

بررسی فرسایش پذیری حوضه های آبخیز شمال دریاچه ارومیه با استفاده از تئوری فازی و GIS  
( مطالعه موردی حوضه های آبخیز شمال تسوج )

احمد حبیب زاده \*

مالک رفیعی\*\*

محمد رضا نیک جو\*\*\*

### چکیده

فرسایش از جمله فرآیندهای ژئومورفولوژیکی است که موجب به هم خوردگی سیستم پویای کره زمین شده و در شکل آن تغییرات بوجود می‌آورد، طرح‌های بررسی فرسایش‌پذیری سطحی زمین و ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش می‌تواند گامی موثر در شناسایی مناطق حساس به فرسایش و در نتیجه بعنوان نقشه‌های پایه در تعیین مناطق اولویت‌دار برای عملیات‌های عمرانی و اجرائی مختلف باشند. در این طرح که در منطقه تسوج در شمال دریاچه ارومیه و شمال غرب استان آذربایجان شرقی به اجرا آمده است ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی منطقه، نقشه‌های زمین‌شناسی، هیدروگرافی و کاربری اراضی تهیه شده سپس با استفاده از ۵۸ ایستگاه آماری که در کل حوضه های آبخیز شمال تسوج پراکنده هستند فرم‌های فرسایش تکمیل شده و در نهایت نظرات کارشناسی اعمال گردید سپس کلیه این نقشه‌ها در سیستم GIS رقومی گردیدند. پس از آن با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی و استفاده از عملگرهای منطقی و حسابی این مجموعه‌ها با دو روش نقشه‌های فرسایش‌پذیری تهیه و مورد مقایسه قرار گرفتند که در نهایت عملگر اجتماع مجموعه‌های فازی با توجه به نوع نرخ‌دهی و وزن‌دهی به نقشه‌ها قابلیت بهتری را در ارائه مناطق حساس به فرسایش از خود نشان دادند.

واژه های کلیدی: فرسایش پذیری، پهنه بندی، تئوری فازی، تسوج ، GIS.

---

email : ahad\_habibzadeh@yahoo.com

\* دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز

\*\* کارشناس ارشد ژئومورفولوژی ، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی

\*\*\* استاد یار پژوهشی گروه جغرافیای دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۴

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۲۳

## مقدمه:

سطح خارجی کره زمین به عنوان یک سیستم پویا، همواره دستخوش فرآیندهایی است که چهره آن را به تدریج و به طور دائم دچار دگرگونی می‌نمایند. در این فرآیند، خاک به عنوان پوشش خارجی بخش اعظم خشکی های زمین را تحت تاثیر تغییرات مختلفی قرار دارد که این تحولات باعث تولید و یا از بین رفتن آن میشوند.

پدیده فرسایش در نواحی بالادست حوضه باعث از بین رفتن خاک حاصلخیز و کم عمق که لازمه ایجاد پوشش مرتعی است می‌گردد و این مسئله به مرور زمان بردامداری اهالی منطقه که به این شغل اشتغال دارند اثر خواهد گذاشت، در نواحی میانی حوضه ها یعنی مناطقی که جهت سدسازی و مخازن سدها مناسب هستند فرسایش به مرور زمان باعث پرشدن مخازن سدها میشود. همچنین در نواحی پایین دست حوضه ها فرسایش و رسوب باعث انسداد آبراهه‌ها و پخش شدن رسوب در زمین‌های حاصلخیز کشاورزی و به هم زدن بافت خاک شده و برای کشاورزان مشکل ساز خواهد شد. نگاهی به آمارهای ارائه شده از سوی مراکز ذیربط نشان می‌دهد که در کشور ما نیز طی چند دهه اخیر، فرسایش خاک و به تبع آن مشکلات ناشی از این پدیده سیر صعودی داشته است. با توجه به اثرات سوء فرسایش و خسارات جبران‌ناپذیری که به حوضه های آبخیز و سازه‌های احداث شده توسط انسان وارد می‌سازد (۱۳) لزوم اجرای برنامه‌های اصولی و طرح های تحقیقاتی در جهت حفاظت خاک را امری بدیهی

می‌سازد، روش‌های مختلف کمی و کیفی جهت برآورد فرسایش و رسوب در حوضه های آبخیز به کار می‌رود، از جمله روش های مرسوم می‌توان به روش USLE<sup>۲</sup>، PSIAC<sup>۳</sup>، EPM<sup>۴</sup>، FAO<sup>۵</sup> اشاره نمود. محققین در نقاط مختلف، با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی حوضه ها و با انجام تصحیحات موردی، از روشهای مذکور برای برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب استفاده به عمل آورده‌اند

کریمی آذر- ۱۳۷۵، بررسی سیستم های مختلف فرسایش بر روی سازند میوسن و برآورد شدت فرسایش و میزان رسوب به روش EPM درحوضه آبخیز آبشور صورت پذیرفته است(۹) نیک جو محمد رضا - ۱۳۷۴، ارزیابی کاربرد مدل PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز دریانچای. (۱۴) کشاورز بخشایش - سال ۱۳۷۷ تحقیقی پیرامون فرسایش پذیری حوضه آبخیز اوجان چای در آذربایجان شرقی با استفاده از تئوری فازی و جداول دو بعدی انجام داده است.( ۸)

در حوضه های که دارای ایستگاه های اندازه‌گیری دبی، رسوب و میزان بارندگی هستند، استفاده از روش‌های کمی جهت برآورد رسوب حوضه ها کارآئی خوبی خواهند داشت، البته در صورتی که حوضه ها دارای ویژگی های عمومی یکنواختی باشند، راندمان نتیجه بالا خواهد رفت. در بعضی حوضه ها که لزوم انجام عملیات اجرائی و طرح های سدسازی ضروری به نظر میرسد مشاهده میشود که هیچ گونه ایستگاه اندازه‌گیری و آمار و ارقام وجود ندارد در این حوضه ها استفاده از روش‌های کیفی میتوانند برای حوضه‌هایی که قبلاً هیچ گونه مطالعه‌ای در آنها صورت نگرفته و در ضمن اطلاعات آماری مناسب وجود نداشته باشد، به عنوان یک روش مناسب و مفید برای تعیین مناطق حساس به فرسایش به کار برده شوند. با استفاده از مطالعات کیفی می‌توان مناطق حساس و بحرانی را شناسائی و روش‌های مناسب را جهت کنترل و کاهش فرسایش این نوع مناطق ارائه نمود و یا با استفاده از روش‌های کمی، میزان آورد رسوب از این مناطق را برآورد نمود. در مطالعه حاضر با استفاده از اطلاعات و نقشه‌های پایه موجود از منطقه یک روش کیفی برای ارزیابی فرسایش‌پذیری حوضه های آبخیز شمال تسوج در آذربایجان شرقی پیشنهاد و اجرا شده است. با توجه به اینکه درجه تاثیر هر کدام از عوامل موثر در پدیده فرسایش حوضه به درستی قابل ارزیابی نبود، از

<sup>2</sup>-Universal Soil Loss Equation

<sup>3</sup>-Pacific Southwest Inter-Agency Committee

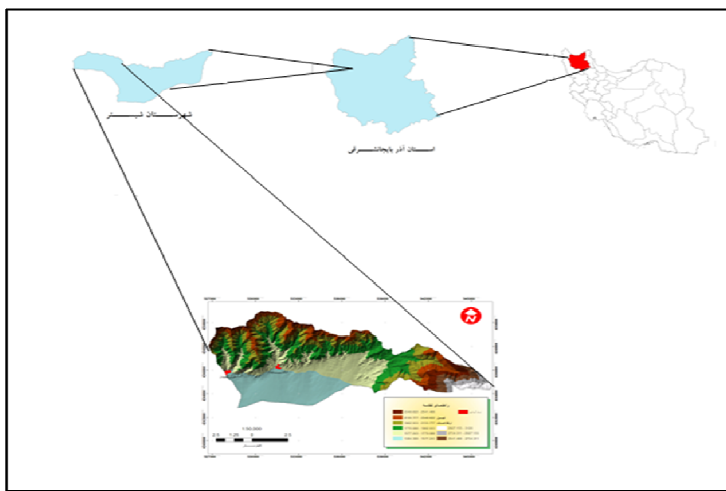
<sup>4</sup>-Erosion Potential Method

<sup>5</sup>-Food and Agricultural Organization

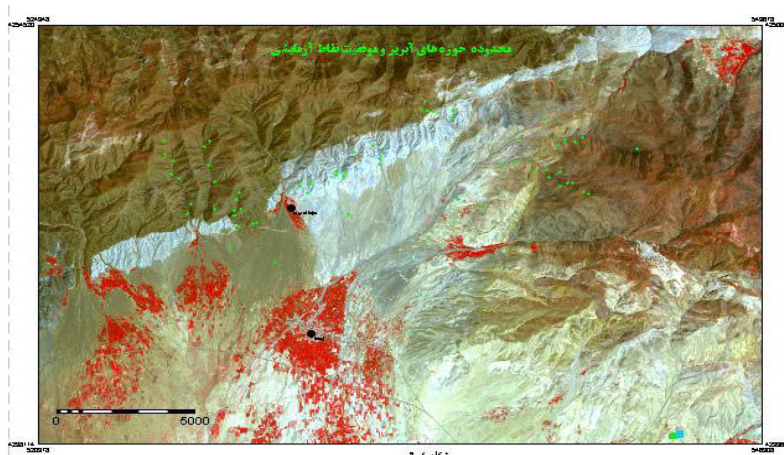
مجموعه‌های فازی برای وزن‌دهی به عوامل استفاده شد. جهت تهیه نقشه پهنه بندی فرسایش، لایه های اطلاعاتی و عوامل موثر بر فرسایش در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) قطع (cross) داده شدند، علاوه بر آن نقشه پهنه بندی با استفاده از روش فازی (FUZZY) نیز صورت پذیرفت و با روش قبلی مورد مقایسه قرار گرفت.

#### ویژگی های جغرافیایی منطقه:

منطقه مورد مطالعه بین طولهای جغرافیایی ۲۰' ۱۸° ۴۵ تا ۳۲' ۴۵° شرقی و عرضهای جغرافیایی ۲۰' ۳۸ تا ۳۰' ۲۴° شمالی در ۱۱۰ کیلومتری مرکز استان آذربایجان شرقی و در شمال دریاچه ارومیه قرار گرفته است. این منطقه شامل ده زیر حوضه بوده که مشرف به شهر تسوج و روستاهای انگشتجان و امستجان می باشد عرصه مطالعاتی از شمال به خطالراس ارتفاعات میشوداغ، از شرق به کوه علمدار، از غرب به روستای امستجان و چهرگان و از جنوب به دشت حاشیه دریاچه ارومیه محدود می گردد (شکل ۱) منطقه مورد مطالعه ۸۸/۸۷ کیلومتر مساحت دارد و حداکثر ارتفاع منطقه ۳۱۳۵ متر در قله کوه علمدار و حداقل آن ۱۳۸۰ متر از سطح دریا در خروجی حوضه می باشد. از نظر آب و هوایی منطقه تحت تاثیر توده های هوای قطبی بری از شمال، توده هوای قطبی بحری از شمال غرب و توده هوای حاره بحری از جنوب می باشد. نوع اقلیم براساس روش های مختلف طبقه بندی از نوع نیمه خشک است. و از نظر رژیم بارندگی تقریباً مدیترانه ای محسوب می گردد میزان بارش متوسط سالانه در حوضه آبخیز تسوج چای ۲۰۰ الی ۴۰۰ میلی متر و در حوضه های آبخیز انگشتجان و امستجان ۲۷۰ الی ۳۵۰ میلی متر میباشد. دمای میانگین سالانه ۴ الی ۱۲ درجه سانتیگراد است.

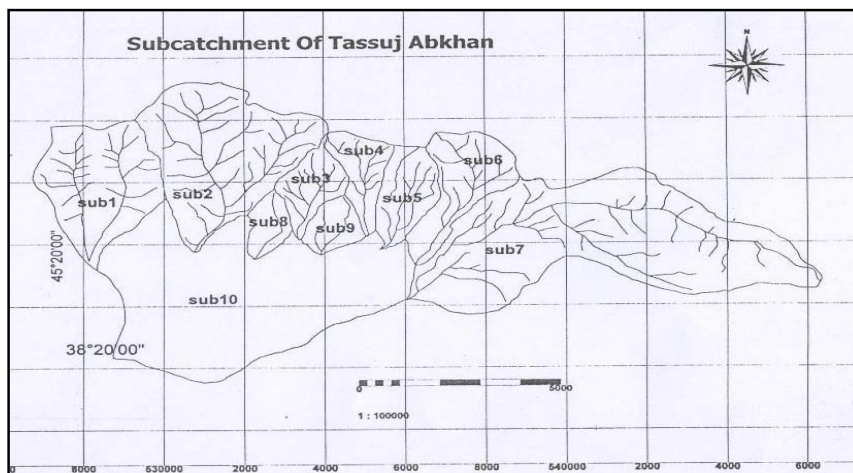


شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه های شمال آبخوانداری تسوج در تقسیمات کشوری



شکل ۲: موقعیت حوضه ها و نقاط آماری بر روی عکس ماهواره ای

ویژگیهای هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی حوضه های آبخیز: منطقه مطالعاتی به ده زیر حوضه یا واحد هیدرولوژیکی تقسیم بندی گردیده است. (شکل ۳). رودخانه های تسوج (۷) و امستجان (۱) و انگشتجان (۲) بعنوان رودخانه های اصلی در منطقه می باشد و کلیه زیر حوضه ها در نهایت در خروجی حوضه به زیر حوضه ۱۰ عرصه مطالعاتی وارد می گردند.



شکل ۳ - نقشه حوضه های نه گانه

جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه های آبخیز ۹ گانه

۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	زیر حوضه
۱/۹	۱/۶۶۲	۲۶/۲۷	۵/۶۱	۳/۶۳۴	۲/۸۸	۲/۸۹۵	۱۴/۵۹	۹/۸	مساحت $\text{km}^2$
۵/۴۱۵	۵/۵۲۵	۲۶/۹۱	۱۲/۱۸	۸/۳۷۴	۸/۵۴۵	۸/۴۴۶	۱۶/۶۴۲	۱۳/۳۰	محیط km
۲/۱	۲/۵	۱۲/۷	۵/۳	۴/۲	۳/۲	۲/۹	۵/۸	۴/۸	طول آبراهه
۱۸/۴۹	۱۹/۱۱	۱۲/۱۳	۱۱/۶۹	۱۵/۳۹	۲۱/۶۱	۲۱/۰۴	۱۲/۹۲	۱۷/۷۸	شیب آبراهه
۱۳	۱۵	۶۰	۳۱	۲۴	۱۷	۱۶	۳۲	۲۵	زمان تمرکز (دقیقه)
۱/۱	۱/۲	۱/۴۷	۱/۴۴	۱/۲۳	۱/۴۱	۱/۳۹	۱/۲۲	۱/۱۹	ضریب گراویلیوس
۰/۸۱	۰/۶۸	۰/۴۵	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۴۹	۰/۵۱	۰/۶۶	۰/۶۹	ضریب گردواری

۰/۷۴۰	۰/۵۸۱	۰/۴۵۵	۰/۵۰۴	۰/۵۱۱	۰/۵۹۸	۰/۶۶۱	۰/۷۴۲	۰/۷۳۵	ضریب تطویل
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------------

جدول ۲ - برآورد مقادیر دبی اوج سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف حاصل از مدل هیدرولوژیک ( $m^3/sec$ )

دوره بازگشت زیر حوضه	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	دبی ویژه برای دوره بازگشت ۲۵ ساله lit/sec/ha
۱	۰/۵۳	۲/۵	۵/۴۰	۱۰/۲۰	۱۸/۶۰	۲۶	۱۰/۳۸
۲	۰/۸۵	۳/۷	۸/۹	۱۶/۳۰	۲۶	۳۵	۱۱/۱۷
۳	۰/۱۴	۰/۶۷	۱/۵	۲/۹۳	۵/۸	۸/۴۳	۱۰/۱۲
۴	۰/۰۸	۰/۴۱	۰/۸۶	۱/۷۰	۴	۵/۷	۵/۹
۵	۰/۱۴	۰/۶۸	۱/۴۰	۲/۶۰	۴/۹	۷	۷/۱۵
۶	۰/۱۷	۰/۶۴	۱/۳۰	۲/۵۰	۵/۳	۸/۱	۴/۴۶
۷	۰/۸۹	۳/۹۵	۶	۱۱/۴۰	۲۰/۸	۲۹	۴/۳۴
۸	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۵	۰/۹۴	۲/۱	۳/۳	۵/۶۶
۹	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۳۶	۰/۸	۱/۴	۱/۸۹

#### مواد و روشها

ابتدا جهت انجام تحقیق از طریق کار میدانی و با استفاده از نقشه های توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و با تعیین روابط همبستگی و ضریب اطمینان موجود در بین متغیر های مورد نظر در نرم افزار SPSS استفاده شد و از طریق نرم افزار ILWIS در محیط GIS و نرم افزار Arc GIS نقشه های مورد نظر تهیه گردید. به طور کلی شیوه مطالعه تحقیق حاضر، به صورت اسنادی، مشاهده ای و کارمیدانی و تجربی و با بهره مندی از تکنیک های آماری بوده است. در این تحقیق از بین عوامل مختلف چهار عامل موثر تراکم آبراهه، کاربری اراضی، شیب توپوگرافی و زمین شناسی (سنگ شناسی سطحی) که نقش عمده در پدیده فرسایش دارند را مورد بررسی قرار می دهیم

#### تهیه نقشه ها و رقومی نمودن آنها :

زمین شناسی : جهت تهیه نقشه رقومی زمین شناسی از نقشه تهیه شده براساس عکس های هوایی منطقه و در نهایت کنترل آن با تصاویر ماهواره ای منطقه استفاده شده است، سپس با استفاده از نرم افزار ILWIS در محیط GIS رقومی گردیده است. نقشه زمین شناسی منطقه به ۱۴ واحد لیتولوژیکی تقسیم بندی شده است (شکل ۴) در جدول (۳) مساحت و درصد سطحی هر کدام از واحدها آمده است. نهشته ها از زمان پرکامبرین شروع گردیده و با یک سری نبوده های چینه ای به رسوبات عهد حاضر و آبرفت های رودخانه ای ختم میگردد.

پرکامبرین، سازند کهر (pk) : لیتولوژی آن شیل، شیل ماسه ای و ماسه سنگ برونزد است.

پالئوزوئیک: از این دوران نهشته های دوره های کامبرین، اردوویسین و پرمین مورد مشاهده قرار گرفتند

سازند باروت (PaEbt): از نظر لیتولوژی از شیل های رسی و سیلتی و ماسه ای دانه ریز میکا دار به همراه لایه های دولومیت و آهک میباشد. همچنین دارای نودولهای چرت میباشد.

سازند زاگون - لالون (PaZl): لیتولوژی آن ماسه سنگ کوارتزیتی، آرکوزی قرمز گلی رنگ، شیل ها و ماسه سنگهای قرمز بین لایه ای میباشد و قسمت بالای ماسه سنگهای قرمز رنگ لالون را کوارتزیت سفید قرار گرفته است.

سازند میلا - واحد دولومیت قهوه ای (Dm): در عرصه مطالعاتی فقط واحد دولومیت قهوه ای سازند فوق در ناحیه مورد مطالعه برونزد دارد

آهک روته پرمین (PaPr): آهک های خاکستری تیره روته در ناحیه شمال شرقی و نواحی شمالی روستای الماس گسترش یافته است

سنوزوئیک: در عرصه مورد مطالعاتی هیچ رخنمونی از نهشته های دوران دوم مزوزوئیک مشاهده نگردید. از رسوبات دوران سوم نیز بیشتر تشکیلات مربوط به دوره های الیگوسن میوسن و کواترنری میباشد.

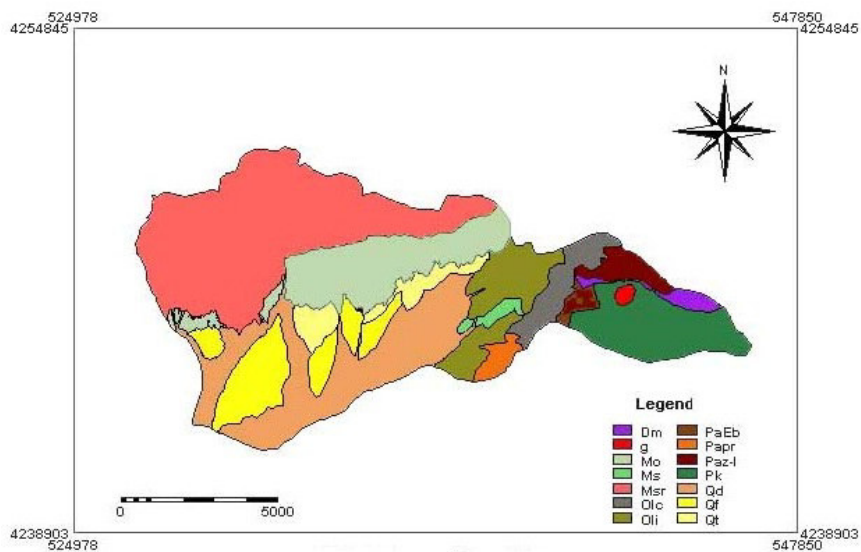
الیگوسن: در نواحی شمال منطقه یک سری نهشته های سبز خاکستری مشاهده می گردد، که لیتولوژی آنها شامل تناوبی از مارون - آهک، شیل، ماسه سنگ و در برخی موارد حاوی ژئیس بین تشکیلاتی می باشد. این رسوبات معادل قسمتی از تشکیلات سازند قم است سن این سازنده را مربوط به الیگوسن میانی - پایانی تامیوسن پیشین می دانند.

میوسن: سازند U.R.F (Msr)

بر روی واحدهای آهکی، مارنی سازند قم طبقات قرمز ماسه سنگی، شیلی قرار می گیرد سن واحدهای ماسه سنگی و شیلی قرمز رنگ میوسن زیرین تا فوقانی معادل سازند قرمز فوقانی (U.R.F) در نظر گرفته می شود. و قسمتهای عمده ارتفاعات شمالی را پوشانده است.

کواترنر (Qt, Qf, Qd)

رسوبات کواترنری در عرصه تحقیقاتی تسوج به سه بخش تقسیم می شود که عبارتند از تراسهای آبرفتی قدیمی، دشت های آبرفتی، مخروط افکنه ها و آبرفت های عهد حاضر.



شکل: ۴- نقشه زمین شناسی منطقه

جدول ۳- مساحت و درصد سطحی واحدهای زمین شناسی

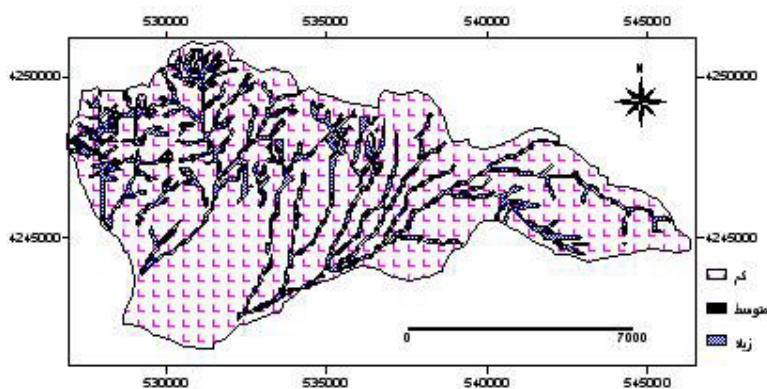
درصد سطحی	مساحت $km^2$	کلاس های زمین شناسی	درصد سطحی	مساحت $km^2$	کلاس های زمین شناسی
-----------	--------------	---------------------	-----------	--------------	---------------------

۲/۷۱	۳/۵	Olc کنگلومرا	۱۸/۱	۱۷/۰۶۷	رسوبات دشت آبرفتی
۱/۲۷	۱/۲	PapR آهک	۸/۸۷	۸/۳۶۵	رسوبات مخروط افکنه ای
۱/۲۴	۱/۱۷	Dm دولومیت	۳/۵۷	۳/۳۶	تراس های آبرفتی
۲	۱/۹	Pazl ماسه سنگ	۳۰/۵۶	۲۸/۸۱	ماسه سنگ با میان لایه های شیلی
۱/۹۶	۱/۹	PaEbt دولومیت ، چرت	۱۲/۶۷	۱۱/۹۵	Mo مارن ، آهک ، ژپس
۹	۸/۵	Pk شیست	۱/۸۶	۱/۸۱۴	Ms ماسه سنگ آهکی
۱/۳۴	۱/۳۱	G گرانیت	۶/۸۱	۶/۴۱	Oli آهک

نسبت تراکم آبراهه ها : این نسبت در واقع نسبت طول آبراهه به واحد سطح حوضه می باشد و معمولا با واحدهای  $\text{km}^2/\text{km}$  و یا  $\text{m}^2/\text{km}^2$  بیان می شود . جهت تهیه نقشه شبکه آبراهه ها ابتدا با استفاده عکس های هوایی هیدروگراف منطقه تهیه گردید پس از کنترل نقشه با تصویر ماهواره های رقومی گردید . جدول (۴) مساحت و درصد سطحی هر کدام از کلاس های نسبت تراکم را نشان می دهند. همچنین شکل (۵) نقشه شبکه آبراهه ها را نشان می دهد.

#### ۴- ویژگی نسبت تراکم و درصد سطحی کلاس های تراکم

درصد. سطحی	مساحت ( $\text{km}^2$ )	کلاس های دانسیته آبراهه
۱۱/۱۱	۱۰/۴۹	زیاد
۶/۸۸	۶/۵	متوسط
۸۲/۰۱	۷۷/۴۷	کم

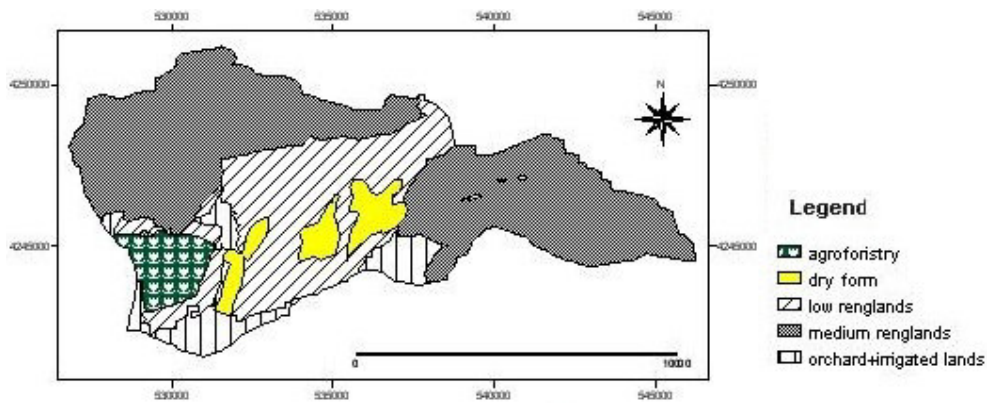


شکل ۵- نقشه شبکه آبراهه ها

کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی از عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده و با استفاده از نرم‌افزار ILWIS در پنج کلاس شامل اراضی دیم، باغات و زراعت آبی، مراتع فقیر، مراتع متوسط و مراتع مشجر تهیه گردید. جدول (۵) مساحت و درصد سطحی هر کدام از کلاسها و شکل (۶) نقشه کاربری اراضی حوضه های آبخیز شمال تسوج را نشان می دهد

۵- مساحت و درصد سطحی واحدهای کاربری اراضی

کلاس‌های کاربری اراضی	مساحت km <sup>2</sup>	درصد سطحی
مشجر	۴/۷۶	۵/۰۴
دیم	۵/۵۱	۵/۸۴
مراتع فقیر	۲۴/۶۴	۲۶/۱
مراتع متوسط	۵۱/۴۸	۵۴/۵۲



شکل ۶ - نقشه کاربری اراضی

شیب توپوگرافی

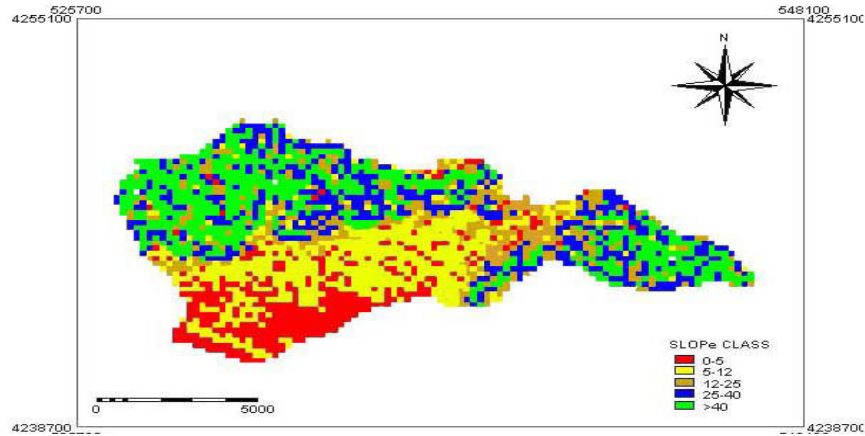
نقشه شیب در پنج کلاس شامل ۰-۵، ۵-۱۲، ۱۲-۲۵، ۲۴-۴۰ و بیشتر از ۴۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه های توپوگرافی تهیه گردید شکل (۷) جدول (۶) درصد سطحی و مساحت هر کدام از کلاسهای شیب را نشان میدهد که بیشتر از ۴۴ درصد منطقه از شیب بالای ۲۵ درصد برخوردار است .

۶- مساحت و درصد سطحی کلاس های شیب

کلاس های شیب	مساحت km <sup>2</sup>	درصد سطحی



۱۵/۸۸	۱۴/۹۶	۵-۰
۲۲/۷۶	۲۱/۴۴	۱۲-۵
۱۶/۰۵	۱۵/۱۲	۲۵-۱۲
۱۹/۴۵	۱۸/۳۲	۴۰-۲۵
۲۵/۸۶	۲۴/۳۶	بالتر از ۴۰



شکل ۷ نقشه شیب

تعریف مجموعه‌های فازی: زیر مجموعه فازی A از مجموعه مرجع X، عبارتست از مجموعه زوج‌های مرتب  $A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\}$  تابع  $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$  را تابع عضویت اعضای X در مجموعه A گویند. روابط و عملگرهای مجموعه‌های فازی شامل روابط و عملگرهای منطقی و عملگرهای حسابی میباشد که در این طرح از عملگر منطقی اجتماع و عملگر حسابی ضرب استفاده شده است.

اجتماع: اجتماع دو مجموعه فازی A و B به صورت یک مجموعه فازی با تابع عضویت زیر تعریف می‌شود.

$$A \cup B \rightarrow (\mu_{A(x)} \wedge \mu_{B(x)}) = \max(\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}) \quad x \in X$$

#### محاسبات فازی:

در این مرحله با توجه به نرخ<sup>۶</sup> و وزن<sup>۷</sup> در نظر گرفته شده برای عوامل مختلف، با استفاده از نظرات کارشناسی درجه اهمیت آن محاسبه می‌گردد. گفتنی است نرخ هر عامل بیانگر درجه اهمیت آن در مقایسه با عوامل دیگر بوده و وزن‌های در نظر گرفته شده بیانگر درجه اهمیت زیر گروه‌های هر یک از عوامل می‌باشند در این تحقیق از دو روش اجتماع مجموعه‌ها و ضرب مجموعه‌های فازی جهت تهیه نقشه حساسیت به فرسایش استفاده شده است.

جدول ۷- نرخ و وزن واحدهای لایه‌های اطلاعاتی

وزن عددی	عامل	نرخ	نام نقشه	وزن عددی واحدها	نوع عامل	نرخ	نام نقشه
-------------	------	-----	-------------	-----------------------	----------	-----	-------------

<sup>۶</sup>-Rate

<sup>۷</sup>-Weight

واحد‌های زمین‌شناسی (لیتولوژی) بسیار مهم A	0.65	واحد‌های شیب حوضه	مهم B	0.1	0-5	0.65	رسوبات دشت آبرفتی و آبراه‌های
				0.4	5-12	0.8	رسوبات مخروط افکنه‌ای منفصل
				0.7	12-25	0.8	تراس آبرفتی قدیمی
				0.8	25-40	0.8	ماسه سنگ با میان لایه شیلی
				0.8	>40	0.9	مارن، آهک، ژپس
				0.7	اراضی دیم باغات و	0.65	ماسه سنگ آهکی
				0.3	زراعت آبی	0.65	آهک
				0.7	مراتع فقیر	0.8	کنگومرا
				0.6	مراتع متوسط	0.1	آهک
				0.1	مراتع مشجر	0.1	ماسه سنگ
				0.1	کم	0.1	DM
				0.3	متوسط	0.01	Pa Ebt دولومیت، چرت
				0.1	زیاد	0.1	شیت
				0.6		0.01	G گرانیت

### اپراتور Fuzzy-or

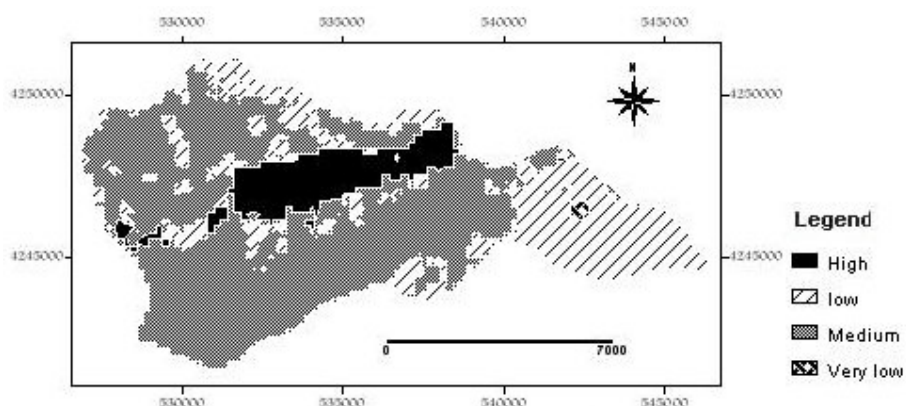
این اپراتور در واقع نشان دهنده اجتماع مجموعه‌هاست که حداکثر درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند و در تجزیه و تحلیل موثرترین عامل در فرسایش‌پذیری نقاط می‌تواند نتیجه مطلوبی ارائه کند. حساسیت به فرسایش کم، متوسط و زیاد براساس این اپراتور طبق فرمول زیر تهیه خواهد گردید. شکل ۸ نقشه تهیه شده بر اساس این فرمول را نشان می‌دهد.

$$\text{Erosion FO} = \text{Max} (\text{Max} (\text{DD FU}, \text{LU FU}), \text{Max} (\text{Max} (\text{SI FU}, \text{GEO FU}))$$

Erosion FO = فرسایش‌پذیری حوضه ها براساس مدل Fuzzy OR

DD FU = دانسیته آبراهه حوضه ها      LU FU = کاربری اراضی حوضه ها

SL FU = شیب توپوگرافی حوضه ها      GEOFU = زمین‌شناسی حوضه ها

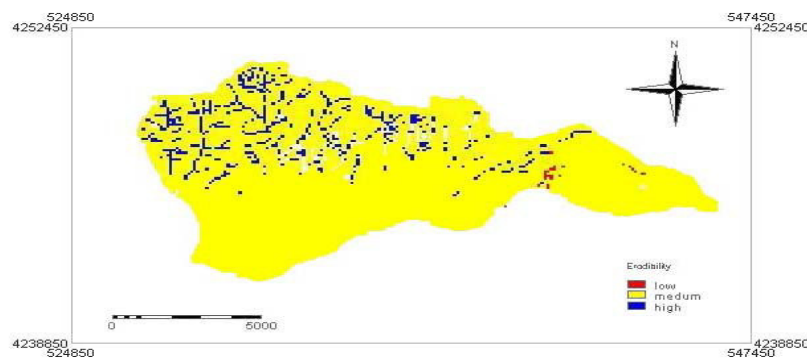


شکل ۸- نقشه حساسیت به فرسایش منطقه بر اساس اپراتور اجتماع فازی

اپراتور ضرب جبری فازی (Fuzzy algebraic product)

در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضاء در مجموعه‌های فازی میباشد. این اپراتور باعث میشود، تا در نقشه خروجی اعداد کوچکتر شده و به سمت صفر میل کنند. به همین دلیل این اپراتور دارای حساسیت بالا برای حداقل‌هاست. براساس فرمول زیر نقشه حساسیت به فرسایش کم، متوسط و زیاد براساس این اپراتور طبق فرمول زیر تهیه خواهد گردید (شکل ۹).

$$Erosion\ FA = DDFU * LUFU * SLFU * GEOFU$$



شکل ۹- نقشه حساسیت به فرسایش منطقه بر اساس اپراتور ضرب فازی

#### نتیجه گیری و پیشنهادات:

جهت بررسی های آماری از حدود ۵۸ ایستگاه نمونه برداری و همچنین در بررسی های فرسایش پذیری سازندهای زمین شناسی از ۶۲ ایستگاه استفاده شده است و عوامل چهارگانه مورد نظر جهت پهنه بندی فرسایش در این ایستگاهها بررسی و در نقشه های تهیه شده فرسایش پذیری مورد استفاده قرار گرفته اند. همچنان که در جدول ۸ ضمیمه آمده است در نهایت با تاثیر عوامل پهنه بندی و استفاده از روش های Cross نقشه های رقومی عوامل چهارگانه دو نقشه پهنه بندی فرسایش پذیری تهیه شده است، که نقشه (E.F.O) یا نقشه تهیه شده براساس تئوری فازی و استفاده از عملگر منطقی اجتماع و نقشه (E.F.A) یا نقشه تهیه شده براساس تئوری فازی و استفاده از عملگر حسابی در این راستا تهیه شدند.

پس از تهیه نقشه های فوق با روی هم قرار دادن لایه اطلاعاتی موقعیت ایستگاه ها و هر یک از نقشه های سه گانه تهیه شده وضعیت فرسایش در هر کدام طبق جدول ۸ بدست آمده است لازم به ذکر است در این جدول علامت L (Low) به معنی فرسایش پذیری کم، M (Medu) به معنی فرسایش پذیری متوسط و H (High) به معنی فرسایش پذیری بیشتر یا زیاد میباشد سپس عملیات صحرائی ایستگاه ها انجام گرفته و میزان انطباق هر کدام از نقشه ها در روی زمین بررسی شده و با علامت + و - مورد تائید و رد قرار گرفته اند. این بررسی ها نشان می دهد که در نهایت میزان انطباق در نقشه E.F.D به میزان ۶۶ درصد و در نقشه E.F.A در حدود ۶۰ درصد می باشد نتایج فوق نشان می دهد که میزان انطباق و در نتیجه دقت روش فازی بیشتر است لازم به ذکر است که در بررسی های صحرائی ایستگاه ها از فرم های مخصوص فرسایش استفاده شده است. در نهایت وضعیت صحرائی نقطه فرسایش بدست آمده است و براساس آن میزان انطباق در هر کدام از نقشه ها استخراج شده است.

در نواحی شمال تسوج نوع سازندهای زمین شناسی موثرترین عامل در جهت کنترل و یا شدت فرسایش بوده و پس از آن دانسیته آبراهه یا میزان تراکم زهکشی بیشترین تاثیر را دارد چرا که در مناطق مارنی و با دانسیته آبراهه بالا و متوسط حتی اگر شیب کم هم داشته باشیم و یا از نظر کاربری اراضی در حد متوسط باشد باز هم ما فرسایش شدید را خواهیم داشت.

☑ با توجه به اینکه طرح ملی آبخوانداری در محدوده حوضه‌های شمال تسوج به اجرا درآمده است، همچنین مخازن جمع‌آوری سیلاب در نزدیکی خروجی این حوضه‌ها به دشت واقع شده‌اند پیشنهاد می‌گردد در مناطق با فرسایش شدید تا حد ممکن میزان دانسیته آبراهه کاهش داده شده و از ایجاد مناطق بدلندی و هزار دره‌ای جلوگیری شود و در کل اولویت کاری با نواحی با فرسایش‌پذیری بیشتر که در نقشه‌ها مشخص شده باشد.

☑ با توجه به وضعیت فرسایش در منطقه، در جهت جلوگیری از آن، همچنین حفاظت از آبهای زیرزمینی منطقه که در معرض هجوم سفره‌آب شور ساحلی هستند پیشنهاد می‌گردد در مناطقی که عملیات حفاظتی به اجرا در می‌آید امکانات نفوذ آب در خاک زیرین و در نهایت به منطقه غیر اشباع و اشباع فراهم گردد.

جدول ۸ - عوامل بررسی شده برای فرسایش، وضعیت فرسایش و درصد انطباق در ایستگاه‌های اندازه‌گیری

وضعیت فرسایش در نقشه (E.F.A)	وضعیت فرسایش در نقشه (E.F.O)	عوامل بررسی شده برای فرسایش					سنگ شناسی	رتبه
		توصیف فرسایش	دانشیه آبراهه	کاربری اراضی	درصد شیب	سنگ		
+H	-M	متوسط	H	متوسط	20-45	Msr	۱	
+M	+M	متوسط	L	متوسط	>45	Msr	۲	
+H	-M	متوسط	H	متوسط	25-40	Msr	۳	
+M	+M	متوسط	M	متوسط	0-5	Msr	۴	
-H	+M	متوسط	H	متوسط	25-40	Msr	۵	
+H	-M	متوسط	H	متوسط	>45	Msr	۶	
-H	+M	متوسط	H	متوسط	>45	Msr	۷	
+H	-M	متوسط	H	متوسط	>45	Msr	۸	
+M	+M	متوسط	L	متوسط	>45	Msr	۹	
+M	+M	متوسط	L	متوسط	12-25	Msr	۱۰	
-M	-M	متوسط	L	متوسط	12-25	Msr	۱۱	
-H	+M	متوسط	H	متوسط	>45	Msr	۱۲	
-M	-M	متوسط	L	متوسط	>45	Msr	۱۳	
-M	-M	متوسط	L	متوسط	5-12	Msr	۱۴	
.	.	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	.	.	
-M	-L	کم	L	مشجر	0-5	Qf	۶۱	
+M	+M	متوسط	L	متوسط	12-25	Dm	۶۲	
37 25 60%	41 21 66%	تعداد نقاط مثبت تعداد نقاط منفی درصد انطباق						
H= HIGH M= MEDIUM L= LOW								

## فهرست منابع

- ۱- احمدی، حسن، ۱۳۷۴، ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱، انتشارات دانشگاه تهران،
  - ۲- حبیب‌زاده، احد، ۱۳۷۳، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی صوفیان-تسوج، دانشگاه تبریز، پایان‌نامه کارشناسی.
  - ۳- حبیب‌زاده، احد، ۱۳۸۲، بررسی فرسایش پذیری سازندهای زمین‌شناسی در حوضه های آبخیز شمال تسوج با استفاده از تئوری فازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
  - ۴- درویش‌زاده، علی، ۱۳۷۰، زمین‌شناسی ایران، انتشارات نشر امروز تهران.
  - ۵- رفاهی، حسینقلی، ۱۳۷۵، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
  - ۶- سلطانی، محمدجعفر، ۱۳۷۵، ارزیابی به منظور مکان‌یابی عرصه‌های مستعد اجرای عملیات پخش سیلاب در محیط GIS.
  - ۷- طاهری، سید محمود، آشنائی با نظریه مجموعه‌های فازی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
  - ۸- کشاورز بخشایش، محمد، ۱۳۷۷، بررسی فرسایش‌پذیری حوضه آبخیز اوجان چای (بستان‌آباد-آذربایجان شرقی) دانشگاه تربیت مدرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی.
  - ۹- کریمی آذر، سجاد، ۱۳۷۵، بررسی سیستم‌های مختلف فرسایش بر روی سازند میوسن و برآورد شدت فرسایش و میزان رسوب به روش EPM در حوضه آبخیز آبشور.
  - ۱۰- مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام آذربایجان شرقی، گزارش تکمیلی زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی تسوج، ۱۳۷۶.
  - ۱۱- مرکز تحقیقات منابع طبیعی آذربایجان شرقی، گزارش مطالعات مقدماتی ایستگاه تحقیقاتی پخش سیلاب تسوج، ۱۳۷۵.
  - ۱۲- مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام آذربایجان شرقی، گزارش تکمیلی هیدرولوژی تسوج ۱۳۷۹.
  - ۱۳- معاونت آبخیزداری، دفتر مطالعات، فرسایش آبی در حوضه‌های آبخیز کشور، وزارت جهاد سازندگی، ۱۳۷۴.
  - ۱۴- نیک‌جو، محمد رضا، ۱۳۷۴، ارزیابی کاربرد مدل PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز دریانچای.
- 15- Jvang, C.H. yvin , yao Jhi and D.H. lee. Stability analysis at existing slopes considering uncertainty In Engineering geology. 1998. pp:111-122.