





دانشگاه گیلان  
دانشکده کشاورزی  
گروه خاکشناسی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد خاکشناسی

عنوان

ویژگی های هم‌دماهای جذب مس و روی در شماری از خاک‌های استان  
همدان

استاد راهنما

دکتر علیرضا حسین پور

استاد مشاور

دکتر محسن جلالی

پژوهشگر

فریبرز دندانمزد

آبان ۸۶

۱۳۸۶ / ۱۲ / ۰۵

کتابخانه مرکزی  
دانشگاه گیلان

۹۴۰۴۱



دانشگاه گیلان

دانشکده کشاورزی

با نام و یاری خداوند متعال

## پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی

آقای فریبرز دندانمزد

تحت عنوان

**"ویژگی های هم دماهای جذب روی و مس در شماری از خاک های استان  
همدان"**

به ارزش ۶ واحد در روز شنبه مورخ ۸۶/۸/۲۶ در محل دانشکده کشاورزی با حضور جمعی از اساتید و دانشجویان برگزار گردید و با نمره ۱۹٫۹۴ و درجه عالی به تصویب کمیته تخصصی زیر رسید.

امضاء  
امضاء  
امضاء

دکتر علیرضا حسین پور

۱- استاد راهنما

دکتر محسن جلالی

۲- استاد مشاور

دکتر علی اکبر محبوبی

۳- اساتید داور

دکتر علی اکبر صفری سنجانی

دکتر فریده کرباسی

دکتر محمدرضا مصدقی

۴- مدیر گروه

۵- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

دکتر فرشاد دشتی

۳۳۸۶ / ۸۲ / ۰۵

همه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی‌سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی‌سینا (استاد یا اساتید راهنمای پایان‌نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تقدیم به

روح پدرم،

منظر تلاش و وفاداری

مادر عزیزم،

منظر عشق، صداقت و فداکاری

برادران و خواهرانم که همیشه شادترین قلب‌ها در موقیت‌هایم بودند

خواهرزاده‌ها و برادرزاده‌های عزیزتر از جانم

و تمام کسانی که دوستان دارم.

## به نام ایزد یگانه

سر بر آستان جلال پروردگار می‌سایم که دگر بار توفیق اندوختن دانشی هر چند اندک را روزیم فرمود. اکنون که مقطع دیگری از تحصیل خود را به پایان رسانده‌ام سرشارم از سپاس و ستایش ایزدی که مرا عزت کسب علم عطا فرمود تا در این سال‌ها خالی از وسوسه شیطانی و لبریز از عشق پاک او باشم.

بعد از حمد و ثنای خداوند بهترین درودها و سپاس‌ها را شایسته پدر و مادر و برادران و خواهرانم می‌دانم که عاشقانه موجبات پیشرفت مرا فراهم نمودند و از هیچ کوششی در این راه خودداری نکردند. شادی روح پدرم و سلامتی مادر، برادران و خواهرانم را از درگاه خداوند خواهانم.

شایسته است از عزیزانی که در طی انجام این پژوهش به بنده لطف داشته‌اند؛ تشکر و قدردانی نمایم: استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر حسین‌پور که در مراحل مختلف پژوهش با سعه صدر کنجکاوی‌ها و مزاحمت‌های وقت و بی‌وقت مرا تحمل کردند و با همراهی و همدلی دشواری‌ها را بر من هموار نمودند. وجود این عزیز را ارج می‌نهم و امیدوارم ستوده‌ترین توفیق الهی شامل حالشان باشد.

استاد گرامی جناب آقای دکتر جلالی که به عنوان مشاور پایان‌نامه در موقعیت‌های مختلف تکیه‌گاه مطمئنی در ادامه تلاشم بودند و همچنین در طول دوران تحصیل از محضرشان کسب علم کردم. اساتید گرامی جناب آقای دکتر محبوبی و سرکار خانم دکتر کرباسی که در محضرشان کسب علم کردم و همچنین زحمت داوری پایان‌نامه را پذیرفتند.

استاد گرامی جناب آقای دکتر صفری که زحمت داوری پایان‌نامه را پذیرفتند. استاد گرامی جناب آقای دکتر مصدقی که در محضرشان کسب علم کردم و به عنوان مدیر گروه کارهای اداری پایان‌نامه را انجام داده و زحمت نظارت بر جلسه را متقبل شدند.

جناب آقای دکتر دشتی مسوؤل محترم تحصیلات تکمیلی که زحمات زیادی متقبل شدند.

از دوستان و همکلاسی‌های عزیزم؛ آقایان: مرشدی‌زاد، حقیقت، فرهنگی، الیاسی، پناهی، هاشم‌بیگی،

نقی‌زاده، پاشامختاری، میرفتاح، اسود، احمدی، سلیمانی، میرزایی، رعیت، رحمانی، اکبری‌پناه،

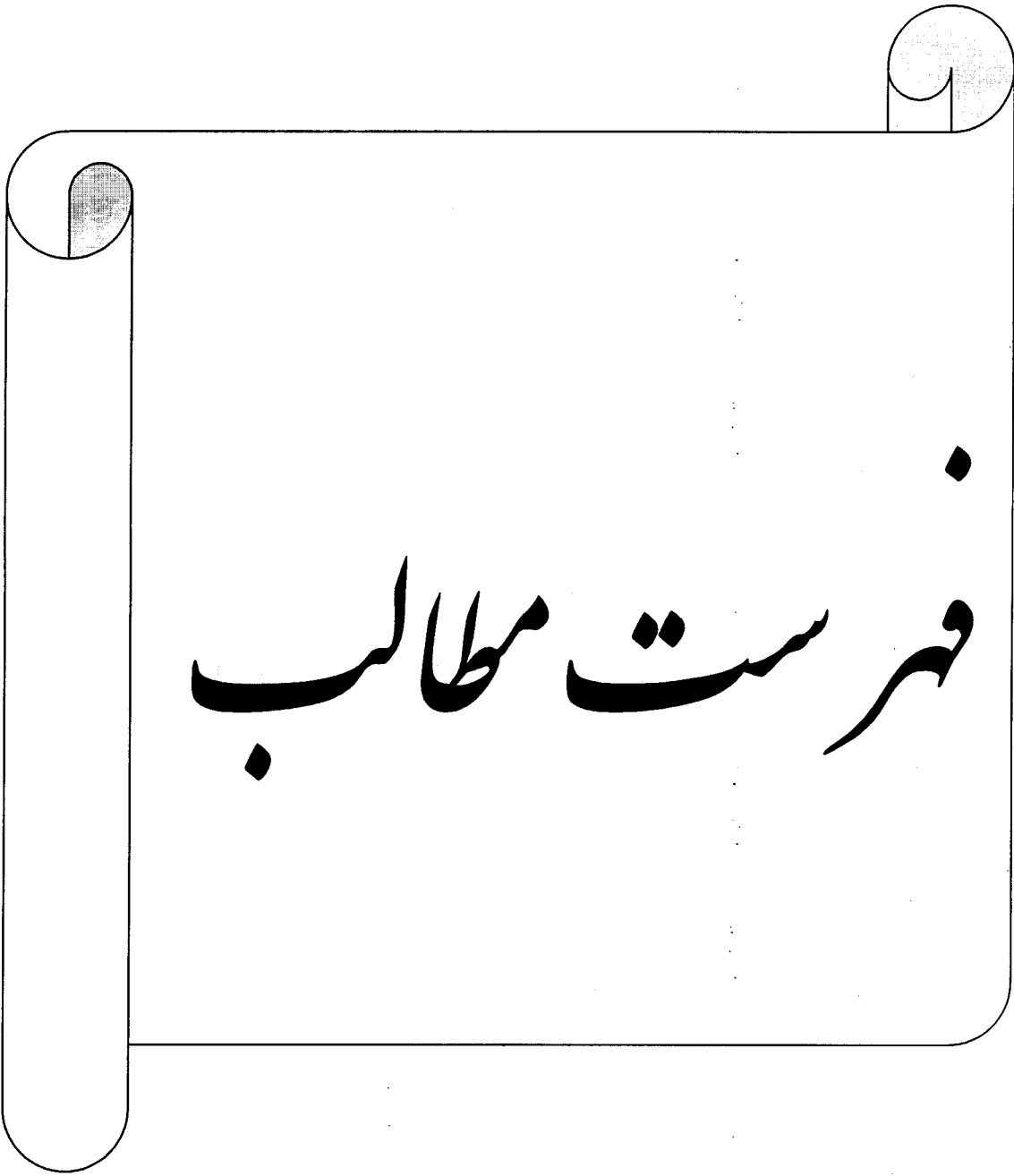
شریفی، اسماعیلی، مکاری، ناصری و مرحوم شهاب‌الدین مردوخی و خانم‌ها: حیدریگی،

غنائی، دعایی، پدیدار، خورشید، نیکپور، اعلامنش، صحرایی، روستایی، خجسته،

جلیلوند، نیکبخت، حسینی، یوسفی، صابریان، صفادوست، اسماعیل‌زاده،

کلاه‌چی، قنبری و دیگر دوستانی که در طول این دوره پژوهشی

از مصاحبت و مساعدتشان بهره‌مند بودم؛ سپاسگذارم.



فهرست مطالب

چکیده.....	۱
مقدمه.....	۴
۱- فصل اول: بررسی منابع.....	۴
۱-۱- فلزات سنگین.....	۴
۱-۱-۱- آلودگی فلزات سنگین در خاک و محیط.....	۴
۱-۱-۲- اشکال فلزات سنگین در خاک.....	۵
۲- عناصر کم نیاز.....	۶
۱-۲-۱- روی.....	۶
۲-۲-۱- واکنش روی با ترکیبات خاک.....	۷
۲-۲-۱- مس.....	۱۱
۳-۲-۱- واکنش مس با ترکیبات خاک.....	۱۲
الف- واکنش با ترکیبات غیر آلی خاک.....	۱۲
ب- پهاش.....	۱۳
ج- واکنش با مواد آلی.....	۱۴
۴-۲-۱- روی و مس در گیاه.....	۱۴
۵-۲-۱- کمبود روی و مس.....	۱۴
۶-۲-۱- آلودگی روی و مس در خاک و محیط.....	۱۵
۳-۱- جذب.....	۱۶
۱-۳-۱- جذب سطحی.....	۱۷
۲-۳-۱- جذب روی و مس در خاک.....	۱۷
۳-۳-۱- جذب رقابتی.....	۱۸
۴-۳-۱- عوامل موثر بر جذب عناصر سنگین.....	۲۰
الف- پهاش.....	۲۱
ب- کانی‌های رسی.....	۲۲
پ- اکسیدها و هیدروکسیدها.....	۲۳
ج- کربنات‌ها.....	۲۴
ه- فسفات‌ها.....	۲۶
د- مواد آلی.....	۲۶
ر- زمان تماس.....	۲۷
ز- گروه‌های عامل سطحی.....	۲۸



۲۹	۴-۱- هم‌دماهای جذب
۳۱	۱-۴-۱- هم‌دمای خطی
۳۲	۲-۴-۱- هم‌دمای فروندلیچ
۳۵	۳-۴-۱- هم‌دمای لانگمویر
۴۱	۴-۴-۱- هم‌دمای D-R
۴۲	۵-۴-۱- هم‌دمای تمکین
۴۲	۵-۱- برهمکنش مواد آلی با فلزات
۴۶	۶-۱- گرما
۴۷	۷-۱- سیستم خاک
۴۷	۸-۱- قوانین ترمودینامیک
۴۷	۱-۸-۱- قانون اول ترمودینامیک
۴۷	۲-۸-۱- قانون دوم ترمودینامیک
۴۸	۳-۸-۱- قانون سوم ترمودینامیک
۴۸	۹-۱- ترمودینامیک تبادل یونی
۵۰	۱۰-۱- محاسبه ثابت تعادل ترمودینامیکی ( $K^0$ )
۵۲	۱۱-۱- تغییرات انرژی آزاد استاندارد گیبس ( $\Delta G^0$ )
۵۳	۱-۱۱-۱- محاسبه تغییرات انرژی آزاد استاندارد واکنش
۵۴	۱۲-۱- تغییرات آنتالپی استاندارد واکنش ( $\Delta H^0$ )
۵۵	۱-۱۲-۱- محاسبه تغییرات آنتالپی استاندارد واکنش
۵۵	۱۳-۱- تغییرات آنتروپی استاندارد واکنش ( $\Delta S^0$ )
۵۶	۱-۱۳-۱- محاسبه تغییرات آنتروپی استاندارد واکنش
۵۸	۲- مواد و روشها
۵۸	۱-۲- نمونه‌برداری
۵۸	۲-۲- بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده
۵۸	۱-۲-۲- ویژگی‌های فیزیکی
۵۸	۲-۲-۲- ویژگی‌های شیمیایی
۵۸	الف- پ- هاش
۵۸	ب- هدایت الکتریکی
۵۹	پ- فسفر قابل دسترس
۵۹	ث- کربنات کلسیم معادل

ج- گنجایش تبادل کاتیونی .....	۵۹
چ- ماده آلی .....	۵۹
ح- روی و مس قابل دسترس .....	۵۹
۳-۲- تعیین ویژگی های جذب روی خاک های مورد مطالعه .....	۵۹
۴-۲- تعیین ویژگی های جذب مس خاک های مورد مطالعه .....	۶۰
۵-۲- تعیین پارامترهای هم دماهای جذب .....	۶۰
۶-۲- تعیین پارامترهای ترمودینامیکی .....	۶۱
۱-۶-۲- تعیین ثابت تعادل ترمودینامیکی .....	۶۱
۲-۶-۲- تعیین تغییرات انرژی آزاد استاندارد .....	۶۱
۳-۶-۲- تعیین تغییرات آنتالپی استاندارد واکنش .....	۶۱
۴-۶-۲- تعیین تغییرات آنتروپی استاندارد واکنش .....	۶۲
۷-۲- تجزیه و تحلیل های آماری .....	۶۲
۳- فصل سوم: نتایج و بحث .....	۶۳
۱-۳- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مطالعه شده .....	۶۳
۲-۳- مطالعه هم دماهای جذب روی .....	۶۶
۱-۲-۳- هم دمای جذب خطی .....	۷۱
الف- ضریب توزیع .....	۷۱
۲-۲-۳- هم دمای جذب لانگ مویر .....	۷۵
الف- پارامتر حداکثر گنجایش جذب روی (b) .....	۷۵
ب- پارامتر انرژی پیوندی یا تمایل به تشکیل پیوند (k) یا قدرت پیوندی .....	۷۷
ج- حداکثر ظرفیت بافری خاک (MBC) .....	۷۸
د- سطح ویژه جذب (S) .....	۷۹
و- فاکتور جداسازی بدون بعد ( $K_R$ ) یا شکل هم دمای جذب .....	۷۹
۳-۲-۳- هم دمای جذب فروندلیچ .....	۸۴
الف- ضریب توزیع فروندلیچ ( $K_F$ ) یا ظرفیت جذب .....	۸۴
ب- ثابت توانی فروندلیچ ( $n$ ) یا شدت جذب .....	۸۵
۴-۲-۳- هم دمای D-R (هم دمای دو بینین- رادوشکوویچ) .....	۸۹
الف- ثابت انرژی جذب (k) .....	۸۹
ب- ظرفیت جذب ( $Q_m$ ) .....	۹۰
ج- انرژی آزاد جذب (E) .....	۹۰

۹۳	۳-۲-۵- هم‌دمای تمکین .....
۹۳	الف- ثابت مربوط به گرمای جذب (B) .....
۹۳	ب- ثابت مربوط به پیوند تعادلی ( $K_T$ ) .....
۹۶	۳-۲-۶- مطالعه همبستگی بین ثابت‌های هم‌دماهای جذب روی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده .....
۱۰۰	۳-۳-۳- مطالعه هم‌دماهای جذب مس .....
۱۰۵	۳-۳-۱- هم‌دمای جذب خطی .....
۱۰۵	الف- ضریب توزیع .....
۱۰۸	۳-۳-۲- هم‌دمای فروندلیچ برای مس .....
۱۰۸	الف- ضریب توزیع فروندلیچ ( $K_F$ ) یا ظرفیت جذب .....
۱۰۹	ب- ثابت توانی فروندلیچ ( $n$ ) یا شدت جذب .....
۱۱۲	۳-۳-۳- هم‌دمای جذب D-R .....
۱۱۲	الف- ثابت انرژی جذب ( $k$ ) .....
۱۱۳	ب- ظرفیت جذب ( $Q_m$ ) .....
۱۱۳	ج- انرژی آزاد جذب (E) .....
۱۱۶	۳-۳-۴- هم‌دمای تمکین .....
۱۱۶	الف- ثابت مربوط به گرمای جذب (B) .....
۱۱۶	ب- ثابت مربوط به پیوند تعادلی ( $K_T$ ) .....
۱۱۹	۳-۳-۵- مطالعه همبستگی بین ثابت‌های هم‌دماهای جذب مس و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده .....
۱۲۲	۳-۳-۴- مقایسه هم‌دماهای جذب روی و مس در خاک‌های مطالعه شده .....
۱۲۵	۳-۵-۵- پارامترهای ترمودینامیکی جذب .....
۱۲۵	۳-۵-۱- پارامترهای ترمودینامیکی جذب روی .....
۱۲۵	الف- ثابت تعادل ترمودینامیکی روی .....
۱۲۹	ب- تغییرات انرژی آزاد استاندارد روی .....
۱۳۰	ج- تغییرات آنتالپی استاندارد واکنش روی .....
۱۳۱	د- تغییرات آنتروپی استاندارد واکنش روی .....
۱۳۲	۳-۵-۲- مطالعه همبستگی بین ثابت‌های پارامترهای ترمودینامیکی جذب روی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده .....
۱۳۴	۳-۵-۳- پارامترهای ترمودینامیکی جذب مس .....

صفحه	عنوان
۱۳۴	الف- ثابت تعادل ترمودینامیکی مس
۱۳۸	ب- تغییرات انرژی آزاد استاندارد مس
۱۳۹	ج- تغییرات آنتالپی استاندارد واکنش مس
۱۴۰	د- تغییرات آنتروپی استاندارد واکنش مس
	۳-۵-۴- مطالعه همبستگی بین ثابت‌های پارامترهای ترمودینامیکی جذب مس و ویژگی‌های فیزیکی و
۱۴۱	شیمیایی خاک‌های مطالعه شده
۱۴۳	نتیجه‌گیری
۱۴۵	پیشنهادها
۱۴۷	منابع

جدول ۱-۱- غلظت طبیعی و بحرانی روی و مس در خاک	۱۵
جدول ۱-۲- برخی از گروه‌های عاملی مهم در مواد آلی خاک	۴۳
جدول ۱-۳- برخی از حالت‌های استاندارد که در محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی تعادل‌های یونی مورد استفاده قرار می‌گیرد	۵۰
جدول ۱-۳- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده	۶۵
جدول ۲-۳- ضریب همبستگی هم‌دماهای خطی، فروندلیچ، لانگ‌مویر، تمکین و D-R برای روی در خاک‌های مطالعه شده	۷۰
جدول ۳-۳- پارامترهای هم‌دماهای خطی برای روی در خاک‌های مطالعه شده	۷۳
جدول ۳-۴- پارامترهای هم‌دماهای لانگ‌مویر برای روی در خاک‌های مطالعه شده	۸۱
جدول ۳-۵- مقادیر مختلف $K_R$ برای روی در غلظت‌ها و خاک‌های مختلف مورد آزمایش	۸۳
جدول ۳-۶- پارامترهای هم‌دماهای فروندلیچ برای روی در خاک‌های مطالعه شده	۸۷
جدول ۳-۷- پارامترهای هم‌دماهای D-R برای روی در خاک‌های مطالعه شده	۹۱
جدول ۳-۸- پارامترهای هم‌دماهای تمکین برای روی در خاک‌های مطالعه شده	۹۴
جدول ۳-۹- ضرایب همبستگی بین ثابت‌های هم‌دماهای جذب روی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده	۹۹
جدول ۳-۱۰- ضریب همبستگی هم‌دماهای خطی، فروندلیچ، لانگ‌مویر، تمکین و D-R برای روی در خاک‌های مطالعه شده	۱۰۴
جدول ۳-۱۱- پارامترهای هم‌دماهای جذب خطی برای مس در خاک‌های مطالعه شده	۱۰۶
جدول ۳-۱۲- پارامترهای هم‌دماهای جذب فروندلیچ برای مس در خاک‌های مطالعه شده	۱۱۰
جدول ۳-۱۳- پارامترهای هم‌دماهای D-R برای مس در خاک‌های مطالعه شده	۱۱۴
جدول ۳-۱۴- پارامترهای هم‌دماهای تمکین برای مس در خاک‌های مطالعه شده	۱۱۷
جدول ۳-۱۵- ضرایب همبستگی بین ثابت‌های هم‌دماهای جذب مس و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده	۱۲۱
جدول ۳-۱۶- ضرایب همبستگی هم‌دماهای مطالعه شده در جذب روی و مس (کمترین، بیشترین و میانگین مقادیر)	۱۲۲
جدول ۳-۱۷- مقادیر پارامترهای هم‌دماهای مختلف به منظور مقایسه جذب دو عنصر (کمترین، بیشترین و میانگین مقادیر)	۱۲۴
جدول ۳-۱۸- ضرایب همبستگی بین $\ln Ce/Cs$ و $Cs$ برای روی در خاک‌های مطالعه شده	۱۲۶

جدول ۱۹-۳- پارامترهای ترمودینامیکی جذب روی در خاک‌های مطالعه شده	۱۲۷
جدول ۲۰-۳- نتایج مطالعه همبستگی بین ثابت‌های پارامترهای ترمودینامیکی جذب روی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده	۱۳۳
جدول ۲۱-۳- ضرایب همبستگی بین $\ln Ce/Cs$ و $Cs$ برای روی در خاک‌های مطالعه شده	۱۳۵
جدول ۲۲-۳- پارامترهای ترمودینامیکی جذب مس در خاک‌های مطالعه شده	۱۳۶
جدول ۲۳-۳- نتایج مطالعه همبستگی بین ثابت‌های پارامترهای ترمودینامیکی جذب مس و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعه شده	۱۴۲

- شکل ۱-۱- گونه‌ها و ترکیبات روی موجود در خاک ..... ۸
- شکل ۱-۲- تاثیر pH بر جذب روی در غلظت‌های اولیه (a) ۲۰ پی‌پی‌ام (b) ۴۰ پی‌پی‌ام و (c) تشکیل کمپلکس‌های محلول روی- مواد آلی در یک خاک سیلت لومی ..... ۱۰
- شکل ۱-۳- گونه‌ها و ترکیبات مس موجود در خاک ..... ۱۳
- شکل ۱-۴- تاثیر بخش کربنات بر جذب یون‌های روی توسط رسوبات در ۲۰ درجه سانتی‌گراد ..... ۲۶
- شکل ۱-۵- تاثیر زمان تماس بر جذب روی توسط رسوب در غلظت‌های اولیه متفاوت ..... ۲۸
- شکل ۱-۶- طرح شماتیک چهار نوع هم‌دمای جذب ..... ۳۱
- شکل ۱-۷- استفاده از هم‌دمای لانگ‌مویر برای توضیح جذب سطحی Zn روی افق‌های A و Bt خاک سیسیل. ترسیمها به صورت دوبخشی خطی انجام شده‌اند ..... ۳۸
- شکل ۱-۸- تشکیل کمپلکس بین یون‌های فلزی و مواد آلی موجود در فازهای معلق، ته نشین شده، کلونیدی و محلول ..... ۴۴
- شکل ۱-۹- تشکیل کی‌لیت بین یون‌های فلزی و ترکیبات آلی ..... ۴۵
- شکل ۱-۳- مقدار روی جذب شده به عنوان تابعی از غلظت در حال تعادل روی در خاک‌های ۱ و ۴ ..... ۶۸
- شکل ۲-۳- مقدار روی جذب شده به عنوان تابعی از غلظت در حال تعادل روی در خاک‌های ۶ و ۱۰ ..... ۶۹
- شکل ۳-۳- هم‌دمای جذب خطی برای روی در خاک‌های ۷ و ۸ ..... ۷۴
- شکل ۳-۴- هم‌دمای جذب لانگ‌مویر برای روی در خاک‌های ۱ و ۶ ..... ۸۲
- شکل ۳-۵- نمودار  $K_R$  در مقابل  $C_e$  برای روی در خاک‌های مطالعه شده ..... ۸۳
- شکل ۳-۶- هم‌دمای جذب فروندلیچ برای روی در خاک‌های ۲ و ۶ ..... ۸۸
- شکل ۳-۷- هم‌دمای D-R برای روی در خاک‌های ۳ و ۹ ..... ۹۲
- شکل ۳-۸- هم‌دمای تمکین برای جذب روی در خاک‌های ۱ و ۶ ..... ۹۵
- شکل ۳-۹- مقدار مس جذب شده به عنوان تابعی از غلظت در حال تعادل مس در خاک‌های ۱ و ۶ ..... ۱۰۲
- شکل ۳-۱۰- مقدار مس جذب شده به عنوان تابعی از غلظت در حال تعادل مس در خاک‌های ۸ و ۱۰ ..... ۱۰۳
- شکل ۳-۱۱- هم‌دمای جذب خطی برای مس در خاک‌های ۷ و ۸ ..... ۱۰۷
- شکل ۳-۱۲- هم‌دمای فروندلیچ برای جذب مس در خاک‌های ۳ و ۶ ..... ۱۱۱
- شکل ۳-۱۳- هم‌دمای جذب D-R برای مس در خاک‌های ۳ و ۶ ..... ۱۱۵
- شکل ۳-۱۴- هم‌دمای جذب تمکین برای مس در خاک‌های ۲ و ۸ ..... ۱۱۸
- شکل ۳-۱۵- مقایسه جذب روی و مس با استفاده از ضریب توزیع هم‌دمای خطی (الف) و ضریب توزیع هم‌دمای فروندلیچ (ب) در خاک‌های مطالعه شده ..... ۱۲۴

---

شکل ۳-۱۶- نمودار $\ln Cs/Ce$ به عنوان تابعی از Cs برای روی در خاک شماره ۲ در دمای ۲۵ (الف)	
و ۴۵ (ب) درجه سانتی‌گراد.....	۱۲۸
شکل ۳-۱۷- نمودار $\ln Cs/Ce$ به عنوان تابعی از Cs برای مس در خاک شماره ۱ در دمای ۲۵ (الف) و	
۴۵ (ب) درجه سانتی‌گراد.....	۱۳۷



## چکیده

جذب یکی از مهمترین فرآیندهای شیمیایی در خاکها است که قابلیت دسترسی عناصر غذایی کم‌نیاز برای گیاه را تعیین می‌کند. هم‌دماهای جذب اطلاعات مفیدی را درباره گنجایش نگهداری خاک و قدرت جذب فلزات در خاک فراهم می‌کنند. اطلاعات درباره ویژگی‌های جذب روی و مس و پارامترهای ترمودینامیکی جذب در خاک‌های همدان محدود است. هدف این پژوهش مطالعه ویژگی‌های جذب و تعیین پارامترهای ترمودینامیکی جذب روی و مس در ده نمونه از خاک‌های سطحی (۰-۳۰ سانتی متری) استان همدان بود. برای مطالعه جذب روی و مس خاک‌ها، ۰/۵ گرم خاک با ۲۵ میلی‌لیتر محلول کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار حاوی ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر روی یا مس (به صورت سولفات روی یا سولفات مس) به تعادل رسانده شد (در سه تکرار)، سوسپانسیون خاک به مدت ۲۴ ساعت در دو دمای ۲۵±۱ و ۴۵±۱ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور به تعادل رسانده شد. پس از زمان تعادل سوسپانسیون‌ها صاف و غلظت روی و مس در محلول‌های صاف شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد. مقدار فلزات جذب شده توسط خاک‌ها از تفاوت بین غلظت اولیه و نهایی فلزات در محلول تعادلی محاسبه شد. روی و مس جذب شده توسط مدل‌های خطی، فروندلیچ، لانگ‌مویر، تمکین و D-R ارزیابی شدند. پارامترهای ترمودینامیکی جذب روی و مس نظیر  $K^0$ ،  $\Delta G^0$ ،  $\Delta H^0$  و  $\Delta S^0$  با استفاده از اطلاعات جذب و غلظت روی و مس در محلول تعادلی در دو دما تعیین گردیدند. در پایان همبستگی پارامترهای مدل‌های مختلف و همچنین پارامترهای ترمودینامیکی با ویژگی‌های خاک مطالعه شد. نتایج نشان دادند که هم‌دماهای خطی، فروندلیچ، تمکین و D-R قادر به توصیف جذب روی و مس بودند و فقط جذب روی به وسیله هم‌دمای لانگ‌مویر توصیف شد. نتایج نشان داد که ویژگی‌های جذب روی و مس خاک‌ها متفاوت و جذب مس در خاک‌ها بیشتر از جذب روی بود. نتایج پارامترهای ترمودینامیکی نشان داد که  $K^0$  و  $\Delta G^0$  با افزایش دما افزایش می‌یابند که نشان دهنده افزایش جذب با افزایش دما می‌باشد. دامنه تغییرات  $\Delta G^0$  جذب روی در دمای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۷/۰۰- تا ۱۶/۶۴- و ۱۳/۲۴- تا ۴۱/۹۳- کیلوژول بر مول بود. دامنه تغییرات  $\Delta G^0$  جذب مس در دمای ۲۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱۸/۳۰- تا ۲۴/۱۰- و ۲۱/۱۷- تا ۲۶/۲۷- کیلوژول بر مول بود. دامنه تغییرات آنتالپی استاندارد جذب روی و مس به ترتیب در دامنه ۴۴/۷۹ تا ۳۵۷/۴۷ و ۸/۱۸ تا ۴۲/۸۵ کیلوژول بر مول بود. مقادیر  $\Delta G^0$  منفی برای روی و مس نشان داد که جذب هر دو عنصر خودبخودی است. مقادیر  $\Delta H^0$  مثبت برای روی و مس نشان داد که جذب هر دو عنصر گرماگیر است. نتایج مطالعات همبستگی نشان داد که بعضی از پارامترهای هم‌دماها و پارامترهای ترمودینامیکی جذب روی با کربنات کلسیم معادل، ماده آلی و گنجایش تبادل کاتیونی همبستگی معنی‌داری داشتند. همچنین بعضی از پارامترهای هم‌دماها و پارامترهای ترمودینامیکی جذب مس با کربنات کلسیم معادل، درصد سیلت و گنجایش تبادل کاتیونی همبستگی معنی‌داری داشتند. نتایج نشان داد که پارامترهای ترمودینامیکی می‌تواند به عنوان یک روش برای مطالعه ویژگی‌های جذب روی و مس در خاک‌ها استفاده شود.

کلمات کلیدی: هم‌دمای جذب، پارامترهای ترمودینامیکی، روی، مس

هم‌دماهای جذب و پارامترهای ترمودینامیکی روی و مس

مقدمه

جذب یکی از مهمترین فرآیندهای شیمیایی در خاکها است. این فرآیند یک فاکتور اصلی در تعیین قابلیت دسترسی عناصر غذایی کم‌نیازی مثل مس و روی برای گیاه می‌باشد و انتقال آنها در خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. جذب همچنین خصوصیات الکترواستاتیک ذرات معلق (سوسپانسیون) و کلونیدها را بیان می‌کند.

جذب سطحی به عنوان مکانیسم مهمی که غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف را در محلول خاک و قابلیت دسترسی آن را برای گیاه تنظیم می‌کند مورد توجه می‌باشد. رفتار جذب روی و مس در انواع خاکها متفاوت است و بوسیله خصوصیات خاک از قبیل پ‌هاش، کانی‌شناسی رس، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و مقدار هیدروکسیدها تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بررسی هم‌دماهای جذب یک تکنیک مفید برای مطالعه نگهداری فلزات در خاکها است. هم‌دماهای جذب اطلاعات مفیدی را درباره گنجایش نگهداری خاک و قدرت جذب فلزات در خاک فراهم می‌کنند و اهمیت جذب عناصر غذایی کم‌مصرف بوسیله خاکها را بیان می‌کنند. شیب خطوط هم‌دماهای جذب به عنوان ضریب جذب ( $K_D$ )، بیانگر تحرک‌پذیری عناصر سنگین در محیط‌های آبی است. مقادیر زیاد آن نشان می‌دهد که فلزات جذب ذرات خاک می‌شوند و مقادیر کم آن بیانگر حضور فلزات در محلول خاک است که برای انتقال و فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی و جذب بوسیله گیاه در دسترس هستند. از آنجا که عناصر غذایی مورد نیاز گیاه با صرف انرژی حرکت می‌کنند، بنابراین نیاز به اطلاعاتی درباره پارامترهای ترمودینامیکی فرآیندهای جذب ضروری به نظر می‌رسد. در بحث ترمودینامیک، هدف تعیین فرآیندهای مناسب از لحاظ انرژی است. محققین زیادی بیان کرده‌اند که برای فهم مکانیسم‌های جذب و اندازه‌گیری گنجایش جذب خاک‌های مختلف علاوه بر معادله‌های تجربی (لانگ‌مویر و فروندلیچ) روش ترمودینامیک نیز می‌تواند موثر باشد.

ترکیبات مختلف خاک از قبیل اکسیدهای آهن، آلومینیوم و منگنز، سیلیکات‌های لایه‌ای، مواد آلی و کربنات‌ها به مقدار زیادی در جذب، قابلیت دسترسی و تحرک‌پذیری عناصر غذایی کم‌مصرف کاتیونی اهمیت دارند. برهمکنش میان ترکیبات تشکیل دهنده خاک نقش بزرگی در مقدار یونهای جذب شده و قابلیت دسترسی آنها برای گیاه دارد.

مطالعات زیادی در مورد جذب رقابتی عناصر کم‌یاب در کانی‌های خالصی مثل کائولینایت و گئوتایت و ترکیبات آلی و خاک‌های اسیدی انجام شده است در حالی که در خاک‌های آهکی مطالعات محدود بوده و شاید فقط بتوان به مطالعه انجام شده توسط جلالی و

محرمی (۲۰۰۷) در خاک‌های آهکی غرب ایران اشاره کرد. فرآیند جذب و پتانسیل آبشویی عناصر کم‌یاب بستگی به فاکتورهای ذاتی خاک مثل پ-هاش، خصوصیات کانی‌ها و ترکیبات آلی، خصوصیات فلز، قدرت یونی و حضور همزمان فلزات رقابت کننده دارد.

با توجه به اهمیت و ضرورت مس و روی در بسیاری از اعمال حیاتی انسان، حیوان و گیاه و همچنین با توجه به اینکه در مورد ویژگیهای جذب این عناصر در خاک‌های همدان اطلاعات کافی در دسترس نیست و هیچ‌گونه مطالعه‌ای در مورد تعیین پارامترهای ترمودینامیکی جذب این عناصر صورت نگرفته است این پژوهش با اهداف زیر انجام شد:

- ۱) تعیین ویژگیهای جذب روی و مس در خاک.
- ۲) تعیین پارامترهای ترمودینامیکی جذب روی و مس در خاک.
- ۳) ارتباط ویژگیهای جذب روی و مس با ویژگیهای خاک.
- ۴) ارتباط پارامترهای ترمودینامیکی جذب روی و مس با ویژگیهای خاک.