جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۵، زمستان ۱۳۹۱
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۱۱/۱۲
تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۵/۲۴
صفحات : ۱۳۴ – ۱۲۱

ارزیابی مدل منطق فازی در مقایسه با سایر مدل‌های مفهومی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، مورد شناسی: حوضه داورزن

دکتر مجتبی یمانی[۱]، زهرا داورزنی[۲]، ابوالقاسم دادرسی[۳]

چکیده

سیل مخاطره‌ای طبیعی و رویدادی ناگهانی، سریع و مخرب است. مطالعات گذشته گویای آن است که علاوه بر ویژگی‌های بارش، خصوصیات مورفومتریک و ژئومورفوژیک حوضه‌های آبخیز در کمیّت و کیفیّت این پدیده نقش اساسی دارند. حوضه‌ی آبخیز داورزن در غرب دشت سبزوار واقع شده است. همه ساله سیلاب‌های مخربی در این حوضه به وقوع می‌پیوندد. هدف از این پژوهش، بررسی علل و عوامل مؤثر در وقوع سیل از جمله، شیب، لیتولوژی، اشکال ناهمواری (تیپ‌های فیزیوگرافی) ، نوع خاک، CN و وضعیت و گرایش پوشش گیاهی و سپس تجزیه و تحلیل سیل‌خیزی این حوضه است. برای دست‌یابی به این هدف از روش تلفیق عوامل مؤثر با استفاده از تکنیک پهنه‌بندی در مدل‌های مفهومی و قابل اجرا در محیط GIS از جمله مدل منطق بولین، مدل شاخص همپوشانی و مدل منطق فازی در قالب لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده است. روش تجزیه و تحلیل بر پایه یک مقایسه تحلیلی و دست‌یابی به نتایج حاصل از این مدل‌ها استوار است. به کارگیری این مدل‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی از طریق وزن‌دهی به متغیّرهای مؤثر بر سیل‌خیزی حوضه بر اساس شدت و ضعف تأثیرگذاری آنها توانسته است شکل‌گیری سیل را در حوضه و در قالب پهنه‌های مشخص ارزیابی نماید. همچنین نتایج حاصل از مقایسه‌ی مدل‌های به کار گرفته شده نشان می‌دهد که مدل فازی گاما شاخص‌ترین ابزار مفهومی برای تعیین پهنه‌های در معرض سیل‌خیزی در این منطقه می‌باشد.

کلیدواژگان: سیلاب، سیل‌خیزی، حوضه داورزن، مدل منطق بولین، مدل منطق فازی، مدل شاخص همپوشانی، ژئومورفولوژی.

۱- دانشیار جغرافیا، دانشگاه تهران(نویسنده مسؤول) myamani@ut.ac.ir
۲- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران z_davarzani@yahoo.com
۳- عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی dadrasisabzevar@yahoo.com

مقدمه

طبیعت در طول تاریخ، چهره‌ی خشن خود را با پدیده‌های ویران گری همچون سیل، آتشفشان، زمین‌لرزه و... به انسان نشان داده است. این مخاطرات همواره با زندگی انسان در تعامل بوده و تهدیدی برای زندگی و فعالیت‌های انسانی به شمار می‌رفته‌اند. بر اساس آمار منتشر شده از طرف سازمان صلیب سرخ جهانی، بیش از ۹۰٪ خسارات ناشی از حوادث طبیعی به سیل اختصاص دارد. در این میان حدود ۵۰٪ آن تنها در قاره‌ی آسیا به وقوع می‌پیوندد. کشور ایران نیز با توجه به استعداد طبیعی خود، یکی از کشورهای بسیار سیل‌خیز جهان محسوب می‌شود. جالب توجه است که فراوانی وقوع سیل در ایران از ۳۹ مورد در سال ۱۳۵۰ به ۲۷۶ مورد در سال ۱۳۷۷ افزونی یافته است و کمترین تعداد رویکرد سیل مربوط به سال ۱۳۷۱ می‌باشد که تعداد آن ۳۷ مورد بوده است *(رفاهی، ۱۳۷۵: ۲۲۷)*.

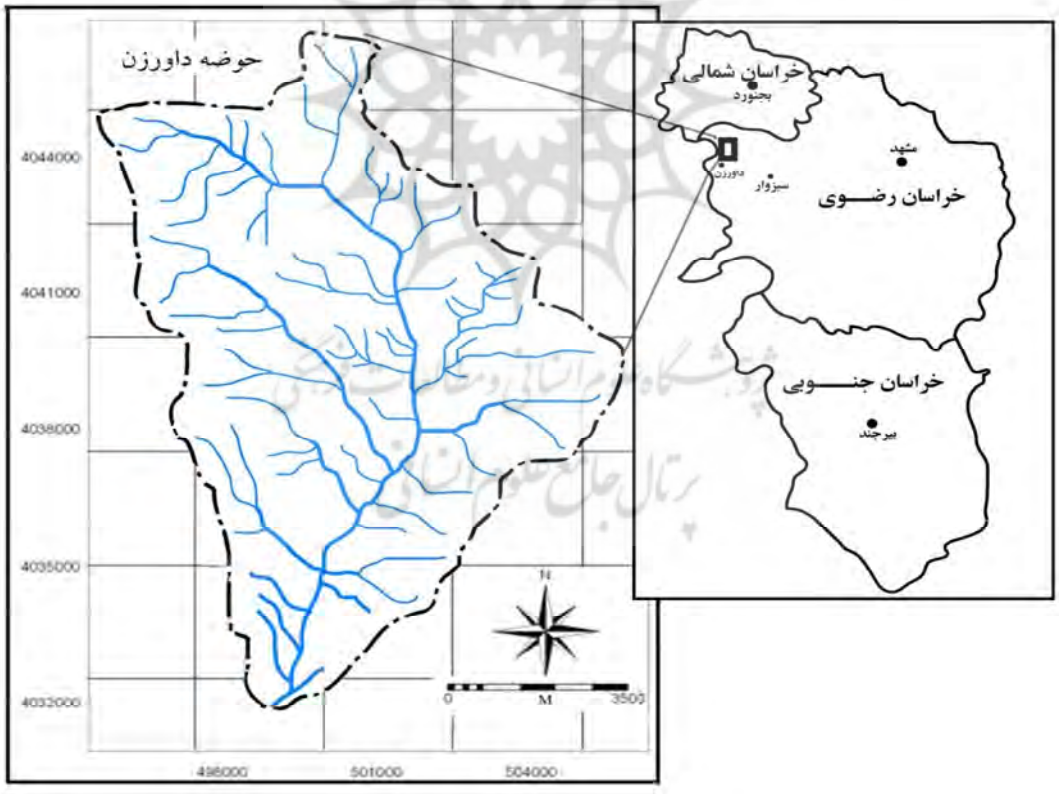
محققان زیادی در زمینه‌ی مطالعات حوضه‌ای با تأکید بر سیل‌خیزی آن پژوهش کرده‌اند. در سال ۱۹۱۴ سیستم رتبه‌بندی شاخه‌های رود توسط گراویلیوس[1] پیشنهاد گردید *(علیزاده، ۱۳۶۸: ۲۴۳)*. هورتون[2] (۱۹۴۵)، سپس استرالر[3] (۱۹۵۲) و اسمارت[4] (۱۹۶۸) اساس و بنیان بیشتر کارها و تحقیقات بعدی را در زمینه‌ی تحلیل‌های کمّی حوضه‌ها و ژئومورفولوژی کمّی حوضه‌های زهکشی پایه‌گذاری نمودند. گراویلیوس در سال ۱۹۱۴ضریب‌گردی را که عبارت است از نسبت محیط حوضه به محیط دایره‌ای که سطح آن معادل سطح حوضه مورد نظر باشد، ارائه نمود. شیوم[5] (۱۹۵۶) ضریب کشیدگی حوضه را ارائه کرد. هاک[6] (۱۹۵۷) نشان داد که در حوضچه‌های زهکشی، طول آبراهه‌ی اصلی با دبی و مساحت حوضه تغییر می‌کند. آنچه مسلم است ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های آبریز در رفتار دینامیکی رودخانه‌ها و به ویژه سیل‌خیزی آنها تأثیر مستقیم دارد *(کوک[7] و دیگران، ۱۳۷۸: ۳۱۲)*. از این دیدگاه مطالعات زیادی تاکنون در خصوص سیل و مخصوصاً در خصوص بررسی علل و عوامل ایجاد آن و دیدگاههای مدیریت سیل در جهان و ایران انجام پذیرفته است. در اکثر این مطالعات کوشش نموده‌اند ویژگی‌های حوضه‌های آبخیز و سیل‌خیزی آنها را از طریق روش‌های کمّی و مدل‌های‌ریاضی موردبررسی قراردهند*(یمانی،۱۳۸۴: ۴۷)*.

حوضه‌ی آبخیز داورزن نیز به عنوان مطالعه‌ی موردی از این دیدگاه مورد بررسی قرار گرفته است.این حوضه در غرب دشت سبزوار و در مختصات ″۴ ′۵۷ °۵۶ تا ′۴ °۵۷ طول شرقی و ″۵۰ ′۲۵ °۳۶ تا ′۳۳ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. وسعت آن بر اساس نقشه‌ی توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه برابر ۶۹/۴۹۸ کیلومتر مربع می‌باشد. از آنجاکه رودخانه اصلی و دائمی این حوضه به دشت داورزن منتهی می‌گردد، بنابراین، حوضه‌ی تحت بررسی نیز با عنوان داورزن نام‌گذاری و شناخته می‌شود (شکل ۱). بلندترین نقطه‌ی حوضه با ارتفاع ۲۹۴۰ متر کوه گر در شمال حوضه و حداقل ارتفاع حوضه ۱۳۶۰ متر در محل خروجی آن است. اقتصاد منطقه بر کشاورزی استوار است و منبع اصلی تأمین‌کننده‌ی آب کشاورزی آن رودخانه‌ی داورزن به شمار می‌رود. مسأله‌ی تحقیق آن است که همه ساله بخش عظیمی از آب این رود خانه در اثر سیلاب از دست می‌رود و این مسأله، موجب از بین رفتن بخش عمده‌ای از محصولات کشاورزی در اثر نوسانات دوره‌ای آب می‌شود. در زمینه‌ی بهره‌برداری از

1-Gravelius
2-Horton
3-Strahler
4-Ssmart
5-Schumm-

6-Hack
7-Cooke R. U. & Doornkamp J. C (1990)

آب زیرزمینی نیز، دشت داورزن جزء دشت‌های با محدودیت زیاد برای استخراج آب زیرزمینی در استان خراسان محسوب می‌شود و در حال حاضر با افت سطح مخزن مواجه گردیده است. از سویی خسارات ناشی از سیلاب از جنبه‌های مختلف نظیر از دسترس خارج کردن خاک سطحی و حاصلخیز، تخریب اراضی زراعی و مناطق مسکونی، نابودی احشام و حتی گاهی انسان بی‌سابقه نبوده است. با توجه به مشکلات موجود در منطقه، هدف تحقیق، تعیین محدوده‌های سیل‌خیز از طریق نقشه‌های پهنه‌بندی می‌باشد. برای دست‌یابی به این هدف، آزمون مدل‌های فازی به منظور تعیین بهترین مدل برای پهنه‌بندی سطوح سیل‌خیز در منطقه‌ی مورد مطالعه به منظور انجام اقدامات پیشگیرانه، شامل جلوگیری از وقوع سیلاب، فرسایش خاک، تخریب زمین‌های کشاورزی و در نهایت برای اجرای طرح‌های عمرانی و اجرایی کارساز خواهد بود. انطباق و کارآیی مدل نطق فازی نسبت به سایر مدل‌های کاربردی نیز، فرضیه‌ی اصلی پژوهش را تشکیل داده است. عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در حوضه،کمبود آمار و اطلاعات هیدرولوژی و صعب‌العبور بودن بخش بالادست حوضه برای انجام عملیات میدانی و لزوم انجام اندازه‌گیری‌های دراز مدت، عمده‌ترین محدودیت‌ها و تنگناهای انجام این تحقیق بوده است. شکل ۱ موقعیت حوضه‌ی تحت بررسی را در استان خراسان نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی تحت بررسی در استان‌های خراسان

مأخذ: برگرفته از نقشه توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و نقشه موقعیت جغرافیایی مرزهای استان خراسان

مواد و روش‌ها

با استناد به مبانی نظری و نیز روش و تکنیک مورد نیاز در این تحقیق از نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های مفهمومی به عنوان ابزارهای اصلی استفاده شده است.

سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزاری با قابلیت زیاد برای بررسی و ارزیابی و ثبت داده‌های پرحجم محیطی و پردازش داده‌ها با استفاده از رایانه محسوب می گردد. این سیستم موجب افزایش سرعت و دقت انجام محاسبات گشته و پیش‌بینی مناطق حساس به رخداد سیل و پهنه‌بندی خطر آن را میسر می‌سازد. اما انجام این کار مستلزم تبیین مدل مفهومی است. تبیین مدل مفهومی نیز نیازمند بررسی وقایع حادث شده در گذشته و تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی آنهاست که می‌تواند منجر به ساخت مدل‌های کاربردی با جامعیت نسبی لازم درباره‌ی پدیده‌های مختلف مانند سیل گردد. از طرفی افزایش عوامل داده‌ها هزینه‌ی مدل را افزایش می‌دهد و مدل را پیچیده‌تر می‌کند. لذا بهترین مدل، مدلی است که با کمترین عوامل بهترین نتیجه را ارائه دهد *(قدوسی، ۱۳۸۲: ۱۹۰)*.

کیفیت مدل به داده‌های انتخاب شده و چگونگی سازماندهی آنها محدود می‌شود. در تعیین پهنه‌های سیل‌خیز، عوامل متعددی دخالت دارند که هر کدام با درجه‌ی اهمیت متفاوت در پهنه‌بندی تأثیر می‌گذارند. در این تحقیق با توجه به شرایط طبیعی منطقه و داده‌های شیب، لیتولوژی، اشکال ناهمواری (تیپ‌های فیزیوگرافی)، نوع خاک، CN[1] و وضعیت و گرایش پوشش گیاهی به کار گرفته شده‌اند. هر کدام از داده‌های فوق در قالب نقشه‌های جداگانه رستری و رقومی گردیده‌اند. در این میان دو نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی برای تهیه نقشه CN تلفیق[2] شده‌اند (شکل۲). تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بدون در نظر گرفتن اهمیت هر لایه در پهنه‌بندی نمی‌تواند ارزش واقعی لایه‌های اطلاعاتی را در تلفیق دخالت دهد و واحدهای با ارزش متفاوت در یک طبقه جای می‌گیرند. سیستم اطلاعات جغرافیایی این قابلیت را در اختیار می‌گذارد که ارزش هر لایه و هر واحد در تلفیق دخالت داده شود و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در قالب مدل‌های مختلف انجام پذیرد. بی‌تردید مدل‌های سنتی در چنین مواردی حتی اگر فاقد اشتباه هم نباشند، بسیار سخت و وقت‌گیر می‌باشند.

این مدل‌ها برحسب تئوری تلفیق، تعداد لایه‌های اطلاعاتی و ارزش هر لایه در تلفیق متفاوت خواهد بود *(قدوسی، ۱۳۸۲: ۵۹)*.

برای پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه‌ی داورزن از مدل‌های زیر و قابل اجرا در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده گردیده است.

۱- مدل منطق بولین[3]؛

۲- مدل شاخص همپوشانی[4](این مدل دو حالت دارد)؛

۱-۲- مدل سیستم دو تایی (صفر و یک)[5]؛

۲-۲- مدل چند کلاسه[6]؛

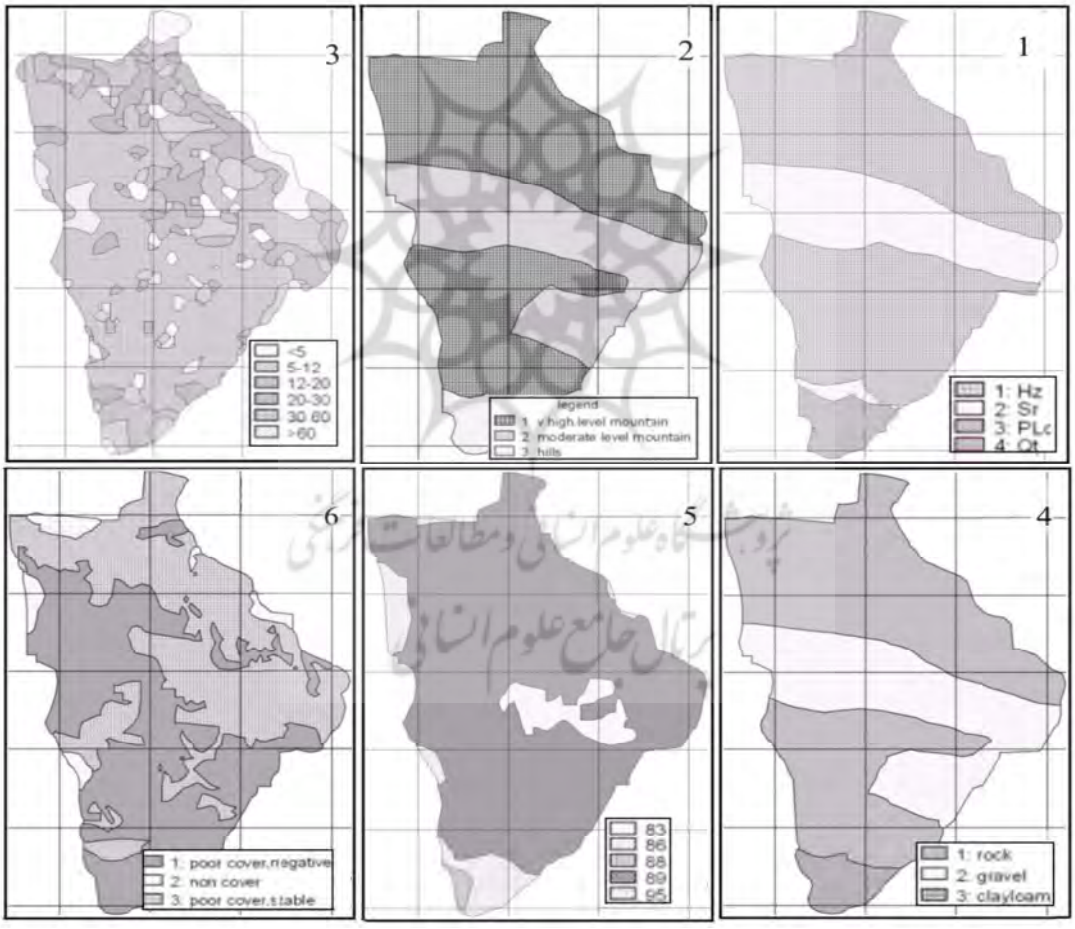
۳- مدل منطق فازی[7]، (شامل اپراتورهای جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی، اشتراک فازی، اجتماع فازی و فازی گاما می‌باشد که هر یک خصوصیات و قابلیت‌های ویژه‌ای را دارند. بر روی سه اپراتور ضرب فازی، جمع فازی و فازی گاما با تابع‌های $x=0.8، x=0.5، x= 0.2$ تأکید بیشتری شده است.

برای اجرای این مدل‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به هر لایه و هر واحد اطلاعاتی وزن خاصی داده شده است. وزن هر لایه با توجه به تأثیرگذاری هر

۱- شماره منحنی مقدار آن بین ۰ تا ۱۰۰ متغیّر و به شرایط هیدرولوژیکی خاک، پوشش گیاهی و نوع استفاده از زمین بستگی دارد. (Curve Number)

2- Cross
3-Boolean Logic
4-Index over laP
5-Binary Evidence map
6-Multiclass map
7-Fuzzy Logic

عامل بر میزان سیل‌خیزی حوضه تعیین و محدوده‌ی وزن‌دهی بین ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته شده است (جداول۱ تا ۷). از آنجا که شیب حوضه اثر بارزتری بر سیل حوضه دارد، بیشترین وزن به این لایه اختصاص یافته است. بعد از آن عامل لیتولوژی است. زیرا، ساختمان زمین‌شناسی، تشکیلات حوضه و جنس سنگ‌های آن به گونه‌ای است که به نظر می‌رسد در افزایش ضریب سیل‌خیزی حوضه نقش زیادی دارند. تیپ‌های فیزیوگرافی حوضه سومین وزن را دارا هستند. زیرا مورفومتری و اشکال ناهمواری حوضه نیز ضریب سیل‌خیزی را به همان نسبت بالابرده اند. از طرفی، بخش عمده‌ای از مساحت حوضه را تیپ کوهستان به خود اختصاص داده است. CN وزن چهارم و بعد از آن نوع خاک و وضعیت و گرایش پوشش گیاهی وزن‌های بعدی را دارا می‌باشند. معیار وزن‌دهی به هر واحد در هر نقشه نیز بر اساس میزان نقشی است که در سیل‌خیزی حوضه داشته است. وزن واحدهای هر لایه اطلاعاتی نیز با توجه به منابع و نظریات کارشناسی نسبت به سیل خیزی حوضه داده شده است.



شکل۲ : پهنه‌بندی متغیّرهای مورد بررسی شامل، ۱- لیتولوژی[۱] ۲- منابع اراضی[۲] ۳- درصد شیب[۳]
۴- گروههای خاک[۴] ۵- گرایش منحنی و ۶- تراکم پوشش گیاهی [۱] *مأخذ: نگارندگان*

۱- برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور
۲- برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ منابع و قابلیت اراضی مؤسسه تحقیقات آب و خاک کشور
۳- برگرفته از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی سازمان جغرافیایی نیرو های مسلح
۴- برگرفته از نقشه‌های کاربری اراضی و گروههای هیدرولوژیکی خاک

جدول ۱: وزن هر لایه‌ی اطلاعاتی در مدل‌های به‌کار گرفته شده

لایه‌های اطلاعاتی	وزن لایه	لایه‌های اطلاعاتی	وزن لایه
شیب	۱۰	CN	۷
لیتولوژی	۹	نوع خاک	۶
تیپ‌های فیزیوگرافی	۸	وضعیت و گرایش پوشش گیاهی	۵

مأخذ : نگارندگان

جدول ۲: وزن هر واحد نقشه شیب در مدل‌های مختلف

Fuzzy logic (۰ تا ۱)	Index overlap (۱۰تا۰)	logic Boolean (۰/۱)	کلاس شیب به درصد
۰/۱	۱	۰	<5
۰/۵	۵	۰	۵-۱۲
۰/۷	۷	۱	۱۲-۲۰
۰/۸	۸	۱	۲۰-۳۰
۰/۹	۹	۱	۳۰-۶
۰/۹۹	۱۰	۱	>60
Slopefu	slopein	slopebo	

مأخذ : نگارندگان

جدول ۳: وزن داده‌های لیتولوژی

Fuzzy logic (۰ تا ۱)	Index overlap (۱۰تا۰)	Booleanlogic (۰.۱)	لیتولوژی
۰/۷۲	۸	۱	HZ
۰/۴۵	۵	۰	Sr
۰/۹۰	۱۰	۱	Plc
٪۹	۱	۰	QT
earthfu	earthin	earthbo	

مأخذ: نگارندگان

جدول ۴: وزن هر واحد نقشه تیپ‌های فیزیوگرافی

Logic (۰ تا ۱)	Index overlap (۱۰تا۰)	Booleanlogic (۰.۱)	اشکال ناهمواری
۰/۸۰	۱۰	۱	v.highlevel mountain
۰/۷۲	۹	۱	moderateLeve mountain
۰/۴۰	۵	۰	hills
Arazyfu	Arazyin	Arazbo	

مأخذ: نگارندگان

۵- تهیه شده از مطالعات میدانی و کاربرد تصاویر ماهواره لندست TM سال ۱۹۸۷ در GIS

جدول ۵: وزن هر واحد نقشه CN در مدل‌های به کار گرفته شده

CN	Booleanlogic (۰.۱)	Index overlap (۱۰تا۰)	Fuzzy logic (۰ تا ۱)
۸۹	۱	۸	۰/۵۶
۸۶	۰	۵	۰/۳۵
۸۳	۰	۴	۰/۲۸
۸۸	۱	۷	۰/۴۹
۹۵	۱	۱۰	۰/۷
	cnbo	Cnin	Cnfu

مأخذ : نگارندگان

جدول۶: وزن هر واحد نقشه خاک در مدل‌های مختلف

نوع خاک	Booleanlogic (۱،۰)	Fuzzy logic (۰ تا ۱)	Index overlap (۱۰تا۰)
Rack	۱	۰/۵۴	۹
Gravel	۰	۰/۱۸	۳
Clayloam	۱	۰/۶	۱۰
	Soilbo	Soilfu	SoilsIn

مأخذ : نگارندگان

جدول ۷: وزن هر واحد نقشه وضعیـت وگرایش پوشش گیاهی در مدل‌های مختلف

وضعیت و گرایش پوشش گیاهی	Booleanlogic (۰،۱)	Index overlap (۱۰تا۰)	Fuzzy logic (۰ تا ۱)
Poor-negative	۱	۸	۰/۴۰
Non-cover	۱	۱۰	۰/۵۰
Poor-stable	۰	۴	۰/۲
	covbo	covin	Covfu

مأخذ : نگارندگان

بر اساس وزن‌دهی به هر واحـد اطلاعـاتی و تلفیـق لایه‌های اطلاعاتی در قالب مدل‌هـای مـذکور و اتصـال بانک‌های اطلاعاتی این نقشه‌ها با همدیگر در هر مدل، پهنه‌های سیل‌خیز در سطح حوضـه مشـخص گردیـده است. سپس از طریق بررسی هیستوگرام توزیع فراوانی، ارزش عددی پیکسل‌های مربوط به‌هر یک از نقشه‌های ساخته شده، چهار پهنه در سطح حوضه تعیین گردیده است.این چهار پهنه شامل پهنه‌های با سیل‌خیزی کم[1]، با سیل‌خیزی متوسط[2]، زیاد[3] و خیلی زیاد[4] می‌باشد.

پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه

از آنجا که هدف بررسی سیل‌خیزی حوضه با استفاده از مدل‌های مفهومی است. بنابراین همان‌گونه که گفته شد، مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از:

ـ مدل منطق بولین

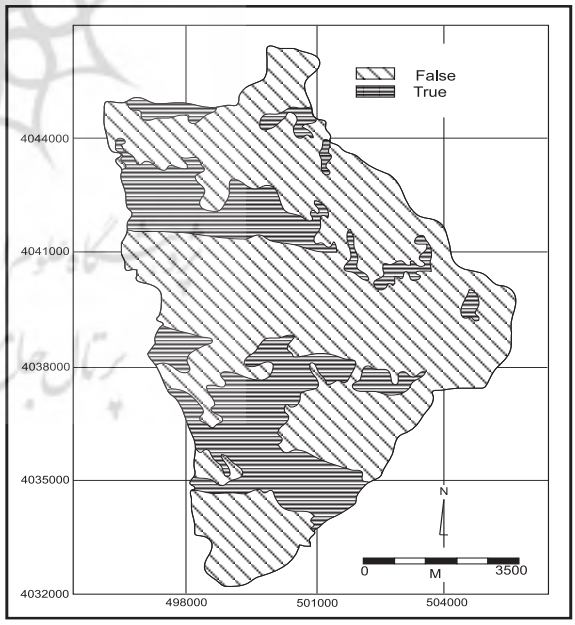
وزن‌دهی به واحدها در هر پایه‌ی اطلاعاتی در این مدل براساس منطق صفرویک است*(زاهدی،۱۳۷۸: ۳۰)*.

1-Low

2-Moderate
3-High
4-Very high

یعنی در نقشه‌ی نهایی و تلفیق یافته، هر پیکسل یا سیل‌خیز هست یا نیست و حد واسطی از این لحاظ وجود ندارد. این مدل دارای اپراتورهای AND و OR می‌باشد که بر اساس نظریه‌ی مجموعه‌ها اپراتور AND فقط پیکسل‌هایی که در تمام نقشه‌های پایه ارزش یک خواهد داشت، جزء مناطق سیل‌خیز قرار دارد. اما در اپراتور OR پیکسل هایی که فقط در نقشه پایه مناسب بوده و ارزش یک را داشته باشد و از لحاظ سایر پایه‌ها دارای ارزش صفر باشد سیل‌خیز تشخیص‌داده می‌شود. با توجه به لایه‌های موجود و هدف تحقیق، اپراتور اشتراک بولین در تلفیق لایه‌ها مورد استفاده قرارگرفته است. شکل۳ پهنه‌های سیل‌خیز را در اپراتور اشتراک بولین نشان می‌دهد.

suitbo= (arazybo)and(earthbo) and (soilbo) and (covbo)and(cnbo)and(slopebo)



شکل۳: پهنه‌های سیل‌خیز در اپراتور Boolean AND در حوضه داورزن *مأخذ: نگارندگان*

(در این شکل پهنه‌های سیل خیز با false و پهنه‌های غیر سیل‌خیز با True مشخص شده است).

ـ مدل شاخص همپوشانی

در این مدل، علاوه بر وزن‌دهی به واحدها به هر لایه‌ی اطلاعاتی (نقشه) بر اساس اهمیت آن در سیل‌خیزی وزن داده می‌شود. در این مدل تمامی متغیّرهای مؤثر بر سیل‌خیزی حوضه با توجه به موارد مطرح شده در پژوهش در نظر گرفته شده است. وزن هر لایه اطلاعاتی بر اساس میزان تأثیرگذاری آن در سیل خیزی حوضه داده شده است، علاوه بر آن وزن هر واحد اطلاعاتی (اجزاء هر یک از متغیّرها) با توجه به نقش آن در سیل‌خیزی حوضه مطرح گردیده است. این مدل دو حالت دارد:

ـ مدل سیستم دوتایی (صفر و یک): ساده‌ترین نوع مدل شاخص همپوشانی است که بر اساس آن به نقشه‌های حاصل از مدل بولین با توجه به اهمیت هر یک در سیل‌خیزی وزن خاصی داده می‌شود *(Carter,1996:270)*. محدوده‌ی وزن در این مدل بستگی به نظر محقّق دارد، ارزش هرپیکسل در نقشه‌ی خروجی بر اساس این مدل طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{\sum_{i}^{n} wiclass(mapi)}{\sum_{i}^{n} wi}$$

S: ارزش هر پیکسل در نقشه

Wi: وزن نقشه i ام

$$SuitBi = (10slopeB0) + (9eartB0) + (8arazyB0) + (7cnB0) + (6soilB0) + (5covB0)$$

Class (mapi): وزن هر واحد نقشه (۰و۱) در این مدل تلفیق یافتند.

در نقشه‌ی حاصل از این فرمول، هر پیکسل دارای ارزش صفر و یک است. از این رو نقشه‌ی رستری حاصل، براساس سیل‌خیزی طبقه‌بندی گردیده است و به همین منظور، منحنی فراوانی کلیه‌ی نقشه‌های نهایی، به ۴ طبقه مساوی تقسیم شده‌اند. شکل ۴ پهنه‌های سیل‌خیز را در اپراتور فوق نشان می‌دهد.

ـ مدل چند کلاسه

در این مدل علاوه بر وزن‌دهی به هر واحد اطلاعاتی، به هر لایه‌ی اطلاعاتی نیز بر اساس ارزش خود در سیل‌خیزی وزن خاصی داده شده است. در این تحقیق محدوده‌ی وزن‌دهی بین صفر تا ده در نظر گرفته شده است. در این مدل ارزش هر پیکسل در نقشه‌ی خروجی بر طبق فرمول زیر تعیین می‌شود:

$$S = \frac{\sum_{i}^{n} sijwi}{\sum_{i}^{n} wi}$$

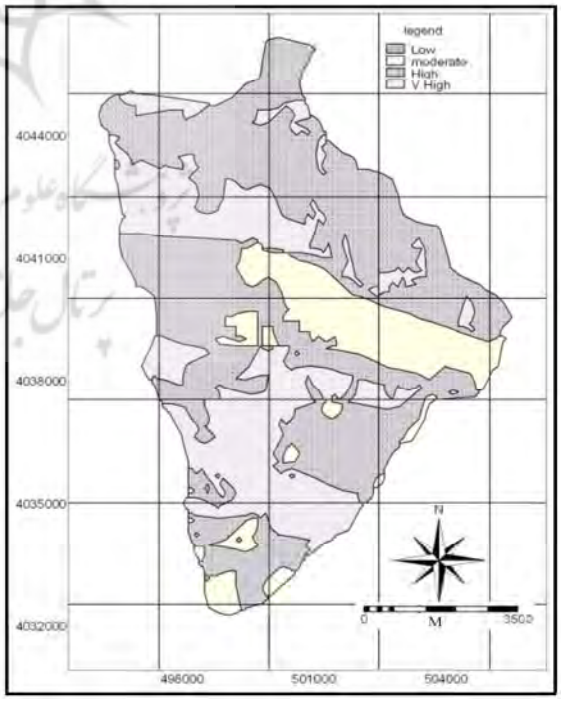
S= ارزش هر پیکسل در نقشه نهایی

Sij= وزن هر واحد J ام از نقشه I ام

Wi وزن نقشه iام

طبق فرمول زیر نقشه‌های پایه در این مدل تلفیق یافتند.

$$Suitmu = (10 slopeIN) + (9 eartIN) + (8 AvazyIN) + (7 CNIN) + (6 soilIN) + (5 covIN) * 45$$

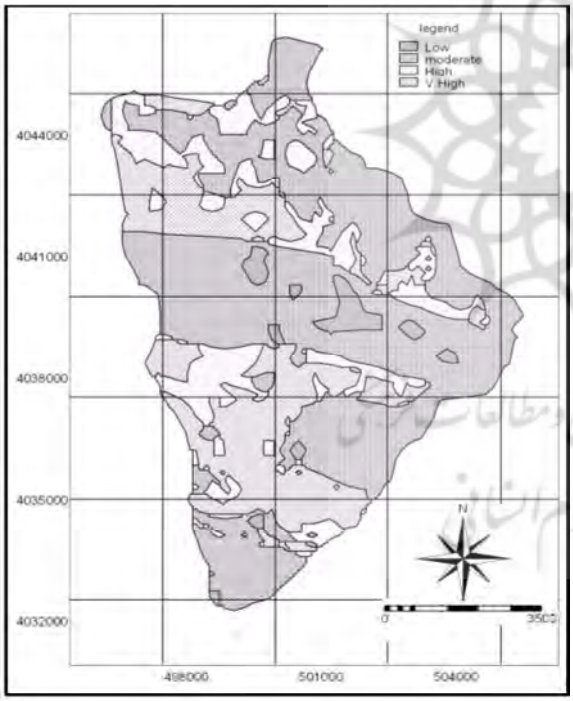


شکل۴: پهنه‌های سیل‌خیز در مدل Binary Evidence Maps در حوضه‌ی داورزن *مأخذ: نگارندگان*

مدل منطق فازی

بر اساس نظریه‌ی مجموعه فازی، عضویت اعضاء در مجموعه به طور کامل نبوده و هر عضوی دارای درجه‌ی عضویت از ۰ تا ۱ می‌باشد.

بر این اساس در این تحقیق مجموعه‌ای در نظر گرفته شده که اعضای آن، واحدهای هر کدام از نقشه‌های پایه و معیار عضویت در مجموعه، تعیین پهنه‌های سیل خیز و درجه عضویت بین ۰ تا ۱ می‌باشد در این مدل هیچ واحدی سیل‌خیز مطلق در نظر گرفته نمی‌شود، به همین دلیل وزن‌های داده شده نه صفر است و نه یک، بلکه بین صفر و یک متغیّر است*(Sendej & Devendzic, 2001:493)*.



شکل ۵: پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در مدل Multiclassmaps *مأخذ: نگارندگان*

منطق فازی دارای اپراتورهای اشتراک فازی[1]، اجتماع فازی[2]، ضرب فازی[3]، جمع فازی[4] و فازی گاما[5]

1-Fuzzy.R
2-Fuzzy And
3-Fuzzy Algebricproduct
4-Fuzzy Algebricjam
5-Fuzzy Gamma

می‌باشد(*Carter,1996:300*).

روابط مربوط به هر یک در عملگرهای یاد شده به شرح زیر است:

اپراتور اجتماع فازی

$$\mu combinatio\ \ n = \max \times (\mu A + \mu B + \mu C + ... \mu m)$$

اپراتور اشتراک فازی

$$\mu combinatio\ \ n = \min(\mu A + \mu B + \mu C + ... \mu m)$$

اپراتور ضرب فازی $\mu combination \prod_{i=1}^{n} (\mu i)$

اپراتور جمع فازی $\mu combination = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - \mu i)$

اپراتور گامای فازی

$$\mu combination = \left[1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - \mu i)\right]^{y} \times \left[\prod_{i=1}^{n} \mu i\right]^{1-y}$$

که در آنها μ_m، μ_c، μ_B و μ_A = ارزش عضویت هر یک از عوامل در قالب نقشه‌های ذیربط در نقاط مورد نظر، μ_i تابع عضویت فازی برای نقشه (i) ام و I= تعداد نقشه‌هایی است که با یکدیگر ترکیب و تلفیق می‌شوند.

اپراتور اجتماع فازی

این عملگر، حداکثر درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند و از دقت بالایی برخوردار نمی‌باشد(*کارتر، ۱۹۹۶: ۲۷۰*).

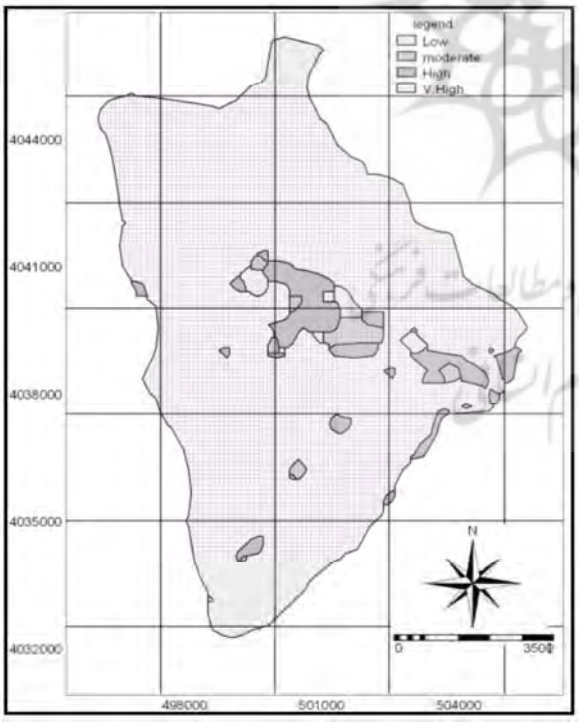
اپراتور اشتراک فازی

عکس اشتراک مجموعه‌هاست (*Huynh & others, 2004:119*) و به دلیل لحاظ شدن حداقل ارزش عضویت هر عامل در هر نقطه همواره کم و غیر قابل اعتماد است. این دو اپراتور (اجتماع و اشتراک فازی) در این تحقیق مورد استفاده قرار نگرفته است.

اپراتور جمع جبری فازی

در این اپراتور متمم ضرب، متمم مجموعه‌ها محاسبه می شود. به عبارت دیگر در این عملیات، نقشه‌های خروجی بر اساس بیشترین اشتراک ارزش عضویت فازی هر یک از عوامل به عنوان زیربنای مجموعه‌ها در موضوع مورد نظر ساخته و تهیه می‌شود. به طوری که اگر رد یا پذیرش فرضیه‌ی تعریف شده در باره موضوع مورد نظر بر پایه‌ی ارزش عضویت هر یک از عوامل یا زیر مجموعه‌ها باشد، پس از کسر شدن از ارزش حداکثر حالت مطلوب که مساوی یک است، همواره بیشتر از ارزش هر یک از زیر مجموعه‌هاست. در این اپراتور ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند و در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در یک کلاس خوب قرار می‌گیرند. به همین دلیل، این اپراتور حساسیت خیلی کمی در پهنه‌بندی دارد. بر اساس فرمول زیر نقشه پهنه‌بندی در این اپراتور استخراج می‌شود (شکل ۶).

$$Suitfs = 1 - (1 - s10\,peFu)(1 - eavtfu)(1 - avazyfu)(1 - cyfu)(1 - soilfu)(1 - cov\ fu)$$



شکل۶: پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در اپراتور FUZZY SUM

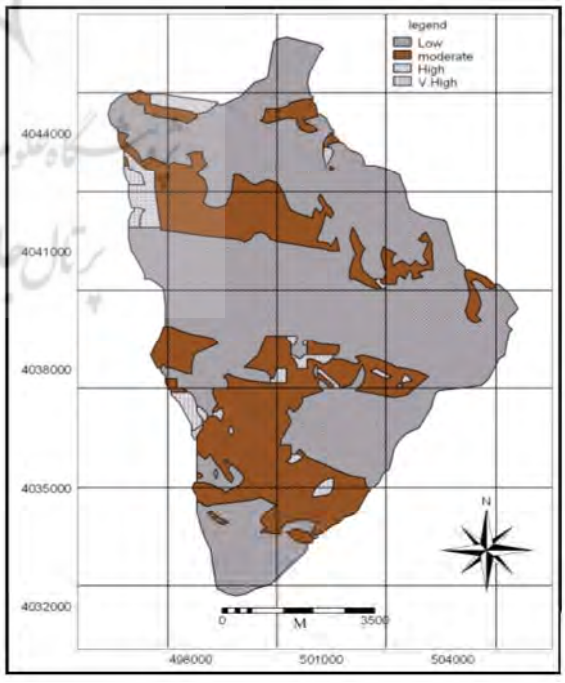
مأخذ: نگارندگان

اپراتور ضرب فازی

در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم

ضرب می‌شوند. در این عملگر به دلیل تغییرات ارزشی هر یک از زیر مجموعه‌ها در حد فاصل بین صفر و یک، که به صورت اعداد اعشاری هستند، میزان ارزش عضویت ترکیبی همواره کوچکتر از ارزش عضویت هر یک از زیر مجموعه‌ها می‌باشد. به‌عبارت دیگر، نتیجه‌ی حاصل همواره کمتر از کوچک ترین مقدار و یا حداکثر مساوی ارزش هر یک از زیر مجموعه‌ها است. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه‌ی عضویت اعضاء در مجموعه‌ی فازی است. این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه‌ی خروجی اعداد کوچکتر شده و به سمت صفر میل کنند و در نتیجه مقدار پیکسل کمتری در کلاس خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل، این اپراتور حساسیت بالایی در پهنه‌بندی اعمال می‌کند کارتر(*۱۹۹۶: ۲۹۰*). بر اساس فرمول زیر، نقشه پهنه‌بندی در این اپراتور استخراج می‌شود *(شکل ۷)*.

$$suitfp = slopefu \times avazyfu \times eavtfu \times cnfu \times soilfu \times \mathrm{cov}\, fu$$



شکل ۷ : پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی دراپراتور FUZZY PRODUCT *مأخذ: نگارندگان*

اپراتور فازی گاما

با در نظر گرفتن اختلاف فاحش بین نتیجه استفاده از عملگرهای جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی، یا به عبارتی جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای اپراتور ضرب فازی و حساسیت خیلی کم اپراتور جمع فازی، اپراتور دیگری به نام فازی گاما معرفی شده است و به منظور دستیابی به نتیجه‌ی مناسب‌تر، به طور معمول از ضرب نمودن توابع مربوط به عملگرهای ضرب و جمع فازی به ترتیب با نمایه‌های 1-y و y می‌توان استفاده کرد. که در آن مقدار گاما بین صفر و یک تغییر می‌کند ($0<y<1$).

مقدار گاما از طریق قضاوت کارشناسی مبتنی بر نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده شده یا تجربیات موجود درباره موضوع مورد بررسی تعیین و یا از طریق آزمون سعی و خطا در تطبیق با شواهد، واقعی می‌گردد. از این رو استفاده از عملگر گاما موجب دستیابی به خروجی‌هایی می‌شود که مناسب‌ترین مقادیر y را در تطبیق با واقعیت‌ها و در مقایسه با خروجی‌هایی حاصل از به کارگیری سایر عملگرها مشخص می‌نماید.زیرا انتخاب مناسب‌ترین خروجی به صورت حالت میانه مقایسه‌ای بین مقادیر حداکثر یا حداقل عضویت و اشتراک هر یک از زیر مجموعه‌ها که به ترتیب تأثیر افزایشی[1] و کاهشی[2] در تلفیق موارد مورد نظر و خروجی‌ها دارند، به همین دلیل امکان در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای نمای گاما میسر می‌باشد *(قدوسی، ۱۳۸۲: ۱۵۹)*. علت این موضوع به ساختار گاما بر می‌گردد. زیرا به ازاء مقادیر $y=0, y=1$ مقادیر خروجی‌ها به ترتیب توابع ضرب فازی و جمع فازی خواهد بود*(Carter,1996:280)*. ازآنجاکه مقادیر گاما بین صفر ویک متغیّر است برای ارزیابی دقت بیشتر در تعیین پهنه‌های سیل خیز از توابع گامای

1- Increase
2- Decrease

0/8،0/5،0/2 استفاده گردیده است. تابع 0/2 به صفر نزدیکتر است در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری به سمت صفر میل نموده و تعداد پیکسل کمتری در کلاس خوب قرار می‌گیرند تابع 0/8 به یک نزدیکتر است ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کنند و تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خوب جای می‌گیرند حد واسط آنها 0/5 نیز انتخاب گردید، تا با مقایسه سه تابع مورد نظر با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه، تعیین پهنه‌های سیل‌خیز با دقت بیشتری صورت پذیرد. تعریف توابع مربوط به عملگرهای تابع در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به شرح زیر می‌باشد :

تابع گامای فازی ۰/۲

$$(Fs)^{0.2} \times (Fp)^{0.8}$$

تابع گامای فازی ۰/۵

$$(Fs)^{0.5} \times (Fp)^{0.8}$$

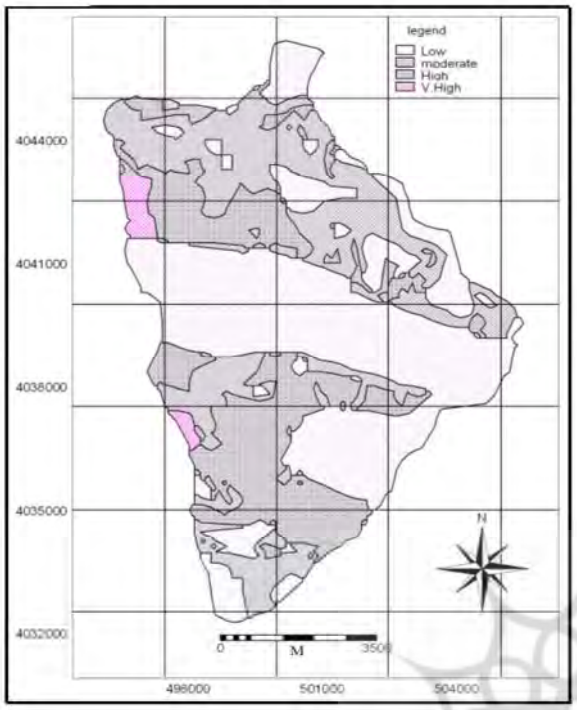
تابع گامای فازی ۰/۸

$$(Fs)^{0.8} \times (Fp)^{02}$$

و فرمول آن به صورت زیر است :

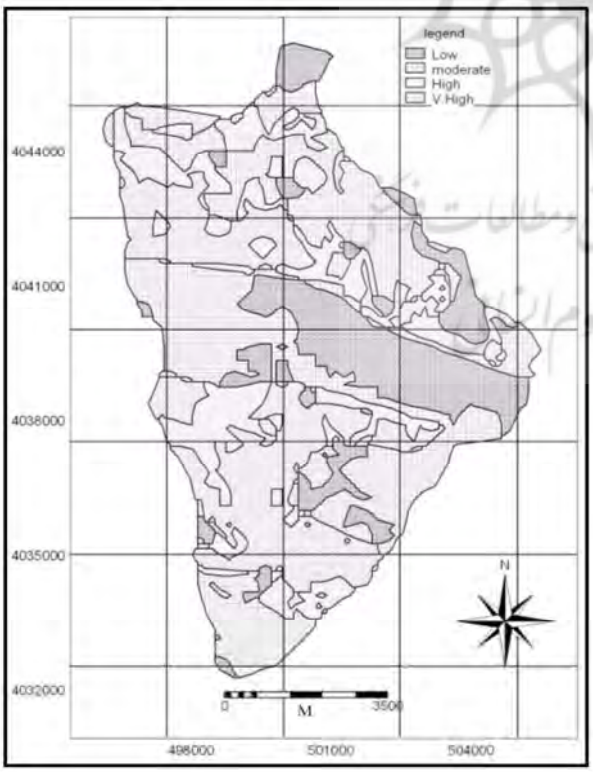
$$\mu \text{ combination} = \text{(ضرب جبری فازی)} \times \text{(جمع جبری فازی)}$$

نقشه‌های حاصل از اپراتورهای ذکر شده در شکل‌های شماره ۸ و ۹ و ۱۰ آورده شده است.



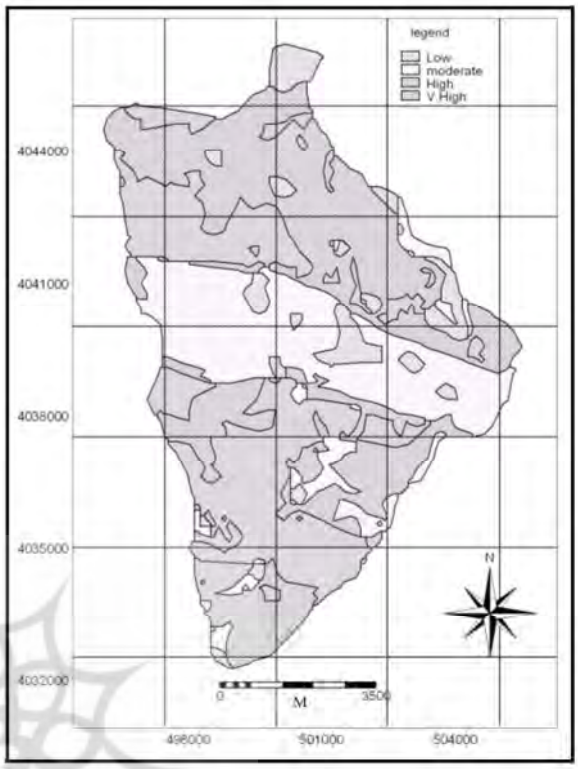
شکل ۸ : پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی دراپراتور FUZZY GAMMA 0/2

مأخذ: نگارندگان



شکل ۹: پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در اپراتور FUZZY GAMMA 0/5

مأخذ: نگارندگان



شکل ۱۰ : پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی دراپراتور FUZZY GAMMA 0/8 *مأخذ: نگارندگان*

نتیجه گیری

مقایسه‌ی تحلیلی مدل‌های آزمون شده و ضریب اطمینان آنها نتایج زیر را به دست داده است.

مدل منطق بولین: در این مدل، واحدها با خصوصیات متفاوت در یک طبقه جای گرفته‌اند. از سویی در این مدل، واحدی که از لحاظ یکی از شاخص‌ها تا حدی سیل‌خیز نباشد شانس خود را به کلی از دست می‌دهد. در صورتی که ممکن است به لحاظ شاخص‌های دیگر در سیل‌خیزی مؤثر باشد. دیگر اینکه این مدل قادر به تفکیک نواحی سیل‌خیز به ترتیب الویت نمی‌باشد. در نتیجه این مدل دقت و کارآیی لازم را در پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه‌ی مورد نظر ندارد.

در مدل سیستم دوتایی (صفر و یک) چون به هر نقشه وزن خاصی داده می‌شود از انعطاف‌پذیری بیشتری در تعیین پهنه‌های سیل‌خیز نسبت به مدل قبلی بر خوردار است. در این مدل چون از نقشه‌های پایه‌ی مدل بولین استفاده می شود، تمام معایب مدل بولین را داراست. به نحوی که، پهنه‌های با سیل‌خیزی کم، منطبق بر واحدهایی هستند که بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند وحدود ۴۰/۷۶ کیلومترمربع از حوضه را پهنه‌های با سیل‌خیزی متوسط و۲۰/۲۰ کیلومترمربع را پهنه‌های با سیل‌خیزی زیاد در بر گرفته که با شرایط طبیعی منطقه تطابق ندارد. نقشه‌ی نهایی در این مدل برخلاف نقشه‌ی مدل بولین طبقه‌بندی گردید و عرصه‌ها به ترتیب الویت‌های اول، دوم، سوم و... تفکیک گردیدند و کارآیی این مدل نسبت به مدل قبلی بسیار حائز اهمیت است.

مدل چند کلاسه: چون در این مدل از نقشه‌های پایه مدل شاخصی همپوشانی استفاده می‌گردد از انعطاف-پذیری و حساسیت بیشتری نسبت به دو مدل قبلی برخوردار است. در این مدل علاوه بر وزن‌دهی به هر واحد اطلاعاتی به هر لایه اطلاعاتی نیز وزن خاصی داده می شود. لذا در تعیین پهنه‌های سیل‌خیز نسبت به دو مدل قبلی دقت بیشتری را داراست، به نحوی که ۲/۵۵ درصد از حوضه جزء پهنه‌های با سیل‌خیزی کم، ۳۹/۹۹ درصد از حوضه با سیل‌خیزی متوسط، ۱۱/۳۹درصد با سیل‌خیزی زیاد و ۱۷/۷۹ درصد با سیل‌خیزی خیلی زیاد تشخیص داده شده است که نسبت‌به‌مدل‌های قبلی از دقت بیشتری برخوردار است.

مدل منطق فازی: در این مدل تمامی لایه‌های اطلاعاتی و واحدهای اطلاعاتی در تلفیق دخالت داده می شوند. در اپراتور ضرب جبری فازی، به دلیل ماهیت این اپراتور، گرایش پیکسل‌ها به سمت صفر میل می‌کند. در نتیجه مقدار پیکسل کمتری در کلاس خوب قرار می‌گیرد. ۶۷/۶۵ درصد از حوضه جزء پهنه‌های با سیل‌خیزی کم، ۲۸/۳۱ درصد با سیل‌خیزی متوسط، ۳/۲۱ درصد با سیل‌خیزی زیاد و۰/۳۸با سیل‌خیزی خیلی زیاد تشخیص داده شده که انطباقی با شرایط منطقه ندارد. به همین دلیل این اپراتور حساسیت بالایی در پهنه‌بندی دارد. در اپراتور جمع جبری فازی،

که ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند و ۹۱/۰۳ درصد با سیل‌خیزی خیلی زیاد و۰/۱۳ در صد با سیل‌خیزی کم تشخیص داده شده است، این اپراتور حساسیت پایینی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه دارد. در این میان اپراتور فازی گاما در میان همه‌ی اپراتورها در مدل‌های مورد مطالعه در سیستم اطلاعات جغرافیایی، از دقت بالایی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه‌ی داورزن برخوردار است، زیرا تابع ۰/۵ آن بهترین پهنه‌بندی را ارائه نموده است به گونه‌ای که پهنه‌هایی با سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد منطبق بر واحدهایی هستند که بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند (از نظر شرایط طبیعی برای سیل‌خیزی مطرح می‌باشند) و ۱۸/۸۲ درصد جزء پهنه‌هایی با سیل‌خیزی زیاد و ۲۴/۶۲ درصد جزء پهنه‌هایی با سیل‌خیزی خیلی زیاد در این تابع تشخیص داده شده است. پهنه‌های با سیل‌خیزی کم منطبق بر واحدهایی هستند که کمترین وزن را دارا می‌باشند. به گونه‌ای که ۱۹/۳۲ درصد جزء پهنه‌هایی با سیل‌خیزی کم و ۳۷/۲۴ درصد جزء پهنه‌هایی با حاصلخیزی متوسط مشخص گردیده است.

منابع و مآخذ

۱- آذر، عادل؛ حجت فرجی (۱۳۸۱). علم مدیریت فازی، تهران. انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد.

۲- احمدی، حسن (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.

۳- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۵). فرسایش آبی و کنترل آن، تهران. انتشارات دانشگاه تهران.

۴- زاهدی، مرتضی (۱۳۷۸). تئوری مجموعه‌های فازی، تهران. انتشارات دانشگاه تهران.

۵- ضیایی، حجت‌الله (۱۳۸۰). اصول مهندسی آبخیزداری، مشهد. انتشارات آستان قدس رضوی.

۶- طاهری، سید محمود (۱۳۷۵). آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی،چاپ اول. سال ۱۳۷۵. ۲۱۶ صفحه. شماره ۱۳۸. وزیری. معرفی‌کتاب‌انتشارات‌جهاد دانشگاهی مشهد.

۷- علیزاده، امین (۱۳۷۸). اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد. انتشارات آستان قدس رضوی.

۸- قدوسی، جمال (۱۳۸۲). مدل‌سازی مرفولوژی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی خطر آن مطالعه موردی: حوضه آبخیز زنجان‌رود، رساله دکتری.

۹- کردوانی، پرویز (۱۳۷۹).حفاظت خاک، تهران. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۰- کوک،آریو و دورکمپ، جی سی (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، ترجمه شاپور گودرزی‌نژاد. جلد اول. تهران. انتشارات سمت.

۱۱- مهدوی، محمد (۱۳۸۱). هیدرولوژی‌کاربردی، جلد دوم. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۲- مزینانی، غلامرضا (۱۳۸۱). مطالعات مهندسی رودخانه طرح آبخوانداری سبزوار، مشهد. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی.

۱۳- وهابی، جلیل (۱۳۷۶). پهنه‌بندی خطر سیل با به کارگیری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه‌ی آبخیز طالقان‌رود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.

۱۴- یمانی، مجتبی و مریم عنایتی (۱۳۷۴).تحلیل داده‌های سیل در ارتباط با ویژگی‌های ژئومورفولویکی حوضه‌های فشند و بهجت‌آباد پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴ . سال ۳۷.

15- Baker, Victor (1994). Geomorphological understand of flood, Science Direct, Geomorphology-Volume 10, Issues 1-4.

16- Carter Bohham, Gramef (1996). Geomorphic Information System for Geoscient ists (modeling for GIS) Peradmen Publication USA. Chapter 9.

17- Hayneh.Von: Nakamori, T-B. Ho, Resconi, Ho (2004). Acoxtext Model for fuzzy concept analysis based upon modellogic, Information science.

18- Sendej-Ramo &Vlandan. Devendzic (2001). Fuzzy system base oncomponent software, Fuzzy set and system 191.

19- Shanker. Kunarisnna, Aminaddin Ab, Ghani mohd. Ahmad Sanasis Zakari a nor Azaz: (2003). Flood Risk for pair river Incor poration sediment Transport. Envirment Almodeliny & soft wave 18.

20- Szilagjoszef Marc-Pavlany (1999).A gemorphology-Base dsemi Distributed watershet nodel, Advances in water vesources 230.

21- Zerger A. (2002). Examining Gisdecision utility for notural nazard riskmodelling, Enviroment modelling & sofware 17.