

بررسی تغییرات شوری خاک به کمک تصاویر ماهواره ای و سامانه اطلاعات جغرافیائی در دشت قهاوند، استان همدان

مهدی احمدیان و مجتبی پاک پرور

اعضای هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استانهای همدان و فارس Pakparvar@farsagres.ir, Mahdi.ahmadian@gmail.com

مقدمه

فن آوری سنجش از دور به عنوان یک ابزار مناسب به منظور پایش زمانی برخی از پدیده‌های طبیعی به شمار می‌رود، چرا که اطلاعات وسیعی را از یک منطقه در مقاطع زمانی مختلف ارائه می‌نماید و صرفصل بزرگی از تحقیقات جهانی را به خود اختصاص می‌دهد (۷). این تحقیق در منطقه ای از استان همدان به نام دشت قهاوند که یکی از مناطق شاخص از نظر خطر شور شدن ثانویه خاک می باشد، انجام شد و روند تغییرات شناسه‌های با اهمیتی مانند شوری خاک به کمک تجزیه و تحلیل اطلاعات سنجش از دور مورد بررسی قرار گرفت (۱). در مرحله نخست روی دو سری اطلاعات داده‌های رقومی ماهواره لندست ۵ و ۷ مربوط به سالهای ۱۹۸۹ و ۲۰۰۰ میلادی که از نظر زمان در ماه‌های مشابه برداشت شده بودند، پردازش‌های اولیه انجام شد. طبقه بندی تصاویر با استفاده از باندهای مختلف سنجنده TM و ETM و مطالعه شاخص‌های مختلف PC57, PC1234, BRENES, GRENES, NDVI برای خاک و پوشش گیاهی صورت گرفت. با کمک مطالعات صحرایی و برداشت نمونه خاک‌های سطحی از منطقه و تجزیه فیزیکی و شیمیائی نمونه های خاک، هر یک از تصاویر به روش مناسب خود طبقه بندی شدند. اجرای این تحقیق با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده و الگوریتم نگاشت طبقی زاویه‌ای (SAM) صورت گرفت (۱۲). پس از تصحیح طبقه بندی ها بر اساس اطلاعات جانبی (۱۰) نتایج در سامانه اطلاعات جغرافیائی به صورت نقشه‌ها و جداول مربوطه در دو مقطع زمانی ارائه گردید. با توجه به اطلاعات استخراج شده از مقایسه تصاویر ماهواره‌ای قدیم و جدید منطقه، وسعت اراضی شور از ۹۷۶۶ هکتار به ۲۰۲۰۰ هکتار رسیده است که نسبت به قبل ۱۰۶/۸ درصد افزایش نشان می دهد. از سوی دیگر تغییرات موجود در سطوح مختلف هدایت الکتریکی خاک (EC) نشان می‌دهد با گذشت حدود ۱۱ سال، وسعت اراضی شور با محدودیت کم تا متوسط از ۵۰۷۲ هکتار به ۷۱۶۸ هکتار و وسعت اراضی شور با محدودیت متوسط تا شدید از ۴۶۹۴ هکتار به ۱۲۰۲۲ هکتار رسیده است که این امر نشان دهنده گسترش همه جانبه شوری و پائین آمدن قابلیت تولید در خاکهای منطقه می‌باشد (۳). اراضی لخت و بایر و کفه های نمکی نیز از ۳۰۵/۶۹ هکتار به ۸۴۴۶ هکتار رسیده که در حدود ۱۸۱ درصد بر وسعت آنها افزوده شده است و این مطلب گویای سیر توالی این اکوسیستم به سوی شرایط حاد بیابانی است و بیانگر وضعیت اکولوژیکی شکننده در این منطقه می‌باشد (۲). بر همین اساس تخریب منابع و گسترش شوری در طی این دوره اساساً تحت تأثیر شوری ثانویه بوده و مدیریت نامناسب و بهره‌برداری

نادرست از اراضی، سبب گسترش شوری در خاکهای منطقه شده است (۳).

مواد و روش ها

به منظور تهیه داده‌های مورد نیاز ابتدا محدوده مطالعاتی روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مشخص گردید (۱۰) و با توجه به طول و عرض جغرافیائی، شماره گذر و ردیف تصویر ماهواره‌ای مورد نیاز تعیین شد. منطقه مطالعاتی در فریم همدان قرار گرفته و شماره گذر و ردیف آن در ماهواره لندست به ترتیب ۱۶۶ و ۳۶ بود. قدیمی‌ترین اطلاعات ماهواره‌ای موجود از این منطقه مربوط به ۲ ژوئیه سال ۱۹۸۹ از ماهواره لندست ۵ با سنجنده TM و جدیدترین اطلاعات مربوط به ۲۹ ماه مه سال ۲۰۰۰ میلادی از ماهواره لندست ۷ با سنجنده ETM است. تمام این اطلاعات با فرمت Pix و TIFF بر روی دیسک فشرده (CD) دریافت گردید و این داده‌ها ابتدا به رایانه منتقل شد و سپس به فرمت PCI تبدیل گردید.

به منظور طبقه بندی داده‌های سنجنده ETM نیاز به اطلاعات جنبی به هنگام بود که از طریق مطالعات صحرایی فراهم شد این اطلاعات شامل میزان شوری، درصد آهک و مواد آلی خاک است بدین منظور از مناطق مختلف دشت نمونه برداری شد و موقعیت آن به کمک GPS تعیین گردید (۱۱). نمونه‌های خاک مورد نظر به صورت سطحی (۱۰-۱۰۰ cm) برداشت شدند و در هر نقطه برداشت به جز نقطه اصلی نمونه‌های کمکی در سه جهت متفاوت (زاویه ۱۲۰ درجه) و با فاصله ۵۰ متر از نقطه اصلی برداشت شد و با آن مخلوط گردید، زیرا داشتن یک میانگین از محدوده نمونه گیری، دقت طبقه بندی را بالا می‌برد (۴). نمونه‌ها در آزمایشگاه خاکشناسی مورد تجزیه قرار گرفت و پارامترهای مختلف EC، درصد گچ و آهک، بافت خاک در آنها اندازه‌گیری شدند. علاوه بر این مختصات جغرافیائی محل‌های دیگری از قبیل تقاطع جاده‌ها، مرکز روستاها و مناطق دارای یک خصوصیت بارز تعیین شد که از آنها در تعیین صحت تطابق هندسی استفاده گردید (۸).

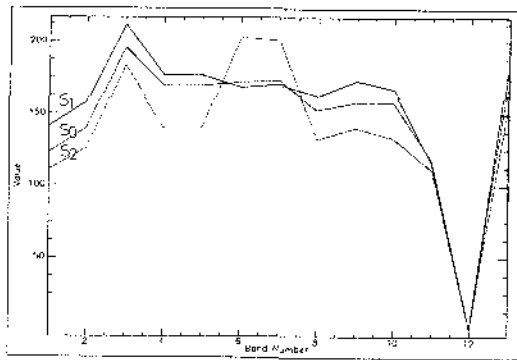
پس از بررسی تصاویر ETM-2000 و TM-1989 منطقه مورد مطالعه از آن به صورت یک پنجره جدا شد و داده‌های رقومی تصویر مورد بررسی قرار گرفت و تصحیحات Striping, Banding روی تصویر انجام شد (۶). به منظور کاهش و تصحیح اثرات اتمسفری از روشهای متفاوتی استفاده شد مثل استفاده از روش حجم سیاه به دلیل وجود دو سد آبهینه و اکباتان که در موقع برداشت تصویر، پر از آب بوده‌اند یا روش حداقل هیستوگرام (حذف مه) به خاطر اطمینان از مناسب بودن روش از نظر اثرات آلودگی و عمق آب مورد استفاده قرار

بیکسلها در باندهای مختلف با نمونه‌های خاک یک فیلتر 3×3 روی تصویر قرار دادیم که علت آن حذف خطاهای ناشی از GPS، تصحیح هندسی، رجیستر کردن دو تصویر، ماهیت خاک و کاهش اثر بیکسلهای استثنایی در تصویر است. پس از وارد کردن مختصات نقاط نمونه برداری خاک به تصویر، DN آن نقاط در تمامی باندها اندازه‌گیری می‌شود سپس اقدام به استخراج روشنائی بیکسل‌ها برای پارامترهای مورد نیاز نمودیم. در مرحله بعد برای نمونه‌های خاک در محیط GIS یک پایگاه داده ایجاد شد و شاخصهای NDVI، PC57 و PC1234 (Greenness و Britness) Tasoldcap را ایجاد کرده و با توجه به اینکه تعداد باندها در سنجنده ETM برابر با ۸ و تعداد شاخص‌ها نیز برابر با ۵ می‌باشد جمعاً ۱۳ داده روشنائی برای ETM-2000 داریم و ۱۲ داده روشنائی برای TM-1989 به دست آمد و در نهایت بین مقادیر داده‌های روشنائی تصویر با مقادیر EC، PH و SAR نمونه‌های خاک رگرسیون برقرار گردید. نتایج حاصله از این بررسی نشان می‌دهد که بین تغییرات پارامترهای EC خاک با مؤلفه‌های شاخصها و باندها همبستگی وجود دارد و مستقل عمل نمی‌کنند. برای محاسبه شاخص حد مطلوب از SD و همبستگی باندها استفاده گردید تا ۲ باند مناسب برای طبقه بندی مشخص شود (شکل‌های شماره ۱ و ۲). سپس طبقه بندی نظارت نشده را بر روی این ۳ باند انجام داده و بعد طبقه بندی نظارت شده با معرفی نقاط نمونه‌گیری به عنوان طبقه بندی کلاسه‌های اطلاعاتی انجام گرفت (۹). در مرحله بعد افت طبقه بندی با شاخص‌های مختلف محاسبه کرده و با مقایسه نظیر به نظیر کلاسه‌های مختلف شوری در دو تصویر به تحلیل روند تغییرات کلاسه‌ها در TM-1989 و ETM-2000 پرداخته و از ۶۵ درصد نقاطی که دارای نمونه خاک هستند برای طبقه بندی تصاویر استفاده گردید (۱۳).

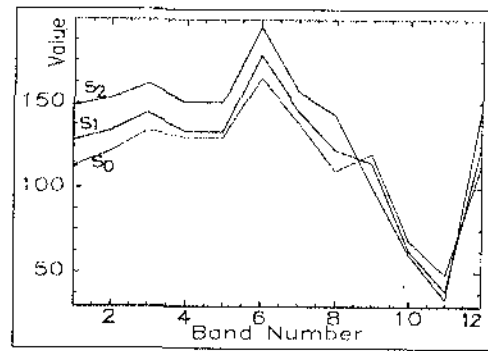
سپس در محیط نرم افزاری Arcview کلاسه‌های مختلف شوری خاک به صورت لایه‌های مختلف جدا نموده و هر کدام از لایه‌ها برای طبقه بندی تصاویر به صورت کلاسه‌های اطلاعاتی وارد نموده و پس از ورود کلاسه‌های اطلاعاتی به محیط پردازش تصویر به تحلیل تفکیک پذیری کلاسه‌ها با استفاده از تفکیک پذیری میانگین و روش جفرماتوشیتا (jeffermatushita) پرداخته شد (۱۲). استفاده از الگوریتم SAM که از روشهای نگاشت طیفی به صورت زاویه‌ای عمل می‌کند، اثرات توپوگرافی و نور دهی را نیز به کلی از بین می‌برد. پس از طبقه بندی برای ارزیابی دقت آن از شاخص کاپا استفاده شد که این شاخص به دلیل حذف عامل شانس مورد استفاده قرار می‌گیرد (۹) و در نهایت پلی‌گونهای کلاسه‌های مختلف EC در دو تصویر از محیط RS به محیط GIS انتقال داده شد و تحلیل‌های لازم انجام گرفت و نقشه‌های مربوطه استخراج گردید.

گرفت. استفاده از تکنیک MNF (نویز زدائی طیفی) تحلیل در مرز لندیوزها و تغییراتی را که کوچکتر از حد بیکسل است، امکان پذیر ساخت. این تکنیک بر اساس همبستگی باندها انجام شده و در روشهای طیفی جواب خوبی می‌دهد (۹). به منظور انجام تصحیحات رادیومتریک از نقشه‌های $1/25000$ استفاده شد و DEM منطقه از روش VDEMINT استخراج گردید. این عملیات با معرفی DEM تصویر ماهواره‌ای به همراه مشخصات Azimut و ارتفاع خورشیدی آن که از روی Headerfile تصویر استخراج شده، صورت گرفت. در مرحله بعد تصحیحات هندسی تصویر انجام شد و جهت تحقق این امر از ۶۰ نقطه در منطقه، مختصات GPS برداشت گردید که این نقاط از هر لحاظ بارز بوده و همچنین توزیع و پراکنش مناسبی بر روی تصویر داشتند تغییرات شدیدی که در طی ۱۱ سال گذشته در منطقه به وقوع پیوسته است ما را بر آن داشت که به منظور اعمال تصحیحات هندسی، شبکه راهها و جاده‌های دو تصویر TM و ETM را به هم register نماییم و شرایط نقاط نظیر از لحاظ توزیع با توجه به منطقه در نظر گرفته شود و به خاطر هماهنگی بین اطلاعات TM-1989 و ETM-2000 از منحنی تطابق (Histogram matching) استفاده شد (۱۴). سپس مختصات نقاط زمینی از سیستم متریک به UTM تبدیل شد و این مختصات به تصویر منتقل گردید. با استفاده از معادلات درجه ۱ و ۲ با RMS های مختلف، تصاویر تصحیح شده استخراج گردید که با کنترل کردن نقاط مختلف تصویر از معادله درجه ۱ با ۱۸ نقطه کنترلی میزان $RMS = 12/7 m$ به دست آمد و تصویر تصحیح شده ای تولید گردید. (توضیح اینکه تصویر خروجی حاصل از معادلات درجه ۲ به دلیل هموار بودن نسبی منطقه دارای دقت کافی نبود). در مرحله بعد مرز اولیه منطقه مورد مطالعه که از روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ دیجیتال استخراج شده، به صورت قابل نمایش در نرم افزار Ilwis در آمده و از حالت وکتور به رستر تبدیل شد به طوری که داخل حوضه دارای ارزش یک و بیرون آن دارای ارزش صفر باشد. با ضرب این تصویر در باندهای مختلف تصاویر ماهواره ای، محدوده مطالعاتی در دو تصویر TM و ETM مشخص گردید.

منظور از تجزیه و تحلیل و تفسیر رقومی اطلاعات ماهواره‌ای، بررسی و اندازه‌گیری ارزشهای رقومی آنها است که استخراج نتایج جزئی و دقیق‌تری را نسبت به تفسیر چشمی ممکن می‌سازد. این روش معمولاً به کمک رایانه و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای خاص انجام می‌گیرد (۷). روش رقومی به دو صورت نظارت نشده و نظارت شده انجام می‌شود. طبقه بندی استفاده شده در این تحقیق از نوع نظارت شده می‌باشد و شامل سه مرحله تعیین طبقه‌ها، تعیین نمونه‌های تعلیمی و نهایتاً طبقه بندی است (۵). برای برقراری ارتباط بین روشنائی



شکل (۳) بژناب طیفی طبقات مختلف شوری خاک به تفکیک باندها و شاخصهای تصویر ETM-2000



کل (۱) بژناب طیفی طبقات مختلف شوری خاک به تفکیک باندها و شاخصهای تصویر TM-1989

نتایج و بحث

همانگونه که اشاره شد بالاترین دقت در تفکیک شوری خاک با تقسیم بندی محدوده‌های شوری به ۴ دسته بدست آمد بر این اساس و با توجه به نقشه‌های نهایی تولید شده تغییرات مساحت‌های طبقات شوری در تصاویر جدید و قدیم منطقه در جدول (۱) آرایه شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود مساحت‌های کلیه دستجات در تصویر سال ۲۰۰۰ نسبت به سال ۱۹۸۹ تغییراتی داشته‌اند و بیشتر تغییرات مربوط به کاسته شدن مساحت اراضی بدون شوری بوده که از ۱۷۱۴۰ هکتار معادل (۶۳/۷ درصد کل) به ۶۵۹۳ هکتار (۲۴/۶ درصد کل) تقلیل یافته است به عبارت دیگر وسعت اراضی فاقد شوری ۶۱/۵ درصد نسبت به مساحت اولیه کاهش یافته است. در سطح بعدی یعنی کلاس شوری

کم، مساحت اراضی از ۵۰۷۲ هکتار (۱۸/۹ درصد کل) به ۷۱۶۸ هکتار (۲۶/۸ درصد کل) افزایش یافته است به عبارت دیگر وسعت اراضی با شوری کم نسبت به مساحت اولیه، ۴۱/۳ درصد افزایش نشان می‌دهد و بالاخره در سطح سوم از طبقه بندی شوری خاک یعنی کلاس شوری متوسط تا زیاد، مساحت اراضی از ۴۶۹۴ هکتار (۱۷/۴ درصد کل) به ۱۳۰۳۲ هکتار (۴۸/۶ درصد کل) رسیده است. در کل می‌توان چنین اظهار داشت که مساحت اراضی با شوری متوسط تا زیاد نسبت به قبل ۱۷۷/۶ درصد افزایش داشته است به عبارت دیگر قسمت عمده‌ای از اراضی فاقد شوری در طی گذشت ۱۱ سال از سال ۱۹۸۹ تا سال ۲۰۰۰ میلادی شورتر شده و به کلاسهای شوری کم و شوری متوسط تا زیاد اضافه شده‌اند (۳).

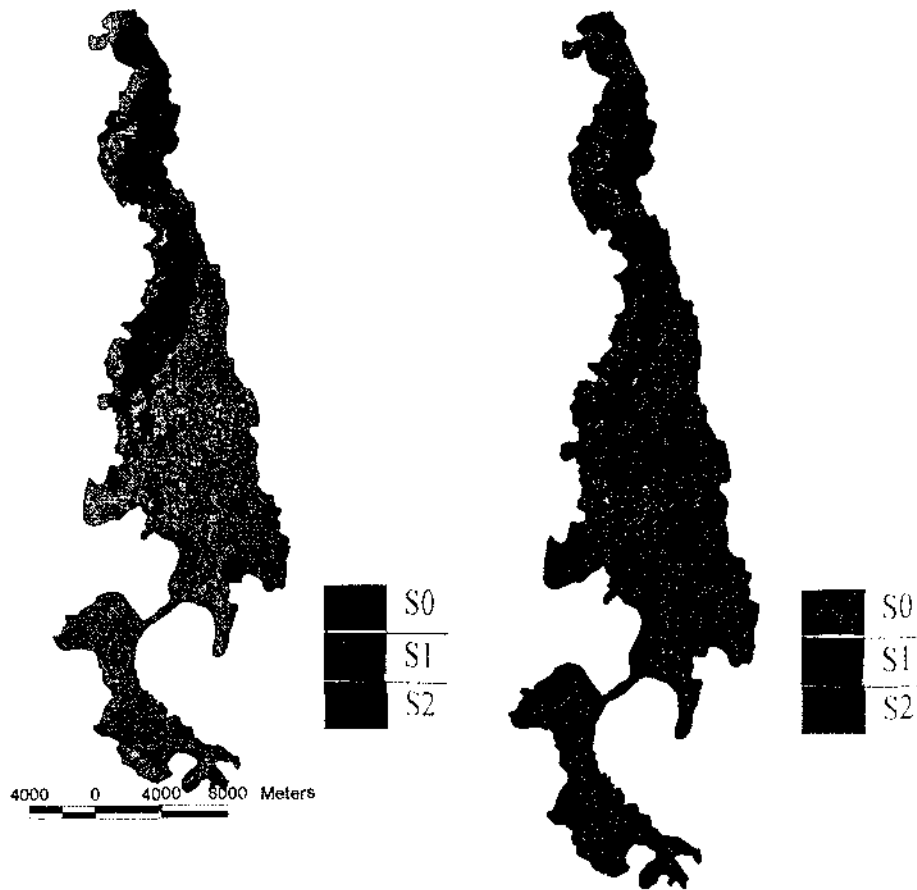
جدول (۱) تغییرات شوری خاک با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای سالهای ۱۹۸۹-۲۰۰۰ میلادی

طبقات شوری	میزان محدودیت	میزان مساحت ۱۹۸۹		میزان مساحت ۲۰۰۰		تفاضل	درصد تغییرات نسبت به مساحت اولیه	درصد تغییرات نسبت به کل
		هکتار	درصد	هکتار	درصد			
S0	جزیی	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	-	-

با توجه به دقت نسبتاً بالایی که در طبقه بندی درجات شوری بر اساس مقایسه نقاط کنترل زمینی با نتایج طبقه بندی در حد ۶۵ درصد بدست آمده انتظار می‌رود میزان تطابق درجات شوری با واقعیت زمینی برای هر دو تصویر از دقت خوبی برخوردار باشد که برای تصویر ETM-2000 برابر ۶۵ درصد و برای تصویر TM-1989 معادل ۶۱ درصد است.

چنین حالتی از تغییر و تبدیل در بین سایر کلاسها نیز اتفاق افتاده است. در اشکال (۳ و ۴) تغییرات به وجود آمده در سطح منطقه از نظر شوری خاک ملاحظه می‌شود.

مقایسه پیکسل به پیکسل تصاویر قدیم و جدید منطقه، گویای انواع مختلفی از تداخل دستجات شوری، چه در جهت کاهش و چه در جهت افزایش شوری بوده است. در هر حال جمع جبری تغییرات صورت گرفته بین این دو دسته منجر به افزایش مساحت اراضی با شوری کم نسبت به اراضی فاقد شوری در تصویر جدید گشته است و



تصویر قدیم ۱۹۸۹ میلادی

تصویر جدید - ۲۰۰۰ میلادی

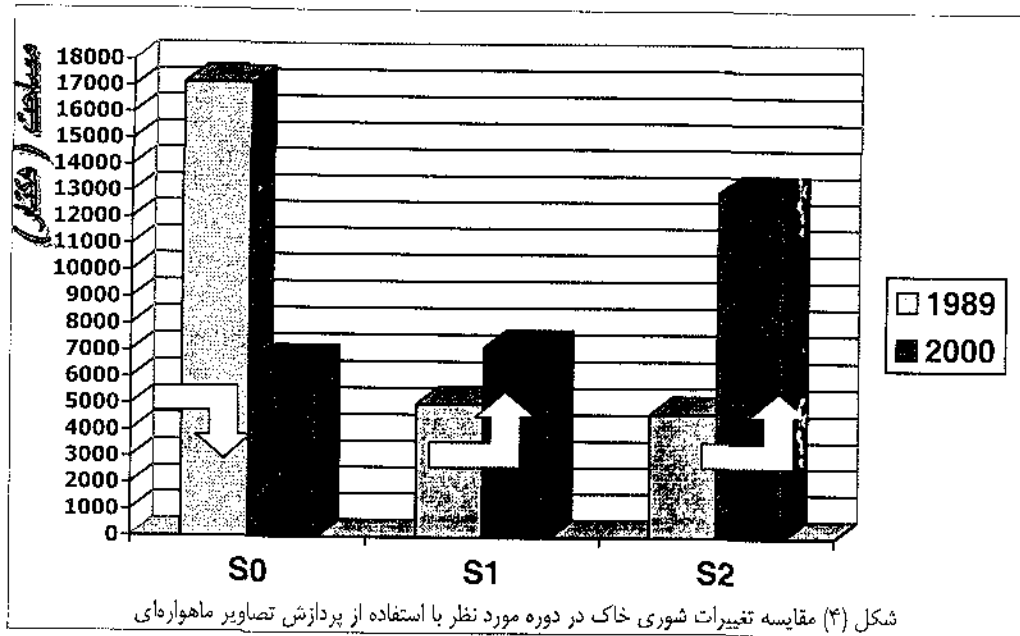
شکل (۳) مقایسه تغییرات شوری خاک در دوره مورد نظر با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در منطقه

از سوی دیگر وسعت اراضی با شوری کم نسبت به مساحت اولیه، ۴۱/۳ درصد افزایش نشان می‌دهد و در نهایت وسعت اراضی با شوری متوسط تا نسبتاً زیاد ۴۸/۶ درصد افزایش یافته است. در کل می‌توان چنین اظهار داشت که مساحت اراضی با شوری متوسط تا زیاد نسبت به قبل ۱۷۷/۶ درصد افزایش داشته است یا به عبارت دیگر قسمت عمده‌ای از اراضی فاقد شوری در طی گذشت ۱۱ سال شورتر شده و به کلاسهای شوری کم و شوری متوسط تا زیاد اضافه شده‌اند.

همانطور که در نقشه‌های شوری خاک ملاحظه می‌شود مساحت‌های کلبه دستجات شوری خاک در تصویر سال ۲۰۰۰ نسبت به سال ۱۹۸۹ تغییراتی داشته‌اند. بیشتر تغییرات مربوط به کاسته شدن مساحت اراضی بدون شوری است، به عبارت دیگر وسعت اراضی فاقد شوری ۶۱/۵ درصد نسبت به مساحت اولیه کاهش یافته است (جدول ۲).

جدول (۲) مقایسه تغییرات سطوح شوری خاک در یک دوره ۱۱ ساله (۱۹۸۹-۲۰۰۰ میلادی)

کلاس شوری (S2)		کلاس شوری (S1)		کلاس شوری (S0)		مشخصات تصویر	سال برداشت
درصد کل	وسعت (هکتار)	درصد کل	وسعت (هکتار)	درصد کل	وسعت (هکتار)		
۱۷٪	۴۶۹۴	۱۹٪	۵۰۷۲	۶۴٪	۱۷۱۴۰	Landsat TM	۱۹۸۹
۴۸٪	۱۳۰۳۲	۲۷٪	۷۱۶۸	۲۵٪	۶۵۹۳	Landsat ETM	۲۰۰۰



سازندگی، معاونت آموزش و تحقیقات، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.

۵- درویش صفت، ع. ۱۳۷۷. جزوه‌درس سنجش از دور برای دانشجویان کارشناسی ارشد، منتشر نشده.

۶- دماوندی، ع. ۱۳۷۶. بررسی امکان کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در شناسایی و طبقه بندی اراضی شور به روش رقومی، پایان نامه کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، دانشگاه تهران.

۷- طاهرکیا، ح. ۱۳۷۵. اصول و کاربرد سنجش از دور، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران.

۸- علیمحمدی سراب، ع. ۱۳۸۰. جزوه درسی پردازش تصاویر ماهواره ای دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

۹- علیمحمدی سراب، ع. ۱۳۸۰. جزوه درسی پردازش تصویر کاربردی در منابع آب و خاک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

۱۰- مهندسین مشاور تهران پژوهش. ۱۳۷۰. طرح مطالعات توسعه روستایی استان همدان، سازمان برنامه و بودجه استان همدان

۱۱- نانکلی، ح. ۱۳۷۵. روشهای تعیین موقعیت ماهواره‌ای، مجموعه مقالات سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای، جلد اول، انتشارات سازمان نقشه‌برداری کشور.

12- Aber, J.D. and M.E. Marthin. 1995. Hight spectral analysis.

13- Classification methodes for remotly sensed data. 1998. Berndet TSO and Paulo Matner.

14- Richards, J.A. 1986. Remote sensing digital image analysis.

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان عوامل مؤثر در شور شدن اراضی در دشت قهوند را عمدتاً در مدیریت نامناسب اراضی فاریاب و افت شدید کمی و کیفی آبهای زیر زمینی ذکر نمود و استفاده از روش‌های آبیاری سنتی در بسیاری از نواحی دشت قابل مشاهده است (۳). استفاده از این روشها سبب توسعه شوری شده چنانکه زمین های آبیاری شده به رنگ سپید به نظر رسیده و از زمینهای اطراف کاملاً قابل تشخیص است. با این ترتیب این عامل (مدیریت نامناسب در اراضی فاریاب) یکی از عوامل مؤثر در توسعه شوری خاک طی سالیان اخیر می‌باشد و استفاده گسترده از آبهای زیر زمینی بر وسعت و شدت این امر افزوده و اینک پس از اینکه کمبود آب به علت برداشت بی‌رویه از منابع آب زیر زمینی پیش آمده، این اراضی رها شده و به صورت لخت و بایر در آمده اند (۳).

منابع مورد استفاده

۱- 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.

۲- احمدیان، م. ۱۳۸۱. معرفی شوره زارها و مناطق حساس به پدیده بیابان زائی در استان همدان، مجموعه مقالات ارائه شده در هفته پژوهش، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۳- احمدیان، م. ۱۳۸۳. مطالعه روند توسعه شوری خاک به وسیله RS و GIS در دشت قهوند، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان.

۴- پاک پرور، م. ۱۳۷۸. استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و GIS در تعیین مناطق تحت اثر بیابان زایی در منطقه کاشان، وزارت جهاد