

## پهنه‌بندی فرسایش خاک و برآورد رسوب سالیانه حوضه شازند با استفاده از مدل MPSIAC و فناوری GIS-RS

علی محمد رجیبی\*<sup>۱</sup>، عادل یآوری<sup>۲</sup>، مجتبی مرادی<sup>۳</sup>

۱ استادیار گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

۲ دانش آموخته گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم

۳ کارشناس ارشد مهندسی آب، آب منطقه‌ای مرکزی

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۳/۱۹)

### چکیده

امروزه ارزیابی میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز، یکی از مسایل اساسی در مدیریت منابع آب و ارزیابی‌های محیط‌زیستی است. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های تجربی با توجه به مشکلات دسترسی به آمار تولید رسوب اهمیت زیادی پیدا کرده است. در این مقاله با استفاده از مدل MPSIAC میزان فرسایش و تولید رسوب حوضه آبریز شازند در محدوده سد ساوه مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج با روش هیدرومتری مقایسه شد. به این منظور با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، IRS هند و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با دقت ۱۰×۱۰ متر، شبیه‌سازی حوضه در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 و ENVI5.1 انجام و پارامترهای مختلف مورد نیاز مدل تعریف شد. سپس درجه رسوب‌دهی و پهنه‌بندی فرسایش حوضه شازند با استفاده از این مدل به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست آمد. در ادامه نتایج میزان رسوب سالیانه حاصل از مدل در ایستگاه‌های مورد مطالعه (ایستگاه‌های پل دوآب، توره، ازنا و بازنه) با نتایج حاصل از روش هیدرومتری مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد مدل MPSIAC با روش هیدرومتری در ایستگاه‌های پل دوآب، توره و ازنا به ترتیب ۹۵/۴٪، ۷۷/۷٪ و ۹۵/۰۵٪ هم‌خوانی دارند. بر اساس این مطالعه مدل MPSIAC در برآورد حداکثر رسوب سالیانه و پهنه‌بندی فرسایش از دقت قابل قبولی برخوردار است.

**کلید واژه‌ها:** فرسایش، سیستم اطلاعات جغرافیایی، MPSIAC، حوضه شازند، رسوب

## سرآغاز

فرسایش خاک موسوم به سرطان خاک فرآیند پیچیده همراه با آثار محیط‌زیستی و اجتماعی آشکار و پنهان است که خطری بالقوه برای حیات بشری می‌باشد (حسین‌خانی، ۱۳۹۲). به منظور تشکیل ۱ سانتی‌متر خاک صدها سال زمان نیاز است این در حالی است که این مقدار خاک تولید شده در مدت کمتر از ۱ ساعت از بین می‌رود. از عواقب این هدررفت خاک می‌توان به افزایش کم آبی ناشی از عدم تغذیه آب‌های زیرزمینی، کاهش سطح مراتع و کاهش بازدهی اراضی کشاورزی اشاره نمود (رفاهی، ۱۳۸۸). در کشور ایران فرسایش خاک یکی از مسایل مهم محیط‌زیستی است به طوری که در اکثر حوضه‌های آبخیز کشور میزان فرسایش بیش از حد مجاز است و هر ساله با عدم به‌کارگیری طرح‌های حفاظتی باید انتظار بیشتر شدن آن را نیز داشت (خانمانی و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به نرخ بالای فرسایش عمومی در بسیاری از مناطق جغرافیایی کشور، ضرورت ارایه راهکارهایی در جهت کاهش خطرهای آن وجود دارد و لازمه این کار وجود داده‌های کمی است تا بتوان مناطق بحرانی را که نیازمند حفاظت فوری هستند، تشخیص داده و مدیریت نمود. چنانچه آمار و اطلاعات کافی در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب ناشی از آن وجود داشته باشد، محاسبه حجم کل رسوب‌دهی سالانه با به‌کارگیری روش‌های آماری متداول امکان‌پذیر خواهد بود. ولی به دلیل عدم وجود این داده‌ها (در اکثر مواقع) و یا عدم دقت آن‌ها در حوضه‌های آبریز به‌ویژه در کشور ایران، تنها می‌توان از روابط تجربی استفاده کرد (احمدی، ۱۳۹۲). بر اساس روش‌های سنتی انجام چنین مطالعاتی زمان‌بر و پرهزینه بوده و مهم‌تر این که نتایج حاصل به‌صورت محلی خواهند بود. بنابراین، برای انجام یک تحقیق علمی و فراگیر استفاده از مدل‌های جدید به کمک فناوری‌های روز مانند سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ضروری می‌نماید. امروزه با پیشرفت تکنولوژی و به‌کارگیری سیستم‌های سنجش از دور، دقت مدل‌های تجربی در برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب تا حد بالایی افزایش یافته است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به EPM، MPSIAC، USLE اشاره کرد. در خصوص استفاده از این مدل‌ها مطالعات مختلفی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. تاجگردان و همکاران با استفاده از مدل MPSIAC، داده‌های ماهواره‌ای و GIS میزان

فرسایش و رسوب حوضه آبخیز زیارت را مورد بررسی قرار دادند (Tajgardan et al., 2008). نزدیکی نتایج حاصل از این مدل با نتایج حاصل از ایستگاه‌های هیدرومتری نشان داد که با استفاده از برخی مشاهده‌های صحرائی و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان مقدار رسوب حوضه را با دقت بالایی برآورد کرد. محسنی و همکاران ضمن ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های ژئومورفولوژی، MPSIAC، هیدروفیزیکی و EPM در برآورد فرسایش و رسوب در حوضه کسلیان در استان مازندران نشان دادند که اختلاف نسبی این مدل‌ها نسبت به رسوب واقعی، به ترتیب ۳/۳۶٪، ۷٪ و ۴۴/۷ درصد می‌باشد (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰). خدابخش و همکاران با مقایسه برآورد فرسایش و رسوب‌زایی در زیرحوضه سزار (از حوضه آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های EPM، MPSIAC و دانش فازی دریافتند که روش MPSIAC نتایج بهتری را ارایه می‌کند (خدابخش و همکاران، ۱۳۸۸). ابوالفتحی و کیانی با استفاده از مدل PSIAC و GIS رسوب‌دهی ناشی از سیلاب حوضه فارسبان (یکی از حوضه‌های گاماسیاب) را مورد مطالعه قرار داده و نقشه قابلیت فرسایش منطقه را به‌صورت کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی کردند (ابوالفتحی و کیانی، ۱۳۸۶). ارخی و نظری برای پهنه‌بندی شدت فرسایش و تولید رسوب حوضه آبخیز استان ایلام در محیط GIS از معادله MPSIAC استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که حوضه آبخیز ایلام از نظر فرسایش و تولید رسوب در وضعیت متوسط قرار دارد (ارخی و نظری، ۱۳۸۷). الخرابشه و همکاران آثار تغییر پوشش زمین بر خطر فرسایش خاک را با استفاده از سنجش دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در شمال اردن بررسی کردند (Alkharabsheh et al., 2013). آن‌ها با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های ماهواره‌ای و استفاده از مدل RUSLE میانگین اتلاف خاک در سال‌های مورد مطالعه را بررسی کردند. ژینگ لی و همکاران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی خطر فرسایش در ساحل یانگ‌تسه پرداخته و شاخص فرسایش‌پذیری در سواحل یانگ‌تسه را از طریق تحلیل سلسه مراتبی و ترکیب آن با شاخص آسیب‌پذیری تعیین کردند (Xing et al., 2014). در رابطه با تعیین میزان فرسایش و تولید رسوب، با استفاده از مدل‌های EPM و MPSIAC در محیط GIS و RS تحقیقات مشابهی نیز در حوضه‌های مختلف انجام

نقشه‌برداری کشور؛ نقشه‌های زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و وضعیت فرسایش منطقه از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی؛ آمار ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی از سازمان آب منطقه‌ای استان مرکزی و آمار ایستگاه‌های سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. سپس این نقشه‌ها وارد محیط Arc GIS 10.2 شده و تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز در محیط نرم‌افزار ENVI 5.1 تجزیه و تحلیل شدند. در این مطالعه تعیین مرز حوضه و زیرحوضه‌های مورد مطالعه و مسیرهای زهکشی از الحاقیه ArcHydro در نرم‌افزار Arc GIS 10.2 و با ترکیب دولایه شبکه زهکشی و مدل ارتفاعی رقومی تعیین شده است. به این منظور ابتدا شبکه آبراهه‌ها به نقشه DEM تحمیل شده است. این مرحله منجر به تعیین مسیر صحیح جریان آب شده و مبنایی برای فرآیندهای بعدی ایجاد می‌کند. سپس سایر مشخصات حوضه از جمله مرز حوضه، جهت جریان، جریان تجمعی آبراهه‌ها، خطوط اصلی زهکشی حوضه و پروفیل طولی رودخانه‌ها به دست آمده است. در ادامه، تجزیه و تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی در نرم‌افزار Excel و SMADA انجام شد و نهایتاً پهنه‌بندی فرسایش و مقدار تولید رسوب سالیانه تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Merwade, 2012).

### معرفی مدل

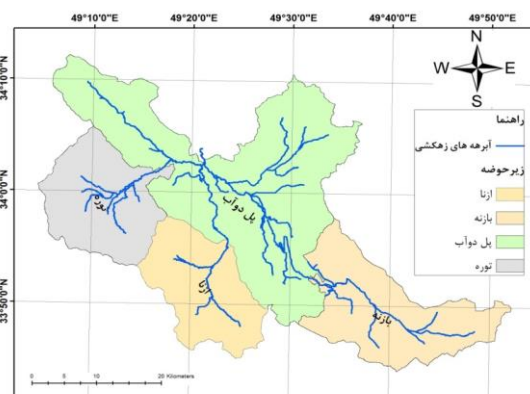
مدل PSIAC در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط کمیته مدیریت آب در آمریکا برای محاسبه شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب آمریکا ارایه و برای اولین بار در یک حوضه آبخیز تحقیقاتی واقع در جنوب شرقی ایالت آریزونا آمریکا آزمایش شد (رفاهی، ۱۳۸۸). این مدل دارای اشکالاتی بود از این رو در سال ۱۹۸۲ مورد بررسی پژوهشگران قرار گرفت و برای هر یک از عوامل ۹ گانه ضرایبی در نظر گرفته شد تا ارقام به دست آمده به واقعیت نزدیک‌تر باشد. ضرایب این مدل که از این پس مدل MPSIAC نامیده شد در جدول (۱) نشان داده شده است. این مدل با توجه به استفاده از بیشترین تعداد عوامل موثر در برآورد رسوب و فرسایش، در مقایسه با سایر روش‌های تجربی نتایج بهتری را به دست می‌دهد (رفاهی، ۱۳۸۸). در این روش ۹ عامل مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب شامل عوامل زمین‌شناسی، نوع خاک، اقلیم، رواناب، پستی و بلندی، پوشش گیاهی، کاربری

شده است (Rastgoo Ghahreman et al., 2006; Bagherzadeh & Mansouri Daneshva, 2013; Meamarian et al., 2003; Modallaldoust, 2007). در این مطالعه با توجه به اهمیت حوضه آبریز شازند در محدوده سد ساوه در نظر است با استفاده از مدل MPSIAC و داده‌های هیدرومتری رسوب خروجی این حوضه مورد بررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز شازند بوده و در محدوده جغرافیایی  $33^{\circ} 44' 18''$  تا  $33^{\circ} 44' 18''$  عرض شمالی قرار دارد. حوضه مورد مطالعه شامل شهرهای اراک، ازنا و شازند است و مساحتی معادل  $1721/21$  کیلومترمربع را شامل می‌شود. این حوضه یکی از زیرحوضه‌های بزرگ سد ساوه می‌باشد و به علت وقوع بارندگی‌های بیشتر این زیرحوضه نسبت به سایر زیرحوضه‌های سد ساوه، مطالعه فرسایش و تولید رسوب در این محدوده از اهمیت بیشتری برخوردار است. در محدوده مورد مطالعه چهار رودخانه مهم به نام‌های شراز، شازند، نهرمیان و بازنه در جریان است که به ترتیب دارای طول‌های  $41/7$ ،  $29/7$ ،  $29/1$ ،  $45$  کیلومتر می‌باشند. شیب متوسط حوضه  $10/58$  درصد می‌باشد. شکل (۱) محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): حوضه شازند و زیرحوضه‌های آن

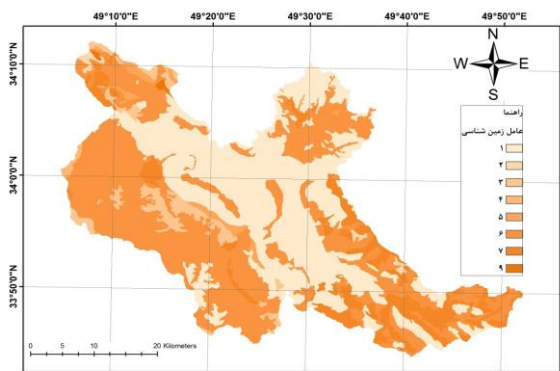
### روش پژوهش

به منظور انجام این مطالعه ابتدا نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۱۰ متر و شیب فایل‌های منطقه از سازمان

شده است. در ادامه هر یک از عوامل و لایه‌های اطلاعاتی مدل MPSIAC شرح داده شده‌اند.

### لایه زمین‌شناسی

به منظور بررسی عامل زمین‌شناسی، سازندهای موجود در کل حوضه سد ساوه نسبت به فرسایش رتبه‌بندی شده و بر اساس بررسی‌های صحرایی کد حساسیت دریافت کردند. کد حساسیت عددی بین ۰-۱۰ بوده و هر چه این عدد بیشتر باشد، سازند به فرسایش حساس‌تر است. پس از وارد کردن کد حساسیت در جدول اطلاعات توصیفی، فایل رستری مربوط به این عامل تهیه شد تا لایه زمین‌شناسی برای انجام تحلیل‌های بعدی آماده شود (شکل ۲).



شکل (۲): عامل زمین‌شناسی مدل MPSIAC در محدوده مورد مطالعه

### لایه خاک‌شناسی

لایه‌های خاک موجود در کل حوضه سازند ساوه با توجه به گروه هیدرولوژی خاک و سازند زمین‌شناسی، نسبت به فرسایش رتبه‌بندی و بر اساس مشاهده‌های صحرایی و تجربه عملی کد حساسیتی بین ۰-۱۰ دریافت کردند، بر این اساس هر چه عدد بیشتر باشد سازند به فرسایش حساس‌تر است.

### لایه آب و هوا

در این عامل پارامتر موثر بارندگی ۶ ساعته با دوره برگشت ۲ سال مدنظر است. با توجه به این که هیچ کدام از ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی و کلیماتولوژی موجود در حوضه، مقدار بارندگی ۶ ساعت را اندازه‌گیری نمی‌کنند و تنها مقدار بارندگی ۲۴ ساعت موجود می‌باشد. بنابراین، به منظور مدل‌سازی، با استفاده از فرمول تجربی (۲) مقدار بارندگی ۶ ساعته را به‌دست آمد (علیزاده، ۱۳۹۱).

اراضی، فرسایش فعلی حوضه و فرسایش خندقی در حوضه آبخیز مورد ارزیابی قرار گرفت و بر حسب میزان تاثیر هر یک از این عوامل در فرسایش و تولید رسوب، ضریبی به آن عامل نسبت داده شد (جدول ۱). نهایتاً با استفاده از میانگین مجموع امتیازهای عوامل ۹ گانه و رابطه (۱) میزان شدت رسوب گذاری حوضه ( $Q_s$ ) تعیین شد (رفاهی، ۱۳۸۸).

$$Q_s = 0.253 * e^{(0.036 * R)} \quad (1)$$

که در آن  $Q_s$  میزان رسوب‌دهی سالانه بر حسب تن در هکتار در سال و  $R$  میانگین مجموع امتیازات عوامل موثر حوضه است.

### جدول (۱): امتیازات و پارامترهای مدل MPSIAC (رفاهی، ۱۳۸۸)

معادلات هر عامل	عامل موثر
$Y_1 = X_1 *$	زمین‌شناسی
$Y_2 = 16.67 K$	خاک
$Y_3 = 0.2 P_2$	آب و هوا
$Y_4 = 0.006R + 10 Q_P$	رواناب
$Y_5 = 0.33 S$	توپوگرافی
$Y_6 = 0.2 P_B$	پوشش زمین
$Y_7 = 0.2 P_C$	کاربری اراضی
$Y_8 = 0.25 SSF$	فرسایش فعلی حوضه
$Y_9 = 1.67 SSFG$	فرسایش خندقی

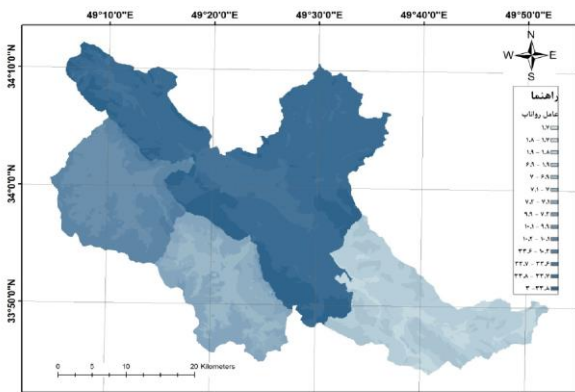
\* $X_1$ : حساسیت سنگ‌ها به فرسایش؛  $K$ : حساسیت خاک به فرسایش با استفاده از فرمول USLE؛  $P_2$ : بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال؛  $R$ : ارتفاع رواناب؛  $Q_P$ : دبی ویژه پیک سالانه؛  $S$ : شیب متوسط بر حسب درصد؛  $P_B$ : درصد اراضی لخت و فاقد پوشش؛  $P_C$ : درصد تاج پوشش؛  $SSF$ : فرسایش سطحی خاک محاسبه شده در روش BLM؛  $SSFG$ : امتیاز عامل فرسایش خندقی در روش BLM

### یافته‌ها

#### برآورد رسوب با استفاده از مدل MPSIAC

در این مقاله برای برآورد رسوب و پهنه‌بندی فرسایش با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور و مدل MPSIAC شبیه‌سازی حوضه سازند نسبت به فرسایش در نرم‌افزار ENVI 5.1 و ArcGIS 10.2 انجام شده است. به این منظور داده‌های دریافتی از سازمان‌های مختلف مورد بازبینی قرار گرفته و لایه‌های نهایی تولید شدند. سپس با استفاده از لایه‌های عوامل مورد بررسی و معادله (۱)، رسوب خروجی حوضه محاسبه و نهایتاً حوضه مورد مطالعه از نظر شدت فرسایش پهنه‌بندی

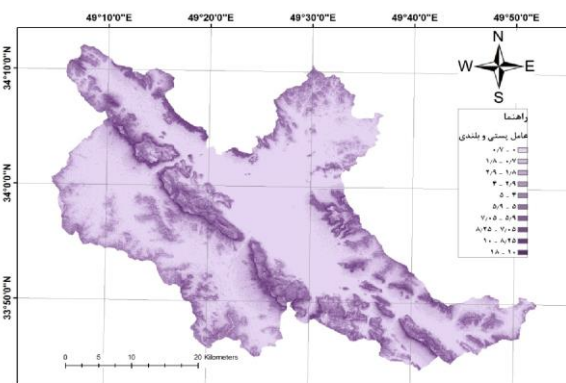
برحسب میلی‌متر و CN ضریبی است بین ۱۰۰-۰ که با توجه به خصوصیت‌های منطقه تعیین می‌شود. برای به‌دست آوردن  $Q_P$  مقدار دبی رودخانه‌های شازند، بازنه، شرا و نهرمیان که به ترتیب در زیر حوضه‌های ازنا، بازنه، پل دواب و توره قرار دارند، وارد نرم‌افزار SMADA شد و مقادیر دبی سالانه با دوره برگشت ۲ سال برای هر یک از رودخانه‌های فوق به ترتیب ۰/۷، ۱، ۳/۳۷ و ۰/۱۷ متر مکعب بر ثانیه به دست آمد. شکل (۴) نقشه امتیاز عامل رواناب مدل MPSIAC در حوضه شازند سد ساوه را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نقشه امتیاز عامل رواناب مدل MPSIAC در محدوده مورد مطالعه

#### لایه توپوگرافی

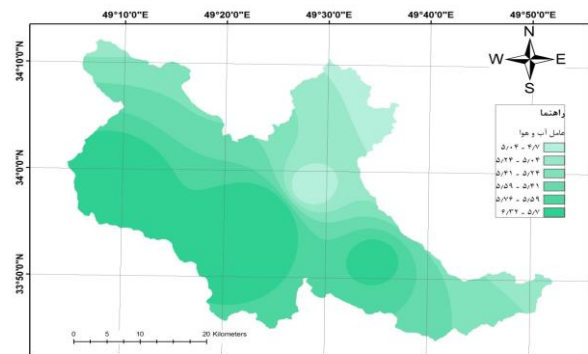
برای ایجاد این لایه تنها نیاز به نقشه DEM می‌باشد. نقشه‌های سازمان نقشه‌برداری در برگه‌های ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشند که با وارد کردن آن در محیط ArcMap 10.2 شیب زمین و عامل توپوگرافی به دست می‌آید (شکل ۵).



شکل (۵): نقشه امتیاز عامل توپوگرافی مدل MPSIAC در محدوده مورد مطالعه

$$P_6 = (P_{24} / 1.48) \quad (2)$$

در این رابطه  $P_6$  و  $P_{24}$  به ترتیب مقادیر بارندگی ۶ و ۲۴ ساعته بر حسب میلی‌متر هستند. مقدار بارندگی ۲۴ ساعته به‌عنوان ورودی وارد نرم‌افزار هیدرولوژیکی SMADA (این نرم‌افزار با استفاده از توزیع‌های احتمالاتی مختلف دوره برگشت بارندگی را محاسبه می‌کند) شد و مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره برگشت ۲ سال محاسبه شد (شکل ۳).



شکل (۳): لایه آب و هوا مدل MPSIAC در محدوده مورد مطالعه

#### لایه رواناب

در این لایه دو عامل  $R$  و  $Q_P$  (به ترتیب ارتفاع رواناب و دبی پیک سالانه با دوره بازگشت ۲ سال) تاثیر دارند. با استفاده از الحاقیه Hec-GeoHMS در نرم‌افزار ArcMap 10.2 مقدار عامل رواناب و با وارد کردن حداکثر دبی سالانه در طول دوره آماری اندازه‌گیری شد هر رودخانه، در نرم‌افزار SMADA مقدار دبی پیک سالانه با دوره بازگشت ۲ سال تعیین شدند. به طور کلی چندین روش به‌منظور برآورد میزان رواناب ناشی از بارندگی‌ها وجود دارد؛ از جمله روش‌های معمول در هیدرولوژی روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است و برای حوضه‌هایی که در آن‌ها داده‌های اندازه‌گیری دبی رواناب وجود ندارد به کار می‌رود (علیزاده، ۱۳۹۱). در روش SCS ارتفاع رواناب حاصل از یک بارندگی با استفاده از رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه می‌شود:

$$R = (P - 0.2S)(P \times 0.2S) / (P + 0.8) \quad (3)$$

$$S = (1000 / CN) - 10 \quad (4)$$

در این روابط،  $S$  ضریب نگهداشت آب در خاک،  $P$  ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته بر حسب میلی‌متر،  $R$  ارتفاع رواناب سالانه

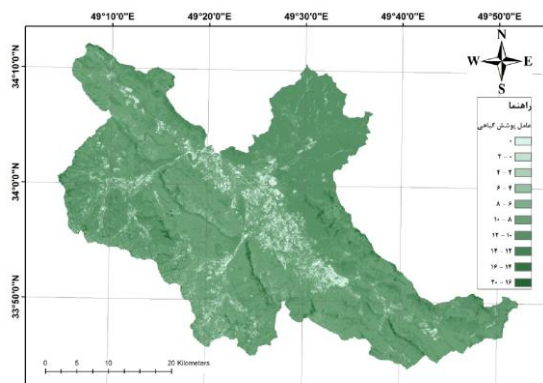
## شاخص گیاهی

به منظور استخراج تاج پوشش گیاهی از اعمال شاخص پوشش گیاهی بر روی تصویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی یا NDVI یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌ها بوده و به‌طور وسیعی در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (رابطه ۵).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

که در آن NIR بازتابندگی از باند مادون قرمز نزدیک و RED بازتابندگی از باند قرمز را نشان می‌دهد.

مقدار عددی تصویری که شاخص NDVI بر آن اعمال می‌شود، بین -۱ تا +۱ خواهد بود. هر چه پوشش گیاهی منطقه متراکم‌تر باشد، این شاخص به +۱ نزدیک‌تر و در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف، به سمت -۱ تمایل پیدا می‌کند. برای به‌دست آوردن شاخص NDVI مطابق با شکل (۶) باندهای ۳ (محدود طیفی قرمز) و ۴ (محدوده طیفی مادون قرمز قرار) از لندست ۷ مورد استفاده قرار گرفته‌اند.



شکل (۶): لایه عامل پوشش گیاهی استخراج شده با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷، مورد استفاده در مدل MPSIAC در محدوده مورد مطالعه

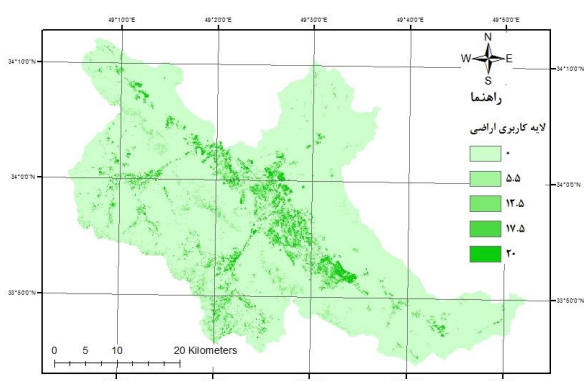
## لایه کاربری اراضی

برای به‌دست آوردن لایه کاربری اراضی از رابطه (۷) در جدول

جدول (۲): کلاس‌بندی درصد تاج پوشش گیاهی در نرم‌افزار ENVI 5.1

مقدار شاخص NDVI	< ۰/۸	۰/۶ تا ۰/۸	۰/۴ تا ۰/۶	۰/۲ تا ۰/۴	۰/۲ تا -۱
درصد تاج پوشش گیاهی	۱۰۰٪	۸۷/۵٪	۶۲/۵٪	۲۵٪	۰٪
شماره کلاس	۱	۲	۳	۴	۵
نمره عامل	۲۰	۱۷/۵	۱۲/۵	۵	۰

(۱) استفاده شده است. در این رابطه PC عامل تاج پوشش گیاهی است و در این مطالعه با استفاده از طبقه‌بندی شاخص NDVI در نرم‌افزار ENVI 5.1 به روش درخت تصمیم‌گیری به‌دست آمده است. بر این اساس لایه NDVI به ۶ کلاس مطابق با جدول (۲) طبقه‌بندی شده و نهایتاً مطابق شکل (۷) نقشه کاربری اراضی تهیه شده است. دامنه معمول پوشش گیاهی در شاخص NDVI بین ۰/۲ تا ۰/۸ تغییر می‌کند (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۸۸؛ Rouse et al 1973).



شکل (۷): لایه کاربری اراضی استخراج شده با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری مورد استفاده در مدل MPSIAC در محدوده مورد مطالعه

## لایه فرسایش رودخانه‌ای

بر اساس مطالعاتی که در سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۳ در طرح ملی فرسایش توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی انجام شده، وضعیت فرسایش خندقی، سطحی و شیاری منطقه گزارش شده است (طرح ملی فرسایش، ۱۳۷۸). در این طرح بر اساس روش BLM (Bureau of Land Management) مناطق استان مرکزی مورد ارزیابی قرار گرفته و نمره‌دهی شده‌اند. نمرات BLM (مجموع نمرات روش اداره اراضی آمریکا ۱۰۰ می‌باشد) برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه به‌صورت جدول (۳) در محیط GIS به‌دست آمده‌اند.

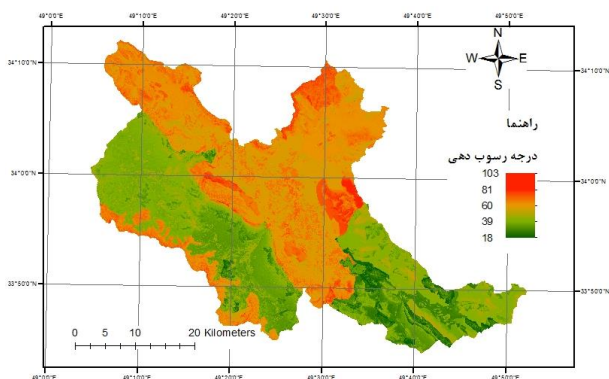
جدول (۳): نمرات روش BLM در زیر حوضه‌های محدوده مورد مطالعه

زیر حوضه	بازنه	توره	ازنا	پل دوآب
حداقل نمره	۰	۰	۰	۰
میانگین نمره	۲۰/۱۶	۴/۳۲	۵/۸۸	۸/۷
حداکثر نمره	۵۶	۳۶	۳۶	۵۶

### بحث و نتیجه‌گیری

#### لایه خروجی مدل MPSIAC

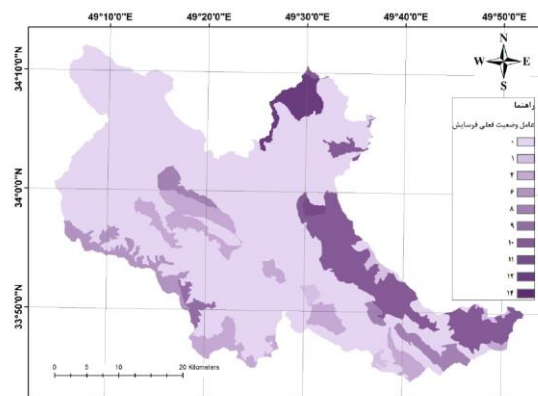
با ادغام لایه‌های ۹ گانه در محیط GIS، مقادیر حداکثر، میانگین و حداقل درجه رسوب‌دهی مطابق با جدول (۴) و بر اساس رابطه شماره (۱) مقدار رسوب سالیانه رودخانه‌های حوضه شازند بر اساس مدل MPSIAC مطابق با جدول (۵) به‌دست آمده است. نهایتاً درجه رسوب‌دهی (R) و پهنه‌بندی فرسایش بر اساس مدل MPSIAC در حوضه شازند مطابق با شکل (۹) تهیه شده است.



شکل (۹): درجه رسوب‌دهی (R) و پهنه‌بندی فرسایش مدل MPSIAC در محدوده مورد مطالعه

عامل فرسایش به عنوان یکی از عوامل ۷ گانه مورد بررسی، با استفاده از اطلاعات لایه وضعیت فعلی فرسایش به‌دست می‌آید، بر این اساس با تهیه لایه رستری عامل فرسایش خندقی و استفاده از رابطه (۶) از جدول (۱) و انجام تحلیل‌های رستری لازم، مقادیر عددی عامل فرسایش خندقی به‌دست آمده است.

(۶)  $Y_9 = 1.67 \text{ SSF.g}$   
در این رابطه  $Y_9$  امتیاز عامل فرسایش رودخانه‌ای و  $\text{SSF.g}$  نمره نهایی فرسایش خندقی عامل سطحی خاک در روش BLM می‌باشد. شکل (۸) نقشه عامل وضعیت فعلی فرسایش را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل (۸): نقشه امتیاز عامل وضعیت فعلی فرسایش استخراج شده با استفاده از روش BLM مورد استفاده در مدل MPSIAC در محدوده مورد مطالعه

جدول (۴): مقادیر درجه رسوب‌دهی (R) در زیر حوضه‌های محدوده مورد مطالعه

زیر حوضه	پل دوآب	توره	ازنا	بازنه
حداقل	۱۸/۴۵	۲۶/۶۷	۲۲/۹۴	۱۸/۴۵
میانگین	۵۱/۴۴	۴۳/۲	۴۲/۶۳	۳۷/۶۸
حداکثر	۱۰۲/۹۷	۸۶/۱۰	۸۶/۷۷	۷۴/۱۸
درجه کیفی	متوسط	کم	کم	کم

## جدول (۵): دبی رسوب سالیانه رودخانه‌های حوضه شازند در محدوده مورد مطالعه

بر اساس مدل MPSIAC برحسب تن در سال

رودخانه شزاء	رودخانه شازند	رودخانه نهرمیان	رودخانه بازنه
۳۱۹۸۵۱/۶۵	۴۰۶۶۲	۴۴۵۹۹/۱	۴۷۷۰۸/۶۴

## برآورد رسوب رودخانه با استفاده از روش هیدرومتری

به منظور محاسبه دبی رسوب و یا مقدار مواد معلق که در درازمدت (مثلا یکسال) از رودخانه عبور می‌کنند، از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود، روش ترسیمی منحنی تداوم موادرسویی، ساده‌ترین و در عین حال عملی‌ترین روشی است که در پروژه‌های کوچک آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۹۱).

در این مطالعه به منظور تعیین دبی متوسط رسوب در حوضه شازند، ابتدا منحنی همبستگی دبی آب و دبی رسوب بر اساس نتایج حاصل از نمونه‌برداری‌ها رسم شده است. سپس

مناسب‌ترین معادله سنج رسوب در چهار ایستگاه هیدرومتری حوضه شازند سد ساوه مطابق با جدول (۶) تعیین و منحنی تداوم سالیانه آب رودخانه با استفاده از دبی‌های موجود رسم شد، در ادامه با توجه به مقدار دبی ماهانه حاصل از ایستگاه‌های هیدرومتری و همچنین با توجه به معادلات سنج، میزان دبی و رسوب سالانه مطابق با جدول (۷) ارزیابی شد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۱). در شکل (۱۰) مقادیر حداکثر رسوب سالیانه با استفاده از دو روش MPSIAC و هیدرومتری بر حسب تن در سال مقایسه شدند.

## جدول (۶): معادلات سنج رسوب سالیانه در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۱)

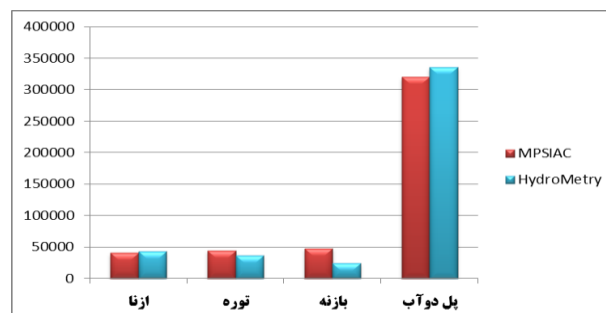
حد وسط		یک خطی		نوع منحنی سنجه	ایستگاه هیدرومتری
R <sup>2</sup>	معادله سنجه	R <sup>2</sup>	معادله سنجه		
۰/۹۴۰	$Q_s = 16/853 Q_w^{1/433}$	۰/۸۶۳	$Q_s = 7/847 Q_w^{1/403}$		پل دوآب
۰/۹۷۰	$Q_s = 18/748 Q_w^{1/608}$	۰/۸۵۶	$Q_s = 11/383 Q_w^{1/447}$		ازنا (شازند)
۰/۹۷۲	$Q_s = 14/942 Q_w^{1/403}$	۰/۷۲۳	$Q_s = 7/749 Q_w^{1/446}$		توره (نهرمیان)
۰/۹۴۶	$Q_s = 8/301 Q_w^{1/403}$	۰/۸۳۰	$Q_s = 7/328 Q_w^{1/638}$		بازنه

## جدول (۷): حداکثر رسوب سالیانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه شازند در

محدوده مورد مطالعه بر حسب تن در سال

حوضه پل دوآب (۱۳۸۱)	حوضه ازنا (۱۳۸۴)	حوضه توره (۱۳۸۱)	حوضه بازنه (۱۳۸۱)
۳۳۵۲۸۵/۴۲	۴۲۷۸۱/۶۸۹	۳۶۴۵۹/۰۹	۲۳۹۳۷/۴۱۸

همان طور که مشاهده می‌شود، مدل MPSIAC با روش هیدرومتری در ایستگاه پل دوآب ۹۵/۴٪، ایستگاه توره ۷۷/۷٪، ایستگاه ازنا ۹۵/۰۵٪ هم‌خوانی دارد، ولی در ایستگاه بازنه اختلاف ۹۹/۳٪ مشاهده می‌شود. در این ایستگاه مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از مدل MPSIAC، حدود دو برابر روش هیدرومتری است. در ادامه این مطالعه، پهنه‌بندی فرسایش حاصل از مدل MPSIAC با تصاویر Google earth و IRS هند مقایسه شد. معمولاً مناطق کوهستانی دارای سازند مقاوم به فرسایش هستند. در مدل MPSIAC، این مناطق به دلیل شیب



شکل (۱۰): مقایسه حداکثر رسوب سالیانه بر اساس مدل MPSIAC و روش هیدرومتری (حسب تن در سال) در محدوده مورد مطالعه



برخوردار است. از عوامل این اختلاف می‌توان به کامل نبودن داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری، عدم برداشت منظم داده‌ها و دقت پایین برداشت داده‌های هیدرومتری اشاره کرد. با توجه به این که فرسایش خاک یک منطقه به عوامل متعددی بستگی دارد و همانند دیگر پدیده‌ها نمی‌توان بر اساس معادله‌ای مطلق و به روش‌های عددی تجزیه و تحلیل کرد؛ بنابراین، استفاده از روابط تجربی غیرقابل اجتناب است.

مقایسه نتایج حاصل از مدل MPSIAC با تصاویر ماهواره Google earth و IRS هند نشان داد که مدل MPSIAC در مناطق کوهستانی و دارای سازندهای مقاوم به فرسایش و همچنین مناطق مسکونی و شهرک‌های صنعتی باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد. به هر حال، از آن جا که مدل MPSIAC برای بسیاری از حوضه‌های بزرگ ایران صحت‌سنجی شده و نتایج قابل قبولی به دست داده است، استفاده از این مدل برای سایر حوضه‌های آبخیز توصیه می‌شود.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از پرسنل سازمان نقشه‌برداری کشور و امور آب منطقه ای استان مرکزی به خاطر همکاری در تهیه داده‌ها تشکر و قدردانی نمایند.

زیاد، رواناب سطحی بالا و اثر آب و هوا، مقدار تولید رسوب بالایی را برآورد می‌کنند. این در حالی است که سرشت سازند در این مناطق سخت بوده و مقاومت آن‌ها نسبت به فرسایش زیاد است و بالا رفتن شیب، آب و هوا و رواناب سطحی تاثیر چندانی بر تولید رسوب از سازند با سنگ مقاوم را ندارد. بر عکس بررسی تصاویر ماهواره‌ای عکس این حالت بوده و نتایج واقع بینانه‌تری را نشان می‌دهد. همچنین در روش MPSIAC شدت فرسایش در مناطق مسکونی و شهرک‌های صنعتی در حالت متوسط قرار دارد. به هر حال، از آن جا که مدل MPSIAC برای بسیاری از حوضه‌های بزرگ ایران صحت‌سنجی شده و نتایج قابل قبولی به دست داده است، استفاده از این مدل برای سایر حوضه‌های آبخیز نیز توصیه می‌شود.

در این مطالعه با استفاده از مدل MPSIAC، نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک و رسوب سالیانه خروجی از حوضه شازند در محدوده سد ساوه در ایستگاه‌های پل دوآب، توره، ازنا و بازنه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با روش هیدرومتری مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد در ایستگاه‌های پل دوآب، توره و ازنا نتایج حاصل از مدل و روش هیدرومتری به ترتیب ۹۵/۴٪، ۷۷/۷٪ و ۹۵/۰۵٪ هم‌خوانی دارند، در حالی که در ایستگاه بازنه مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از مدل حدوداً دو برابر روش هیدرومتری است. بر این اساس مدل MPSIAC در برآورد حداکثر رسوب سالیانه و پهنه‌بندی فرسایش از دقت قابل قبولی

### فهرست منابع

- ابوالفتحی، د. و کیانی، م. ۱۳۸۶. میزان فرسایش خاک و رسوب‌دهی معادل با میزان سیلاب در حوضه فارسبان با استفاده از GIS. نشریه تحقیقات علوم جغرافیایی، شماره ۱۰، ۱۷۲-۱۵۷.
- احمدی، ح. ۱۳۹۲. ژئومرفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)، جلد ۱، انتشارات دانشگاه تهران.
- ارخی، ص. و نظری، ر. ۱۳۸۷. پهنه بندی شدت فرسایش و تولید رسوب با استفاده از مدل پسیاک اصلاح شده در محیط GIS. مجله پژوهش آب ایران، شماره ۳، ۸۱-۷۷.
- بهرامی، ع.؛ مردیان، م. و دلآوری کامیاب، ا. ۱۳۹۱. تعیین مناسب‌ترین معادلات سنج رسوب سالانه در ایستگاه هیدرومتری حوضه آبخیز پل دوآب شازند. سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران.
- جهانبخش اصل، س.؛ ساری صراف، ب.؛ خورشید دوست، ع.م. و رستم زاده، ه. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی دشت سراب و تحلیل دو دوره خشکسالی و ترسالی، فصل‌نامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، ۲۳، ۱۱۷-۱۳۲.
- حسین خانی، ح. ۱۳۹۲. ارزیابی خطر فرسایش و پتانسیل رسوب‌دهی حوضه آبریز سدشهریار میانه با استفاده از تکنیک‌های GIS و مدل EPM، فصلنامه انجمن زمین‌شناسی ایران، شماره ۲۶، ۹۶-۸۷.

خدابخش، س.؛ محمدی، ا.؛ رفیعی، ب. و بزرگزاده، ع. ۱۳۸۸. مقایسه برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی در زیرحوضه سزار(حوضه‌آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM با کمک دانش فازی، فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران. شماره ۱۱، ۹۹-۱۰۹

خنامانی، ع.؛ جعفری، ر. و کریم‌زاده، ح. ۱۳۹۰. استفاده از فن‌آوری GIS در برآورد فرسایش آبی منطقه شرق اصفهان با روش MPSIAC، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری.

رفاهی، ح. ۱۳۸۸. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.

علیزاده، ا. ۱۳۹۱. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع).

قضاوی، ر.؛ ولی، ع.؛ مقامی، ی.؛ عبدی، ژ. و شرفی، س. ۱۳۹۱. مقایسه مدل‌های EPM، MPSIAC و PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از GIS، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲۶، ۱۲۷-۱۱۷.

محسنی، ب.؛ قدوسی، ج.؛ احمدی، ح. و طهماسبی، ر. ۱۳۹۰. ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب، مجله جغرافیا و توسعه، ۲۲، ۱۲۷-۱۰۷.

Alkharabsheh, M.M.; Alexandridis, T.K.; Bilas, G.; Misopolinos, N. & Silleos, N. 2013. Impact of land cover change on soil erosion hazard in northern Jordan using remote sensing and GIS. *Procedia Environmental sciences, Pub ELSEVIER*, 19: 96-108.

Bagherzadeh, A. & Mansouri Daneshvar, M.R. 2013. Evaluation of sediment yield and soil loss by the MPSIAC model using GIS at Golestan watershed, northeast of Iran. *Arabian Journal of Geosciences, Volume 6, Issue 9, 3349-3362*.

Meamarian, H.; Tajbakhsh, S.M. & Esmaeilzadeh, H. 2003. The Sediment yield potential estimation of Kashmar urban watershed using MPSIAC model in the GIS framework. Paper presented at the Map India Conference., GIS Dev.

Merwade, V. 2012. Stream Network and Watershed Delineation using Spatial Hydrology Tools. Personal Handout of Purdue University(USA).

Modallaldoust, S. 2007. Estimation of sediment and erosion with use of MPSIAC and EPM models in GIS environment. Degree Ms. University of Mazandaran, 95.

Rastgoo Ghahreman, S.; Senayeenejad, H.; Daavari, K. & Khodashenas, S. 2006. Estimating soil erosion and sediment yield in Tang Konasht watershed with MPSIAC, EPM and GIS. *Agriculture and Natural Resources Journal*, 91-104.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A. & Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation Systems in the great plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-3511, 309-317.

Tajgardan, T.; Ayoubi, S.A. & Shataei, J.S. 2008. Soil erosion and sediment yield assessment using MPSIAC model, remote sensing and geographic information systems (Case study: Ziarrat watershed).

Xing, L.; Yunxuan, Z.; Tian B., Kuang R. & Wang L. 2014. GIS-based methodology for erosion risk assessment of the muddy Coast in the Yangtze Delta. *Ocean & Coastal Management, Pub ELSEVIER*, 1-12.