



سجش از دور & GIS ایران



سجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال چهارم، شماره اول، بهار ۱۳۹۱
Vol.4, No.1, Spring 2012

۸۰-۶۵

بررسی روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی AHP، LNRF و FAHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی حوضه آبخیز النگ‌دره)

نرجس قهرمانی*^۱، عباس خاشعی سیوکی^۲، رسول دخیلی^۳

۱. کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳. کارشناس زمین‌شناسی، شرکت کاوش پی مشهد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۵/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۳/۲

چکیده

زمین‌لغزش از بلایای طبیعی است که هر ساله خسارات مالی و جانی زیادی به بار می‌آورد، اما در عین حال پیش‌بینی‌پذیری از ویژگی‌های برجسته آن به شمار می‌آید. با پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش می‌توان از بروز و گسترش خسارات ناشی از آن جلوگیری به‌عمل آورد. یکی از روش‌های پیش‌بینی این پدیده، مطالعه زمین‌لغزش‌های الگو در منطقه و پهنه‌بندی ناحیه یا حوضه آبخیز با توجه به آن الگوست. در این مقاله سعی شده است تا با مطالعه ویژگی‌های لغزش الگو، کل حوضه آبخیز النگ‌دره که نشانه‌های بروز لغزش را به وضوح می‌توان در قسمت‌های مختلف آن مشاهده کرد، از نظر خطر وقوع لغزش به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، روش FAHP و LNRF پهنه‌بندی کرد و ضمن مقایسه روش‌ها نقاط خطرناک را به‌منظور پایدارسازی آن تعیین کرد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که روش LNRF در مقایسه با دو روش دیگر تطابق بیشتری با منطقه دارد. در این روش، اعمال نظر کارشناسی در حداقل قرار دارد و در نتیجه امکان بروز خطا در آن کمتر است. در روش سلسله‌مراتبی به علت وجود متغیرهای بیشتر و اعمال نظر مستقیم کارشناس، امکان بروز خطا در امتیازدهی پارامترها وجود دارد. در روش FAHP نیز تعیین حدود حداقل و حداکثر مقادیر مؤثر در امتیازدهی پارامترها مستقیماً بستگی به نظر کارشناسی دارد خطای بیشتری در آن بروز می‌یابد. بنابراین پس از مقایسه سه روش فوق، مدل به‌دست‌آمده از روش LNRF که تطابق بیشتری با شرایط محیط مورد مطالعه دارد، به عنوان مدل نهایی انتخاب شد.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، روش فازی، LNRF، GIS.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: مشهد، شرکت مهندسی مشاور کاوش پی. تلفن: ۰۹۱۵۱۰۴۴۹۵۶

۱- مقدمه

بنا به تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌لغزش عبارت است از جابه‌جایی به سمت پایین توده‌ای از مواد بر روی یک شیب (نصیری، ۱۳۸۳). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت‌های زمین‌ساختی و لرزه‌ای زیاد، شرایط متنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، شرایط طبیعی اصلی را برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش‌ها داراست. براساس برآوردی اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود، که در آن از بین رفتن منابع طبیعی بازگشت‌ناپذیر هم به حساب آورده نشده است (نصیری، ۱۳۸۳). آماری که وزارت جهاد کشاورزی ثبت کرده است نشان می‌دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸، وقوع حدود ۲۵۹۰ حرکت توده‌ای و لغزش در کشور باعث مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ خانه، ایجاد خسارات مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶ هکتار جنگل و تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی شده است (صالحی‌پور، ۱۳۸۰).

در مورد پهنه‌بندی لغزش‌ها و حرکات توده‌ای تا کنون بررسی‌های زیادی در سراسر جهان انجام شده است و پژوهشگران مختلف با استفاده از انواع روش‌ها، طبقه‌بندی‌های متعددی ارائه کرده‌اند. از جمله (سارولی، ۲۰۰۱) با استفاده از روش رگرسیون خطی به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در کشور کره پرداخته است. لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در این تحقیق شامل شیب، ضخامت خاک، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی است که پس از مقایسه نتایج پهنه‌بندی با نقشه پراکنش لغزش‌ها مشخص گردید این روش نتایج نسبتاً مناسبی دارد.

در ایران نیز پژوهش‌های مربوط به مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بسیار تازه شکل گرفته‌اند و عمدتاً به اوایل دهه گذشته بازمی‌گردند. از جمله این پژوهش‌ها، تحقیقی است که اسماعیلی و احمدی (۲۰۰۳) در بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطرهای ناشی از آن، به دو روش رگرسیون

چندمتغیره و تحلیل سلسله‌مراتبی انجام داده‌اند. آنها در بررسی‌شان از هفت پارامتر استفاده کردند و در نهایت مشخص شد که روش تحلیل سلسله‌مراتبی در مقایسه با روش رگرسیون چندمتغیره دقت بیشتری دارد (احمدی و محمدخان، ۱۳۸۰). نیز عمل پهنه‌بندی، خطر حرکات توده‌ای را برای حوضه آبخیز طالقان و با در نظر گرفتن شش عامل شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، بارندگی، جهت دامنه و کاربری اراضی و با استفاده از روش سلسله‌مراتبی یا AHP انجام داده که با منطقه مورد مطالعه هم‌خوانی نسبتاً مناسبی داشته است. در روش AHP معیارهای ژئومورفولوژیکی مؤثر در ناپایداری دامنه‌ها به‌وسیله یک ماتریس زوجی امتیازبندی و وزن‌گذاری می‌شوند. هر چند شناخت و تشخیص انواع حرکات توده‌ای به سال‌های ۱۸۶ میلادی در چین بازمی‌گردد (مقیمی و همکاران، ۱۳۸۷) ولی درباره فرایندها و نحوه حرکات توده‌ای مواد در دامنه‌ها، طبقه‌بندی‌های متعددی صورت گرفته است. کوپتا و جوشی (۱۹۹۰) مدل LNRF را ارائه کردند. در این روش پس از بررسی عوامل مؤثر در لغزش و با استفاده از روش LNRF لایه‌های ترسیم‌شده با نرم‌افزار GIS وزن‌دهی می‌شود و سپس از جمع تمامی این لایه‌ها نقشه نهایی پهنه‌بندی به‌دست می‌آید. همچنین شادفر و یمانی (۱۳۸۶) اقدام به پهنه‌بندی حوضه جلسیان کردند و به این نتیجه دست یافتند که مدل LNRF کارایی بسیار خوبی برای بررسی و پهنه‌بندی نواحی مرطوب تا نیمه‌مرطوب دارد.

در این مقاله برای نخستین بار از سه روش $FAHP^1$ ، AHP^2 و $LNRF^3$ به طور هم‌زمان برای پهنه‌بندی خطر لغزش در منطقه استفاده شده و در نهایت این روش‌ها با هم مقایسه شده‌اند و روشی که با لغزش الگو در حوضه آبخیز تطابق بیشتری دارد، معرفی

1. Fuzzy Analytic Hierarchy Process
2. Analytic Hierarchy Process
3. Landslide Nominical Risk factor

در اسفندماه سال ۱۳۸۸ و پس از یک بارندگی شدید و چندروزه، در بخشی از حوضه آبخیز النگ‌دره لغزشی به وسعت ۸۴۱۰۵ مترمربع (۰/۰۸۴ کیلومترمربع) به وقوع پیوست، که ۶۷ درصد از کل حوضه را تشکیل می‌دهد. با توجه به خصوصیات مشابه قسمت‌های جنوبی حوضه و امکان بروز لغزش در این مناطق، در نوشتار حاضر با الگو قراردادن لغزش مذکور به عنوان شرایط بحرانی لغزش، اقدام به پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش در حوضه آبخیز النگ‌دره گردید. شکل ۲ موقعیت و وسعت لغزش را در حوضه آبخیز النگ‌دره نشان می‌دهد. این حوضه دارای بارندگی متوسط ۵۰-۶۰ میلی‌متر در سال است و از نظر توپوگرافی دارای شکل قاشقکی است، یعنی کناره‌ها شیب و ارتفاع بیشتری دارد و در مرکز حوضه شیب کمتر می‌شود.



شکل ۲. موقعیت و وسعت لغزش در حوضه آبخیز النگ‌دره (نگارنده)

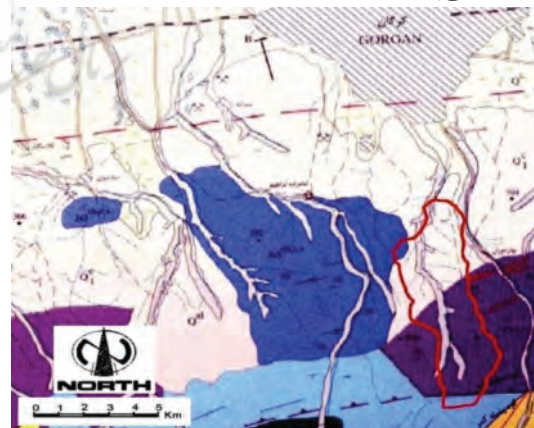


شکل ۳. محدوده وسیع تاج لغزش (۸۹/۰۹/۲۰)

گردیده است. هدف از انجام این کار، شناسایی بهترین روش ممکن برای پهنه‌بندی بروز لغزش است تا بتوانند امکان شناسایی مناطق پرخطر را با دقت بیشتری فراهم آورد و از بروز خسارات جانی و مالی بیشتر جلوگیری کند.

۱-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در استان گلستان، جنوب شهرستان گرگان و شرق نهارخوران واقع شده است. این منطقه در مختصات جغرافیایی $54^{\circ} 26' 6''$ تا $54^{\circ} 28' 16''$ طول شرقی و $36^{\circ} 43' 40''$ تا $36^{\circ} 47' 49''$ عرض شمالی قرار گرفته و بخش کوچکی از حوضه آبخیز قره‌سو است. محدوده مورد نظر، قسمتی از رودخانه النگ‌دره به طول حدود ۷/۸۰ کیلومتر است. رودخانه النگ‌دره از شاخه‌های رودخانه قره‌سو است و در بخش مرکزی شهرستان گرگان واقع شده است. سرشاخه‌های اولیه آن از ارتفاعات کوه سفیدآب و کوه جرو سرچشمه گرفته و در جنگل النگ دره به هم متصل شده‌اند و رودخانه النگ دره را تشکیل می‌دهند. سپس با حرکت در مسیر جنوب شرقی - شمال غربی وارد محدوده شهری گرگان می‌شود و از بخش غربی شهر خارج و وارد اراضی پایین دست شهر گرگان می‌شود و در نهایت به رودخانه قره‌سو می‌پیوندد.



شکل ۱. جانمایی حوضه النگ‌دره محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ گرگان

که کدام یک از عوامل در وقوع لغزش تأثیر بیشتری داشته‌اند. از آنجا که نتایج روش‌های کمی و نیمه‌کمی در پهنه‌بندی خطر لغزش مطمئن‌تر از دیگر روش‌هاست، به‌کارگیری آنها نیز اعتبار علمی بیشتری از دیگر روش‌ها دارد. به همین دلیل طی سال‌های اخیر، پژوهشگران علوم زمین از این روش‌ها استفاده بیشتری کرده‌اند. در پژوهش حاضر نیز به منظور پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش، از روش فازی که روشی کمی است و از روش سلسله‌مراتبی که روشی نیمه‌کمی است، استفاده شده است.

۲-۱- فازی کردن پارامترها FAHP

مدل فازی، مدل مناسبی است که برای تهیه انواع نقشه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل نیاز به پارامترهای کمتری دارد و افزون بر صرفه‌جویی در وقت و هزینه، وقتش نیز بالاست (کریم‌نوف، ۲۰۰۴). در این روش صرفاً پارامترهای کمی مورد بررسی قرار می‌گیرند. استفاده از منطق فازی، در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از متخصصان رشته‌های مختلف را به خود معطوف ساخته است، تا آنجا که در سال‌های اخیر پژوهش‌های مختلفی در زمینه استفاده از روش منطق فازی و روش FAHP به‌صورت توأم یا مجزا صورت گرفته‌اند. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش منطق فازی در منطقه رودبار پرداختند. تابع عضویت، مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند؛ در واقع به تابعی که میزان درجه عضویت اعضای مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد، تابع عضویت می‌گویند (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۵). تابع عضویت در مدل فازی برای فاکتورهای مورد نظر به‌صورت غیرخطی در نظر گرفته شد (شکل ۵) و از معادلات (۱) و (۲) استفاده گردید. برای فازی‌سازی پارامترها از بخش فازی نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است.



شکل ۴. جریان گلی عظیم در ابتدای لغزش (۸۸/۱۲/۱۵)

در این مقاله، حوضه آبخیز النگ‌دره به عنوان ناحیه‌ای کوهستانی و بسیار متراکم که دارای شواهد بروز لغزش‌های زیادی است، از طریق مدل AHP و LNRFP و FAHP پهنه‌بندی شد تا پهنه‌های پرخطر و شدیداً پرخطر تعیین گردد و در برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

۲-۲ مواد و روش‌ها

روش جمع‌آوری اطلاعات در پژوهش حاضر مبتنی بر مطالعات میدانی است؛ بدین صورت که در ابتدا طول و عرض جغرافیایی زمین‌لغزش مذکور به‌وسیله GPS Garmin vista مشخص شد و سپس ویژگی‌های زمین‌لغزش ثبت گردید. در مرحله بعد اقدام به شناسایی و مطالعه عوامل تأثیرگذار در وقوع این زمین‌لغزش مانند (شیب، جهت شیب، باران، کاربری اراضی، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه) شد، و سپس نقشه عوامل مذکور تهیه گردید. پس از اینها، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه در محیط (ArcGIS version 9.3) رقومی گردید و برای هر یک از پارامترهای مؤثر لایه‌ای مجزا ایجاد گردید. پس از آن در هر یک از سه روش مورد استفاده، تمامی لایه‌ها به صورت مجزا وزن‌دهی شدند و نقشه نهایی با روی هم‌گذاری^۱ تمامی لایه‌های موجود به‌وسیله نرم‌افزار ترسیم گردید. پس از تحلیل تمامی لایه‌های اطلاعاتی به‌وسیله نرم‌افزار و طی مراحل که در ادامه عنوان خواهد شد، مشخص گردید

1. Overlay

جدول ۱. میزان تأثیر پارامترهای مؤثر در وقوع لغزش در منطقه

شیب	بارندگی	فاصله از جاده	فاصله از آبراهه	فاصله از گسل	پارامتر
					محدوده مؤثر
$a=70^\circ$	$a=80\text{ mm}$	$a=5\text{ m}$	$a=6\text{ m}$	$a=3\text{ km}$	Max
$b=20^\circ$	$b=40\text{ mm}$	$b=0\text{ m}$	$b=0\text{ m}$	$b=0\text{ km}$	min

در محیط GIS نشان داده شود (پرهیزکار، ۱۳۸۵).
نقشه‌های رستری شامل کاربری اراضی و لیتولوژی نمونه‌ای از لایه‌های کیفی‌اند و نقشه رستری شیب، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه نمونه‌ای از لایه‌های کمی قلمداد می‌شوند. پس از انتخاب این لایه‌ها وزن‌دهی به آنها انجام می‌شود. هدف از وزن‌دهی به معیارها آن است که بتوان اهمیت هر معیار را در مقایسه با معیارهای دیگر بیان کرد که در این پژوهش از روش سلسله‌مراتبی برای وزن‌دهی لایه‌ها استفاده شده است. روش مبتنی بر مقایسه دو به دو را ساعتی (۱۹۸۰) در فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی ارائه کرده است. در این روش برای ایجاد ماتریس مقایسه نسبت، مقایسه‌های دو به دو به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود و وزن‌های نسبی به‌عنوان خروجی تولید می‌گردد.

برای آنکه وزن‌دهی معیارها و قضاوت‌ها با ذهن و طبیعت بشری مطابق و همراه باشد، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP در این خصوص استفاده شد. روش وزن‌دهی مذکور بر دانش کارشناسی استوار است. برای اینکه ارجحیت فاکتورها نسبت به هم سنجیده شوند، روش مقایسه زوجی مورد استفاده قرار گرفته است. در روش مقایسه زوجی، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و اهمیت آنها نسبت به یکدیگر تعیین می‌گردد. سپس یک ماتریس ایجاد می‌شود که ورودی آن همان وزن‌های تعیین‌شده و خروجی آن وزن‌های نسبی مربوط به معیارهاست (قدسی‌پور، ۲۰۰۶). از آنجا که در مطالعه حاضر هر یک از پارامترها دارای تأثیر متفاوتی روی لغزش هستند و پارامترهای مؤثر بیش از

رابطه (۱)

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(b - \frac{x}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

رابطه (۲)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(b - \frac{x}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

تابع فازی به‌کاررفته، تابع غیرخطی نامتقارنی است که در آن حدود a و b ارزش‌های به‌کاررفته برای هر یک از فاکتورهای مورد مطالعه هستند و x پارامتر مورد بررسی را نشان می‌دهد. برای تعیین این حدود می‌توان حد بحرانی این فاکتورها را به‌عنوان معیار انتخاب کرد. حد بحرانی پارامترها، مقادیری هستند که در ازای مقادیر کمتر یا بیشتر از آن، میزان تأثیر پارامتر در زمین‌لغزش اندک باشد. این مقدار براساس نظر کارشناسی اعمال می‌شود و در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول حدود مورد بررسی ذکر شده‌اند؛ به‌عنوان مثال بیشینه بارندگی ۸۰ میلی‌متر و کمینه آن ۴۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است

۲-۲- وزن‌دهی پارامترها براساس روش AHP

با تعیین مجموعه‌ای از معیارها برای ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری، لازم است تا هر معیار به صورت یک لایه

استفاده شده است. تکنیک کار، رقومی کردن و لایه‌بندی کردن متغیرهای مؤثر در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) بوده است. در این مرحله نقشه‌های عوامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب و نظایر آن با نقشه پراکنش زمین‌لغزش انطباق داده می‌شود و با استفاده از رابطه LNRF (رابطه ۳)، وزن هر واحد محاسبه و نقشه‌های وزنی ساخته می‌شود. به منظور تعیین وزن هر پارامتر ابتدا مساحت واقعی لغزش در هر واحد بر میانگین مساحت کل واحدهای آن نقشه تقسیم و شاخص فوق تعیین می‌گردد و از جمع جبری نقشه‌های وزنی نقشه پهنه‌بندی و در نهایت با طبقه‌بندی نقشه فوق براساس نقاط عطف نمودار تجمعی فراوانی وزن واحدها، پهنه‌بندی انجام پذیرفته است.

رابطه (۳)

$$LNRF = \frac{\text{لغزش رخ داده در یک واحد نقشه}}{\text{میانگین لغزش رخ داده در کل واحدهای یک نقشه}}$$

LNRF < 1 Weight = 0
 1 < LNRF < 2 Weight = 1
 LNRF > 2 Weight = 2

۳- نتایج و بحث

۳-۱- محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش

سلسله‌مراتبی AHP

وزن هر معیار، اهمیت هر عامل را نسبت به سایر عوامل نشان می‌دهد، به گونه‌ای که مجموع ارزش این عوامل می‌بایست ۱۰۰ درصد باشد. در این روش ابتدا با استفاده از قضاوت کارشناسی که مبتنی بر قضاوت پژوهشگر در مورد عوامل مؤثر در لغزش و نتایج حاصل از سایر تحقیقات در حوضه‌های آبخیز مجاور منطقه (حوضه آبخیز النگ‌دره شهرستان گرگان) و مناطقی با شرایط محیطی مشابه است، رتبه‌بندی از اولویت کم تا خیلی زیاد صورت می‌گیرد، سپس این رتبه‌ها به مقادیر کمی بین ۱-۱۰ تبدیل می‌گردد. پس از رتبه‌بندی پارامترها، برای پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه، مراحل زیر انجام می‌شود (محمدخان، ۱۳۸۰)

یک فاکتور است، از روش مقایسه زوجی استفاده می‌شود. برای مقایسه زوجی پارامترها به صورت طبقه‌بندی کمی بین ۱ تا ۹ از جدول قیاسی که ساعتی مطرح کرده است استفاده گردید. در ادامه برای محاسبه وزن هر پارامتر، از ماتریس مقایسه زوجی از روش تقریبی (میانگین حسابی) استفاده می‌شود. در این روش ابتدا مقادیر هر یک از ستون‌ها را با هم جمع می‌کنیم و سپس مقادیر هر عنصر از ماتریس را به جمع کل ستون‌های همان عنصر تقسیم می‌کنیم و در مرحله آخر متوسط عناصر در هر سطر را به دست می‌آوریم (برتیلینی و برگلیا، ۲۰۰۶).

یکی از مزیت‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، امکان سازگاری در قضاوت‌های انجام‌شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارهاست. سازوکاری که برای بررسی سازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته شده، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری است (ساعتی، ۱۹۹۷). این معیار همان‌گونه که قبلاً گفته شد، باید از ۰/۱ کمتر باشد (دی و رامچران، ۲۰۰۰). بعد از تهیه نقشه‌های فازی، وزن هر پارامتر با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین می‌شود و با ضرب در هر لایه، شاخص نهایی مکان‌های دارای آسیب‌پذیری زمین‌لغزش از حاصل جمع تمامی لایه‌های به‌دست‌آمده تعیین گردید که با استفاده از شاخص فوق نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش تهیه شد. علل زمین‌لغزش‌ها در حوضه آبخیز النگ‌دره، تلفیقی از فرایندهای مختلف از جمله توپوگرافی، لیتولوژی، شیب، کاربری اراضی، بارش، گسل و مانند اینها) است. بدین ترتیب هر یک از معیارها در روش AHP مورد بررسی قرار می‌گیرند و به عنوان متغیرهای تأثیرگذار در ناپایداری دامنه قلمداد می‌شوند.

۳-۲- وزن‌دهی پارامترها براساس روش LNRF

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از مطالعات میدانی و نیز بررسی متغیرهای مؤثر، از مدل LNRF به عنوان مهم‌ترین ابزار مفهومی تحقیق

برای پهنه‌بندی خطر لغزش در کل حوضه آبخیز النگ‌دره، با توجه به لغزش به وقوع پیوسته می‌توان این لغزش را به عنوان شرایط مرزی و بحرانی در نظر گرفت و به تمام حوضه تعمیم داد.

پارامترهای مؤثر در لغزش مورد نظر را می‌توان به ۸ گروه تقسیم کرد: شیب توپوگرافی، جهت شیب، فاصله از گسل، لیتولوژی، باران، کاربری اراضی، جاده، و رودخانه در محدوده حوضه النگ‌دره. حضور آب در منطقه به‌صورت اشباع و وزن سربار (درختان و گیاهان موجود) که از علل ایجاد ناپایداری در شیب‌ها به شمار می‌آیند، به‌صورت مشترک و ثابت در وقوع لغزش تأثیرگذار بوده‌اند.

نخست، مقایسه دو به دوی فاکتورها و اولویت‌بندی آنها براساس وزن‌شان، بدین صورت که ابتدا فاکتورها با هم مقایسه می‌شوند و ارزش‌های مربوط به هر ستون از ماتریس مقایسه، دوبه‌دو با هم جمع می‌شوند (جدول ۲)، سپس هر عنصر ماتریس بر مقدار کل ستون آن تقسیم می‌گردد (از این ماتریس تحت عنوان ماتریس استاندارد نام برده می‌شود). در نهایت، میانگین عددی عناصر مطرح در هر ردیف از ماتریس استاندارد محاسبه شده است. این میانگین‌ها تخمینی از وزن‌های نسبی معیارهای مورد مقایسه به‌دست می‌دهند. با استفاده از این روش، وزن‌ها به منزله میانگین از تمامی راه‌های ممکن از مقایسه معیارها تلقی می‌شوند (جدول ۳).

جدول ۲. مقایسه دو به دو عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

	جاده	رودخانه	باران	لیتولوژی	کاربری اراضی	جهت	گسل	شیب
شیب	۲/۸۸	۲/۱۳	۱/۸۸	۱/۰۲	۲/۲۲	۱/۸۰	۱/۸۸	۱
گسل	۲/۲۰	۱/۷۲	۱/۲۰	۱/۰۵	۱/۳۸	۱/۷۲	۱	۰/۵۲
جهت	۱/۴۱	۱/۲۰	۱/۵۹	۱/۰۹	۱/۳۳	۱	۰/۵۸	۰/۵۵
کاربری اراضی	۰/۸۱	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۸۰	۱	۰/۷۵	۰/۷۲	۰/۴۵
لیتولوژی	۱/۹۷	۱/۵۸	۱/۷۹	۱	۱/۲۴	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۹۷
باران	۱/۲۲	۱/۴۴	۱	۰/۵۵	۱/۰۴	۰/۶۲	۰/۸۲	۰/۵۲
رودخانه	۰/۷۵	۱	۰/۶۹	۰/۶۳	۱/۰۹	۰/۸۲	۰/۵۸	۰/۴۶
جاده	۱	۱/۳۳	۰/۸۱	۰/۵۰	۱/۲۲	۰/۷۰	۰/۴۵	۰/۳۴
جمع کل	۱۲/۳	۱۱/۳	۱۰	۶/۷	۱۰/۵	۸/۳	۷	۴/۸

جدول ۳. وزن عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

شاخص	جاده	رودخانه	باران	لیتولوژی	کاربری اراضی	جهت	گسل	شیب
۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۲۰
۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۱۰
۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۱
۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۹
۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۲۰
۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۲	۱	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۱
۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۹
۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۷
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

شدت می‌بخشد. کلاس‌بندی و درصد هر کلاس از پارامترهای مؤثر در جدول‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است.

از طرف دیگر این رطوبت دائمی در منطقه باعث عملکرد فرایندهای هوازدگی و تخریب شیمیایی شده است که به نوبه خود به سست شدن ساخت و بافت خاک پوشاننده دامنه می‌انجامد و لغزش را تشدید می‌کند. اما با توجه به کوچک بودن حوضه النگ‌دره، این پارامتر در کل حوضه ثابت در نظر گرفته شد و در یک کلاس قرار گرفت.

در نهایت هر کدام از پارامترها وزن‌دهی شد و هر زیر کلاس براساس مقادیر اهمیت آن Reclassify گردید و با توجه به وزن هر پارامتر، لایه Raster آن ساخته و با نرم‌افزار GIS تمام این لایه‌ها وزن‌دهی و هم‌پوشانی شد.

حضور آب، در دسته‌بندی بارش و وزن سربرار در پارامتر فاصله از جاده در نظر گرفته شده‌اند. از دید مهندسی زمین‌شناسی می‌توان بیان کرد که افزایش رطوبت در منطقه منجر به تشدید لغزش می‌شود، بدین صورت که افزایش سطح آب در منطقه، باعث بالا رفتن فشار آب بین حفره‌ای و در نتیجه کاهش تنش مؤثر و در نهایت کاهش ظرفیت باربری خاک می‌گردد. همین امر به نوبه خود می‌تواند با بارگذاری به‌وسیله ساخت‌وساز در بالادست دامنه و همچنین سربرار اضافی ناشی از وزن درختان، باعث تخریب بافت خاک و تشدید پدیده لغزش در دامنه شود. علاوه بر آن، رطوبتی که پس از بارندگی شدید در منطقه به خاک سطحی تزریق می‌شود، درصد رطوبت خاک را به بیش از حد اشباع آن می‌رساند. خاک CL به علت خاصیت پلاستیسیته با عبور رطوبت از حد مایع (LL) بلافاصله روان می‌گردد؛ این امر نیز به نوبه خود بروز لغزش را

جدول ۴. کلاس‌بندی پارامتر شیب و جهت شیب و درصد هر کلاس در کل حوضه

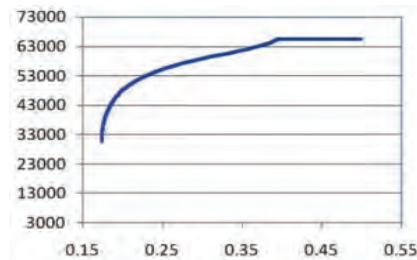
درصد	مساحت (مترمربع)	کلاس ۱ تا ۱۰
۹/۳	۱۱۵۵۶۲۹	کلاس ۱
۱۲/۴	۱۵۴۳۹۴۹	کلاس ۲
۲۱/۴	۲۶۵۶۲۹۶	کلاس ۳
۲۳/۷	۲۹۳۰۷۲۴	کلاس ۴
۱۴	۱۷۲۸۳۰۴	کلاس ۵
۸/۵	۱۰۵۹۲۸۰	کلاس ۶
۷	۸۷۶۲۹۰	کلاس ۷
۲/۷	۳۳۵۹۹۰	کلاس ۸
۰/۵	۶۷۰۳۶	کلاس ۹
۰/۱	۹۱۰۳	کلاس ۱۰
۱۰۰	۱۲۳۶۲۶۰۱	جمع کل
۰/۷	۹۱۲۹۵	کلاس ۱
۱۰/۱	۱۲۷۰۱۵۹	کلاس ۳
۳۳/۵	۴۲۳۰۸۷۹	کلاس ۴
۳۶/۸	۴۶۴۶۳۴۹	کلاس ۷
۱۸/۸	۲۳۷۹۸۷۸	کلاس ۹
۱۰۰	۱۲۱۸۵۶۰	جمع کل

جدول ۵. کلاس‌بندی پارامتر کاربری اراضی، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه و درصد هر کلاس در حوضه

	کلاس ۱ تا ۱۰	مساحت (مترمربع)	درصد
کاربری اراضی	کلاس ۱	۴۴۷۶۵۴	۳/۶
	کلاس ۲	۱۷۴۱۳۱	۱/۴
	کلاس ۳	۱۹۰۰۳	۰/۱
	کلاس ۶	۱۱۸۵۲۲۰۹	۹۴/۹
	جمع کل	۱۲۴۹۲۹۹۷	۱۰۰
فاصله از جاده	کلاس ۱	۱۲۳۸۶۷۶۴	۹۹/۷
	کلاس ۲	۱۷۹۰۶	۰/۱
	کلاس ۳	۱۳۳۹۷	۰/۱
	کلاس ۶	۳۹۵۸	۰/۰۳
	جمع کل	۱۲۴۲۲۰۲۵	۱۰۰
فاصله از آبراهه	کلاس ۱	۱۲۲۷۹۸۴۶	۹۸/۹
	کلاس ۲	۸۱۸۲۸	۰/۷
	کلاس ۳	۲۵۱۷۶	۰/۲
	کلاس ۶	۲۴۰۸۶	۰/۲
	کلاس ۷	۱۰۰۴۲	۰/۰۸
جمع کل	۱۲۴۲۰۹۷۸	۱۰۰	

جدول ۶. کلاس‌بندی پارامتر فاصله از گسل، لیتولوژی و باران و درصد هر کلاس در حوضه

	کلاس ۱ تا ۱۰	مساحت (مترمربع)	درصد
فاصله از گسل	کلاس ۱	۸۸۹۰۶۵۹	۷۱/۶
	کلاس ۸	۳۵۲۹۹۲۰	۲۸/۴
	جمع کل	۱۲۴۲۰۵۷۹	۱۰۰
لیتولوژی	کلاس ۴	۳۵۸۴۳۵۶	۲۸/۷
	کلاس ۵	۱۰۷۲۸۵۶	۸/۶
	کلاس ۷	۲۰۲۲۳۲۰	۱۶/۱
	کلاس ۹	۵۸۱۴۲۵۸	۴۶/۶
جمع کل	۱۲۴۹۳۷۹۰	۱۰۰	
باران	کلاس ۸	۱۲۴۲۰۱۶۵	۱۰۰
	جمع کل	۱۲۴۲۰۱۶۵	۱۰۰



شکل ۵. نمودار فراوانی تجمعی شاخص FAHP در منطقه

جدول ۷. لایه نهایی احتمال وقوع لغزش و درصد هر لایه در حوضه

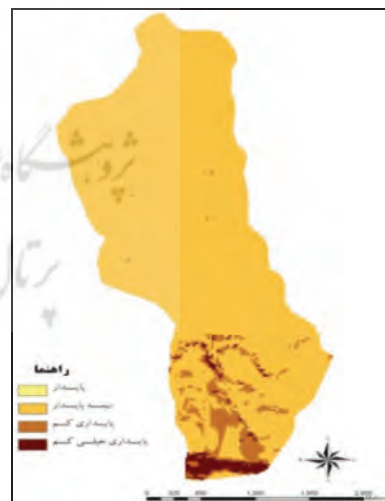
درصد	مساحت (مترمربع)	پایداری	احتمال وقوع لغزش
۰/۰۱	۸۲۵	پایدار	خیلی کم
۹۲/۵۵	۱۱۳۴۶۹۹۰	نیمه پایدار	متوسط
۵/۲۵	۶۴۳۰۷۶	پایداری کم	زیاد
۲/۱۹	۲۶۹۰۴۶	پایداری خیلی کم	خیلی زیاد
۱۰۰	۱۲۲۵۹۹۳۷	جمع کل	

حالی است که نقشه نهایی ارائه شده در مدل AHP این مناطق را با درجه پایداری متوسط نشان می‌دهد؛ که با واقعیت هم‌خوانی کمتری دارد. همچنین نکته تضعیف‌کننده این روش، مدل ارائه شده برای قسمت‌های شمالی حوضه است. در مدل مذکور این قسمت‌ها با درجه پایداری متوسط نشان داده شده‌اند که با نتیجه بررسی‌های انجام شده در منطقه هم‌خوانی ندارد، چرا که در بررسی‌های میدانی در حوضه مشخص گردید که این قسمت‌ها نیز به علت شیب تقریبی زیاد دارای پتانسیل بروز لغزش بیشتری هستند.

تمامی عوامل ذکر شده در مقاله به نحوی در لغزش تأثیرگذار هستند و چگونگی قرارگیری آنها در منطقه و در ارتباط با یکدیگر، در شکل‌گیری لغزش نقش اساسی دارند. اما عامل شیب و تغییرات آن را می‌توان به عنوان مهم‌ترین عامل به‌شمار آورد چرا که به عنوان مثال اگر بارندگی، لیتولوژی، فاصله از گسل یا سایر عوامل در شرایط نامساعد از نظر پایداری دامنه قرار داشته باشند، تا زمانی که زاویه شیب دامنه (β) به حد بحرانی نرسد، لغزش اتفاق نمی‌افتد.

نکته مهم دیگر این است که همیشه در پایداری سازی دامنه‌های شیب‌دار، نخستین راهی که بیشترین ضریب اطمینان را حاصل می‌کند اصلاح شیب دامنه است و در مراحل بعدی به سراغ زهکشی، ایجاد پوشش گیاهی و مواردی از این دست می‌روند. بنابراین عامل مذکور از مهم‌ترین عوامل به‌شمار می‌رود و نتیجه‌گیری در هر مدل بر پایه آن صورت گرفته است. از طرف دیگر در امتیازدهی به پارامترها و تشکیل ماتریس در روش

نقشه پهنه‌بندی نهایی پتانسیل لغزش در حوضه النگدره به صورت جدول ۷ و شکل ۶ ارائه شده است. با توجه به جدول نهایی که با اعمال ضریب وزنی به دست آمده است، مناطق با خطر وقوع متوسط و نیمه پایدار دارای بیشترین مقدار (۹۲/۵۵ درصد) و مناطق دارای خطر زیاد و ناپایدار با میزان ۷/۴۴ درصد در رتبه دوم قرار دارند و مناطق پایدار ۰/۰۱ درصد را در کل حوضه تشکیل می‌دهند. بنابراین، این روش بخش اعظم حوضه را دارای خطر وقوع متوسط و نیمه پایدار معرفی می‌کند که به علت تأثیر متغیر میانگین حسابی در وزن‌دهی پارامترهاست.



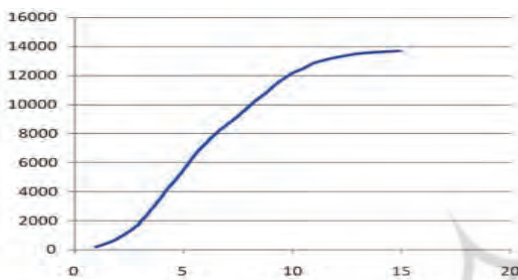
شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش در حوضه آبخیز النگدره به روش AHP

بازدیدهای میدانی در منطقه نشان داد که قسمت‌های جنوبی حوضه به علت شیب زیاد توپوگرافی، احتمال وقوع لغزش بیشتری دارند و این در

۳-۲- محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش

LNRNFA

با استفاده از روابط LNRNFA، وزن هر واحد محاسبه و نقشه‌های وزنی ساخته شد (جدول‌های ۸ و ۹). سپس از جمع جبری نقشه‌های وزنی، نقشه پهنه‌بندی و در نهایت با طبقه‌بندی نقشه فوق براساس نقاط عطف نمودار تجمعی فراوانی شکل ۷ وزن واحدها در جدول ۱۰ محاسبه گردید و پهنه‌بندی انجام پذیرفت (شکل ۸).



شکل ۷. نمودار فراوانی تجمعی پارامتر LNRNFA در منطقه

AHP از دیدگاه ۶ کارشناس استفاده شد، بدین ترتیب که هر کارشناس امتیازهای مربوط به هر پارامتر را در ماتریس جداگانه‌ای وارد کرده و ماتریس نهایی میانگین این ۶ ماتریس است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، تمامی کارشناسان به پارامتر شیب بیشترین امتیاز را داده بودند و از نظر همگی آنها شیب تأثیرگذارترین عامل به‌شمار می‌رفت.

در این بخش می‌توان با رویکردی زمین‌شناختی چنین بیان کرد که هدف از مقاله حاضر این بوده است که نشان دهد آیا در مناطقی که از نظر زمین‌شناسی شرایط نامساعدی دارند، زمین‌لغزش صورت گرفته است یا خیر. البته مدل به کار گرفته شده این امر را تأیید کرده است و بخش‌های دیگری هم که هنوز لغزش نکرده‌اند - برطبق مدل ارائه‌شده - پتانسیل بالایی برای لغزش دارند؛ مثلاً شیب منطقه بالاست و یا زمین‌شناسی آن مطابق با محدوده لغزش است.

جدول ۸. کلاس‌بندی و وزن‌دهی پارامتر لیتولوژی، درصد شیب، باران و فاصله از گسل و درصد هر کلاس در حوضه

ردیف	لیتولوژی	وسعت (مترمربع)	درصد نسبت به کل حوضه	وسعت لغزش رخ داده (مترمربع)	LNRNFA	وزن
۱	کلاس ۵	۱۰۷۲۸۵۶/۱۷	۸/۶	.	.	.
۲	کلاس ۹	۵۸۱۴۲۵۸/۷۵	۴۶/۶	.	.	.
۳	کلاس ۴	۳۵۸۴۳۵۶/۶۷	۲۸/۷	۷۷۲۶۱/۳۱	۳/۶۷	۲
۴	کلاس ۷	۲۰۲۲۳۲۰/۴۶	۱۶/۲	۶۸۴۳/۵۵	۰/۳۳	.
ردیف	درصد شیب	وسعت (مترمربع)	درصد نسبت به کل حوضه	وسعت لغزش رخ داده (مترمربع)	LNRNFA	وزن
۱	۱	۱۱۵۵۶۲۹/۴۱	۹/۳	۶۷۰/۸۷	۰/۰۸	.
۲	کلاس ۲	۱۵۴۳۹۴۹/۳۳	۱۲/۵	.	.	.
۳	کلاس ۳	۲۶۵۶۲۹۶/۷۱	۲۱/۴	۳۰۱۸۶/۸۷	۳/۵۹	۲
۴	کلاس ۴	۲۹۳۰۷۲۴/۱۲	۲۳/۷	۳۶۷۶۶/۵۶	۴/۳۷	۲
۵	کلاس ۵	۱۷۲۸۳۰۴/۶۹	۱۴	۹۷۹۰/۵۷	۱/۱۶	۱
۶	کلاس ۶	۱۰۵۹۲۸۰/۲۱	۸/۶	۲۷۸۱/۸۶	۰/۳۳	.
۷	کلاس ۷	۸۷۶۲۹۰/۹۴	۷/۱	۳۹۰۸/۱۴	۰/۴۶	.
۸	کلاس ۸	۳۳۵۹۹۰/۲۶	۲/۷	.	.	.
۹	کلاس ۹	۶۷۰۳۶/۱۰	۰/۵	.	.	.
۱۰	کلاس ۱۰	۹۱۰۳/۴۹	۰/۰۷	.	.	.
ردیف	طبقات بارش	وسعت (مترمربع)	درصد نسبت به کل حوضه	وسعت لغزش رخ داده (مترمربع)	LNRNFA	وزن
۱	کلاس ۸	۱۲۴۲۰۱۶۵/۲۷	۱۰۰	۸۴۱۰۵	۱	۱
ردیف	فاصله از گسل	وسعت (مترمربع)	درصد نسبت به کل حوضه	وسعت لغزش رخ داده (مترمربع)	LNRNFA	وزن
۱	کلاس ۱	۸۸۹۰۶۵۹/۶۷	۷۱/۶	.	.	.
۲	کلاس ۸	۳۵۲۹۹۲۰/۴۵	۲۸/۴	۸۴۱۰۵	۲	۲

نرجس قهرمانی و همکاران

جدول ۹. کلاس‌بندی و وزن‌دهی پارامتر جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده و درصد هر کلاس در حوضه

ردیف	جهت شیب	وسعت (مترمربع)	درصد نسبت به کل حوضه	وسعت لغزش رخ داده (مترمربع)	LNRF	وزن
۱	کلاس ۱	۹۱۲۹۵/۷۷	۰/۷	.	.	.
۲	کلاس ۳	۱۲۷۰۱۵۹/۴۷	۱۰/۱	.	.	.
۳	کلاس ۴	۴۲۳۰۸۷۹/۱۶	۳۳/۵	۱۱۴۳/۸۱	۰/۰۷	.
۴	کلاس ۷	۴۶۴۶۳۴۹/۸۴	۳۶/۸	۳۸۹۵۷/۹۶	۲/۳۲	۲
۵	کلاس ۹	۲۳۷۹۸۷۸/۰۳	۱۸/۹	۴۴۰۰۳/۱۰	۲/۶۲	۲
ردیف	کاربری اراضی	وسعت (مترمربع)	درصد نسبت به کل حوضه	وسعت لغزش رخ داده (مترمربع)	LNRF	وزن
۱	کلاس ۱	۴۴۷۶۵۴/۱۷	۳/۶	.	.	.
۲	کلاس ۲	۱۷۴۱۳۱/۹۲	۱/۴	.	.	.
۳	کلاس ۳	۱۹۰۰۳/۷۹	۰/۱	.	.	.
۴	کلاس ۶	۱۱۸۵۲۲۰۹/۵۹	۹۴/۹	۸۴۱۰۵	۴	۲
ردیف	تاثیر آبراهه	وسعت (مترمربع)	درصد نسبت به کل حوضه	وسعت لغزش رخ داده (مترمربع)	LNRF	وزن
۱	کلاس ۱	۱۲۲۷۹۸۴۶/۶۲	۹۸/۹	۸۱۸۱۷/۹۰	۴/۸۶	۲
۲	کلاس ۲	۸۱۸۲۸/۸۶	۰/۷	.	.	.
۳	کلاس ۳	۲۵۱۷۶/۲۳	۰/۲	.	.	.
۴	کلاس ۶	۲۴۰۸۶/۸۹	۰/۲	.	.	.
۵	کلاس ۷	۱۰۰۴۲/۳۶	۰/۰۸	۲۲۸۶/۹۶	۰/۱۴	.
ردیف	فاصله از جاده	وسعت (مترمربع)	درصد نسبت به کل حوضه	وسعت لغزش رخ داده (مترمربع)	LNRF	وزن
۱	کلاس ۱	۱۲۳۸۶۷۶۴/۰۶	۹۹/۷	۸۴۱۰۵	۴	۲
۲	کلاس ۲	۱۷۹۰۶/۷۲	۰/۱	.	.	.
۳	کلاس ۳	۱۳۳۹۷/۴۸	۰/۱	.	.	.
۴	کلاس ۶	۳۹۵۸/۰۴	۰/۰۳	.	.	.

جدول ۱۰. جدول نهایی پهنه‌بندی حوضه به روش LNRF

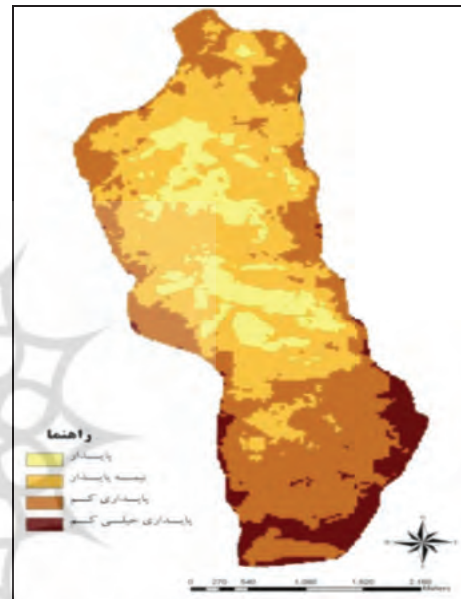
پایداری محدوده‌ها	LNRF	
	مساحت واحد در حوضه	درصد
پایدار	۱۵۰۳۷۹۸	۱۲/۲
نیمه پایدار	۵۱۸۹۷۴۸	۴۲/۲
پایداری کم	۴۶۱۰۴۴۵	۳۷/۴
پایداری خیلی کم	۱۰۰۷۴۷۱	۸/۲
جمع کل	۱۲۳۱۱۴۶۲	۱۰۰

نتایج حاصل از روش LNRF گویای این امر است که مهم‌ترین عامل مؤثر در پهنه‌بندی، شیب است، که در وزن‌دهی عوامل مؤثر نیز بیشترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. در نمونه‌برداری‌هایی که از محدوده‌های مختلف حوضه صورت گرفت، شکل کلی حوضه قاشقکی بوده است به طوری که در مرکز و

با توجه به جدول نهایی که با اعمال ضریب وزنی به‌دست آمده، مناطقی با خطر وقوع متوسط و نیمه پایدار، دارای پوشش ۴۲/۲ درصد و مناطق دارای خطر وقوع زیاد و ناپایدار دارای پوشش ۴۵/۶ درصد در حوضه الگودره هستند. این مدل با توجه به پارامترهای حوضه، پهنه‌بندی مناسب‌تری را ارائه می‌کند.

دارای بیشترین درصد (۶۹/۱۸ درصد) و مناطق دارای خطر وقوع زیادی و ناپایدار ۱۳/۰۲ درصد و مناطق نیمه‌پایدار نیز ۱۷/۸۰ درصد را در حوضه النگ‌دره به خود اختصاص داده‌اند. همان‌طور که در نقشه نهایی به‌دست‌آمده از این روش مشاهده می‌شود، به دلیل کاهش پارامترهای مؤثر در پهنه‌بندی و اعمال پارامترهای کمی در فرایند پهنه‌بندی، هم‌خوانی مناسبی با واقعیت موجود در حوضه وجود ندارد. در روش FAHP تعیین پارامترها و وزن‌دهی آنها به صورت طیف فازی صورت می‌گیرد، که به واقعیت نزدیک‌تر است اما به دلیل اینکه در تعیین محدوده مورد نیاز برای وزن‌دهی پارامترها وابستگی شدیدی به نظر کارشناسی دارد و با کوچک‌ترین اشتباه مدل نهایی دچار اشکال می‌شود، در نتیجه به هیچ‌وجه قابل استناد به نظر نمی‌رسد.

قسمت‌های شمالی آن شیب کمتر می‌شود. این مدل با واقعیت و شکل مورفولوژیکی حوضه - که رابطه مستقیم با شیب توپوگرافی دارد - هم‌خوانی بسیار زیادی را نشان می‌دهد؛ بدین ترتیب که قسمت‌های پایین‌دست حوضه به علت بالا بودن شیب در آنها و همچنین یکسان بودن شرایط لیتولوژی و رطوبت در منطقه، دارای پتانسیل بالایی برای وقوع لغزش هستند.



شکل ۸. نقشه نهایی پهنه‌بندی به روش LNRF

جدول ۱۱. مقایسه دوبره‌دوی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

	شیب	گسل	باران	فاصله از آبراهه	فاصله از جاده
شیب	۱	۱	۱/۸۸	۲/۱۳	۲/۸۸
گسل	۰/۵۲	۱	۱/۲۰	۱/۷۲	۲/۲۰
باران	۰/۵۲	۰/۸۲	۱	۱/۲۰	۱/۴۱
رودخانه	۰/۴۶	۰/۵۸	۰/۸۲	۱	۰/۸۱
جاده	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۷۰	۱/۲۲	۱

جدول ۱۲. وزن عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

	شیب	گسل	باران	فاصله از آبراهه	فاصله از جاده
شیب	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۳۴
گسل	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۶
باران	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۷
رودخانه	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۹
جاده	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۲

۳-۳- محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش FAHP

برای این منظور، مشابه روش تحلیل سلسله‌مراتبی پارامترها وزن‌دهی می‌شوند و به‌وسیله ماتریس مقایسه، دو به دو با هم سنجیده می‌شوند. و وزن‌دهی آن انجام می‌گیرد. در این روش تنها می‌توان پارامترهای کمی و عددی را مورد بررسی قرار داد و در نتیجه پارامترهای کیفی مهمی همچون لیتولوژی در این روش حذف می‌شوند. ماتریس مقایسه و وزن‌های نهایی پارامترها در جدول‌های ۱۱ تا ۱۳ و شکل ۹ نشان داده شده است.

با توجه به جدول نهایی - که با اعمال ضریب وزنی به‌دست آمده است - مناطقی با خطر وقوع کم و پایدار،

جدول ۱۳. جدول نهایی پهنه‌بندی حوضه به روش FAHP

درصد	مساحت واحد در حوضه	پایداری محدوده‌ها	درصد	مساحت واحد در حوضه	پایداری محدوده‌ها
۹/۲۱	۱۱۰۰۴۷۵	پایداری کم	۶۹/۱۸	۸۲۶۴۳۸۲	پایدار
۳/۸۱	۴۵۵۶۶۸	پایداری خیلی کم	۱۷/۸۰	۲۱۲۶۴۶۴	نیمه پایدار
	۱۱۹۴۶۹۸۹				جمع کل

از طرفی یکی از مهم‌ترین دلایل ضعف این روش، کم شدن تعداد پارامترهای مؤثر به دلیل حذف عوامل کیفی از لیست پارامترهای مؤثر در لغزش است. نقشه نهایی پهنه‌بندی با این روش، مناطق زیادی از حوضه را پایدار برمی‌شمارد که به هیچ‌وجه با واقعیت منطقه هم‌خوانی ندارد.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه روش LNRF کاملاً مستقل از نظر کارشناسی عمل می‌کند، به واقعیت نزدیک‌تر است، امکان بروز خطا در آن به حداقل رسیده و از روش‌های دیگر نیز مطمئن‌تر است. به عنوان مثال سرور و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از روش LNRF حوزه سد کلان در ملایر را از نظر حرکات توده‌ای پهنه‌بندی کردند و به این نتیجه دست یافتند که این روش نتایج مناسبی را نشان می‌دهد و هم‌خوانی زیادی با حوزه مورد مطالعه دارد. همچنین شادفر و یمانی (۱۳۸۶) اقدام به پهنه‌بندی حوزه جلیسیان کردند و به این نتیجه دست یافتند که مدل LNRF کارایی بسیار خوبی برای بررسی و پهنه‌بندی نواحی مرطوب تا نیمه‌مرطوب دارد. مدل به کار گرفته شده در پژوهش حاضر نیز همین نتیجه را به دست داد. در مورد پهنه‌بندی خطر لغزش در حوضه النگ‌دره به‌وسیله روش LNRF، بررسی‌های انجام‌شده در محدوده لغزش و همچنین نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی منطقه با هر سه روش، نشان می‌دهند که در بخش‌های جنوبی حوضه احتمال وقوع لغزش بالاتر است. با توجه به شیب بیشتر در این ناحیه، نتیجه به‌دست‌آمده تطابق مناسبی با شرایط منطقه دارد و در بخش‌های شمالی حوضه که دارای شیب کمتری

هستند احتمال وقوع هم کاهش یافته است. از طرف دیگر روش AHP نیز تا حدودی با لغزش الگو در منطقه هم‌خوانی داشته و با تأثیر میانگین حسابی و ضرب آن در وزن پارامترها، پهنه‌های نیمه‌پایدار را پراهمیت نشان داده و آنها را در بخش وسیعی از حوضه گسترده است. روش FAHP به علت کاهش فاکتورهای کیفی از لیست پارامترهای مؤثر در لغزش و اعمال بیشتر نظر کارشناس در آن، با واقعیت موجود در منطقه هم‌خوانی مناسبی ندارد، ضمن اینکه در این روش پارامتر فاصله از گسل بیشترین تأثیر را نشان می‌دهد و مناطق نیمه‌پایدار و ناپایدار مربوط به محدوده تأثیر گسل هستند. براساس روش AHP، FAHP و LNRF، به ترتیب ۷/۴۴، ۱۳/۰۲ و ۴۵/۶ درصد از حوضه خطر بالای لغزش دارند که به عنوان نقاط بحرانی نیاز به ایجاد تمهیدات حفاظتی در آنها ضروری به نظر می‌رسد.

۵- منابع

- Ahmadi, H., Mohamadkhan, Sh., 2001, **Investigation of Some Mass Movements in Taleghan Basin**, Natural Resources of Iran, 4: 455-464. (In Persian).
- Bertolini M., Braglia M., 2006, **Application of the AHP Methodology in Making a Proposal for a Public Work Contract**, International Journal of Project Management, 24(5): 422-430.
- Chor, lee, hee, Richard, et al., 2000, **Geomorphology**, Translate by Motamed, A., SAMT publisher, P. 455, Tehran.

- Cupta R.P. and Joshi B.C., 1990, **Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach A – Case Study From the Ramanga Catchment Himalayas**, Engineering Geology, 28, 119-131.
- Esmaili A., Ahmadi M., 2003, **Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation, A Case Study in Germichay Watershed**, Ardebil, Iran, Map Asia Conference.
- Fatemi Aghda M., Ghayomian J., Teshne lab M., Ashgholi-e-farahani E., 2005, **Landslide Risk Assessment Using Fuzzy Logic, Case Study Area (Rudbar)**, Olom magazine of Tehran university, No. 1: 43-64.
- Ghodsipoor H., 2006, **AHP Process**, Fifth Printing, Amirkabir University.
- Kore Pazan-e-Dezfoli A., 2006, **Fuzzy Set Theory Principles and Its Application in Water Engineering Modeling Issues**, Amirkabir University.
- Moghimi A., Jafari T., Alavipanah K., 2008, **Evaluation and Zonation of Effective Factors on Landslide Occurrence of Aladagh Northern Slopes (Case Study: Drainage Basin Chenaran in North Khorasan province)**, Journal of Geography, No. 64.
- National geology organization, The geological map of Gorgan with Scale 1/100000.
- Nasiri, Sh., 2004, **Zonation of Landslides Because of Earthquake in North of Tehran**, M.Sc. Thesis, faculty of science, Tarbiatmoudares University of Tehran.
- Parhizgar, A., 2006, **The GIS (Geographic Information System) and Analytical Regression**, SAMT publisher, Tehran, PP. 204-207.
- Saaty T.L., 1997, **The Analytic Hierarchy Process**, Mcgraw _ Hill , Inc, 1980, Reprinted By Rws Publications, Pittsburgh.
- Salehipour, A., 2001, **Investigation on Effective Hydromorphic Parameters With GIS in Ghorchay Watershed**, M.Sc. Thesis, geographic faculty, Tehran.
- Sarolee, K.M., 2001, **Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Youngling**, Korea, Environmental Geology, 40: 1095-1113.
- Shadfar, S., Yamani, M., 2007, **Landslide Hazard Assessment in Jelsiyan Catchment Using LNR Modeling**, Geographic Researching Journal, Tehran, No. 6, PP. 11-23.
- Soror J., Eilderami E., Rouzbahani H., 2009, **Mass Movements Zoning with LNR Model Case Study Kalan Dam in Malayer**.