

پایش تغییرات دلتای سفیدرود با پردازش داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی و چندزمانی

حسین نظم فر^۱، محمد حسین فتحی*^۲، نادر سرمستی^۳، محمد علی خلیجی^۴

۱- استادیار گروه برنامه ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی
nazmfar1@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی
Geo.fathi@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی
nsarmasty@yahoo.com

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد شهرسازی، دانشگاه علوم تحقیقات، تهران
ma.khaliji@yahoo.com

چکیده

بخش عمده‌ای از جمعیت جهان در جلگه‌های ساحلی و در مجاور آبراهه‌ها استقرار یافته‌اند. مطالعه تغییرات سطوح دلتاها برای تعیین درجه پایداری آن‌ها دارای اهمیت می‌باشد. ناحیه دلتای رودخانه یک منطقه انتقالی بین ناحیه خشکی و محیط دریایی می‌باشد. دلتای سفیدرود بزرگ‌ترین دلتا و یکی از اشکال ژئومورفولوژیکی غالب در ساحل جنوبی دریای خزر در ایران است که تاریخ تکامل پیچیده‌ای دارد. دلتای سفیدرود به‌طور متوسط نرخی برابر ۴۷ میلیون مترمکعب رسوب‌گذاری را در سال نشان می‌دهد. لذا فرایندهای هیدرودینامیکی حاکم در منطقه، جریان‌های دریایی، امواج و یا جزر و مد نیز بر روند رسوب‌گذاری تحت تأثیر جریان‌های رودخانه‌ای تأثیر می‌گذارد و الگوی شکل‌گیری دلتا با توجه به هریک از مکانیزم‌ها متفاوت خواهد بود. هدف اصلی این پژوهش، بررسی تغییرات دلتای سفیدرود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. با توجه به مزیت‌ها و قابلیت‌هایی که داده‌های ماهواره‌ای دارند، این تکنولوژی می‌تواند به شناسایی و کشف این تغییرات کمک شایانی بنماید. با توجه به این‌که هدف از انجام این بررسی، شناخت تحولات خط ساحلی دریای خزر و چگونگی گسترش دلتای سفیدرود جهت مدیریت بهتر محیط به‌ویژه مناطق ساحلی بوده است، لذا اقدام به شناسایی تغییرات دلتای سفیدرود از تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای روش تلفیق چشمی و رقومی گردید. برای بررسی تغییرات مکانی خط ساحلی و دلتای سفیدرود که از تصاویر ETM+ در فاصله زمانی ۱۶ ساله بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۵ صورت پذیرفت. نتایج حاصل از این نقشه‌ها بیان‌گر روند تکاملی پیش‌رونده دلتای سفیدرود به سمت شرقی با توجه به پس‌روی خط ساحلی دریای خزر در این ناحیه از منطقه مورد مطالعه بوده است که این تغییر نشان‌دهنده تغییرات محیطی در منطقه می‌باشد. تغییرات بلند و کوتاه‌مدت سطح آب دریای خزر بر پویایی دلتای سفیدرود تأثیر زیادی داشته است. تکامل دلتای سفیدرود به‌صورت پیش‌روی دلتا بر اثر عملکرد غالب سفیدرود و سپس پس‌روی دریا و کاهش سطح و تغییر خط ساحلی بوده است.

واژگان کلیدی: پایش تغییرات، دلتای سفیدرود، داده‌های ماهواره‌ای، ETM+.

طبیعی تلقی شود (Tisseuil, 2012, 69; Guinder et al., 2012, 548; Li et al., 2012, 197; Siddiqui, 2011, 298). در دهه‌های گذشته، پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات سطح آب در فاصله‌های زمانی مختلف به عنوان یک پژوهش زیربنایی مورد توجه واقع شده است (Lei et al., 2011, 787; Hudak, 2011, 595; Nasrabadi et al., 2010, 1112; Rowshan et al., 2007, 235). خطوط ساحلی ماهیتی دینامیکی داشته و مدیریت چنین محیط‌های اکولوژیکی حساس نیاز به کسب اطلاعات دقیق در فواصل زمانی مختلف دارد (Pamer, 2011, 891; Kavian et al., 2011, 939). فناوری سنجنش از دور و تکنیک پردازش تصاویر ماهواره ای چند طیفی (multi-spectral satellite image) روش موثری جهت اخذ داده‌های مورد نیاز می باشد. این روش فاقد محدودیت‌های زمانی و مکانی معمول می‌باشد. تصاویر ماهواره‌ای در میان داده‌های دورسنجی مزایایی دارند که تفسیر آسان و سهولت دسترسی از آن جمله‌اند (علوی‌پناه، ۱۳۸۲، ۵۳). روش‌های متعدد و مختلفی جهت استخراج خطوط ساحلی از تصاویر ماهواره‌ای به کار گرفته شده است. یکی از پدیده‌هایی که غالباً در تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و استخراج خطوط ساحلی ایجاد مشکل می‌نماید، شباهت بسیار زیاد نواحی سایه‌دار با بدنه‌های آبی (مخصوصاً آب‌های عمیق) که ممکن است در طبقه‌بندی تصاویر در صورت وجود بدنه‌های آبی، نواحی سایه‌دار نیز به اشتباه به عنوان پیکسل‌های آبی طبقه‌بندی شوند؛ لذا مفسر همیشه باید به این امر توجه لازم را بنماید (رسولی، ۱۳۸۹، ۵۶). با توجه به این‌که انعکاس آب در باندهای مادون قرمز انعکاسی بسیار کم و نزدیک به صفر است، خطوط ساحلی را می‌توان تنها با استفاده از یک باند (به‌طور مثال با استفاده از آستانه‌گذاری روی باند ۴ یا باند ۵ سنجنده TM) استخراج کرد. این گزینه برای جداسازی زمین‌های بسیار مرطوب از آب از دقت

خطوط ساحلی دریاچه‌ها به عنوان یکی از اشکال و پدیده‌های طبیعی سطح زمین خیلی سریع تغییر پیدا می‌کنند و همواره دستخوش تغییر و تحول می‌باشند. در این شرایط پایش و ارزیابی چنین مناطقی می‌تواند به عنوان یک امر مهم در توسعه و مدیریت منابع طبیعی تلقی می‌گردد (تیسولی، ۲۰۱۲، ۶۹). زیرا خطوط ساحلی ماهیتی دینامیکی داشته و مدیریت چنین محیط‌های اکولوژیکی حساس نیاز به کسب اطلاعات دقیق دارد (کاویان، ۲۰۱۱، ۸۹۱). پایش نواحی ساحلی که پارامتری مهم در توسعه پایدار و حفاظت از محیط زیست می‌باشد، نیاز به استخراج خطوط ساحلی در زمان‌های مختلف دارد (دیترکتات، ۱۳۸۱، ۱۸). اشکال و پدیده‌های طبیعی سطح زمین خیلی سریع تغییر پیدا می‌کنند (Macleod, 1998, 127)، و دریاچه‌ها نیز به عنوان یکی از همین اشکال و پدیده‌های طبیعی از این قاعده مستثنی نبوده (Sadatipour et al., 2012, 2; Sandeep et al., 2012, 645; Madani et al., 2012, 52; Mirbegheri et al., 2012, 163). تغییرات آب و هوایی در نتیجه کاهش بارندگی، افزایش دما، استفاده بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیر سطحی در مناطق و حوضه‌های آبریز به روشنی قابل مشاهده است (Karbassi et al., 2010, 419; Mortazavi and Sharifian, 2011, 757; Arias et al., 2012, 22). این تغییرات خود موجب دگرگونی در کیفیت منابع آبی که اساس توسعه پایدار می باشد، می‌گردد (Baghvand et al., 2010, 264; Nasrabadi et al., 2009, 697). امروزه تنزیل کیفیت و کمیت منابع آبی یکی از مهمترین چالش‌های فراروی توسعه پایدار می‌باشد (Serbaji et al., 2012, 613; Pei et al., 2011, 361; Ying et al., 2011, 169). در این شرایط، پایش و ارزیابی مناطق ساحلی می‌تواند، به عنوان یک امر مهم در توسعه ملی و مدیریت منابع

¹ Tisseuil

² Kavian

مناسبتی برخوردار نمی‌باشد. به علاوه در نواحی ساحلی که عمقی کمتر از یک متر دارند انعکاسات کف آب به سنجنده رسیده و یافتن حدآستانه را در باند ۵ یا باند ۷ با مشکل روبرو می‌سازد. وجود ذرات معلق در آب و گل‌آلودگی آن در نواحی ساحلی نیز از دیگر معضلاتی است که یافتن خطوط ساحلی را با استفاده از تنها یک باند مشکل می‌سازد. از این‌رو بسیاری از پژوهشگران استفاده از نسبت بین باندها را پیشنهاد نموده‌اند (آل‌شیخ، ۲۰۰۷، ۱۰). به منظور کاهش اثر عوامل ناخواسته روی اطلاعات خطوط ساحلی و همچنین افزایش اطلاعات مربوط به آن‌ها، می‌توان حداقل دو باند را ترکیب نموده و فرمول مرکبی ایجاد نمود. این فرمول‌ها تبدیلات ریاضی می‌باشند که براساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای آشکارسازی خطوط ساحلی در مشاهدات ماهواره‌ای چندطیفی طراحی می‌شوند. بیشترین باندهایی که در تعریف فرمول‌های استخراج خطوط ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند، در محدوده باندهای مرئی و مادون قرمز انعکاسی و میانی می‌باشند. دلیل این امر بازتاب آب در بخش مرئی و جذب شدید آن در بخش مادون قرمز انعکاسی و میانی طیف الکترومغناطیس می‌باشد (فاطمی، ۱۳۸۴، ۶۳). ساده ترین راه برای تفسیر نتایج محاسبات تصویری نظیر تفریق و تقسیم تصاویر استفاده از حدآستانه ۳ است حدآستانه مرزی برای فضای طیفی است که پایین‌تر از آن احتمال کمی برای پیکسل جهت ورود به یک کلاس فرضی وجود دارد و پیکسل مذکور به کلاس ناشناخته یا غیرطبقه‌بندی شده اختصاص می‌یابد. اگر فاصله طیفی برای پیکسل X بزرگ‌تر یا مساوی آستانه معرفی شده باشد، پیکسل X در کلاس معرفی شده طبقه‌بندی می‌شود در غیر این صورت ناشناخته باقی می‌ماند (لیلیسند، ۱۳۸۰، ۱۵۲).

³ Threshold

۲- پیشینه تحقیق

از سطح دریاچه کاهش یافته است. از نتایج دیگر این تحقیق ارجعیت روش آستانه‌گذاری نسبت به روش‌های متداول در استخراج خطوط ساحلی می‌باشد. قزلسفلی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از تصاویر سنجنده‌های TM، LISSIII و ASTER به آشکارسازی تغییرات خطوط ساحلی دریاچه ارومیه پرداختند که نتایج این تحقیق توانمندبودن ابزار سنجش از دور جهت پایش تغییرات خطوط ساحلی با دقت‌های مناسبی می‌باشد. رسولی و همکاران (۱۳۸۷) تحقیقی تحت عنوان پایش نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی و چندزمانی انجام دادند و پی بردند که بیشترین تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در جنوب‌شرقی و ساحل شرقی دریاچه رخ داده است که این کاهش سطح، ۲۳ درصد از سطح دریاچه در طول مورد مطالعه کاسته است. هدف از این تحقیق ارائه روش نیمه اتوماتیک نوین برای استخراج خطوط ساحلی از تصاویر اپتیکی، اعمال روش پیشنهادی برای پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه با تصاویر سنجنده TM در سال ۲۰۰۶ و در نهایت آزمون نتایج می‌باشد.

می‌باید تا در حوالی روستای کبلان و محل سد شهریار به کلی تغییر جهت داده و ادامه مسیر را به جهت جنوب‌شرقی طی کند. این تغییر مسیر باعث می‌شود تا قزل اوزن از این نقطه تا ورود مجددش به استان زنجان مرز طبیعی بین دو بخش خورش رستم خلخال و کاغذکنان میانه باشد به نوعی کاغذکنان را از دو طرف محصور سازد. بعد از ورود مجدد این رود به استان زنجان این بار وارد شهرستان طارم زنجان می‌شود و طول این شهرستان را به طور کامل از شمال به جنوب می‌پیماید. در طی مسیر شعبات کوچک دیگر از کوه‌های طارم به آن ملحق شده وارد تنگه منجیل می‌شود و قبل از منجیل شاهرود که از الموت و طالقان سرچشمه می‌گیرد و طارم پائین) طارم سفلی (را مشروب می‌کند و به شاهرود پیوسته از این محل به بعد در همه جا سفیدرود نامیده می‌شود. و از منجیل تا ساحل دریا همه جا سفیدرود به سمت شمال شرقی جاری و جریان‌ش سریع و مقدار آب آن زیاد است. از منجیل تا گندلان بستر آن بین دو کوه و بسیار باریک و از این نقطه به بعد دلتای وسیعی با شعبات زیاد تشکیل داده شعبه اصلی آن در حسنکیاده به دریای خزر میریزد.

با استفاده از فناوری سنجش از دور، پژوهشگران زیادی تحقیقاتی را بر روی دریاچه‌های داخلی کشورها انجام داده‌اند که به بعضی از آنها اشاره می‌گردد. زوانیو و همکاران (۲۰۱۰) برای کشف تغییرات محیطی نواحی ساحلی کشور رومانی در دریای سیاه از داده‌های سنجش از دور استفاده و تکنیک پردازش تصویر ماهواره‌ای را به عنوان ابزار اساسی در مطالعات محیطی ارزیابی کردند. کای‌چینگ و همکاران (۲۰۰۸) در دانشگاه اهائو ژاپن اقدام به نقشه‌برداری ساحلی و شناسایی تغییرات ساحلی با یک روش نقشه‌برداری نیمه‌اتوماتیک در ساحل دریاچه اری با استفاده از تصاویر پانکروماتیک آیکونوس کردند که نتیجه این مطالعه استخراج دقیق خطوط ساحلی و تهیه نقشه تغییرات آن در طول دوره مطالعه شده می‌باشد. آل‌شیخ و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تصاویر سنجنده لندست بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ به بررسی خطوط ساحلی دریاچه ارومیه پرداخته و دریافتند ۱۰۴۰ کیلومترمربع در طول دوره مورد مطالعه

۳- معرفی منطقه

دومین رود بلند ایران سفیدرود است. از ترکیب دو رود شاهرود و قزل اوزن که در شهر منجیل به هم می‌پیوندند شکل می‌گیرد و تا ریختن به دریای خزر عرض استان گیلان را می‌پیماید. آب جمع شده پشت سد منجیل را این دو رود تشکیل می‌دهند. قزل اوزن که اصلی‌ترین رود تشکیل دهنده سفیدرود است بزرگترین و پرآب‌ترین رودخانه استان زنجان محسوب می‌شود و بیشتر از ۹۵ درصد از آن در استان زنجان جاری است. قزل اوزن از چهل چشمه کردستان سرچشمه می‌گیرد و به‌طرف مشرق رفته و از سمت شهر گرماب وارد استان زنجان می‌شود و به‌طرف شمال استان زنجان و شهر شهر میانه حرکت می‌کند. در بین راه و در نزدیکی روستای رجعین رود خانه زنجانرود به آن می‌پیوندد و پس از عبور از رشته‌کوه قافلاتی، در نزدیکی شهر میانه رودهای شهرچای و گرمه‌چای نیز به آن ملحق می‌شوند. قابل ذکر است که شهرچای از اتصال رودهای پر آب و مهمی چون قوروقچای، قارلانقو و آیدوغموش تشکیل شده‌اند. پس از عبور از قطر شهرستان میانه حرکت به سمت شمال ادامه

۴- داده‌ها و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۵ میلادی می‌باشد. علل استفاده از تصاویر این سنجنده، دارا بودن شش باند در محدوده مرئی و مادون قرمز انعکاسی و نیز اندازه پیکسل سائز متری اشاره نمود که آن را جزو سنجنده‌های با قدرت تفکیک متوسط قرار داده است. چنین سنجنده‌هایی همچون پلی میان سنجنده‌های با قدرت تفکیک بالا (مثل اسپات ۵) و سنجنده‌هایی با قدرت تفکیک پایین (مثل

WIFS) عمل می‌نمایند. سنجنده ETM+ لندست ۷ یک سنجنده چندطیفی است که در ۱۵ آوریل ۱۹۹۹ پرتاب شد. ماهواره لندست ۷ این سنجنده را با خود حمل می‌کند. این سنجنده دارای هشت باند می‌باشد که باند ۱ تا ۳ محدوده مرئی با قدرت تفکیک ۳۰ متر و باندهای ۴، ۵، ۷، ۸ محدوده مادون قرمز با قدرت تفکیک ۳۰ متری را پوشش می‌دهد. باند ۶ مادون قرمز حرارتی با قدرت تفکیک ۶۰ متری و باند ۸ پانکروماتیک با قدرت تفکیک ۱۵ متر می‌باشد (علوی‌پناه، ۱۳۸۷: ۸۵). مشخصات سنجنده ETM+ لندست ۷ در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات سنجنده ETM+ لندست ۷

شماره باند	محدوده طیفی (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱	۰,۵۱۵-۰,۴۵	۳۰
۲	۰,۶۰۵-۰,۵۲۵	۳۰
۳	۰,۶۹-۰,۶۳	۳۰
۴	۰,۹۰-۰,۷۵	۳۰
۵	۱,۷۵-۱,۵۵	۳۰
۶	۱۲,۵-۱۰,۴	۶۰
۷	۲,۳۵-۲,۰۹	۳۰
پانکروماتیک	۰,۹۰-۰,۵۲	۱۵

سنجنده ETM+ برابر با ۰/۸۸۴ پیکسل بود که بسیار مطلوب می‌باشد. در مرحله بعد با کمک روش نمونه‌برداری مجدد ۴ به روش نزدیک‌ترین همسایه ۵، تصاویر در جهت شمال توجیه و گردانده شدند و در نرم‌افزار ILWIS3.7 پردازش شدند. مراحل اصلی پردازش تصاویر مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:

- بررسی محتوای اطلاعاتی باندهای سنجنده ETM+: پس از دریافت داده‌های سنجنش از دور، محاسبات اولیه برخی شاخص‌های آماری مفید و ضروری است. این محاسبات شامل حداقل و حداکثر درجه روشنایی هر باند، میانگین، انحراف معیار، ماتریس همبستگی و تغییرات درجه روشنایی در هر باند می‌باشد (علوی‌پناه، ۱۳۸۲: ۹۹). داده‌های سنجنده

با توجه به هدف مطالعه که ارزیابی تغییرات دلتای سفیدرود از روی تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی ۱۶ ساله بود، ابتدا داده‌های خام سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ مورد پردازش‌های اولیه و تصحیحات هندسی قرار گرفتند. داده‌های ETM+ تاریخ ۲۰۱۰ با استفاده از نرم‌افزار پردازشی ILWIS3.7 زمین مرجع شدند. تصاویر اولیه و خام داده‌های ماهواره‌ای بنا به دلایل مختلف مانند گردش زمین، تغییر در ارتفاع ماهواره دارای هندسه ناصحیح بوده و در این حالت قابل استفاده نیستند. بنابراین برای این که بتوان داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی را پردازش و تفسیر کرد، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای به یک سیستم مختصات واحد تبدیل شدند. در این تحقیق با برداشت نقاط کنترل زمینی از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی اقدام به تصحیح هندسی تصاویر در محیط نرم‌افزار ILWIS3.7 گردید. خطاهای به دست آمده برای

⁴. Resampling

⁵. Nearest neighbour

ETM+ دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی، ۶۰ متر برای باند حرارتی و ۱۵ متر برای باند پانکروماتیک می‌باشد. مشخصات آماری سنجنده ETM+ در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود میانگین درجه روشنایی و

جدول ۲: مشخصات آماری باندهای سنجنده ETM+

سنجنده	خصوصیت آماری	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷
ETM+	میانگین	۱۴۳	۱۴۹	۱۹۶	۱۰۳	۱۶۸٫۸	۱۸۷٫۵	۱۴۸
	انحراف معیار	۱۸٫۲	۲۲٫۱	۳۳٫۱	۱۳٫۸	۲۳٫۵	۵٫۹	۲۳٫۱
	حداکثر	۱۹۰	۲۰۰	۲۵۵	۱۳۰	۲۱۱	۱۹۶	۱۸۷
	حداقل	۱۰۱	۹۸	۱۱۱	۶۴	۱۰۲	۱۶۶	۸۰

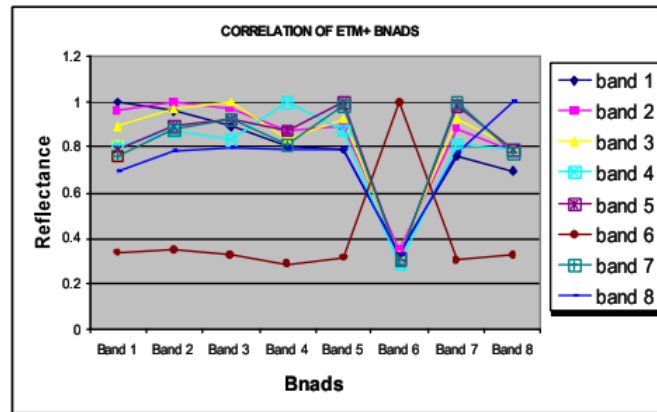
- بررسی همبستگی بین باندهای طیفی سنجنده ETM+ از روی ماتریس همبستگی: همبستگی بین باندها بیان‌گر وجود اطلاعات مشترک می‌باشد، یعنی هر قدر همبستگی بین باندها بیشتر باشد میزان اطلاعات بیشتری به‌صورت مشترک وجود دارد. پس از محاسبه ضرایب همبستگی بین باندها و بررسی روند همبستگی آن‌ها ملاحظه شد که باندهای ۳، ۲، ۱ مشابه و روند همبستگی بین باندهای ۵، ۴ نیز تقریباً مشابه و دارای

انحراف معیار باندهای ۱ و ۲ نزدیک به هم می‌باشند، یعنی ضمن این‌که دارای اطلاعات زیادی هستند لیکن بخش عمده آن مشترک است و میانگین درجه روشنایی و انحراف معیار باند ۳ بیش‌تر از سایر باندهاست. سایر باندها دارای میانگین درجه روشنایی و انحراف معیار متفاوتی می‌باشند.

همبستگی بالایی می‌باشند. باند حرارتی با باندهای مرئی و مادون قرمز میانی دارای همبستگی منفی می‌باشد و با باندهای مادون قرمز نزدیک همبستگی معکوس ملاحظه شد. لذا باند حرارتی دارای اطلاعاتی متمایز از سایر باندهاست. جدول ۳ ماتریس همبستگی و شکل ۲ نمودار روند همبستگی بین باندهای سنجنده ETM+ را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ماتریس همبستگی باندهای سنجنده ETM+

باند	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	۱٫۰۰۰	۰٫۹۵۷	۰٫۸۹۰	۰٫۸۰۸	۰٫۷۹۰	۰٫۳۳۴	۰٫۷۶۵	۰٫۶۹۸
۲	۰٫۹۵۷	۱٫۰۰۰	۰٫۹۷۱	۰٫۸۶۹	۰٫۸۹۲	۰٫۳۴۵	۰٫۸۷۸	۰٫۷۸۴
۳	۰٫۸۹۰	۰٫۹۷۱	۱٫۰۰۰	۰٫۸۳۸	۰٫۹۲۳	۰٫۳۲۷	۰٫۹۲۸	۰٫۷۹۵
۴	۰٫۸۰۸	۰٫۸۶۹	۰٫۸۳۸	۱٫۰۰۰	۰٫۸۷۳	۰٫۲۸۷	۰٫۸۱۰	۰٫۷۹۲
۵	۰٫۷۹۰	۰٫۸۹۲	۰٫۹۲۳	۰٫۸۷۳	۱٫۰۰۰	۰٫۳۱۲	۰٫۹۸۳	۰٫۷۹۳
۶	۰٫۳۳۴	۰٫۳۴۵	۰٫۳۲۷	۰٫۲۸۷	۰٫۳۱۲	۱٫۰۰۰	۰٫۳۰۰	۰٫۳۲۴
۷	۰٫۷۶۵	۰٫۸۷۸	۰٫۹۲۸	۰٫۸۱۰	۰٫۹۸۳	۰٫۳۰۰	۱٫۰۰۰	۰٫۷۷۲
۸	۰٫۶۹۸	۰٫۷۸۴	۰٫۷۹۵	۰٫۷۹۲	۰٫۷۹۳	۰٫۳۲۴	۰٫۷۷۲	۱٫۰۰۰



شکل ۲: نمودار روند همبستگی باندهای سنجنده ETM+

به کارگیری تکنیک فاکتور شاخص مطلوب (OIF):
 به منظور بررسی و بارزسازی تغییرات اولیه ابتدا روش تفسیر چشمی به کار گرفته شد. به منظور بارزسازی تغییرات به صورت تفسیر چشمی با استفاده از شاخص ترکیب بهینه باندی (OIF) ۶ تصاویر رنگی کاذب (FCC) ساخته شد. هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی، به حداقل رسانیدن داده‌های کم‌ارزش و استفاده حداکثر از اطلاعات مفید برای تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. در این تحقیق تکنیک OIF برای تمامی باندهای ETM+ به کار برده شد. با استفاده از این تکنیک حدود ۵۶ ترکیب رنگی از تمامی باندهای ETM+ ساخته شد. جدول ۴ بالاترین مقادیر OIF را برای باندهای مختلف (باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک، میانی، حرارتی و پانکروماتیک) ETM+ نشان می‌دهد.

⁶ Optimum Index Factor (OIF)

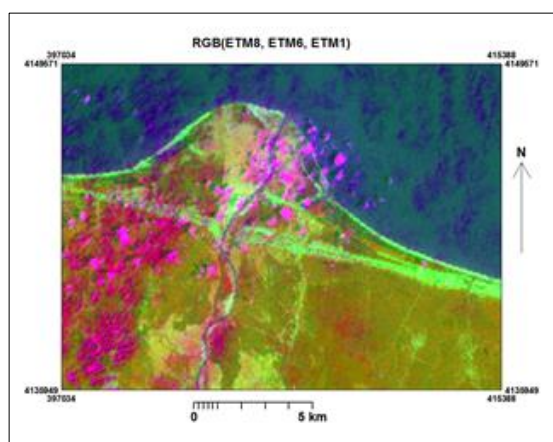
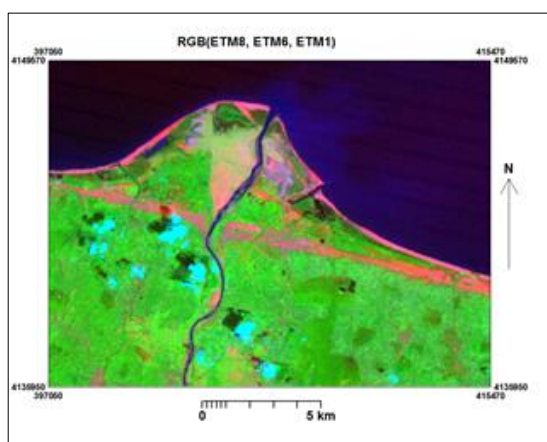
جدول ۴: مقادیر OIF باندهای سنجنده ETM+

ترکیب باندی	OIF	رتبه	باند طیفی
۸-۶-۱	۵۷۳,۴۲	۱	VNIR+TIR+Pan
۶-۵-۱	۲۵۴,۱۳	۲	VNIR+SWIR+TIR
۶-۴-۲	۱۶۲,۳۴	۳	VNIR+TIR
۶-۴-۳	۱۵۷,۴۹	۴	VNIR+TIR
۵-۴-۱	۱۲۹,۸۷	۵	VNIR+SWIR
۸-۴-۱	۱۲۴,۱۵	۶	VNIR+Panchromatic

۵- بحث و یافته‌ها

روش تفسیر چشمی تصاویر به‌منظور بارزسازی تغییرات، بهترین ترکیب رنگی کاذب که مناطق تغییر یافته را تا حدودی مشخص می‌کرد مربوط به تصویر رنگی کاذبی بود که باندهای ۸-۶-۱ ETM+ به رنگ قرمز، باند ۶ به رنگ سبز و باند ۱ به رنگ آبی نشان داده شد (شکل ۳).

با ترکیب باندهای مختلف سنجنده ETM+، تعداد زیادی تصویر رنگی کاذب حاصل می‌شود که بهترین ترکیب رنگی برای تفکیک دلتای سفیدرود ترکیب رنگی باندهای ۸-۶-۱ می‌باشد. در این راستا تغییراتی که بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۵ صورت گرفته بود با توجه به شناخت مفسران تعیین گردید. در



شکل ۳: تصویر رنگی کاذب دلتای سفیدرود، سال ۱۹۷۶ (سمت راست) و سال ۲۰۰۵ (سمت چپ)

گردید. در این مرحله ابتدا با استفاده از تصویر رنگی کاذب در محیط نرم‌افزار ILWIS و بررسی هیستوگرام باندهای طیفی و براساس تفاوت خصوصیات نظیر رنگ، تن، بافت، شکل و اندازه در تصویر کلاس‌های مورد نظر مشخص و تعریف شدند. سپس با شناخت کلی تصویر

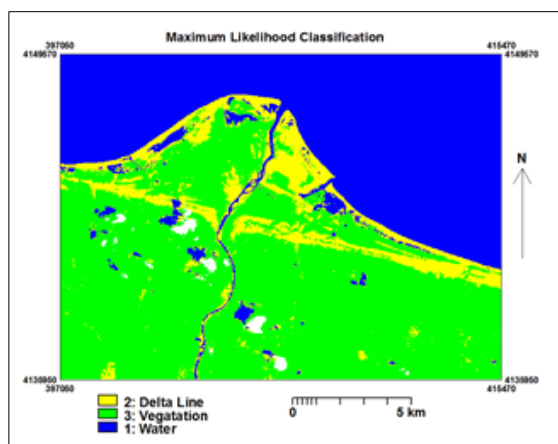
در بارزسازی تغییرات به‌صورت رقومی با استفاده از روش‌های بازتابی نمایش رنگی تصاویر، ابتدا نمونه‌های آموزشی با تفسیر چشمی تصویر رنگی کاذب، بررسی پراکنش نمونه‌ها در نمودار دوبعدی و تعریف کلاس‌ها برای طبقه‌بندی انتخاب و به الگوریتم طبقه‌بندی معرفی

تصاویر محاسبه گردید، از نتایج آن برای محاسبه دقت کلی و ضریب کاپا استفاده گردید.

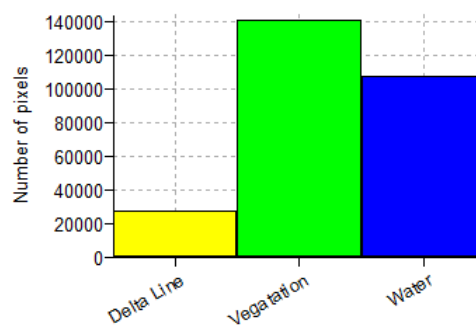
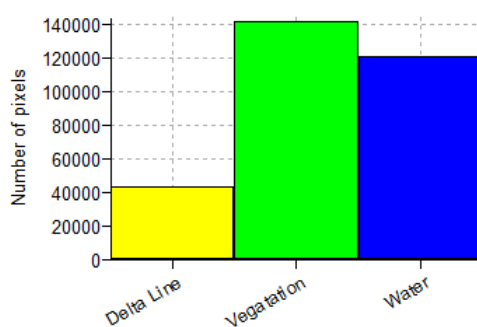
نمونه‌های آموزشی از طریق تفسیر چشمی ترکیب رنگی کاذب از هر کلاس انتخاب و تفکیک‌پذیری طیفی کلاس‌ها از روی نمودار دوبعدی پراکنش پیکسل‌ها با استفاده از باندهای مختلف بررسی شد. با تعبیر این باندها درک خوبی از بازتاب کلاس‌ها و روابط و تفکیک‌پذیری آنها به دست می‌آید. اگرچه داشتن اطلاعات آماری از کلاس‌ها نظیر میانگین، انحراف معیار و واریانس به آشنایی بیشتر با وضعیت آماری کلاس‌های تعریف شده کمک می‌نماید، اما نمودار دوبعدی مربوط به پراکنش نمونه‌ها (FS)⁷ گاهی به قدری سودمند است که ممکن است به نتایج و راه‌حل‌های بهتری برای تعریف کلاس‌ها منجر شود. با انتخاب نمونه‌های آموزشی برای هر یک از کلاس‌های طیفی در نهایت سه کلاس اصلی (شامل آب، خط مرزی دلتا و پوشش گیاهی) تفکیک شدند. از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال⁸ تاکنون به عنوان دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش‌ها ذکر شده است. این روش، واریانس و کوواریانس کلاس‌ها را ارزیابی می‌کند. برای این کار فرض می‌شود همه مناطق آموزشی از پراکنش نرمال برخوردارند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره طیفی قرار گیرد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر همراه با هیستوگرام آن در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده، چون نقشه واقعیت زمینی مناسبی برای اندازه‌گیری دقت نقشه‌های حاصله وجود نداشت، لذا با تولید یک تصویر واقعیت زمینی، دقت نقشه‌های طبقه‌بندی شده برآورد گردید. به منظور تولید تصویر واقعیت زمینی، باند پانکروماتیک تصویر ETM+ با باندهای چندطیفی این سنجنده با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) تلفیق گردید. سپس با استفاده از تفسیر چشمی و انتخاب نمونه‌های تعلیمی، نمونه‌های آزمایشی با نقشه حاصل از طبقه‌بندی با دستور Cross در محیط نرم‌افزار ILWIS تلاقی داده شد. براساس نتایج این تلاقی ماتریس خطای طبقه‌بندی

⁷ Feature space

⁸ Maximum Likelihood



شکل ۴: نقشه طبقه‌بندی شده تصاویر سال ۱۹۸۹ (سمت راست) و سال ۲۰۰۵ (سمت چپ)



شکل ۵: هیستوگرام نقشه طبقه‌بندی شده تصاویر سال ۱۹۸۹ (سمت راست) و سال ۲۰۰۵ (سمت چپ)

سفیدرود به‌طور متوسط نرخي برابر ۴۷ ميليون مترمکعب رسوب‌گذاري را در سال نشان مي‌دهد. لذا فرايندهای هيدروديناميکی حاکم در منطقه، جريانات دريایی، امواج و يا جزر و مد نيز بر روند رسوب‌گذاري تحت تأثير جريانات رودخانه‌ای تأثير مي‌گذارد و الگوی شکل‌گيري دلتا با توجه به هریک از مکانيزمها متفاوت خواهد بود. از آن‌جا که شواهد موجود نشان مي‌دهد مسير و دهانه سفیدرود در سطح دلتای خود به‌مکرر تغيير يافته و نوسانات آب دريای خزر نيز باعث تغيير سطح اساس و در نهايت روند دلتاسازی شده است لذا مديريت بهينه دلتای سفیدرود در جهت توسعه پايدار نیازمند بررسی تغييرات سطح آن در فواصل زمانی کوتاه يا بلندمدت مي‌باشد. هدف اصلی اين پژوهش، بررسی تغييرات دلتای سفیدرود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مي‌باشد. داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و چندطيفی

۶- نتیجه‌گیری

سطوح دلتاها از جمله محيط‌هایی مي‌باشند که فرايندهای هيدروژئومورفولوژیکی در فواصل زمانی کوتاه‌تری آنها را دچار تغيير و تحول مي‌کنند و تغييرات رخ داده آن‌ها در مقیاس زمانی و مکانی منجر به ثبت رویدادهای مخاطره‌انگيز مي‌شود. بخش عمده‌ای از جمعيت جهان در جلگه‌های ساحلی و در مجاور آبراهه‌ها استقرار يافته‌اند. از اين‌رو مطالعه تغييرات سطوح دلتاها برای تعيين درجه پايداری آن‌ها دارای اهميت مي‌باشد. ناحیه دلتای رودخانه یک منطقه انتقالی بين ناحیه خشکی و محيط دريایی مي‌باشد. دلتای سفیدرود بزرگ‌ترين دلتا و یکی از اشکال ژئومورفولوژیکی غالب در ساحل جنوبی دريای خزر در ايران است که تاريخ تکامل پيچيده‌ای دارد. دلتای

سفیدرود به سمت شرقی با توجه به پس‌روی خط ساحلی دریای خزر در این ناحیه از منطقه مورد مطالعه بوده که این تغییر نشان‌دهنده تغییرات محیطی در منطقه می‌باشد. تغییرات بلند و کوتاه‌مدت سطح آب دریای خزر بر پویایی دلتای سفیدرود تأثیر زیادی داشته است. تکامل دلتای سفیدرود به صورت پیش‌روی دلتا بر اثر عملکرد غالب سفیدرود و سپس پس‌روی دریا و کاهش سطح و تغییر خط ساحلی بوده است. از دلایل عمده این تغییرات می‌توان به مواردی از قبیل، تغییرات جزر و مدی دریای خزر همراه با رسوب‌گذاری در مصب سفیدرود اشاره نمود. در این خصوص باید تدابیری اندیشیده شود تا حوزه مورد مطالعه به یک پایداری نسبی برسد.

جهت بارزسازی و کشف تغییرات خصوصاً در مورد پایش دلتای سفیدرود دارای قابلیت وسیعی می‌باشند. در این خصوص داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست کمک شایانی می‌نماید. هر یک از روش‌های بارزسازی تغییرات کلاس خاصی از تغییرات را آشکار می‌کند که لازم است هنگام بررسی پدیده‌های مختلف بسته به هدف از روش‌های مختلف استفاده گردد. روش چشمی بارزسازی تغییرات به همراه روش رقومی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند مکمل روش رقومی باشد. تحقیق حاضر به علت اهمیت فراوان دلتای سفیدرود با هدف آشکارسازی تغییرات مابین سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۵ صورت پذیرفت. در این تحقیق از داده‌های ماهواره‌ای ETM+ لندست استفاده گردید. نتایج حاصل بیان‌گر روند تکاملی پیش‌رونده دلتای

۷- منابع و مآخذ

Alesheikh, A.A., Ghorbanali, A. and Nouri, N., 2008, Coastline change detection using remote sensing, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol.4, No.1, PP.61-66

Alavipanah S. K., Application of remote sensing in earth sciences (Soil Sciences), Vol.1, Tehran University Publication, Tehran.

Arias, A. H., Piccolo, M. C., Spetter, C. V., Freije, R. H. and Marcovecchio, J. E., 2012, Lessons From Multi-decadal Oceanographic Monitoring at an Estuarine Ecosystem in Argentina. Int. J. Environ. Res., Vol. 6, No. 1, PP. 219-234.

Baghvand, A., Nasrabadi T., Nabi Bidhendi G. R., Vosough, A., Karbassi A. R. and Mehrdadi N. ,2010,

Dewitt H.,JR.Weiwen Feng, 2012, Semi-Automated construction of the Louisiana State University, Baton Rouge, LA.70803.

Fatemi S. B., 2005, Principles of remote sensing, Vol.1, Azade Publication, Tehran.

Guinder, V. A., Popovich, C. A. and Perillo, G. M. E. , 2012, Phytoplankton and Physicochemical Analysis on the Water System of the Temperate Estuary in South America:Baha Blanca Estuary, Argentina, Int. J. Environ. Res., Vol.6, No.2, PP. 547-556.

Hudak, P. F. , 2011, Spatial Distribution of Solutes in Aquifer Outcrop Zones along the Brazos River, East-Central Texas. Int. J. Environ. Res., Vol. 5 , No. 3 , PP. 595-602.

Jensen J.R. 2006. Introductory digital image processing: A remote sensing Perspective, Prentice-Hall, Pp.316.

Kaichang, D., Ruijin, M.,Jue, W. and Ron, L., 2009, Coastal Mapping and Change Detection Using High-Resolution IKONOS Satellite Imagery, Japan-Ohio.

Groundwater quality degradation of an aquifer in Iran central desert, Desalination, Vol.1, No.3, PP. 264-275.

Alaee Talegani, 2000, Geomorphology of Iran. Publisher Ghoomes.

Bayram B., Bayraktar H., Helviac., Acar U., 2008, Coast line change detection using corona, SPOT and IRS ID Images, Turkey-Istanbul.

Berberoglu.S, Akin.A., 2009, Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean, International information, Vol.11, PP.46-53.

Dalki, A., 1988, Interpretation of photographic images, Tehran University, Tehran.

Karbassi, A., Bidhendi, G., Pejman, A. and Bidhendi, M. ,2010, Environmental impacts of desalination on the ecology of Lake Urmia. Journal of Great Lakes Research, Vol.36, No.3, PP. 419-424.

Karbassi, A. R., Mir Mohammad Hosseini, F., Baghvand, A. and Nazariha, M. ,2011, Development of Water Quality Index ,WQI, for Gorganrood River. Int. J. Environ. Res., Vol.5, No.4, PP. 1041-1046.

Kavian, A., Fathollah Nejad, Y., Habibnejad, M. and Soleimani, K. ,2011, Modeling Seasonal Rainfall Erosive on a Regional scale: A case Study from Northeastern Iran, Int. J. Environ. Res Vol.5, No.4, PP. 939-950.

Lei, L., Jian, L., Yutao, W., Nvjie, W. and Renqing, W. ,2011,. Cost-benefit Analysis and Payments For Watershed-scale Wetland Rehabilitation: A Case Study in Shandong Province, China. Int. J. Environ. Res., Vol.5, No.3, PP. 787-796.

Li, H., Wang, Y. , Shi, L.Q. , Mi, J. , Song, D. and Pan, X. J. ,2012, Distribution and Fractions of Phosphorus

- and Nitrogen in Surface Sediments from Dianchi Lake, China, *Int. J. Environ. Res.*, Vol.6, No.1, PP. 195-208.
- Liliasand & Keifar, 2003, Satellite digital image processing, Geography Organization Publication, Tehran.
- Ghezelsoflai M., 2009, Elevation revelation methods of coastal lines detection in Uremia Lake by satellite image processing, Alavipanah S. K., Remote Sensing & Geographical Information System, Tehran University, Textbook of Master.
- Hassanzadeh, E., Zarghami, M., Hassanzadeh, Y., 2011, Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system Dynamics Modeling. *Water Resources Management*, Vol.26, No.1, PP.129-145.
- Macleod, R. S & R. G. Congalton ,1998, a quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Photogrammetric and Remote Sensing of Environment*, Vol. 8, PP. 127-150.
- Madani, Sh., Ahmadian, M., KhaliliAraghi, M. and Rahbar, F. ,2012,. Estimating Total Economic Value of Coral Reefs of Kish Island ,Persian Gulf,. *Int. J. Environ. Res*, Vol.6, No.1, PP. 51-60.
- Mirbagheri, S. A., Sadrnejad, S. A. and Hashemi Monfared, S. A. ,2012,. Phytoplankton and Zooplankton Modeling of Pishin Reservoir by Means of an Advection-Diffusion Drought Model, *Int. J. Environ. Res*, Vol.6, No.1, PP. 163-172.
- Mortazavi, M. S. and Sharifian, S. ,2011,. Mercury Bioaccumulation in Some Commercially Valuable Marine Organisms from Mosa Bay, Persian Gulf. *Int. J. Environ. Res.*, Vol.5, No.3, PP. 757-762.
- Moore,L.J. 2005, Shoreline mapping technique, *Journal of coastal research*,16(1),111-124.Royal Palm Beach,ISSN 0749-0208
- Nasiri A., 2007, Elevation of detection different land use in Uremia Lake by satellite image processing and global position system in 2000-2006 century, Collection Second Sapers of International Geography Sciences in Peiamnoor University Conference, 16 & 17 July.
- Nasrabadi T., Nabi Bidhendi G. R., Karbassi A. R. and Mehrdadi N. ,2010, Evaluating the efficiency of sediment l pollution indices in interpreting the pollution of Haraz River sediments, southern Caspian Sea basin. *Environmental monitoring and assessment*, Vol.1, No.4, PP. 395-410.
- Pamer, E., Vujovic, G., Knezevic, P., Kojic, D., Prvulovic, D., Miljanovic, B., and Grubor-Lajsic, G. ,2011, Water Quality Assessment in Lakes of Vojvodina. *Int. J. Environ. Res.*, Vol.5, No.4, PP. 891-900.
- Pei, H., Liu, Q., Hu, W. and Xie, J. ,2011,. Phytoplankton Community and the Relationship with the Environment in Nansi Lake, China. *Int. J. Environ. Res.*, Vol.5, No.1, PP. 167-176.
- Rezvani A. A., 2010, Application of photographic and satellite in geography, Vol.1, Paim Noor University.
- Rasooli A. A., 2010, Principles of degree sciences. Vol.1. Alimaran Publication, Tabriz.
- Rasooli A. A., 2008, Revelation detections of coastal lines in Uremia Lake by multi-spectral & multi-temporal satellite image processing, *Humanities Sciences Teacher Quarterly*, No.2, PP.5.
- Sadatipour, S.M. T., Kiamehr, R.,Abrehdary, M. and Sharifi, A. R. ,2012, The Evaluation of Sea Surface Topography Models based on the Combination of the Satellite altimetry and the Global Geoid Models in the Persian Gulf. *Int. J. Environ. Res.*, Vol.6, No.3, PP. 645-652.
- Sandeep, K., Warriar, A. K., Harshavardhana, B. G. and Shankar, R. ,2012, Rock Magnetic Investigations of Surface and sub-surface soil Samples from five Lake Catchments in Tropical Southern India. *Int. J. Environ. Res.*, Vol.6, No.1, PP. 1-18.
- Serbaji, M. M., Azri, C. and Medhioub, K. ,2012, Anthropogenic Contributions to Heavy Metal Distributions in the Surface and Sub-surface Sediments of the Northern Coast of S fax, Tunisia. *Int. J. Environ. Res.*, Vol.6, No.3, PP. 613-626.
- Siddiqui, Z. ,2011, Holistic Approach to Mitigate the Pollution Impacts in the Coastal Ecosystem of Thailand Using the Remote Sensing Techniques. *Int. J. Environ. Res.*, Vol.5, No.2, PP. 297-306.
- Tisseuil, C., Roshan, Gh.R., Nasrabadi,T. and Asadpour, G.A ,2012, Statistical Modeling of Future Lake Level under Climatic Conditions, Case study of Urmia Lake ,Iran,, *Int. J. Environ. Res.*, Vol.7, No.1, PP.,:69-80,
- Rowshan, G. R., Mohammadi, H., Nasrabadi, T., Hoveidi, H. and Baghvand, A., , 2007, The Role of Climate Study in Analyzing Flood Forming Potential of Water Basins, *International Journal of Environmental Research*, Vol.1, No.3, PP. 231-236.
- Tucker,C.J. 2006, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation,Remote sensing of environment,Vol.8,Pp.125-134.
- Thematic Mapper Data; in P.E & RS. , Vol.52, NO.12,(Dec.1986).
- Xiazhenhen, 2009, Using multi-temporal remotely sensed data to study the coastline evolution in Dayanan area, <http://WWW.gisdevelopment.net>.
- Winarsa,Gand S.Budhaman, 2010, The potential application of remote sensing data for coastal study, *Proc.22nd Asian Conference of Remote Sensing*.
- Zarghami, M., 2011, Effective watershed management; Case study of Urmia Lake, Iran. *Lake and Reservior Management*, Vol.27, No.1, PP.87-94.
- Zavoianu L.A. 2009, Study and accuracy assessment of remote sensing data for environmental change detection in Romania. *Coastal Zone,Romania*.
- Ying, J. F., Xin, Ch. and Cheng, L.A., 2011, A Comparative Study on the Growth and Nutrient Uptake Characteristics of Fifteen Wetland Species in Taihu Lake Region of China. *Int. J. Environ. Res.*, Vol.5, No.2, PP. 361-370.