

بررسی تغییرات شوری خاک به کمک پردازش رقومی اطلاعات ماهواره

لندست در دشت قهاوند (استان همدان)

مهدی احمدیان^{۱*}، مجتبی پاک‌پرور و داوود عاشورلو

محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان؛ Mahdi.Ahmadian@Gmail.com

مری پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس؛ Pakparvar@Farsagres.ir

دانشجوی دکتری سنجش از دور - دانشگاه خواجه نصیرطوسی؛ Davood-Ashorloo@Yahoo.com

چکیده

فن‌آوری سنجش از دور به عنوان یک ابزار مناسب به منظور پایش زمانی و مکانی برخی از پدیده‌های طبیعی به شمار می‌رود. شوری ثانویه از مهمترین عوامل کاهش حاصلخیزی خاک در مناطقی است که مدیریت کارآمد و مطلوب بر منابع آب و خاک وجود نداشته است. این تحقیق برای یافتن بهترین روش‌های بهره‌گیری از سنجش از دور در طبقه‌بندی اراضی شور و ارزیابی روند تغییرات شوری در دشت قهاوند صورت گرفت. وسعت منطقه ۹۵۰۰۰ هکتار واقع در شرق استان همدان و همجوار با استان مرکزی است. شیوه کار بر پایه تفکیک سطوح مختلف خاک‌های شور به وسیله دو سری اطلاعات داده‌های رقومی ماهواره لندست ۵ و ۷ همراه با مطالعات زمینی به کمک بررسی باندهای مختلف سنجنده‌های TM و ETM و بررسی شاخص‌های مختلف PCA57، PCA123، NDVI، GRI، BRI برای خاک و پوشش گیاهی انجام شد. طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده همراه با مطالعات صحرائی و برداشت نمونه خاک سطحی و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها صورت گرفت. تصاویر پس از تصحیح طبقه‌بندی در سامانه اطلاعات جغرافیایی به صورت نقشه‌ها و جداول در دو مقطع زمانی ارائه گردید؛ صحت کلی طبقه‌بندی در تصاویر لندست ۵ و ۷ مورد بررسی قرار گرفت که برای پارامتر شوری این مقادیر به ترتیب ۷۱ و ۷۵ درصد می‌باشد. نتایج نشان دهنده افزایش وسعت خاک‌های شور به میزان قابل توجهی در طی ۱۱ سال است به طوری که وسعت اراضی شور ۳۱/۹ درصد افزایش داشته که این گسترش در کلاس شوری کم تا متوسط (S1) ۷/۹ درصد و در کلاس شوری متوسط تا شدید (S2) ۳۱/۲ درصد است. وسعت اراضی لخت و بایر و کفه‌های نمکی نیز از ۳۰۰۵ هکتار به ۸۴۴۶ هکتار رسیده که در حدود ۱۸۱ درصد بر وسعت آنها افزوده شده است.

واژه‌های کلیدی: شوری، سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی، تصاویر ماهواره‌ای لندست، طبقه‌بندی طیفی رقومی،

قهاوند

مقدمه

آنیونهای کلر، سولفات، بیکربنات و نیترات (میزان دو یون بیکربنات و نیترات کمتر است) و کاتیونهای کلسیم، منیزیم و سدیم می‌باشد (میزان یون سدیم کمتر است).

شوری و قلیائیت خاک‌ها مساله‌ای حاد برای کشتهای آبی در اقلیمهای خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود؛ شوری خاک در نتیجه افزایش غلظت املاح در سطح و افقهای زیرین خاک پدید می‌آید و این املاح شامل

۱- نویسنده مسئول، آدرس: همدان، کیلومتر ۵ جاده تهران، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، صندوق پستی. ۸۷۷

* دریافت: ۸۵/۵/۲۳ و پذیرش: ۸۹/۳/۱۷

کردند که تفکیک پذیری خاکهای به شدت شور و سدیمی از خاکهای نسبتاً شور و سدیمی امکان پذیر است و بر اساس آن به محاسبه مقادیر مورد نیاز گچ و اصلاح کننده‌های دیگر پرداختند.

علوی پناه (۱۳۷۶) تحقیقی در زمینه مطالعات خاک و شوری در منطقه اردکان واقع در شمال شهر یزد و جنوب پلایای اردکان انجام داد؛ این تحقیق بر پایه مشاهدات صحرائی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت و هدف این مطالعه، ارزیابی قابلیت اطلاعات ماهواره‌ای لندست جهت تهیه پوشش گیاهی و مطالعه میزان شوری خاک بود؛ طبقه‌بندی تصویر از نوع نظارت شده و با روش حداکثر احتمال صورت گرفت و نتیجه این تحقیق دارای دقت بالایی بود و نشان داد که باند حرارتی TM نقش مهمی در جداسازی خاک‌های شور از گچی، خاک شور از خاک غیر شور و تفکیک مناطق شهری از سله‌های نمکی سیاه متمایل به قهوه‌ای دارد.

پاک‌پرور (۱۳۸۱) گزارش داد که به کمک سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی امکان بررسی تغییرات شوری خاک و منابع آبی دشت کاشان ممکن می‌باشد در همین راستا برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۴ و ۵ از روش نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده نمود وی جهت طبقه‌بندی تصویر لندست ۴ (سنجنده MSS) برای شوری خاک از شاخص‌های PCA12, NDVI, PCA34 و جهت طبقه‌بندی تصویر لندست ۵ (سنجنده TM) از باند TM4 و شاخص‌های PCA57, PCA123 و NDVI استفاده کرد؛ نتایج این تحقیق نشان داد در فاصله دو مقطع زمانی ۱۹۸۹-۱۹۷۶ از سطح اراضی بدون شوری، ۷/۵ درصد کاسته شده و بر مساحت اراضی با طبقات شوری کم، متوسط و زیاد به طور پلکانی افزوده شده است همچنین مساحت سطوح شوره‌زار دریاچه نمک ۱ درصد کاهش داشته است.

احمدیان (۱۳۸۴) گزارش کرد که تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از بررسی منابع آب در دشت قهاوند نشان‌دهنده افت قابل توجه سطح آب‌های زیرزمینی نواحی مرکزی دشت در طی ۲۲ سال اخیر بوده و در چاه‌های شاخص کشاورزی دشت، روند افزایش شوری بین ۱/۵ تا ۳ برابر اتفاق افتاده است.

منطقه مورد مطالعه این تحقیق، دشت قهاوند یکی از چهار دشت واقع در حوزه آبریز رودخانه قره‌چای است که در شرق استان همدان قرار دارد. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۶۵۰ متر و وسعت اراضی شور و سدیک تفکیک شده ۲۶۹۰۰ هکتار است؛ متوسط بارش سالانه

افیونی و مجتبی پور (۱۳۷۶) گزارش کردند که مقدار هدایت الکتریکی این خاکها بیش از ۴ دسی زیمنس بر متر و میزان جذب سدیمی آنها کمتر از ۱۳ می‌باشد و غالباً قشر سفیدی سطح آنها را می‌پوشاند؛ وجود غلظت بالای نمک در خاک باعث حفظ شرایط هم‌آوری و افزایش نفوذپذیری خاک شده و برای تولید مطلوب محصولات زراعی نیاز به انجام عملیات اصلاحی می‌باشد؛ خاکهای سدیمی نیز در اثر افزایش غلظت سدیم محلول و بالا رفتن میزان جذب سدیمی بیش از ۱۳ و پایین رفتن مقدار هدایت الکتریکی کمتر از چهار دسی زیمنس بر متر پدید می‌آیند؛ در این خاکها به سبب هیدرولیز سدیم و تولید هیدروکسید سدیم محلول و واکنش با دی اکسید کربن سر انجام کربنات سدیم حاصل می‌شود که این امر اسیدیته خاک را حتی تا حدود ۱۰ افزایش می‌دهد؛ بالا رفتن غلظت یون سدیم سبب از هم پاشیدگی سیستم رسی شده و ورود هوا و آب به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

سنجش از دور به عنوان یک ابزار مناسب جهت بررسی برخی از پدیده‌های طبیعی به شمار می‌رود و اطلاعات وسیعی را از یک منطقه در مقاطع زمانی مختلف ارایه نموده و سرفصل بزرگی از تحقیقات جهانی را به خود اختصاص می‌دهد؛ دماوندی (۱۳۷۶) گزارش کرد که پیشرفت‌های اخیر در کاربرد فن‌آوری سنجش از دور در تهیه نقشه و مدیریت زمینهای تحت تأثیر نمک، سبب افزایش سرعت و دقت مطالعات و کاهش هزینه‌های مربوطه شده است.

رحمان و همکاران (۱۹۹۴) گزارش کردند که در میان باندهای ماهواره اسپات، باند شماره ۳ را به عنوان مناسبترین باند برای مطالعات شوری و قلیائیت خاک معرفی کردند؛ بررسی‌های آماری آنان نشان داد از بین نسبتهای طیفی، شاخص درخشندگی (BI) دارای همبستگی مثبت معنی‌داری با مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم محلول است همچنین بررسی شاخص (RI) و شاخص گیاهی تفاضل عادی شده (NDVI) مؤید وجود همبستگی منفی با سدیم، کلسیم و منیزیم محلول می‌باشد.

مسعودی (۱۳۸۰) گزارش کرد که بهتر بودن پوشش گیاهی (در شرایط مشابه سایر خصوصیات خاک) نشانه پایین بودن مقدار شوری و قلیائیت خاک است و کم بودن مقدار شاخصهای (RI) و (NDVI) در تصویر، نشان‌دهنده کم بودن پوشش گیاهی ناشی از بالا بودن املاح خاک است؛ به عقیده او نسبت طیفی (BI) بهترین نسبت برای بررسی خصوصیات خاک تحت تأثیر املاح می‌باشد.

رائو و همکاران (۱۹۹۵) ضمن تأیید داده‌های ماهواره لندست برای تهیه نقشه شوری و قلیائیت گزارش

منطقه ۲۶۰ میلیمتر، متوسط دمای سالانه ۱۱/۷۹ درجه سانتیگراد، میزان تبخیر سالانه از سطح طشتک ۲۰۲۰ میلیمتر و اقلیم منطقه به روش دمارتن نیمه خشک و به روش آمبرژه خشک سرد بوده و از نظر فیزیوگرافی جزء دشتهای سیلابی و اراضی پست است.

وسعت حوزه آبریز این رودخانه بالغ بر ۵۸۴۵ کیلومتر مربع است و قسمت عمده آن (نزدیک به سه چهارم) خارج از محدوده استان همدان و در استان‌های مرکزی و قم قرار دارد. شکل شماره ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان مشخص می‌نماید، بر این اساس دشت قهاوند در دامنه شمالی کوه الوند و حد فاصل طول شرقی ۳۴° ۰۹' - ۴۹° ۵۸' و عرض شمالی ۳۴° ۵۷' - ۳۴° ۲۵' قرار گرفته و از شمال به دشت رزن- فامنین و از شرق به کوه‌های داقداق، انجیلی و کوه سفید و از غرب به کوه‌های قزل داغ و اوچ قارداش و از جنوب به دشت وسیع شرا در استان مرکزی محدود می‌شود.

مواد و روشها

در این تحقیق با توجه به استفاده از سنجش از دور برای تعیین حدود مختلف شوری خاک مراحل زیر مورد بررسی قرار گرفت.

الف) تهیه داده‌های دور سنجی و قرائت آن در سیستم (رایانه)

به منظور تهیه داده‌های مورد نیاز ابتدا محدوده مطالعاتی روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مشخص گردید و با توجه به طول و عرض جغرافیایی، شماره گذر و ردیف تصویر ماهواره‌ای تعیین شد؛ بر این اساس منطقه مطالعاتی در محدوده تصویر همدان با شماره گذر و ردیف ۱۶۶-۳۶ قرار دارد.

قدیمی‌ترین اطلاعات ماهواره‌ای موجود از منطقه، مربوط به ماهواره لندست ۵ (تاریخ تصویربرداری ۲ ژوئن ۱۹۸۹ میلادی - ۱۲ خرداد ۱۳۶۸ شمسی) و جدیدترین اطلاعات منطقه در زمان انجام تحقیق مربوط به ماهواره لندست ۷ (تاریخ تصویربرداری ۲۹ ماه می ۲۰۰۰ میلادی - ۸ خرداد ۱۳۷۹ شمسی) است. اطلاعات مذکور تهیه و به کمک نرم‌افزارهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

ب) تهیه اطلاعات جانبی

برای طبقه‌بندی داده‌های سنجنده TM از نتایج تجزیه ۴۱ عدد از نمونه‌های خاک سطحی پروفیلها و مته‌های حفر شده که از گزارشات جنبی و نقشه‌های مطالعات قبلی خاکشناسی منطقه انجام شده، استفاده گردید لازم به ذکر است که منبع این اطلاعات، گزارش خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی دشت شرا بوده که توسط واحد مهندسی

آب و خاک وزارت جهاد سازندگی (۱۳۶۷) انجام شده است، همچنین از اطلاعات تکمیلی طرح مطالعات توسعه روستاهای استان همدان، بخش مطالعات خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی که توسط مهندسین مشاور تهران پژوهش (۱۳۶۹) صورت گرفته نیز استفاده شد.

به منظور طبقه‌بندی داده‌های سنجنده ETM نیاز به اطلاعات جنبی به هنگام بود که از طریق مطالعات صحرائی فراهم شد بدین منظور به کمک نقشه‌های خاکشناسی از ۵۳ نقطه از منطقه، نمونه‌برداری شد؛ نحوه نمونه‌برداری به صورت سطحی از عمق ۰ تا ۱۰ سانتیمتری بوده و در هر نقطه به جز نقطه اصلی، یکسری نمونه‌های کمکی در سه جهت با زاویه ۱۲۰ درجه و فاصله ۵۰ متر از نقطه اصلی برداشت شده و با آن مخلوط گردید (شکل شماره ۲)؛ همچنین موقعیت جغرافیایی نقاط مرکزی نمونه‌برداری به کمک GPS تعیین شد.

متریکت و زینک (۱۹۹۷) گزارش کردند که با اعمال این روش نمونه‌برداری، خطای ناشی از تغییرات موضعی خاک به حداقل رسیده و در نتیجه یک حالت یکنواختی برای پیکسل‌های همجوار در مساحت حدود ۰/۸ هکتار پدید خواهد آمد؛ لازم به ذکر است که هر پیکسل تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۷ محدوده‌ای به ابعاد ۳۰ در ۳۰ متر زمینی است بنابر این در هر بار نمونه‌برداری مرکب از خاک، اطلاعات محدوده‌ای مشتمل بر ۹ پیکسل، به طول و عرض ۹۰ متر و مساحت ۸۱۰۰ متر مربع یا ۰/۸ هکتار (۹۰×۹۰=۸۱۰۰m^۲) برداشت خواهد گردید.

نانکلی (۱۳۷۵) گزارش کرد که جهت تعیین صحت تطابق هندسی تصویر، علاوه بر مختصات جغرافیایی محل‌های نمونه‌برداری باید مختصات نقاط دیگری از قبیل تقاطع جاده‌ها، مرکز روستاها و مناطق دارای خصوصیات بارز نیز تعیین شود که در همین راستا ثبت مختصات جغرافیایی ۶۰ نقطه شاخص در منطقه انجام شد.

نمونه‌های مرکب گرفته شده در آزمایشگاه خاکشناسی مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند و پارامتر هدایت الکتریکی خاک (ECe) در آنها اندازه‌گیری شد تا این اطلاعات کمی جهت مراحل بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

ج) بارزسازی تصویر

در این مرحله، محدوده مورد مطالعه در تصاویر TM-۱۹۸۹ و ETM-۲۰۰۰ به صورت یک پنجره جدا و سپس تصحیحات رادیومتریک روی تصاویر انجام شد. دماوندی (۱۳۷۶) روشی را جهت رفع خطاهای ناشی از سنجنده (خطای راه راه شدگی) در تصویر TM معرفی کرده که مشتمل بر تصحیحات Banding و Striping می‌باشد

استخراج نتایج جزئی و دقیقتری را نسبت به تفسیر چشمی ممکن می‌سازد.

طاهرکیا (۱۳۷۵) گزارش کرد که تفسیر رقومی اطلاعات ماهواره‌ای معمولاً به کمک رایانه و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای خاص به دو صورت نظارت نشده و نظارت شده انجام می‌شود؛ بر این اساس طبقه‌بندی استفاده شده در این تحقیق از نوع نظارت شده بوده و شامل سه مرحله تعیین طبقه‌ها، کلاس‌بندی نمونه‌های تعلیمی و نهایتاً طبقه‌بندی تصویر است.

فرامرزی و کشمیری (۱۳۶۷) برای تعیین طبقات شوری خاک روشی را گزارش کردند که شرح آن در دستورالعمل نشریه فنی شماره ۷۵۸ مؤسسه تحقیقات خاک و آب آمده است و خلاصه‌ای از آن در جدول شماره ۱ ملاحظه می‌شود.

برای مطالعه و طبقه‌بندی تصویر سال ۲۰۰۰، نمونه‌گیری خاک از قسمت‌های مختلف منطقه صورت گرفته از اینرو این نمونه‌های خاک «به‌هنگام» بودند اما در تصویر سال ۱۹۸۹ نمونه‌ها با توجه به نقشه‌های مطالعات خاک‌شناسی قبلی منطقه انتخاب شده‌اند که به عنوان نمونه تعلیمی مورد استفاده قرار گرفتند؛ در این خصوص هدایت الکتریکی لایه سطحی خاک را در نقاط حفر نیم‌رخ و مناطقی که از طریق مته، نمونه‌گیری شده‌اند مورد توجه قرار داده و از طریق محاسبه مختصات مکانی این نقاط، نقشه رقومی هدایت الکتریکی خاک در سال انجام مطالعه تولید شد به این ترتیب از روی نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک جدید و همچنین نمونه‌های خاک مطالعات قبلی، مقادیر هدایت الکتریکی خاک (ECe) جدا شد.

مقادیر هدایت الکتریکی لایه سطحی خاک به همراه مختصات مکانی نقاط نمونه‌برداری در پایگاه داده Excel وارد شده و محدوده طبقات شوری اراضی در دو مقطع زمانی از هم مجزا شدند و در محیط نرم‌افزاری Arcview به صورت لایه‌های مختلف از هم تفکیک گردیدند.

رشیدی و علیمحمدی (۱۳۸۲) به منظور حذف خطاهای ناشی از جای‌نگاری محل‌های نمونه‌برداری خاک و کاهش اثر پیکسل‌های استثنایی در تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از یک فیلتر ۳×۳ را گزارش کردند که در این تحقیق نیز از این روش استفاده شد؛ پس از وارد کردن مختصات نقاط نمونه‌برداری خاک به تصاویر، ارزش طیفی خروجی آن نقاط (DN) در تمامی باندها اندازه‌گیری و ثبت گردید، سپس در محیط GIS یک پایگاه داده تشکیل و

(توضیح اینکه خطای Striping در اثر کالیبراسیون نابرابر آشکارسازها و خطای Banding در اثر کالیبراسیون نابرابر باندها در هنگام اسکن رفت و برگشت به وجود می‌آید) بر این اساس در تصویر TM تصحیحات Banding و Striping و در تصویر ETM تصحیح Striping صورت گرفت. جنتی (۱۳۷۶) برای کاهش و تصحیح اثرات اتمسفری در مطالعات سنجش از دور روش‌های متفاوتی را معرفی کرده که از آن جمله می‌توان به روش حجم سیاه، روش حداقل هیستوگرام و روش نویزدائی طیفی (MNF) اشاره کرد که در این میان روش نویزدائی طیفی کاربرد مطلوبی دارد.

برای کاهش و تصحیح اثرات اتمسفری از روش حجم سیاه (به دلیل پرآب بودن دو سد آبشینه و اکباتان در موقع تصویربرداری) و تکنیک نویزدائی طیفی (به منظور تحلیل مرز لندیوزها و تغییرات کوچکتر از حد پیکسل) به تفکیک استفاده گردید. تصحیحات هندسی تصویر به کمک ۶۰ نقطه کنترل زمینی شاخص از منطقه که مختصات مکانی آنها به کمک GPS ثبت شده انجام گردید، پس از انتخاب این نقاط از روابط ریاضی چند جمله‌ای با درجات مختلف برای ایجاد مدل تغییر مختصات پیکسل‌ها استفاده شد. با استفاده از معادلات درجه ۱ و ۲ با RMSE های مختلف، تصاویر تصحیح شده‌ای استخراج گردید و در این میان معادلات درجه اول به دلیل شرایط منطقه، استفاده مطلوبی داشت چرا که میزان خطای میانگین مربعات کمتر از حد پیکسل بوده و مورد قبول واقع شد (RMSE=۱۳/۷) همچنین به منظور کنترل دقت هندسی، تصویر تصحیح شده با نقشه‌های رقومی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استان همدان مقایسه شد.

پس از اعمال تصحیحات هندسی، شبکه راه‌ها و جاده‌های تصاویر TM و ETM به صورت تصویر به تصویر به هم ارتباط داده شدند تا شرایط نقاط نظیر هم از لحاظ توزیع در دو تصویر یکسان در نظر گرفته شود؛ دیسفانی (۱۳۷۷) استفاده از منحنی تطابق را به منظور ارتباط دو تصویر از یک منطقه در فواصل زمانی مختلف لازم دانسته بنابراین جهت هماهنگی اطلاعات دو تصویر در این مطالعه نیز از منحنی تطابق (Histogram matching) استفاده گردید. در مرحله بعد مرز اولیه منطقه مورد مطالعه به کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ دیجیتال استان استخراج و در نرم افزار Ilwis محدوده مطالعاتی دو تصویر TM و ETM تفکیک گردید.

د- استخراج اطلاعات مورد نیاز از داده‌های ماهواره‌ای

منظور از تفسیر رقومی اطلاعات ماهواره‌ای، تجزیه و تحلیل ارزش‌های رقومی پیکسل‌های تصویر است که

سپس طبقه‌بندی نظارت‌شده^۶ به روش حداکثر احتمال^۷ صورت گرفت و بر اساس همبستگی ارزش طیفی باندهای مختلف با پارامتر هدایت الکتریکی خاک، ارتباط پیکسل‌های طبقه‌بندی نشده به یکی از طبقات طیفی، مورد استناد قرار گرفت؛ تحقیقات انجام شده توسط راتو و همکاران (۱۹۹۵) بیانگر این نکته است که با استفاده از احتمالات، هریک از پیکسل‌های تصویر پس از آزمون آماری و محاسبه میزان احتمال، تعلق به نزدیکترین گروه‌های طیفی نمونه داشته، و بر این اساس طبقه‌بندی گردیده و در آن طبقه بخصوص قرار می‌گیرد.

تصاویر طبقه‌بندی شده اولیه به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی به کمک جداول خطا^۸ بررسی شدند و معیارهای صحت کلی^۹ و ضریب کاپا^{۱۰} برای آنها محاسبه شد. مدر (۱۹۹۹) استفاده از ضریب کاپا را روشی مناسب به منظور خلاصه کردن اطلاعات ایجاد شده به کمک ماتریس خطا عنوان کرده که نحوه محاسبه این ضریب با استفاده از فرمول زیر می‌باشد:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} \cdot X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} \cdot X_{+i}}$$

مؤلفه‌ها در این رابطه شامل: K ضریب کاپا، X_{ij} ورودی‌های قطری ماتریس خطا، X_{i+} مجموع ردیف‌های i ماتریس خطا، X_{+i} مجموع ستون‌های i ماتریس خطا، N تعداد عناصر در ماتریس خطا می‌باشند.

مدر (۱۹۹۹) همچنین ارزش صفر معیار کاپا را بیانگر عدم وجود تطابق بین اطلاعات حاصل از طبقه‌بندی و اطلاعات واقعیت زمینی دانسته در حالیکه ارزش یک معیار کاپا، بیانگر مطابقت کامل اطلاعات حاصل از طبقه‌بندی و اطلاعات واقعیت زمینی بیان می‌کند. پس از رسیدن به دقت مطلوب از تصاویر طبقه‌بندی شده، پلی‌گون‌های کلاس‌های مختلف هدایت الکتریکی خاک در قالب سه طبقه مختلف تفکیک و به کمک نرم‌افزار Arcview ترسیم و طبقات مختلف با رنگ‌های استاندارد از یکدیگر تفکیک شدند بدین ترتیب نقشه‌های نهایی شوری خاک از داده‌های ماهواره‌ای TM و ETM+ استخراج گردید.

شاخص‌های NDVI^۱، BRI^۲، GRI^۳، PCA123 و PCA57 برای تمامی نقاط محاسبه و ثبت شد.

کریست و همکاران (۱۹۸۵) شاخص‌های مختلف تصویر را جهت مطالعات زیست‌محیطی چنین معرفی کرده‌اند: شاخص NDVI یک شاخص گیاهی است و از فرمول $NDVI = (NIR-Red)/(NIR+Red)$ محاسبه می‌شود که در آن NIR باند مادون قرمز نزدیک و Red باند قرمز است. شاخص BRI نیز معروف به شاخص روشنایی است که میانگین وزنی باندهای تصویر را به استثنای باند حرارتی نشان می‌دهد، شاخص GRI، شاخص سبزی است که کنتراست باندهای مرئی و مادون قرمز را مشخص می‌نماید و شاخص PCA^۴ تجزیه مؤلفه‌های اصلی تصویر به صورت چند متغیره در باندهای ذکر شده را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه تعداد باندها در سنجنده ETM+ برابر با ۸ و تعداد شاخص‌های مطالعه شده در این تحقیق برابر با ۵ می‌باشد جمعاً ۱۳ داده روشنایی برای تصویر سال ۲۰۰۰ و ۱۲ داده روشنایی برای تصویر سال ۱۹۸۹ به دست آمد و در نهایت همبستگی آماری بین درجات روشنی تصاویر (به تفکیک باندها و شاخصها) با مقادیر ECE نمونه‌های خاک مورد بررسی قرار گرفت.

براندت و همکاران (۱۹۹۸) تحلیل تفکیک‌پذیری کلاس‌ها را با استفاده از تفکیک‌پذیری میانگین و محاسبه فاصله جفریس ماتوسیتا مناسب معرفی کردند، بنابراین با ورود کلاس‌های اطلاعاتی به محیط پردازش تصویر، تحلیل تفکیک‌پذیری کلاس‌ها با استفاده از تفکیک‌پذیری میانگین و محاسبه فاصله جفریس ماتوسیتا^۵ انجام شد.

$$J_{Ij} = 1000 [2(1 - e^{-\alpha})]^{1/2}$$

در این عبارت α شامل دو عبارت، ماتریس کوواریانس نمونه‌های تعلیمی و تفاوت میانگینها است که بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{1}{8} (m_i - m_j)^2 \left\{ \left(\frac{\sum i + \sum j}{2} \right)^{-1} (m_i - m_j) \right\} + \frac{1}{2} \ln \left\{ \frac{\left(\frac{\sum i + \sum j}{2} \right)}{\sqrt{\sum i + \sum j}} \right\}$$

- 1- Normalized Difference Vegetation Index
- 2- Brightness Index= Mid weight of total bands except thermal band
- 3- Greenness Index= Contrast of visible and infrared bands
- 4- Principal Component Analysis
- 5- Jeffries Matusita

- 6- Supervised Classification
- 7- Maximum Likelihood (ML)
- 8- Error Matrix
- 9- Total Accuracy
- 10- Kappa Coefficient

نتایج

همبستگی آماری مقادیر داده‌های روشنائی تصاویر (به تفکیک باندها و شاخصها) با مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک مورد بررسی قرار گرفت که نتایج این بررسی در جداول شماره ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود. با دقت در اطلاعات این جدول می‌توان دریافت که در تصویر TM-1989 باندهای (۲ و ۳) و شاخص‌های NDVI و GRI، همچنین در تصویر ۲۰۰۰ ETM+ باند (۲) و شاخصهای NDVI و GRI در سطح اعتماد ۹۵ درصد با پارامتر هدایت الکتریکی خاک همبستگی مناسبی دارند. از این جداول همبستگی باندهای (۲ و ۳) تصویر ۱۹۸۹ و همچنین همبستگی باند (۲) تصویر ۲۰۰۰ با سایر باندها قابل استناد است.

از مقادیر ارزش طیفی نقاط که بر روی باندها و شاخص‌های مختلف تصاویر محاسبه شده نیز برای تفکیک طبقات مختلف شوری خاک (کلاسهای هدایت الکتریکی خاک) استفاده شد که در شکل شماره ۳ ملاحظه می‌شود. با توجه به این شکل در تصویر TM-1989 تعداد ۷ باند و ۵ شاخص و در تصویر ۲۰۰۰ ETM- تعداد ۸ باند و ۵ شاخص بر اساس میانگین ارزش طیفی در ارزیابی کلاسهای مختلف شوری خاک منطقه دخالت داشته‌اند.

با دقت در نمودار طیفی مذکور (شکل شماره ۳) چنین نتیجه‌گیری می‌شود که در تصویر TM-1989 باندهای ۳ و ۶ و شاخصهای NDVI و Greenness و در تصویر ۲۰۰۰ ETM- باند ۳ و شاخصهای NDVI و ۳ و ۷ و ۵ PCA بهترین نتیجه را در طبقه‌بندی درون‌گروهی جهت تفکیک طبقات شوری خاک نشان می‌دهند.

اطلاعات جداول شماره ۴ و ۵ نیز ارزیابی صحت کلی طبقه‌بندی کلاسهای شوری خاک را بعد از طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهند که در تصویر ETM+ به کمک مقایسه کلاس‌های تفکیک شده بر روی تصویر با نتایج آزمون نمونه‌های خاک تجزیه شده (واقعیت زمینی سال ۲۰۰۰) و در تصویر TM از طریق مطابقت کلاسهای هدایت الکتریکی تصویر طبقه‌بندی شده با نقشه خاک‌شناسی منطقه (واقعیت زمینی سال ۱۹۸۸) صورت گرفته است.

بر این اساس صحت کلی طبقه‌بندی در داده‌های ماهواره‌ای ETM+ برابر ۷۵/۱ درصد با احتساب ضریب کاپای ۰/۶۹ است و بیشترین میزان دقت طبقه‌بندی معادل ۸۰ درصد در تفکیک کلاس شوری S1 (با محدودیت کم

تا متوسط) و کمترین میزان صحت در تفکیک کلاس شوری S0 (با محدودیت جزئی تا کم) می‌باشد. ارزیابی صحت طبقه‌بندی در داده‌های ماهواره‌ای TM نیز نشان دهنده صحت کلی ۷۰/۶ درصد با احتساب ضریب کاپای ۰/۶۳ است که بیشترین میزان دقت در طبقه‌بندی برابر ۷۳/۳ درصد مربوط به کلاس شوری S1 (با محدودیت کم تا متوسط) بوده و کمترین میزان صحت برابر ۶۸/۷ درصد در تفکیک کلاس شوری S0 (با محدودیت جزئی تا کم) می‌باشد.

چنان‌که ملاحظه می‌شود صحت طبقه‌بندی در تفکیک طبقات مختلف شوری خاک در تصاویر پردازش شده مورد بحث با واقعیت زمینی مطابقت مناسبی داشته و برای هر دو تصویر از دقت نسبتاً مطلوبی برخوردار است. اجزاء تشکیل دهنده جدول (۵) به نقل از دیسفانی (۱۳۷۷) به شرح ذیل می‌باشد:

i - تعداد پیکسل‌های حاصل از نمونه‌های تعیین شده با استفاده از داده‌های مرجع زمینی، *ii* - درصد دقت طبقه‌بندی در کلاس مورد نظر

iii - پیکسل‌های حاصل از نمونه‌های وابسته به طبقه *i* که در طبقه بندی مذکور در طبقه *i* منظور نشده‌اند، *TA* - صحت کلی طبقه‌بندی

K - شاخص کاپا

شکل شماره ۴ نقشه‌های نهایی استخراج شده توسط عملیات طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر را در دو سال ۱۹۸۹ و ۲۰۰۰ نشان می‌دهد. با دقت در نقشه‌های حاصل، تغییرات مساحت دستجات مختلف شوری در تصویر سال ۲۰۰۰ نسبت به تصویر سال ۱۹۸۹ مشهود است بدین ترتیب قسمت عمده‌ای از خاکهایی که غلظت املاح آنها از نظر زراعی در حد استاندارد بوده است با گذشت حدود ۱۱ سال غلظت املاح آنها افزایش یافته و شورتر شده‌اند به طوری که مساحت زیادی از خاکهای واقع در کلاس شوری جزئی تا کم (S0) اینک به کلاسهای شوری کم تا متوسط و متوسط تا زیاد (S1-S2) متمایل شده‌اند.

در جدول شماره ۶ مساحت طبقات مختلف شوری خاک (*A* و *A'*) و سهم هر کدام از درصد کل مساحت منطقه (*p* و *p'*)، همچنین روند تغییرات شوری خاک در حد فاصل سالهای ۱۹۸۹ و ۲۰۰۰ میلادی شامل تفاضل تغییرات به نسبت هر کلاس شوری (*A'-A*)، درصد تغییرات نسبت به مساحت اولیه $[(A'-A) / A]$ و دامنه تغییرات در مقایسه با مساحت کل منطقه (*P'-P*) ملاحظه می‌شود. بر این اساس بیشترین میزان تغییرات مربوط به کاهش مساحت اراضی کلاس شوری S0 و افزایش قابل ملاحظه مساحت اراضی کلاس شوری S2 است.

بحث

فاقد پوشش گیاهی از ۵۴۰۰ هکتار به ۱۰۶۲۳ هکتار و همچنین کاهش وسعت اراضی مرتعی از ۱۷۱۹۱ هکتار به ۱۳۱۰۳ هکتار گردیده است.

از بین رفتن پوشش گیاهی سطحی، افزایش میزان غلظت املاح در خاک، رهاسازی اراضی فاریاب و دیم به دلیل فقدان منابع آب سبب افزایش قابل ملاحظه میزان سیلاب‌های مهلک و فرسایش آبی چشمگیر در سطح دشت گردیده است و این موارد تخریب همه‌جانبه منابع اراضی این دشت را تأیید می‌نماید. به این ترتیب می‌توان عوامل مؤثر در شور شدن اراضی دشت قه‌اوند را عوامل انسانی مشتمل بر مدیریت نامناسب اراضی فاریاب و عدم توجه به اصول فنی آبیاری دانست که سبب توسعه شوری ثانویه شده و زمین‌های آبیاری شده با رنگ سفید از زمینهای اطراف کاملاً قابل تشخیص می‌باشند.

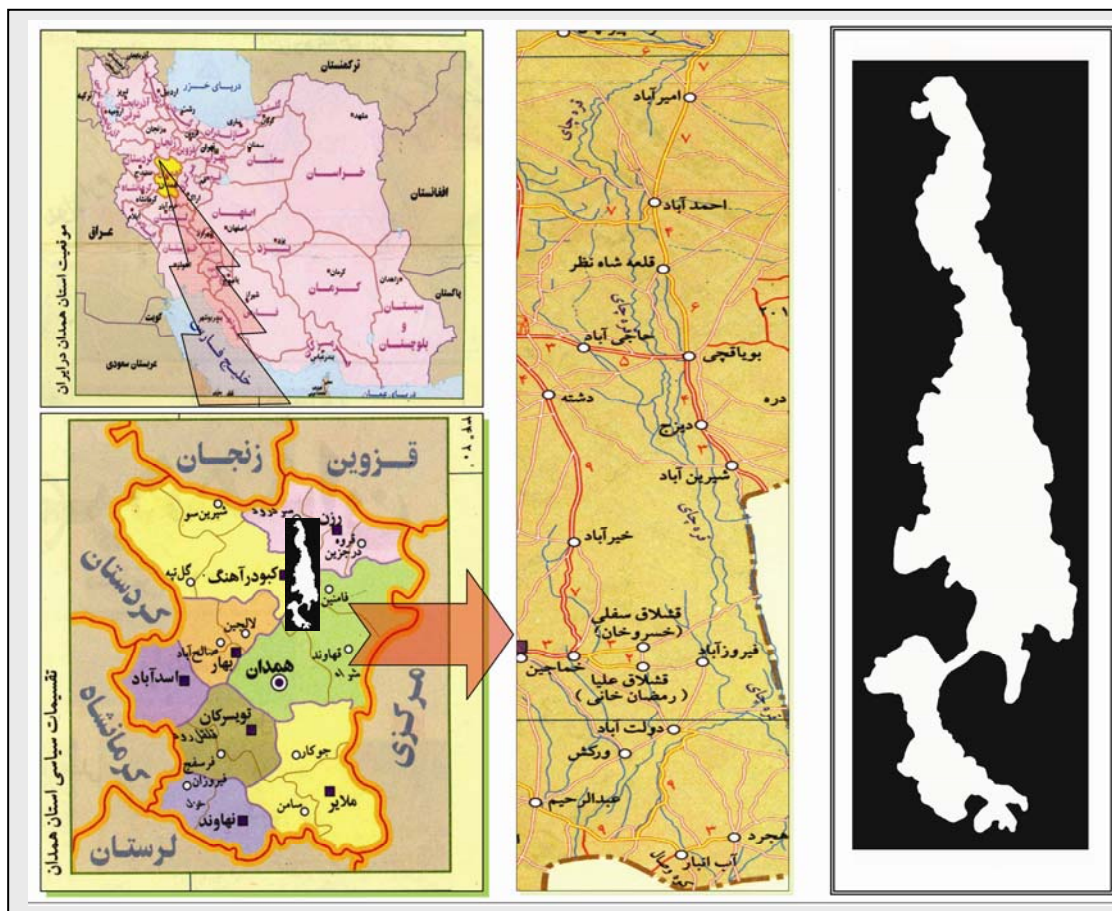
در خصوص بحث سنجش از دور و بر اساس نتایج همبستگی باندها و شاخصهای تصویر با فاکتور هدایت الکتریکی خاک (Ece)، بهترین و مناسبترین باندها برای طبقه‌بندی تصویر $ETM +$ جهت مطالعه پدیده شوری خاک، باند (۲) تصویر ETM است که همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد با EC خاک نشان می‌دهد؛ همچنین بهترین و مناسبترین باندها برای طبقه‌بندی تصویر TM جهت بررسی پدیده شوری خاک باندهای (۳ و ۲) تصویر TM است که همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد با EC خاک بین آنها وجود دارد. بر اساس بررسیهای انجام شده در این مطالعه روی شاخصها و نسبتهای طیفی تصاویر، شاخص سبزی (Greenness) و شاخص گیاهی (NDVI) بیشترین میزان همبستگی منفی را با Ece خاک در سطح اعتماد ۹۵٪ نشان می‌دهند و توجه این پدیده، محدود شدن رویش گیاهان در اثر افزایش غلظت املاح و اثرات نامطلوب نمک بر فیزیولوژی گیاهی است که پیامد آن کاهش درصد پوشش گیاهی در سطح خاک است.

استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده به روش حداکثر احتمال، دقت مناسبی را در تفکیک طبقات مختلف شوری خاک در دو تصویر پدید آورد و با توجه به نمودار طیفی حاصل از طبقه‌بندی کلاسهای مختلف شوری، باندهای (۳ و ۶) و شاخصهای سبزی و پوشش گیاهی تصویر TM و باند (۳) و شاخصهای پوشش گیاهی و تجزیه‌مولفه‌های اصلی تصویر ETM بهترین نتایج را در طبقه‌بندی کلاسهای هدایت الکتریکی خاک فراهم نمودند، به طوری که صحت کلی طبقه‌بندی تصاویر حاصله نیز تأیید کننده این موضوع که در تصویر لندست ۷ برابر با ۷۵/۱ درصد و در تصویر لندست ۵ معادل با ۷۰/۶ درصد است.

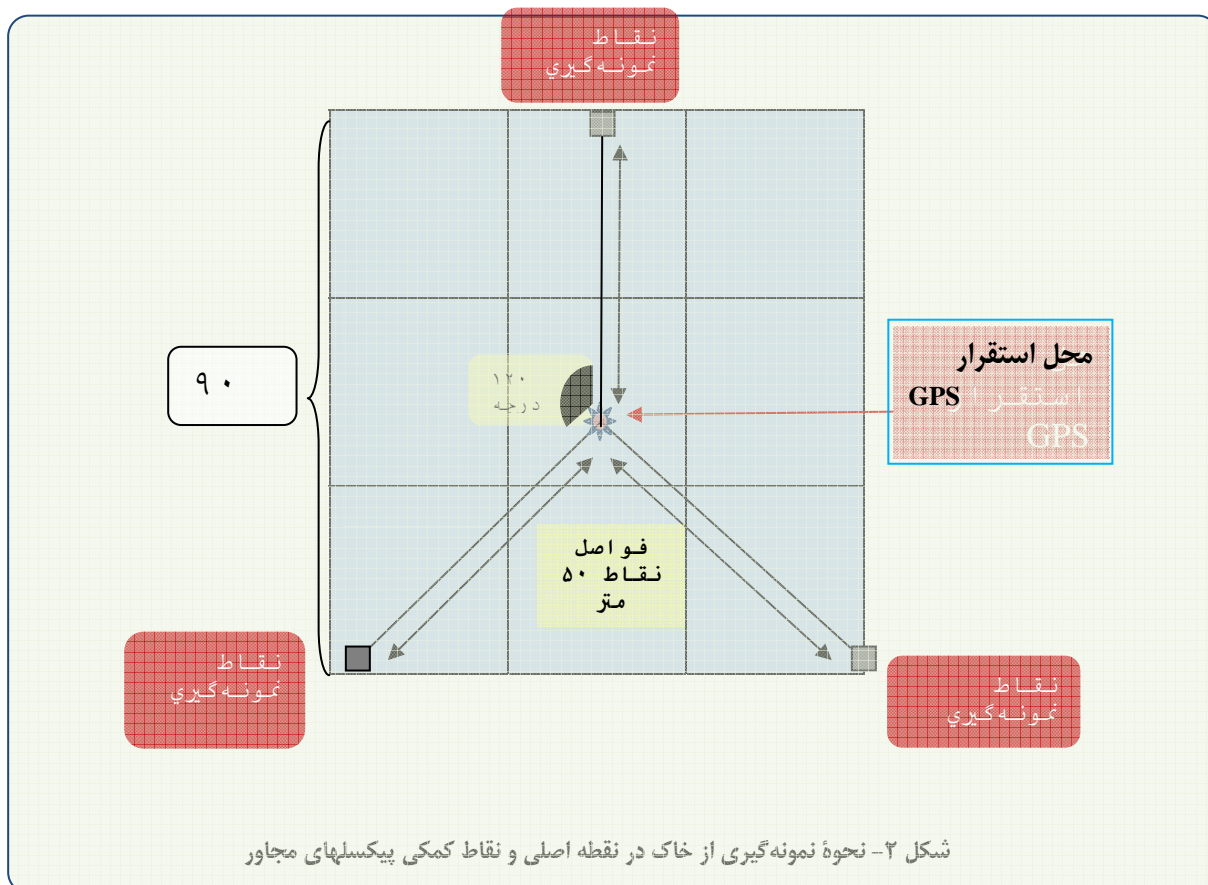
از مقایسه نقشه‌های شوری خاک چنین نتیجه می‌شود که مساحت کلیه دستجات شوری خاک در تصویر سال ۲۰۰۰ نسبت به سال ۱۹۸۹ تغییراتی داشته‌اند و بیشترین تغییرات مربوط به کاسته شدن مساحت اراضی بدون شوری (S0) است، به عبارت دیگر وسعت اراضی فاقد شوری (کلاس S0) ۶۱/۵ درصد نسبت به مساحت اولیه کاهش یافته است؛ به دنبال کاهش سطح کلاس شوری جزئی، افزایش وسعت اراضی در کلاسهای شوری کم تا متوسط (کلاس S1) به میزان ۴۱/۳ درصد و همچنین کلاس شوری متوسط تا شدید (کلاس S2) به میزان ۴۸/۶ درصد به وقوع پیوسته است؛ یعنی قسمت عمده‌ای از اراضی فاقد شوری (کلاس S0) طی ۱۱ سال شورتر شده و افزایش غلظت املاح، سبب تبدیل آنها به کلاسهای شوری کم تا متوسط (کلاس S1) و شوری متوسط تا زیاد (کلاس S2) گردیده است.

دلیل عمده این امر را باید در مدیریت نامناسب اراضی فاریاب و تغییرات کاربری اراضی و رهاسازی اراضی دیم کم بازده جستجو نمود. مطالعات پایه منابع آب زیرزمینی منطقه که توسط امور آب استان همدان (۱۳۸۲) انجام شده نشان دهنده پایین رفتن سطح آبهای زیرزمینی به میزان ۱۷ متر در حد فاصل سالهای ۱۳۸۰-۱۳۶۸ و افت کیفیت آبهای زیرزمینی مندرج در دیاکرام ویلکوکس از کلاس C3S1 (شوری زیاد و سدیم کم) به سمت کلاس C4S2 (شوری زیاد سدیم متوسط) می‌باشد همچنین بیلان منفی سفره‌های آب زیرزمینی در سال ۱۳۸۰ به میزان ۲۶۶۱۵۴۳- متر مکعب است که در مجموع افت شدید کمی و کیفی آبهای زیرزمینی را به دلیل استفاده از روش‌های آبیاری سنتی و مدیریت نامناسب استفاده از آب که در بسیاری از نواحی دشت قابل مشاهده است توجیه می‌کند.

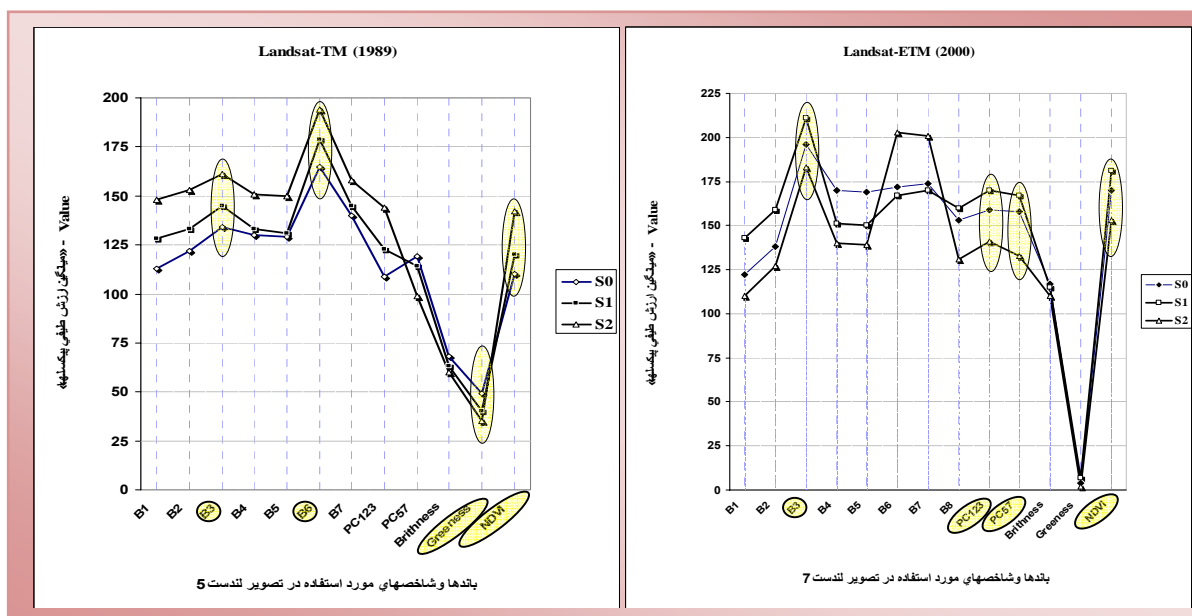
نقش عامل انسانی در گسترش آلودگی منابع آب و خاک و پیدایش شرایط بوم‌شناختی شکننده در این دشت کاملاً مشهود است؛ در این رابطه احمدیان و همکاران (۱۳۸۳) در بررسی عوامل مؤثر بر تخریب اراضی دشت قه‌اوند، نقش مدیریت غیراصولی و ناکارآمد بر منابع اراضی را گزارش کردند و نتایج مطالعات آنها بیانگر اثرات تغییرات کاربری اراضی از جمله تجاوز به حریم مراتع و تبدیل مراتع به دیمزارها، رهاسازی اراضی زراعی آبی به دلیل خشک شدن چاه‌ها و افت سطح آبهای زیرزمینی و همچنین رهاسازی اراضی دیم کم‌بازده به دلیل کاهش میزان بارش در چند سال اخیر است که سبب افزایش وسعت اراضی زراعی رها شده برهنه و



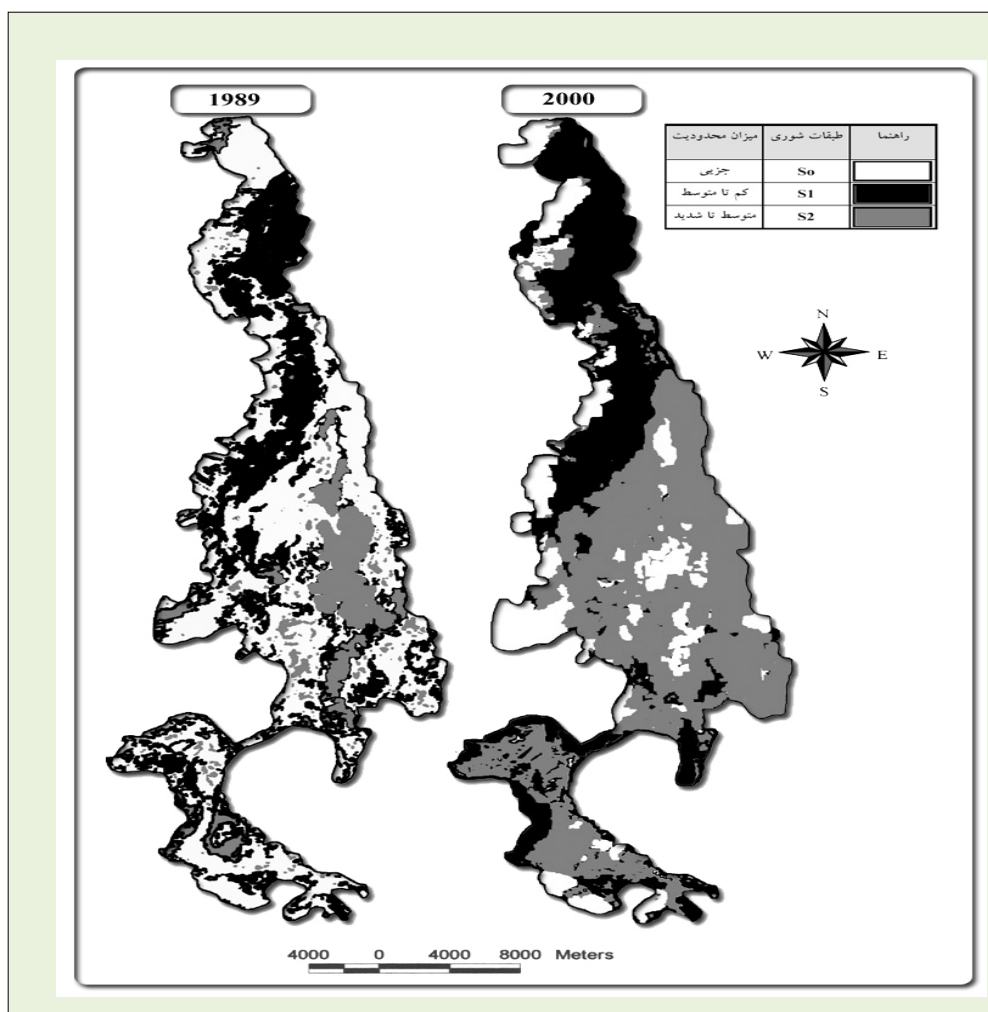
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان همدان



شکل ۲- نحوه نمونه‌گیری از خاک در نقطه اصلی و نقاط کمکی یکسلهای مجاور



شکل ۳ - نمودار طیفی طبقات مختلف شوری خاک به تفکیک باندها و شاخص‌های مورد مطالعه



شکل ۴ - نقشه تغییرات شوری خاک با استفاده از تحلیل رقومی تصاویر ماهواره ای

جدول ۱- تعیین طبقات (کلاس‌های) مختلف شوری خاک برای طبقه‌بندی تصاویر

ردیف	علامت اختصاری	میزان هدایت الکتریکی (Ds/m)
۱	S0	EC<۴
۲	S1	۴<EC<۸
۳	S2	۸<EC<۱۶
۴	S3	۱۶<EC<۳۲
۵	S4	۳۲<EC

جدول ۲- ماتریس همبستگی بین باندها و شاخص‌های تصویر با پارامتر هدایت الکتریکی خاک در سال ۱۹۸۹

مشخصات تصویر	B1 (باند یک)	B2 (باند دو)	B3 (باند سه)	B4 (باند چهار)	B5 (باند پنج)	B6 (باند شش)	B7 (باند هفت)	BRI	GRI	NDVI	PCA ₁₂₃	PCA ₅₇	
EC	هدایت الکتریکی خاک	۰/۰۹۳	۰/۳۹۴ *	۰/۲۰۳ *	-۰/۰۱۷	-۰/۰۰۴	۰/۱۰۳	-۰/۰۷۴	-۰/۰۳۶	-۰/۳۰۷ *	-۰/۲۲۵ *	۰/۱۲۸	۰/۰۵۹
B1	باند یک	۱/۰۰۰	۰/۸۵۵ **	۰/۷۴۴ **	۰/۸۹۶ **	۰/۷۷۰ **	-۰/۶۷۴ **	-۰/۶۹۱ **	۰/۸۵۲ **	-۰/۵۶۱ **	۰/۶۴۵ **	-۰/۶۹۲ **	
B2	باند دو	۰/۸۸۱ **	۱/۰۰۰	۰/۸۹۴ **	۰/۹۲۷ **	۰/۹۴۶ **	-۰/۷۰۸ **	-۰/۷۲۸ **	۰/۸۷۶ **	-۰/۶۳۵ **	۰/۸۰۳ **	-۰/۸۹۱ **	
B3	باند سه	۰/۷۴۸ **	۰/۸۸۲ **	۱/۰۰۰	۰/۸۷۹ **	۰/۹۰۵ **	-۰/۵۵۱ **	-۰/۵۸۰ **	۰/۸۳۴ **	-۰/۶۳۸ **	۰/۷۷۸ **	-۰/۸۳۳ **	
B4	باند چهار	۰/۷۴۲ **	۰/۸۸۵ **	۰/۸۹۱ **	۱/۰۰۰	۰/۹۷۶ **	-۰/۶۸۸ **	-۰/۶۹۴ **	۰/۸۷۷ **	-۰/۵۰۵ **	۰/۷۸۷ **	-۰/۹۰۶ **	
B5	باند پنج	۰/۷۷۹ **	۰/۹۲۱ **	۰/۹۰۵ **	۰/۹۵۹ **	۱/۰۰۰	-۰/۶۵۶ **	-۰/۶۸۱ **	۰/۸۹۷ **	-۰/۵۰۸ **	۰/۷۵۲ **	-۰/۹۴۱ **	
B6	باند شش	-۰/۶۲۷ **	-۰/۷۳۶ **	-۰/۵۲۰ **	-۰/۷۰۵ **	۰/۶۵۲ **	۱/۰۰۰	۰/۹۶۸ **	-۰/۶۲۱ **	۰/۳۰۱ *	۰/۸۴۵ **	۰/۶۱۰ **	
B7	باند هفت	-۰/۶۵۵ **	-۰/۶۹۴ **	-۰/۶۰۷ **	-۰/۶۸۷ **	-۰/۶۴۳ **	۰/۹۹۱ **	۱/۰۰۰	-۰/۶۱۹ **	۰/۲۷۴ *	-۰/۵۳۳ **	۰/۶۴۹ **	
BRI	شاخص روشنی	۰/۷۲۲ **	۰/۸۰۶ **	۰/۷۸۷ **	۰/۸۵۱ **	۰/۸۲۹ **	-۰/۵۸۷ **	-۰/۵۹۱ **	۱/۰۰۰	-۰/۵۰۵ **	۰/۷۸۰ **	-۰/۸۱۸ **	
GRI	شاخص سبزی	-۰/۵۸۰ **	-۰/۶۵۰ **	-۰/۶۱۸ **	-۰/۴۶۱ **	-۰/۴۹۰ **	۰/۲۸۸ *	۰/۳۱۲ *	-۰/۶۰۸ **	۱/۰۰۰	۰/۶۰۳ **	۰/۵۰۷ **	
NDVI	شاخص گیاهی تفاضل عادی شده	-۰/۶۱۲ **	-۰/۰۵۵	-۰/۲۰۶	۰/۱۰۹	۰/۰۴۴	-۰/۳۴۴ *	-۰/۲۲۸ *	-۰/۰۱۱	۰/۵۵۱ **	۱/۰۰۰	-۰/۵۶۴ **	
PCA ₁₂₃	تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱ و ۲ و ۳	۰/۶۹۹ **	۰/۸۱۲ **	۰/۷۳۳ **	۰/۶۸۶ **	۰/۷۳۲ **	-۰/۴۵۱ **	-۰/۴۸۹ **	۰/۷۰۲ **	-۰/۶۸۴ **	-۰/۲۰۳ *	۱/۰۰۰	
PCA ₅₇	تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۵ و ۷	-۰/۷۳۷ **	-۰/۸۴۸ **	-۰/۸۱۰ **	-۰/۹۱۶ **	-۰/۹۶۱ **	۰/۶۱۳ **	۰/۶۵۵ **	-۰/۹۰۶ **	۰/۵۱۰ **	-۰/۰۴۵	-۰/۵۷۸ **	

** وجود همبستگی در سطح اعتماد ۹۹ درصد

* وجود همبستگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد

جدول ۳- ماتریس همبستگی بین باندها و شاخصهای تصویر با پارامتر هدایت الکتریکی خاک در سال ۲۰۰۰

مشخصات تصویر	B1 (باند یک)	B2 (باند دو)	B3 (باند سه)	B4 (باند چهار)	B5 (باند پنج)	B6 (باند شش)	B7 (باند هفت)	B8 (باند هشت)	BRI	GRI	NDVI	PCA123	PCA57	
EC	هدایت الکتریکی خاک	۰/۰۸۵	۰/۲۲۸ *	۰/۱۰۶	- ۰/۰۲۸	- ۰/۰۰۱	۰/۰۹۷	۰/۰۸۹	۰/۰۲۶	- ۰/۰۲۶	-۰/۲۴۹ *	۰/۳۰۱ *	۰/۱۵۴	۰/۰۵۹
B1	باند یک	۱/۰۰۰	۰/۱۶۲ **	۰/۲۴۸ **	۰/۲۹۲ **	۰/۲۷۹ **	-۰/۶۶۵ **	-۰/۶۹۷ **	۰/۸۰۲ **	۰/۲۶۷ **	-۰/۵۷۷ **	۰/۱۰۰	۰/۶۹۹ **	-۰/۲۲۷ **
B2	باند دو	۰/۱۶۲ **	۱/۰۰۰	۰/۱۸۲ **	۰/۹۰۱ **	۰/۹۲۱ **	-۰/۶۸۷ **	-۰/۷۱۵ **	۰/۹۵۰ **	۰/۸۳۳ **	-۰/۶۳۸ **	-۰/۱۸۱	۰/۷۹۲ **	-۰/۱۶۴ **
B3	باند سه	۰/۲۴۸ **	۰/۱۸۲ **	۱/۰۰۰	۰/۱۸۹ **	۰/۹۰۵ **	-۰/۵۵۱ **	-۰/۵۸۰ **	۰/۹۰۰ **	۰/۸۳۴ **	-۰/۶۳۸ **	-۰/۱۸۱	۰/۷۷۸ **	-۰/۱۲۳ **
B4	باند چهار	۰/۲۹۲ **	۰/۹۰۱ **	۰/۱۸۹ **	۱/۰۰۰	۰/۹۰۵ **	-۰/۶۷۵ **	-۰/۷۰۱ **	۰/۹۴۴ **	۰/۸۶۸ **	-۰/۴۷۳ **	۰/۱۰۰	۰/۲۲۱ **	-۰/۱۹۸ **
B5	باند پنج	۰/۲۷۹ **	۰/۹۲۱ **	۰/۹۰۵ **	۰/۹۵۹ **	۱/۰۰۰	-۰/۶۵۶ **	-۰/۶۸۱ **	۰/۹۸۵ **	۰/۸۹۷ **	-۰/۵۰۸ **	۰/۰۶۰	۰/۷۵۲ **	-۰/۹۴۱ **
B6	باند شش	-۰/۶۶۵ **	-۰/۶۸۷ **	-۰/۵۵۱ **	-۰/۶۷۵ **	۰/۶۵۶ **	۱/۰۰۰	۰/۹۸۵ **	-۰/۶۹۵ **	-۰/۶۰۲ **	۰/۲۵۸ *	-۰/۲۵۸ *	۰/۸۲۰ **	۰/۶۴۴ **
B7	باند هفت	-۰/۶۹۷ **	-۰/۷۱۵ **	-۰/۵۸۰ **	-۰/۷۰۱ **	-۰/۶۸۱ **	۰/۹۸۵ **	۱/۰۰۰	-۰/۷۲۱ **	-۰/۶۳۰ **	۰/۲۸۲ *	-۰/۳۴۹ *	-۰/۵۰۶ **	۰/۶۷۱ **
B8	باند هشت	۰/۸۰۲ **	۰/۹۵۰ **	۰/۹۰۰ **	۰/۹۴۴ **	۰/۹۸۵ **	-۰/۶۹۵ **	-۰/۷۲۱ **	۱/۰۰۰	۰/۸۹۶ **	-۰/۵۶۰ **	۰/۰۲۸	۰/۷۵۲ **	-۰/۹۳۴ **
BRI	شاخص روشنی	۰/۲۶۷ **	۰/۸۳۳ **	۰/۸۳۴ **	۰/۸۶۸ **	۰/۸۹۷ **	-۰/۶۰۲ **	-۰/۶۳۰ **	۰/۸۹۶ **	۱/۰۰۰	-۰/۵۸۲ **	-۰/۰۱۵	۰/۳۳۳ **	-۰/۱۹۵ **
GRI	شاخص سبزی	-۰/۵۷۷ **	-۰/۶۳۸ **	-۰/۶۳۸ **	-۰/۴۷۳ **	-۰/۵۰۸ **	۰/۲۵۸ *	۰/۲۸۲ *	-۰/۵۶۰ **	-۰/۵۸۲ **	۱/۰۰۰	۰/۶۳۶ **	-۰/۷۰۷ **	۰/۴۹۷ **
NDVI	شاخص گیاهی تفاضل عادی شده	-۰/۶۳۱ **	-۰/۰۲۷	-۰/۱۸۱	۰/۱۰۰	۰/۰۶۰	-۰/۲۵۸ *	-۰/۲۴۹ *	۰/۰۲۸ *	-۰/۰۱۵	۰/۶۳۶ **	۱/۰۰۰	-۰/۱۹۵	-۰/۰۶۴ **
PCA123	تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱ و ۲ و ۳	۰/۶۹۹ **	۰/۷۹۲ **	۰/۷۷۸ **	۰/۲۲۱ **	۰/۷۵۲ **	-۰/۴۸۳ **	-۰/۵۰۶ **	۰/۷۵۲ **	۰/۸۳۳ **	-۰/۷۰۷ **	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	-۰/۶۲۵ **
PCA57	تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۵ و ۷	-۰/۲۲۷ **	-۰/۱۶۴ **	-۰/۱۲۳ **	-۰/۱۹۸ **	-۰/۹۴۱ **	۰/۶۴۴ **	۰/۶۷۱ **	-۰/۹۳۴ **	-۰/۸۹۵ **	۰/۴۹۷ **	-۰/۰۶۴	-۰/۶۲۵ **	۱/۰۰۰

* وجود همبستگی در سطح اعتماد ۹۹ درصد

* وجود همبستگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد

جدول ۴- ماتریس خطای پلی‌گونه‌های مختلف شوری خاک در تصویر ۱۹۸۹

نتایج آنالیز مرجع واقعیت زمینی نتایج تجزیه‌های آزمون‌گاهی مطالعات خاک شناسی سال ۱۹۸۸	نتایج آنالیز حاصل از طبقه‌بندی تصویر - TM						
	طبقات مختلف شوری خاک			ارزیابی پارامترهای صحت طبقه‌بندی			
	S0 کلاس جزئی	S1 کلاس کم تا متوسط	S2 کلاس متوسط تا زیاد	i	ii	iii	
S0	۱۱	۳	۲	۱۶	۶۸/۷	۵	
S1	۱	۱۱	۳	۱۵	۷۳/۳	۴	
S2	۱	۲	۷	۱۰	۷۰/۰	۳	
جمع	۱۳	۱۶	۱۲	۴۱	TA=۷۰/۶ , K=۰/۶۳	۱۲	

جدول ۵- ماتریس خطای پلی‌گونه‌های مختلف شوری خاک در تصاویر ۲۰۰۰

نتایج آنالیز مرجع واقعیت زمینی یا استناد به نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک برداشت شده در سال ۲۰۰۰	نتایج آنالیز حاصل از طبقه‌بندی تصویر - ETM						
	طبقات مختلف شوری خاک			ارزیابی پارامترهای صحت طبقه‌بندی			
	S0 کلاس جزئی	S1 کلاس کم تا متوسط	S2 کلاس متوسط تا زیاد	i	ii	iii	
S0	۱۲	۴	۲	۱۸	۷۲/۲	۶	
S1	۲	۱۶	۲	۲۰	۸۰/۰	۴	
S2	۱	۳	۱۱	۱۵	۷۳/۳	۴	
جمع	۱۵	۲۳	۱۵	۵۳	TA = ۷۵/۱ , K = ۰/۶۹	۱۴	

جدول ۶- تغییرات شوری خاک با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای سالهای ۲۰۰۰-۱۹۸۹ میلادی

طبقات شوری	شدت محدودیت	مساحت طبقات در تصویر سال ۱۹۸۹		مساحت طبقات در تصویر سال ۲۰۰۰		تفاضل تغییرات دوره	درصد تغییرات نسبت به مساحت اولیه	درصد تغییرات
		هکتار (A)	درصد (P)	هکتار (A')	درصد (P')			
So	جزئی	۱۷۱۴۰	۶۳/۷	۶۵۹۳	۲۴/۶	-۱۰۵۴۷	-۶۱/۵	-۳۹/۱
S1	کم تا متوسط	۵۰۷۲	۱۸/۹	۷۱۶۸	۲۶/۸	+۲۰۹۶	۴۱/۳	+۷/۹
S2	متوسط تا شدید	۴۶۹۴	۱۷/۴	۱۳۰۳۲	۴۸/۶	+۸۳۳۸	۱۷۷/۶	+۳۱/۲
مجموع		۲۶۹۰۶	۱۰۰	۲۶۷۹۳	۱۰۰	۰	-	۰

فهرست منابع:

- احمدیان، م. ۱۳۸۱. گزارش طرح ملی شناسایی مناطق شور و سدیمی استان همدان، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی - مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، شماره فروست ۸۴/۴۲۸. ۴۲۰ صفحه.
- احمدیان، م. ۱۳۸۱. معرفی شوره‌زارها و مناطق حساس به پدیده بیابان‌زائی در استان همدان، مجموعه مقالات ارائه شده در هفته پژوهش، دانشگاه بوعلی سینا همدان.
- احمدیان، م. ۱۳۸۳. مطالعه روند توسعه شوری خاک به وسیله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در دشت قهاوند، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، شماره فروست ۸۵/۸۵۹. ۲۳۰ صفحه.
- افیونی، م. و ر. مجتبی‌پور. ۱۳۷۶. خاکهای شور و سدیمی (و اصلاح آنها)، انتشارات ارکان اصفهان.
- پاک‌پور، م. ۱۳۷۸. بررسی روند تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب در اراضی اطراف ایستگاه نورالدین آباد گرمسار، وزارت جهاد سازندگی، معاونت آموزش و تحقیقات، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، شماره فروست ۸۵/۸۲۸. ۲۴۰ صفحه.
- جنتی، م. ۱۳۷۶. استفاده موثر از تحلیل مولفه‌های اصلی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در شهرستان نقده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، (استاد راهنما، ع. علی‌محمدی). ۱۶۰ صفحه.

۷. دیسفانی، م.ن. ۱۳۷۷. پردازش رایانه‌ای تصاویر سنجش از دور، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی (سمت)، تهران.
۸. رشیدی، ج.ع. و علیمحمدی. ۱۳۸۳. بررسی قابلیت داده‌های ماهواره ای لندست ETM+ در تفکیک واحدهای اراضی ساحلی شرق استان بوشهر، ششمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، بوشهر.
۹. دماوندی، ع.ا. ۱۳۷۶. بررسی امکان کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در شناسایی و طبقه‌بندی اراضی شور به روش رقومی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، دانشگاه تهران. ۱۸۵ صفحه.
۱۰. طاهرکیا، ح. ۱۳۷۵. اصول و کاربرد سنجش از دور، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.
۱۱. فرامرزیان، ن و ف، کشمیری. ۱۳۶۷. راهنمای مطالعات شناسایی و تشریح نیمرخ خاک. نشریه فنی شماره ۷۵۸، انتشارات سازمان تحقیقات و منابع طبیعی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
۱۲. مهندسین مشاور تهران پژوهش. ۱۳۷۰. مطالعات خاک‌شناسی و ارزیابی اراضی، طرح مطالعات توسعه روستاهای استان همدان. سازمان برنامه و بودجه استان همدان.
۱۳. مسعودی، م. ۱۳۸۰. بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی خاکهای تحت تأثیر شوری و قلیائیت، مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۲۶۸-۱۳۸۰
۱۴. نانکلی، ح. ر. ۱۳۷۵. روشهای تعیین موقعیت ماهواره‌ای (GPS)، مجموعه مقالات سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای، جلد اول، انتشارات سازمان نقشه‌برداری کشور.
۱۵. وزارت جهاد سازندگی، واحد مهندسی آب و خاک. ۱۳۶۷. مطالعات خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی دشت شرا، تحت نظارت بخش خاک‌شناسی مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
16. Aber, J. D., and M. E. Marthin. 1995. High spectral analysis. International Journal of Remote Sensing, Vol.14: 1919-1920.
17. Brandt, T., and P.M. Mather. 1998. Classification methods for remotely sensed data. Remote sensing reviews, 7, 241-260.
18. Crist, E. P. and R.J. Kauth. 1986. The Tasseled Cap de-mystified. Photogrammetric Engineering Remote Sensing, S2, 81-86
19. Csillage, F., L. Pasztor, and L. Biehl. 1993. Spectral band selection for classification of salinity status of soils. Remote Sensing Of Environment, Vol. 43: 231-242.
20. Mather, P.M. 1999. Computer Processing of Remotely sensed Images, John Wiley & Sons. New York, 332 p
21. Metternicht, G., and J. A. Zinch. 1997. Spatial discrimination of salt and sodium affected soil surfaces. International journal Of Remote Sensing, Vol. 18: 2571- 2586
22. Rao, B., R. Dwivedi, L. Venkataratnam, T. Ravisankar, S. Thammappa, R.sharama, and S. das. 1995. Spectral behavior of salt affected soils. International Journal of Remote Sensing, Vol. 11: 485-492