



مدل‌های منطق‌فازی و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌ی آبخیز لاجیم

علی‌اکبر متکان^۱، مهندس جلال سمیعا^{۲*}، سید مسین پورعلی^۱ و مهندس مهرداد صفایی^۳

(۱) گروه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی دانشگاه شهید بهشتی a-matkan@sbu.ac.ir

(۲) دانشگاه پیام نور بابل Samia2849@yahoo.com

(۳) مرکز تحقیقات کشاورزی استان مازندران m-safaei45@yahoo.com

*عده‌دار مکاتبات

مکیده

شناسایی، پیشگیری و کنترل خسارات انسانی- اجتماعی و اقتصادی ایجاد شده توسط خطرات طبیعی مانند زمین‌لغزش‌ها، از اهداف اساسی مؤسسات تحقیقاتی و اجرایی است. هدف از انجام این تحقیق، شناسایی مناطق امن و خطرناک وقوع زمین‌لغزش و مدل‌سازی این پدیده با استفاده از شبکه‌ی استنتاج فازی و تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در حوضه‌ی آبخیز لاجیم در مازندران و البرز مرکزی است. پارامترهای مورد استفاده برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این تحقیق، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، ارتفاع، جهت شیب، شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، پوشش گیاهی و کاربری اراضی است. وزن پارامترهای مؤثر جهت استخراج توابع عضویت فازی، از روش فراوانی نسبی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از نقشه‌ی فهرست زمین لغزش‌های موجود در هر کلاس محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که کاربری اراضی دارای بیشترین وزن است و لذا به‌عنوان مهمترین عامل انتخاب شده است. از میان مدل‌های مختلف منطق فازی استفاده شده در این تحقیق، مدل گامای ۰/۷ فازی و مدل میانگین وزنی مرتب شده‌ی فازی دارای کمترین تغییرپذیری و انحراف از معیار در مدل‌سازی نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند. در نتیجه این دو مدل برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌ی استنتاج فازی، گامای فازی، میانگین وزنی مرتب شده‌ی فازی، انحراف معیار

۱- مقدمه

Information System) در ارتباط با پدیده‌ی زمین‌لغزش در کشور و جهان انجام شده است. لان و همکاران (Lan et al. 2004) پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش را در حوضه‌ی آبخیز جیانوجیانگ (Xiaojiang) بررسی نمودند. آن‌ها وزن پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش را با روش قضاوت کارشناسی تهیه کرده‌اند و با آنالیز همپوشانی در محیط جی آی اس (GIS) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش منطقه‌ی مورد مطالعه را در چهار زون خیلی آسیب‌پذیر، آسیب‌پذیر، آسیب‌پذیری متوسط و کم به‌دست آوردند. چامپاتیرای و همکاران (Champati ray et al. 2006) نقشه‌ی خطر وقوع زمین لغزش حوضه‌ی گاروال (Garhwal) هیمالیا را با استفاده از مدل گامای منطق فازی تهیه کردند که در این نقشه ۷۲ درصد از منطقه در معرض خطر خیلی زیاد وقوع زمین‌لغزش قرار گرفته است. پراسانا و

حوضه‌ی آبخیز لاجیم یکی از زیرحوضه‌های تجن در استان مازندران و شهرستان ساری است. مساحت تقریبی این حوضه ۱۴۰ کیلومترمربع است و در محدوده‌ی طول جغرافیایی ۱۴° ۱۲' ۵۳" تا ۱۲° ۰۳' ۵۳" و عرض جغرافیایی ۱۹° ۲۲' ۳۶" تا ۱۴° ۱۰' ۳۶" در ارتفاعات پوشیده از جنگل در البرز مرکزی و در کناره‌ی قسمت انتهایی سد شهید رجایی قرار دارد. با توجه به این‌که رسوبات ناشی از زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته توسط شبکه‌ی هیدروگرافی به درون مخزن سد تخلیه می‌گردد، انجام مطالعات مربوط به پدیده‌ی زمین‌لغزش در این حوضه ضروری است (فیض‌نیا و همکاران ۱۳۸۲).

مطالعات متعددی از کاربرد مدل‌های منطق فازی، سنجش از دور (Remote Sensing) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographical

همکاران (Kanungo et al. 2006) خطر وقوع زمین لغزش را در منطقه دارجیلینگ (Darjeeling) هیمالیا را با استفاده از پارامترهایی همچون شبکه‌ی جاده، کاربری اراضی و پوشش زمین، شیب، جهت شیب و زمین‌شناسی بررسی کرده‌اند و با استفاده از توابع عضویت مجموعه‌های فازی، نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش را در ۶ کلاس بدون خطر تا خطر خیلی زیاد تهیه کردند (پورعلی ۱۳۸۲)

پهنه‌بندی مناطق خطر زمین لغزش در حوضه آبریز کوه‌رنگ را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور بررسی نموده است و از دو روش ارزش اطلاعاتی و مجموعه‌های فازی جهت انجام تجزیه و تحلیل استفاده کرد. ایشان مدل گامای ۰/۲ فازی را برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه به‌عنوان بهترین مدل انتخاب کردند. (فیض‌نیا و همکاران ۱۳۸۲) به بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز شیرین رود سد تنج پرداختند. ۹ پارامتر ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت بارندگی، کاربری زمین، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از شبکه‌ی هیدروگرافی به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش منطقه تشخیص داده شده است. پس از تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی فوق در محیط جی آی اس و همپوشانی این لایه‌ها با لایه‌ی اطلاعاتی نقشه‌ی پراکنش، مشخص شد که دو عامل جهت شیب و فاصله از شبکه‌ی هیدروگرافی تأثیر کمی در وقوع زمین لغزش منطقه دارند. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده‌ی این است که در مناطق با تغییرات زیاد کاربری زمین، خطر وقوع زمین لغزش بالا است. در این تحقیق، برای مدل‌سازی خطر وقوع زمین لغزش از منطق عدم قطعیت فازی، سنجش از دور (Remote Sensing) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographical Information System) استفاده گردیده است. در منطق فازی، درست و غلط بودن موضوع با درجات مختلف

۲- روش تمقیق

۲-۱- منابع داده

منابع داده‌ای که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، شامل نقشه‌ی زمین‌شناسی پل سفید با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ جهت تعیین سازندهای زمین‌شناسی و نقشه‌ی گسل، نقشه‌ی خاک‌شناسی حوضه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ جهت تعیین تیپ‌های خاک‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ جهت تهیه‌ی نقشه‌ی ارتفاع، نقشه‌ی جهت شیب، شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، تصویر ماهواره-ی نقشه برداری موضوعی پیشرفته (Enhanced Thematic Mapper) برای تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش گیاهی و کاربری اراضی و اطلاعات حاصل از عملیات میدانی جهت تهیه‌ی نقشه‌ی فهرست زمین لغزش است.

۲-۲- تعیین وزن پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش

در این تحقیق، جهت تعیین وزن پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش، از روش فراوانی نسبی وقوع زمین لغزش استفاده شده است. برای محاسبه‌ی مقدار مورد انتظار وقوع زمین لغزش در هر کلاس بر اساس رابطه‌ی (۱) عمل شده است (Bonham-Carter 1994).

(۱)

$$e_i = \text{کل وقوع زمین لغزش‌ها} \times (\text{مساحت هر کلاس} \div \text{مساحت کل})$$

که در آن e_i ، مقدار مورد انتظار وقوع زمین لغزش در هر کلاس است. برای تعیین وزن هر کلاس از رابطه‌ی (۲) استفاده گردیده است:

$$W_i = \left| \left(\frac{o_i}{e_i} - 1 \right) \right| \quad (2)$$

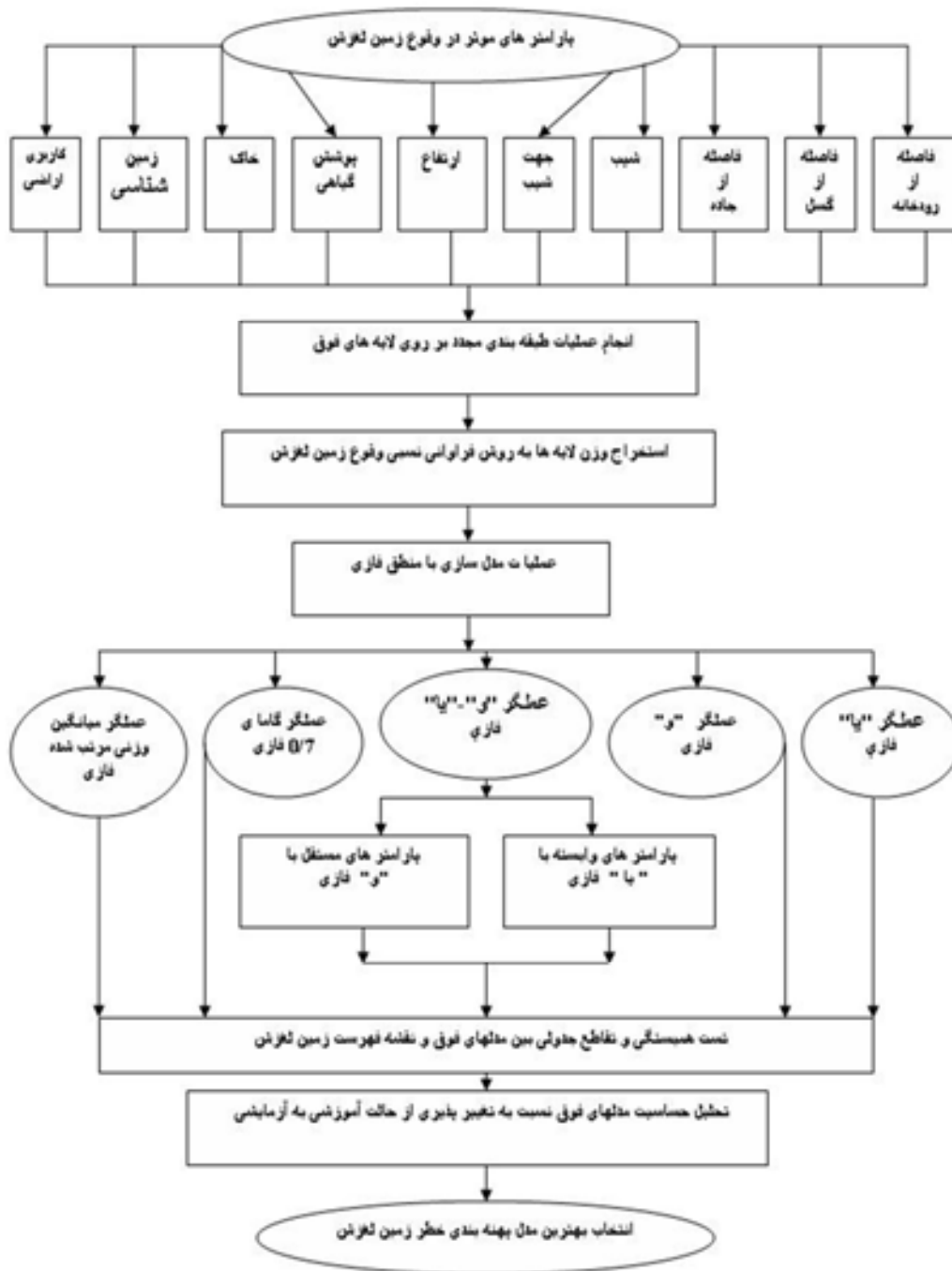
که در آن W_i وزن هر کلاس، e_i مقدار مورد انتظار زمین لغزش در هر کلاس و o_i مقدار مشاهده شده‌ی زمین لغزش در هر کلاس است. برای تعیین وزن نقشه‌ی پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش از رابطه‌ی (۳) استفاده شده است:

$$W_{\text{map}} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{o_i}{e_i} - 1 \right| \quad (3)$$

که در آن W_{map} وزن نقشه‌ی پارامتر، o_i مقدار مشاهده شده‌ی زمین لغزش در هر کلاس و e_i مقدار مورد انتظار زمین لغزش در هر کلاس می‌باشد.



تصویر ۱- موقعیت حوضه آبخیز لاجیم در استان مازندران



تصویر ۲- فلوجارت انجام تحقیق جهت دستیابی به مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌ی آبخیز لاجیم

۳-۲- استفاده از منطق فازی برای مدل‌سازی پدیده‌ی زمین لغزش

با شناخت پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش یک منطقه و بررسی ارتباط این عوامل با زمین لغزش‌های اتفاق افتاده، این پارامترهای مکانی را می‌توان جهت تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه‌ی استنتاج فازی (Fuzzy Inference Network) ترکیب کرد (Weeraprajak 2007). شبکه استنتاج فازی با استفاده از عملگرهایی مانند "و" (AND)، "یا" (OR)، ضرب جبری، جمع جبری، ترکیب ضرب و جمع، عملگر منطقی گامای فازی و روش میانگین وزنی

مرتب شده‌ی فازی (Ordered Weighted Average) ایجاد می‌شود (Fallah-Ghalhary et al. 2009). برای طراحی شبکه‌ی استنتاج فازی روش‌ها و عملگرهای ذیل مورد استفاده قرار گرفتند:

- ۱- عملگر "و" فازی: این عملگر از تابع مینیمم در همپوشانی (Overlay) استفاده می‌کند و معادل اشتراک (Intersect) است و به صورت رابطه‌ی (۴) تعریف می‌گردد:

$$\mu_c(x) = \min \{ \mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x) \} \quad (4)$$

در این روابط، المان γ ، پارامتر تعیین شده در محدوده‌ی صفر و یک است. وقتی γ برابر یک باشد ترکیب، همان جمع جبری فازی و زمانی که γ برابر صفر باشد ترکیب، برابر ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح پارامتر γ ، مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با اثر افزایشی جمع جبری و کاهش ضرب جبری فازی، سازگاری دارد.

۶- روش میانگین وزنی مرتب شده‌ی فازی: این روش ترکیبی از سه تابع اشتراک فازی (intersection) اجتماع فازی (union) و میانگین‌گیری (averaging) است و ترکیب فازی پیوسته‌ای را بین اشتراک (AND) و اجتماع (OR) فازی با تلفیق میانگین وزنی درجه‌ای که بین آن دو قرار می‌گیرد را ایجاد می‌کند. این عملگر در بین عملگرهای فازی شرایط مناسبی از حداقل و حداکثر ریسک را ایجاد می‌کند (Eastman 1988).

۳- بحث

۳-۱- مهمترین عوامل لغزش در موضعی آبخیز لاجیم

با توجه به وزن‌های به‌دست آمده از روش احتمال وقوع، پارامتر کاربری اراضی با داشتن بالاترین وزن (۸/۶۸) به‌عنوان مهمترین عامل لغزش در حوضه انتخاب شده است که کلاس کاربری زراعت با داشتن بیشترین وزن (۴/۱۵) نسبت به کلاس‌های دیگر، نقش مؤثرتری در وقوع زمین‌لغزش در منطقه داشته است.

جدول ۱- مقادیر وزن و درجات عضویت فازی پارامتر کاربری اراضی

درجات عضویت فازی	وزن کلاس	کاربری اراضی
۰/۹	۴/۱۵	زراعت
۰/۵	۱/۷۸	مرتع
۰/۴	۱	شالیزار
۰/۳	۰/۷۳	بوته زار
۰/۲	۰/۲۸	جنگل
۰/۲	۰/۲۷	درختکاری
۰/۱	۰/۲۴	باغ
۰/۱	۰/۲۳	مسکونی
	۸/۶۸	وزن نقشه‌ی کاربری

در پارامترهای مستقل و در مواردی که دو یا چند قسمت از شواهد لازم برای اثبات فرضیه بایستی با هم وجود داشته باشند، استفاده از عملگر "و" مناسب است.

۲- عملگر "یا" فازی: این عملگر از تابع حداکثر در ترکیب استفاده می‌کند و معادل اجتماع (UNION) است و به‌صورت رابطه‌ی (۵) می‌گردد:

$$\mu_c(x) = \max \{ \mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x) \} \quad (5)$$

در صورت استفاده از این عملگر از میان دو تابع عضویت، حداکثر مقدار تابع عضویت انتخاب می‌شود.

۳- ضرب جبری فازی (حداقل سازی): در ضرب، تابع عضویت فازی به صورت رابطه‌ی (۶) تعریف می‌شود:

$$\mu_c(x) = \prod_{i=1}^n \mu_i(x) \quad (6)$$

در رابطه‌ی فوق، تابع عضویت فازی برای i امین نقشه و $i = 1, 2, \dots, N$ تعداد نقشه‌های ترکیب شونده را نشان می‌دهد. مقادیر عضویت فازی ترکیب شده با این عملگر به سمت مقادیر بسیار کوچک میل می‌کند که این به‌علت اثر ضرب کردن چندین عدد کوچکتر از ۱ است.

۴- جمع جبری فازی (حداکثر سازی): این عملگر به‌صورت رابطه‌ی (۷) تعریف می‌شود:

$$\mu_c(x) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad (7)$$

در این رابطه، نتیجه همیشه بزرگتر یا مساوی بزرگترین مقدار عضویت مجموعه‌ی فازی است و لذا به‌دلیل اثر افزایشی (Inceasive) جمع جبری فازی، حداکثر ریسک را داریم.

۵- گامای فازی: این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر اساس روابط (۸) و (۹) تعریف می‌شود:

$$\mu_c = \left(\prod_{i=1}^n \mu(x) \right)^\gamma \times \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu(x)) \right)^{1-\gamma} \quad (8)$$

$$\mu_c = (sum\ fuzzy)^\gamma \times (PF)^{1-\gamma} \quad (9)$$

۱- بیش از ۴۰ درصد از مساحت کاربری زراعت در ارتفاع ۱۲۶۰-۱۰۶۰ متر واقع شده است، لذا به دلیل شیب بالای این مناطق، انجام عملیات کشت و زرع می‌تواند سبب وقوع زمین لغزش شود. مخصوصاً در فصل برداشت محصول که زمین فاقد پوشش می‌باشد و به دلیل مساعد بودن شرایط دیگر از حساسیت بالایی برای وقوع زمین لغزش برخوردار می‌باشد.

۲- بیش از ۶۰ درصد از مساحت کاربری زراعت در فاصله‌ی ۴۰۰-۰ متری از گسل قرار دارد، لذا با توجه به پیشینه‌ی لرزه‌خیزی منطقه، وقوع حرکات تکتونیکی مانند زلزله می‌تواند سبب بروز پدیده‌ی زمین لغزش شود.

۳- بیش از ۷۰ درصد از مساحت کاربری زراعت دارای سنگ‌هایی با ماهیت مارنی می‌باشد که نسبت به وقوع زمین لغزش حساس می‌باشد.

۴- بیش از ۸۵ درصد از مساحت کاربری زراعت در فاصله‌ی ۴۰۰-۰ متری از جاده قرار دارند، لذا با توجه به تأثیر احداث جاده در بروز پدیده‌ی زمین لغزش، بیشترین مقدار وقوع زمین لغزش در کاربری زراعت دیده می‌شود.

۵- بیش از ۵۰ درصد از مساحت کاربری زراعت در فاصله‌ی ۵۰۰-۰ متری از رودخانه قرار دارد، لذا با توجه به افزایش مقدار رطوبت موجود در کلاس کاربری زراعت و با توجه به مساعد بودن دیگر عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش نظیر بافت رسی خاک و ماهیت مارنی سنگ بستر، زمین لغزش‌های زیادی در کاربری زراعت به وقوع پیوسته است.

۶- بیش از ۹۰ درصد از مساحت کاربری زراعت در شیب‌های ۳۰-۰ درجه قرار دارد و در حدود ۳۶ مورد زمین لغزش در آن‌ها به وقوع پیوسته است. به دلیل این‌که شیب‌های بسیار تند و بالا در حوضه‌ی آبخیز لاجیم دارای پوشش جنگلی متراکم و انبوه است، رانشی در آن‌ها دیده نمی‌شود.

۷- بیش از ۴۰ درصد از مساحت کاربری زراعت در کلاس جهت شیب ۲۲۵-۱۸۰ درجه (جنوب غربی) قرار دارد. در این کلاس به دلیل نزدیکی به رودخانه، رطوبت زیاد بوده و توده‌های خاک و سنگ از ناپایداری زیادی برخوردار می‌باشند.

۸- تخریب جنگل و تبدیل آن به نواحی کشاورزی با توجه به مساعد بودن واحد سنگی بستر (مارن) باعث بروز زمین لغزش در منطقه شده است.

جدول ۲- مقادیر وزن و درجات عضویت فازی پارامتر سنگ‌شناسی

درجات عضویت فازی	وزن کلاس	کلاس سنگ شناسی
۰/۹	۲/۳	۵
۰/۹	۲/۰۹	۱۲
۰/۵	۰/۵۴	۱۳
۰/۵	۰/۵۱	۱
۰/۴	۰/۴۷	۳
۰/۴	۰/۴	۹
۰/۳	۰/۳۲	۲
۰/۳	۰/۳۲	۴
۰/۳	۰/۲۸	۸
۰/۳	۰/۲۷	۱۱
۰/۳	۰/۲۶	۷
۰/۲	۰/۲۴	۱۰
۰/۲	۰/۲۲	۱۵
۰/۲	۰/۱۹	۱۴
۰/۱	۰/۰۸	۶
۰/۱	۰/۰۳	۱۶
	۸/۵۷	وزن نقشه‌ی سنگ شناسی

جدول ۳- مقادیر وزن و درجات عضویت فازی پارامتر خاک‌شناسی

درجات عضویت فازی	وزن کلاس	کلاس خاک
۰/۹	۲/۶۳	۴
۰/۸	۲/۱۲	۶
۰/۶	۱/۳۶	۵
۰/۵	۱/۱۳	۷
۰/۴	۰/۳۷	۸
۰/۳	۰/۱۷	۳
۰/۳	۰/۱۵	۲
۰/۱	۰/۰۱	۱
	۸/۰۳	وزن نقشه‌ی خاک

در عملیات تقابل جدولی (Crosstab) بین کاربری زراعت و سایر پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش نتایج زیر به دست آمده است:

۳-۲-۴- ارزیابی مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمده با

مدل گامای فازی

در این مدل، عملگر گاما ۰/۷ بر روی کلیه‌ی پارامترها اعمال شده است. کلاس ۴ خطر زمین لغزش (کلاس خطر زیاد) شامل بیشترین تعداد نقاط لغزشی است. مدل به دست آمده برای گامای ۰/۷ فازی مطابق با رابطه‌ی (۱۳) است. رابطه‌ی بین واقعیت و مدل نیز با پارامتر آماری مجذور مقدار همبستگی نشان داده شده است.

$$\text{Hazard} . \text{Model}(\text{Gamma}_{0.7}) = 0.931 \text{ Hazard}(\text{Real}) - 0.082$$

$$R^2 = 0.849 \quad t = 5.545 \quad 1 - \alpha = 0.026$$

۳-۲-۵- ارزیابی مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمده با

مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی

در این مدل، کلیه‌ی پارامترها به همراه وزن‌های درجه‌ای با هم ترکیب شده‌اند. مدل به دست آمده برای میانگین وزنی مرتب شده فازی مطابق با رابطه‌ی (۱۴) است. رابطه‌ی بین واقعیت و مدل نیز با پارامتر آماری مجذور مقدار همبستگی نشان داده شده است.

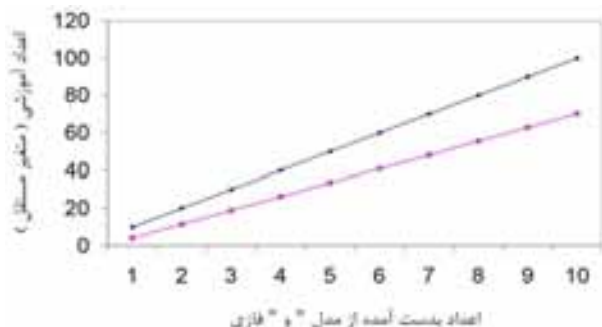
$$\text{Hazard} . \text{Model}(\text{OWA}) = 0.939 \text{ Hazard}(\text{Real}) - 0.55$$

$$R^2 = 0.939 \quad t = 4.713 \quad 1 - \alpha = 0.018$$

۳-۳- بررسی مستاسیت مدل‌های مختلف فازی پهنه‌بندی خطر

زمین لغزش به دست آمده نسبت به تغییرپذیری از مدل آموزشی به آزمایش

برای به دست آوردن حساسیت مدل‌ها نسبت به تغییرپذیری از مدل آموزشی به آزمایشی، اعداد ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ به عنوان متغیر مستقل و اعداد به دست آمده به عنوان متغیر وابسته (زمین لغزش) انتخاب شده است. نتایج به دست آمده، به صورت تصاویر نموداری در زیر نشان داده شده است. در نمودارهای زیر، محور y به - عنوان اعداد آموزشی و محور x به عنوان اعداد به دست آمده از مدل در نظر گرفته شده‌اند.



تصویر ۳- حساسیت مدل "و" فازی نسبت به تغییرپذیری از حالت آموزشی به آزمایشی

۳-۲-۲- بررسی نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های به دست آمده توسط

منطق فازی

۳-۲-۱- ارزیابی مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمده

توسط "و" فازی

در این مدل، کلیه‌ی پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش توسط عملگر "و" با هم ترکیب شدند. عملگر "و" از میان دو تابع عضویت، مقدار کوچکتر را انتخاب می‌کند و در واقع، اشتراک (Intersect) بین لایه‌ها است. مدل به دست آمده برای "و" فازی مطابق با رابطه‌ی (۱۰) می‌باشد. رابطه‌ی بین واقعیت و مدل نیز با پارامتر آماری مجذور مقدار همبستگی نشان داده شده است.

$$\text{Hazard} . \text{Model}(\text{AND}) = 0.734 \text{ Hazard}(\text{Real}) - 3.26$$

$$R^2 = 0.639 \quad t = 3.348 \quad 1 - \alpha = 0.158$$

۳-۲-۲- ارزیابی مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمده

توسط "یا" فازی

در این مدل، کلیه‌ی پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش توسط عملگر "یا" با هم ترکیب شدند. کلاس ۵ مدل "یا" فازی شامل بیشترین زمین لغزش است. این مدل همبستگی معناداری با نقشه‌ی فهرست زمین لغزش دارد. مدل به دست آمده برای "یا" فازی مطابق با رابطه‌ی (۱۱) می‌باشد. رابطه‌ی بین واقعیت و مدل نیز با پارامتر آماری مجذور مقدار همبستگی نشان داده شده است.

$$\text{Hazard} . \text{Model}(\text{OR}) = 0.851 \text{ Hazard}(\text{Real}) - 3.384$$

$$R^2 = 0.725 \quad t = 2.810 \quad 1 - \alpha = 0.067$$

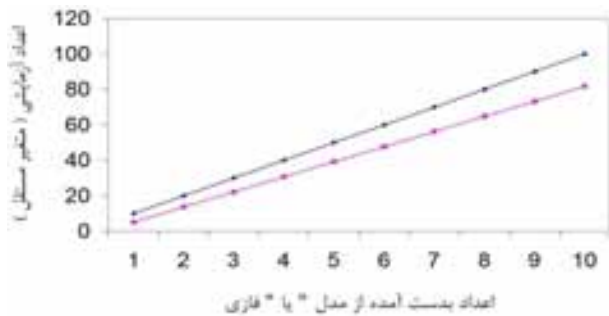
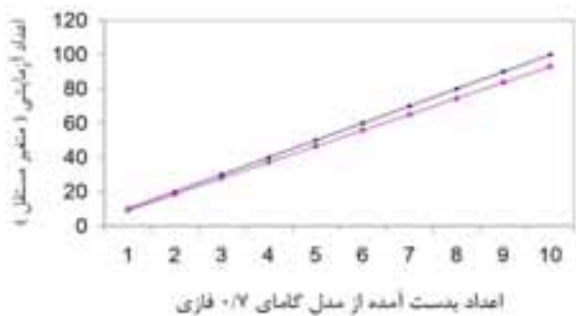
۳-۲-۳- ارزیابی مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمده

توسط "و"-"یا" فازی

در این مدل، کلیه‌ی پارامترهای وابسته با عملگر "یا" ترکیب و سپس نتیجه‌ی به دست آمده، با پارامترهای مستقل و عملگر "و" ترکیب شده‌اند. کلاس ۳ مدل "و"-"یا" شامل بیشترین تعداد زمین لغزش است. این مدل همبستگی معناداری با نمونه‌های آزمایشی لغزشی دارد. مدل به دست آمده برای "و"-"یا" فازی مطابق با رابطه‌ی (۱۲) است. رابطه‌ی بین واقعیت و مدل نیز با پارامتر آماری مجذور مقدار همبستگی نشان داده شده است.

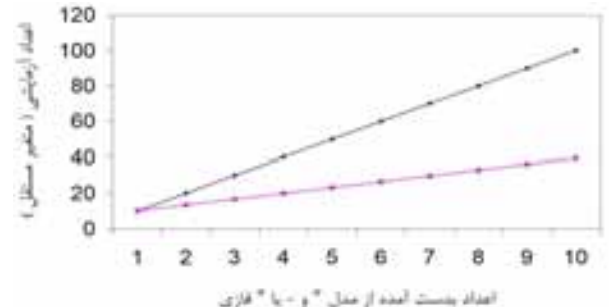
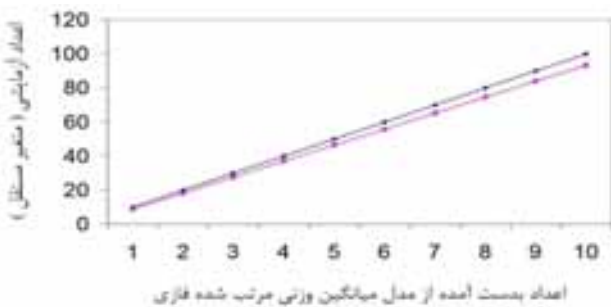
$$\text{Hazard} . \text{Model}(\text{AND-OR}) = 0.365 \text{ Hazard}(\text{Real}) + 6.873$$

$$R^2 = 0.205 \quad t = 0.753 \quad 1 - \alpha = 0.898$$



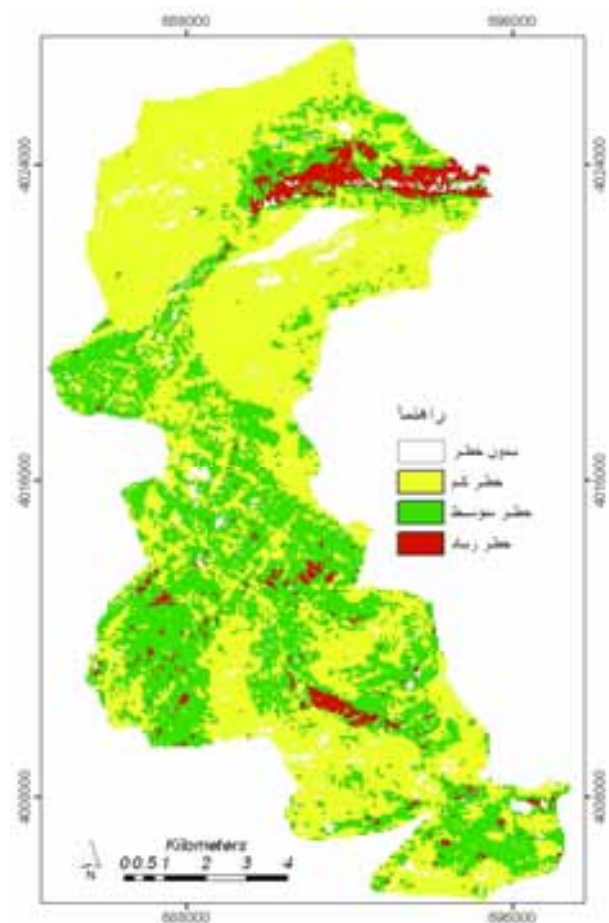
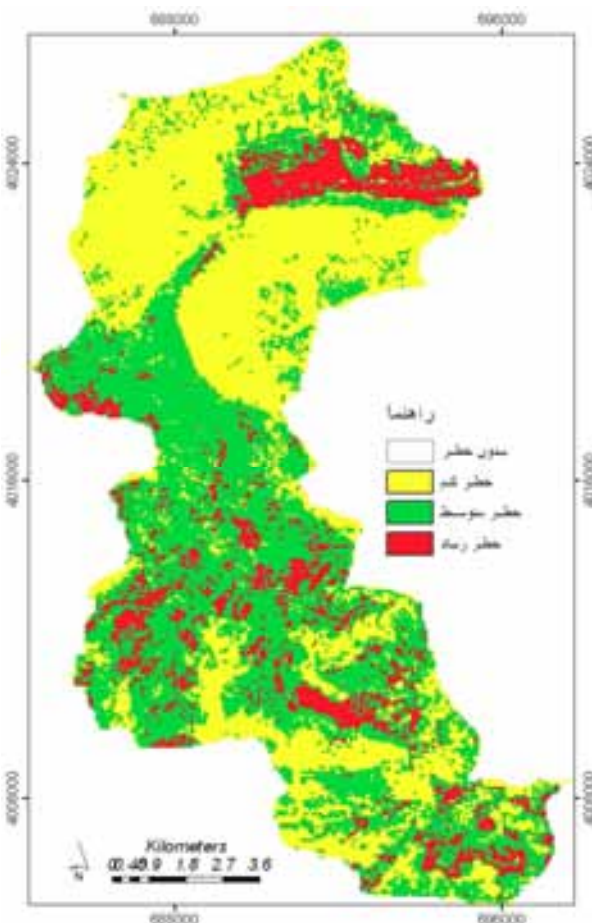
تصویر ۶- حساسیت مدل گامای ۰/۷ فازی نسبت به تغییرپذیری از حالت آموزشی به آزمایشی

تصویر ۴- حساسیت مدل "یا" فازی نسبت به تغییرپذیری از حالت آموزشی به آزمایشی



تصویر ۷- حساسیت مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی نسبت به تغییرپذیری از حالت آموزشی به آزمایشی

تصویر ۵- حساسیت مدل "و" - "یا" فازی نسبت به تغییرپذیری از حالت آموزشی به آزمایشی



تصویر ۹- نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌ی آبخیز لاجیم با مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی

تصویر ۸- نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه‌ی آبخیز لاجیم با مدل گامای ۰/۷ فازی

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از جدول و نمودارهای ارائه شده، حساسیت و تغییرپذیری مدل‌های فازی به دست آمده از روابط آموزشی به آزمایشی در مدل گامای ۰/۷ فازی و مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی از سایر مدل‌ها کمتر است. بنابراین پایداری این دو مدل نسبت به سایر مدل‌ها بیشتر است. مقدار انحراف از معیار محاسبه شده برای مدل گامای ۰/۷ فازی، ۱۳/۷۶ و مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی ۱۳/۵۳ است که از سایر مدل‌ها کمتر بوده و نشان‌دهنده انحراف کمتر این مدل‌ها نسبت به دیگر مدل‌ها است. مجذور ضریب همبستگی در مدل گامای فازی با مقدار ۰/۷، ۰/۸۴۹ است. در حالی که برای مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی، ۰/۹۳۹ است، بنابراین مدل‌های پهنه‌بندی گامای فازی با مقدار ۰/۷ و مدل میانگین وزنی مرتب شده فازی، برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه از دقت و قابلیت بهتری برخوردار است.

مراجع

پورعلی، س. ح.، ۱۳۸۲، "پهنه‌بندی مناطق خطر زمین لغزش در محدوده شهرستان‌های اردل و فارس با استفاده از RS و GIS"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ۳۱۲ ص.

فیض نیا، س.، کلارستاقی، ع.، صفایی، م. و احمدی، ح.، ۱۳۸۲، "بررسی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۲۸۶ ص.

طاهری، م.، ۱۳۷۵، "آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی"، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۲۱۶ ص.

Bonham-Carter, G. F., 1994, "Geographic Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS", New York: Pergamon /Elsevier Science, 416 pp.

Champati ray, P. K., Dimri, S., Lakhera, R. C. & Sati, S., 2006, "Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya", *Journal of the International Consortium on Landslides*, Vol. 4(2):101-111(Published online: 11 November 2006).

Eastman, J. R., 1988, "Idrisi: A Geographic analysis system for research applications", *The Operational Geographer*, Vol. 15:17-21.

Fallah-Ghalhary, G.A., M. Mousavi-Baygi, M. & Habibi Nokhandan, M., 2009, "Annual rainfall forecasting by using mamdani fuzzy inference system", *Res. J. Env. Sci.*, Vol. 3: 400-41.

Juang, C. H., Lee, D. H. & Sheu, C., 1992, "Mapping slope failure potential using fuzzy sets", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 118(3):475-494.

Lan, H. X., Zhou, C. H., Wang, L. J., Zhang, H. Y. & Li, R. H., 2004, "Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed", *Engineering Geology in China*, Vol. 76 (1-2): 109-128.

Kanungo, D. P. Arora, M. K. Sarkar, S. & Gupta, R. P., 2006, "Remote sensing and GIS-based landslide risk assessment using a linguistic rule-based fuzzy approach", *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*, Vol 6412: 64120P.1-64120P.12.

Weeraprajak, I., 2007, "Faster Adaptive Network Based Fuzzy Inference System", *University of Canterbury. Mathematics and Statistics, Doctor theses of Philosophy*, <http://hdl.handle.net/10092/1234>, 22/11/2010.