

جغرافیا و توسعه - شماره ۱۶ - زمستان ۱۳۸۸

وصول مقاله : ۱۳۸۶/۱۲/۱۰

تأیید نهایی : ۱۳۸۷/۱۱/۱۱

صفحات : ۱۱۹ - ۱۳۴

## برآورد فرسایش و رسوب از طریق ارزیابی متغیرهای تأثیرگذار در حوضه آبخیز وزنه با استفاده از GIS

دکتر مهراں مقصودی      دکتر مجتبی یمانی  
استادیار جغرافیا دانشگاه تهران      دانشیار جغرافیا دانشگاه تهران

ممند سالاری

دانشجوی دکتری جغرافیا دانشگاه تهران

### چکیده

از آنجا که خاک یکی از مهمترین منابع طبیعی هر کشور و تأمین کننده غذای بشر می باشد، بررسی موضوع فرسایش خاک و بویژه ارزیابی متغیرها و پارامترهای تأثیرگذار ضروری می نماید. روش تحقیق در این مطالعه مبتنی بر مطالعات کتابخانه ای، میدانی و استفاده از مدل های کمی برآورد فرسایش و رسوب بوده است. در این تحقیق از نرم افزارهای GIS (ILWIS, ArcGIS) نیز استفاده شده است. با توجه به آن که در فرسایش خاک پارامترهای متعددی به صورت سیستمی تأثیر دارند و شناخت آنها به عنوان فاکتورهای مؤثر بر میزان فرسایش و رسوب دارای اهمیت زیادی است، لذا از روش های متعدد برآورد فرسایش و رسوب، مدل پسیاک (PSIAC)<sup>۱</sup>، که بیشترین پارامترهای مؤثر در فرسایش و رسوب در نظر می گیرد، به عنوان تکنیک منتخب مورد استفاده قرار گرفته و پارامترهای محیطی در قالب این روش قرار داده شده اند. نتایج بیانگر آن است که حوضه در کلاس فرسایش دهی متوسط به طرف زیاد قرار می گیرد. میزان رسوب دهی سالانه آن، ۴۴۹/۱۶ متر مکعب در کیلو متر مربع، معادل ۱۰۸۶/۱۵ تن در کیلومتر مربع و به عبارتی ۱۰/۸۶ تن در هکتار است.

کلیدواژه ها: ژئومورفولوژی، فرسایش، رسوب، مدل پسیاک، GIS، حوضه وزنه.

### مقدمه

یکی از مهمترین منابع طبیعی هر کشوری خاک است. فرسایش خاک امروزه یکی از خطرات جدی و معضلات انسان متمدن امروزی به شمار می رود همچنان که در بسیاری از مناطق جهان و همچنین ایران فرسایش یکی از معضلات عمده می باشد. در واقع فرسایش تسریع یافته ی خاک به دلیل تأثیرات آن روی اقتصاد و محیط زیست، به عنوان یک مشکل

جهانی مطرح است (K.J.Lim, et al, 2005: 61-80). شایان ذکر است که امروزه کاهش منابع ارضی ناشی از فرسایش خاک هر ساله خسارات فراوان جانی و مالی را در پی دارد. طبق نظر بنت<sup>۱</sup>، معمولاً در شرایط دست نخورده حدود ۳۰۰ سال طول می‌کشد تا ۲۵ میلی‌متر خاک سطحی تشکیل شود، در حالی که این مقدار خاک تشکیل شده به مراتب کمتر از خاک فرسایش یافته می‌باشد (رفاهی، ۱۳۸۲: ۱۳). این مسایل زمینه‌ساز آن شده است که متخصصین این علم به صورت پیگیر به دنبال راه‌حل‌ها و راهکارهایی برای مبارزه با این عامل مخرب باشند. فرسایش خاک به صورت کمی و کیفی می‌تواند مورد مطالعه قرارگیرد، بر این اساس مدل‌های زیادی به وجود آمده‌اند و بیشتر مدل‌ها در زمینه‌ی بررسی و دادن اطلاعات زیاد در مورد فرسایش کامل نبوده‌اند (Merriit, Letcher, Jakeman, 2003: 99-761).

در واقع بررسی و توصیف پدیده‌ها به صورت کمی و سیستماتیک برای انسان ملموس‌تر می‌باشد. در این تحقیق با هدف پهنه‌بندی و بر آورد فرسایش و رسوب در سطح حوضه و شناخت پارامترهای مؤثر و اثرات متقابل آنها و تأثیرات آنها بر موضوع مورد تأکید در تحقیق از روش کمی و سیستماتیک پسیاک استفاده شده است.

### موقعیت و حدود جغرافیایی حوضه‌ی آبریز وزنه

حوضه‌ی آبریز وزنه در شمال غرب کشور، جنوب استان آذربایجان غربی و شمال غرب شهرستان سردشت واقع شده است (شکل ۱). از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین طول جغرافیایی (۳۶°۲۴'۷۹") و عرض جغرافیایی (۴۵°۱۶'۲۲") و (۴۵°۲۷'۱۷") شرقی و عرض جغرافیایی (۳۶°۱۲'۸۰") و (۳۶°۲۴'۷۹") شمالی قرار گرفته است. حوضه‌ی مزبور از زیرحوضه‌های رودخانه‌ی زاب کوچک می‌باشد و در قلمرو حوضه‌ی آبریز خلیج فارس قرار دارد.

رودخانه‌ی اصلی حوضه، رودخانه‌ی وزنه است که از ارتفاعات شمال و شمال غرب حوضه سرچشمه می‌گیرد و طول آن ۴۵/۸۹ کیلومتر است. رودخانه‌ی وزنه در ابتدا از شمال غرب به سمت جنوب شرق جریان دارد اما نهایتاً به سمت غرب جریان پیدا می‌کند و در حوالی منطقه بوکان که خروجی حوضه نیز در آنجا قرار دارد به ژاراه تغییر نام یافته و همراه با بخش دیگری از آب‌های منطقه که به آن وارد شده، جریان یافته و در نهایت از مرز ایران خارج می‌شود و به خاک عراق وارد می‌شود (نقشه توپوگرافی و تصاویر محدوده‌ی مطالعاتی).

مساحت حوضه با استفاده از نرم افزار GIS و در محیط Ilwis، ۱۸۵/۴ کیلومترمربع برآورد گردیده است. متوسط ارتفاع حوضه ۱۷۱۳/۳ متر از سطح دریا می باشد.



شکل ۱: نقشه‌ی موقعیت و حدود جغرافیایی حوضه‌ی وزنه

### مواد و روش‌ها

در راستای رسیدن به هدف، که شناسایی و مدیریت محیط در نواحی جغرافیایی با دید ژئومورفولوژیکی و نگرش سیستمی است، بر همین مبنا به مطالعه‌ی حوضه‌ای و انتخاب مدلی از فرسایش پرداخته شده که بیشترین پارامترهای محیطی تأثیرگذار را مدنظر قرار دارد. در واقع بر طبق تحقیقات مقایسه‌ای صورت گرفته در ارتباط با کارایی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب، مدل پسیاک از درجه اطمینان بیشتری برخوردار است (Tangestani, 2005: 97-585). روش کار مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی و ابزاری به همراه تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها و اطلاعات موجود می باشد. مطالعات کتابخانه‌ای لازم در راستای بحث‌های تئوریک و مبانی نظری مرتبط با موضوع صورت گرفته است، ضمن آن که در روش میدانی نیز که به عنوان بخش جدایی‌ناپذیر جغرافیا و خصوصاً ژئومورفولوژی است اقدام به حضور چند نوبته در حوضه شده و برداشت‌های میدانی صورت گرفته و پدیده‌های ثبت شده بر روی نقشه‌ها با واقعیت موجود انطباق داده شده‌اند و کنترل‌های لازم نیز صورت گرفته است.

برای نیل به هدف و در راستای مراحل فوق اطلاعات آماری و اسناد و مدارک جغرافیایی و مرتبط با آن اعم از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده واقع شدند ضمن آن که عکس‌های هوایی محدوده نیز برای شناخت و اشراف بر منطقه مورد استفاده و بررسی قرار گرفته‌اند. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تحقیق نیز با استفاده از نرم‌افزارهای GIS در محیط Ilwis اقدام به زمین مرجع کردن<sup>۱</sup> و رقومی کردن نقشه‌های پایه (توپوگرافی و زمین‌شناسی) شده و سپس با مجموع نرم‌افزارهای GIS (ilwis, ArcGIS,..) به تهیه پایگاه داده و نقشه‌های رقومی ثانوی همچون شیب و جهت شیب که برای مدل کمی مورد استفاده نیز ضروری هستند، اقدام شده است. در مرحله بعد با ادغام لایه‌های اطلاعاتی<sup>۲</sup> به بررسی ویژگی‌های طبیعی و ژئومورفولوژیکی حوضه پرداخته شده است.

در نهایت و در راستای هدف تحقیق با به‌کارگیری مدل کمی ارزیابی فرسایش، پسیاک، اقدام به برآورد میزان فرسایش و نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش در سطح حوضه شده است. قابل ذکر است که در این مدل بیشترین پارامترهای مؤثر بر فرسایش در نظر گرفته می‌شوند. برای به‌کارگیری آن نیز در ابتدا مواد اساسی آن اعم از نقشه‌های پایه و ثانوی و لایه‌های مورد نیاز ایجاد شده‌اند و سپس در محیط ArcGIS به روی هم قرارگیری آن‌ها و ایجاد نقشه‌ی پهنه‌بندی و برآورد فرسایش در حوضه اقدام شده است تا بتوان با اشراف بر فاکتورهای مؤثر در فرسایش و سایر اطلاعات به دست آمده و با یک دید ژئومورفولوژیکی به تجزیه و تحلیل نتایج اقدام کرد.

### بحث (ارزیابی متغیرها)

#### زمین‌شناسی حوضه

از لحاظ تقسیمات ساختمانی ناحیه‌ی مورد مطالعه جزء کوچکی از بخش شمالی زون سندج - سیرجان می‌باشد. برخی از محققین به آن زون ارومیه - اسفندقه می‌گویند و عقیده دارند که نوار مزبور از مغرب دریاچه تا جنوب حاجی آباد امتداد دارد (درویش‌زاده، ۱۳۸۲: ۱۱۶). بررسی چینه‌شناسی آن نشان می‌دهد که از لحاظ سنگ‌شناسی اکثراً مربوط به دوران دوم است. با این حال اثری از سنگ نهشته‌های تریاس و ژوراسیک مشاهده نمی‌شود و دوران مزوزوئیک در سطح حوضه با سنگ نهشته‌های وابسته به زمان کرتاسه رخمون پیدا می‌کند.

1- Georeference

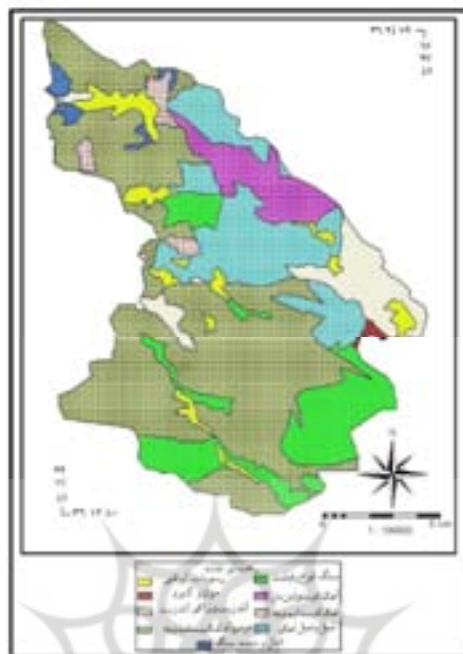
2- Overlay

ویژگی‌های بارز این واحد از این قرار است که تا دوران سنوزوئیک فازهای دگرگونی و ماگماتیسم مهمی را پشت سر گذاشته است. در نیمه‌ی شمالی این واحد که حوضه‌ی وزنه نیز در آن قرار دارد رویدادهای سیمین میانی بویژه فاز کوهزایی لارامید از عوامل پلوتونیسم و دگرگونی هستند (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۲). تشکیلات کرتاسه که بیشتر رسوبی و تخریبی و آتشفشانی هستند تحت تأثیر عملکرد فاز کوهزایی لارامید دچار دگرگونی شده‌اند. بنابراین تشکیلات مزوزوئیک در سطح حوضه بیشتر به صورت رسوبی و دگرگونی می‌باشند. از تشکیلات دوران سنوزوئیک که در حوضه گسترش کمتری دارند، می‌توان به توده‌های نفوذی و رسوبات کواترنر اشاره کرد (جدول ۱، شکل ۲). از آن‌جا که سنگ‌ها یکی از بحث‌های اساسی موضوع فرسایش هستند که تأثیر و میزان فرسایش‌پذیری آن‌ها، وابسته به جنس سنگ و شدت عوامل تخریب است (معمد، ۱۳۷۴: ۸۳) لازم است پراکندگی و نوع آن‌ها در سطح حوضه شناخته شوند.

جدول ۱: نوع سنگ و مساحت آنها در حوضه‌ی وزنه

ردیف	نوع سنگ	علامت اختصاری سنگ‌ها (گرفته شده از نقشه زمین‌شناسی)	مساحت به $Km^2$	مساحت به درصد
۱	مرمر و آهک	Mb	۸۸/۱۸	۴۷/۵۷
۲	شیل و شیل آهکی	K <sup>shi</sup>	۳۱/۳۷	۱۶/۹۳
۳	سنگ لوح و فیلیت	K <sup>ph</sup>	۲۶/۸۷	۱۴/۵۰
۴	اندزیت و تراکی اندزیت	K <sup>v</sup>	۱۲/۵۰	۶/۷۵
۵	آهک اوربیتولین دار	k <sup>ci</sup>	۱۰/۸۴	۵/۸۴
۶	رسوبات آبرفتی	Q <sup>l2</sup>	۹/۰۸	۴/۸۹
۷	آهک کریستالیزه شده با رگه کلسیت	K <sup>ip</sup>	۳/۵۰	۱/۸۸
۸	شیل و ماسه‌سنگ	K <sup>sh</sup>	۲/۴۸	۱/۳۳
۹	مونزو گابرو	Mo.Ga	۱/۵۸	۰/۳۱

$$\sum = 100 \quad \sum = 185 / 4$$



شکل ۲: نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه  
مأخذ: نقشه‌ی زمین‌شناسی سردشت

## اقلیم

بررسی‌های اقلیمی در حوضه‌ی وزنه بر اساس داده‌های ایستگاههای موجود در منطقه انجام گرفته است. بررسی وضعیت عناصر اقلیمی یعنی دما، بارش، نم نسبی در ایستگاههای موجود نشان می‌دهد که عناصر اقلیمی در محدوده‌ی مطالعاتی تغییرات قابل توجهی دارند که در مقوله‌ی فرسایش تأثیرگذار است. آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک موجود، بر اساس دوره‌ی آماری ۱۷ ساله موجود، ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای سالانه بر اساس دوره‌ی آماری ۱۷ ساله موجود، ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. دی‌ماه (ژانویه) با میانگین حدود ۱/۶- درجه سردترین ماه و تیر (ژوئیه) با ۲۶ درجه سانتی‌گراد گرمترین ماه سال است. حداکثر و حداقل مطلق دما به ترتیب ۳۹/۶ و ۲۵- درجه سانتی‌گراد می‌باشند (آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک موجود). بر این اساس اختلاف قابل ملاحظه‌ای را به میزان ۶۴/۶ درجه دارند که در مقوله‌ی فرسایش تأثیرگذار است. در منطقه در حدود ۷ ماه از سال یخبندان وجود دارد. این ماهها از آبان (نوامبر) شروع شده و تا اردیبهشت (آوریل) ادامه دارند (مهندسين مشاور جامع ايران، ۱۳۷۷).

فاصله‌ی زمانی بین اولین و آخرین یخبندان در طول سال، بیانگر طول دوره‌ی سرما خصوصاً در ارتفاعات منطقه می‌باشد. میانگین تعداد روزهای یخبندان براساس آمار ۱۷ ساله‌ی موجود ۸۸ روز می‌باشد که در ارتفاعات بیشتر است. مسأله‌ی مهم این است که روزهای یخبندان ارتباط نزدیک با هجوم و فرکانس توده‌های هوای سرد در ماههای سرد سال داشته و از طرف دیگر ارتفاع منطقه نیز عامل افت دما در دوره‌ی سرد سال است (جعفرپور، ۱۳۵۶).

مدت طولانی یخبندان واقع شده در حوضه در هوازگی و تخریب، خصوصاً تخریب فیزیکی نقش مؤثری را ایفا می‌کند. بر این اساس علاوه بر افزایش بار رسوبی در پیکرشناسی حوضه نیز نقش دارد.

متوسط بارش سالانه در ایستگاه سردشت ۸۶۰ میلی‌متر است. آنچه که در این رابطه متفاوت است، توزیع ناموزون بارش در طول ماههای سال است. توزیع فصلی نشان می‌دهد که نزدیک به ۴۱/۹۶ درصد بارش سالانه در فصل زمستان فرو می‌ریزد که بخش عمده‌ای از آن به صورت برف است. فصل پاییز ۳۶/۹ و بهار با ۲۰/۷۵ درصد بارش سالانه را به خود اختصاص داده‌اند. تنها حدود ۵۶ درصد بارش سالانه در فصل تابستان می‌بارد. بدین ترتیب می‌توان گفت که حوضه وزنه در فصل تابستان با خشکی نسبتاً زیادی همراه است. میزان تبخیر سالانه ۱۸۴۹/۵ میلیمتر برآورد شده است (آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک موجود). به این ترتیب فاصله‌ی میزان بارش و میزان تبخیر و تعرق در ماههای گرم سال به شدت افزایش پیدا می‌کند. در حالت کلی حوضه‌ی وزنه بر اساس طبقه‌بندی‌های اقلیمی در منطقه‌ی سرد و مرطوب قرار دارد.

### فیزیوگرافی

شاخص‌های فیزیوگرافیک حوضه‌ها بسیار زیاد می‌باشند که در اینجا شاخص‌های اساسی مرتبط با موضوع و تأثیرگذار بررسی می‌شوند.

### مساحت و محیط حوضه

مساحت حوضه به عنوان بارزترین مشخصه که دبی سیلاب‌ها و حجم رواناب حوضه به طور مستقیم به آن بستگی دارد، ۱۸۵/۴ کیلومتر مربع است. بر اساس بررسی‌ها و محاسبات صورت گرفته در محیط Ilwis، محیط حوضه‌ی آبریز وزنه ۷۵/۴۱ کیلومتر می‌باشد.



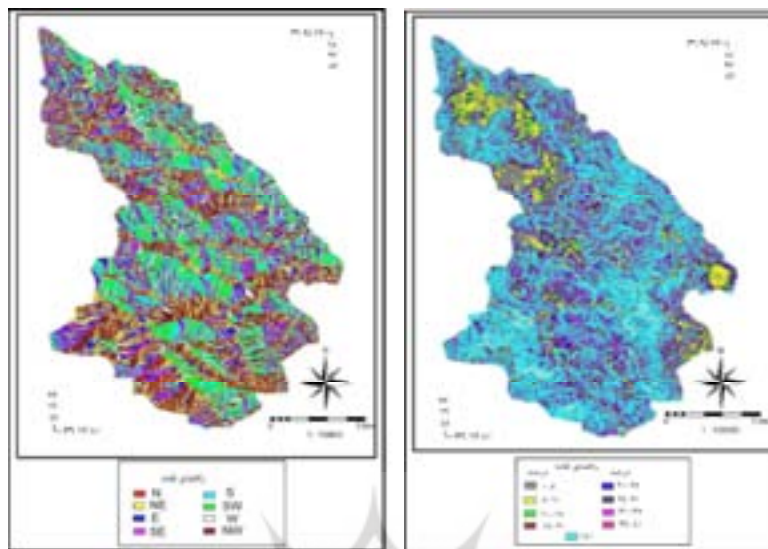
### شیب حوضه

شیب حوضه از عوامل مؤثر در کنترل فرآیندهای رواناب، حمل و فرسایش می‌باشد. نقشه‌ی شیب با استفاده از تحلیل گر GIS و در محیط Ilwis از روی مدل رقومی ارتفاعی ساخته شده (DEM) برای حوضه‌ی وزنه ترسیم گردید. براساس نقشه‌ی شیب حوضه‌ی وزنه، حد شیب‌های حوضه بین ۰ الی ۷۹/۶۱ درصد می‌باشد و شیب متوسط حوضه ۳۴/۶۵ درصد است. شیب زیاد در بخش‌های جنوب، جنوب غرب، جنوب شرق و همچنین بخش‌هایی از شرق و شمال حوضه دیده می‌شود در حالی که در بخش‌های میانی حوضه خصوصاً دشت‌ها، شیب به حداقل می‌رسد (شکل ۳). میزان بالای شیب و روند کلی آن در حوضه یکی از متغیرهای تعیین‌کننده‌ی افزایش بار فرسایش و رسوب است.

### جهات شیب

عامل جهت جغرافیایی (شیب) از نظر تأثیر بر فرآیندهای هیدرولوژیک مؤثر بر فرسایش، ماندندوب برف‌ها و تنوع پوشش گیاهی در حوضه‌ی آبریز حائز اهمیت است (علیزاده، ۱۳۸۱: ۴۱۹). قابل ذکر است که در تهیه‌ی نقشه‌ی جهت جغرافیایی، اختیار نمودن حداکثر و یا حداقل طبقات بستگی به هدف بررسی و وضعیت ژئومورفولوژی و شکل زمین آبخیز مورد بررسی دارد (مخدوم، ۱۳۸۴: ۱۱۹). در این مطالعه بنا به هدف ۸ طبقه‌ی معمول جهت جغرافیایی در نظر گرفته شده‌اند. طبق نقشه مربوطه جهات شمال شرق، جنوب غرب و جنوب در حوضه پراکندگی بیشتری دارند. این عامل نیز زمینه‌ساز افزایش نقش فرسایشی بعضی از متغیرها همچون رواناب، پوشش و... شده است (شکل ۴).





شکل ۴: نقشه‌ی جهت شیب حوضه

شکل ۳: نقشه‌ی شیب حوضه

### ژئومورفولوژی

بر اساس تقسیم‌بندی ژئومورفولوژیکی از ناهمواری‌های ایران منطقه‌ی مورد مطالعه در واحد آذربایجان و کردستان شمالی از واحد شمال غربی ایران قرار دارد (طالقانی، ۱۳۸۲: ۶۹). تنوع در اشکال ناهمواری از ویژگی‌های پیکرشناسی ناحیه‌ی شمال غربی می‌باشد. منطقه‌ی فوق دارای ساختمان چین‌خورده و شکسته بوده و در ساختمان آن و به تبع آن حوضه‌ی وزنه سنگ‌های رسوبی و دگرگونی وجود دارد. ساختمان چین‌خورده آن تحت تأثیر انواع سیستم‌های گسلی موجود شکسته شده و نهایتاً اختلاف سطح زیاد ایجاد شده است که در فرآیند و میزان فرسایش تأثیرگذار است. منطقه‌ی مورد مطالعه کوهستانی بوده و رشته‌کوه‌های آن تا ارتفاع ۲۳۰۰ متر از سطح دریا اوج گرفته‌اند. رودخانه‌ی وزنه به‌عنوان زهکش اصلی با روند شمال غربی- جنوب شرقی و نهایتاً غربی در دره‌های باز و نسبتاً تنگی جریان‌داشته و شاخه‌های زیادی به آن می‌پیوندند (نقشه توپوگرافی محدوده‌ی مطالعاتی). توده‌های آهکی و مرمرین و تا اندازه‌ای آذرین موجود، ستیغ‌ها و قلل را ساخته و دره‌های زیادی نیز در بین لایه‌های نرم‌تر از جمله شیل ایجاد کرده‌اند (نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای محدوده‌ی مطالعاتی).

در کل تنوع لیتولوژیکی منطقه به انضمام شکستگی‌ها و راندگی‌های فراوان که مجموعاً متأثر از فعالیت‌های تکتونیک هستند زمین‌ساز ایجادمورفولوژی متنوع که به نوعی در فرسایش نیز تأثیرگذار است، در سطح حوضه شده‌اند (نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی محدوده‌ی مطالعاتی). با توجه به ساختار کوهستانی منطقه‌ی دشت‌ها دارای مساحت کمتری می‌باشند. علیرغم این موضوع، واحد دشت قسمت‌هایی از حوضه را در بر گرفته است. این دشت‌ها اکثراً در حد بلا فصل کوهستان قرار گرفته‌اند. لذا اصطلاح دشت‌های دامنه‌ای نیز در مورد آنها صدق می‌کند. از دشت‌های موجود می‌توان به دشت وزنه اشاره کرد که بزرگترین دشت حوضه است. این دشت در قسمت‌های شمالی و به نوعی سرچشمه‌ی حوضه واقع شده است. حد ارتفاعی آن ۱۷۰۰ متر می‌باشد. این دشت در شمال حوضه قرار دارد و به صورت غربی- شرقی و نهایتاً شمالی- جنوبی کشیده شده است. در سطح آن بعضاً تپه‌ماهورهایی دیده می‌شوند که ناهمواری ملایمی را ایجاد کرده است.

در کل، دشت دارای سطح نسبتاً هموار و صاف است و شیب عمومی آن کمتر از ۵ درصد است. جنس رسوبات آن از آبرفت‌های عصر حاضر و حاصل فرسایش تشکیلات حوضه است. دشت دیگر در سطح حوضه، دشت آغلان است که در شرق حوضه قرار گرفته است. این دشت از لحاظ مساحت کوچکتر از دشت وزنه می‌باشد.

این دشت نیز یک دشت دامنه‌ای است که توسط ارتفاعات مجاور محدود شده است و مملو از رسوبات آبرفتی است. به طور کلی، دشت‌های موجود دارای خاک تکامل یافته‌تر، شیب کم و آب‌های فراوان از جمله چشمه‌های زیاد می‌باشند که مجموعه‌ی این عوامل باعث شده است که در راستای کشاورزی و دامداری مورد استفاده بیش از حد قرار گیرند که خود زمینه‌ساز فرسایش و تولید رسوب است.

#### مدل پسیاک و برآورد فرسایش و رسوب

در روش پسیاک تأثیر و نقش ۹ عامل مهم و مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب را که در جدول شماره‌ی ۲ آورده شده‌اند، برای حوضه‌ی آبخیز ارزیابی می‌گردند. در این روش بسته به شدت و ضعف هر عامل، عددی به آن نسبت داده می‌شود. سرانجام با در نظر گرفتن مجموع اعداد به دست آمده برای عوامل نه‌گانه میزان رسوبدهی حوضه برآورد می‌گردد (رفاهی، ۱۳۸۲: ۲۸۵).

با این اوصاف در جهت اهداف مطالعه به بررسی و ارزیابی عملکرد هر یک از عوامل نه‌گانه برای حوضه‌ی وزنه پرداخته شده و امتیاز هر پارامتر به دست آورده شده است. در نهایت مجموع امتیازات به صورت جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: امتیازات نهایی عوامل فرسایش در حوضه‌ی وزنه

امتیاز	عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب در مدل پسیاک	ردیف
۴/۳۳	زمین‌شناسی سطحی	۱
۶	خاک	۲
۷	بارش جوی	۳
۵/۴۵	روان آب	۴
۱۱/۴۳	توپوگرافی (شیب)	۵
۴	پوشش گیاهی زمین	۶
۷	استفاده از اراضی	۷
۱۶	وضعیت فرسایش در سطح حوضه‌ی آبخیز	۸
۸/۸۵	فرسایش آبراهه‌ای و انتقال رسوب	۹
۷۰/۰۶	نمره نهایی	

طبق جدول ۲ مجموع امتیازات حاصله برای کل حوضه ۷۰/۰۶ می‌باشد. حال برای بررسی بیشتر و به منظور تعیین میزان فرسایش و رسوب‌زایی در سطح حوضه از جدول ۳ که در این زمینه تهیه شده است، استفاده می‌شود.

جدول ۳: تعیین میزان تولید رسوب و کلاس فرسایش خاک در روش پسیاک

تولید رسوب T/km <sup>2</sup>	تولید رسوب m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	درجه رسوبدهی	طبقه‌بندی فرسایش	کلاس فرسایش
۲۵۰۰ <	۱۴۵۰ <	۱۰۰ <	خیلی زیاد	۱
۱۵۰۰-۲۵۰۰	۴۵۰-۱۴۵۰	۷۵-۱۰۰	زیاد	۲
۵۰۰-۱۵۰۰	۲۵۰-۴۵۰	۵۰-۷۵	متوسط	۳
۲۰۰-۵۰۰	۹۵-۲۵۰	۲۵-۵۰	کم	۴
<۲۰۰	<۹۵	۰-۲۵	ناچیز	۵

اقتباس از: احمدی، ۵۷۸:۱۳۷۸

از آنجا که که مجموع امتیازات پارامترهای مؤثر در فرسایش و رسوب برای حوضه ۷۰/۰۶ می‌باشد، با توجه به جدول ۳ در کلاس فرسایشی رده ۳ قرار می‌گیرد که از لحاظ فرسایشی در رده متوسط قرار دارد. میزان تولید رسوب این رده برابر با ۲۵۰-۴۵۰ مترمکعب در کیلومتر مربع است که معادل ۱۵۰۰-۵۰۰ تن در کیلومترمربع و ۱۵-۵ تن در هکتار است. باید به این نکته نیز اشاره کرد که حوضه در حد بالایی کلاس فرسایشی متوسط قرار می‌گیرد و لذا اکثراً حد بالایی ارقام فوق‌الذکر را شامل می‌شود. پس از محاسبه‌ی فرسایش و تولید رسوب به روش پسیاک، به منظور اعمال دقت بیشتر برای برآورد فرسایش و رسوب از رابطه‌ی بین درجه رسوبدهی و میزان رسوب به شرح زیر استفاده می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۲: ۳۰۳).

$$Q_s = 38/77e^{0/035R}$$

که QS = میزان رسوبدهی سالانه برحسب مترمکعب در کیلومترمربع

R = درجه‌ی رسوبدهی یعنی مجموع امتیازات عوامل مدل پسیاک

E = لگاریتم نپرین در حدود ۲/۷۱۸

با اعمال رابطه‌ی فوق میزان رسوبدهی سالانه برابر ۴۴۹/۱۶۶ متر مکعب در کیلومترمربع است که معادل ۱۰۸۶/۱۵ تن در کیلومتر مربع و به عبارتی ۱۰/۸۶ تن در هکتار است. با مجموعه محاسبات انجام شده حوضه‌ی وزنه از لحاظ فرسایش و رسوبدهی در رده‌ی سوم قرار می‌گیرد که از لحاظ میزان و کلاس فرسایشی در حد بالایی طبقه‌ی متوسط قرار می‌گیرد. به عبارتی به رده‌ی دوم که به صورت کلاس فرسایشی زیاد است نزدیک می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در مدل پسیاک به منظور برآورد فرسایش و رسوب شرایط محیطی حوضه مد نظر قرار می‌گیرد. بنابراین شرایط محیطی حوضه (متغیرها) با تأثیرات متفاوت خود در فرسایش و تولید رسوب حوضه، نقش خود را به صورت ارزش‌های متفاوت در مدل ارائه می‌نمایند. طبق جدول شماره‌ی ۱ قسمت اعظم حوضه شامل سنگ‌های دگرگونی و بعد از آن رسوبی می‌باشد.

سنگ‌های آذرین نیز با پراکندگی کمتر در حوضه گسترش دارند. سنگ‌های دگرگونی اکثراً مرمر سنگ‌لوح<sup>۱</sup> و فیلیت و سنگ‌های رسوبی نیز بیشتر شامل شیل و آهک هستند. در راستای ارتباط با موضوع مورد تأکید تحقیق (فرسایش) باید اشاره کرد که در بین سازندهای منطقه

۱- معادل انگلیسی آن (Slate) است. سنگ دگرگونی متراکم و متورق است که از دگرگونی رس و شیل حاصل می‌شود (آسیایی و جوانمرد، ۱۳۸۳: ۱۶۴).

شیل‌ها که مساحت نسبتاً زیادی از حوضه را در برمی‌گیرند، به فرسایش حساس می‌باشند (فیض‌نیا، ۱۳۷۴) و ازسویی تغییرات در کاربری اراضی به‌دلیل استراتژی‌های توسعه‌ای، سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش را از جمله شیل و مارن، در اکثر ایران بی‌حفاظ و مستعدتر ساخته است (Tangestani, 2005: 97-585).

بخشی از منطقه نیز با رسوبات آبرفتی پوشیده شده است که اینها نیز در مواقع بارندگی حجم زیادی از رسوبات ریز و درشت را در اختیار هرز آب‌ها و رود وزنه قرار می‌دهند. در ارتباط با سایر نقاط ایران در زمینه‌ی مطالعاتی حال (فرسایش) باید اشاره کرد که رسوبات آبرفتی (دوران چهارم) حدود ۵۰ درصد از زمین‌های ایران را در بر گرفته‌اند (زمردیان، ۱۳۸۱: ۴۹) و با توجه به قابلیت‌های آن‌ها و فعالیت‌های انسانی زیاد، در معرض فرسایش اساسی در سراسر کشور قرار گرفته‌اند. سایر سنگ‌ها نیز علی‌رغم سختی به علت شرایط اقلیمی (تغییرات دمایی زیاد و یخبندان) که در ادامه به آن اشاره می‌شود در معرض هواز دگی و نهایتاً فرسایش قرار دارند.

تجزیه و تحلیل اقلیمی نیز نشانگر آن است که بارش سالانه‌ی منطقه‌ی نسبتاً زیاد (۸۶۰ میلی‌متر) بوده و در مقایسه با بارندگی متوسط ایران و دامنه تغییرات دمایی بالا که تفاضل حداکثر و حداقل مطلق درجه‌ی حرارت ۶۴/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد است، در هواز دگی و شکستن سنگ‌های منطقه حتی سازندهای سخت مؤثر می‌باشد، که نمونه‌های بارز آن در حوضه دیده می‌شوند. در واقع در کل منطقه‌ی شمال غرب ایران، تحت تأثیر سیستم اقلیمی حاکم و دامنه‌ی تغییرات دمایی بالا، هواز دگی و شکستن سنگ‌ها، خصوصاً سنگ‌های سست و نهایتاً فرسایش را داریم. از سویی در حوضه در ۸۸ روز از سال یخبندان حاکم است که این پارامتر نیز به علاوه عامل قبلی زمینه‌ساز افزایش هواز دگی سنگ‌ها و فرسایش و رسوب است. به عبارتی این داده‌ها نشانگر آن است که هواز دگی شیمیایی و فیزیکی در حوضه به صورت همزمان عمل کرده و زمینه‌ساز تخریب مواد سطحی و فرسایش و رسوب می‌شوند.

شیب حوضه در اغلب قسمت‌های آن چشمگیر است، به صورتی که اکثراً بیش از ۳۰ درصد است و شیب متوسط حوضه نیز ۳۴/۶۵ درصد است که در سرعت بخشیدن به فرسایش و پارامترهای مؤثر در آن از جمله رواناب تأثیرگذار است.

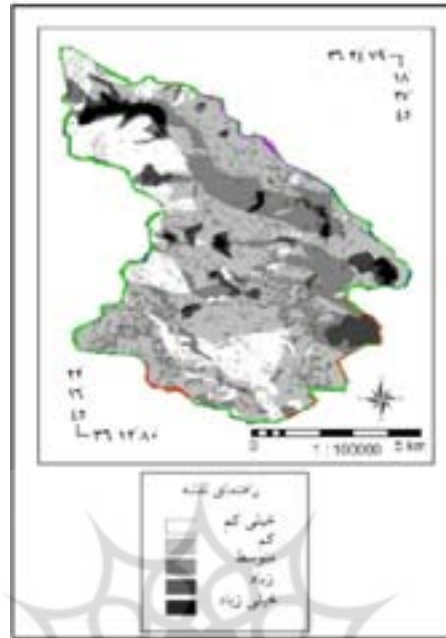
نمونه‌ی مقایسه‌ای آن حوضه‌ی بنانه از حوضه‌های نزدیک به آن است که شیب متوسط آن ۹/۰۶ درصد است، اما در شیب‌های بالای آن، که به ویژه در بخش‌های ارتفاعی و کوهستانی

حوضه‌ی بانه پراکندگی دارند، نقش خود را به عنوان یکی از متغیرهای تعیین‌کننده‌ی افزایش بار فرسایش و رسوب نشان داده‌اند (مرادی، ۱۳۸۶).

در حوضه، تحت تأثیر فعل و انفعالات تکتونیکی، اعم از گسل‌ها و روراندهای فراروان اشکال ساختمانی موجود دچار تغییرات زیادی گشته و اختلاف سطح در آنها ایجاد شده و همبری میان واحدها غیر عادی و گسلی است که در مقوله‌ی فرسایش مهم و تأثیرگذار است. در واقع زمین‌ساخت در تمام زون سنندج-سیرجان و بویژه منطقه‌ی شمال غرب آن که پیچیدگی بیشتری دارد، عامل تقویت پارامترهای فرسایشی و تشدید فرسایش شده است.

در مورد پوشش گیاهی نیز باید اشاره کرد که علیرغم پوشش نسبتاً خوب، تخریب شدید ناشی از چرای مفرط دام و قطع بی‌رویه‌ی درختان و... میزان و نقش آن را به عنوان مانع در مقابل فرسایش کمتر می‌کند. پوشش حوضه عمدتاً شامل جنگل‌های بلوط و سایر گونه‌های این خانواده با زیر اشکوب گونه‌ی مرتعی است. این پوشش که بنا به مطالعات گرده‌شناسی، قدمت تکوین آن به بیش از ۵۰ قرن بالغ می‌گردد، در طی این مدت طولانی در معرض همه نوع آسیب و بهره‌کشی قرار گرفته است (جزیره‌ای، ۱۳۸۱). تغییرات در کاربری اراضی نیز که منجر به فقر پوشش گیاهی شده است از پارامترهای اساسی در فراهم ساختن رسوب زیاد برای فرسایش و حمل است (Tangestani, 2005: 97-585).

از سویی بیشترین میزان بارش در فصل سرد سال است، لذا نیاز گیاهان به آبیاری احساس می‌شود و عمل تبخیر به ویژه در فصول گرم زمین‌ساز خشک شدن خاک‌ها و کاهش میزان چسبندگی آنها می‌شود. لذا خاک‌ها به آسانی جابجا می‌شوند خصوصاً در مواقعی که با بارش‌های شدید در حوضه توأم باشد در فرسایش و از بین رفتن خاک مؤثر است. اطلاعات مربوط به کاربری اراضی حوضه، نشان می‌دهد که تیپ‌ها و واحدهای اراضی حوضه دارای شیب نسبتاً زیاد و عمق کم خاک بوده و اقدامات اصلاحی همچون کنترل چرا، رعایت اصول مرتعداری و کشت‌های نواری ضروری است (مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ۱۳۶۸).



شکل ۵: نقشه فرسایش و تولید رسوب در حوضه‌ی وزنه

در نهایت جهت برآورد فرسایش و رسوب اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش شده است. نتایج حاصل از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی مربوطه و نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش به صورت زیر است: حوضه در حالت کلی از لحاظ فرسایش و رسوب با امتیاز،  $70/06$  در کلاس متوسط به بالا قرار می‌گیرد. بر اساس نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش پنج کلاس فرسایشی خیلی کم تا خیلی زیاد مشخص شده‌اند. کلاس فرسایشی خیلی کم و کم،  $113/72$  کیلومتر مربع معادل  $61/34$  درصد از مساحت حوضه را در بر گرفته‌اند. کلاس فرسایشی متوسط نیز،  $53/22$  کیلومتر مربع معادل  $28/71$  درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود. کلاس‌های فرسایشی زیاد و خیلی زیاد نیز،  $9/93$  کیلومتر مربع، معادل  $18/40$  درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود (شکل ۵). در پایان اگر بخواهیم با دید ژئومورفولوژیکی به وضعیت فرسایش و متغیرهای تأثیرگذارتر در سطح حوضه بپردازیم، باید اشاره کرد که در سطح واحدهای ژئومورفولوژیکی دشت در حوضه، نقش فرسایشی متغیرهای زمین‌شناسی (رسوبات آبرفتی)، کاربری اراضی و وضعیت فرسایشی موجود در سطح حوضه و در سایر واحدها به ویژه کوهستان و تپه ماهور نقش متغیرهای شیب، بارندگی و زمین‌شناسی (شیل) و فرسایش رودخانه‌ای بیشتر است. با توجه به مجموعه شرایط ذکر شده توجه به مقوله فرسایش و یکسری اقدامات در راستای حفاظت خاک ضروری به نظر می‌رسد.



## منابع و مأخذ

- ۱- آسیایی، مهدی و جوانمرد، سهیلا (۱۳۸۳). فرهنگ اصطلاحات ژئومورفولوژی، چاپ اول. مشهد. انتشارات سخن گستر.
- ۲- احمدی، حسن (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول. چاپ سوم. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- جزیره‌ای، محمد حسین (۱۳۸۱). جنگل‌شناسی زاگرس، تهران. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۴- جعفرپور، ابراهیم (۱۳۵۶). پژوهش‌های اقلیمی غرب ایران، شماره ۱۵. تهران. انتشارات مؤسسه جغرافیا.
- ۵- درویش‌زاده، علی (۱۳۸۲). زمین‌شناسی ایران، چاپ سوم. تهران. انتشارات امیرکبیر.
- ۶- رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۲). فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ سوم. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۷- زمردیان، محمدجعفر (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی ایران، جلد اول. چاپ اول. مشهد. انتشارات دانشگاه فردوسی.
- ۸- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح: نقشه‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰: ۱ سردشت و میرآباد.
- ۹- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۲). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰: ۱ سردشت.
- ۱۰- سازمان فضایی ایران (۱۹۹۸). تصاویر ماهواره‌ای محدوده‌ی مورد مطالعه.
- ۱۱- سازمان هواشناسی کشور: آمار هواشناسی ایستگاه سردشت از سال ۱۹۸۶-۲۰۰۰.
- ۱۲- علایی‌طالقانی، محمود (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی ایران، چاپ دوم. تهران. انتشارات نشر قومس.
- ۱۳- علیزاده، امین (۱۳۸۱). اصول هیدروژئولوژی کاربردی، چاپ پانزدهم. مشهد. انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۱۴- فیض‌نیا، سادات (۱۳۷۴). مقاومت سنگ‌ها در اقالیم مختلف در برابر فرسایش، شماره ۴۷. مجله منابع طبیعی ایران.
- ۱۵- مخدوم، مجید (۱۳۸۴). شالوده آمایش سرزمین، چاپ ششم. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۶- مرادی، امید (۱۳۸۶). بررسی هیدروژئومورفولوژی حوضه آبخیز رود بانه و برآورد میزان فرسایش و رسوب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه جغرافیای طبیعی. دانشگاه تهران.
- ۱۷- معتمد، احمد (۱۳۷۴). رسوب‌شناسی، جلد اول. چاپ چهارم. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۸- مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۱۳۶۸). نقشه مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان آذربایجان غربی، چاپ اول.
- ۱۹- مهندسین مشاور جامع ایران (۱۳۷۷). مطالعات سنتز استانی طرح جامع توسعه‌ی کشاورزی استان آذربایجان غربی، جلد ۱. هوا و اقلیم. مؤسسه‌ی پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی.
- 20- W. S. Merrit, R. A. Letcher and A. J. Jakeman (2003) A review of erosion and sediment transport models. Environmental modeling and software, 18.
- 21- Tangestani, M. H. (2005), comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars province, Iran, journal of Asian Earth sciences, 27.
- 22- K. J. Lim, M. sagong, B. A. Engel, Zh. Tang, J. Choi, Ki. S. Kim (2005), GIS-based sediment assessment tool. Catena, 64.