

تغییرات مکانی پلایای حوض سلطان در دوره ۲۰۱۶-۱۹۹۱

منیژه قهرودی تالی* - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
خدیجه علی نوری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۰۲/۰۹

چکیده

پلایاها در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، در نتیجه تحولات اخیر اقلیمی و فعالیت‌های انسانی از جمله برداشت منابع معدنی و بی‌نظمی در آب ورودی، دچار تحول جدیدی شده‌اند که این تحولات منجر به تغییرات سطحی و فرمی در پلایاها شده است. پلایای حوض سلطان جزء حوضه آبریز دریاچه نمک محسوب می‌گردد. جهت تعیین تغییرات این پلایا در تحقیق حاضر سه تصویر مربوط به ماهواره لند ست ۵، ۷ و ۸ مربوط به تاریخ‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ در بازه زمانی ۲۶ ساله استفاده شده است. مهم‌ترین مشخصه پلایای حوض سلطان درصد بسیار بالای شاخص شوری آن می‌باشد. لذا جهت تعیین میزان تغییرات شوری حاصله در طی دوره‌های زمانی مختلف سعی بر تعیین مرز شوری این پلایا با مناطق اطراف آن بر روی تصاویر ماهواره‌ای در طی بازه زمانی ۲۶ ساله شد. لذا در این تحقیق برای تخمین شوری خاک از تصاویر ماهواره‌ای لند ست از شاخص‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و نسبت‌گیری طیفی چندگانه شاخص شوری استاندارد شده (NDSI) استفاده شده است. نتایج مطالعات نشان داد که مساحت پلایای حوض سلطان طی سال‌های ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۶ کاهش داشته است و این کاهش در ۱۰ سال اول شدیدتر بوده است. همچنین بیشترین تغییرات مساحت پلایا در نواحی شرقی اتفاق افتاده است، در حالی که بیشترین تغییرات شوری در حاشیه غربی و جنوب‌غربی پلایا بوده است. به عبارت دیگر افزایش مساحت شوری از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ در حاشیه غربی و جنوب‌غربی پلایا و عقب‌نشینی این سطح از سمت شرق از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ در پلایا رخ داده است. این موارد بیانگر این است که پلایای حوض سلطان از سمت شرق به سمت غرب و جنوب‌غرب تغییرات مکانی داشته است.

واژگان کلیدی: حوض سلطان، شاخص شوری، تغییرات پلایاها.

مقدمه

پلایاها در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، در نتیجه تحولات اخیر اقلیمی و فعالیت‌های انسانی از جمله برداشت منابع معدنی و بی‌نظمی در آب ورودی، دچار تحول جدیدی شده‌اند که این تحولات منجر به تغییرات سطحی و فرمی در پلایاها شده است (قهرودی و خدری، ۱۳۹۵). از اولین مطالعات انجام‌شده بر روی دریاچه حوض سلطان تحقیقاتی است که بوبک در سال ۱۹۵۹ انجام داده و سطح آب در آن زمان نسبت به پلایای عهد حاضر را ۲۰ متر بالاتر تخمین زده است و دلایل آن را سیلابی شدن بخش غربی دریاچه در اثر انحراف در مسیر رودخانه قره چای ذکر کرده است. بر اساس گزارش بوبک، ۱۹۵۹، بخش غربی این دریاچه بر اثر طغیان سال ۱۸۷۹ فقط به‌طور محدودی به‌وسیله لجن یا گل پر شده است، حال آنکه بقیه سطح آن را آب فراگرفته بوده است. به‌عبارت‌دیگر این دریاچه قبل از طغیان سال ۱۸۷۹ نیز وجود داشته است. در آن زمان سطح این دریاچه حدود ۴۰ متر بالاتر از سطح دریاچه نمک قم بوده است (کریسلی، ۱۹۷۰).

پیشینه مطالعات انجام‌شده در پلایای حوض سلطان نشان می‌دهد که اندازه و شکل آن متناسب با دبی آب‌های وارده و خارج‌شده در فصول مختلف سال متفاوت می‌باشد. سطح ایستابی در منطقه بسیار بالا بوده به‌طوری‌که این میزان در پایان فصل خشک در کفه نمکی چند سانتی‌متر و در ناحیه اکولوژیک به حدود کمتر از یک متر می‌رسد. سطح ایستابی به همراه شیب شوری، وضعیت تنوع و استقرار پوشش گیاهی را تعیین می‌نماید. با توجه به میزان تبخیر سالیانه و عدم وجود رودخانه‌های فعال در منطقه و فعال بودن پلایا حتی در فصول خشک و گرم سال، به نظر می‌رسد منابع و سفره‌های آبی از عمده منابع تأمین‌کننده آب پلایا بوده است (محمدی، ۱۳۸۴؛ شفیعی دارابی و همکاران، ۱۳۹۲). محدوده اکولوژیک که در حقیقت در لایه خارجی نسبت به حاشیه باتلاقی قرار دارد، دارای پوشش متراکمی از گیاهان شور پسند بوده که جوامع متعددی را برحسب شیب شوری در فواصل مختلف نسبت به پلایا به وجود می‌آورد. به‌عنوان مثال هفت جامعه گیاهی در ضلع شمال غربی پلایا در کمتر از یک کیلومتر و به‌صورت لایه‌های محاط بر پلایا دیده می‌شود که از گونه‌های کاملاً شور پسند به سمت گونه‌های مقاوم به خشکی متغیر است. این ناحیه زیستگاه گونه‌های گیاهی و جانوری متعددی از جمله هوبره در شرایط فعلی و جبیر در گذشته بوده و بخش پویا اکوسیستم پلایا را تشکیل می‌دهد. پوشش گیاهی در ناحیه شمال، شمال شرق و جنوب غربی پلایا کاهش و در جنوب و غرب آن ناپدید می‌گردد (شفیعی دارابی و همکاران، ۱۳۹۲).

فعالیت‌های انسانی گاهی تغییراتی در محیط طبیعی ایجاد می‌کند که نتایج قطعی آن پیش‌بینی شدنی نیست. تغییراتی که در پلایاهای ایران به دلیل برداشت منابع معدنی و تغییر مقدار آب ورودی در حال وقوع است، می‌تواند به تغییرات محیطی و نتایج مخاطره‌آمیزی منجر شود (قهرودی و علی نوری، ۱۳۹۳). کاهش میزان آب ورودی تغییرات کانی‌های محلول را به دنبال دارد که این به‌نوبه خود سبب به هم خوردن نظم بیولوژیکی شده است (قهرودی و خدری، ۱۳۹۳). به‌طور کلی مداخلات انسانی، از جمله ساخت بزرگراه‌ها منجر به آلودگی هوا، آلودگی فاضلاب‌ها، قطع ارتباط طبیعی اکوسیستم دشت-های مجاور با پلایا شده است. از طرفی اراضی دشتی اطراف بزرگراه تا مجاور پلایا در سال‌های اخیر به‌طور گسترده با حفر چاه‌های آب به زیر کشت رفته تا کمربند پوشش گیاهی نزدیک پلایا پیشروی داشته‌اند. به‌هرحال برداشت از سفره‌ها می‌تواند تهدیدی عمده جهت منابع آبی پلایا محسوب شود، که با افت در سطح سفره‌های آبی موجب از بین رفتن اکوسیستم آن خواهد شد. از طرف دیگر برداشت از سفره‌های مذکور موجب بازگشت آب‌شور پلایا به مناطق اطراف شده که با شورتر شدن آب چاه‌ها، کاربری کشاورزی منطقه نیز به‌شدت تهدید خواهد نمود. چرای بی‌رویه اثرات تخریبی مهمی بر رویش گیاهی آن خواهد داشت. در طی سالیان گذشته تخریب‌های ناشی از بهره‌برداری افراد سودجو، اثر خشکسالی‌های اخیر و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع موجود سبب ایجاد تغییراتی بر سیمای منطقه، وضعیت پوشش گیاهی و جانوری و به دنبال آن تخریب زیستگاه و ایجاد تغییراتی اکولوژیکی در وضعیت کنونی پلایا و حاشیه‌های آن شده است. بنابراین در این پژوهش

تغییرات سطحی پلایا توسط شاخص‌های شوری استاندارد شده^۱، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و دما در طی بازه زمانی ۲۶ ساله مورد بررسی قرار گرفته است.

استفاده از تکنیک‌های سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره‌ای به علت دید وسیع و پوشش منطقه‌ی گسترده، وجود اطلاعات در بازه‌های زمانی، قدرت تفکیک رادیومتریکی و مکانی مناسب و دسترسی سریع به نقاط دورافتاده (علوی پناه، ۱۳۸۹)، در این نوع مطالعات همواره می‌تواند نقش مهمی در جهت شناخت صحیح‌تر از گذشته تا به امروز داشته باشد، تا بتوان با شناختی جامع، بر اساس نتایج حاصله در راستای اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب، جهت حفظ و احیا شرایط طبیعی این اثر بدیع طبیعی کشور گام‌های مؤثری برداشت. برای نمونه با استفاده داده‌های ماهواره‌های مختلف رابطه هدایت الکتریکی و غلظت سدیم خاک در منطقه جازموریان، تهیه نقشه شوری خاک با ایجاد همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر عددی شوری خاک در دشت قزوین و روش‌های تهیه نقشه شوری خاک در منطقه مروست یزد انجام شده است در منابع اخیر عمده شاخص‌های مورد بررسی شامل شاخص درجه روشنایی^۲، شاخص شوری^۳، شاخص شوری استاندارد شده و روش حداکثر درست نمایی^۴ برای نمایش شوری خاک می‌باشند (پاک پرور و ابطحی، ۲۰۰۲؛ چیت‌ساز، ۱۳۷۸؛ عابدینی، ۱۳۸۳؛ دشتکیان، ۱۳۸۶). تاکنون از شاخص‌های مختلف شاخص شوری و شاخص شوری استاندارد شده نیز به منظور تهیه نقشه شوری خاک استفاده شده است (الدری^۵ و همکاران، ۲۰۰۵؛ گارسیا^۶ و الحداد^۷، ۲۰۰۵؛ خایر^۸، ۲۰۰۳؛ خان^۹ و همکاران، ۲۰۰۱)

به‌طور کلی در برخی پژوهش‌ها، روش‌های مختلف بررسی شوری خاک را با استفاده از سنجش از دور بیان شده است (سلیمان^{۱۰} و موین^{۱۱}، ۲۰۰۰). پهنه‌بندی خاک‌های مناطق خشک بر اساس رسوبات سیلتی و تپه‌های گچی و بارخان‌ها، تعیین منابع آب و خاک مناطق خشک بر اساس خصوصیات شیمیایی مواد سطحی خاک و شاخص اندوکتانس مغناطیسی، شاخص سبزی و شاخص گچ سطحی و پهنه‌بندی کانی‌های تبخیری گچ و هالیت بر اساس تصاویر ماهواره‌ای توسط محققین نیز انجام شده است (مولدرز^{۱۲}، ۱۹۸۱؛ بریانت^{۱۳}، ۱۹۹۶).

در خصوص استخراج دمای سطحی مطالعات متعددی به‌ویژه در نواحی خشک از جمله حاشیه یاردانگ‌های بیابان لوت، تفکیک واحدهای طیفی پلایا صورت گرفته است، در تحقیقات اخیر از روش‌های پردازش رقومی نظیر آنالیز مؤلفه‌های اصلی، تصاویر رنگی کاذب و همچنین با مطالعات صحرایی و استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی، استخراج کمیت‌های فیزیکی دما و تبدیل‌های فیزیکی، مقدار نشرهای ثبت شده در باند ترمال به مقادیر حرارتی در روی زمین، مقایسه نقشه

^۱ - NDSI: Normalized Difference Salinity Index

^۲ - BI

^۳ - salinity Index

^۴ - Maximum Likelihood

^۵ - Eldeiry

^۶ - Garcia

^۷ - Elhaddad

^۸ - Khaier

^۹ - Khan

^{۱۰} - Salman

^{۱۱} - Mubeen

^{۱۲} - Mulders

^{۱۳} - Bryant

حرارتی منطقه استفاده شده است (علوی پناه، ۱۳۸۱؛ احسانی، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۹). البته از سنجنده مودیس نیز در برآورد درجه حرارت دشت لوت نیز استفاده شده است (عزیزی، ۲۰۰۷). در بررسی شواهد آثار مورفولوژیکی تغییرات سطح اساس در پلایای حوض سلطان و پلایای میقان از تصاویر ماهواره‌ای IRS، تصاویر لندست ETM⁺ و SRTM استفاده شده است. روش‌های مورد استفاده در این پژوهش‌ها شامل، تجزیه مؤلفه‌های اصلی^۱، شاخص OIF^۲ و سایر روش‌های بصری بوده است (مقصودی و علمی زاده، ۱۳۹۰؛ یمانی و همکاران، ۱۳۹۵). از تصاویر ماهواره‌ای بکرات پدیده‌ها در مطالعات مربوط به تغییرات استفاده شده است از جمله پایش تغییرات خط ساحل در خلیج فارس، روند تغییرات محیط زیستی تالاب انزلی در یک دوره زمانی ده ساله و تغییرات خطوط ساحلی دریای عمان می‌باشند (نعیمی و همکاران، ۱۳۸۹؛ زبردست، ۱۳۹۰؛ نگهبان و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به پیشینه مطالعات، در پژوهش حاضر تغییرات سطحی پلایا توسط تجزیه مؤلفه‌های اصلی، شاخص شوری استاندارد شده و دما از تصاویر ماهواره‌ای لندست در طی بازه زمانی ۲۶ ساله از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

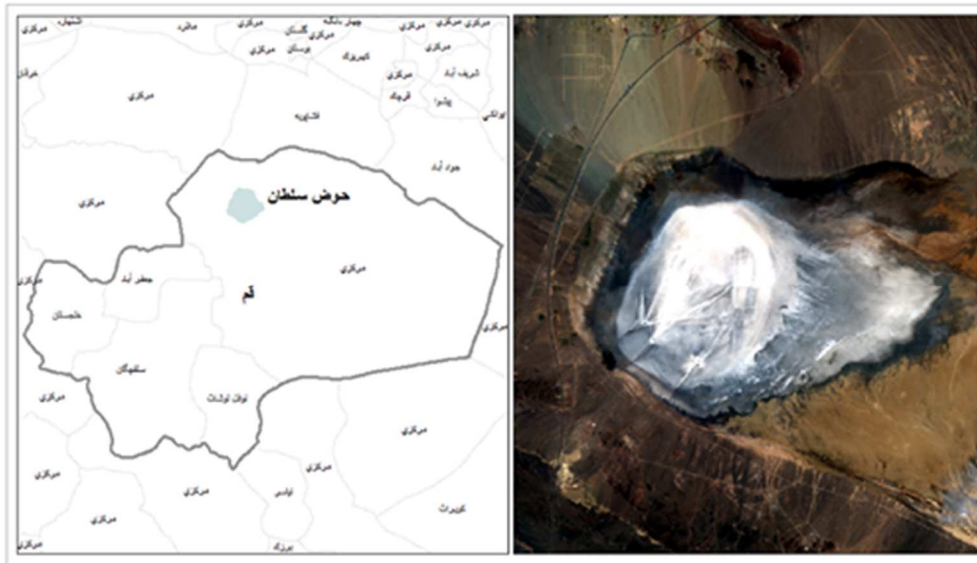
پلایای حوض سلطان با مساحت ۱۰۴/۴ کیلومتر مربع، واقع در ۸۵ کیلومتری جنوب غرب تهران از گستره آبریز حدود ۱۹۵ کیلومتر مربع برخوردار است و بین طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۶۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض ۳۴ درجه و ۷۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی قرار دارد. حرکات کوهزائی و فوران‌های آتشفشانی در انتهای کرتاسه و ابتدای ائوسن منجر به تشکیل آتشفشان‌های ائوسن در شمال و بخش‌های مرکزی ایران، مخصوصاً در اطراف این پلایا شده است. گسل خوردگی ناشی از فعالیت‌های آتشفشانی، منجر به تشکیل یک گرابن در منطقه شده که بعداً توسط دریاچه نمک پر شده است. این گرابن، سبب تشکیل حوضه بسته‌ای شده است که به‌طور جزئی توسط رسوبات تخریبی و تبخیری به‌صورت بین لایه‌ای پر شده است (رضائیان لنگرودی و همکاران، ۱۳۹۰). گسل‌های طولانی و ممتدی در کوه‌های جنوبی در غرب چاله مشاهده می‌شود. جهت اصلی این گسل فقط در بعضی نقاط به‌وسیله رسوبات مخروط‌افکنه محو می‌گردد که خود نشان‌دهنده حرکات تکتونیکی جدید در منطقه است (پاشایی، ۱۳۸۱).

این پلایا جزء حوضه آبریز دریاچه نمک محسوب می‌گردد، از طرف جنوب غربی، مغرب و شمال غربی به‌وسیله رشته‌کوه‌های آتشفشانی محصور است. رشته‌کوهی از سنگ‌های آذرین دوره میوسن از انتهای شمال شرقی به‌طرف مشرق کشیده است. در حال حاضر این پلایا به‌وسیله مجرای باریکی در قسمت جنوب شرقی زهکشی می‌شود. پلایای حوض سلطان از دو بخش مجزا که به‌وسیله کانال زهکشی باریک به هم اتصال دارند تشکیل شده است. بخش غربی آن با ارتفاع ۸۰۶ متر از سطح دریا اخیراً از ارتفاعات مجاور هرز آب‌های سطحی و سیلاب‌های اضافی بخش شرقی را از طریق کانال‌های زهکشی دریافت می‌دارد. بخش شرقی آب خود را از کوهستان‌های موجود در امتداد حاشیه شمالی، از شمالی‌ترین شاخه‌های مخروط‌افکنه رود شور و از انشعابات شمالی مخروط‌افکنه قره چای، دریافت می‌کند. انشعابات دیگر مخروط‌افکنه‌های فوق آب خود را به‌طرف جنوب شرقی و به داخل کویر قم هدایت می‌نمایند (کرینسلی، ۱۳۸۱). مطالعات مستوفی و فری نشان می‌دهد که ابتدا آب وارد حوض مره شده و پس از پر شدن آن، از مسیل دو حوض گذشته وارد حوض سلطان می‌شود و هنگامی که آب در حوض سلطان چند متر بالا آمد، به‌طرف حوض مره بازمی‌گردد و سرریز این دو حوضه به دریاچه نمک تخلیه می‌شود (مستوفی و فری، ۱۹۵۹). شکل ۱، محدوده پلایای حوض سلطان در تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد

^۱ - PCA

^۲ - Optimum Index Factor

^۳ - Frei



شکل ۱: پلایای حوض سلطان در تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، سال ۲۰۱۶

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر سه تصویر مربوط به ماهواره لندست ۵، ۷ و ۸ مربوط به تاریخ‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ در بازه زمانی ۲۶ ساله جهت تعیین تغییرات پلایای حوض سلطان استفاده شده است. مشخصات این تصاویر به همراه اطلاعات هواشناسی مربوط به ایستگاه سینوپتیک قم در لحظه اخذ تصاویر توسط سنجنده، در جدول (۱) نشان داده شده است. بر اساس آمار هواشناسی حداقل دو هفته قبل از تاریخ اخذ تصاویر هیچ‌گونه بارشی در منطقه رخ نداده است. از طرفی بهترین زمان تشخیص زمین‌هایی که دارای خاک‌های شور با کمک تصاویر ماهواره‌ای است، پایان فصل گرم و خشک می‌باشد. زیرا بازتاب طیفی این خاک‌ها به نحو قابل ملاحظه‌ای به رطوبت خاک وابسته است، بنابراین هرچه خاک خشک‌تر می‌شود تبلور نمک‌ها و رسوب آن‌ها در سطوح ذرات خاک افزایش یافته که این امر موجب افزایش بازتاب سطحی می‌شود و برعکس هر چه خاک مرطوب‌تر شود نمک‌ها به صورت محلول درآمده که در نتیجه از شدت روشنایی خاک کم و بازتاب طیفی آن کاهش می‌یابد (خدادادی، ۱۳۸۹).

جدول ۱: اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

تاریخ اخذ تصویر	ماه میلادی	سنجنده	شماره فریم تصویر	زاویه خورشیدی	میزان بارش روزهای قبل	دمای ایستگاه
1991 06 16	June	TM5	164-36	61.04	0	31
2000 07 02	July	ETM+	164-36	65.76	0	34
2016 06 08	June	OLI-TIRS	164-36	68.08	0	30

سنجنده مربوط به ماهواره لندست ۵، TM با ۷ باند طیفی و اندازه تفکیک زمینی ۳۰ متر و برای باند حرارتی با ۱۲۰ متر و سنجنده لندست ۷، ETM⁺ با ۸ باند طیفی با اندازه تفکیک ۱۵ متر و باند حرارتی با ۶۰ متر و لندست ۸، OLI-TIRS با ۱۲ باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ تا ۳۰ متر است.

در این پژوهش در مرحله پیش‌پردازش اقدام به اعمال تصحیحات هندسی^۱، اتمسفری^۲ و رادیومتریکی بر روی تصاویر شد. جهت اعمال تصحیحات هندسی از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شد، جهت اعمال تصحیحات اتمسفری از روش تفریق دارک^۳ بر روی مقادیر ارزشی پیکسل‌های تصویر (DN^۴) و تصحیح اتمسفری ترمال^۵ بر روی تصاویر حرارتی و همچنین جهت اعمال تصحیحات رادیومتریکی از تبدیل بازتابندگی یا انعکاس باندی (رفلکشن)^۶ بر روی مقادیر ارزشی پیکسل‌های تصویر و تنها تبدیل درخشندگی یا روشنایی (رادیانس)^۷ بر روی مقادیر باندهای حرارتی بر اساس معادلات زیر استفاده شد.

معادله (۱) جهت تبدیل مقادیر رقومی تصویر به مقادیر رادیانس حرارتی تصحیح‌شده است (نلسون^۸، ۲۰۰۲).

$$L_{\lambda} = Gain \times DN + Bias = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{255} \right) \times DN + Bias \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن:

L_{λ} : تابش طبیعی مؤثر بر دیافراگم حسگر ماهواره

L_{min} : Bias

مقادیر L_{min} ، L_{max} (ماکزیمم و مینیمم رادیانس طیفی قابل تشخیص در هدر باند سنجنده با واحد $(W/m^2/sr/\mu m)$)

معادله (۲) جهت تبدیل مقادیر رقومی تصویر به مقادیر رفلکشن (نلسون^۸، ۲۰۰۲).

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta \cdot d_r} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن:

ρ_{λ} : میزان بازتابندگی

L_{λ} : تابش طبیعی مؤثر بر دیافراگم حسگر ماهواره

$ESUN_{\lambda}$: میانگین تابش ورودی خورشید در بالای اتمسفر برای هر باند می‌باشد.

$\cos \theta$: زاویه ارتفاع خورشید

d_r : معکوس مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید

مهم‌ترین مشخصه پلایای حوض سلطان درصد بسیار بالای شاخص شوری آن می‌باشد. لذا جهت تعیین میزان تغییرات شوری حاصله در طی بازه زمانی ۲۶ ساله سعی بر تعیین مرز شوری این پلایا با مناطق اطراف آن بر روی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از شاخص شوری استاندارد (NDSI^۹) شده است. جهت تعیین میزان تغییرات حاشیه‌ای حاصل شده بر روی پلایای حوض سلطان به محاسبات تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA^{۱۰}) بر روی هر سه تصویر در محدوده‌ای در حدود ۱۰ کیلومتری از پلایای اقدام شد. اساس شاخص شوری بر تفاوت بازتاب طیفی اجسام در طول موج‌های مختلف استوار است (دشتکیان، ۱۳۸۶). مطالعات به‌عمل‌آمده بر روی کانی‌های گچ ($CASO_4 \cdot 2H_2O$)، نمک طعام (NaCl) و کارنالیت

۱ - Geometric Correction

۲ - Haze Correction

3- Dark Subtract

۴ - Digital Number

2- Thermal Atmosphere Correction

۶ - Reflectivity

۷ - Radiance

^۸ - Nelson

^۹ - Normalized Difference Salinity Index

^{۱۰} - Principal component analysis

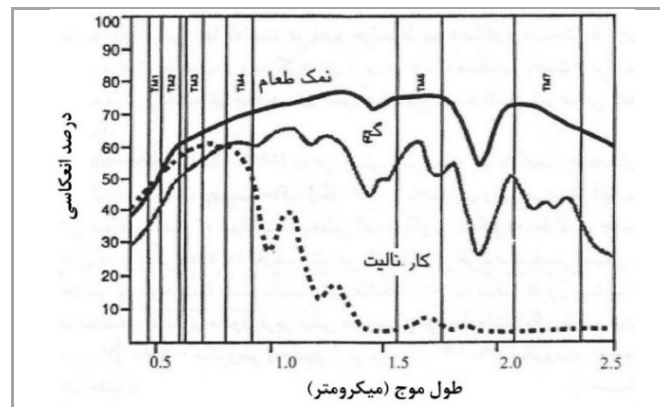
($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$)، در شرایط قابل کنترل آزمایشگاهی نشان می‌دهد گچ و نمک در ناحیه حدود ۲ تا ۲/۲ و ۱/۵ تا ۱/۷ میکرومتر منطبق با مرکز باند ۵ و ۷ سنجنده لندست، دارای ناحیه جذب قوی قابل تشخیص است (زینک^{۱۱}، ۱۹۹۶). این موضوع در شکل (۲) به خوبی نشان داده شده است. محاسبه شاخص شوری بر طبق معادله (۳) صورت گرفته است (علوی پناه، ۱۳۸۷).

$$NDSI = (R - NIR) / (R + NIR) \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن:

R: بازتابندگی در محدوده مادون قرمز میانی (باند ۵ لندست ۵ و ۷ و باند ۶ لندست ۸).

NIR: بازتابندگی در محدوده مادون قرمز موج کوتاه (باند ۷ لندست).



شکل ۲: بازتاب‌های نمک طعام، گچ و کارنالیت

در این تحقیق از روش‌های محاسبه دمای سطح LST استفاده شده است. در این روش نیاز به توان تشعشعی دقیق عوارض سطحی در دو باند می‌باشد، به طوری که خطایی معادل ۰/۰۱ در توان تشعشعی، باعث خطایی در حدود ۱/۶ درجه سانتی‌گراد در LST می‌شود (معادله ۴) (نلسون ۲۰۰۲؛ علوی پناه، ۱۳۸۵)

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1 + 1}{R_c}\right)} \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن:

T_s : دمای سطح به درجه کلون

Rc: رادیانس باند حرارتی تصحیح شده ($W/m^2/sr/\mu m$)

ε_{NB} : گسیلمندی سطحی^{۱۲} باند حرارتی

k_1 و k_2 ثوابت معادله هستند که واحدها برای k_2 درجه کلون و برای k_1 ($W/m^2/sr/\mu m$)

جدول ۲: مقادیر ضرایب کالیبراسیون K_1 , K_2

	K1	K2
Landsat5 band6	607.76	1260.56
landsat7 ETM+ band6	666.09	1282.71

^{۱۱} - Zink

^{۱۲} - Surface emissivity

جهت محاسبه دمای سطح خاک توسط تصاویر ماهواره لندست ۸ بر اساس رابطه بیان شده توسط سایت ماهواره لندست^{۱۳} از معادله (۵) استفاده شده است.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad \text{معادله (۵)}$$

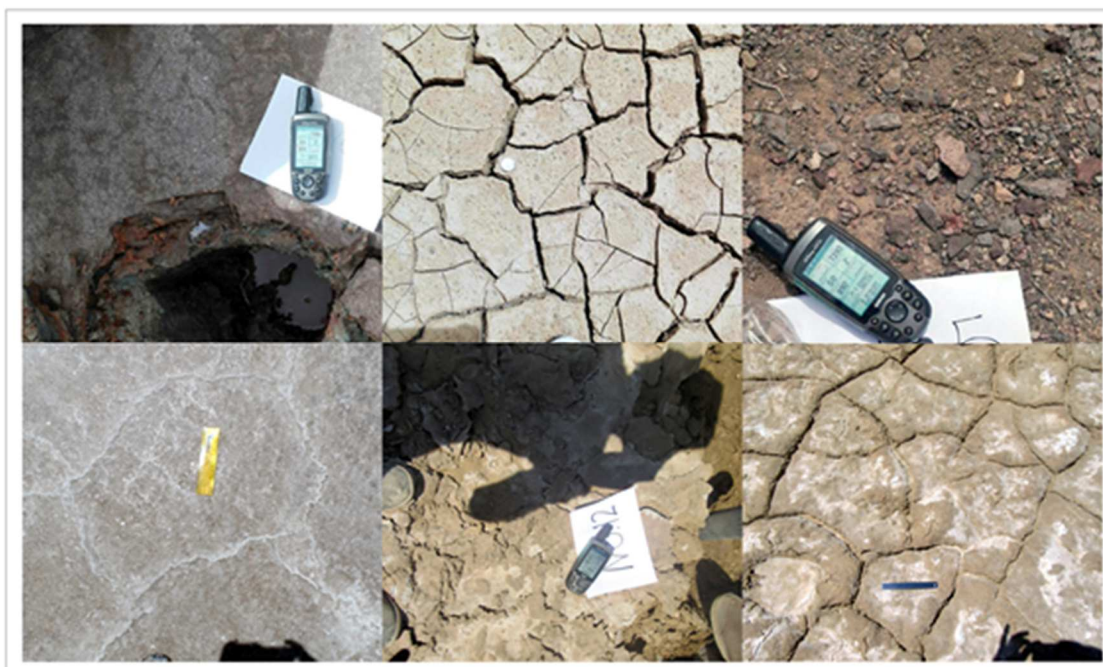
که در آن:

T: میزان دمای روشنایی ماهواره برحسب کلوین است.

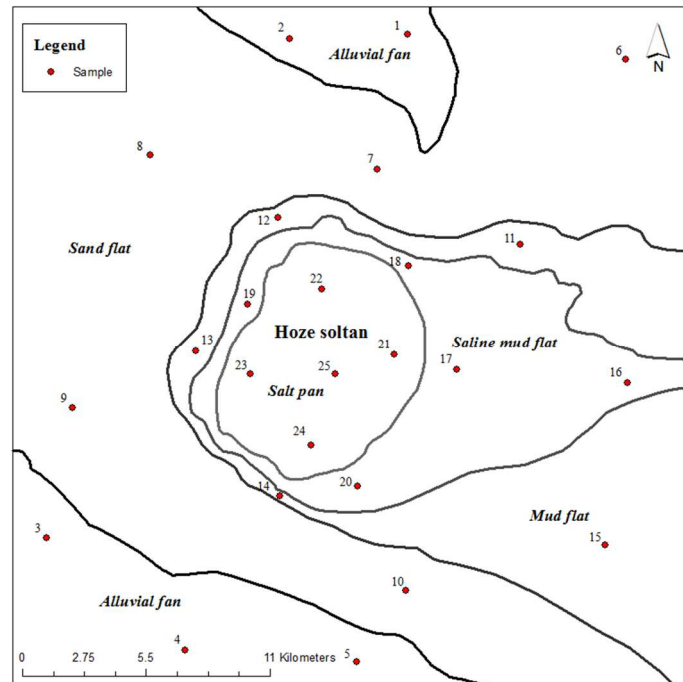
L_λ : رادیانس طیفی ($\text{Watts}/(\text{m}^2 * \text{srad} * \mu\text{m})$)

K_1, K_2 : ضرایب کالیبراسیون.

جهت محاسبه میزان دمای سطح پلايای حوض سلطان از باند حرارتی شماره ۶ تصویر سال ۱۹۹۱، باند ۶، تصویر سال ۲۰۰۰ و باند ۱۰ تصویر سال ۲۰۱۶ استفاده شده است. که نتایج آن در شکل (۶) نشان داده شده است. در پلايای حوض سلطان چهار دوره مشاهدات میدانی طی بهار و پاییز ۱۳۹۳ و بهار و تابستان ۱۳۹۵ صورت گرفت، که اقدام به انتخاب ۲۵ نمونه در فرم‌های مختلف منطقه (شکل ۳) شد، ۵ نمونه از هر فرم به‌طور تصادفی جهت مقایسه ارتباط بین دو شاخص شوری و میزان دمای سطح در سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ برداشت شد. نحوه پراکندگی نمونه‌ها در شکل (۴) نشان داده شده است.



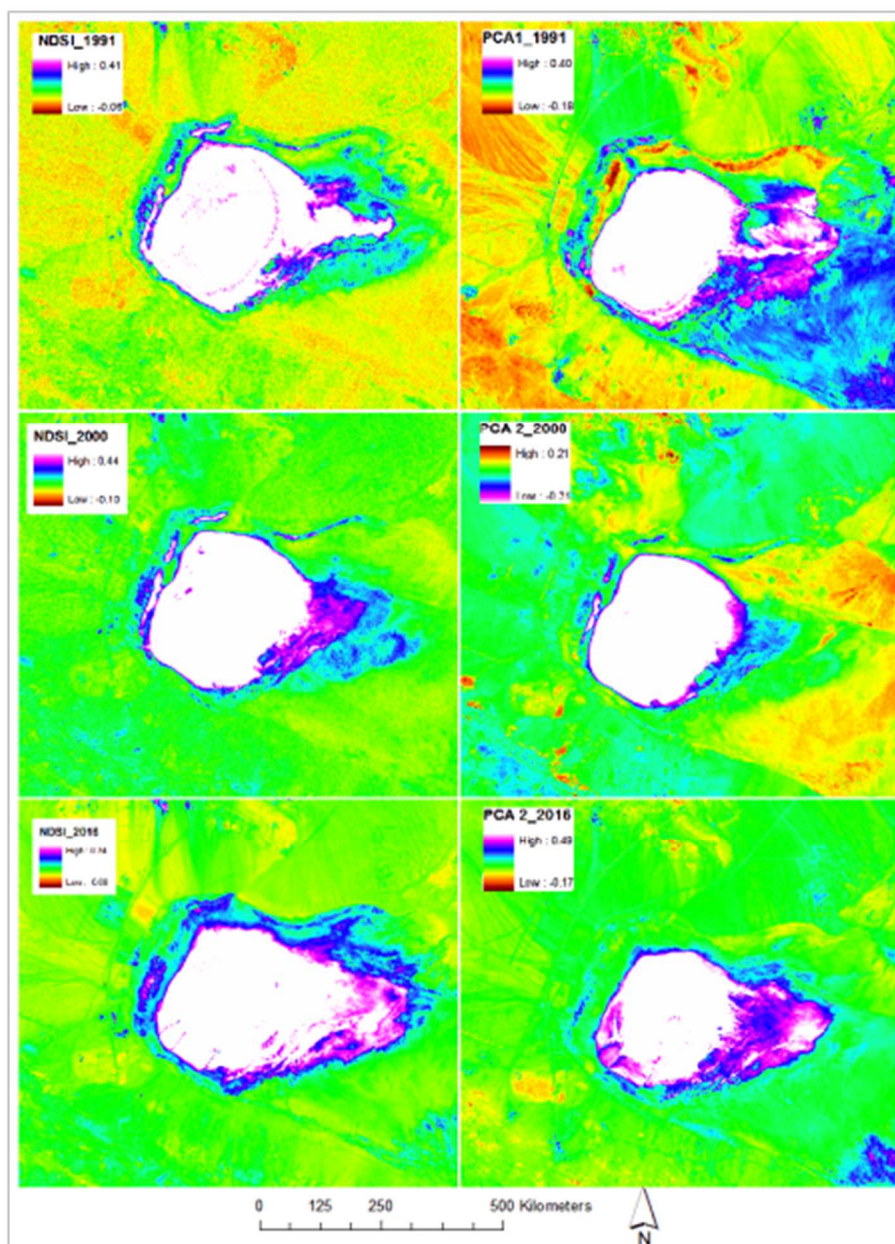
شکل ۳: پهنه‌های مختلف در پلايای حوض سلطان (بهار و پاییز سال ۱۳۹۳ و بهار و تابستان سال ۱۳۹۵) به ترتیب از راست به چپ: پهنه شنی، پهنه گلی - ترک‌های گلی، پهنه گلی نمکی، پهنه نمکی گلی - چندضلعی‌های گلی، پهنه نمکی گلی - فرم‌های پف‌کرده، پهنه نمکی - چندضلعی‌های نمکی.



شکل ۴: موقعیت نمونه‌های انتخاب شده در فرم‌های حوض سلطان

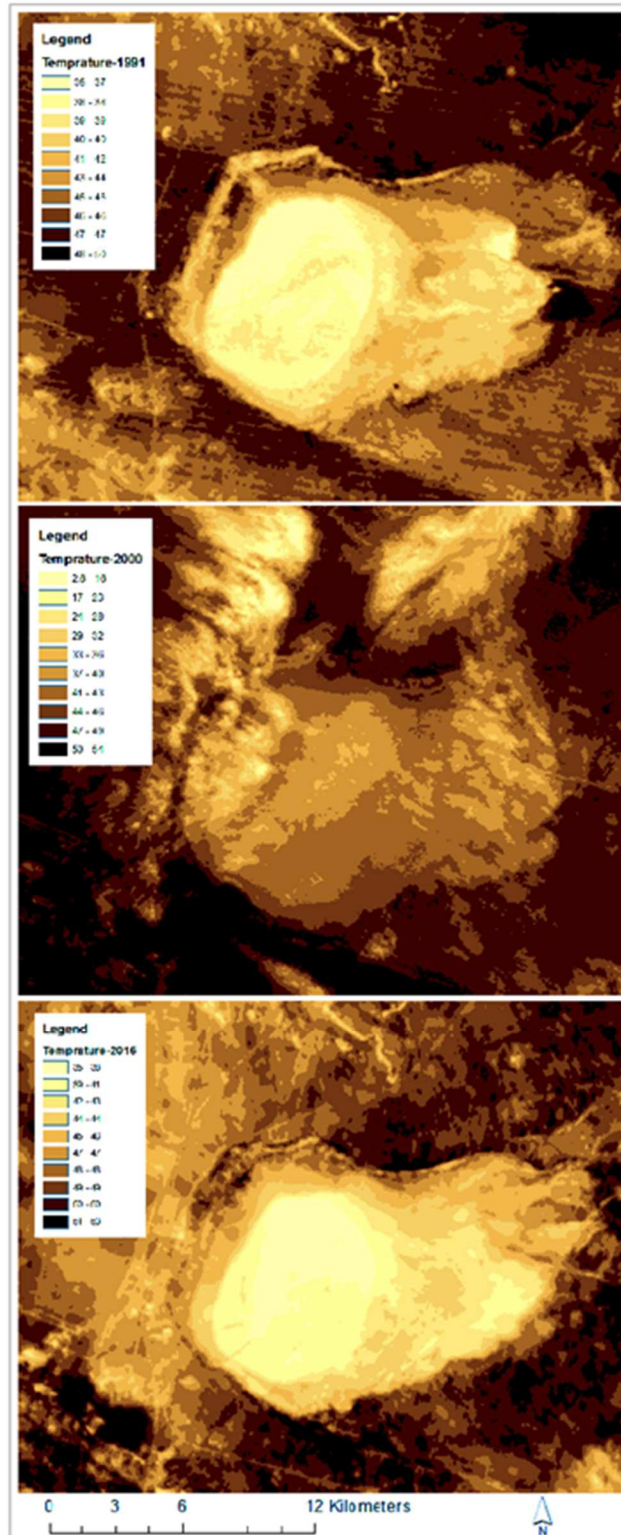
بحث و یافته‌ها

جهت تعیین میزان تغییرات حاشیه‌ای حاصل شده بر روی پلایای حوض سلطان در ابتدا به محاسبات شاخص شوری و PCA بر روی هر سه تصویر در محدوده‌ای در حدود ۱۰ کیلومتری از پلایای حوض سلطان اقدام شد. در تصویر لندست سال ۱۹۹۱ جهت تعیین مرز حاشیه‌ای پلایا در شاخص PCA، بهترین حالت ممکن در سطح PCA1 و در ارتباط با تصویر ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ در سطح PCA2 ممکن شده است. نتایج در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵: شاخص‌های NDSI و PCA در سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۰۰-۲۰۱۶

جهت محاسبه میزان دمای سطح پلایای حوض سلطان از باند حرارتی شماره ۶ تصویر سال ۱۹۹۱، باند ۶ تصویر سال ۲۰۰۰ و باند ۱۰ تصویر سال ۲۰۱۶ استفاده شده است. که نتایج آن در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶: محاسبه میزان دمای سطح حوض سلطان در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰-۱۹۹۱

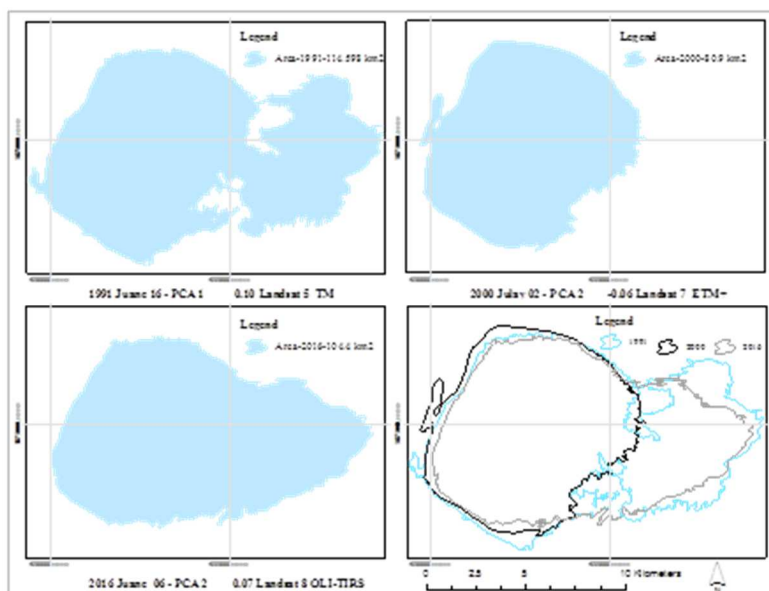
با بررسی شاخص PCA مرز پلایا در سال ۱۹۹۱ محدوده ۰/۱۰ در سال ۲۰۰۰ محدوده ۰/۰۶- و در سال ۲۰۱۶ محدوده ۰/۰۷ مشخص گردید. لذا در هر سه تصویر این محدوده‌ها از کل محدوده شاخص PCA تفکیک شد. نتایج حاصل از میزان تغییرات مساحت در طی ۲۶ سال در جدول (۳) ارائه شده است؛ که نشان از کاهش مساحت پلایا از سال ۱۹۹۱ تا

سال ۲۰۱۶ به میزان ۱۰/۰۹ کیلومترمربع و این کاهش نسبت به سال ۲۰۰۰ به میزان بیشتری حدود ۳۳/۵۹ کیلومترمربع بوده است. همان‌طور که مشخص شد، بیشترین تغییرات مرز پلایا در نواحی شرقی اتفاق افتاده است. کاهش مساحت از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ در حاشیه و عقب‌نشینی قابل‌توجه پلایا از سمت شرق از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ قابل‌توجه است (شکل ۷).

جهت تفکیک و تعیین تغییرات شوری سطح پلایا از شاخص شوری استفاده شده است. نتایج حاصله از میزان تغییرات سطح شوری در طی ۲۶ سال نشان می‌دهد، این سطح از سال ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۰۰ در حدود ۱۲۹۶ مترمربع کاهش و ۱۵۷۹/۲۷۷ کیلومترمربع از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ افزایش داشته است. نتایج حاصل از شاخص شوری در محدوده -۱ تا +۱ قرار می‌گیرد که با سوق به سمت عدد +۱ درصد شوری افزایش می‌یابد. در بررسی محدوده‌ی سطح شوری پلایا مشخص گردید که از محدوده ۰/۱۸ به سمت +۱ مرز قابل‌تفکیک سطح شوری پلایا از مناطق حاشیه‌ای است. بیشترین تغییرات شوری در حاشیه غربی متمایل به جنوب پلایا بوده است. افزایش مساحت شوری از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ و عقب‌نشینی این سطح از سمت شرق از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ در پلایا رخ داده است. تغییرات جزئی از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰، که کاهش سطح شوری در پلایا به وقوع پیوسته است.

جدول ۳: تغییرات مساحت سطح پلایای حوض سلطان در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰-۱۹۹۱

سال	مساحت به کیلومترمربع	تغییرات مساحت نسبت به ۱۹۹۱	
		۱۹۹۱	۱۱۴/۴۹۸
۲۰۰۰	۸۰/۹	۳۳/۵۹۸	کاهش به کیلومترمربع
۲۰۱۶	۱۰۴/۴	۱۰/۰۹۸	



شکل ۷: تغییرات مکانی پلایای حوض سلطان در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰-۱۹۹۱

در نتایج حاصل از مطالعات حرارتی در سطح پلایا و مقایسه این نتایج با آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک قم مشخص گردید، تغییرات چشم‌گیری در رژیم حرارتی پلایا در حالت کلی اتفاق نیفتاده است به‌گونه‌ای که در جدول (۴) نشان داده شده است با توجه به افزایش دمای ثبت‌شده در ایستگاه سینوپتیک قم، حداکثر میزان دمای سطح پلایای حوض سلطان نیز افزایش یافته است، که نشان از ارتباط معنی‌داری در سطح نتایج حاصله دمایی می‌باشد. همچنین ارتباط معنی‌داری در تغییرات دمایی با میزان افزایش تراکم لایه‌های نمک در سطح پلایا مشاهده می‌گردد، به‌گونه‌ای که با افزایش لایه‌های نمک، میزان دمای سطح نیز کاهش می‌یابد، لذا در پلایا اقدام به انتخاب ۲۵ نمونه در ۵ فرم به‌طور تصادفی ۵ نمونه از هر

فرم در مناطق مختلف با میزان درجه شاخص شوری شد (شکل ۴). در این نقاط نمونه نیز میزان تغییرات دمایی مورد محاسبه قرار گرفت که نتایج در جدول (۵) ارائه شده است. همان طور که از آمار ارائه شده برمی آید، در پلایا هر چه به سمت افزایش شاخص شوری حرکت شود با کاهش میزان دما در سطح این پلایا همراه می شود. به گونه ای که کمترین میزان دمای سطح اختصاص به فرم های پهنه نمکی و پهنه گلی نمکی و منطقه مرکزی و حاشیه پلایا دارد و همچنین این ناحیه بیشترین تراکم لایه های نمک و شاخص شوری را به نسبت کل سطح منطقه دارا است.

جدول ۴: نتایج حاصل از تغییرات دمایی حاصل در سطح پلایای حوض سلطان در طی دوره ۲۶ ساله

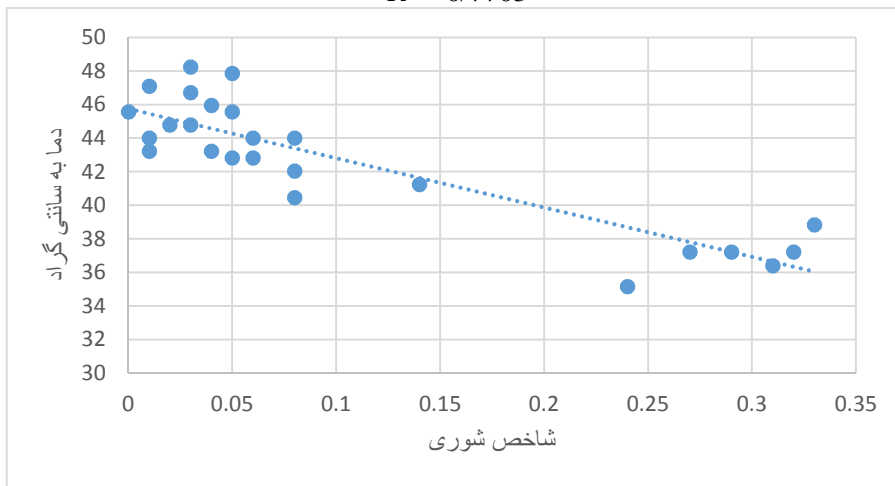
سال اخذ تصویر	کمترین دما	بیشترین دما	میانگین دما	دمای ایستگاه
۱۹۹۱	۳۴	۴۹	۴۱	۳۱
۲۰۰۰	۲	۵۴	۲۸	۳۴
۲۰۱۶	۳۴	۵۲	۴۳	۳۰

جدول ۵: نتایج حاصل از برداشت اطلاعات در نمونه برداری سطح پلایا از دو شاخص شوری و میزان دمای سطح

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شماره نمونه	فرم	سال ۱۹۹۱		سال ۲۰۰۰		سال ۲۰۱۶	
				شاخص شوری	میزان دما	شاخص شوری	میزان دما	شاخص شوری	میزان دما
۵۰/۹۸۰۶	۳۵/۱۲۷۵	۱	بادزن آبرفتی	۰/۰۴	۴۵/۹۵	۰/۰۸	۴۶/۹۸	۰/۰۶	۴۸/۶۶
۵۰/۹۲۲۹	۳۵/۱۲۵۶	۲		۰/۰۱	۴۳/۲۲	۰/۱	۲۵/۷۲	۰/۰۴	۴۵/۴۶
۵۰/۸۰۴۷	۳۴/۹۲۵۰	۳		۰/۰۱	۴۴/۰۱	۰/۰۶	۵۰/۹۶	۰/۰۵	۴۹/۷۳
۵۰/۸۷۲۵	۳۴/۸۸۰۱	۴		۰/۰۵	۴۲/۸۳	۰/۰۸	۵۰/۹۶	۰/۰۷	۴۹/۸۹
۵۰/۹۵۵۹	۳۴/۸۷۵۶	۵		۰/۰۴	۴۳/۲۲	۰/۱	۴۷/۸۷	۰/۰۶	۴۸/۳۶
۵۱/۰۸۶۹	۳۵/۱۱۷۴	۶	پهنه ماسه ای	۰/۰۳	۴۸/۲۴	۰/۰۹	۴۹/۶۵	۰/۰۴	۴۹/۷
۵۰/۹۶۶۰	۳۵/۰۷۳۴	۷		۰/۰۱	۴۷/۱	۰/۰۷	۴۸/۳۲	۰/۰۳	۴۸/۴۹
۵۰/۸۵۵۱	۳۵/۰۷۸۹	۸		۰	۴۵/۵۶	۰/۰۳	۴۸/۳۲	۰/۰۲	۴۶/۵
۵۰/۸۱۷۶	۳۴/۹۷۷۲	۹		۰/۰۵	۴۵/۵۶	۰/۰۸	۴۸/۷۶	۰/۰۵	۴۶/۷۴
۵۰/۹۷۹۷	۳۴/۹۰۴۰	۱۰		۰/۰۳	۴۴/۷۹	۰/۰۸	۴۹/۲	۰/۰۴	۴۷/۵۶
۵۱/۰۳۵۶	۳۵/۰۴۳۲	۱۱	پهنه گلی	۰/۰۸	۴۴/۰۱	۰/۰۶	۴۰/۵۷	۰/۱۲	۴۵/۲۴
۵۰/۹۱۷۳	۳۵/۰۵۴۲	۱۲		۰/۰۸	۴۰/۴۵	۰/۱	۴۰/۵۷	۰/۰۸	۴۷/۱۷
۵۰/۸۷۷۳	۳۵/۰۰۰۵	۱۳		۰/۱۴	۴۱/۲۵	۰/۱۲	۴۰/۱	۰/۱۱	۴۶/۲۷
۵۰/۹۱۸۳	۳۴/۹۴۲۱	۱۴		۰/۰۳	۴۶/۷۲	۰/۰۸	۵۰/۵۲	۰/۰۵	۴۹/۵۶
۵۱/۰۷۶۶	۳۴/۹۲۲۳	۱۵		۰/۰۲	۴۴/۷۹	۰/۰۶	۴۷/۴۳	۰/۰۴	۴۹/۱۶
۵۱/۰۸۷۵	۳۴/۹۸۷۵	۱۶	پهنه گلی نمکی	۰/۰۵	۴۷/۸۶	۰/۰۹	۴۸/۷۶	۰/۰۸	۵۰/۰۸
۵۱/۰۰۴۴	۳۴/۹۹۲۸	۱۷		۰/۳۳	۳۸/۸۴	۰/۲۴	۴۰/۱	۰/۲۳	۴۳/۴۲
۵۰/۹۸۱۱	۳۵/۰۳۴۶	۱۸		۰/۰۶	۴۲/۸۳	۰/۱۱	۴۲/۴۳	۰/۱۳	۴۴/۷۶
۵۰/۹۰۲۸	۳۵/۰۱۹۴	۱۹		۰/۰۶	۴۴/۰۱	۰/۰۸	۳۸/۲	۰/۱	۴۶/۵۵
۵۰/۹۵۶۳	۳۴/۹۴۵۸	۲۰		۰/۰۸	۴۲/۰۴	۰/۱۲	۴۵/۶۳	۰/۱۳	۴۵/۶۲
۵۰/۹۷۴۲	۳۴/۹۹۹۰	۲۱	پهنه نمکی	۰/۳۱	۳۶/۳۹	۰/۳۹	۴۰/۱	۰/۲۴	۳۷/۴۱
۵۰/۹۳۸۸	۳۵/۰۲۵۴	۲۲		۰/۲۴	۳۵/۱۵	۰/۳۲	۳۶/۲۸	۰/۲۳	۳۶/۵۶
۵۰/۹۰۴۲	۳۴/۹۹۱۲	۲۳		۰/۲۷	۳۷/۲۱	۰/۲۹	۳۶/۷۷	۰/۲۷	۳۹/۹۱
۵۰/۹۳۳۵	۳۴/۹۶۲۶	۲۴		۰/۲۹	۳۷/۲۱	۰/۳۴	۴۱/۵	۰/۱۹	۳۹/۵۲
۵۰/۹۴۵۳	۳۴/۹۹۱۲	۲۵		۰/۳۲	۳۷/۲۱	۰/۳۲	۳۹/۱۵	۰/۲۷	۳۹/۶۱

$$y = -29/452x + 45/762$$

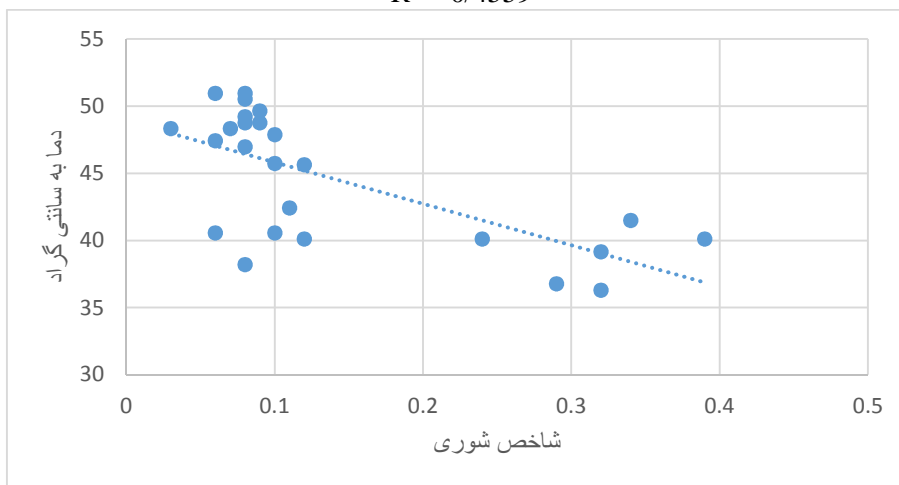
$$R^2 = 0/7703$$



شکل ۸: ارتباط بین دو شاخص شوری و میزان دمای سطح پلایا در سال ۱۹۹۱

$$y = -30/819x + 48/901$$

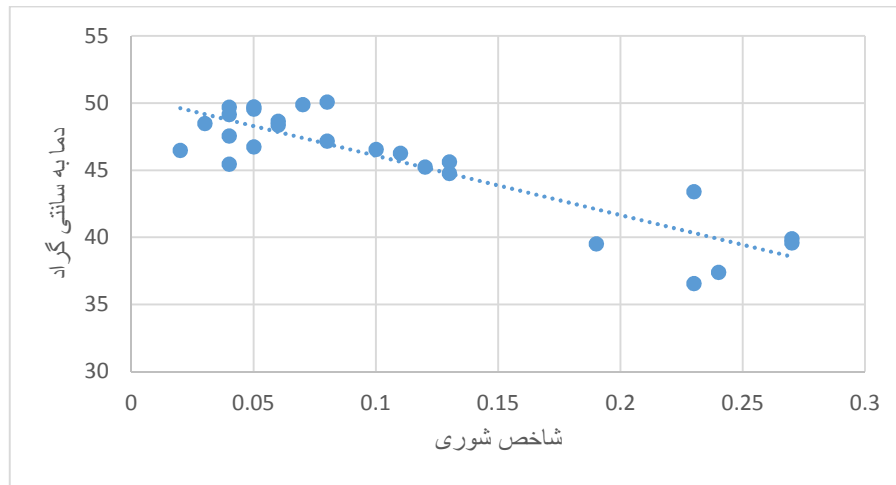
$$R^2 = 0/4559$$



شکل ۹: ارتباط بین دو شاخص شوری و میزان دمای سطح پلایا در سال ۲۰۰۰

$$y = -44/22x + 50/511$$

$$R^2 = 0/7795$$



شکل ۱۰: ارتباط بین دو شاخص شوری و میزان دمای سطح پلایا در سال ۲۰۱۶

نتیجه گیری

نتایج مطالعات نشان داد که با مساحت پلایای حوض سلطان طی سال‌های ۱۹۹۱ تا سال ۲۰۱۶ کاهش داشته است و این کاهش در ۱۰ سال اول شدیدتر بوده است. همچنین بیشترین تغییرات مساحت پلایا در نواحی شرقی افتاده است، در حالی که بیشترین عقب نشینی سطح شوری از سمت غرب و جنوب غربی پلایا بوده است. به عبارت دیگر بیشترین افزایش مساحت شوری از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ در حاشیه شرقی و جنوب شرقی و عقب نشینی آن از سمت غرب و جنوب غربی پلایا رخ داده است. این موارد بیانگر این است که پلایای حوض سلطان از سمت شرق به سمت غرب و جنوب غرب تغییرات مکانی داشته است. این تغییرات مکانی در حدود ۱۵ سال پیش شدیدتر بوده است. از بررسی روابط رگرسیونی میان شاخص شوری و دما استنتاج می‌شود که در پلایای حوض سلطان افزایش شاخص شوری حرکت شود با کاهش میزان دما در سطح این پلایا همراه است، به گونه‌ای که کمترین میزان دمای سطح فرم‌های پهنه نمکی و پهنه گلی نمکی و منطقه مرکزی و حاشیه پلایا اختصاص دارد و همچنین این نواحی بیشترین تراکم لایه‌های نمک و شاخص شوری را به نسبت کل سطح منطقه دارا است. با توجه به اینکه پلایای حوض سلطان بخش شرقی آب خود را از کوهستان‌های موجود در امتداد حاشیه شمالی، از شمالی‌ترین شاخه‌های مخروط‌افکنه رود شور و از انشعابات شمالی مخروط‌افکنه قره چای، دریافت می‌کند. از طرفی این پلایا از جهت جنوب غربی، مغرب و شمال غربی به وسیله رشته‌کوه‌های آتشفشانی محصور است. می‌توان این‌طور نتیجه‌گیری نمود که کاهش شوری سطح حوض سلطان از سمت شرق، احتمالاً به علت جریان آب وارده بوده است، که باعث کاهش شوری بخش‌های شرقی پلایای حوض سلطان می‌شوند. از طرف دیگر چون افزایش غلظت نمک با کاهش دما همراه است، بنابراین جابه‌جایی مکانی پلایا از سمت شرق به سمت ارتفاعات غرب و جنوب غربی توجیه‌پذیر است.

منابع

- احسانی، امیر هوشنگ، ۱۳۸۱، بررسی و ارزیابی کارایی باندهای ماهواره لندست ۷ (ETM+) در تفکیک واحدهای طیفی حاشیه پلایا، ماهنامه علمی و فنی سازمان نقشه برداری، سال ۱۳، شماره ۷، ص ۵۳.
- احسانی، امیر هوشنگ، ۱۳۸۹، بررسی ویژگی‌های طیفی و حرارتی اراضی حاشیه پلایا با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره لندست ۷ (ETM+) (مطالعه موری: پلایای چچام)، مجله کاربرد GIS، RS در برنامه‌ریزی فصلنامه، سال اول، شماره ۱، ص ۵۱.

- پاشایی، عباس، ۱۳۸۱، کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالتوکلیماتولوژی آن، انتشارات سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ص ۳۲۸.
- چیت ساز، وحید، استاد راهنما: جمال الدین خواجه الدین، ۱۳۷۸، بررسی امکان تهیه نقشه شوری و قلیائیت خاک منطقه شرق اصفهان با استفاده از داده‌های رقومی *TM*، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد.
- خدادادی، مارال، ۱۳۸۹، بررسی قابلیت داده‌های سنجنده *LISS_III* جهت تهیه نقشه خاک‌های تحت تاثیر املاح در بخشی از دشت قزوین، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، شماره ۱، دوره ۴۱، ص ۱-۱۱.
- دشتکیان، کاظم، ۱۳۸۶، بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۵، شماره ۲، ص ۱۵۷-۱۳۹.
- رضاییان لنگرودی، اساتید راهنما: سعید، فرج ...، فیاضی، راضیه، لک، ۱۳۹۰، بررسی رسوب شناسی، ژئوشیمی رسوبی و رخساره های رسوبی پلایای حوض سلطان با مطالعه مغزه ها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، دانشکده علوم پایه- زمین شناسی.
- رنگزن، کاظم، مهدی، مختاری، ۱۳۸۵، بررسی توانائی تعیین میزان شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه چمران.
- زبردست، لعبت، ۱۳۹۰، ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی با استفاده از سنجش از دور و ارائه راه حل مدیریتی، محیط‌شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۷، ص ۵۷-۶۴.
- شاهینی، ش، ۱۳۷۸، دریاها، دریاچه‌ها و تالاب‌های ایران، گزارش داخلی مرکز تحقیقات منابع ایران، کد: ۶۴۰-۲۲-۱۳۲۵، ص ۲۶۱.
- شفییی دارابی، احمد، محمود، علی رکنی، کاظم، کاکایی، زهره، موسوی، ۱۳۹۲، تالاب شکار ممنوع حوض سلطان، چاپ اول، گزارش داخلی اداره کل محیط زیست استان قم، ص ۷-۴۹.
- عابدینی، علی، ۱۳۸۳، بررسی تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از ایجاد همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر عددی شوری خاک در دشت قزوین، پژوهش و سازندگی، شماره ۶۴، ص ۳۳-۳۸.
- علوی پناه، سید کاظم، ۱۳۸۱، بررسی محدودیت‌های تهیه نقشه دمای سطحی بیابان لوت با استفاده از داده های باند حرارتی ماهواره لندست، بیابان، دوره ۷، شماره ۱، ص ۸۵-۱۰۰.
- علوی پناه، کاظم، ۱۳۸۷، کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین (خاک‌شناسی رقومی)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ص ۴۵۸.
- علوی پناه، کاظم، ۱۳۸۹، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ص ۵۲۴.
- علوی پناه، کاظم، ۱۳۸۵، سنجش از دور حرارتی، انتشارات دانشگاه تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ص ۵۲۲.
- فتاحی، محمد مهدی، ۱۳۹۱، بررسی ویژگی‌های تالاب کویری حوض سلطان قم، سومین همایش ملی مقابله با بیابان زایی و توسعه پایدار تالاب های کویری ایران، اراک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.
- قهرودی تالی، منیژه، لادن، خدیری غریبوند، ۱۳۹۳، بررسی آشفستگی در میکروکلیمات‌های تالاب گاوخونی، فصلنامه بین المللی پژوهشی تحلیلی زمین پویا، سال دوم، شماره دوم، شماره پیاپی ۶، ص ۴۴-۵۱.

- قهرودی تالی، منیژه، لادن، خدری غریبوند، ۱۳۹۵، رویکرد فرم‌شناسی در استراتژی مدیریت تالاب‌ها و پلایاها بررسی موردی: پلایای گاوخونی، فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۲، ص ۱۱۸-۱۰۹.
- قهرودی تالی، منیژه، خدیجه، علی نوری، ۱۳۹۳، ردیابی مخاطرات پلایای حوض سلطان با بررسی آشفستگی در میکرو لندفرم‌ها، دانش مخاطرات، دوره ۱، شماره ۲، ص ۲۵۲-۲۴۱.
- کلینسلی، دانیل، ۱۳۸۱، کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن، ترجمه عباس پاشائی، چاپ اول، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ص ۳۲۸.
- محمدی، فرشاد، استاد راهنما: محمدعلی، بهمنیار، ۱۳۶۲، بررسی رابطه پوشش گیاهی و خاک در مراتع حوض سلطان قم به منظور ارائه بهترین شیوه‌های اصلاح مرتع، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، دانشکده منابع طبیعی ساری.
- مقصودی، مهران، هیوا، علمی زاده، ۱۳۹۰، شواهد ژئومورفولوژیکی تغییرات سطح اساس در پلایای حوض سلطان، جغرافیا (فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران) دوره جدید، سال نهم، شماره ۲۸، بهار، ص ۱۵۷-۱۷۸.
- نعیمی نظام آباد، علی، منیژه قهرودی تالی، محمد رضا ثروتی، ۱۳۸۹، پایش تغییرات خط ساحلی و لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی خلیج فارس با استفاده از سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه ساحلی عسلویه)، فضای جغرافیایی، سال دهم شماره ۳۰، ص ۶۱-۴۵.
- نگهبان، سعید، دانا، رستمی، حمید گنجائیان، ۱۳۹۵، پایش تغییرات خط ساحلی با استفاده از سنجش از دور در محدوده ساحلی دریای عمان از چابهار تا بندر تنگ، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۱، ص ۴۲-۲۷.
- یمانی، مجتبی، ابولقاسم، گورابی، سید محمد، زمان زاده، عارفه، شعبانی عراقی، ۱۳۹۵، شواهد تغییرات سطح اساس پلایای میقان در کواترنری و تأثیر آن بر مورفولوژی و توالی مخروط‌افکنه‌ها، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۱، ص ۳۱-۱۵.
- Amal Allbed, Lalit Kumar., 2013, Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review, *Advances in Remote Sensing*, Vol. 2 No. 4, pp. 373-385.
- Azizi.G., Alavi panah.,S.k.,Goodarzi.N.,Kazemi.M.,2007, An estimation of the temperature of Lut desert using MODIS sensor data., *BIABAN*, 12: pp.7-15.
- Bryant.,R.G.,1996,Validated linear mixture modeling of landsat TM data for mapping evaporate minerals on a playa surface, methods and applications,int.J.of Remote Sensing,NO.2,vol.17, pp 315-330.
- Eldeiry,A., Garcia, L and Reich,R.m., 2005, Estimating soil salinity from remote sensing data in corn fieleds, Colorado state University, pp.31-42.
- Fayazi, F., 1991, Sedimentological studies in the Qom area, PhD. Thesis,Unpublished UEA U.K., p 145.
- Garcia, L, and Elhaddad E. a., 2005, Estimating soil salinity using remote sensing data, proceeding for 2005 central plains Irrigation conference, stersing, Colorado, Feb 16-17,pp 1-10. <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>
- Khaier,F.,2003,soil salinity detection using satelaite remote sensing, M.S. Thesis,ITC,Netherlands,pp.61.
- Khan, N.M., Rastoskuev, V.V., Shilina,E.V. and Yohei S., 2001, Mapping salt affected soils using remote sensing indicators – A simple approach with the use of GIS IDRIST,22th Asian conference on remote sensing, 5-9 november, Singapore.

- Krinsley, D.B., 1970, Geomorphological and paleoclimatological Studies of the Playa of Iran: US Government Printing Office Washington D.C., pp.20-402.
- Mostofi, B., and Frei, E., 1959, The main sedimentary of Iran and their oil prospect. Proc. 5th world petrol. Congr. New-York, Sec. 1.
- Mulders, M.Chel and Epera, F.Gerrite, 1986, The thematic mapper: a new tool for soil mapping in arid area, ITC Journal, No. 1, pp. 24-29.
- Nevil, P., Goward, R., Watson, R., 2000, The application of TM imagery and GIS data in the assessment of arid lands, water and land resources in west Texas, PE&RS, 11, 66, pp. 1373-1382.
- Nelson, 2002, Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL), British Columbia, August, pp 1-98.
- Pakparvar, M. and Abtahi, M., 2002, GIS based monitoring of soil salinity by remotely sensed data, Proceedings of The Fourth International Iran & Russia Conference, pp 442-558.
- Salman A. and Mubeen –Ul-Din, A., 2000, Using state of the art RS and GIS for monitoring water logging and salinity, Proceeding of a roundtable meeting Lahor, Pakistan, 10-11 Nov., IPTRID:FAO, NO.9.