

A. A. ALE-Sheikh

علی اصغر آل شیخ، مدیر گروه مهندسی GIS دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

A. A. Nourouzi

علی اکبر نوروزی، عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

M. R. Jafari

محمدرضا جعفری، کارشناس ارشد GIS

شماره مقاله: ۶۲۳

## مدل سازی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز چیخواب با استفاده از روش پسیاک اصلاح شده و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)

### چکیده

فرسایش خاک از جمله معضلات مهم آبخیزهای کشور به حساب می‌آید که می‌توان به عنوان یکی از مهمترین موانع دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی از آن نام برد. رسوبات ناشی از فرسایش حوزه‌های آبخیز معمولاً پس از بارندگی‌ها به رودخانه رسیده و با رسوبات ناشی از فرسایش دیواره و بستر رودخانه همراه می‌شوند و تأسیسات آبی موجود در مسیر رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و عمر مفید مخازن سدها را کاهش می‌دهند. از این رو مطالعه کمی و کیفی رسوبات جهت برنامه‌ریزی درازمدت در سازه‌های آبی امری ضروری است.

با توجه به اینکه پروژه احداث سد بر روی رودخانه چیخواب (دشت موسیان در استان ایلام) در دست مطالعه می‌باشد، در این مقاله کیفیت و کمیت فرسایش و رسوب حوزه فوق با استفاده از روش اصلاح شده پسیاک<sup>۱</sup> و در محیط GIS<sup>۲</sup> مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا پس از گردآوری، آماده سازی و ورود لایه های اطلاعاتی به محیط GIS و تلفیق این لایه‌ها، حوزه به ۵۷۶ واحد رسوب‌زا تفکیک گردید که ۵۰۴ واحد آن در بالا دست سد واقع شده است. حداقل و حداکثر میزان رسوب تولیدی در این واحدها به ترتیب ۱/۶ و ۲۷/۳ تن در هکتار در سال برآورد گردید.

1. Pacific South-West Inter-Agency Committee (PSIAC).

2. Geographic Information System.

میزان رسوب تولیدی حوزه ۵۰۵۷۳۷/۳ تن در سال و میزان بار رسوبی حوزه در محل سد ۳۹۷۲۹۸/۳ تن معادل ۲۶۴۸۶۵/۵ مترمکعب در سال محاسبه گردید. از نظر کلاسهای فرسایشی و شدت رسوبدهی حوزه به چهار کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تفکیک و کل حوزه در کلاس فرسایشی زیاد قرار می‌گیرد.

**کلید واژه‌ها:** حوزه‌های آبخیز، فرسایش خاک، رسوبدهی، GIS، PSIAC.

### مقدمه

فرسایش در حوضه‌های آبریز سبب از بین رفتن قشر سطحی خاک و کاهش زمین‌های زراعی می‌گردد. رسوب به مجموعه موادی اطلاق می‌شود که همراه با جریان آب حرکت کرده و قطر ذرات آن مساوی یا کوچکتر از  $d = 11RS$  است که R شعاع هیدرولیکی بر حسب متر، S شیب رودخانه، و d قطر ذرات بر حسب سانتی‌متر می‌باشد (آل شیخ، ۱۳۸۰، ۵۲). رسوبات ناشی از فرسایش عمر مفید مخازن را به مخاطره می‌اندازند. از مهمترین ابنیه آبی که به منظور حفظ و بهره‌برداری از منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند سدها هستند. مطالعه مسایل مختلف مربوط به پروژه‌های سدسازی، حائز اهمیت فراوان است و نتایج حاصل از این مطالعات، احتمال موفقیت پروژه را افزایش می‌دهد. مطالعات فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز از جمله آن مسائل است (معمده، ۱۳۵۹، ۴).

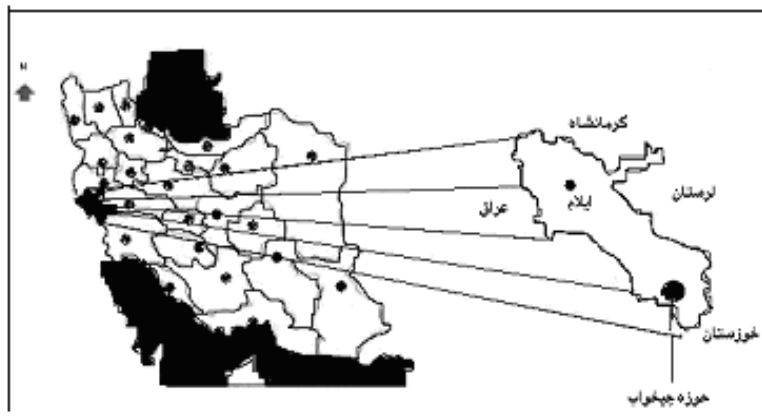
مقدار تولید رسوب بستگی به عوامل متعددی از قبیل سطح حوزه آبریز، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، توزیع زمانی و مکانی بارندگی و شدت و مدت آن دارد. مکانیزم حمل رسوبات تولید شده توسط رودخانه نیز در مقدار رسوب‌گذاری در مخازن مؤثر می‌باشد. روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای ارزیابی و تهیه نقشه فرسایش وجود دارد. برای ارزیابی فرسایش در حوضه‌های آبخیز معمولاً از روابط تجربی استفاده می‌گردد. این روابط به صورت الگوریتمی از عوامل فرسایش هستند که توسط روش‌های همبستگی از داده‌های تجربی به دست می‌آیند. این داده‌ها در یک زمان مشخص مثل سال و در یک حیطه مکانی مثل حوضه آبخیز طبقه‌بندی می‌شوند. در کاربرد معادلات فرسایش در محیط GIS به همپوشانی داده‌های زمین مرجع که نشانگر عوامل فرسایش هستند (توپوگرافی، پوشش گیاهی و ...) نیاز است.

یکی از طرح‌های مهم وزارت جهاد کشاورزی که در حوزه آبخیز رودخانه چینه‌خواب (دهلران، استان ایلام) در حال اجرا می‌باشد طرح آبخوانداری (تغذیه مصنوعی سفره‌های

آب زیرزمینی) از طریق پخش سیلاب و انتقال آب از رودخانه چیخواب به عرصه پخش سیلاب می‌باشد. از قسمتهای مهم این طرح، پروژه احداث سد چیخواب بر روی این رودخانه است که به لحاظ اقتصادی، اجتماعی و مسائل منابع طبیعی منطقه دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. از این رو مسأله وجود سازندهای حساس به فرسایش در بالا دست سد، بارش‌های سیل‌آسا در منطقه، عدم پوشش سطح زمین، کاربری نامناسب اراضی و بافت خاک، از جمله عواملی هستند که در ایجاد فرسایش و تولید رسوب در بستر رودخانه و بالادست سد نقش اساسی دارند (۱). در مقاله حاضر، بر اساس مدل پسیاک نقش نه عامل (زمین‌شناسی سطحی یا سنگ‌شناسی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش سطح زمین، استفاده از زمین، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای) مؤثر در فرسایش از طریق وارد نمودن لایه‌های اطلاعاتی به محیط GIS، رقوم‌سازی و کلاسه‌بندی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی قرار گرفته و عوامل غالب‌تر و مؤثرتر در فرسایش مشخص شده و میزان تأثیر هر عامل در فرسایش و رسوبزائی حوزه تعیین گردیده است.

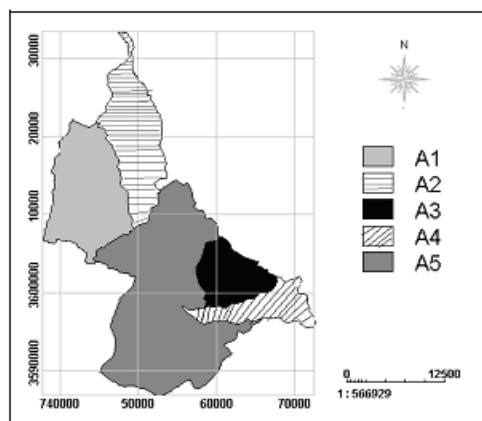
### ویژگی‌های عمومی منطقه

حوزه آبخیز رودخانه چیخواب با مساحتی بالغ بر ۶۳۹ کیلومتر مربع، یکی از زیرحوزه‌های اصلی رودخانه دویرج می‌باشد که محل خروجی آن به رودخانه دویرج و دشت موسیان منتهی می‌شود. شکل ۱ موقعیت حوزه را در استان ایلام نشان می‌دهد. با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های هیدرومتری، این حوزه به پنج زیر حوزه تفکیک شده که با علائم (A1, A2, A3, A4, A5) بر روی شکل ۲ مشخص گردیده است.



شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز رودخانه چیخواب

متوسط بارندگی حوزه ۳۳۸ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه منطقه ۲۴/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی، در این زیرحوزه سازندهای آسماری، گچساران، آغاچاری، بختیاری و آبرفتهای عهد حاضر رخنمون دارند. از میان سازندهای قدیمی، آغاچاری (و بخش لهبری آن) بخش وسیعی از منطقه را در جهت شمال‌غرب و



شکل ۲ واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز رودخانه چرخواب شده است (۲).

جنوب شرق پوشانیده است. در قسمت‌های پست و ناحیه دشتی این زیرحوزه، آبرفتهای عهد حاضر دیده می‌شود. منطقه دارای خاکهای با بافت سبک، متوسط تا سنگین می‌باشد. پوشش گیاهی غالب منطقه را مراتع تشکیل داده و وضعیت مراتع نیز متوسط تا فقیر و در بعضی از قسمت‌ها فقیر تا خیلی فقیر تعیین

### مدل انتخابی برآورد فرسایش و رسوب حوزه

مطالعات انجام شده در ایران مبین آن است که اطلاعات آماری از دبی‌های اندازه‌گیری شده آب، به طور اعم و رسوب به طور اخص بسیار کم است. از طرفی کمبود آمار تحقیقاتی - کاربردی در زمینه ارزیابی کمی فرسایش خاک و تولید رسوب، کارشناسان بخش‌های مطالعاتی فرسایش خاک و تولید رسوب را وادار می‌نماید تا در حوزه‌های بدون آمار از فرمول‌های تجربی دیگر کشورها استفاده نمایند (رفاهی، ۱۳۷۸). لذا در این تحقیق ابتدا روش‌های معادله جهانی فرسایش خاک USLE<sup>۳</sup>، موس گراو<sup>۴</sup>، فائو<sup>۵</sup>، روش دفتر مدیریت اراضی<sup>۶</sup> و پسیاک مورد بررسی‌های علمی و فنی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:

- روش معادله جهانی فرسایش خاک اساساً با تأکید بر مجموع انرژی بارندگی برای محاسبه شدت فرسایش سطحی حاصل از انواع فرسایش ورقه‌ای و شیاری توصیه شده است. با بررسی عوامل بکارگرفته شده در این روش ملاحظه می‌شود که صرف نظر از عدم

3. Universal Soil Loss Equation.  
5. Food and Agricultural Organization.

4. Mousrave.  
6. Bureau of Land Management.

وجود اطلاعات مربوط به برخی از آنها برای حوزه‌های آبخیز ایران، اصولاً این روش بیشتر برای اهداف تحقیقات مناسب است و چنانچه اطلاعات برای پارامترهای آن موجود باشد می‌تواند برای برآورد شدت فرسایش خاک حاصل از فرسایش ورقه‌ای و شیاری در سطح اراضی کشور کاربرد داشته باشد (شاه‌کرمی، ۱۳۷۳). این معادله بیشتر برای اندازه‌گیری میزان فرسایش در زمین‌های زراعی طراحی و کالیبره شده است. کوشش‌های زیادی صورت پذیرفته تا بتوان فرسایش را در آبخیزهای کوچک با استفاده از این روش تخمین زد ولی به دلایل زیر قابل استفاده در حوزه‌های آبخیز کوهستانی نمی‌باشد: این روش فقط عواملی را مورد توجه قرار می‌دهد که در از دست رفتن خاک زمین‌های زراعی مؤثرند؛ این روش تنها سعی در پیش‌بینی فرسایش بارانی، سطحی و شیاری از زمین‌های زراعی را داشته و فرسایش خندقی، کناره‌ای و فرسایش در زمین‌های غیرزراعی و آبخیزها را در نظر نمی‌گیرد؛ با این که نام این فرمول جهانی است اما تمام عوامل اندازه‌گیری شده برای آمریکا محاسبه شده و در سایر کشورها، نتیجه مطلوبی نداده است؛ این روش برای حداکثر شیب ۹ درصد طراحی شده است و نمی‌توان برای شیب‌های بیشتر از آن استفاده نمود؛ اندازه‌گیری عامل فرسایش‌دهندگی باران نیاز به اندازه‌گیری‌های دقیق و محاسبات پیچیده دارد که مشکلاتی را در محاسبات به وجود می‌آورد (حمیدی، ۱۳۷۴).

• روش موس‌گراو برای برآورد فرسایش سطحی از طریق اندازه‌گیری چند عامل استفاده می‌شود. بنابراین برای اراضی کشاورزی قابل استفاده بوده ولی برای حوزه‌های آبخیز ایران با توجه به وسعت کوهستانی بودن آن کاربرد زیادی ندارد.

• در روش فائو برآورد فرسایش خاک مبتنی بر ارزیابی ۶ عامل (زمین‌شناسی سطحی، ساختمان و دانه‌بندی خاک، توپوگرافی، پوشش خاک، چگونگی استفاده از اراضی حوزه و وضعیت فرسایش) مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب در یک حوزه آبخیز می‌باشد. در این روش هریک از عوامل فوق بر حسب اینکه چگونه و با چه شدتی در فرسایش خاک و تولید رسوب در یک واحد هیدرولوژیک و یا هر واحد اراضی از حوزه آبخیز مورد مطالعه تأثیر داشته باشد توسط کارشناس ارزیابی و وزن‌دهی می‌شود. سپس شدت فرسایش خاک تحت ۶ کلاس خیلی کم، کم، نسبتاً متوسط، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌گردند. در این روش: محدوده وزن‌دهی هر عامل زیاد بوده و با توجه به اینکه نظرات کارشناسی متفاوت است، لذا نمی‌توان به رقم به دست آمده مطمئن بود؛

همچنین پوشش گیاهی که عامل مهمی در فرسایش است به صورت مشترک با سایر عناصر سطحی خاک در نظر گرفته شده است؛ و شدت فرسایش به صورت کمی بیان نمی‌گردد.

• در روش دفتر مدیریت اراضی نیز مانند روش FAO عوامل موثر، به تناسب شدت تاثیرشان در روند فرسایش خاک نمره‌گذاری می‌شوند. اگرچه ارزیابی عوامل مؤثر در فرسایش در ابتدا به صورت کمی انجام می‌پذیرد اما تقسیم‌بندی در پایان به صورت یک ارزیابی کیفی است.

• در روش PSIAC، برای برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب، در هر یک از واحدهای اراضی یا واحد هیدرولوژیک، ۹ عامل برحسب شدت و ضعف نقش آنها از نظر کیفی (با سه درجه زیاد، متوسط و کم) و یا کمی (از ۱۰- تا ۲۵+) و بر اساس جداول موجود وزن‌دهی می‌گردند. در انتها، میزان تولید رسوب و فرسایش حوضه براساس کلاسهای خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تعیین می‌گردد.

جهت برآورد فرسایش رسوب حوزه آبخیز رودخانه چیخواب از مدل اصلاح شده PSIAC به دلایل زیر استفاده شده است.

۱. این روش در مقایسه با سایر روش‌های تجربی موجود بیشترین عامل مؤثر در فرسایش خاک را برای محاسبه فرسایش خاک و تولید رسوب به کار برده است (رفاهی، ۱۳۷۸).

۲. برای چند حوزه آبخیز سدهای مخزنی کشور انطباق داده شده است (حمیدی، ۱۳۷۴).

۳. ارزیابی فرسایش و رسوب به صورت کیفی و کمی است.

۴. بکارگیری این روش در محیط GIS امکان‌پذیر بوده و نیازی به استفاده از ضرایب خاص هیدرولوژیکی منطقه‌ای و یا رسوب‌زایی ندارد.

### اجرای مدل فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از GIS

هدف نهایی از این تحقیق ارایه مدل فرسایش خاک و تولید رسوب حوزه با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. این قسمت شامل وارد کردن داده‌ها به محیط GIS (تشکیل پایگاه داده<sup>۷</sup>)، مدیریت داده‌ها<sup>۸</sup>، تولید لایه‌های اطلاعاتی (Alesheikh, 2002) و تعیین واحدهای همگن در هر یک از لایه‌ها، وزن‌دهی به واحدهای همگن با استفاده از

7. Database.

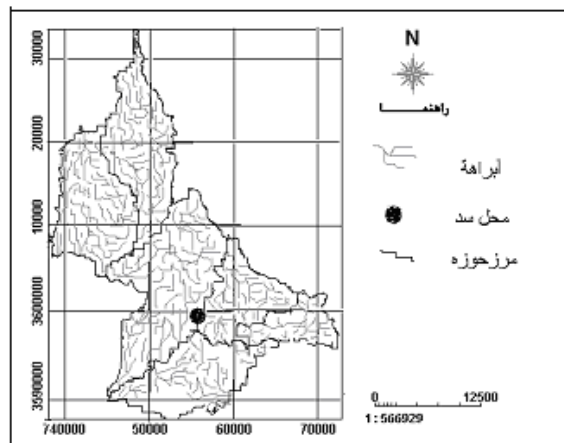
8. (Data Management).

مدل فرسایشی پیشرفته پسیاک، رستری نمودن لایه‌های وزنی و در نهایت همپوشانی لایه‌های وزنی (آل شیخ، ۱۳۸۱) و استخراج لایه‌های نهایی یعنی نقشه‌های میزان رسوبدهی و شدت فرسایش حوزه آبخیز می‌باشد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

### - تولید لایه‌های اطلاعاتی مدل پسیاک

بکارگیری این روش با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی مستلزم این است که برای هر عامل مؤثر بر فرسایش، یک لایه اطلاعاتی تهیه شود (Alesheikh, 1999). لذا در این راستا با استفاده از نقشه‌های پایه و بهره‌گیری از GIS لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز (زمین‌شناسی، خاک، آب و هوایی، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، کاربری اراضی، اشکال فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای) با مشخصات ذیل تهیه گردید.

• لایه رواناب- با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰/۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش، محدوده حوزه چرخواب مشخص و سپس با تعیین واحدهای هیدرولوژیک (زیر حوزه‌های آبخیز رودخانه چرخواب) لایه رواناب تهیه گردید که تحت عنوان نقشه واحدهای هیدرولوژی معرفی شده است (شکل‌های ۳ و ۲).

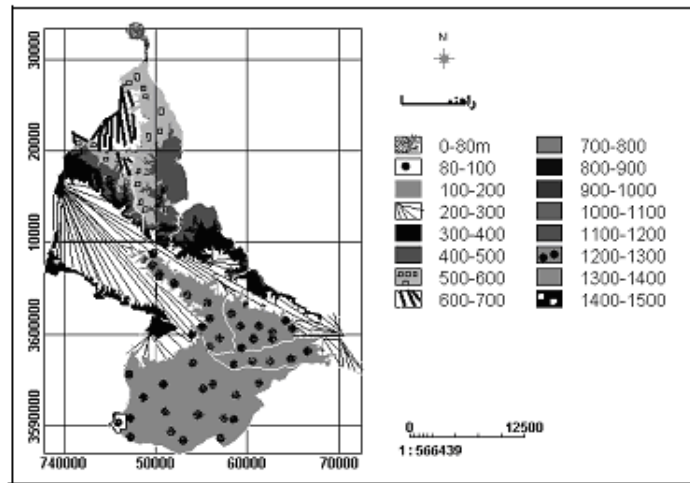


شکل ۳ شبکه هیدروگرافی حوزه

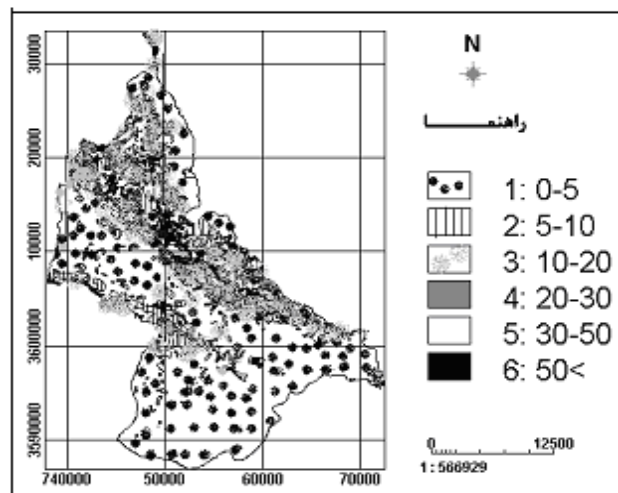
• لایه توپوگرافی (شیب)- جهت تهیه نقشه شیب از نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش استفاده شده است. از روی نقشه توپوگرافی کلیه منحنی‌های میزان محدوده تحقیق، رقومی و درونیابی<sup>۹</sup> شده و نهایتاً نقشه مدل ارتفاعی

9. Interpolation.

زمین<sup>۱۰</sup> در فرمت رستری ساخته شد (Alesheikh, 2003) (شکل ۴). با استفاده از فیلترهای که اختلاف ارتفاع را در جهات محورهای  $x, y$  محاسبه می کنند نقشه شیب حوزه تهیه و طبقه بندی شد (شکل ۵).

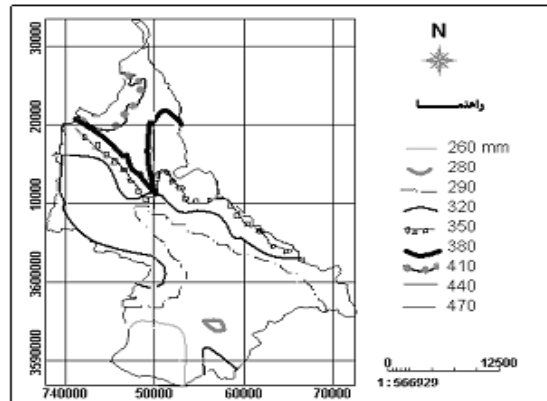


شکل ۴ مدل ارتفاعی زمین (DEM)



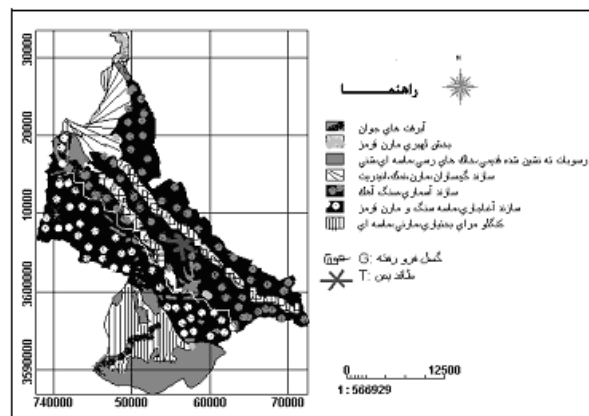
شکل ۵ شیب حوزه

• لایه آب و هوایی - با استفاده از نقشه همباران تهیه شده از مطالعات هوا و اقلیم حوزه چینواب این لایه تهیه گردید (شکل ۶).



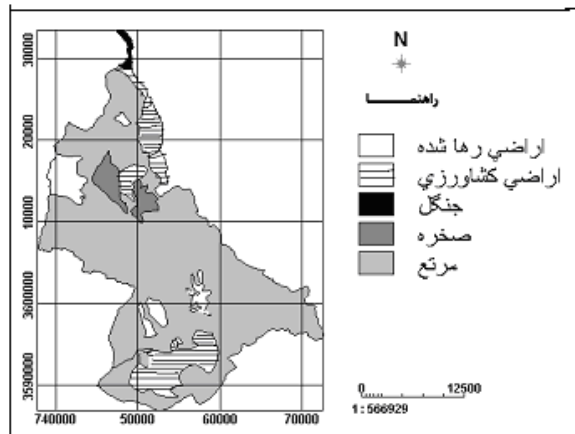
شکل ۶ همباران حوزه

- لایه زمین‌شناسی سطحی - این لایه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰/۰۰۰ شرکت ملی نفت ایران تهیه شد. واحدهای لیتولوژی به صورت واحدهای همگن پلیگونی درآمده و در شکل ۷ نمایش داده شده است.



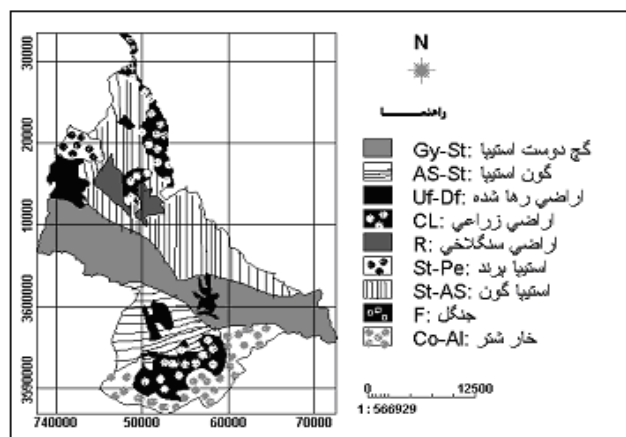
شکل ۷ زمین‌شناسی

- لایه خاک - با استفاده از نقشه خاکشناسی و قابلیت اراضی تهیه شده در مطالعات خاکشناسی حوزه چیخواب لایه خاک تهیه گردید. نقشه اولیه خاکشناسی حوزه با استفاده از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۵۵/۰۰۰ و انجام آزمایشات خاکشناسی، حفر و تشریح پروفیل خاک تهیه شده است.
- لایه استفاده از زمین (کاربری اراضی) - با استفاده از نقشه پوشش گیاهی و نتایج گزارشات خاکشناسی و قابلیت اراضی و مطالعات پوشش گیاهی نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز چیخواب (شکل ۸) تولید گردید (۳).



شکل ۸ پوشش اراضی حوضه

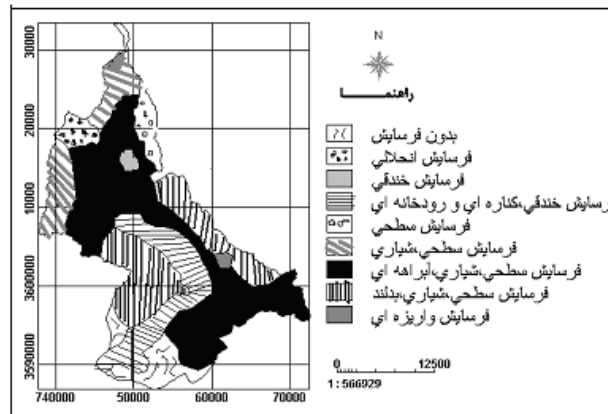
• لایه پوشش زمین (پوشش گیاهی) - با استفاده از نقشه پوشش گیاهی تهیه شده در مطالعات پوشش گیاهی حوزه چیخواب این لایه تهیه گردید. جهت تهیه این نقشه با استفاده از نقشه‌های ۱:۵۰/۰۰۰ توپوگرافیک و ۱:۱۰۰/۰۰۰ زمین‌شناسی نسبت به تعیین محدوده تقریبی تیپهای مرتعی اقدام گردید. سپس با مطالعه میدانی و مشاهدات صحرایی تفاوت واحدهای گیاهی مشخص و مرز تیپها اصلاح شده است (شکل ۹).



شکل ۹ پوشش گیاهی حوضه

• لایه اشکال فرسایش در سطح حوزه - این لایه استخراج شده از نقشه ژئومورفولوژی تهیه شده در سطح حوزه آبخیز رودخانه چیخواب می‌باشد. سپس با انجام عملیات صحرایی و مطابقت اشکال فرسایشی موجود در طبیعت کنترل شده است (شکل ۱۰).

- لایه فرسایش رودخانه‌ای - با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰/۰۰۰ و نقشه اشکال فرسایش این لایه تهیه گردید.



شکل ۱۰ اشکال فرسایش

#### - تعیین وزن لایه‌های اطلاعاتی

در این مرحله واحدهای همگن در هر یک از لایه‌های اطلاعاتی از هم تفکیک، سپس وزن واحدهای همگن در محیط GIS بر اساس فرمول‌های پیش‌بینی شده در روش پسیاک تعیین و به سیستم وارد گردید (جعفری، ۱۳۸۱).

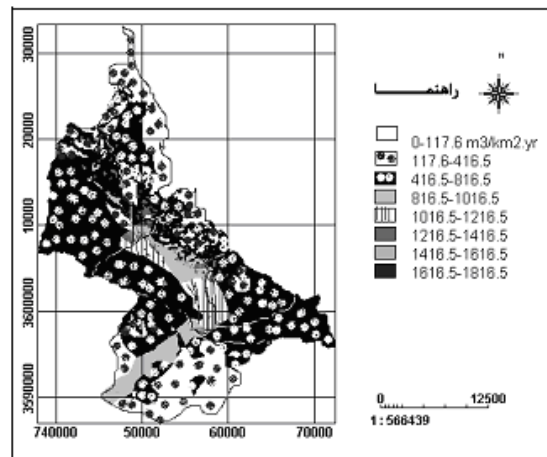
#### - تلفیق لایه‌های وزنی

پس از وزندهی و نهایی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی که به صورت لایه‌های وزنی درآمده‌اند اقدام به تلفیق لایه‌ها از طریق عملگر جمع شده است. حاصل این تلفیق به دست آمدن نقشه‌ای است که مقادیر آن نشان‌دهنده درجه رسوب‌دهی و دارای دامنه وسیعی بوده است. وسعت این دامنه به تعداد لایه‌های اطلاعاتی و مقادیر وزنی که به آنها داده می‌شود بستگی دارد.

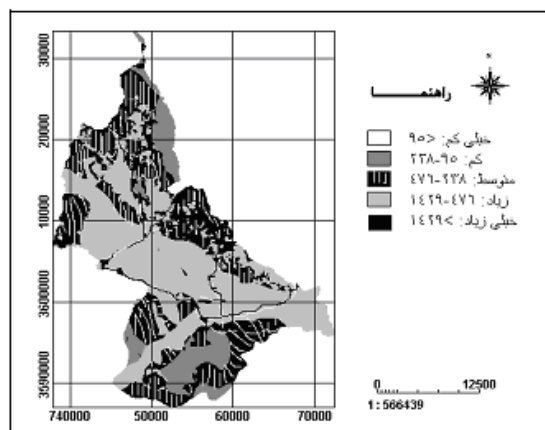
#### - تعیین میزان رسوب و کلاس فرسایش خاک در حوزه آبخیز مورد تحقیق

بعد از تهیه نقشه میزان رسوبدهی حوزه (شکل ۱۱) با قرار دادن لایه مرز زیرحوزه‌ها بر روی این نقشه شدت رسوبدهی (شکل ۱۲)، مساحت، بار رسوبی (میزان رسوبی که در یک مقطع زمانی مثلاً سال از حوزه خارج می‌شود)، رسوب ویژه (میزان رسوبی که در یک مقطع زمانی در واحد سطح از حوزه خارج می‌شود) و میزان رسوب هر کلاس (A1-A5)

بر حسب تن در هکتار در سال در هر یک از زیرحوزه‌ها به دست آمد. جدول ۱ میزان رسوب و کلاس فرسایش خاک را در کل حوزه نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ میزان رسوبدهی



شکل ۱۲ شدت فرسایش و رسوبدهی

### - برآورد میزان رسوب و بار رسوبی حوزه در محل سد چینخواب

با توجه به جدول استخراج شده (جدول ۱) از نقشه رسوبدهی حوزه و انجام محاسبات مربوطه، مقدار رسوب سالانه حوزه  $۵۰۵۷۳۷/۳$  تن در سال معادل  $۳۳۷۱۵۸/۲$  متر مکعب در سال برآورد گردید. از این مقدار، ارقام ذیل برای هر یک از زیرحوزه‌های (A1, A2, A3, A4, A5) به ترتیب برحسب تن در سال محاسبه گردید ( $۱۰۹۱۱۸/۲$ ،  $۶۸۳۰۴/۳$ ،  $۵۳۹۹۷$ ،  $۳۸۳۹۴/۷$  و  $۲۳۵۹۲۳/۱$ ). با توجه به اینکه محل احداث سد در نقطه‌ای از

زیرحوزه A5 واقع شده است که از کل مساحت زیر حوزه A5 (۲۹۲/۱۴) کیلومتر مربع سطحی در حدود ۱۲۶/۴۱ کیلومتر مربع) به نام A5-1 و از کل مساحت حوزه چیخواب (۶۳۹ کیلومتر مربع) سطحی حدود ۴۷۳/۲۷ کیلومتر در بالا دست سد قرار دارد، لذا میزان رسوب حاصله از سطح زیرحوزه A5-1 در حدود ۱۲۷۴۸۴/۱ تن در سال برآورد گردید. با احتساب رسوب حاصله از چهار زیرحوزه دیگر که کاملاً در بالا دست سد قرار دارند میزان بار رسوبی حوزه در محل سد ۳۹۷۲۹۸/۳ تن در سال دیده شد که با احتساب حجم معادل ۲۶۴۸۶۵/۵ مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود.

جدول ۱ تعیین میزان رسوب و کلاس فرسایش خاک در کل حوزه چیخواب

کلاس رسوبدهی و فرسایش	شدت رسوبدهی	مساحت (Km <sup>2</sup> )	بار رسوبی (Ton.yr)	رسوب ویژه (Ton/Km <sup>2</sup> .yr)	رسوب ویژه Ton/ha.yr	بار رسوبی m <sup>3</sup> .yr	رسوب ویژه m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> .yr
I	خیلی کم	-	-	-	-	-	-
II	کم	۶۵/۶۶۷	۱۶۶۲۴/۱	۲۵۳/۲	۲/۵	۱۱۰۸۲/۸	۱۶۸/۸
III	متوسط	۳۲۶/۹۴۷	۲۱۱۵۶۰/۹	۶۴۷/۱	۶/۵	۱۴۱۰۴۰/۷	۴۳۱/۴
IV	زیاد	۲۴۵/۹۱۲	۲۷۶۶۳۲/۶	۱۱۲۴/۹	۱۱/۲	۱۸۴۴۲۱/۶	۷۴۹/۹
V	خیلی زیاد	۰/۴۰۱	۹۱۹/۷	۲۲۹۳/۵	۲۲/۹	۶۱۳/۱	۱۵۲۹
مجموع کل حوزه		۶۳۹	۵۰۵۷۳۷/۳	۷۹۱/۵	۷/۹	۳۳۷۱۵۸/۲	۵۲۷/۶

## بحث و نتیجه‌گیری

در انجام پروژه‌های تحقیقاتی و حتی مطالعاتی به ویژه پروژه‌هایی که در راستای فعالیتهای اجرایی باشد، روش‌ها و فنون بکار برده شده در جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز و تجزیه و تحلیل آنها از مسایل مهمی هستند که در نیل به اهداف تعیین شده نقش به سزایی دارند. لذا جهت افزایش دقت در برآورد میزان رسوب حوزه آبخیز رودخانه چیخواب از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده شده و نتایج زیر به دست آمده است.

الف) در مطالعات فرسایش خاک به ویژه در روش پسیاک، نیاز به تعیین واحدهای کاری همگن می‌باشد که تعیین این واحدها در روش‌های دستی و سنتی به صورت سلیقه‌ای و با روی هم‌گذاری تعدادی از لایه‌های پایه چون، اجزای واحد اراضی، زمین‌شناسی، شیب و ... انجام می‌گیرد و متوسط‌گیری وزنی عوامل ۹ گانه مدل پسیاک در این واحدها منشاء بروز خطاهایی در نتیجه می‌شود، از طرفی عدم امکان کار بر روی واحدهای کوچک در مطالعات مختلف و در نتیجه حذف تأثیر این واحدها در نتایج برآوردی مورد نظر خطا ایجاد خواهد کرد. در صورتی که بکارگیری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نقش

اعمال سلیقه‌های شخصی را (در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین واحدهای کاری) به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد.

همچنین سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به لحاظ قدرت بالای تجزیه و تحلیل اطلاعات پایه (به ویژه در بحث فرسایش و رسوب و تعداد زیاد لایه‌ها) مناطق با رسوبدهی مختلف را از یکدیگر تفکیک نموده و نقش واحدهای کوچک نیز در نظر گرفته می‌شود و با تولید نقشه حساسیت به فرسایش، مناطق مختلف فرسایشی را از نظر کیفی و کمی طبقه‌بندی و این امکان را فراهم می‌آورد تا با توجه به اهداف مختلف مناطق حساس به فرسایش را از هم تفکیک و به ترتیب اهمیت اولویت‌بندی نمود.

ب) بعد از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق این لایه‌ها، نقشه درجه رسوبدهی حوزه با ۱۶۳ واحد در زیر حوزه A1، ۱۳۱ واحد در زیر حوزه A2، ۶۳ واحد در زیر حوزه A3، ۴۳ واحد در زیر حوزه A4 و ۱۷۶ واحد در زیر حوزه A5 که ۱۰۴ واحد آن متعلق به A5-1 در بالا دست سد می‌باشد تهیه و وضعیت فرسایش و رسوب حوزه از نظر کیفی و کمی مورد ارزیابی قرار گرفت.

ج) در ارزیابی فرسایش خاک و تولید رسوب حوزه آبخیز رودخانه چپخواب از میان عوامل مؤثر بر فرسایش، پوشش سطح زمین با امتیاز ۱۳/۳۲ در اولویت اول و رواناب با کمترین امتیاز یعنی ۲/۴ در مرتبه آخر (نهم) قرار دارد و عوامل استفاده از زمین، فرسایش رودخانه‌ای، زمین‌شناسی، خاک، شیب و آب و هوا با احتساب نمرات مربوطه (۱۲/۳، ۱۲/۲، ۱۰/۷، ۷/۶، ۷/۱، ۶، ۵/۵) به ترتیب در فرسایش حوزه اولویت‌های دوم الی هشتم را به خود اختصاص داده‌اند.

### پیشنهادات

اصولاً برای پیشگیری از وقوع پدیده فرسایش در حوزه‌های آبخیز اعمال تنها یک روش ویژه کارساز نبوده بلکه باید مجموعه اقدامات و تمهیداتی که می‌تواند منجر به نتایج مطلوب شوند به کار برد، لذا با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق پیشنهادات زیر حائز اهمیت می‌باشد.

الف) این حوزه از نظر فرسایش و شدت رسوبدهی در کلاس زیاد قرار دارد، بنابراین کنترل فرسایش خاک و اقداماتی برای حفاظت خاک و آب در چارچوب طرح‌های حفاظتی اولویت داشته و ضروری است.

ب) با توجه به گستردگی عرصه‌های منابع طبیعی، برای مدیریت صحیح و بهره‌برداری بهینه از آن استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی امری ضروری است.

ج) با توجه به قابلیت سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در تجزیه و تحلیل اطلاعات و اعمال تغییرات مورد نظر در لایه‌های اطلاعاتی اولیه، لازم است بانکهای اطلاعاتی پایه حوزه‌های آبخیز کشور تحت استاندارد واحدی برنامه‌ریزی و تهیه گردند.

### پی‌نوشتها

۱. (شرکت جهاد آب و آبخیزداری، ۱۳۷۷، جلد اول تا پنجم).
۲. (شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، ۱۳۷۶).
۳. (شرکت جهاد آب و آبخیزداری، ۱۳۷۷، جلد سوم).

### منابع و مآخذ

۱. آل شیخ، علی‌اصغر، محمد جعفر سلطانی و حسین هلالی (۱۳۸۱)؛ کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۷، زمستان ۱۳۸۱، صفحات ۱۱۴۰۷-۱۱۴۲۳.
۲. آل شیخ، علی‌اصغر و ناصر فرضی (۱۳۸۰)؛ کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه فرسایش حوضه‌ها، مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت اراضی - فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک، ایران، صفحه ۵۲.
۳. احمدی، حسن (۱۳۷۴)؛ ژئومورفولوژی کاربری، جلد اول، دانشگاه تهران.
۴. جعفری، محمدرضا (۱۳۸۱)؛ برآورد کیفی و کمی فرسایش و رسوب حوضه آبخیز رودخانه چیخواب با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی.
۵. رفاهی حسینیقلی (۱۳۷۸)؛ فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
۶. شاه کرمی، ع (۱۳۷۳)؛ مطالعه فرسایش حوزه آبخیز نوژیان و تأثیر آن در خاکهای منطقه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
۷. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری (۱۳۷۶)؛ مطالعات حوزه آبخیز و رودخانه چیخواب پخش سیلاب بر آبخوان دشت موسیان، جلد هفتم تلفیق مطالعات، وزارت جهاد کشاورزی.
۸. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری (۱۳۷۷)؛ مطالعه هوا و اقلیم حوزه آبخیز رودخانه چیخواب، جلد اول.
۹. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری (۱۳۷۷)؛ مطالعه هیدرولوژی حوزه آبخیز رودخانه چیخواب، جلد دوم.
۱۰. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری (۱۳۷۷)؛ مطالعه خاکشناسی، پوشش گیاهی، فرسایش رسوب حوزه آبخیز رودخانه چیخواب، جلد سوم.
۱۱. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری (۱۳۷۷)؛ مطالعه زمین‌شناسی حوزه آبخیز رودخانه چیخواب، جلد چهارم.
۱۲. شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری (۱۳۷۷)؛ مطالعه مهندسی رودخانه حوزه آبخیز رودخانه چیخواب، جلد پنجم.
13. Alesheikh, A.A, F.Sadeghi Naeeni, and A. Talebzadeh (2003); **Improving Classification Accuracy using External Knowledge**, GIM International, Aug. 2003, Vol.17, No.8, Pp. 12-15.
14. Alesheikh, A.A, H. Helali (2002); **Web GIS Development Strategy**, GIM International, Nov.2002, Vol. 16, No. 11, Pp. 12-15.
15. Alesheikh, A.A, J.A.R. Blais, M.A. Chapman, and H. Karimi (1999); **Rigorous Geospatial Data Uncertainty Models for GIS**, in "Spatial Accuracy Assessment: Land Information Uncertainty in Natural Resources", Chapter 24. Edited by: Kim Lowell and Annick Jatton. Ann Arbor Press, Michigan, USA.