

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۷، پاییز ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۷

صفحات: ۱۷۴ - ۱۵۵

پهنه بندی مناطق مستعد به زمین لغزش با استفاده از سیستم استنتاجی فازی عصبی (ANFIS) (مطالعه موردی: حوضه رودخانه سنگورچای)

مهدی فیض اله پور^{*}

چکیده

در این تحقیق برای پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه رودخانه سنگورچای از مدل سیستم استنتاجی فازی عصبی (ANFIS) استفاده شد. به این منظور، داده‌های ۱۲۴ زمین لغزش، شناسایی شده و برای انجام فرایند تحلیل و پردازش به سیستم ارائه شد. در کنار آن برای پردازش زمین لغزش‌ها، ۸ لایه متشکل از لایه‌های شیب، جهت شیب، DEM، لیتولوژی، شبکه هیدروگرافی، لایه NDVI، گروه خاک و پراکنش زمین لغزش ترسیم گردید. برای پردازش لایه‌های فوق در مدل فازی عصبی، داده‌ها طی فرایند نرمالیزه کردن در بازه صفر و یک قرار گرفتند. در ادامه برای تعلیم و تست داده‌ها حدود ۸۰ درصد داده‌ها برای تعلیم و ۲۰ درصد برای تست انتخاب شدند. در تحقیقات متعدد مقدار فوق به عنوان حد قابل قبول در نظر گرفته شده است. سپس مقادیر فوق در ساختار سیستم استنتاجی فازی عصبی مورد پردازش قرار گرفتند. در نهایت با توجه به وزن خروجی، نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش در پنج رده با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم ترسیم گردید. نتایج نشان داد که ساختار زمین‌شناسی شکل گرفته از مارن خاکستری و توفهای آتشفشانی در کنار منابع رطوبتی بالا باعث شده که ارتفاعات کوههای گنجگاه و اسلام آباد در محدوده جنوب‌غربی حوضه از قابلیت بالایی در رخداد زمین لغزش برخوردار شوند این در حالیست که نتایج حاصل از مدل سیستم استنتاجی فازی عصبی نشان می‌دهد که محدوده شرقی آق باش و شمالی کروز سفلی از بیشترین احتمال رخداد زمین لغزش‌های شدید برخوردار بوده و بخش مرکزی محدوده آق باش از کمترین احتمال رخداد زمین لغزش برخوردار می‌باشد.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، شبکه عصبی، سیستم استنتاجی فازی عصبی، پهنه بندی، حوضه رودخانه سنگورچای.

مقدمه

وقوع زمین لغزش نتیجه روابط پیچیده بین فاکتورهای محیطی بوده و این فاکتورها به عوامل اولیه و تشدید کننده تقسیم شده‌اند. عوامل تشدید کننده زمین لغزش شامل زلزله، بارندگی و ذوب برف می‌باشند. فعالیت‌های انسانی از قبیل جاده‌سازی و ساختمان‌سازی بر روی دامنه‌های با شیب تند و پخش آب مخازن و فاضلاب‌ها نیز می‌تواند وقوع زمین لغزش را شدت ببخشد (Cubito et al, 2005). عوامل اولیه از قبیل اشکال زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی، بیرون‌زدگی سنگ‌ها، نوع سنگ و پوشش گیاهی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است (Zeze et al, 1999; Fernandes et al, 2004; Cubito et al, 2005; Moreiras et al, 2005). علل اولیه وقوع زمین لغزش‌ها می‌تواند شامل محدوده وسیعی از فاکتورها از قبیل سرعت جریان و فاصله تا رودخانه، توپوگرافی، میزان رطوبت خاک و شاخص شدت جریان (Gokceoglu et al, 2005)، کاربری اراضی، حضور زمین لغزش‌های قدیمی و فعالیت انسانی (Zeze et al, 1999) باشد. بررسی روابط دینامیکی بین فاکتورهای موثر در وقوع زمین لغزش از اهمیت بالایی در موفقیت ارزیابی خطر زمین لغزش برخوردار است. برای تعیین روابط بین انواع فاکتورهای محیطی و وقوع زمین لغزش تحقیقات مختلفی صورت گرفته است (Anbalagan, 1992; Lee and Min, 2001; Iwahashi et al, 2003; Ayalew and Yamagishi, 2005). برخی از این تحقیقات روابط منسجمی را بین توزیع فاکتورهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیک و زمین لغزش مشاهده نمودند. با این وجود برای تحلیل نتایج این تحقیقات و پیش‌بینی احتمال وقوع زمین لغزش‌ها از ابزارهای محاسبات آماری متداول استفاده شد. در حقیقت، پیش‌بینی احتمال وقوع زمین لغزش نیازمند مدل‌های کمی در ترکیب رخدادهای گذشته بوده و با استفاده از داده‌های میدانی یا آزمایشگاهی اقدام به مدلسازی می‌گردد (Melchiorre et al, 2006). با این وجود روابط غیرخطی بین وقوع زمین لغزش و فاکتورهای مشارکت کننده در آن بسیار پیچیده بوده و نیازمند استفاده از مدل‌ها با درجه صحت پیش‌بینی بالا می‌باشد. لیکن از بین تحقیقات علمی در زمینه زمین لغزش، ارزیابی و پیش‌بینی مناطق مستعد زمین لغزش، کاهش خسارت، آماده سازی و تخفیف رخدادهای زمین لغزش، ارزیابی و پیش‌بینی مناطق مستعد زمین لغزش، کاهش خسارت، آماده آنها یکی از چالش‌های جدی در محدوده شمال و شمال غرب ایران می‌باشد. در سال‌های اخیر، به تناسب توسعه علوم رایانه‌ای و نرم‌افزارهای تخصصی، افزایش قابل توجهی در شناسایی مناطق مستعد لغزش صورت پذیرفته است. از این بین در مطالعات صورت گرفته، مدل‌های احتمالاتی (Akgun and Bulut, 2007; Dahal et al, 2008)، تحلیل رگرسیون لجستیک (Wang and Sassa, 2005) و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی (Bhattacharya et al, 2005; Kisi, 2005; Melchiorre et al, 2008) به کار گرفته شده است. اخیراً شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان ابزار تحلیلی در محدوده گسترده‌ای از علوم طبیعی به کار برده شده است. یکی از مزایای استفاده از مدل‌های ANN در مدلسازی کیفی پدیده‌های طبیعی، توانایی کنترل داده‌ها در هر مقیاس اندازه‌گیری به نسبت خطی، توصیفی و عددی و هر شکل از توزیع داده‌ها می‌باشد (Wakg et al, 1995). علاوه بر این، مدل فوق می‌تواند به طور گسترده در ادغام داده‌های مکانی با منابع چند متغیره و پیش‌بینی متغیرها به کار برده شود. برخی از محققان اصول اولیه و کاربرد مدل‌های ANN را در شناسایی الگوهای طبیعی تشریح نموده‌اند (Rmelhart et al, 1986; Alexander and Morton, 1990; Sethi and Jain, 1991; Guyon and Wang, 1993; Nigrin, 1993; Haykin, 1994).

ANN یکی از روش‌های تحلیل‌گر داده بوده و از توابع غیرخطی تبعیت می‌کنند. بنابراین این مدل‌ها ابزار مدلسازی با اهمیت برای پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش به شمار می‌روند (Lee et al, 2003; Lu and Rosenbaum, 2003; Ermini et al, 2005; Gomez and Kavzoglu, 2005).

تحقیقات مختلفی در زمینه استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاجی فازی عصبی در ایران و جهان انجام شده که از آن بین می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کاواباتا و باندیباس^۱ (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، تصاویر ASTER و شبکه عصبی مصنوعی به پهنه بندی مناطق مستعد لغزش پرداختند. بر اساس نتایج حاصله، این مدل در تعیین احتمال وقوع لغزش به درجه صحتی حدود ۹۰ درصد دست یافته است. ایلماز^۲ (۲۰۰۹) با استفاده از نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی به پهنه‌بندی مناطق مستعد به زمین لغزش در ترکیه پرداختند. نتایج حاکی از قابلیت مدل شبکه عصبی مصنوعی در این زمینه می‌باشد. پرادهان و لی^۳ (۲۰۱۰) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی از نوع پس انتشار به ارزیابی مناطق مستعد زمین لغزش پرداخته و نتایج آن را با مدل نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که زمین لغزش‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مصنوعی به مقادیر واقعی نزدیک بوده و نسبت به سایر مدل‌ها به پیش‌بینی‌های بهتری دست یافته است. چویی و همکاران^۴ (۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر ASTER و ابزار GIS نقشه‌های پهنه‌بندی بدست آمده از مدل‌های نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی را با یکدیگر ادغام نمودند. نتایج نشان دهنده قابلیت بالای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی زمین لغزش می‌باشد. سزر و همکاران^۵ (۲۰۱۱) با بهره‌گیری از مدل سیستم استنتاجی فازی عصبی به پهنه‌بندی زمین لغزش در مالزی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که مدل ANFIS می‌تواند در ارزیابی مناطق مستعد لغزش ابزار کارآمدی باشد. نی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از سامانه استنتاج فازی و سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی به پیش‌بینی جریان رودخانه پرداختند. نتایج نشان داد که سیستم استنتاج فازی عصبی در شبیه سازی دبی‌های پیک با دقت بهتری عمل می‌نماید. پوستی‌زاده و نجفی (۱۳۹۰) در پیش‌بینی جریان رودخانه زاینده رود، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاجی فازی را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان دهنده قابلیت بالای سیستم استنتاجی فازی نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. غفاری و وفاخواه (۱۳۹۲) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی عصبی تطبیقی اقدام به شبیه‌سازی فرایند بارش رواناب در حوزه آبخیز حاجی قوشان نمودند. نتایج حاکی از برتری مدل سیستم فازی عصبی تطبیقی نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی بوده است. رستمی و همکاران (۱۳۹۴) با بهره‌گیری از مدل شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاجی فازی تطبیقی به پیش‌بینی خشکسالی در حوزه مند استان فارس پرداختند. یافته‌های حاصل از این بررسی

1- Kawabata & bandibas

2- Yilmaz

3- Pradhan & lee

4- Choi et al

5- Sezer et al

نشان می‌دهد که هر چه پراکندگی داده‌های ورودی مدل بیشتر باشد مدل استنتاج عصبی فازی تطبیقی دارای توانایی بیشتری در شبیه سازی این نوع از داده‌ها می‌باشد. دهقانی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و شبکه فازی عصبی تطبیقی به مدل‌سازی بارش رواناب در حوزه آبخیز کسلیان پرداختند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی فازی تطبیقی در دوره آزمون توانایی بهتری برای مدل‌سازی بارش رواناب در حوزه آبخیز کسلیان دارد. با توجه به مواردی که گفته شد در این تحقیق از سیستم استنتاجی فازی عصبی برای پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه رودخانه سنگور چای استفاده گردید.

داده‌ها و روش‌ها

در این روش از سیستم استنتاجی فازی عصبی برای پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه رودخانه سنگورچای استفاده شد. اولین قدم برای پهنه‌بندی مناطق مستعد لغزش، تعیین زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه می‌باشد. با مطالعات صورت گرفته، ۱۲۴ زمین لغزش و پهنه لغزشی تشخیص داده شد که از اطلاعات مربوط به این مناطق در آموزش و آزمایش شبکه استفاده می‌گردد. در زمینه پهنه‌بندی زمین لغزش لازم است که از یک سری لایه‌ها استفاده گردد. لذا به این منظور از ۸ لایه لیتولوژی، گروه خاک، لایه NDVI، لایه آبراهه‌ها، لایه‌های میزان و جهت شیب، DEM و در نهایت لایه مربوط به زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه استفاده شد. با بهره‌گیری از این لایه‌ها در محیط نرم افزار ArcGIS و بهره‌گیری از آنها در آموزش شبکه عصبی مصنوعی نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین لغزش تهیه و ترسیم شد. در زیر ساختار مدل سیستم استنتاجی فازی عصب (ANFIS) شرح داده می‌شود.

الف- روش شناسی:

چانگ^۱ (۱۹۹۳) با ارائه یک مدل تعلیمی، از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی و قوانین اگر- آنگاه فازی در قالب توابع عضویت بصورت ترکیبی در تحلیل پدیده‌ها استفاده کرده است. این مدل از ساختار شبکه عصبی مصنوعی بهره گرفته و تحت عنوان سیستم استنتاجی فازی عصبی شناخته می‌شود. مدل ANFIS برای به روز کردن پارامترهای توابع عضویت از دو روش استفاده می‌کند:

۱- برقراری وضعیت پس پراکنش برای تمام پارامترها

۲- استفاده از مدل ترکیبی که در آن پارامترهای مجموعه عضویت ورودی به منظور تهیه توابع عضویت خروجی بصورت پس پراکنش تحلیل می‌شوند.

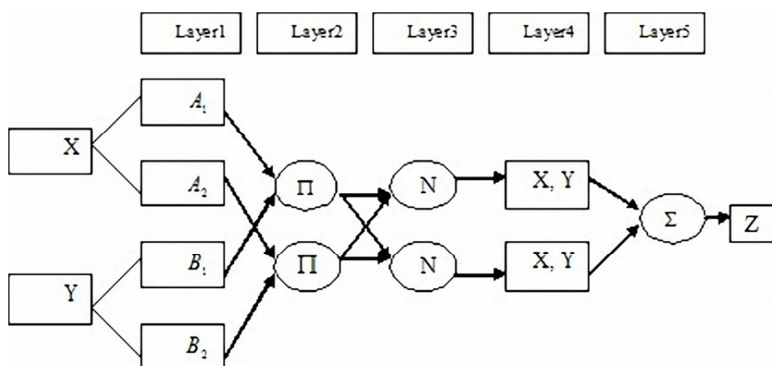
در نتیجه این امر، خطای یادگیری در طول فرایند یادگیری، کاهش می‌یابد. بنابراین اکثر توابع عضویت اولیه بهینه سازی شده و در ساختار مدل ANFIS وارد می‌شوند. ساختار مدل ANFIS در شکل ۲ نشان داده شده است. معمولاً

در مدل ANFIS دو ورودی x, y و یک خروجی z در نظر گرفته می شود. در مدل فازی، قوانین اگرآنگاه بصورت زیر بیان می گردد (Jang, 1993).

$$\text{Rule1: if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1, \text{ THEN } f_1 = P_1x + q_1y + r_1, \quad (1)$$

$$\text{Rule2: if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2, \text{ THEN } f_2 = P_2x + q_2y + r_2, \quad (2)$$

در این معادله، A_1, A_2, B_1, B_2 توابع عضویت ورودیهای x, y بوده و P_1, Q_1, R_1 و P_2, Q_2, R_2 پارامترهای توابع خروجی هستند. توابع مدل ANFIS بصورت زیر می باشد. مدل مذکور به شکل زیر تبیین می شود (Jang, 1993):



شکل ۲: ساختار مدل استنتاجی فازی عصبی (ANFIS) (Jang, 1993)

لایه ۱: هر گره (node) در این لایه، نشان دهنده درجه عضویت پارامترهای ورودی می باشد (Jang, 1993)

$$o_{i,1} = \mu_{A_i}(x), i = 1, 2, \dots \quad (3)$$

$$o_{i,1} = \mu_{B_{i-1}}(y), i = 3, 4, \dots \quad (4)$$

در این معادله x, y ورودی گره I بوده و $A_i, (B_{i-2})$ مجموعه فازی مرتبط با این گره می باشد. همچنین O_i, I درجه عضویت مجموعه فازی می باشد. توابع عضویت می توانند به شکل زنگوله‌ای، مثلثی و ذوزنقه‌ای نمایش داده شوند. توابع زنگوله‌ای شکل با توجه به مجموعه‌های عضویت بصورت زیر برآورد می گردند (Jang, 1993):

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (5)$$

در این معادله، a, b و c پارامترهای مورد استفاده در مدل بوده و در آن حداکثر مقادیر ۱ و حداقل آن صفر در نظر گرفته شده است.

لایه ۲: هر گره این لایه با برچسب Π نشان داده شده و داده‌های ورودی در آن بصورت زیر پردازش می شوند (Jang, 1993):

$$o_{2,1} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), i = 1, 2, \dots \quad (6)$$

لایه ۳: i امین گره این لایه با برچسب N نشان داده شده و از طریق فرمول زیر برآورد می‌گردد (Jang, 1993):

$$o_{3,1} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1, 2, \dots \quad (7)$$

لایه ۴: در این لایه، داده‌ها از طریق معادله زیر پردازش می‌شوند (Jang, 1993):

$$o_{4,1} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (8)$$

در این معادله \bar{w}_i ، خروجی لایه ۳ بوده و $p_i x + q_i y + r_i$ پارامترهای گره‌ها می‌باشند.

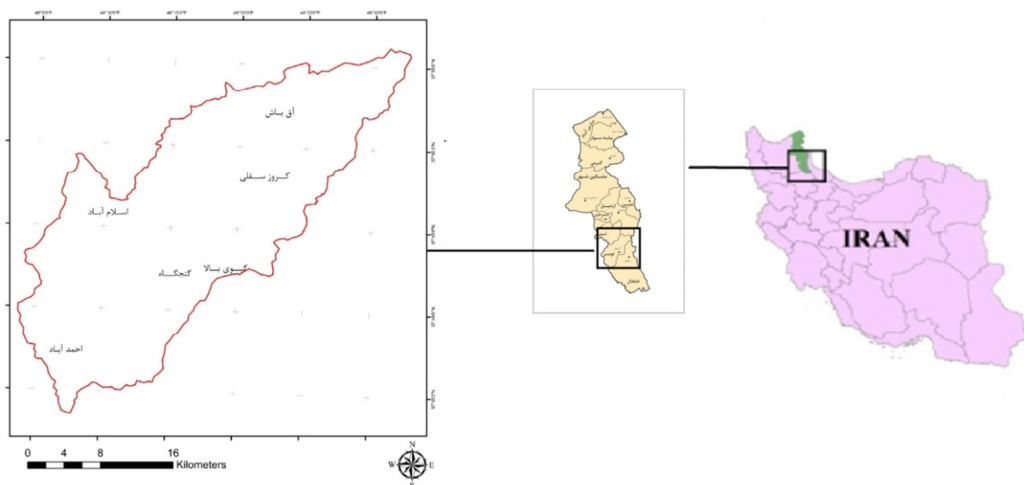
لایه ۵: گره‌ها در این لایه با برچسب \sum نشان داده شده و در آن با جمع تمام داده‌های ورودی، خروجی نهایی برآورد می‌گردد (Jang, 1993):

$$o_{5,i} = \sum \bar{w}_i f_i = \frac{\sum w_i f_i}{\sum w_i} \quad (9)$$

پس از اجرای مراحل فوق می‌توان به نتایج خروجی دست یافته و از آن در امر پهنه‌بندی استفاده نمود (رجبی و همکاران، ۱۳۹۴). لازم به ذکر است که معرفی مدل فوق اقتباسی از تحقیقات پیشین نگارندگان می‌باشد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه سنگور چای با مجموع مساحت ۸۵۳ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های آبریز سفیدرود می‌باشد که در مختصات $48^\circ, 04', 20''$ تا $48^\circ, 33', 24''$ طول شرقی و $37^\circ, 34', 32''$ تا $37^\circ, 56', 17''$ عرض شمالی واقع شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز قره سو، از غرب به حوضه آبریز رودخانه قرنقو و از شرق به رشته کوه‌های تالش و از جنوب به حوضه آبریز رودخانه قزل اوزن محدود می‌شود. میانگین بارندگی در این حوضه ۴۲۷ میلی‌متر بوده و ۸۳ تا ۹۲ درصد از مجموع بارندگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت رخ می‌دهد. بیش از ۴۶ درصد سطح منطقه از فرسایش خاک متاثر شده است.



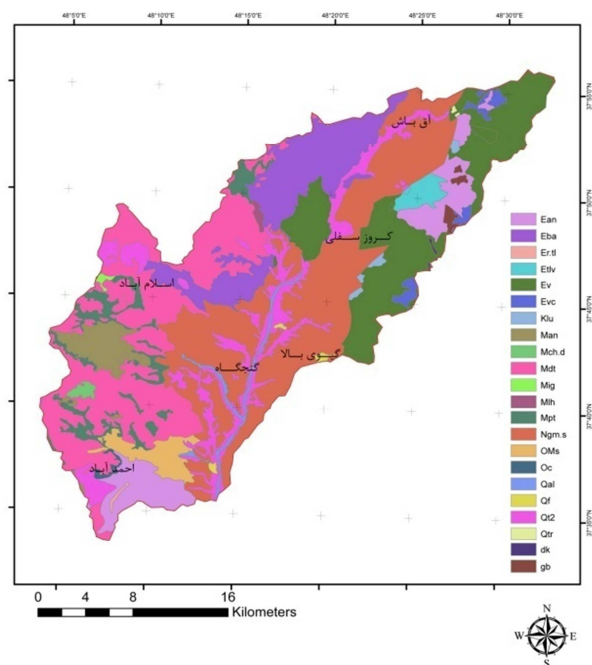
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانه سنگور چای در استان اردبیل

یافته‌های تحقیق

در اولین بخش از تحقیق هر یک از ۸ لایه استفاده شده به منظور استفاده در فرایند پهنه‌بندی تشریح می‌گردد.

لیتولوژی

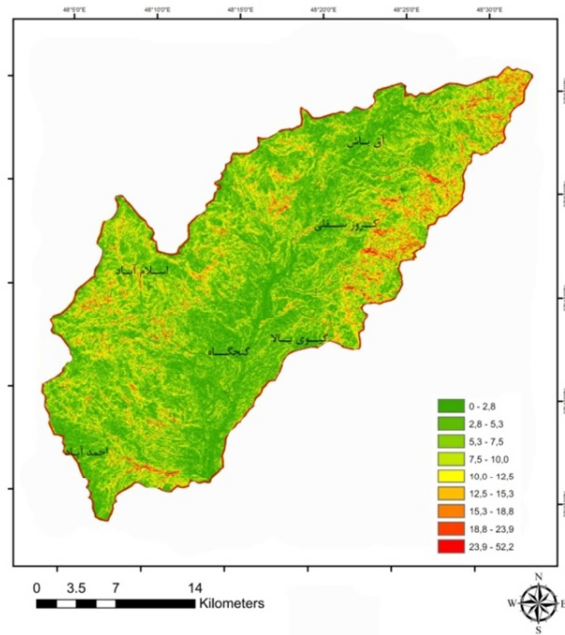
در سطح حوضه سنگورچای حدود ۸ سازند با منشا رخساره‌های رسوبی شناسایی شده که حدود ۳۲/۷ درصد از حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. این سازندها از حساسیت بیشتری نسبت به زمین لغزش برخوردارند. با توجه به زمین لغزش‌های انتخابی، سازند مارن خاکستری و قرمز با ماسه سنگ خاکستری (Ngms)، از حدود ۷۲ زمین لغزش برخوردار بوده و سطحی معادل ۲۳۵/۴ کیلومتر مربع یا ۲۷/۶ درصد حوضه را به خود اختصاص داده است. به غیر از سازندهای فوق، ۷ سازند دیگر نیز در گروه رخساره‌های رسوبی قرار می‌گیرند. لیکن این سازندها مساحت‌های محدودی را به خود اختصاص داده و رخداد زمین لغزش کمی در آنها مشاهده شده است. در کنار رخساره‌های رسوبی، سنگهای آتشفشانی و مواد آذر آواری واقع در حوضه سنگورچای حدود ۵۷۴/۰۶ کیلومتر مربع یا ۶۷/۳ درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. وسعت زیاد این تشکیلات در حوضه و همچنین به لحاظ ویژگی‌هایی که دارند نقش کنترل کننده‌ای در مورفولوژی حوضه و دینامیک حاکم بر دامنه‌ها ایفا می‌کنند. در بین سازندهای این بخش تنها سازند آندزیت پرفیری (Ev) توانسته حدود ۱۹۶/۱ کیلومتر مربع یا ۲۳ درصد کل حوضه را در بر گیرد. این سازندها در ارتفاعات به شدت هوازده شده و شاهد وقوع زمین لغزش‌هایی بوده‌اند. در کنار سنگهای آتشفشانی، توفها نیز از گسترش چشمگیری برخوردارند. به طوری که حدود ۱۵۳/۵ کیلومتر مربع یا ۱۸ درصد از کل حوضه را پوشانیده‌اند. در بخش‌هایی از منطقه و در بعضی از توف‌های دانه ریز و متراکم حوضه می‌توان وقوع لغزش‌ها را مشاهده کرد. در این تحقیق از بین ۱۲۴ زمین لغزش انتخابی ۵۲ لغزش در سنگهای آتشفشانی و توف‌ها رخ داده است. به غیر از سازندهای فوق ۱۲ سازند دیگر نیز با ماهیتی آتشفشانی در حوضه وجود دارد که ۲۲۴/۳ کیلومتر مربع یا ۲۶/۳ درصد سطح حوضه را پوشانیده و فاقد زمین لغزش‌های چشمگیری هستند.



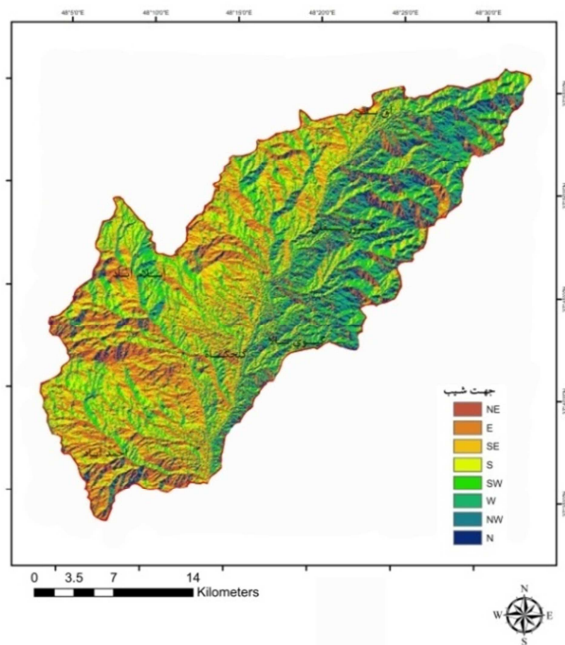
شکل ۳: وضعیت لیتولوژی حوضه رودخانه سنگور چای

شیب، جهت شیب و DEM

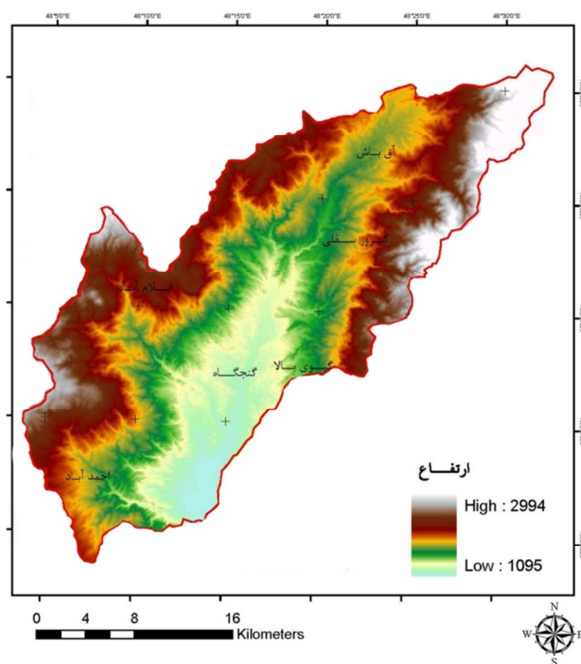
برای بدست آوردن و تهیه این نقشه‌ها از نقشه رقومی شده توپوگرافی منطقه در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. یعنی ابتدا نقشه توپوگرافی رقومی شده و سپس در نرم افزار ArcGIS برای تهیه نقشه استفاده گردید. در این مطالعه برای پهنه‌بندی بوسیله سیستم استنتاجی فازی عصبی تغییرات شیب با اختلاف ۲/۸ درجه در نظر گرفته شد. با افزایش شیب، احتمال لغزش افزایش می‌یابد تا به حدود ۵۲/۲ درجه برسد از این شیب به بعد کاهش شدیدی در زمین لغزش‌ها دیده می‌شود.



شکل ۴: نقشه شیب در حوضه رودخانه سنگور چای



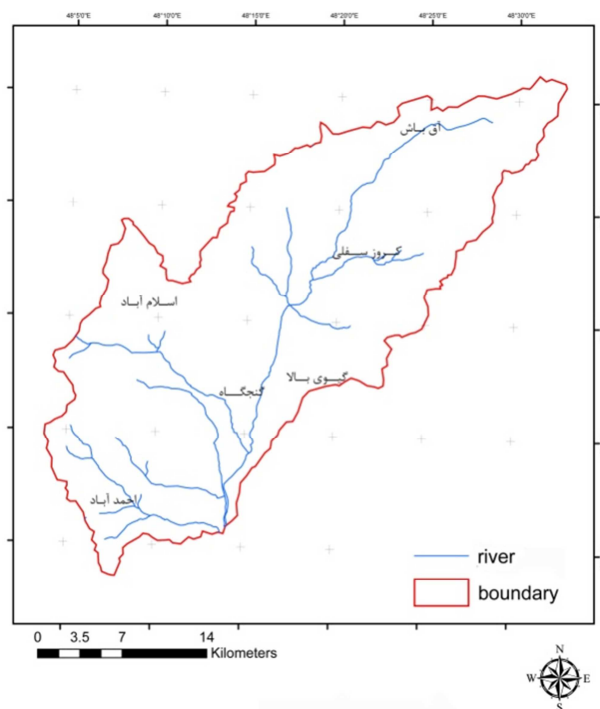
شکل ۵: نقشه جهت شیب در حوضه رودخانه سنگور چای



شکل ۶: نقشه DEM برای حوضه رودخانه سنگورچای

رودخانه‌های اصلی و شبکه هیدروگرافی

هنگامی که جریان‌های سطحی به هم پیوستند تبدیل به جریان آب قوی یا رودخانه می‌شوند. رودخانه ضمن اینکه مواد را با خود حمل می‌کند به حفر بستر و دیواره‌های خود می‌پردازد. رودخانه‌های حوضه سنگورچای در مسیر خودشان گاهی از روی مواد نرم و گاهی از روی مواد سخت عبور می‌نمایند. به عبارت دیگر در طول جریان مقاومت سنگ بستر یکسان نبوده و این عامل موجب بوجود آمدن اشکال متفاوتی در بستر رودخانه‌ها می‌شود. در شکل ۷، شبکه‌های هیدروگرافی حوضه رودخانه سنگورچای نشان داده شده است.



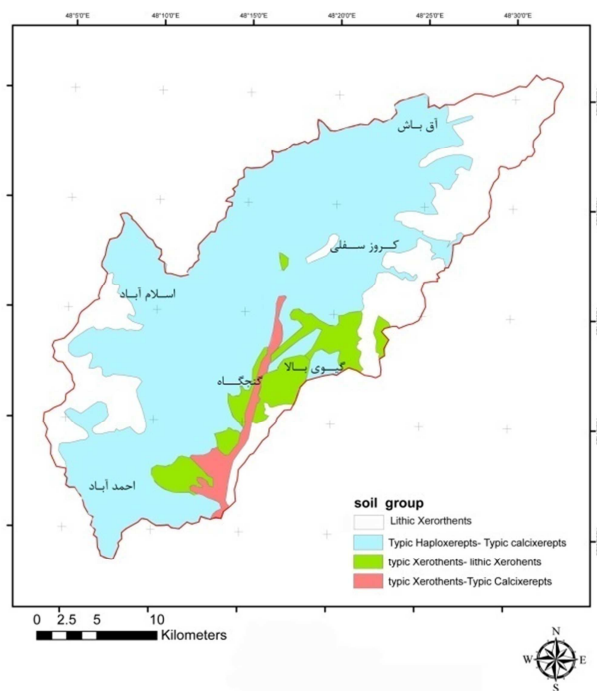
شکل ۷: نقشه هیدروگرافی حوضه رودخانه سنگورچای

نوع خاک‌های حوضه رودخانه سنگورچای

در تعیین نوع خاک‌های حوضه رودخانه سنگورچای از طبقه‌بندی تاکسونومی استفاده شد. در این طبقه‌بندی خاک‌های مختلف جهان به ۱۲ رده تقسیم شده‌اند. هر یک از رده‌ها به چندین زیر رده، گروه بزرگ، زیر گروه، فامیل و سری تقسیم بندی می‌شوند. از بین ۱۲ رده خاک‌های مربوط به روش تاکسونومی تنها تعداد ۲ رده از آنها در محدوده مطالعاتی مشخص گردیده است. رده‌های خاک موجود در منطقه شامل رده خاک‌های در حال تکامل^۱ و رده خاک‌های جوان و بدون تکامل^۲ می‌باشد. خاک‌های رده در حال تکامل^۳، عموماً شامل خاک‌های معدنی همراه با مقادیر کمی مواد آلی در جوار مقادیر قابل ملاحظه‌ای کلسیم می‌باشند. تکامل این نوع خاک‌ها در جهت شستشوی مواد آهکی و رسوب آنها در طبقات تحتانی است. به طور کلی افق‌های تحتانی که در اینگونه خاکها دیده شده شامل یک یا هر دو افق کمبیک^۴ و کلسیک^۵ است. زیر گروه خاک‌های هاپلوزرپت تیپیک^۶ چنانچه در خاک تحتانی افق کلسیک

- 1-Inceptisols
- 2-Entisols
- 3-Inceptisols
- 4 -Cambic
- 5- Calcic
- 6- Typic haploxerepts

قرار گیرند جزو گروه خاک‌های کلسیزرپت^۱ خواهند بود. لیکن چنانچه افق تجمع آهک به صورت تجمع آهک‌های نسبتاً سفت شده باشد جزو گروه خاک‌های پتروکلسیک کلسیزرپت^۲ به شمار می‌روند. در رده بعدی، خاک‌های جوان و فاقد تکامل قرار می‌گیرند. خاک‌های جوان و فاقد تکامل در زیر رده اورتنتز^۳ و خاک‌های رسوبی جوان در زیر رده فلوونت^۴ قرار خواهد داشت که با توجه به رژیم زیریک^۵ حاکم بر منطقه جزو گروه بزرگ خاک‌های زرونت^۶ تشخیص داده شده است. زیر گروه خاک‌ها در خاک‌های عمیق زرونت تیپیک^۷ می‌باشد. در خاک‌هایی که دارای لایه محدوده کننده در قسمت فوقانی نیم رخ خاک هستند زیر گروه خاک‌ها لیتیک زرونت^۸ تعیین و مشخص شده است (کوه‌ها و تپه‌ها). بررسی خاک منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که ۷۴ درصد حوضه در محدوده خاک‌های هاپلوزرپت تیپیک و کلسیزرپت تیپیک^۹ قرار می‌گیرد. در زیر موقعیت خاک‌های حوضه رودخانه سنگورچای نشان داده شده است.



شکل ۸: موقعیت خاک‌های واقع در حوضه رودخانه

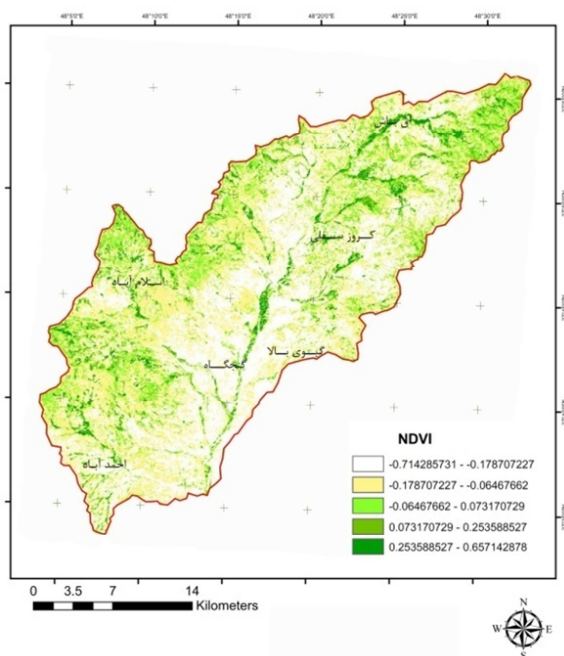
- 1- calcixerepts
- 2- Petrocalcic Calcixerepts
- 3- Orthents
- 4- Fluvents
- 5- xeric
- 6- Xerothents
- 7- Typic Xerothents
- 8- Lithic Xerothents
- 9- calcixereptsTypic

برآورد مقادیر شاخص NDVI در حوضه سنگورچای

این شاخص از معروفترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌هایی است که در زمینه مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده است. فرایند محاسباتی در این روش ساده بوده و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیک می‌باشد. این شاخص بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه خاک به جز مواردی که پوشش گیاهی کم باشد حساسیت کمتری دارد. شاخص NDVI از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (10)$$

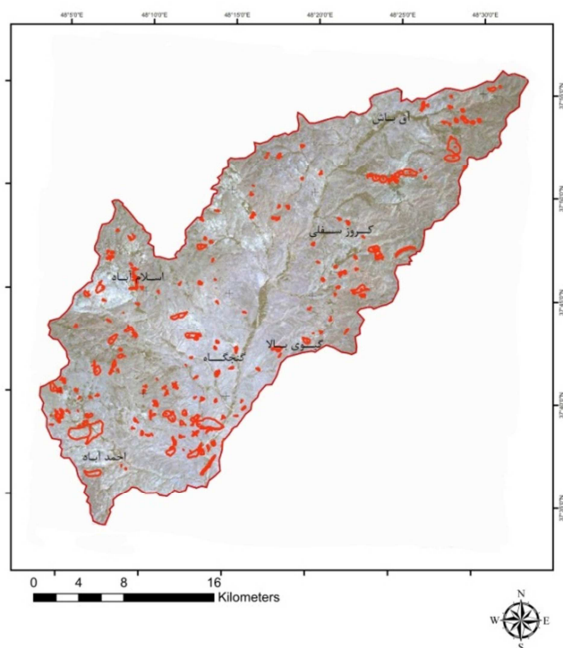
در این معادله NIR، بازتاب در باند فرورسرخ نزدیک و RED، انعکاس در باند سرخ است. از دیدگاه نظری مقدار این شاخص در محدوده -۱ و +۱ می‌باشد. مقادیر این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم به سوی عدد یک میل می‌کند ولی ابرها، برف و آب با مقادیر منفی مشخص می‌شوند. سنگ‌ها و خاک بایر که واکنش طیفی مشابه در دو باند مورد استفاده دارند با مقادیر نزدیک به صفر دیده می‌شوند. در این شاخص خاک معمولی، معادل یک منظور می‌شود. هر قدر فاصله شاخص یک پیکسل بالاتر از اندازه خاک باشد نشان دهنده تراکم پوشش گیاهی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تراکم پوشش گیاهی در محدوده اسلام آباد در غرب و آق باش در شمال شرق واقع شده است. در زیر نقشه NDVI برای محدوده حوضه سنگورچای نشان داده شده است. در تهیه این شاخص از ماهواره لندست و سنجنده ETM+ در دوره زمانی ۲۰۱۲ استفاده شده است.



شکل ۹: برآورد شاخص NDVI برای حوضه رودخانه سنگورچای

شناسایی زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه رودخانه سنگورچای

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در این منطقه اکثر دامنه‌ها تمایل به زمین لغزش را در انواع و ابعاد مختلف از خود نشان می‌دهند. برخی از زمین لغزش‌ها فعال بوده و برخی دیگر به صورت دوره‌ای عمل می‌کنند. به این منظور در ترسیم نقشه کامل زمین لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از منابع مختلفی استفاده شده است. برای اندازه‌گیری زمین لغزش‌های قدیمی از عکس‌های هوایی و دستگاه استریوسکوپ استفاده شده و موقعیت آنها در google earth تعیین گردید. البته در گردآوری موقعیت برخی از زمین لغزش‌ها از اطلاعات آرشیو سازمان منابع طبیعی اردبیل در دوره زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۲ استفاده شده است. به واسطه این تصاویر امکان شناسایی دقیق و ترسیم نقشه زمین لغزش‌های موجود میسر گردید. نقشه زمین لغزش‌های موجود در فهم فاکتورهای موثر در انواع حرکات توده‌ای نقش مهمی را ایفا می‌کند. در شکل ۱۰، زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه رودخانه سنگورچای نشان داده شده است.



شکل ۱۰: موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه رودخانه سنگورچای

نتایج و بحث

اگرچه برخی از تکنیک‌های کامپیوتری از قبیل مدل فازی و شبکه عصبی مصنوعی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش استفاده شده است لیکن مدل فازی عصبی یکی از تکنیک‌هایی است که به این منظور به ندرت در ایران استفاده شده است. سیستم فازی عصبی در حقیقت یک ساختار عصبی است که موازی با مدل استنتاجی فازی عمل می‌کند. این ساختار با توسعه قوانین فازی اگر آنگاه، تعلیم داده شده و توابع مجموعه‌های فازی را برای تعیین متغیرهای ورودی و خروجی توسعه داده‌اند. یکی از سیستم‌های فازی عصبی، سیستم استنتاجی فازی عصبی می‌باشد. به طور کلی هدف قوانین اگر آنگاه فازی، مدلسازی بر اساس نظرات و اطلاعات کارشناسی است در صورتی که

شبکه‌های عصبی به منظور کاهش میزان خطا در خروجی مدل اقدام به بهینه‌سازی توابع عضویت می‌نماید. در مدل ANFIS قوانین فازی از نوع تاگاکاکی و سوگنو^۱ (۱۹۸۳) که از توابع ریاضی بهره می‌گیرند به کار گرفته شده‌اند. اگر توابع ریاضی ثابت باشند مدل با عنوان مدل فازی سوگنو با رتبه صفر شناخته می‌شود و اگر دارای رتبه یک چند جمله‌ای باشند مدل از نوع مدل فازی سوگنو با رتبه یک می‌باشد. در این تحقیق مدل پیشنهاد شده توسط تاگاکاکی و سوگنو که با عنوان سیستم استنتاجی فازی از نوع ۳ شناخته می‌شود استفاده شده است. در این سیستم، خروجی هر یک از قوانین اگر آنگاه متشکل از ترکیبات خطی در متغیرهای ورودی بوده که به وسیله عبارات ثابت اضافه شده اند. در اولین لایه از سیستم ANFIS، داده‌های ریاضی به عنوان ورودی مدل به مجموعه‌های عضویت تبدیل می‌شود. به عبارتی دیگر، نوروها و جمع کل مجموعه‌های فازی، فازی سازی شده و از توابع زنگوله‌ای شکل استفاده می‌کنند. در لایه دوم، هر نورون معادل یک قاعده اگر آنگاه بوده و بنابراین تعداد نورون در لایه دوم برابر با یک قاعده می‌باشد. لایه سوم مسئول نرمالیزه کردن داده‌های خروجی از لایه دوم بوده است. بنابراین خروجی این لایه به صورت نرمالیزه شده خواهد بود. برای نرمالیزه کردن داده‌ها از معادله زیر استفاده شد (Takagi and Sugeno, 1983).

$$x_i = \frac{z_i - z_{i(\min.)}}{z_{i(\max.)} - z_{i(\min.)}} \quad (11)$$

که در آن z_i برابر با پیکسل و نمونه مورد نظر، $z_{i(\min.)}$ کمترین مقدار در ستون مورد نظر، $z_{i(\max.)}$ بیشترین مقدار در ستون مورد نظر و x_i هم اندازه نمونه نرمالیزه شده است.

برای مرحله تعلیم شبکه از تعداد ۶۸۲۴۰ نمونه که حدود ۸۰ درصد از اطلاعات را شامل می‌شد استفاده گردید و ۱۷۰۶۰ نمونه باقی برای مرحله آزمایش شبکه مورد استفاده قرار گرفت.

در لایه چهارم داده‌ها از حالت فازی خارج شده و در لایه پنجم تنها نورون خروجی متشکل از مجموع تمام داده‌های خروجی غیرفازی شده بوده و تنها خروجی مدل ANFIS را تشکیل می‌دهد. مدل ANFIS از الگوریتم یادگیری ترکیبی که متشکل از تخمینگر کمترین مربعات و مدل گرادیان نزولی است استفاده می‌کند. مدل کمترین مربعات در حقیقت محرک اصلی تعلیم سریع می‌باشد در حالیکه گرادیان نزولی به آرامی توابع عضویتی که تولید کننده توابع پایه برای مدل کمترین مربعات است را تغییر می‌دهد. در تعلیم مدل ANFIS هر دوره شامل حالات انتقالی پیشرو و پس رو است. در حالت انتقالی پیشرو در الگوریتم یادگیری ترکیبی، هر تابع به سمت لایه چهارم به پیش رفته و پارامترهای نهایی به وسیله تخمینگر کمترین مربعات تشخیص داده می‌شود. در حالت انتقالی پس رو، میزان خطا به مقادیر قبلی انتشار یافته و پارامترهای قبلی به وسیله گرادیان نزولی به روز می‌گردند. در این تحقیق، مدل ANFI از نوع ۳ برای تولید نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش در حوضه رودخانه سنگورچای استفاده شده است. به این منظور داده‌های لغزش‌های موجود و داده‌های فایل برگرفته از پارامتر ورودی از نرم افزار ArcGIS استخراج شده است. تمام فرایندهای پردازش در قالب ۲ نرم افزار ArcGIS و MATLAB صورت گرفته که در این بین، تعلیم و آزمایش داده‌ها در محیط نرم افزار MATLAB انجام می‌گیرد. انتخاب مجموعه داده‌های تعلیمی دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد.

مجموعه داده‌های تعلیمی به صورت تصادفی از بین داده‌های ورودی انتخاب شده است. با این حال بایستی فرایند یادگیری بیش از اندازه و توقف فرایند یادگیری نیز کنترل گردد. سپس، ۲۵۴ قاعده اگر آنگاه به کار گرفته شد. تعداد قاعده‌ها وابسته به تعداد مجموعه‌های فازی هر ورودی می‌باشد. بنابراین نقاط بحرانی از تعداد مجموعه‌های فازی تعیین می‌گردد. تعداد مجموعه‌های فازی نشان دهنده ساختار فیزیکی داده‌های ورودی می‌باشد. دلیل این نوع تصمیم‌گیری در ساختارهای ورودی، جلوگیری از آموزش بیش از حد مدل و افزایش بازدهی محاسباتی و تعیین سطح قابل قبول می‌باشد. افزایش هر مجموعه فازی باعث افزایش تعداد قواعد و کاهش بازدهی محاسباتی می‌گردد. در این مدل ۳۱۲ دوره برای تعلیم مدل استفاده شده و تمام مجموعه‌های فازی دارای توابع زنگوله‌ای شکل می‌باشند. در جدول زیر تعداد طبقات هر فاکتور و توابع عضویت اولیه نشان داده می‌شود.

جدول ۱: تعداد طبقات و توابع عضویت اولیه برای هر فاکتور استفاده شده در حوضه رودخانه سنگورچای

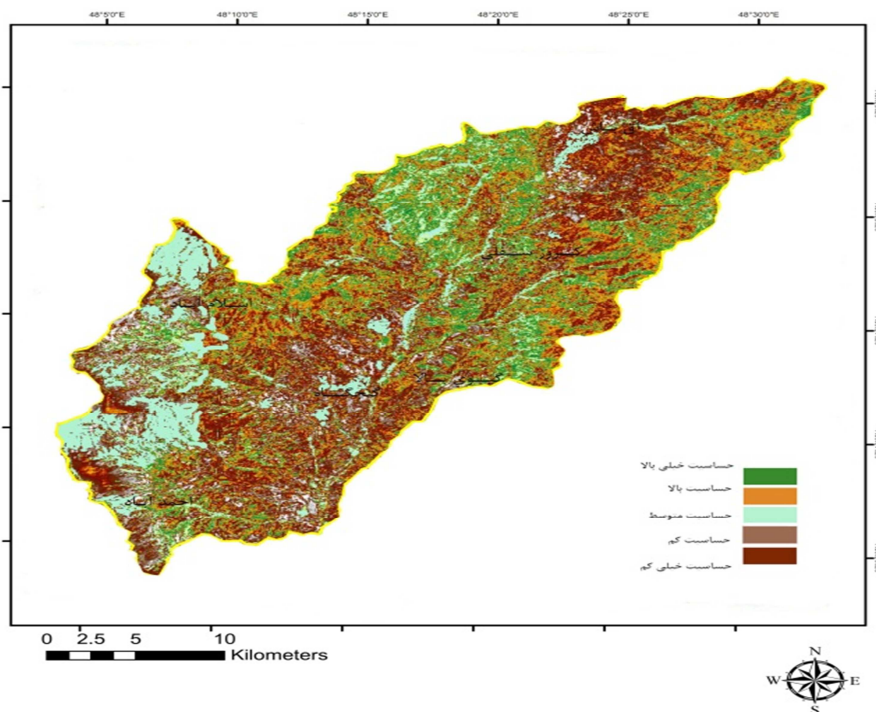
فاکتورهای موثر در زمین لغزش	تعداد طبقات	توابع عضویت اولیه
شیب	۰-۲/۸	۱۹/۱۱، ۳/۲۵۳، ۰-۴/۲۸
	۲/۸-۵/۳	
	۵/۳-۷/۵	
	۷/۵-۱۰	
	۱۰-۱۲/۵	
	۱۲/۵-۱۵/۳	
	۱۵/۳-۱۸/۸	
	۱۸/۸-۲۳/۹	
	۲۳/۹-۵۲/۲	
جهت شیب	NE	۰/۷۳، ۲/۳۳، ۰/۸۳
	E	
	SE	
	S	
	SW	
	W	
	NW	
DEM	<۲۹۹۴	۱۷۳/۹، ۳/۳۶۵، ۰-۶۹/۲۳
	>۱۰۹۵	
لیتولوژی	۲۲	۲۲۸، ۰-۱۱۵
شبکه هیدروگرافی	رتبه ۴	۰/۵، ۲/۱۹۰، ۰-۰/۲۳
NDVI	-۰/۷ تا -۰/۱۷	۷۴۹/۱۰، ۲/۲۱۹، ۰-۵
	-۰/۱۷ تا -۰/۰۶	
	-۰/۰۶ تا ۰/۰۷	
	۰/۰۷ تا ۰/۲۵	
گروه خاک	۰/۲۵ تا ۰/۶۵	۰/۲۸، ۲/۲۳، ۰/۷۵
	Lithic Xerorthents	
	Typic Haploxerepts- Typic Calcixerepts	
	Typic Xerorthents- lithic Xerorthents	
پراکنش زمین لغزش	۱	۳۱۷/۱، ۱/۳۷۶، ۰/۲۵

در جدول زیر نیز ساختار مدل سیستم استنتاجی فازی عصبی نمایش داده شده است.

جدول ۲: ساختار مدل ANFIS و پارامترهای تعلیم داده شده

تعداد لایه های استفاده شده	۸ لایه ورودی و ۱ لایه خروجی
نوع توابع عضویت استفاده شده به عنوان ورودی مدل	تابع زنگوله ای شکل
مدل بهینه تعلیم داده ها	تخمین گر کمترین مربعات
تعداد دوره های تعلیم	۳۱۲

با توجه به مواردی که آورده شد بعد از مشخص کردن ساختار اصلی شبکه عصبی و فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز برای تعلیم سیستم استنتاجی فازی عصبی، همچنین رسیدن به میزان تعلیم قابل قبول، شبکه آماده شد تا تحلیل منطقی را که قبلاً با آنها مواجه نشده است را انجام دهد. به این منظور با در دست داشتن وزنه‌های مرحله پایانی مربوط به تعلیم شبکه، کل منطقه که به پیکسل‌هایی تقسیم شده بود در اختیار شبکه قرار گرفت. در این حالت برای هر پیکسل یک مقداری توسط سیستم تعیین گردید که بین صفر و ۱ قرار گرفتند. با دسته‌بندی مقادیر به دست آمده از شبکه، می‌توان منطقه را به نواحی متفاوت از نظر خطر زمین لغزش تقسیم‌بندی کرد. در نهایت نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین لغزش برای حوضه رودخانه سنگورچای با بهره‌گیری از برنامه نوشته شده در محیط MATLAB تهیه گردید. نقشه فوق در زیر نمایش داده شده است.



شکل ۱۱: نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه رودخانه سنگورچای با استفاده از مدل ANFIS

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مناطق مستعد زمین لغزش در قالب مراحل شناسایی زمین لغزش‌های رخ داده، انتخاب ورودی‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی زمین لغزش، پردازش داده‌های ورودی در محیط MATLAB و ترسیم نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت. منطقه سنگورچای به علت جنگل زدایی، ارتفاع زیاد و رطوبت بالا با مشکل زمین لغزش مواجه است. در اولین مرحله از تحقیق، نقشه زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه با تکیه بر ارزیابی‌های غیرمستقیم مورد بررسی و ترسیم قرار گرفت. به این منظور ۱۲۴ مورد زمین لغزش شناسایی گردید. انتخاب این تعداد زمین لغزش با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و همچنین اطلاعات منتشر شده از زمین لغزش‌های موجود در سازمان منابع طبیعی اردبیل صورت گرفت. در مرحله بعد، فاکتورهای موثر در زمین لغزش شناسایی شده و در مرحله تحلیل داده‌ها در مدل ANFIS وارد نرم افزار MATLAB شد. در این مدل فاکتورهای شیب، جهت شیب، DEM، لیتولوژی، شبکه هیدروگرافی، لایه NDVI، گروه خاک و پراکنش زمین لغزش به عنوان ورودی در نظر گرفته شد. همچنین تاثیر فاکتورهای استفاده شده در مدل به دقت مورد بررسی قرار گرفت. به علت مشارکت چندین فاکتور ورودی در مدل ANFIS این مدل نقش مهمی را در پهنه‌بندی زمین لغزش ایفا می‌کند. در بررسی‌هایی که در حوضه رودخانه سنگورچای صورت گرفته است مشاهده می‌شود که بخش وسیعی از حوضه مورد مطالعه خصوصاً بخش شرقی و جنوب غربی حوضه در تصرف سنگهای آندزیت پرفیری و توف‌های آتشفشانی می‌باشد. هوازگی فلدسپاتهای موجود در این سنگها و تشکیل کانیه‌های رسی، زمینه وقوع زمین لغزش‌های بزرگ و کوچکی را بر روی دامنه‌های شیب‌دار مناطق بوجود آورده است. در جنوب حوضه نیز گستره وسیعی در اشغال سازند مارن خاکستری و قرمز است. بررسی‌ها نشان داد که فاکتورهای شیب، جهت شیب، DEM، لیتولوژی، شبکه هیدروگرافی، لایه NDVI، گروه خاک و پراکنش زمین لغزش می‌تواند اطلاعات مفیدی جهت پهنه‌بندی نمودن منطقه از نظر استعداد لغزش فراهم نماید. در ارتباط با ساختمان و عملکرد سیستم استنتاجی فازی عصبی مشاهده گردید که اگر تعداد تکرار خیلی کم باشد شبکه قادر به یادگیری نبوده و پردازش اطلاعات در حد مطلوب نخواهد بود. همچنین اگر اندازه نمونه‌های تعلیمی خیلی زیاد باشد قابلیت سیستم افزایش می‌یابد و اگر خیلی کم باشد شبکه قادر به تشریح خوب مسئله نبوده و قابلیت آن کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از مدل سیستم استنتاجی فازی عصبی نشان می‌دهد که محدوده شرقی آق باش و شمالی کروز سفلی از بیشترین احتمال رخداد زمین لغزش‌های شدید برخوردار بوده و بخش مرکزی محدوده آق باش از کمترین احتمال رخداد زمین لغزش برخوردار می‌باشد. این امر با توجه به شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی حاکم بر این منطقه این موضوع قابل تایید است. در کل، نتایج نهایی نشان می‌دهد که مدل ANFIS ابزار قدرتمندی برای ارزیابی مناطق مستعد زمین لغزش می‌باشد.

منابع

پوستی زاده، ندا، نجفی، نعیمه (۱۳۹۰). مقایسه کاربرد شبکه عصبی مصنوعی (ANN) با سیستم استنتاج فازی (FIS) در پیش بینی جریان رودخانه زاینده رود. تحقیقات منابع آب ایران، سال ۷، شماره ۲، صص ۹۷-۹۲.

دهقانی، نوید، وفاخواه، مهدی، بهره مند، عبدالرضا (۱۳۹۵). مدل‌سازی بارش رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و شبکه فازی عصبی تطبیقی در حوزه آبخیز کسلیان. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۷، شماره ۱۳، صص ۱۳۷-۱۲۸.

رستمی، مهناز، پهلوانروی، احمد، مقدم نیا، علیرضا (۱۳۹۴). پیش بینی خشکسالی با بکارگیری از مدل های شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی در حوزه مند استان فارس، مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ۴، شماره ۶، صص ۳۲-۲۱.

غفاری، غلامعلی، وفاخواه، مهدی (۱۳۹۲). شبیه سازی فرایند بارش رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی عصبی تطبیقی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حاجی قوشان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ۴، شماره ۸، صص ۱۳۶-۱۲۰.

نبی زاده، مرتضی، مساعدی، ابوالفضل، حسام، موسی، دهقانی، امیراحمد، ذاکری نیا، مهدی، مفتاح هلقی، مهدی (۱۳۹۰). پیش بینی جریان رودخانه با استفاده از سامانه استنتاج فازی و سامانه استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS)، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۵، شماره ۱۷، صص ۱۴-۷.

- Akgun, A., Bulut, F (2007). GIS- based landslide susceptibility for Arsin-Yomra region. *Environment Geology*, Volume 51, pp 1377-1387.
- Alexander, I., Morton, H (1990). *An Introduction to Neural Computing*, Chapman and Hall, London. 468 pp.
- Anbalagan, R (1992). Landslide susceptibility evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Eng. Geol.* Volume 32, pp 269-27.
- Bhattacharya, B., price, R., Solomatine, D. (2005). Data- driven modeling in the context of sediment transport. *Phys Chem. Earth.* volume 30, pp 297-302.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* volume 65, pp15-31.
- Choi, j., Oh, H., Lee, H., Lee, C., Lee, S. (2012). Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression and artificial neural network models using ASTER images and GIS. *Engineering Geology*, Volume 124, PP 12-23.
- Cubito, A., Ferrara, V., Pappalardo, G. (2005). Landslide hazard in the Nebrodi Mountains (Northeastern Sicily). *Geomorphology.* volume 66, pp 359-372.
- Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, S., Yamanaka, M., Masuda, T., Nishino, K. (2008). GIS-based weight of evidence modeling of rainfall- induced landslides in small catchment for landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, Volume 54, pp 311-324.
- Ermini, L., Catani, F., Casagli, N., (2005). Artificial neural networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, Volume 66, pp327-343.
- Fernandes, N.F., Guimarães, R.F., Gomes, R.A.T., Vieira, B.C., Montgomery, D.R., Greenberg, H. (2004). Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: filed evidence and modeling. *Catena.* volume 55, pp 163-181.
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T. (2005). The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, Volume 81, pp 65-83.
- Gomez, H., Kavzoglu, T. (2005). Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Eng. Geol.* Volume 78, pp 11-27.
- Guyon, I., Wang, P.S.P. (1993). *Advances in Pattern Recognition Systems Using Neural Network Technologies*. World Scientific, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong. 451 pp.
- Haykin, S. (1994). *Neural Networks*. Macmillan College Publishing Company, New York. 438 pp.
- Iwahashi, J., Watanabe, S., Furuya, T. (2003). Mean slope-angle frequency distribution and size frequency distribution of landslide masses in Higashikubiki area, Japan. *Geomorphology.* volume 50, pp 349-364.
- Jang, J. (1993). ANFIS: Adaptive- network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* volume 23, pp665-685.
- Kawabata, D., bandibas, J. (2009). Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an Artificial neural network (ANN). *Geomorphology*, Volume 113, PP 97- 109.
- Kisi, O. (2005). Suspended sediment estimation using neuro- fuzzy and neural network approaches. *Hydrological Sciences Journal.* volume 50, issue 4, pp683-696.
- Lee, S., Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, volume 40, pp1095-1113.
- Lee, S., Ryu, J. Min, K. Won, J. (2003). Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume 28, pp1361-1376.
- Lu, P., Rosenbaum, M.S. (2003). Artificial neural network and gray system for the prediction of slope stability. *Natural Hazards.* volume 30, pp 383-398.

- Melchiorre, C., Matteucci, M., Azzoni, A., Zanchi, A. (2006). Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation. *Geomorphology*. volume 94, pp 379-400.
- Moreiras, S.M. (2005). Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley, Argentina. *Geomorphology*. volume 66, pp 345-357.
- Nigrin, A. (1993). *Neural Network for Pattern Recognition*. The MIT Press, Cambridge, England.
- Pradhan, B., Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis back propagation artificial neural network and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Environmental modeling & Software*, Volume 25, PP 747- 759.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J. (1986). Learning internal representations by error propagation. In: Rumelhart, D.E., McLelland, J.L., The PDP Research Group (Eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, Volume.1. In MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp 318-362.
- Sezer, E.a., Pradhan, B., Gokceoglu, C. (2011). Manifestation of an adaptive neuro- fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang Valley, Malaysia. *Expert Systems with Application*, Volume 38, PP 8208- 8219.
- Sethi, I.K., Jain, A.K. (1991). *Artificial Neural Networks and Statistical Pattern Recognition*. North-Holland, London, New York, Tokyo.
- Takagi, T., Sugeno, M. (1983). Derivation of fuzzy control rules from human operator control actions. In *Proceedings of the IFAC Symposium on fuzzy information, knowledge representation and decision analysis*, July. volume 1983, pp 55-60.
- Wang, D., Pu, R., Gong, P., Yang, R. (1995). Predicting forest yield with an artificial neural network and multiple regression. *Chinese University of Hong Kong, Hong Kong*, pp.771-780.
- Wang, H. B., Sassa, K. (2005). Comparative evaluation of landslide susceptibility in Minamata area, Japan. *Environmental Geology*, Volume 47, pp 956-966.
- Yilmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat- Turkey). *Computers & Geosciences*, Volume 35, PP 1125- 1138.
- Zezere, J., Ferreira, A., Rodrigues, M. (1999). The role of conditioning and triggering factors in the occurrence of landslides: a case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*. volume 30, pp 133-146.

Zoning of landslide prone areas using neuro-fuzzy inference system (ANFIS) (Case Study: Songhurchay River Basin)

Mehdi Feyzolahpour*¹

Received: 05-03-2017

Accepted: 07-06-2017

Abstract

In this study, Neural Fuzzy Inference System (ANFIS) was used in landslide zoning in the Songhur Chai River Basin. In order to assess the neural network, 124 occurred landslide data identified from aerial photographs, satellite imagery, and field observations and was presented to the system. In addition, for processing landslides in MATLAB software, 8-layers were prepared; slope layers, aspect, DEM, lithology, hydrographic network layer, NDVI, soil and landslide groups and landslide distribution were drawn from field studies, topographic and geologic maps and satellite images in Arc GIS software. These layers were normalized based on the largest value for each layer in the range between 1 and zero. During the modeling process, 80% of the data were selected for training and 20% for were tested and were processed in the neural fuzzy inference system. In several studies, the value is considered as acceptable. Then, the values in order to map the landslide in the structure of ANFIS were processed and analyzed. Finally, with respect to the output weights, landslide zonation maps were drawn in five categories: very high, high, medium, low and very few. The results indicated that the geological structure formed of gray man and red sandstone, volcanic ash and tuff and high humidity, makes Ganjgah Mountains and Islamabad a high potential area for landslide occurrence.

Keywords: Landslide, ANN, ANFIS, zoning, Songhurchay River Basin.

¹*- Assistant Prof. of Geography, University of Zanjan, Iran.