

دکتر علی اصغر آل شیخ
گروه مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
محمد جعفر سلطانی
دانشجوی کارشناسی ارشد GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
حسین هلالی
دانشجوی دکترا GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
شماره مقاله: ۵۵۱

کاربرد GIS در مکان‌یابی عرصه‌های پخش سیلاب

خلاصه

پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک، علاوه بر ایجاد سیلاب‌های مخرب موجب هدر رفتن رواناب سطحی می‌شود. از این‌رو مهار رواناب سطحی و بهره‌برداری مناسب از آن می‌تواند راهکار مناسبی برای جلوگیری از هدر رفت آب باشد. تعیین عرصه‌های مناسب برای استفاده بهینه از سیلاب یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده موفقیت طرح‌های پخش سیلاب می‌باشد. از سوی دیگر تعیین مکان‌های مناسب با استفاده از روش‌های سنتی و متداول بسیار دشوار بوده و اکثراً باعث بروز خطا می‌شود. سیستم اطلاعات جغرافیایی به همراه ابزارها و تکنیک‌های آن توانایی آن را دارد که با تلفیق لایه‌های مختلف اطلاعاتی در قالب مدل‌های مختلف و در حداقل زمان ممکنه در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب مورد استفاده قرار گیرد.

مکان مورد مطالعه این تحقیق در حوضه آبخیز سمل از بزرگ حوضه آبخیز اهرم بوشهر و با وسعت ۳۱۵۷۱/۷ هکتار قرار گرفته است. هدف از این مقاله تعیین مکان‌های مناسب پخش سیلاب با استفاده از نقشه‌های شیب، قابلیت اراضی، نفوذپذیری سطحی، واحدهای کواترنر و ضخامت آبرفت می‌باشد که در محیط GIS صورت پذیرفته است. نقشه کاربری اراضی از داده‌های ماهواره لندست TM (سال ۱۹۹۱)، عکس‌های هوایی و مطالعات میدانی استخراج شده‌اند. سپس به لایه‌های اطلاعاتی با توجه به میزان اهمیت هر یک در مکان‌یابی وزن خاصی داده شد و با تلفیق لایه‌ها در قالب مدل‌های منطق بولین، شاخص هم‌پوشانی نقشه‌ها، منطق فازی^۱ و مقایسه با عرصه‌های کنترلی (عرصه‌های اجرا شده توسط وزارت جهاد کشاورزی) نقشه مکان‌های مناسب پخش در هر مدل به دست آمد.

نتیجه تحقیق نشان می‌دهد که اپراتورهای $0/1 =$ گاما، $0/2 =$ گاما و Product از مدل منطق فازی بیشترین هم‌پوشانی را با عرصه‌های کنترلی داشته و بهترین مدل تلفیق برای تعیین مکان‌های مناسب پخش سیلاب در منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی، پخش سیلاب، مکان‌یابی، مدل‌های تلفیق، حوضه آبخیز اهرم پوشهر

مقدمه

بر اساس بررسی‌های به عمل آمده توسط کارشناسان فائو، میزان سرانه منابع آب ایران در سال ۱۹۹۰ میلادی معادل ۲۲۰۰ مترمکعب در سال بوده که پیش‌بینی شده است در سال ۲۰۲۵ میلادی به رقمی بین ۷۲۶ تا ۸۶۰ مترمکعب در سال کاهش یابد. بر این اساس، ایران کشوری است که با کمبود شدید آب روبرو می‌باشد [۱].

با توجه به شرایط اقلیمی، بخش مهمی از کشور جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود. آمار موجود نشانگر این است که متوسط بارندگی در ایران حدود ۲۵۰ میلیمتر و توزیع بارندگی به لحاظ زمانی و مکانی نامناسب می‌باشد. به طوری که بیش از ۵۰٪ نزولات جوی در زمستان و کمتر از ۱۸٪ در تابستان رخ می‌دهد. به این ترتیب در بسیاری از نقاط کشور از اواسط بهار، آب‌های جاری رودخانه‌ها به سرعت کاهش یافته و به دلیل فقدان منابع آب سطحی به ناچار باید از منابع آب زیر زمینی بهره‌برداری شود. بر اساس آمار سال ۱۳۷۳ وزارت نیرو، میزان تخلیه منابع آب زیر زمینی نسبت به سال ۱۳۵۵ حدود ۹۷٪ افزایش یافته است و کسری بیلان این منابع حدود ۷/۳ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود. به دلیل نامناسب بودن توزیع زمانی و مکانی منابع آب، ذخیره‌سازی و حفظ آب برای استفاده در زمان‌های مورد نیاز امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد [۲].

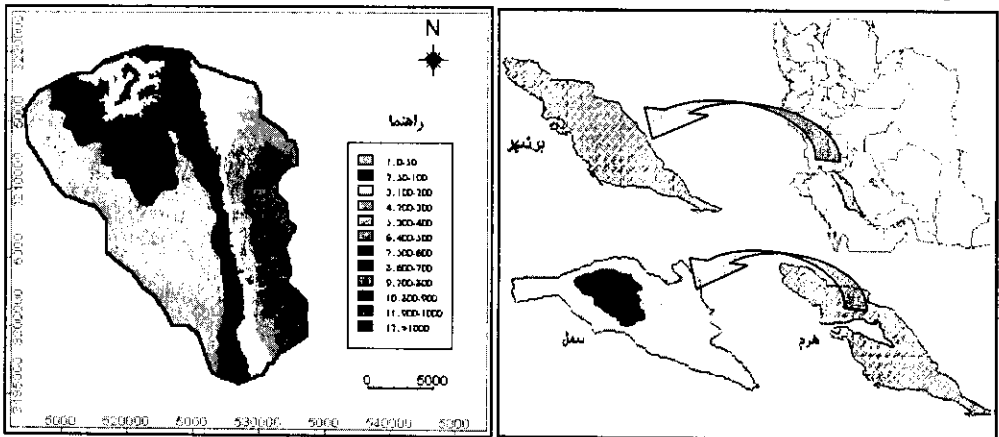
تغذیه مصنوعی منابع آب زیر زمینی یکی از راهکارهای اساسی ذخیره سازی آب با توجه به خصوصیات بارندگی و جاری شدن رواناب‌های سطحی در کشور می‌باشد. از سوی دیگر هر ساله سیلاب‌ها، سبب بروز خسارات جانی و مالی زیادی می‌شوند. از این رو می‌توان ادعا نمود که در صورت مهار سیلاب‌ها و تغذیه مصنوعی آب‌های زیر زمینی، علاوه بر جلوگیری از خسارات ناشی از جریان سیلاب‌ها می‌توان اقدام به استفاده مفید و مناسب و به موقع از سیلاب‌ها نمود [۳].

در حال حاضر پخش سیلاب بر آبخوان‌ها یکی از روش‌های مناسب برای مهار و استفاده بهینه از سیلاب و تغذیه مصنوعی آب‌های زیر زمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود و تعیین مکان‌های مناسب با دقت و سرعت مورد نیاز جهت پخش سیلاب از اهمیت بسیاری برخوردار است [۴].

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ابزاری قدرتمند برای کار با داده‌های مکانی می‌باشند و امکان انجام آنالیزهای پیچیده با مجموعه داده‌های مختلف مکانی و غیر مکانی به صورت توأم، از مهمترین قابلیت‌های GIS است که غالباً با روش‌های دیگر مانند روش‌های آنالوگ و سنتی غیر قابل اجرا می‌باشند. این سیستم‌ها توانایی تجزیه و تحلیل توأم داده‌های مختلف، امکان ایجاد و استفاده از اطلاعات زمین مرجع را به شکلی کاملاً متفاوت با گذشته فراهم می‌سازد [۵].

مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سمل از بزرگ حوضه آبخیز اهرم استان بوشهر با وسعت $31071/7$ هکتار معادل $310/71$ کیلومتر مربع بین مختصات جغرافیایی $21^{\circ} 53' 28''$ تا $29^{\circ} 06' 40''$ عرض شمالی و $51^{\circ} 07' 27''$ تا $51^{\circ} 20' 46''$ طول شرقی واقع شده است. این حوضه در 40 کیلومتری شمال شرقی شهرستان بوشهر و در مسیر جاده اهرم به برازجان قرار دارد. حداکثر ارتفاع حوضه، 1100 متر در ارتفاعات قلعه دختر و حداقل ارتفاع 20 متر و شیب متوسط حوضه حدود 6 درصد می‌باشد. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز اهرم و حوضه آبخیز سمل را در تقسیمات کشوری و شکل ۲ نقشه هیسومتری حوضه آبخیز سمل (فرازسنجی) حوضه آبخیز سمل را نشان می‌دهد.



شکل ۲، نقشه هیسومتری حوضه آبخیز سمل

شکل ۱، موقعیت بزرگ حوضه آبخیز اهرم و حوضه آبخیز سمل در تقسیمات کشوری

میانگین بارندگی منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری $1372-1343$ برابر $260/1$ میلی‌متر است. متوسط بارندگی در زمستان $143/9$ میلی‌متر، در پائیز $78/6$ میلی‌متر و در بهار حدود $36/9$ میلی‌متر می‌باشد. مقدار بارندگی در فصل تابستان بسیار ناچیز و حدود $0/7$ میلی‌متر می‌باشد. براساس دوره 10 ساله $74-1364$ میانگین سالانه دما در ایستگاه بوشهر $24/5$ درجه سانتی‌گراد

است. نظر به اهمیت باد در مسائل هیدرولوژیکی و تأثیری که بر تبخیر و تعرق دارد، آمار نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک (بوشهر) به منطقه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مشخص شده است که در طول سال جهت اصلی باد، شمال غربی و جهت فرعی باد نیز به ترتیب از غرب، شمال و شمال غربی می‌باشد. حداقل تبخیر و تعرق پتانسیل ماهیانه در دی ماه و حداکثر آن در تیرماه است [۶].

در منطقه مورد مطالعه هیچ گونه رودخانه دائمی و یا حتی فصلی وجود ندارد و تمام رودخانه‌ها از نوع سیلابی هستند که حوضه آبخیز منطقه مورد مطالعه را به ۱۲ واحد هیدرولوژیکی و یا زیرحوضه تقسیم کرده است. مقدار حجم رواناب متوسط سالیانه براساس میزان بارش سالیانه منطقه و با در نظر گرفتن ضریب رواناب متوسط سالیانه منطقه محاسبه شد. ضریب رواناب متوسط سالیانه از میانگین ضریب رواناب مربوط به حوضه رودخانه اهرم (۰/۱۰) و ضریب رواناب مربوط به حوضه دشت برازجان (۰/۱۵) برابر ۱۳ درصد در نظر گرفته شد.

منطقه مورد مطالعه دارای کوه‌های کم ارتفاع تا نسبتاً مرتفع با بریدگی‌ها و فرسایش بسیار زیاد، متشکل از مارن‌های گچی و نمکی و ماسه سنگ‌های الوان می‌باشد. عمق خاک بسیار متغیر (خیلی کم تا خیلی عمیق) و حاوی سنگریزه است. در قسمت‌های شمالی حوضه شرایط تغییر کرده و به صورت واریزه‌های بادبزنی شکل پائینی و قسمت‌های بالایی دشت‌های دامنه‌ای با مقدار کمی پستی و بلندی، واجد خاک‌هایی نیمه‌عمیق تا عمیق با بافت متوسط تا سنگین و بدون تکامل پروفیلی می‌باشد. خاک در بعضی نواحی آهکی شده که واجد سنگریزه بوده و تا حدی علائم فرسایش در آن دیده می‌شود.

جامعه گیاهی منطقه مورد مطالعه کناراستبرقستان^۲ است که بوته‌های گون، گونه‌های کنار و استبرق را همراهی می‌کنند. در بعضی مناطق کهور درختچه‌ای^۳ نیز دیده می‌شود. قسمت‌های جنوبی حوضه دارای خاک سبک و عمدتاً پوشیده از ماسه بادی است که در سال ۱۳۷۱ با استفاده از گونه‌های آکاسیا^۴ جنگل کاری شده است. با توجه به قرق انجام شده و بارندگی زیاد سال ۱۳۷۳، پوشش علفی متراکمی ایجاد شده است (حدود ۹۰٪) که از گراس‌ها، فورب‌ها، لگوم‌های یک ساله و چند ساله نظیر شبدر قرمز، گونه‌های یک ساله، ماشک و یونجه‌های یک ساله هستند که گونه‌هایی نظیر ترشک و خاکشیر آن‌ها را همراهی می‌کنند [۷].

2- Ziziphus-Calotropetum

3- Prosopis Koeltzania

4- Acacia Salicina, Acacia Saligna

مدل‌های ریاضی تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در تعیین مناطق مناسب پخش سیلاب

به طور کلی مدل، رفتار یک پدیده را در دنیای واقعی با استفاده از چندین عامل ارائه می‌کند. معمولاً هرچه عوامل بیشتری در ارائه یک مدل انتخاب شود دقت مدل بالاتر خواهد بود و از طرفی افزایش عوامل و داده‌ها هزینه ارائه مدل را افزایش داده و همچنین مدل را پیچیده‌تر می‌کند. بهترین مدل، مدلی است که با کمترین تعداد عامل، بهترین نتیجه را ارائه نماید. در مکان‌یابی پخش سیلاب عوامل زیادی باید در نظر گرفته شود، که هر کدام با درجه اهمیت متفاوت در مکان‌یابی تأثیر گذارند. اما در ارائه یک مدل برای مکان‌یابی پخش سیلاب تمامی لایه‌های اطلاعاتی را نمی‌توان وارد مدل نمود. مدل‌های مختلفی که می‌توان استفاده کرد عبارتند از:

۱- مدل منطق بولین

وزن‌دهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی در این مدل براساس منطق صفر و یک می‌باشد. یعنی در نقشه‌های پایه هر واحد از نظر پخش سیلاب یا مناسب است یا نامناسب و حد وسطی وجود ندارد در نقشه‌های نهایی و تلفیق یافته نیز هر پیکسل یا مناسب و یا نامناسب تشخیص داده می‌شود. این مدل دارای اپراتورهای NOT، AND و OR می‌باشد. بر اساس نظریه مجموعه‌ها، اپراتور AND اشتراک و اپراتور OR اجتماع مجموعه‌ها را استخراج می‌نماید. یعنی در اپراتور AND فقط پیکسلی که در تمامی نقشه‌های پایه ارزش یک دارد در نقشه نهایی ارزش یک خواهد داشت و جزو مناطق مناسب قرار می‌گیرد. اما در اپراتور OR پیکسلی که فقط از نظر یک نقشه پایه مناسب بوده و ارزش یک داشته باشد و از لحاظ سایر لایه‌های اطلاعاتی دارای ارزش صفر باشد در نقشه خروجی و تلفیق یافته ارزش یک داشته و مناسب تشخیص داده می‌شود (قرمز چشمه و همکاران، ۱۳۷۹).

۲- مدل‌های شاخص هم‌پوشانی نقشه‌ها

در این مدل‌ها علاوه بر وزن دهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی به هر لایه اطلاعاتی (نقشه) بر اساس ارزش خود در مکان‌یابی وزن داده می‌شود. این مدل‌ها دو حالت دارند:

الف: Binary Evidence Maps ساده‌ترین نوع مدل‌های شاخص هم‌پوشانی می‌باشند که بر اساس این مدل‌ها به نقشه‌های حاصل از مدل بولین براساس اهمیت‌شان در مکان‌یابی وزن خاصی داده می‌شود.

ب: Multi-Class Maps در این مدل علاوه بر وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، واحدهای موجود در هر لایه اطلاعاتی نیز براساس پتانسیل خود وزن خاصی خواهد داشت.

۳- مدل‌های منطق فازی

بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی، عضویت اعضاء در مجموعه ممکن است به طور کامل بوده و هر عضوی دارای درجه عضویت از صفر تا یک باشد بر این اساس، مجموعه‌ای در نظر گرفته می‌شود که اعضای آن، واحدهای هر کدام از نقشه‌های پایه و معیار عضویت در مجموعه، مناسب بودن برای پخش سیلاب و درجه عضویت، بین صفر و یک می‌باشد. مدل‌های منطق فازی شامل Fuzzy and، Fuzzy or، ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی، فازی گاما^۵ و می‌باشد که هر یک خصوصیات و قابلیت‌های ویژه‌ای را دارا می‌باشند [۸].

روش مطالعه

ابتدا منطقه مورد مطالعه مشخص شده و سپس شاخص‌های مورد ارزیابی در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب با توجه به میزان اهمیت هر یک در منطقه مورد مطالعه و امکان دسترسی به آمار و اطلاعات انتخاب می‌شوند در مرحله بعد نرم‌افزار مورد استفاده جهت انجام تحقیق مشخص شد در این تحقیق با توجه به قابلیت‌ها و نیازهای موجود، از نرم افزار ILWIS استفاده شده است.

شاخص‌های مکان‌یابی

تعیین و تأثیر شاخص‌های مناطق مستعد پخش سیلاب توسط محققان بسیاری در ایران پناه، ۱۳۷۹ و سلطانی، ۱۳۸۰ و قرمزچشمه و همکاران، (۱۳۷۹) و در خارج از ایران [۹] و مورد مطالعه قرار گرفته است. پس از ارزیابی گزارشات فوق، امکان دسترسی به اطلاعات، و اولویت‌بندی شاخص‌ها در این تحقیق ۶ عامل شیب، قابلیت اراضی، زمین‌شناسی (واحدهای کوآترنر) نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت و کاربری اراضی از میان عوامل مؤثر در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت.

بدیهی است که استفاده و به کارگیری کلیه شاخص‌ها در مدل تلفیق و تصمیم‌گیری میسر نمی‌باشد. از این رو ابتدا و با توجه به نکاتی مثل مقیاس کار و دقت مورد نظر، هدف، شرایط منطقه و میزان تأثیرگذاری هر یک از شاخص‌ها (وزن لایه‌ها)، اقدام به انتخاب شاخص‌های مناسب شد و سپس از آن‌ها در مدل‌های مناسب تلفیق بهره گرفته شد.

تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و وارد کردن آن‌ها به محیط GIS

برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی ذکر شده با توجه به منابع اطلاعاتی موجود به سه طریق متفاوت عمل شده است:

5- Fuzzy algebraic product, Fuzzy algebraic sum, Fuzzy gamma

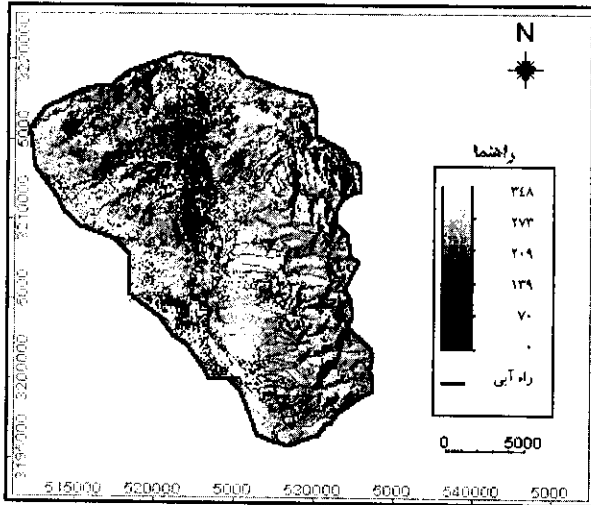
الف) بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی شامل شیب، قابلیت اراضی و واحدهای کوچک‌تر با استفاده از نقشه‌های پایه موجود.

ب) بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی شامل نفوذپذیری سطحی و ضخامت آبرفت با استفاده از گزارشات موجود و تبدیل داده‌های عددی به نقشه.

ج) بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور برای تهیه لایه اطلاعاتی کاربری اراضی.

تهیه نقشه شیب

برای تهیه نقشه شیب محدوده مورد مطالعه از چهار شیت نقشه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح شامل برگ‌های شماره I ۶۲۴۷، ۶۲۴۷IV، ۶۲۴۸ II و ۶۲۴۸ III استفاده شد. سپس یک نقشه‌برداری ساخته شده و خطوط تراز از نقشه‌های توپوگرافی راقومی شدند. پس از راقومی نمودن خطوط تراز، مدل راقومی ارتفاعی (DEM) حوضه تهیه و در نهایت نقشه

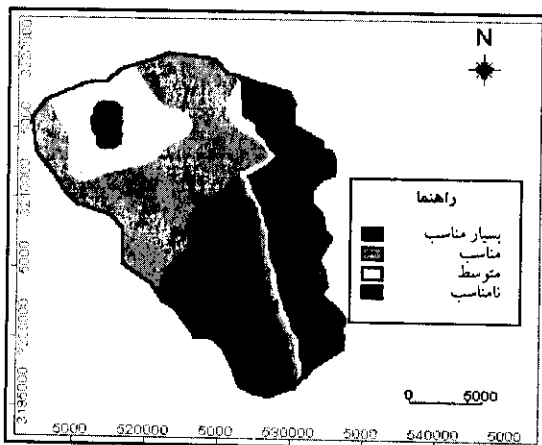


شکل ۳ نقشه شیب و شبکه آبراهه‌ها و عرصه‌ها

شیب و جهت آن آماده شکل ۳ نقشه جهت شیب را در حوضه آبخیز سمل به همراه شبکه آبراهه‌ها و عرصه‌های اجرا شده آبخوان نشان می‌دهد.

تهیه نقشه قابلیت اراضی

برای تهیه نقشه قابلیت اراضی محدوده مورد مطالعه از یک برگ نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان بوشهر با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مؤسسه تحقیقات خاک و آب استفاده شده است.



شکل ۴ نقشه نفوذپذیری سطحی حوضه آبخیز سمل

تهیه نقشه زمین‌شناسی (واحد‌های کواترنر)

برای تهیه نقشه واحد‌های کواترنر محدوده مورد مطالعه از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ شرکت نفت استفاده شده است. برای این منظور یک لایه برداری ساخته شده و مرز واحد‌های کواترنر در محدوده رقومی مشخص شده و از نقشه پایه تفکیک گردید و سپس نقشه پلی‌گونی تهیه شد. جدول شماره ۱ واحد‌های کواترنر موجود در محدوده مورد مطالعه را به همراه مساحت و درصد گسترش هر یک نشان می‌دهد.

جدول ۱ واحد‌های کواترنر و مساحت و درصد گسترش هر یک در حوضه آبخیز سمل

| واحد کواترنر | مساحت بر حسب هکتار | درصد گسترش |
|-------------------------|--------------------|------------|
| Alluvial-fan Quaternary | ۶۴۰۳/۰۹ | ۲۰/۲۸ |
| Alluvial Quaternary | ۱۱۹۵۶/۲۱ | ۳۷/۸۷ |
| Pellocene Quaternary | ۴۳۹۵/۳۱ | ۱۳/۹۳ |
| Non - Quaternary | ۸۸۱۷/۰۱ | ۲۷/۹۲ |
| | ۳۱۵۷۱/۶۲۰ | ۱۰۰ |

تهیه نقشه نفوذپذیری سطحی

برای تهیه نقشه نفوذپذیری سطحی از گزارشات طرح جامع آبخوان‌داری اهرم بوشهر و انجام عملیات صحرایی استفاده گردید برای این منظور و اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری خاک در محدوده مورد مطالعه از روش حلقه‌های مضاعف استفاده شد. بدیهی است پراکنش این نقاط از خط کنیک (حدفاصل ارتفاعات و مخروط افکنه) به سمت پایین دست حوضه مورد مطالعه می‌باشد. برای تبدیل نقشه نقطه‌ای به نقشه رستری نیاز به انتخاب یک روش میان‌یابی مناسب می‌باشد.

روش‌های مختلفی برای میان‌یابی یک متغیر وجود دارد که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های کلاسیک نظیر تیسن و میانگین حسابی اشاره کرد. ولی این روش‌ها به دلیل در نظر نگرفتن موقعیت و آرایش داده‌ها و همبستگی بین آن‌ها، از دقت کافی برخوردار نمی‌باشند. بنابراین استفاده از تخمین‌گرهای زمین‌آمار می‌تواند دقت محاسبات را افزایش دهد.

ضمن آن‌که این روش‌ها به راحتی در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در دسترس هستند [۱۰]. به همین دلیل، در این مرحله برای میان‌یابی نفوذپذیری سطحی سه روش کریگینگ

(معمولی و لوگ کریگینگ)، میانگین متحرک وزن^۱ با درجات ۱ و ۲ و Thin Plate Smoothing) TpsS Mean Absolute Error (Cross-Validation) استفاده شده و معیار مقایسه و ارزیابی نیز Mean Absolute Error (MAE) می باشد [۱۱].

مناسب ترین روش، روشی است که دارای کمترین مقدار MAE است یا به عبارت دیگر هر چه این مقدار به صفر نزدیک تر باشد، نشان دهنده دقت بیشتر آن روش می باشد. برای انتخاب روش مناسب، مقایسه سه روش فوق الذکر با تکنیک C.V. اجرا گردید و سپس برای هر روش MAE محاسبه شد که نتایج آن در جدول شماره ۲ آمده است.

همان طور که در جدول مشاهده می شود روش WMA با توان ۲، کمترین مقدار MAE و یا بیشترین دقت را دارد ($MAE = 1/5$). لذا برای تبدیل نقشه نقطه ای به نقشه رستری نفوذپذیری سطحی از همین روش میان یابی استفاده شد. پس از به دست آمدن نقشه رستری میان یابی شده با انجام طبقه بندی، نقشه نفوذپذیری سطحی حوضه آبخیز سمل به دست آمد (شکل ۴).

جدول ۲ روش های میان یابی بررسی شده و متوسط خطای هر یک از آن ها (MAE) برای تهیه نقشه نفوذپذیری سطحی

| علامت اختصاری | روش میان یابی | MAE |
|---------------|--|------|
| WMA-۱ | Weighted Moving Average با توان یک | ۱/۸ |
| WMA-۲ | Weighted Moving Average با توان دو | ۱/۵ |
| WMA-۳ | Weighted Moving Average با توان سه | ۱/۶ |
| OK | کریگینگ معمولی Ordinary Kriging | ۱/۸۱ |
| OK-LO | لگاریتم داده ها در کریگینگ Log Kriging | ۴/۰۵ |
| TpsS-۲ | Thin plate smoothing spline با توان دو | ۱/۶ |
| TpsS-۳ | Thin plate smoothing spline با توان سه | ۳/۵ |

تهیه نقشه ضخامت آبرفت

برای تهیه نقشه ضخامت آبرفت از گزارش مشخصات فنی چاه‌های مشاهده‌ای، اکتشافی و ییزومتری منطقه اهرم که توسط مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان بوشهر در اردیبهشت ۸۰ تهیه شده است استفاده گردید. برای این منظور از اطلاعات ۱۰ حلقه چاه استفاده شده است.

همچنین تعداد ۱۰ نقطه کمکی نیز به دلیل وسعت منطقه مورد مطالعه و کمبود نقاط نمونه‌برداری شده و امکان میان‌یابی با دقت مورد نظر (با توجه به زمین ساختاری و روند تغییرات عمق آبرفت در منطقه و به دلیل میسر نبودن انجام آزمایشات ژئوالکترونیک و یا حفزه چاه‌های دیگر و به منظور حداکثر استفاده از اطلاعات موجود و در دسترس) برآورد شده و به عنوان نقاط کمکی در میان‌یابی مورد استفاده قرار گرفتند. موقعیت و پراکنش نقاط اندازه‌گیری ضخامت آبرفت را بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ محدودۀ مورد مطالعه نشان می‌دهد.

سپس مختصات نقاط و ضخامت آبرفت به صورت نقشه نقطه‌ای ساخته شد. برای تبدیل نقشه نقطه‌ای به نقشه رستری از روش میان‌یابی کریگینگ معمولی، که در این حالت کمترین مقدار MAE یا بیشترین دقت را داشت استفاده گردید. پس از به دست آمدن نقشه رستری میان‌یابی شده، نقشه ضخامت آبرفت حوضه آبخیز سمل به دست آمد.

تهیه نقشه کاربری اراضی

آخرین لایه اطلاعاتی مورد نیاز، نقشه کاربری اراضی می‌باشد. این نقشه در مدل‌های تلفیق دخالت داده نمی‌شود ولی پس از به دست آمدن نتایج حاصل از تلفیق ۵ لایه اطلاعاتی دیگر و مشخص شدن بهترین مدل با استفاده از درصد هم‌پوشانی با نقاط کنترل و مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب در آن مدل، نقشه به دست آمده با نقشه کاربری اراضی تداخل^۷ داده می‌شود تا اراضی کشاورزی از نقشه عرصه‌های مستعد به دست آمده جدا شوند.

برای تهیه نقشه کاربری اراضی محدوده از تصویر ماهواره‌ای با سنجنده TM مربوط به سال ۱۹۹۱ با گذر ۴۰-۱۶۳ استفاده گردید. به دلیل مزایای روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال (با نظارت) از بین روش‌های مختلف این روش انتخاب شد [۱۲]. با انجام عملیات کنترل صحرائی و با استفاده از GPS دستی و انتخاب ۳۰ نقطه کنترل زمینی نسبت به اصلاح و بروز نمودن کاربری‌ها اقدام گردید.

معیارهای مکان‌یابی و تعیین وزن واحدها در هر لایه اطلاعاتی

در این تحقیق ۶ معیار شیب، قابلیت اراضی، واحدهای کوآترنر، نفوذپذیری سطحی، ضخامت آبرفت و کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفتند. که البته معیار کاربری اراضی در مدل‌های تلفیق وارد نشده و فقط جهت جداسازی اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. وزن واحدها در هر لایه اطلاعاتی با استناد به منابع مختلف در مکان‌یابی مناطق مستعد تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از RS و GIS [۱۳] و [۱۴] اعمال نظر کارشناسی به دست آمد. به عنوان نمونه جداول شماره ۳ وزن هر واحد نقشه شیب در مدل‌های مختلف را نشان می‌دهد،

جدول ۳ وزن هر واحد نقشه شیب در مدل‌های مختلف

| منطق فازی (۱ تا ۱۰) | شاخص هم‌پوشانی (۱۰ تا ۱) | منطق بولین (۰ و ۱) | (%) کلاس‌های شیب |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|
| ۰/۸ | ۸ | ۱ | ۰-۲ |
| ۰/۹۹ | ۱۰ | ۱ | ۲-۵ |
| ۰/۶ | ۶ | ۰ | ۵-۸ |
| ۰/۴ | ۴ | ۰ | ۸-۱۰ |
| ۰/۱ | ۱ | ۰ | ۱۰-۲۰ |
| ۰/۰۱ | ۰ | ۰ | ۲۰> |
| Slope FU | Slope IN | Slope BO | |

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین مکان‌های مناسب پخش سیلاب در هر مدل

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بدون در نظر گرفتن اهمیت هر لایه در مکان‌یابی نمی‌تواند ارزش واقعی لایه‌های اطلاعاتی را در تلفیق دخالت دهد و واحدهای با ارزش متفاوت در یک کلاس قرار می‌گیرند. به طور مثال در تعیین مکان مناسب پخش سیلاب از طریق استخراج اشتراک مکان‌های مناسب در کلیه نقشه‌ها، لایه اطلاعاتی که اهمیت کمتری در مکان‌یابی نسبت به بقیه دارد در محدود نمودن مناطق به اندازه سایر لایه‌ها دخالت خواهد کرد و شانس انتخاب را از مناطقی که از نظر آن لایه اطلاعاتی کم ارزش، نامطلوب می‌باشند می‌گیرد. در این تحقیق مدل‌های تلفیق زیر مورد بررسی علمی قرار گرفت:

۱- مدل منطق بولین

با توجه به لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده و هدف تحقیق، اپراتور OR در تلفیق لایه‌های مورد استفاده قرار نگرفت و نقشه‌های پایه با استفاده از اپراتور AND تلفیق شدند و نقشه مکان‌های مناسب پخش سیلاب در این مدل به دست آمد.

۲- مدل‌های شاخص نقشه‌های هم‌پوشانی

در این مدل‌ها علاوه بر وزن‌دهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی به هر لایه اطلاعاتی (نقشه) بر اساس اهمیت آن در مکان‌یابی در دو حالت زیر وزن داده شده است:

۱- مدل‌های Binary evidence maps: در این تحقیق محدوده وزن‌دهی بین ۰ تا ۱۰ انتخاب

شد با توجه به اهمیت هر یک از لایه‌های اطلاعاتی (نقشه‌ها) در مکان‌یابی برای نقشه شیب وزن ۱۰، برای نقشه نفوذپذیری سطحی وزن ۸، برای نقشه ضخامت آبرفت وزن ۷ و برای نقشه‌های قابلیت اراضی و واحدهای کواترنر وزن ۶ در نظر گرفته شد. در نقشه حاصل، هر پیکسل دارای ارزشی بین صفر و یک می‌باشد که هر چه عدد به یک نزدیک‌تر باشد برای پخش سیلاب مناسب‌تر است. از این‌رو نقشه رستری حاصل براساس استعداد پخش سیلاب طبقه‌بندی^۱ می‌شود.

۲- مدل‌های Multi class maps: در این مدل علاوه بر وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، هر

واحد براساس اهمیت در بین ۰ تا ۱۰ وزن‌دهی شد.

۳- مدل منطق فازی

در این تحقیق مجموعه‌ای در نظر گرفته شد که اعضای آن، واحدهای هر کدام از نقشه‌های پایه و معیار عضویت در مجموعه، مناسب بودن برای پخش سیلاب و درجه عضویت، بین صفر و یک می‌باشد. در این مدل هیچ واحدی مناسب مطلق و نامناسب مطلق در نظر گرفته نمی‌شود. به همین دلیل وزن‌های داده شده نه صفر است و نه یک بلکه بین صفر و یک متغیر است [۱۵]. در این مدل نقشه‌های پایه از طریق استفاده از عملگرهای مختلف فازی به شرح زیر ترکیب شده و دقت نقشه‌های استعداد اراضی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

۱- اپراتور Fuzzy AND: Fuzzy AND عملگر اشتراک مجموعه‌هاست. بدین صورت که حداقل درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند. یعنی در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند. به همین دلیل این اپراتور حساسیت بالایی در مکان‌یابی مناطق مستعد دارد.

۲- اپراتور ضرب جبری فازی: در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه‌های فازی می‌باشد این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل این اپراتور دقت و حساسیت بالایی در مکان‌یابی اعمال می‌کند.

۳- اپراتور جمع جبری فازی: در این اپراتور متمم ضرب متمم مجموعه‌ها محاسبه می‌شود. به همین دلیل در نقشه خروجی بر خلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل این اپراتور حساسیت خیلی کمی در مکان‌یابی دارد.

۴- اپراتور فازی گاما: جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای اپراتور فازی ضرب و دقت خیلی کم اپراتور فازی جمع، اپراتور دیگری بنام فازی گاما معرفی شده است که حد فاصل عملگرهای ضرب و جمع فازی بوده و فرمول آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\mu \text{ combination} = (\text{جمع جبری فازی}) * \gamma \quad (1-\gamma) \text{ (ضرب جبری فازی)} \quad (1)$$

همان طور که از فرمول پیداست چنانچه $\gamma = 1$ باشد نقشه خروجی همان نقشه حاصل از جمع جبری فازی خواهد بود و اگر $\gamma = 0$ باشد نقشه خروجی همان نقشه حاصل از ضرب جبری فازی خواهد بود. بنابراین محدوده تغییرات γ بین صفر و یک می‌باشد. در این تحقیق نقشه عرصه‌های مناسب پخش سیلاب از $\gamma = 0/1$ تا $\gamma = 0/9$ استخراج شد.

ارزیابی مدل‌ها

جهت ارزیابی مدل‌ها از عرصه‌های اجرا شده پخش سیلاب توسط وزارت جهاد کشاورزی به عنوان عرصه‌های کنترل استفاده شده است. به این منظور نقشه مکان‌های مناسب پخش سیلاب در هر مدل با نقشه عرصه‌های کنترل مقایسه شده و فراوانی تعداد پیکسل‌های مناسب پخش سیلاب (کلاس‌های خیلی خوب و خوب) واقع در عرصه‌های کنترل نسبت به تعداد کل پیکسل‌های مناسب پخش سیلاب (کلاس‌های خیلی خوب و خوب) در هر مدل محاسبه شد. معیار ارزیابی مدل‌ها در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب، ارائه کمترین مساحت برای عرصه پیشنهادی به همراه بیشترین هم‌پوشانی با عرصه‌های کنترل در نظر گرفته شد (جدول ۴).

جدول ۴ مساحت عرصه‌های پیشنهادی و تعداد پیکسل‌های آن و میزان هم‌پوشانی با عرصه‌های کنترل در هر مدل

| نقشه مکان‌های مناسب در هر مدل | تعداد پیکسل‌های عرصه‌های پیشنهادی (A1) | تعداد پیکسل‌های دارای هم‌پوشانی با عرصه‌های کنترل (B1) | مساحت عرصه‌های پیشنهادی (A2)، (ha) | مساحت دارای هم‌پوشانی با عرصه‌های کنترل (B2)، (ha) | درصد هم‌پوشانی عرصه‌های پیشنهادی با عرصه‌های کنترل $(B1/A1)*100$ یا $(B2/A2)*100$ |
|-------------------------------|--|--|------------------------------------|--|--|
| Boolean logic (Boolean AND) | ۱۱۲۶۱۲۱ | ۷۲۵۴۶ | ۸۷۲۹/۳۱ | ۵۲۰/۷۳ | ۶/۴۴ |
| Binary evidence | ۱۳۵۳۳۰۸ | ۹۸۰۴۲ | ۹۷۲۰/۱۶ | ۷۰۳/۷۴ | ۷/۲۴ |
| Multiclass maps | ۱۳۲۴۷۳۰ | ۹۹۶۴۴ | ۹۵۰۸/۹۱ | ۷۱۵/۲۴ | ۷/۵۲ |
| Fuzzy AND | ۱۲۸۰۴۰۰ | ۹۷۷۵۱ | ۹۱۹۰/۷۱ | ۷۰۱/۶۵ | ۷/۶۳ |
| Fuzzy Product | ۸۲۵۶۳۱ | ۷۸۳۹۰ | ۵۹۲۶/۳۸ | ۵۶۲/۶۸ | ۹/۴۹ |
| gamma=۰/۱ | ۸۲۵۶۳۱ | ۷۸۳۹۰ | ۵۹۲۶/۳۸ | ۵۶۲/۶۸ | ۹/۴۹ |
| gamma=۰/۲ | ۸۲۵۶۳۱ | ۷۸۳۹۰ | ۵۹۲۶/۳۸ | ۵۶۲/۶۸ | ۹/۴۹ |
| gamma=۰/۳ | ۸۴۴۹۰۰ | ۷۸۳۹۰ | ۶۰۶۴/۶۹ | ۵۶۲/۶۸ | ۹/۲۷ |
| gamma=۰/۴ | ۱۰۷۴۱۱۳ | ۹۲۰۶۹ | ۷۷۰۹/۹۸ | ۶۶۰/۸۷ | ۸/۵۷ |
| gamma=۰/۵ | ۱۳۳۳۷۸۸ | ۹۲۰۸۶ | ۹۵۷۳/۹۳ | ۶۶۰/۹۹ | ۶/۹۰ |
| gamma=۰/۶ | ۱۶۹۳۳۶۹ | ۹۶۲۳۸ | ۱۲۱۵۵/۰۰ | ۶۶۹۳/۶۶ | ۵/۷۰ |
| gamma=۰/۷ | ۱۹۴۷۸۳۳ | ۹۷۴۳۰ | ۱۳۹۸۱/۵۴ | ۶۹۹/۳۵ | ۵/۰۰ |
| gamma=۰/۸ | ۲۶۴۱۹۲۵ | ۹۷۸۱۵ | ۱۸۹۶۳/۷۲ | ۷۰۲/۱۱ | ۳/۷۰ |
| gamma=۰/۹ | ۳۰۶۶۴۳۱ | ۹۸۱۰۶ | ۲۲۰۱۰/۸۴ | ۷۰۴/۲۰ | ۳/۱۹ |
| Fuzzy sum | ۳۹۵۸۳۵۳ | ۹۹۷۲۴ | ۲۸۴۱۳/۰۵ | ۷۱۵/۸۲ | ۲/۵۲ |

نتیجه‌گیری

همان‌گونه که در جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود:

۱- از میان مدل‌های ارزیابی شده، اپراتور ضرب جبری فازی و $\gamma=۰/۱$ گاما و $\gamma=۰/۲$ گاما از مدل منطق فازی کمترین مساحت عرصه پیشنهادی و بیشترین هم‌پوشانی را با عرصه‌های کنترل

دارند و از این رو بهترین مدل‌ها برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در مکان‌یابی عرصه‌های مستعد پخش سیلاب در محدوده مورد مطالعه شناخته شدند.

۲- چون اپراتورهای گاما از مدل منطق فازی حد فاصل دو اپراتور فازی ضرب و فازی جمع عمل می‌کنند بدیهی است که حساسیت آن‌ها نیز بین دو اپراتور ذکر شده تغییر یابند، به طوری که حساسیت اپراتور فازی ضرب از اپراتورهای گاما بیشتر (در این تحقیق در حالت $0/1 = \text{گاما}$ و $0/2 = \text{گاما}$ برابر آن‌هاست) و دقت اپراتور فازی جمع از اپراتورهای گاما کمتر است.

۳- به دلیل این که حاصل ضرب اعداد بین صفر و یک عددی کوچکتر از هر یک از اعداد می‌شود اپراتور ضرب جبری فازی دقت و حساسیت بالایی در مکان‌یابی نشان می‌دهد. به طوری که از کل حوزه فقط عرصه‌ای به مساحت $5926/38$ هکتار (حدود 19% کل حوزه) را مناسب تشخیص داده است. البته دقت و حساسیت بالای این اپراتور ممکن است موجب حذف شدن برخی عرصه‌های مناسب از عرصه‌های پیشنهادی گردد.

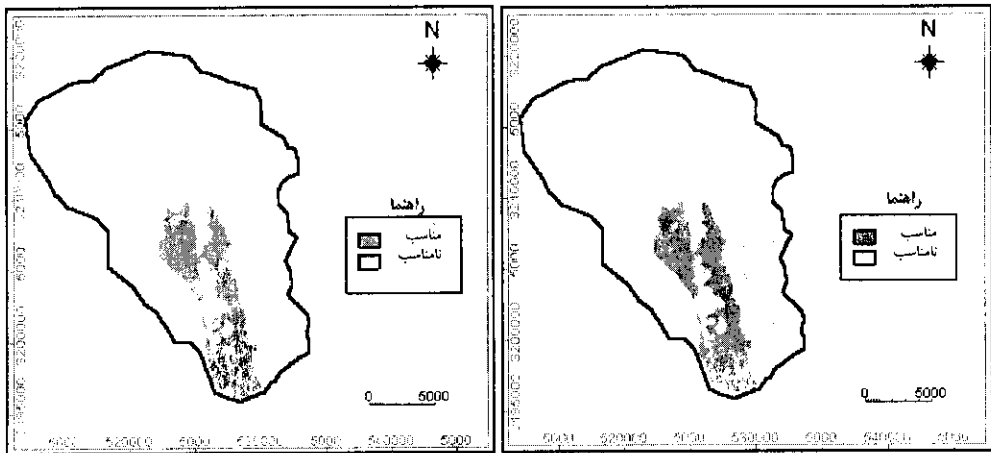
۴- اپراتور جمع جبری فازی به دلیل ماهیت خود و ماهیت اعداد بین صفر و یک از دقت بسیار کمی در مکان‌یابی برخوردار است به طوری که $28413/05$ هکتار از مجموع $31571/7$ هکتار (حدود 90% کل حوزه) را مناسب تشخیص داده است.

۵- با افزایش گاما در مدل منطق فازی، از دقت مکان‌یابی کاسته می‌شود. به طوری که از $0/7 = \text{گاما}$ به بالا، به شدت از دقت مکان‌یابی و درصد هم‌پوشانی با عرصه‌های کنترل کاسته شده و بدیهی است که بر وسعت عرصه‌های پیشنهادی در جهت نامناسب افزوده می‌شود. به طوری که درصد هم‌پوشانی با عرصه‌های کنترل در اپراتور $0/7 = \text{گاما}$ از 5 درصد به $3/7$ درصد و در $0/8 = \text{گاما}$ کاهش یافته و وسعت عرصه‌های پیشنهادی از $13981/04$ هکتار به $18963/73$ هکتار افزایش یافته است. قابل توجه است که برخی عرصه‌های پیشنهادی از $0/7 = \text{گاما}$ به بالا در مدل منطق بولین دارای وزن صفر می‌باشند.

۶- اپراتور AND در مدل منطق فازی به دلیل اینکه اشتراک مجموعه را استخراج می‌کند حساسیت و دقت نسبتاً خوبی را در مکان‌یابی دارد و همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود از حساسیت بیشتری نسبت به مدل‌های منطق بولین و شاخص‌های همپوشانی دارد.

۷- در مدل‌های شاخص‌های هم‌پوشانی، دقت مدل Multi class maps بیشتر از مدل Binary evidence maps می‌باشد که علت آن وزن‌دهی به هر یک از واحدهای موجود در هر لایه (البته نه به صورت Binary) علاوه بر وزن‌دهی به خود لایه‌ها در مدل Multi class maps می‌باشد.

۸- دقت مدل‌های شاخص هم‌پوشانی در مکان‌یابی بیشتر از مدل منطق بولین می‌باشد. به دلیل اینکه به هر لایه اطلاعاتی در مکان‌یابی وزن خاص داده می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل‌ها جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در مکان‌یابی عرصه‌های مناسب پخش سیلاب، نقشه مکان‌های مناسب پخش سیلاب حاصل از اپراتورهای ضرب جبری فازی، شکل ۷ و $\gamma = 0/1$ = گاما شکل ۸، پس از حذف اراضی کشاورزی به دست آمده است.



شکل ۸، مکان‌های مناسب پخش سیلاب حاصل ضرب جبری فازی پس از حذف اراضی کشاورزی $\gamma = 0/1$

شکل ۷، مکان‌های مناسب پخش سیلاب حاصل از اپراتور ضرب جبری فازی پس از حذف اراضی کشاورزی $\gamma = 1/0$

پی‌نوشت‌ها

- ۱- سازمان ملل متحد، ۱۹۹۰.
- ۲- وزارت نیرو، ۱۳۷۳.
- ۳- حامد پناه و همکاران، ۱۳۷۹.
- ۴- وهابی، ۱۳۷۸.
- ۵- Alesheikh & Helali, 2000
- ۶- مرکز تحقیقات منابع طبیعی وامور دام بوشهر، ۱۳۷۹.
- ۷- کنشلو، ۱۳۷۷.
- ۸- Alesheikh, 1998
- ۹- Saraf & Choudhury, 1998
- ۱۰- Alesheikh, 1998
- ۱۱- Alesheikh, 1998
- ۱۲- Alesheikh & Naeni, 2002
- ۱۳- Saraf & Choudhury, 1998
- ۱۴- Krishnamurthy, 1996
- ۱۵- Graeme, 1996

منابع و مآخذ

- ۱- حامد پناه، رامین و همکاران، ۱۳۷۹، بررسی مکان پخش سیلاب با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی، چکیده مقالات همایش کاربرد سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در مطالعه مناطق بیابانی، ص ۷.
- ۲- سازمان ملل متحد، ۱۹۹۰، گزارش کارشناسان، انتشارات سازمان جهانی خواربار کشاورزی ملل متحد (FAO).
- ۳- سلطانی، محمد جعفر، ۱۳۸۰، ارزیابی اراضی به منظور مکان‌یابی عرصه‌های مستعد اجرای عملیات پخش سیلاب در محیط GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی.
- ۴- قرمز چشمه، باقر و همکاران، ۱۳۷۹، تعیین شاخص‌های مورد نیاز در مکان‌یابی پخش سیلاب - مطالعه موردی دشت میمه اصفهان، مجموعه مقالات دومین همایش سراسری دست آوردهای طرح آبخوان داری، ص ۳۹-۵۰.
- ۵- کنشلو، هاشم، ۱۳۷۷، نگرشی بر سیمای منابع طبیعی سواحل جنوب کشور، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام بوشهر، ۱۳۷۹، مطالعات مقدماتی طرح جامع آب‌خوانداری در استان بوشهر، جلد اول، گزارش هوا و اقلیم.
- ۶- وزارت نیرو، ۱۳۷۳، گزارش طرح جامع آب کشور، انتشارات وزارت نیرو.
- ۷- وهابی، جلیل، ۱۳۷۸، اصول و معیارها، اهداف، تنگناها و نیازهای تحقیقاتی سامانه‌های پخش سیلاب، گزارش اولین کارگاه آموزشی پخش تحقیقات مدیریت و بهره برداری از سیلاب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

- 8- Alesheikh, A.A. and H. Helali, 2002, "Web GIS Development Strategy" GIM International, Nov. 2002, Vol. 16, No 11, Pp 12-15.
- 9- Alesheikh, A.A. and F. Sadeghi Naeeni, 2002, "Improving Maximum Likelihood Classification Accuracy Using A-Priori Probability" Proceedings of the 21th Asian Conference on Remote Sensing, Kathmandu, Nepal.
- 10- Alesheikh, Ali A., 1998, Modeling and Managing Uncertainty in Object-Based GIS, PhD thesis, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.
- 11- Graeme F. Bonham Carter, 1996, Geographic information system for geoscientists (modeling for GIS), PERGAMON Publication, USA, Chapter 9, pp: 267-302.
- 12- Krishnamurthy, et al, 1996, An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and geographic information system, International Journal of Remote Sensing, vol: 10, pp: 1876-1884.
- 13- Saraf, A.K. and P.R. Choudhury, 1998, Integrated remote sensing and GIS for ground water exploration and identification of artificial recharge sites, International Journal of Remote Sensing, vol: 10, 1825-1841.