نشریه علمی- پژوهشی جغرافیاوبرنامه‌ریزی (دانشگاه تبریز)،سال ۱۵، شمارهٔ ۳۳ پاییز ۱۳۸۹،صفحات ۱۷۳-۱۴۷

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۸/۵
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۸۸/۳/۲۴

بررسی فرسایش‌پذیری اراضی در حوضهٔ آبخیز بجوشن چای با استفاده از تئوری فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی

شهرام روستایی[۱]
محمدرضا نیک‌جو[۲]
احد حبیب‌زاده[۳]

چکیده

فرسایش خاک یک فرایند پیچیده و خطر بالقوهٔ ژئومورفولوژیکی است و مقدار آن بازتابی از نحوهٔ مدیریت زمین و شاخص توسعه‌یافتگی کشورها به شمار می‌رود. برای نیل به مدیریت درست زمین، لازم است پهنه‌های حساس به فرسایش در سطح حوضه‌ها شناسایی شوند سپس متناسب با توانایی‌ها و محدودیت‌های زمین، بهره‌برداری از آن صورت گیرد. مجموعهٔ اطلاعات ورودی مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: لیتولوژی، کاربری فعلی اراضی و پوشش گیاهی، شیب توپوگرافی و تراکم زهکشی آبراهه‌ها. حوضهٔ آبخیز بجوشن چای به دلیل داشتن شرایط ویژهٔ فرسایشی، به عنوان منطقهٔ مورد مطالعه در تحقیق حاضرانتخاب شده است. مطالعهٔ ماهیت و ساختار منطق فازی و انطباق نقشه‌های خروجی از عملگرهای فازی با واقعیت‌های فرسایشی به دست آمده از مطالعات میدانی حوضه نشان می‌دهد که در پهنه‌بندی اراضی حساس به فرسایش، عملگر جمع جبری فازی به دلیل بارز نمودن پهنه‌های با حساسیت فرسایشی بالا، از راندمان و کارایی بالاتری نسبت به عملگر ضرب فازی برخوردار است.

واژگان کلیدی: فرسایش، پهنه‌بندی، تئوری فازی، حوضهٔ آبخیز بجوشن چای، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۱ـ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز. Email: roostaei@tabrizu.ac.ir.
۲ـ دانش‌آموخته دکتری جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی) گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز.
۳ـ کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌شرقی.

مقدمه

سطح خارجی کرهٔ زمین به عنوان یک سیستم پویا، همواره دستخوش فرآیندهایی است که چهره آن را به تدریج و به طور دایم دگرگون می‌سازد. در این فرایند، خاک به عنوان خارجی ترین پوشش سطح زمین تحت تأثیر این تغییرات قرار دارد به طوری که ممکن است سبب افزایش روند خاکزایی[1] شده و یا مقدمات از بین رفتن آن را فراهم سازد.

فرسایش خاک که به دلیل خاصیت تشدیدشوندگی و اثرات چندجانبه آشکار و نهان زیست محیطی آن، به سرطان زمین[2] شهرت یافته (سی‌اس آیرو، ۲۰۰۳) یک فرایند پیچیده و خطر بالقوهٔ ژئومورفولوژیکی است و مقدار آن بازتابی از نحوهٔ بهره‌برداری از زمین و شاخص توسعه‌یافتگی کشورها به شمار می‌رود. شرایط محیطی و مدیریت نادرست زمین به آسانی می‌تواند به بروز نشانه‌های[3] تخریب زمین و فرسایش خاک منتهی شود که نمونهٔ بارز آن ظهور نشانه‌های فرسایش صفحه‌ای و شیاری در سازند مارنی میوسن حوضهٔ آبخیز سفیدرود (احمدی، ۱۳۵۸، ۱۳) و نشانه‌های سازند لسی کواترنر حوضهٔ آبخیز اترک در منطقهٔ مراوه‌تپه استان گلستان (اونق، ۱۳۷۴) را نام برد.

در طی سال‌های متمادی تلاش‌های زیادی صورت گرفته است تا تلفات خاک در اراضی شیب‌دار برآورد و پهنه‌های فرسایشی شناسایی شوند و در نهایت با تنظیم برنامه‌های مدیریت زمین، حاصلخیزی خاک حفظ شود که برای نیل بدین هدف، روش‌های متعددی ابداع گردید.

این روش‌ها در ابتدا کیفی و مبتنی بر یک شاخص منفرد بود. با افزایش تعداد داده‌ها، معادلاتی مبتنی بر شاخص‌های متعدد به وجود آمدند. مطالعه بر روی پارامترهای مختلف و تعمیم آن به حوضه‌های مختلف، منجر به ابداع مدل‌ها و روش‌های تجربی متعددی همچون مدل USLE، FAO، PSIAC و EPM شد (فتحی، ۱۳۸۵، ۶۶).

1- Pedogenesis
2- Land Cancer
3- Syndrome

پروش‌ها و مدل‌های ذکر شده که بیشتر از منطق‌های دو ارزشی تبعیت می‌کردند به دلیل مطلق‌گرایی و عدم انعطاف‌پذیری، با واقع‌گرایی لازم همراه نبودند بنابراین جهت دستیابی به انعطاف‌پذیری بیشتر و تحلیل‌های واقع‌بینانه‌تر، در دهه‌های اخیر، محققان اقدام به تعریف روش‌های مبتنی بر منطق‌های چند ارزشی کرده‌اند که تئوری فازی[1] از جملهٔ آنها است.

منطق چند ارزشی فازی برخلاف منطق‌های دو ارزشی که به بیان قطعیت‌ها می‌پردازند، بیانگر عدم قطعیت است. در این منطق برخلاف منطق‌های دو ارزشی که حاصل عبارت صورت گزاره‌ای در آن بازای هر ارزش‌دهی به متغیرهای آن، محدود به دو مقدار صفر و یک است، حاصل صورت گزاره‌ای بازای مقادیر مختلف از ارزش‌دهی به متغیرهای آن، مقادیری نامحدود بین صفر و یک خواهد بود. از این رو حداکثر انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری را می‌تواند مهیا سازد.

از جمله کاربردهای تئوری فازی در زمینهٔ مطالعات ژئومورفولوژی و فرسایش، می‌توان به تحقیقات در زمینهٔ ناپایداری شیب‌ها توسط لی و شی (۱۹۸۹)، انگ، لی، شی (۱۹۹۲، ۷۵) و در ایران نیز به تحقیقات محققین معدودی چون شریعت جعفری (۱۳۸۶، ۷۲)، فتحی ملک‌کیان (۱۳۸۵، ۶۱)، غیومیان (۱۳۸۵، ۸۰)، مهدوی‌فر (۲۰۰۰)، قنواتی (۱۳۸۶، ۴۴)، اشقلی فراهانی (۱۳۸۰) و فهمی (۱۳۸۵، ۳۴) اشاره کرد.

در این تحقیق به منظور شناسایی پهنه‌های حساس به فرسایش در حوضهٔ آبخیز بجوشن چای و با در نظر گرفتن این فرض که عوامل ژئومورفیکی چون سنگ‌شناسی، شیب توپوگرافی، کاربری فعلی اراضی و پوشش زمین و تراکم شبکه‌های آبراهه‌ای در ایجاد پهنه‌هایی با قابلیت فرسایشی متفاوت، نقش دارند از مجموعه عملگرهای ضرب و جمع جبری فازی استفاده شده و توانمندی هر یک از این عملگرها در شناسایی پهنه‌های فرسایش‌پذیر مورد بررسی قرار گرفته است.

1- Fuzzy Set Theory

منطقهٔ مورد مطالعه

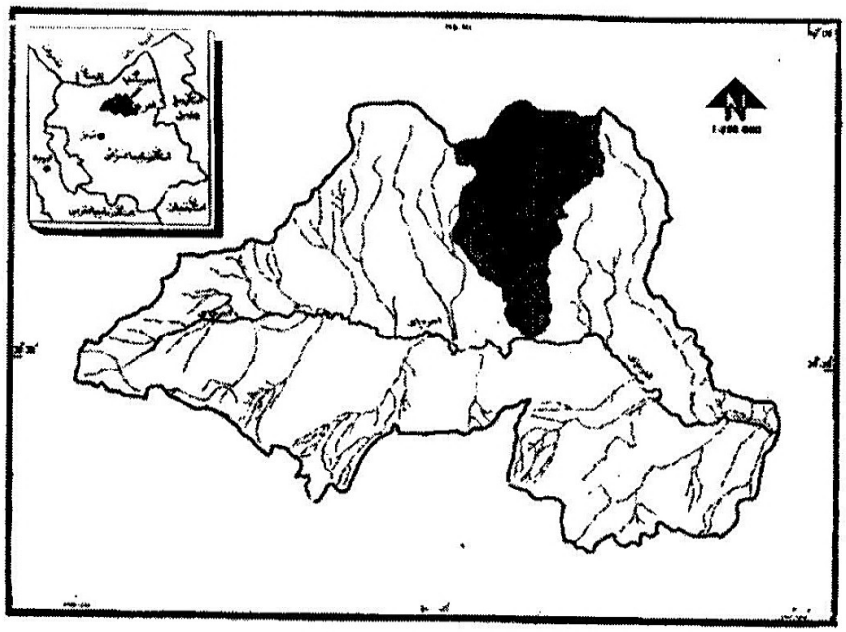
حوضهٔ آبخیز بجوشن چای با مساحتی برابر ۱۲۱/ ۶۷۳ کیلومترمربع در شمال‌غربی شهرستان اهر در استان آذربایجان‌شرقی بین مختصات جغرافیایی "۳۴ و' ۳۹ و° ۴۶ تا "۱۶ و '۵۰ و °۴۶ طول شرقی و "۲۲ و'۲۱ و °۳۸ تا "۳۶ و'۳۹ و °۳۸ عرض شمالی واقع شده است.

حداکثر ارتفاع این حوضه ۲۶۴۰ متر در محدودهٔ شمال حوضه و حداقل آن ۱۶۰۰ متر در محل خروجی حوضه واقع شده است. میانگین وزنی ارتفاع در این حوضه نیز ۲۰۶۴ متر می‌باشد.

شیب متوط وزنی حوضه ۲۴/۷۷ درصد و نسبت ناهمواری آن ۱/۷۸ است. بیشترین مساحت حوضه یعنی ۴۷/۳۱ درصد از آن در محدوده شیب ۳۰-۱۵ درصد قرار گرفته است.

رودخانهٔ اصلی این حوضه بجوشن‌چای است که از ارتفاعات شمالی حوضهٔ سرچشمه گرفته و در جهت‌شمالی ـ جنوبی جریان می‌یابد و نهایتاً به اهرچای می‌ریزد. طول این رودخانه ۲۷/۹ کیلومتر، شیب خالص و ناخالص‌آن به ترتیب ۲/۴۳ و ۳/۳۲ درصد و ارتفاع مبدأ رودخانه اصلی ۲۵۲۰ متر می‌باشد.

شکل حوضه براساس معیارهای سنجش شکل، از نوع کشیده و طرح شبکهٔ آبراهه‌ای آن از نوع شاخه درختی است. شکل ۱ موقعیت منطقهٔ مطالعاتی را نسبت به رودخانه اهر نشان می‌دهد.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضهٔ آبخیز بجوشن چای نسبت به رودخانه

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منابع تحقیق

پیش‌بینی و برآورد توان فرسایشی حوضه‌های آبخیز و پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش، مستلزم تعیین برآیند اثر عوامل موثر در وقوع فرسایش با استفاده از مدل‌ها و روش‌های مناسب و دقیق است. در این تحقیق بررسی و تحلیل پتانسیل فرسایشی حوضه در دستگاه منطقی چند ارزشی فازی انجام شده است .

در تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی، از منابع و نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی، ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی، کاربری فعلی اراضی و پوشش گیاهی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شده و در نهایت اطلاعات حاصله از پیمایش‌های میدانی، اصلاح و تکمیل شده است.

روش تحقیق

فرض لازم در تحقق اهداف پهنه‌بندی اراضی حساس به فرسایش در منطقه، انطباق عوامل ورودی مدل با شرایط طبیعی و محیطی حوضه است. در این تحقیق تحلیل و بررسی توان فرسایشی حوضه براساس چهار عامل ژئومورفیک موثر در فرسایش شامل: سنگ‌شناسی، کاربری فعلی اراضی و پوشش گیاهی، شیب توپوگرافی و تراکم شبکه آبراهه‌ای حوضه انجام شده است.

بعد از تهیهٔ داده‌ها و منابع تحقیق، کلیهٔ لایه‌های اطلاعاتی در فرمت‌های برداری و رستری در سیستم اطلاعات جغرافیایی یا GIS ذخیره می‌شوند تا در انجام تحلیل‌های تئوری مجموعه‌های فازی مورد استفاده قرار گیرند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط GIS در طی مراحل زیر انجام می‌پذیرد:

الف: ساختن پایگاه اطلاعات و داده‌ها و ساماندهی فضایی لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در سیستم شامل: سنگ‌شناسی، کاربری فعلی اراضی و پوشش گیاهی، شیب توپوگرافی و تراکم شبکه آبراهه‌ای در قالب مدل‌های رستری و در نهایت برداری.

ب: مرحله پردازش داده‌ها که شامل طبقه‌بندی و استخراج نقشه‌های مشتق شده از لایه‌های مختلف و با استفاده از مدل‌های تعریف شده در سیستم می‌باشد. در این مرحله ممکن است نقشه‌های خروجی از تلفیق دو یا چند نقشهٔ ورودی در سیستم حاصل شده باشند.

ج: مرحلهٔ وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی سازماندهی شده براساس روش‌های تعریف شده در منطق فازی.

د: ترکیب و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شده و مدل‌سازی تکمیلی به روش عـملگرهای ضرب و جمع منـطق فازی که در سال ۱۹۹۱ به عنوان روش‌های موفق در ترکیب مجموعه اطلاعات فازی معرفی شده‌اند (گریم اف، ۱۳۷۹) و در نهایت تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی حوضه از نظر مقاومت در مقابل عوامل فرساینده می‌باشد.

بررسی عوامل ژئومورفیک مؤثر در فرسایش حوضه

بررسی‌های زمین شناسی و سنگ‌شناسی

در منطقهٔ مطالعاتی به دلیل حرکات متعدد زمین‌ساختی و سپری شدن دوره‌های مختلف فرسایش و رسوب گذاری، حضور فرم‌های مختلف ساختاری مثل گسل‌ها و پهنه‌های خرد شده و نیز فرایندهای مختلف مورفوژنز بسیار بارز است. این منطقه، محدودهٔ وسیعی از سازندهای زمین‌شناسی از دورهٔ کرتاسه تا کواترنر را در برمی‌گیرد.

از ویژگی‌های بارز زمین‌شناسی حوضه می‌توان به وجود پهنه‌های وسیعی از سنگ‌های آتشفشانی عمدتاً با ترکیب بازیک، آندزیت و تراکی آندزیت، کوارتز دیوریت پرفیری، گرانیت و گرانو دیوریت، داسیت، تراکیت و ایگنمبریت اشاره کرد. نواحی جنوبی حوضهٔ اغلب از سازندهایی با ویژگی گنگلومرایی نیمه‌سخت تا سست می‌باشد که گه‌گاه در تناوب با خاکسترهای آتشفشانی جوش نخورده است. این سازند به صورت بالقوه، از توانایی فرسایشی بالایی در مقابل عوامل فرساینده بر خوردار می‌باشد.

بیشترین مساحت حوضه یعنی حدود ۳۵/۵۴ درصد، از سازندهای دوران چهارم پوشیده شده است که ۲۶/۹ درصد آن توسط گدازه‌های آتشفشانی و ۹/۶۴ درصد آن به وسیلهٔ

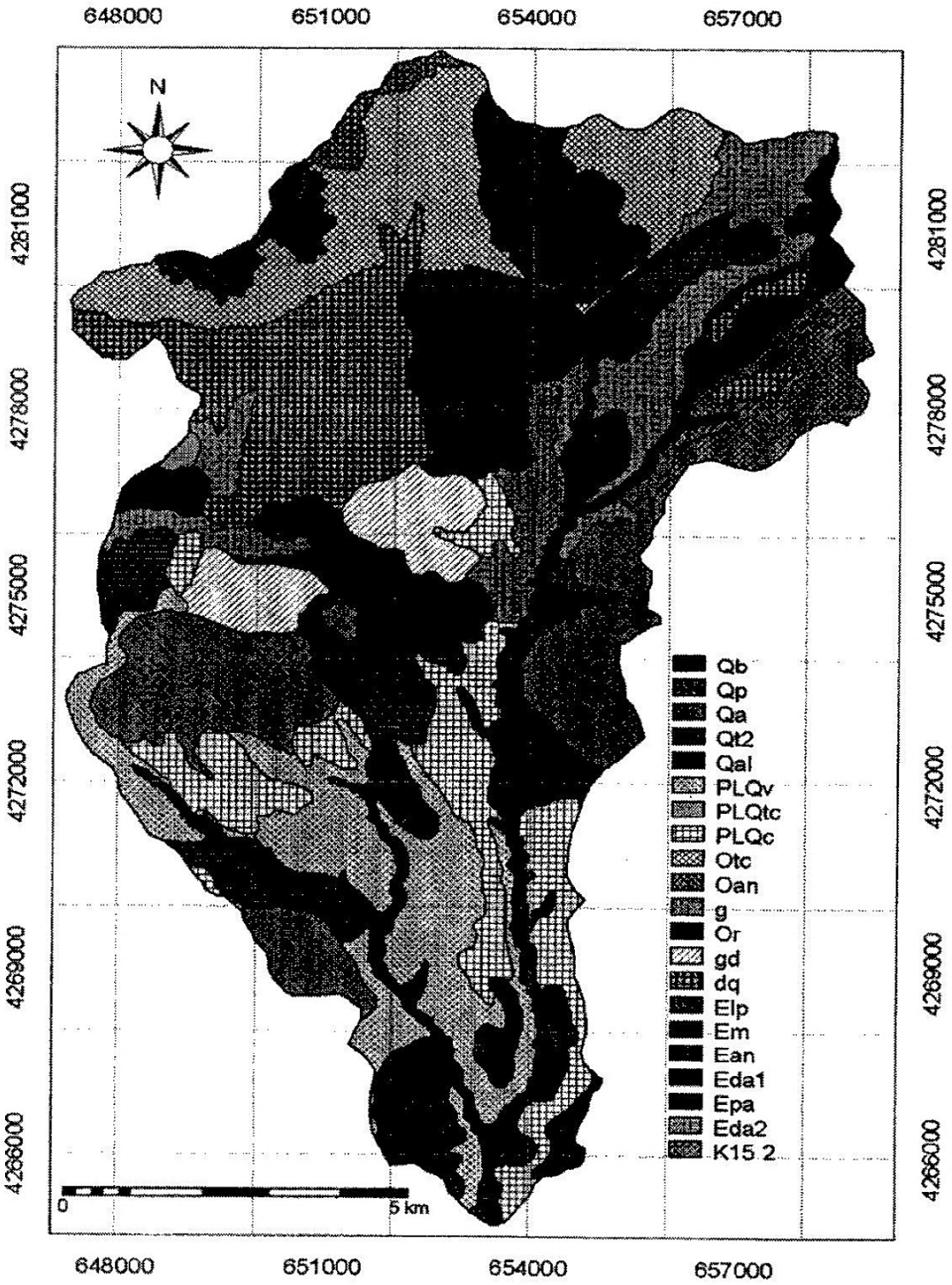
دشت‌های آبرفتی با رخساره‌های سیلت، ماسه سنگ، گنگلومرا و رس و آبرفت‌های رودخانه‌ای عهد حاضر متشکل از شن، سیلت و ماسه سنگ پوشیده شده است.

وجود ارتباط تنگاتنگ بین پارامترهایی چون نوع سنگ، درجهٔ سختی، خردشدگی، درزها و شکاف‌ها با فرایندهای پریگلاسیری و اشکال مختلف هوادیدگی، سبب ظهور واحدهای سنگ شناسی متنوع از منظر حساسیت در مقابل عوامل تخریب شده است.

جدول ۱ واحدهای چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی حوضهٔ آبخیز بجوشن چای و شکل ۲ چگونگی پراکنش آن را در سطح حوضه نشان می‌دهد (سازمان زمین‌شناسی، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان و ۱:۲۵۰۰۰۰ اهر).

جدول (۱) واحدهای چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی حوضه آبخیز بجوشن چای

دوره		واحد چینه‌شناسی	واحد سنگ‌شناسی	مساحت به کیلومترمربع
کواترنر		Q^{b}	سنگ‌های آتشفشانی بازیک	۱۵/۷۷۰
		Q^{p}	گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب پیروکسن آندزیت	۱۲/۵۹۰
		Q^{a}	گدازه‌های آتشفشانی آندزیتی	۳/۱۱۵
		Q^{12}	دشت‌های آبرفتی جوان متشکل از رس، سیلت و قلوه‌سنگ	۴/۷۱۹
		Q^{al}	آبرفت‌های رودخانه‌ای عهدحاضرمتشکل‌ازشن،سیلت‌وماسه‌سنگ	۶/۵۵۶
پلیوسن		PLQ^{v}	مارن، سیلت و برش ولکانیکی	۱۱/۹۱۶
		PLQ^{tc}	گنبدهای ولکانیکی با ترکیب تراکیت تا تراکی آندزیت	۰/۲۱۶
		PLQ^{c}	سنگ‌های آتشفشانی عمدتا از گنگلومرا، سیلت و مارن	۱۰/۶۷۷
الگیوسن	سنگ‌های خروجی	O^{tc}	روانه‌های گدازه‌ای با ترکیب تراکی آندزیتی	۱۲/۰۴۲
		O^{an}	گدازه‌های آندزیتی	۰/۹۴۴
	سنگ‌های نفوذی	g	گرانیت و گرانودیوریت	۲/۴۲۱
		O^{r}	سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی	۰/۷۸۷
		gd	گرانو دیوریت	۴/۴۴۸
		dq	دیوریت وکوارتز دیوریت پرفیری	۱۱/۶۴۷
ائوسن		E^{LP}	آندزیت و لاتیت مگاپروفیتی	۰/۲۲۸
		E^{m}	مارن، ماسه سنگ و توف اسیدی	۱/۸۳۲
		E^{an}	آندزیت پرفیری	۱/۹۳۰
		E^{dal}	سنگ‌های ریولیتی و کوارتز ریولیتی	۵/۶۸۶
		E^{pa}	سنگ‌های آتشفشانی بازیک و پیروکسن آندزیت	۵/۱۱۰
		E^{daz}	داسیت پرفیری، تراکیت و ایگنمبرایت	۷/۸۷۶
کرتاسه		$K^{15}{}_{2}$	سنگ آهک	۱/۱۶۴



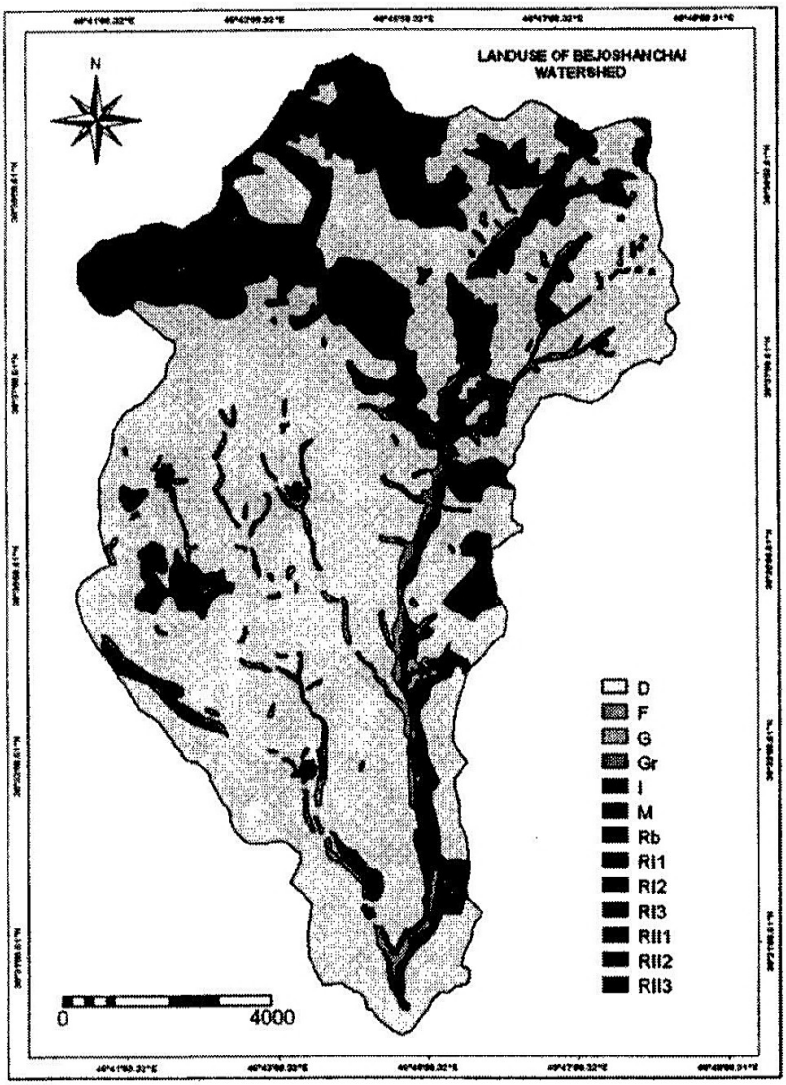
شکل (۲) واحدهای چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی حوضه آبخیز بجوشن چای (به جدول ۱ مراجعه شود)

بررسی کاربری فعلی اراضی و پوشش گیاهی

جهت تهیهٔ نقشهٔ کاربری فعلی اراضی و تیپ‌های گیاهی از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست استفاده شـده است. تصاویر تهیه شـده، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و نقاط کنترل زمینی، زمین مرجع شدند سپس با استفاده از تکنیک‌های آشکارسازی و تجزیه و تحلیل تصاویر، شاخص پوشش گیاهی NDVI تهیه شد. در نهایت انواع پوشش زمین در محیط GIS و با استـفاده از نـرم‌افزار ILWIS از هم تفـکیک و نقشهٔ کاربرـی اراضی و تیپ‌های گیاهی استخراج گردید (جدول ۲ و شکل ۳).

جدول (2) انواع کاربری اراضی و وسعت آن در حوضهٔ آبخیز بجوشن چای

ردیف	نوع کاربری اراضی	علامت مشخصه در روی نقشه	مساحت به کیلومتر مربع
۱	زراعت آبی	I	۴/۲۴۰
۲	زراعت دیم	D	۸۵/۳۷۶
۳	اراضی مرتعی	R	۲۶/۴۳
۴	باغ میوه	G	۰/۱۷۲
۵	درخت زار	F	۴/۳۰۴
۶	چمن زار طبیعی	Gr	۰/۱۹۰
۷	بستر سیلابی رودخانه	Rb	۰/۱۶۶
۸	نقاط مسکونی روستایی	M	۰/۷۹۵
جمع			۱۲۱/۶۷۳



شکل (۳) کاربری اراضی و پوشش گیاهی حوضه آبخیز بجوشن چای (به جدول ۲ و ۳ مراجعه شود)

با تـوجه به قرار گرفتن تیپ‌های مـرتعی در اراضی شیب‌دار و نقش چـگونگی بهره‌برداری از آن در روند تخریب و ظهور اشکال فرسایشی در سطح حوضه، عملیات ارزیابی پوشش گیاهی به صورت میدانی و اندازه‌گیری مستقیم در قالب مشخص کردن تیپ‌های مرتعی،

محاسبات تولید، تعیین وضعیت ، گرایش، ظرفیت چرایی و نحوهٔ مدیریت بهربرداری از مراتع صورت گرفت که نتایج محاسبات در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول (3) وضعیت تیپ‌های مرتعی حوضهٔ آبخیز بجوشن چای

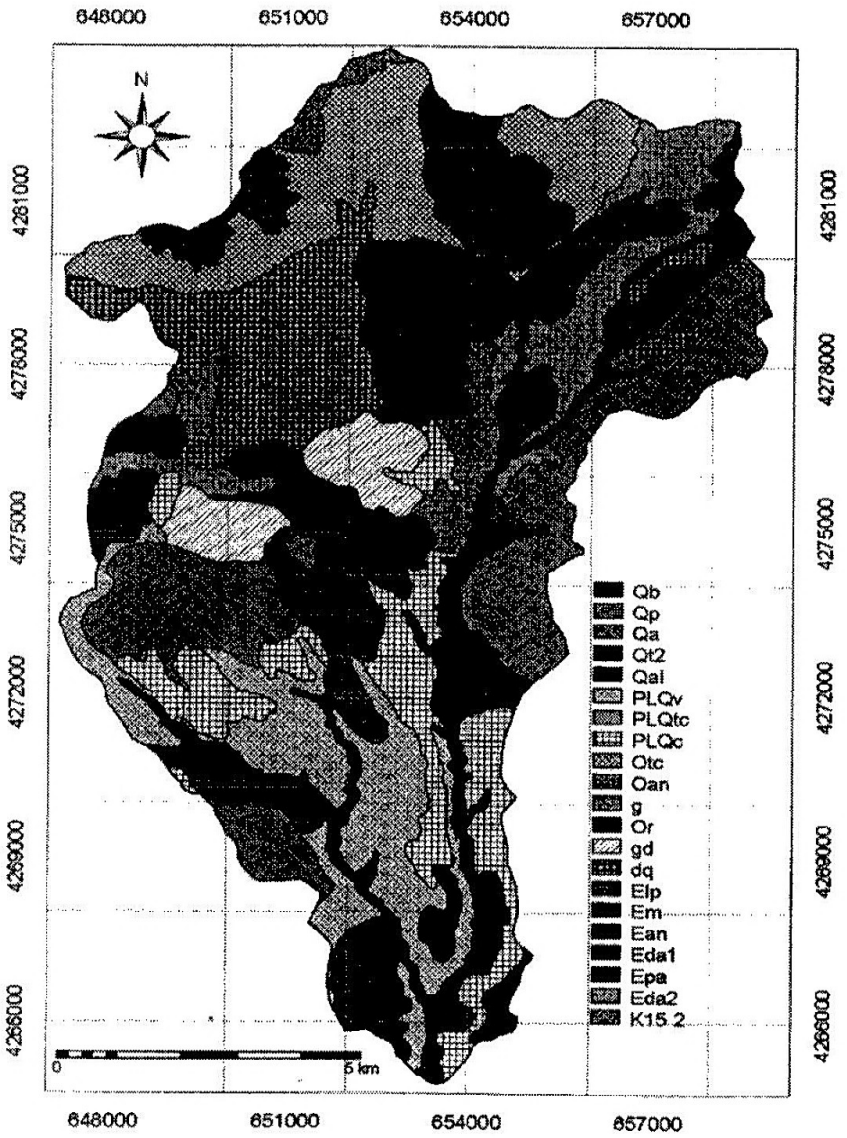
کد تیپ	طبقه تیپ	نام علمی تیپ گیاهی	مساحت به کیلومتر مربع	درصد تاج پوشش گیاهی	وضعیت اکولوژیکی تیپ	گرایش تیپ	درصد بهره برداری نسبت به برداشت مجاز از مرتع	اشکال فرسایشی در سطح حوضه
RI	RI_1	Astragalus – Bromus – Cirsium	۶/۰۸۲	۲۸	خیلی فقیر تا فقیر	منفی	۲۰۷	سطحی، شیاری، خندقی، واریزه سنگی
	RI_2	Astragalus – Bromus – Cirsium	۱/۰۴۴	۲۵/۱	خیلی فقیر	منفی	۲۴۹	سطحی، شیاری، خندقی، واریزه سنگی
RII	RII_1	Stipa – Centaurea – Acanthophyllum	۱۰/۹۱۶	۲۱	خیلی فقیر	منفی	۲۷۶	سطحی، شیاری، خندقی، واریزه سنگی
	RII_2	Stipa – Centaurea – Acanthophyllum	۳/۹۹۴	۱۹	خیلی فقیر	منفی	۲۸۰	سطحی، شیاری، خندقی، واریزه سنگی
	RII_3	Stipa – Centaurea – Acanthophyllum	۴/۳۹۴	۱۶/۲	خیلی فقیر	منفی	۲۸۰	سطحی، شیاری، خندقی، واریزه سنگی

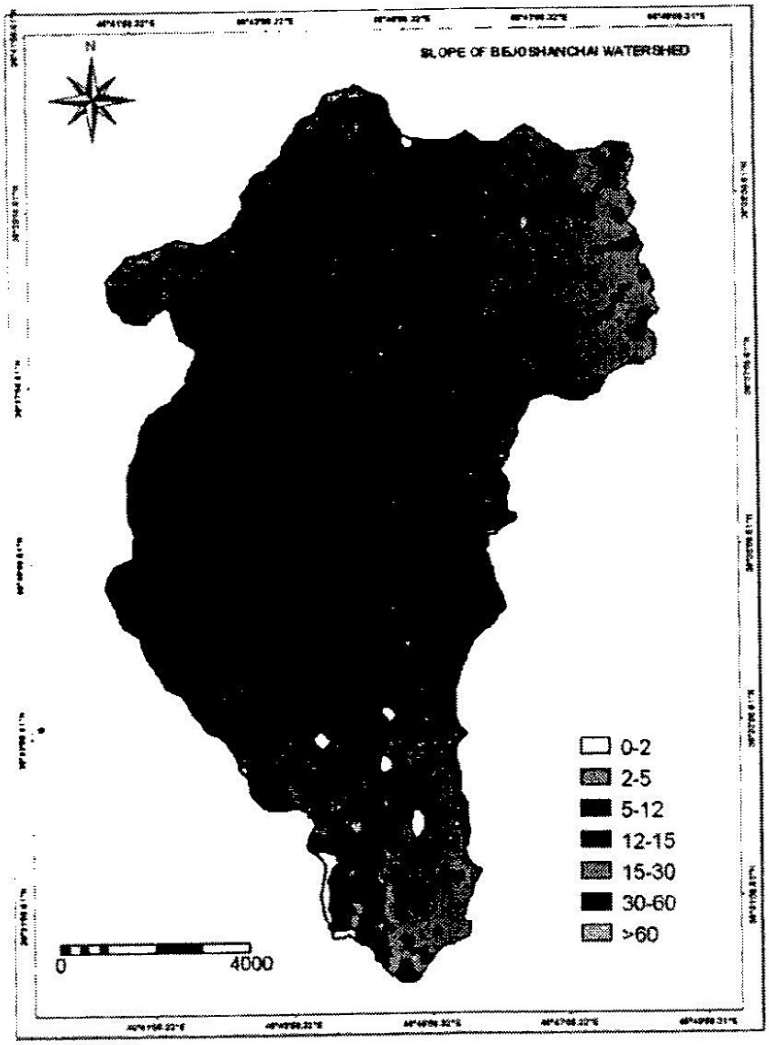
بررسی شیب توپوگرافی

در تهیهٔ نقشهٔ شیب توپوگرافی از نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ حوضهٔ استفاده شده است. این نقشه، نخست در فرمت‌برداری رقومی شده سپس در محیط GIS و با استفاده از مدل رقومی DEM، نقشهٔ شیب حوضه در قالب هفت طبقه شیب تهیه می‌شود. جدول (۴) طبقات شیب حوضه و شکل (۴) نحوهٔ پراکنش آن را در سطح حوضه نمایش می‌دهد.

جدول شماره (٤) طبقات درصد شیب حوضهٔ آبخیز بجوشن چای

طبقه شیب	درصد شیب	مساحت(کیلومترمربع)	طبقه شیب	درصد شیب	مساحت(کیلومترمربع)
۱	۰–۲	۱/۰۵۳	۵	۱۵–۳۰	۵۷/۵۶۹
۲	۲– ۵	۳/۵۵۳	۶	۳۰–۶۰	۳۰/۶۰۰
۳	۵–۱۲	۲۵/۶۹۳	۷	>۶۰	۰/۲۰۰
۴	۱۲–۱۵	۳/۰۰۶	جمع		۱۲۱/۶۷۳





شکل (٤) طبقات درصد شیب حوضهٔ آبخیز بجوشن چای (به جدول ٤ مراجعه شود)

بررسی عامل تراکم زهکشی

تراکم شبکهٔ زهکشی در واقع نسبت طول آبراهه در واحد سطح است. بین تراکم زهکشی و عواملی چون نوع سنگ، میزان نفوذپذیری، رواناب‌های سطحی و پوشش گیاهی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. به عنوان مثال سنگ‌های سخت و مقاوم همچون گرانیت وگنیس تراکم زهکشی پایینی ایجاد می‌کنند برعکس در سنگ‌های سستی مثل سنگ رس و شیل تراکم زهکشی بالایی را می‌توان مشاهده کرد، در موادی مانند ماسه و گراول که از

نفوذپذیری بالایی برخوردار بوده و رواناب سطحی پایینی تولید می‌کنند تراکم زهکشی پایین و در رس‌ها و شیل‌ها به علت نفوذپذیری پایین و رواناب بالا، تراکم زهکشی بالا است همچنین در اراضی با پوشش گیاهی متراکم به دلیل نقش حفاظتی گیاه در مقابل رواناب‌های سطحی و افزایش نفوذ پذیری ، ترکم زهکشی پایین است (دورنکامپ، ۱۳۷۰: ۳۲).

در تهیهٔ نقشهٔ تراکم زهکشی حوضه از نقشهٔ توپوگرافی منطقه به عنوان نقشهٔ پایه استفاده شد. سپس شبکهٔ آبراهه‌ای حوضه و تراکم زهکشی حوضه در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزار ILWIS استخراج گردید.

جدول ۵ مساحت و درصد نسبی هر یک از کلاس‌های تراکم شبکهٔ زهکش و شکل ۵ نحوهٔ پراکنش طبقات تراکم زهکشی را در سطح حوضه و براساس پیکسل مبنا نشان می‌دهد.

جدول (5) تراکم شبکه آبراهه‌ای حوضه آبخیز بجوشن چای

تراکم شبکه زهکش	علامت در روی نقشه	مساحت به کیلومترمربع
خیلی کم	VL	۸۰/۹۴۷
کم	L	۱۴/۵۶۵
متوسط	M	۲۴/۳۵۴
زیاد	H	۱/۷۷۴
خیلی زیاد	VH	۰/۰۳۳
جمع		۱۲۱/۶۷۳

منابع

۱- احمدی، حسن (۱۳۵۸)، «مطالعه ژئومورفولوژی و فرسایش در حوضهٔ آبخیز طالقان»، ***مجله منابع طبیعی ایران***، (۳۶) ،صص ۱۴-۱.

۲- اشقلی‌فراهانی، عقیل (۱۳۸۰)، «***ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقهٔ رودبار با استفاده از تئوری فازی***»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۳- اونق، مجید؛ نهتانی، محمد (۱۳۸۳)، «رابطهٔ واحدهای ژئومورفولوژی و فرسایش و تولید رسوب در حوضهٔ آبخیز کاشیدار، ***مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی***، شمارهٔ یازدهم.

۴- دورنکامپ، جی.سی؛ سی.ا.ام، کینگ؛ ون.تی.چاو، وی.گاردینر؛ آر.داکومب وا.ان.سترالر (۱۳۷۰)، «***تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی***»، ترجمهٔ جمشید فریفته، چاپ اول، تهران، دانشگاه تهران.

۵- شریعت جعفری؛ محسن، حامدپور، رامین (۱۳۸۶)، «پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب‌های طبیعی با استفاده از عملگرهای ضرب و جمع جبری فازی در البرز مرکزی»، ***مجله منابع طبیعی ایران***، شماره ۳، صص ۷۵۷-۷۴۵ .

۶- غیومیان، جعفر؛ فاطمی‌عقدا؛ سیدمحمود؛ اشقلی‌فراهانی، عقیل؛ تشنه‌لب، محمد (۱۳۸۵)، «پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار گیلان)»، ***مجلهٔ پژوهش و سازندگی***، شماره ۱۵، صص ۸۰-۷۶.

۷- فتحی ، ملک کیان؛ افشار، عباس؛ موسوی، سیدجمشید (۱۳۸۵)، «توسعهٔ مدل تشخیص الگوی فازی به منظور ارزیابی پتانسیل فرسایش‌پذیری حوضه برمبنای روش PSIAC»، ***مجلهٔ آب و فاضلاب***، شماره۵۷، صص ۷۱-۵۹.

۸- فهمی، هدایت‌الله؛ دلیر عبدی‌نیا، علی (۱۳۸۵)، «کاربرد خوشه‌سازی در پهنه‌بندی فرسایشی»، ***مجلهٔ تحقیقات منابع آب ایران***، شماره ۲، صص ۳۵-۲۹.

۹- قنواتی، عزت‌الله؛ ضیائیان، پرویز؛ سردشتی، ماهرخ؛ جنگی، علی‌اکبر (۱۳۸۶)، «آشکارسازی تغییرات مورفودینامیک با استفاده از داده‌های سنجش ازدور وتحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و منطقهٔ فازی»، ***مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیایی***، شماره ۳۹، صص ۵۳-۴۱.

۱۰- گریم اف.بوهام کارتر (۱۳۷۹)، «***سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای دانش‌پژوهان علوم زمین***»، ترجمهٔ گروه GIS، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

11- Campbell, A.N, et.al. (1982), "Recognition of a Hidden Minera Deposit by an Artificial Intelligence Program": ***Science***, V 217(3), P. 927-929.

12- Chung, C.F., and Fabbri, A.G., (1993), "The Representation of Geoiscience Information for Data Integration": ***Nonrenewable Resources***, V. 2(2), P.122-139.

13- CSIRO, (2003), "***Australia Advances Soil Cancer***", Series Eigh Internet, P.1.

14- Jang, C.H., Lee, D.H., & Sheu, C., (1992), "Mapping Slop Failure Potential Using Fuzzy Sets", ***J. of Geotechnica Engineering, ASCE***, Vol. 118, NO.3, Pp. 475-494.

15- Lee, D.H., Sheu, C., (1989), "A Fuzzy Model for the Evaluatio of Slope Stability", ***Proc. of the Japan-China Joint Seminar o Natural Hazard Mitigation Kyoto-Japan***.

16- Mahdavifar, M.R., (2000), "Fazzy Information Processing i Landslide Hazard Zoning and Preparing the Computer Systm ***Proceeding of the 8th International Syposuim on Landslid*** London.

17- Michael, D.G., (1991), "Classification of Landslide Hazar Zonation Methods and a Test of Predictive Capability ***Proceeding of the 6th International Symposuim of Landslid*** Balkema, Rotterdam.

18- Nawari, N.O., Liang, R., (1999), "Fuzzy-Based Stabilit Investigation of Sliding Rock Massage, ***Slope Stabilli Engineering*** (Yagi, Yamagami & Jiang, Eds), Pp.355-35 Balkema, Rotterdam.