.53	2.82	0.091
Clay	(%)	13.2	3	24	5.44	41	0.533	-0.136	0.213
Silt	(%)	75.8	65	87	6.64	8.81	0.362	-0.977	0.213
Sand	(%)	11.6	4	24	6.27	53.8	0.463	-0.913	0.234
آکوییک (Aquic)									
pH	-	7.94	7.63	8.15	0.133	1.60	-0.961	0.851	0.081
SOM	(%)	0.212	0.011	0.511	0.111	55.00	0.633	0.892	0.221
Fe _o	(%)	0.061	0.033	0.111	0.011	16.60	0.044	-0.021	0.127
Fe _d	(%)	0.161	0.136	0.422	0.077	26.90	-0.011	-0.533	0.212
Fe _d -Fe _o	(%)	0.234	0.099	0.398	0.077	35.00	0.512	0.165	0.211
Fe _o /Fe _d	(%)	0.243	0.071	0.456	0.075	29.10	0.173	0.811	0.223
Clay	(%)	9.48	4.00	16.00	3.62	38.20	-0.002	-1.17	0.210
Silt	(%)	80.1	71.00	88.00	4.58	5.71	-0.008	-0.322	0.212
Sand	(%)	10.2	3.00	20.00	4.53	44.40	0.394	-0.531	0.211

OC: ماده آلی، EC: هدایت الکتریکی، pH: فعالیت یون هیدروژن، CCE: کربنات کلسیم معادل، Fe_d: غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات، Fe_o: غلظت آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات، Fe_d-Fe_o: تفاضل غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات از آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات، Fe_o/Fe_d: نسبت غلظت آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات به غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات، Clay: درصد رس، Silt: درصد سیلت، sand: درصد شن.

دارای میانگین ۵۷/۷، ۳۲/۶ و ۲۹/۲ می‌باشد. بنابراین پذیرفتاری مغناطیسی به ترتیب رژیم رطوبتی یودیک <زریک> اریدیک <آکویک> کاهش می‌یابد.

فریچن و همکاران (۱۰) مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین را بیشتر بین عدد ۱۰ و ۱۰۰ و بیشترین مقدار را در افق آرجیلیک که متکامل تر است گزارش دادند. پذیرفتاری مغناطیسی به ترتیب رژیم رطوبتی یودیک <زریک> اریدیک <آکویک> کاهش می‌یابد. پسماند مغناطیسی اشباع و پسماند مغناطیسی در میدان ۱۰۰ میلی تسلا به ترتیب دارای میانگین ۳۴۴۵/۹ و ۲۳۲۱ (A m² kg⁻¹) می‌باشد. احمدی (۱) برای پسماند مغناطیسی اشباع و پسماند مغناطیسی در میدان ۱۰۰ میلی تسلا به ترتیب ۴۰۵۲/۸۴ و ۳۴۲۲/۱۰ (A m² kg⁻¹) گزارش داد. مختاری کارچگانی (۱۷) برای پسماند مغناطیسی اشباع، مقدار ۴۸۰۰ (A m² kg⁻¹) را گزارش داد.

همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مغناطیسی خاک

نتایج آنالیز همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مغناطیسی خاک در جدول ۳ ارائه شده است. از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی که با ویژگی‌های مغناطیسی ارتباط معنی‌داری نشان می‌دهند، می‌توان به درصد آهک، ماده آلی، غلظت آهن فعال عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات، درصد رس، درصد سیلت و نسبت غلظت آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات به غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات اشاره کرد. بین پارامترهای مختلف پذیرفتاری مغناطیسی با ماده آلی، درصد کربنات کلسیم، درصد سیلت و نسبت غلظت آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات به غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات همبستگی منفی و معنی‌داری وجود دارد. وجود همبستگی منفی بین پذیرفتاری مغناطیسی با ماده آلی و درصد کربنات کلسیم به این علت است که هر چه کربنات کلسیم و ماده آلی در خاک افزایش یابد اکسیدهای آهن کاهش می‌یابند. احمدی (۱) بیان کرد بین پذیرفتاری مغناطیسی با درصد کربنات کلسیم همبستگی منفی وجود دارد. بین پارامترهای مختلف پذیرفتاری مغناطیسی با درصد رس، غلظت آهن فعال عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات و تفاضل غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات از آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات همبستگی مثبت معنی‌داری وجود دارد. با افزایش مقدار رس و آهن Fe_d، مقدار پذیرفتاری مغناطیسی افزایش یافته است. احمدی (۱) گزارش داد که بین پسماند مغناطیسی اشباع با مقدار آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات (۰/۸۲) همبستگی مثبت وجود دارد.

ضریب تغییرات که معیاری از تغییرپذیری نسبی است در مورد pH کمترین و در مورد ماده آلی بیشترین می‌باشد. در این رابطه پازگنزالز و همکاران (۲۲)، لویزگرانادوز و همکاران (۱۶) نیز در مورد pH کمترین ضریب تغییرات را در بین خصوصیات خاک بدست آورده‌اند. رژیم رطوبتی یودیک و زریک (آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات) بیشتری نسبت به رژیم رطوبتی اریدیک و آکویک داشتند، همچنین پارامتر Fe_d-Fe_o در رژیم رطوبتی یودیک بیشتر از دیگر رژیم‌های رطوبتی می‌باشد، که دلیل آن به تکامل بیشتر خاک در رژیم رطوبتی یودیک و زریک نسبت به اریدیک و آکویک برمی‌گردد. اولیایی و همکاران (۲۰) رابطه مثبت و معنی‌داری (p<0.01) میان آهن پدوژنیک متبلور (Fe_d-Fe_o) و پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌ها مشاهده کردند.

شاخص (Fe_d-Fe_o) بیانگر میزان آهن متبلور با (منشاء پدوژنیک) می‌باشد (۲۵). نسبت Fe_o/Fe_d در رژیم رطوبتی آکویک بیشتر از رژیم‌های رطوبتی دیگر می‌باشد که به دلیل شرایط احیایی رژیم رطوبتی آکویک می‌باشد. نسبت Fe_o/Fe_d معیاری از اکسیدهای آهن فعال (Fe⁺²) در خاک‌ها می‌باشد (۲۵).

توصیف آماری ویژگی‌های مغناطیسی خاک

آماره‌های توصیفی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منطقه مطالعاتی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مقدار پارامترهای پذیرفتاری مغناطیسی در رژیم رطوبتی یودیک و کمترین مقدار مربوط به رژیم رطوبتی آکویک می‌باشد. بارندگی به ترتیب رژیم رطوبتی اریدیک > زریک > یودیک افزایش می‌یابد. افزایش بارندگی (رطوبت) علاوه بر افزایش میزان سرعت هوادیدگی و آشوبی مواد، موجب آزادسازی بیشتر ترکیبات آهن از ساختار کانی‌ها و افزایش نسبی آنها در نیمرخ خاک می‌گردد، به علاوه بیشتر بودن بارندگی موجب افزایش تراکم پوشش گیاهی و ازدیاد فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تشکیل بیشتر کانی‌های فرومگنتیت و در مجموع افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌ها می‌گردد (۷).

گرملی و همکاران (۱۲) عنوان کردند که خاک‌های با زهکشی خوب معمولاً دارای پذیرفتاری مغناطیسی بیشتری نسبت به خاک‌های با زهکشی ضعیف (آکویک) بوده‌اند. شرایط زهکشی خاک اثر مهمی روی ویژگی‌های شیمیایی خاک مخصوصاً روی نوع و اندازه اکسیدهای آهن می‌گذارد، به طوری که پذیرفتاری مغناطیسی خاک ارتباط تنگاتنگی با شرایط زهکشی دارد. در رژیم رطوبتی یودیک پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین دارای میانگین ۷۴/۹۶ با حداقل ۳۸ و حداکثر ۱۴۲ (A m² kg⁻¹) می‌باشد. پذیرفتاری مغناطیسی در رژیم رطوبتی زریک، اریدیک و آکویک به ترتیب

جدول ۲- توصیف آماری ویژگی‌های مغناطیسی خاک در بخش کنترل رطوبتی در رژیم‌های رطوبتی مختلف، پروفیل‌های مورد بررسی، n=۲۵
Table 2- Statistical description of the magnetic properties in soil moisture control section in different soil moisture regimes n=25

متغیر Variable	واحد Unit	میانگین Mean	حداقل Min	حداکثر Max	انحراف معیار SD	ضریب تغییرات CV	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis	تست نرمالیت K-S
یودیک (Udic)									
lf	($10^{-4} m^3 kg^{-1}$)	74.9	38	142	20.3	27.8	1.25	4.08	0.213
hf	($10^{-4} m^3 kg^{-1}$)	71.4	37	135	18.8	26.3	1.37	4.60	0.221
fd	(%)	4.47	2	9	1.79	40.4	0.661	0.651	0.196
IRM _{100mT}	($10^{-6} A m^2 kg^{-1}$)	2321	441	4943	1065	45.8	0.942	1.09	0.157
SIRM	($10^{-6} A m^2 kg^{-1}$)	3445	1579	5380	730	21.1	0.231	2.19	0.021
زریک (Xeric)									
lf	($10^{-4} m^3 kg^{-1}$)	57.7	27	98	24.6	42.6	0.172	-1.76	0.003
hf	($10^{-4} m^3 kg^{-1}$)	51.8	25	87	21.2	40.9	0.191	-1.68	0.019
fd	(%)	9.42	2	22	3.73	39.3	1.61	5.94	0.175
IRM _{100mT}	($10^{-6} A m^2 kg^{-1}$)	2259	1181	3690	798	35.3	0.223	-1.44	0.212
SIRM	($10^{-6} A m^2 kg^{-1}$)	2233	1439	3552	630	28.2	0.531	-0.662	0.013
اریدیک (Aridic)									
lf	($10^{-4} m^3 kg^{-1}$)	32.6	22	38	4/46	13.6	-1.03	0.382	0.089
hf	($10^{-4} m^3 kg^{-1}$)	31.5	22	37	4.25	13.4	-0.962	0.313	0.088
fd	(%)	3.34	0	11	2.46	73.6	0.922	2.29	0.032
IRM _{100mT}	($10^{-6} A m^2 kg^{-1}$)	1486	979	2009	235	15.8	-0.155	0.372	0.201
SIRM	($10^{-6} A m^2 kg^{-1}$)	1700	1171	2023	228	13.4	-0.712	0.066	0.210
آکویک (Aquic)									
lf	($10^{-4} m^3 kg^{-1}$)	29.2	18	41	6.77	23.1	-0.414	-1.061	0.011
hf	($10^{-4} m^3 kg^{-1}$)	27.9	17	39	6.31	22.6	-0.442	-1.021	0.007
fd	(%)	4.22	0	11	2.77	65.9	0.455	0.815	0.158
IRM _{100mT}	($10^{-6} A m^2 kg^{-1}$)	1118	314	1779	524	46.8	-0.566	-1.39	0
SIRM	($10^{-6} A m^2 kg^{-1}$)	1429	335	2618	712	49.8	-0.555	-1.20	0.016

lf : پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین، hf : پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا، fd : پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس، IRM : پسماند مغناطیسی در میدان ۱۰۰ میلی تسلا، SIRM: پسماند مغناطیسی اشباع

دارد که نشان دهنده تشکیل ذرات تک حوزه پایدار در اثر فرآیندهای خاک‌سازی است. غفاریپور (۱۱) در خاک‌های استان گلستان همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات نشان داد.

جهت یافتن ارتباط بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک با پذیرفتاری مغناطیسی رگرسیون چندمتغیره خطی با روش گام به گام مورد استفاده قرار گرفت که نتایج به شرح زیر است:

$$(pH) - 0.755(Clays\%) + 0.17(Ln R^2 = 0.70 \quad (3)$$

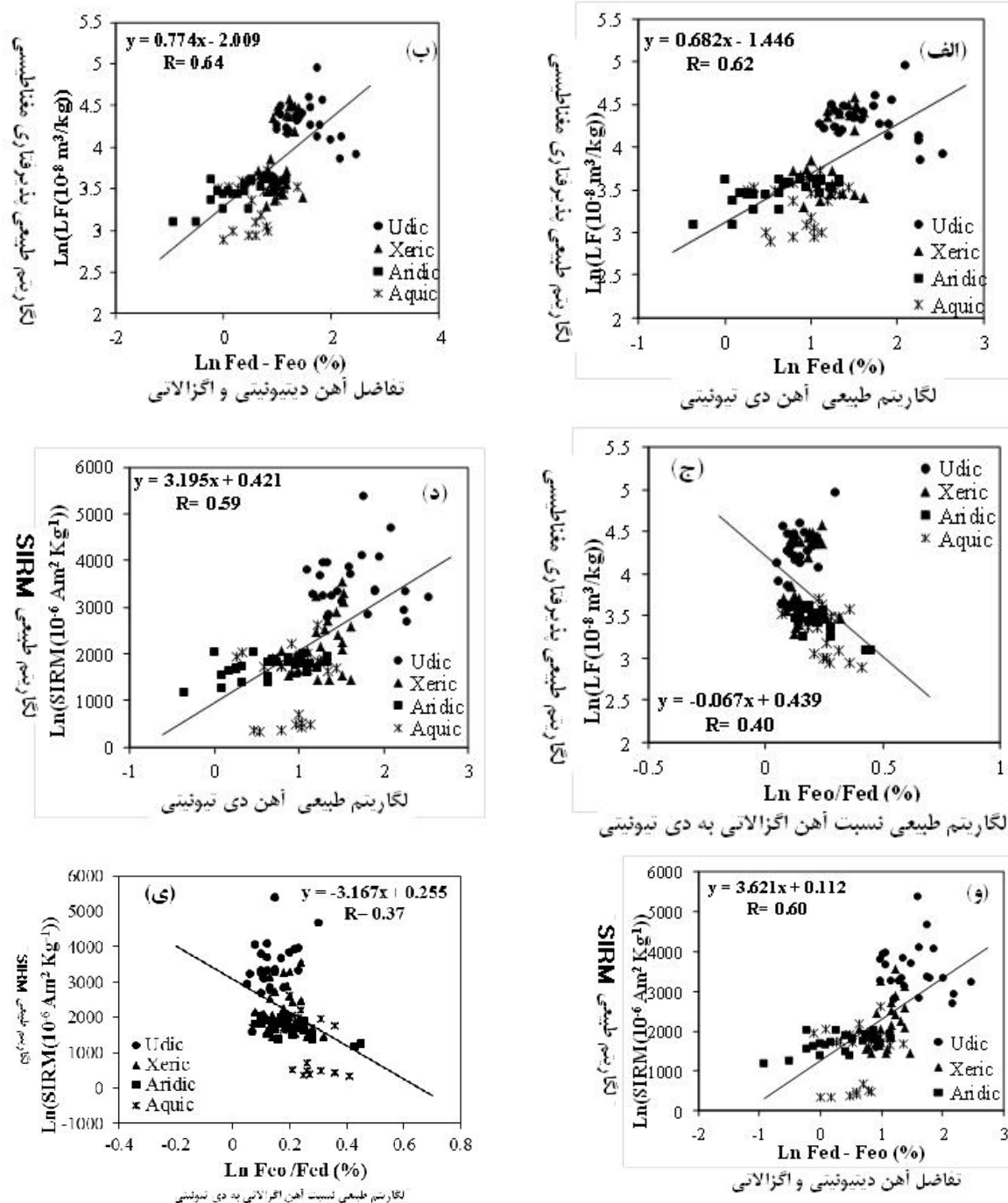
$$OM) = 9.41 - 0.93 Ln LF$$

$$(Clay \%) + 3.079 (pH) - 2134 R^2 = 0.53 \quad (4)$$

$$= 183.07 SIRM$$

نمودار پراکنش، همراه با معادلات رگرسیون خطی پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین و پسماند مغناطیسی اشباع در مقابل اشکال مختلف آهن در شکل ۲ ارائه شده است. این همبستگی‌ها به صورت میانگین تلفیقی رژیم‌های رطوبتی خاک صورت گرفته است. حالت خوشه‌ای که در نمودار (الف، ب و ج) دیده می‌شود که نشانگر تفاوت رژیم‌های رطوبتی در این پارامتر می‌باشد. ضریب همبستگی مثبت بین پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین با Fe_d ($r=0.62$) و Fe_d-Fe_o ($r=0.64$) مشاهده شد. همچنین ضریب همبستگی مثبت بین پسماند مغناطیسی اشباع با Fe_d ($r=0.59$) و Fe_d-Fe_o ($r=0.60$) مشاهده شد. بین پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین و پسماند مغناطیسی اشباع با Fe_o/Fe_d همبستگی منفی وجود دارد.

دیرینگ و همکاران (۶) گزارش دادند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت آهن پدوژنیک و پسماند مغناطیسی اشباع وجود



شکل ۲- پراکنش و معادلات رگرسیون خطی پذیرفتاری مغناطیسی در فرانس پایین (الف، ب، ج) و پسماند مغناطیسی اشباع (د، ه، و) در مقابل اشکال مختلف آهن

Figure 2- Distribution and linear regression equations of magnetic susceptibility at low frequency (a, b, c) and saturated hysteresis (d, e, f) and various forms of iron

جدول ۳- ضریب همبستگی بین پارامترهای مغناطیسی و برخی ویژگی‌های خاک در بخش کنترل رطوبتی تمامی پروفیل‌های مورد مطالعه، n=۱۰۰
Table 3- The correlation coefficient between magnetic parameters and soil properties in moisture control section in all studied profiles, n=100

متغیر Variable	SOM	CCE	Clay	Ln Silt	Ln Sand	Ln Fe _d	Ln Fe _d -Fe _o	Ln Fe _o /Fe _d
Ln lf	-0.74**	-0.63**	0.70**	-0.60**	0.16	0.62**	0.63**	-0.35**
Ln hf	-0.72**	-0.62**	0.69**	-0.61**	0.18	0.63**	0.63**	-0.35**
Ln Fd	-0.39**	-0.42**	0.40**	-0.06	0.22**	0.25**	0.27**	-0.11
Ln IRM _{100mT}	-0.72**	-0.13	0.65**	-0.57**	0.12	0.56**	0.59**	-0.43**
SIRM	-0.65**	-0.12	0.57**	-0.59**	0.23*	0.60**	0.61**	-0.34**

* معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد، ** معنی دار در سطح احتمال ۹۹ درصد

*Significant at the 95% probability level, **Significant at the 99% probability level

ماده آلی خاک (SOM)، کرنات کلسیم معادل (CCE)، لگاریتم طبیعی غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات (Ln Fed)، لگاریتم طبیعی تفاضل غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات از آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات (Ln Fed-Feo)، لگاریتم طبیعی نسبت غلظت آهن عصاره‌گیری شده با اگزالات به غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات (Ln Fed/Fed)، پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین (lf) و بالا (hf)، پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس (fd)، پسماند مغناطیسی در میدان ۱۰۰ میلی تسلا (IRM_{100mT})، پسماند مغناطیسی اشباع (SIRM)، لگاریتم طبیعی Ln($\chi_{lf}(10^{-8} \text{ m}^3/\text{Kg})$), Ln

آلی برخوردار می‌باشند. به طوری که با کاهش بارش و افزایش دما، افق‌های گچ، آهک و نمک در نزدیک سطح زمین ظاهر می‌شوند. فرم آهن Fe_d - Fe_o و Fe_d در رژیم رطوبتی یودیک حداکثر و در رژیم رطوبتی آکوییک حداقل مقدار را دارد و همچنین Fe_o و Fe_d/Fe_o در رژیم رطوبتی آکوییک حداکثر می‌باشد. رژیم رطوبتی خاک باعث تفاوت‌های قابل توجهی در کلیه خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌ها شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که تکامل بیشتر خاک در نتیجه تأثیر عوامل خاکساز به ویژه اقلیم، عامل مهمی در تغییرات میزان اکسیدهای مغناطیسی آهن فری‌مگنتیک از نوع پدوژنیک بوده است. حداکثر پذیرفتاری مغناطیسی در رژیم رطوبتی یودیک و حداقل در رژیم رطوبتی آکوییک مشاهده شد. در رژیم رطوبتی یودیک بارندگی (رطوبت) علاوه بر افزایش میزان سرعت هوازدگی و آبشویی مواد، موجب آزادسازی بیشتر ترکیبات آهن از ساختار کانی‌ها و افزایش نسبی آنها در نیمرخ خاک می‌گردد، همچنین باعث تشکیل بیشتر کانی‌های فرومگنتیک و در مجموع افزایش پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌ها می‌گردد. در رژیم رطوبتی آکوییک به دلیل وجود حالت اشباع یا زهکشی ضعیف خاک انحلال مواد معدنی به شدت مغناطیسی مگنتیت و مگهمیت صورت گرفته است که متقابلاً سبب کاهش در پذیرفتاری مغناطیسی خاک شده است. حداکثر پذیرفتاری مغناطیسی در رژیم رطوبتی یودیک و حداقل در رژیم رطوبتی آکوییک مشاهده شد.

در میان ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ماده آلی، درصد رس و pH وارد مدل رگرسیونی شده و قادر به توصیف ۷۰ درصد از تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین بودند. پارامتر pH رابطه غیر مستقیمی با پذیرفتاری مغناطیسی می‌تواند داشته باشد. به طوری که بارندگی و رژیم رطوبتی بر وجود و عدم وجود کرنات کلسیم و بر اسیدی و بازی بودن pH تأثیر دارد. به طوری که رابطه معکوس با پذیرفتاری مغناطیسی دارد. بنابراین پارامترهای مغناطیسی اندازه‌گیری شده بیشتر تحت تأثیر اقلیم بوده است. به طوری که ماده آلی بیشتر از سایر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، تغییرات پارامترهای مغناطیسی را توجیه کرده است. احمدی (۱) گزارش داد که از میان ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، غلظت آهن عصاره‌گیری شده با دی‌تیونات، درصد رس و سیلت وارد مدل رگرسیونی شده و قادر به توصیف ۸۸ درصد از تغییرات پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین بودند.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد ویژگی‌های مورد مطالعه (پذیرفتاری مغناطیسی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک) دارای مقدار متفاوت در رژیم‌های رطوبتی مختلف هستند. در منطقه مطالعاتی تغییرات شدیدی از نظر ماده آلی وجود دارد که در رژیم‌های رطوبتی مختلف متفاوت می‌باشد. با افزایش بارش و کاهش دما، به طوری که با حرکت از رژیم رطوبتی آریدیک به سمت رژیم رطوبتی یودیک خاک‌ها از درجه تکامل پروفیلی، تنوع افق‌ها و افزایش مواد

منابع

- Ahmadi M. 2010. Evaluation of redistribution in hilly cultivated land using the technique of magnetic susceptibility and CS-137 in Chaharmahal and Bakhtiari province. Soil MA thesis. Faculty of Agriculture. University of Technology. (in Persian with English abstract)
- Ayoubi S., and Jalalian A. 1996. Assessment of land (agricultural land and natural resources). Publishing Center,

- University of Technology. (in Persian)
- 3- Banaei M.H., Momeni A., Baibordi M. and Malekooti M.J. 2004. New developments in the identification, management and exploitation of soils. Research Institute of soil and water. Second Sna. Part 2. Pages 1-157. (in Persian with English abstract)
 - 4- Chia T.s. 2013. Design and Implementation of Detection Devices for Dental Implantation Stabilit: Graduate Institute of Biomedical Engineering. PP. 68.
 - 5- Cox G.M., and Martinw P. 1937. The discriminant function applied to the differentiation of soil types. Iowa State Coll. Journal. Science. 11: 31-323.
 - 6- Dearing J. 1994. Environmental magnetic susceptibility. Using the Bartington MS2 system. Kenilworth, Chi Publ.
 - 7- Dearing J., Hay K., Baban S., Huddleston A., Wellington E., and Loveland P. 1996. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. Geophys. Journal. International. 127: 73-728.
 - 8- De Jong E., Pennock D., and Nestor P. 2000. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. Catena. 40: 291-305.
 - 9- Dolgov B., and Voronkov M. 1957. Hidrofobizacija stroitel'n'ih materialov pri pomosci kremneor ganiceskih soedinonii. Hydrophobization of structural materials with organosilicon compounds. Stroitel'nye materialy. 12: 50-58.
 - 10- Frechen M. M., Kehl C., Rolf R., Sarvati and Skowronek A. 2009. Loess chronology of the Caspian lowland in northern Iran. Quaternary International. 198: 220-233.
 - 11- Ghafarpour A. 2012. Comparison of the evolution and characteristics of modern and old soil loess the climate in different regions of the province. Soil MA thesis. Gorgan University. (in Persian)
 - 12- Grimley D.A., Arruda N.K., and Bramstedt M.W. 2004. Using magnetic susceptibility to facilitate more rapid, reproducible and precise delineation of hydric soils in the mid western USA. Catena. 58: 183-213.
 - 13- Hutchinson S.M. 1995. Use of magnetic and radiometric measurements to investigate erosion and sedimentation in a British upland catchment. Earth Surface Processes and Landforms. 20: 293-314.
 - 14- Jackson M.L. 1975. Soil chemical analysis- advanced course. University of Wisconsin, college of agric, Department of soils, Madison, WL, USDA.
 - 15- Khormali F., Abtahi A., and Stoops G. 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. Geoderma. 132: 31-46.
 - 16- López Granados F., Jurado Expósito M.S., Garcíam Ferrer A., de la Orden M.S., and García-Torres L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. Plant. Soil. 246: 97-105.
 - 17- Mokhtari Karchegani P., Ayoubi S., Lu S.G., Honarju N. 2011. Use of magnetic measures to assess soil redistribution following deforestation in hilly region. Journal of Applied Geophyscis 75, 227-236. (in Persian with English abstract)
 - 18- Mullins C. 1977. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science a review. Journal. Soil. Science. 28: 223-246.
 - 19- Nelson R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. PP. 181-196. In: A. L. Page, R. H. Miller, R. Keeny (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part II, Chemical and Microbiological Properties, SSSA, Madison, WI.
 - 20- Owliaie H.R., Adhami E., Jafari S., Rajai M. and Ghasemi Fasai R. 2009. The distribution of magnetic susceptibility associated with iron compounds in some soils of Fars Province. Journal soil pzvoresh. Volume 2 pages 23: 191-204. (in Persian)
 - 21- Owliaie, H.R., R.J. Heck, and A. Abtahi. 2006a. The magnetic susceptibility of soils in Kohgilouye, Iran. Canadian Journal. Soil Science, 86: 97-107.
 - 22- Paz Gonzalez A., Vieira S., and Taboada Castro M.T. 2000. The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. Geoderma. 97: 273-292.
 - 23- Royall D. 2001. Use of mineral magnetic measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small agricultural catchment in limestone terrain. Catena. 46: 15-34.
 - 24- Torabi H., Eghbal M.K. 2002. The study examined the evolution of soil magnetic susceptibility in White River rivers in Gilan. Journal of Soil and Water Science. Volume 16: 205- 216. (in Persian with English abstract)
 - 25- Walker A.L. 1983. The effects of magnetite on oxalate and dithionite extractable iron. Soil. Science. Society. America. Journal. 47: 1022-1026.
 - 26- Zar J.H. 1974. Biostatistical Analysis. Huang Prentice-Hall, Englewood Fang Cliffe, NJ.



Relationships between some soil physical and chemical properties with magnetic properties in different soil moisture regimes in Golestan province

M. Valae¹- Sh. Ayoubi^{*2}- H. Khademi³- F. Khormali⁴

Received: 09-06-2014

Accepted: 09-05-2015

Introduction: Soil moisture regime refers to the presence or absence either of ground water or of water held at a tension of less than 1500 kPa in the soil or in specific horizons during periods of the year. It is the most important factor in soil formation, soil evolution and fertility affecting on crop production and management. Also, it widely is practical in soil classification and soil mapping. The soil moisture regime depends on the soil properties, climatic and weather conditions, characteristics of natural plant formations and, in cultivated soils, is affected by the characteristics of crops grown, as well as the cultivation practices. Determination of soil moisture regime within a landscape scale requires high information and data about moisture balance of soil profile during some years according to Soil Survey Manual (2010). This approach is very expensive, labor, time and cost consuming. Therefore, achievement to an alternative approach is seems essential to overcome these problems. The main hypothesis of this study was to use capability of magnetic susceptibility as a cheap and rapid technique could determine the soil moisture regimes. Magnetic properties of soils reflect the impacts of soil mineral composition, particularly the quantity of ferrimagnetic minerals such as maghemite and magnetite. Magnetic susceptibility measurements can serve a variety of applications including the changes in soil forming processes and ecological services, understanding of lithological effects, insight of sedimentation processes and soil drainage.

Materials and Methods: This study was conducted in an area located between 36°46'10" and 37° 2' 28" N latitudes, and 54° 29' 31" and 55° 12' 47" E longitudes in Golestan province, northern Iran. In the study region mean annual temperature varies from 12.4 to 19.4 °C. The average annual rainfall and evapotranspiration varies from 230 mm and 2335 mm in Inchebrun district (Aridic regime), to 732 mm and 846 mm in Touskstan uplands (Udic regime), respectively. this study was conducted in four soil moisture regimes (Aridic, Xeric, Udic and Aquic), for exploring the relationships between soil properties and magnetic measures. In each regimes, 25 soil profiles were dug, described and soil samples were collected from each of soil horizons. Soil samples were air-dried and sieved using a 2 mm sieve. The dithionite-citrate bicarbonate (DCB) method was used to measure Fe_d and acid ammonium oxalate for Fe_o. In this study, a set of environmental magnetic parameters including magnetic susceptibility at low frequency (χ_{lf}), saturation isothermal remnant magnetization (SIRM), isothermal remnant magnetization (IRM_{100 mT}) were measured. Magnetic susceptibility (χ) was measured at low frequency (0.47 kHz; χ_{lf}) and high frequency (4.7 kHz; χ_{hf}) using a Bartington MS2 dual frequency sensor using approximately 20 g of soil held in a four-dram clear plastic vial (2.3 cm diameter). Frequency dependent susceptibility (χ_{fd}) was determined by the difference between the high and low frequency measurements as a percentage of χ_{lf} at low frequency. IRM was measured at the field of 100 mT generated in a Molspin pulse magnetizer (IRM_{100mT}) and at the back field of 100mT (IRM_{-100mT}). The IRM acquired in the maximum field of 1000 mT was measured and defined as the saturation isothermal remnant magnetization (SIRM) of the soil sample.

Results and Discussion: The results showed that moisture regime induced significant differences for soil physical and chemical properties. Diversities in genetic soil horizons and soil development degree have been increased from Aridic to Udic soil moisture regime. The results also indicated that selected properties including magnetic measures and physical and chemical properties were significantly different in four soil moisture regimes. With increasing rainfall and reducing temperature from aridic to udic soil moisture regime, soil organic matter was increased. Otherwise, in arid environment Gypsic, Calcic and Salic horizons were observed in the near of soil surface. Fe_d and Fe_d-Fe_o were the highest in udic and the lowest in aridic soil moisture regime, respectively. Moreover, higher soil development because of climate effect led to higher amount of pedogenic ferromagnetic minerals, as well as the highest were observed in the Udic regime. Otherwise, in Aquic moisture regime, the lowest value of magnetic susceptibility was obtained because of dissolution of ferromagnetic

1, 2 and 3- Former M.Sc. Student and Professors of Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(*)- Corresponding Author Email: ayoubi@cc.iut.ac.ir

4- Professor in Soil Science, Department of Soil Science College of Water and Soil Engineering, Gorgan University Agricultural and Natural Resources, Gorgan, Iran

minerals (magnetite and maghemite) under supersaturating condition. In overall, close relationships were observed between soil physical and chemical properties and magnetic measures in various soil moisture regimes.

Keywords: Climate, Golestan Province, Loess, Magnetic Susceptibility, Soil Moisture Regimes