

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، مطالعه موردی: حوضه هومیان سیمره

ظاهر فرهادی نژاد^۱، امین گراوند^۲

۱- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران (farhadinejad@gmail.com)

۲- فاغ التحصیل گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد

چکیده

در تحقیق جاری کارکرد شیوه تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) در پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش و حرکات توده‌ای در حوضه آبخیز سیمره هومیان، در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و به کمک تکنیک‌های سنجش از دوری مطالعه شده است، به این منظور داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در قالب لایه‌های اطلاعاتی (ارتفاع)، (شیب)، (جهت شیب)، (انحنای دامنه)، (پوشش گیاهی)، (فاصله از گسل‌ها)، (فاصله از جاده)، (فاصله از رودخانه‌ها)، (عمق گسیختگی خاک) و (رده مقاومتی زمین) از منابع داده‌ای متفاوت جمع‌آوری و برای تحلیل‌های بعدی مورد آماده‌سازی و پردازش قرار گرفتند. در گام بعدی لایه‌های اطلاعاتی مورد استانداردسازی قرار گرفتند. شیوه FAHP با تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی برای معیارها و زیر معیارها یا لایه‌ها اجرا شد، در حالی که قضاوت‌های زوجی به وسیله کارشناسان صورت پذیرفت و خروجی آن شامل اهمیت‌های نسبی لایه‌های اطلاعاتی برای تلفیق نهایی بود؛ در پایان نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه با استفاده از همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی و ارجحیت‌های حاصل شد. برآورد دقت شیوه به کار رفته با استفاده از زمین‌لغزشهای رخ داده میسر شد. و پارامترهای دقت کلی ضریب کاپا به ترتیب مقادیر ۰/۶۱ و ۰/۳۴ را نشان دادند. معمولاً FAHP متکی بر قضاوت‌های زوجی می‌باشد که نقش عامل انسانی در آن بارز است. به‌طور کلی نتایج حاصل نواحی غربی و شمالی محدوده مورد مطالعه را به عنوان مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزه شناسایی کردند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش، تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS).

مقدمه

زمین لغزش‌ها و حرکات توده‌ای خاک و مواد سنگی، اشکالی از فرایندهای دامنه‌ای و نوع خاصی از بلایای طبیعی هستند که هر ساله در برخی از نقاط جهان و ایران رخ داده و خسارات جانی، مالی و زیست محیطی سنگینی به بار می‌آورند. شناخت نواحی مستعد وقوع حرکت‌های توده‌ای و زمین لغزش‌ها یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای و عمرانی است. حرکت‌های توده‌ای و زمین لغزش‌ها تحت‌تاثیر عوامل طبیعی و انسانی متعددی رخ می‌دهند که ارزیابی تاثیر هریک از این عوامل، نقش بسزایی در پیش‌بینی، احتمال وقوع حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی خطر آن‌ها دارد (محمودی و کرم، ۱۳۸۱).

زمین لغزه در ایران به عنوان یک بلای طبیعی، سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد؛ براساس یک برآورد اولیه، سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت‌های مالی از طریق زمین لغزش بر کشور تحمیل می‌شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیر قابل برگشت به حساب آورده نشوند (کمک‌پناه، ۱۳۷۰). یکی از عرصه‌های قابل اعتنا و مورد توجه در مطالعات و پژوهش‌های مربوط به زمین‌لغزش‌ها و حرکات دامنه‌ای، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع آن در محدوده‌های محلی تا جهانی است. واژه‌ی پهنه‌بندی در معنای لغوی خویش به مفهوم تقسیم‌بندی زمین به واحدهای همگن است. در بحث زمین‌لغزش هدف از تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آوردن الگویی مناسب برای برنامه‌ریزی بهینه برای استفاده‌ی مناسب از زمین می‌باشد. قطعاً تعیین کاربری مناسب اراضی، ارتباط تنگاتنگی با تعیین نقاط حادثه‌خیز طبیعی، به ویژه دامنه‌های ناپایدار خواهد داشت (جلال، ۱۳۷۶).

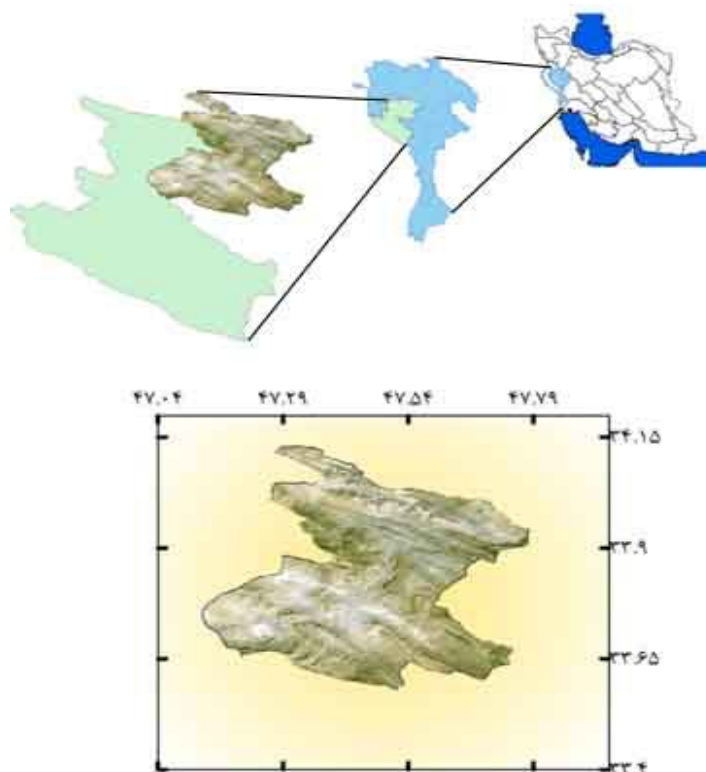
در تحقیق پیش رو سعی شده است از منظر تخمین استعداد اراضی برای وقوع زمین لغزه بحث شود، لذا کارکرد شیوه تحلیل سلسله مراتبی فازی در حوضه آبریز سیمره هومیان، مطالعه شده است. برتری عمده این شیوه نسبت به دیگر روش‌های مرسوم تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی، استفاده از مجموعه‌های فازی است که باعث دخیل نمودن قدرت تعقل و قضاوت انسانی در مقایسات زوجی می‌گردد، نوآوری دیگری که روش این تحقیق را از مطالعات مشابه متمایز می‌نماید، بهره بردن از اعداد دوزنقه‌ای فازی است، در حالی که معمولاً در مطالعات دیگر از اعداد مثلثی استفاده می‌شود. همه‌ی این موارد باعث بالا رفتن دقت نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

برای مطالعه‌ی حاضر حوزه‌ی آبخیز سیمره هومیان که از زیر حوزه‌های سیمره و کرخه است، انتخاب شده است. مهم‌ترین دلیل این انتخاب وقوع حرکات توده‌ای و دامنه‌ی در این منطقه بوده است. به طور کلی محدوده انتخاب شده طول جغرافیایی $47^{\circ} 26' 47''$ تا $47^{\circ} 46' 55''$ شرقی و عرض جغرافیایی $33^{\circ} 35' 13''$ تا $34^{\circ} 37' 33''$ شمالی را دربر می‌گیرد (شکل ۱) و بخش‌های غربی استان لرستان (واقع در شهرستان‌های کوهدشت، دلفان و خرم‌آباد)، و شرقی استان‌های کرمانشاه (شهرستان کرمانشاه) و ایلام (شهرستان شیروان چرداول) دربر می‌گیرد. دارای وسعت حدود ۱۹۷۷۶۷ هکتار و ارتفاع متوسط ۱۵۰۹ متر از سطح دریاست در حالی که از لحاظ توپوگرافی به سان بسیاری از دامنه‌های زاگرس کوهستانی محسوب می‌شود و از این روست که شیب متوسط این حوزه ۱۳ درجه برآورد شده است. رطوبت نسبی متوسط سالانه این حوزه که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی حاصل شده است ۴۵ درصد را نشان می‌دهد. رودخانه‌هایی مهمی که در این حوزه جاری هستند عمده‌تاً شامل سیمره در غرب، کشکان در شرق و بخشی از گاماسب در شمال هستند.

به لحاظ زمین شناختی نیز مهمترین ساختارهای منطقه عبارتند از: ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید و قدیمی کم ارتفاع. مهمترین سازندهای این حوزه را نیز سازندهای امیران (متشکل از سیلتستون‌های هوازده و ماسه سنگ حاصل از کنگلومرای چرتی و آهک صدفی)، سازند آهک آرژلیکی، سازند آسماری-شهبازان، سازند تله زنگ و ... تشکیل می‌دهند (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۹).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوزه هومیان

ب) روش پژوهش

در روش FAHP پس از تهیه نمودار سلسله مراتبی از صاحب نظران و تصمیم گیرندگان خواسته می شود تا عناصر هم سطح را نسبت به هم مقایسه کنند؛ و اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند. در واقع در این روش با استفاده از عبارات فازی، مفهوم فازی بودن در تعیین ماتریس های مقایسه زوجی دخالت داده می شود. در میان روش های پیشنهادی به وسیله محققین می توان به روش های ارائه شده به وسیله Laarhoven و Pedrych و Buckley اشاره کرد. روش Laarhoven و Pedrych دارای یک سری نقاط ضعف است که این نقاط ضعف در روش Buckley مرتفع شده است (کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۴). در ادامه روش باکلی به تفصیل آمده است.

روش باکلی: روش AHP فازی ارائه شده به وسیله باکلی، تعمیم یافته AHP کلاسیک است. در این شیوه برای مقایسه زوجی گزینه ها از اعداد فازی و برای تعیین وزن ها و اهمیت ها از میانگین هندسی استفاده می شود. چرا که این روش به سادگی به حالت فازی قابل تعمیم است و نیز جواب یگانه ای برای ماتریس مقایسات زوجی مشخص می کند. در این روش تصمیم گیرنده می تواند مقایسات زوجی المان های هر سطح را در قالب اعداد فازی دوزنقه ای بیان نماید. در جدول ۱ اعداد فازی دوزنقه ای و متغیرهای فازی متناظر آورده شده، البته علاوه بر حالات پنج گانه جدول عبارت هایی که گویای اهمیت های بینابینی هستند را نیز در صورت نیاز باید متصور شد. با در نظر گرفتن مطالب بالا روش باکلی در سه مرحله قابل بیان است.

گام اول - ماتریس های مقایسات زوجی به وسیله شخص تصمیم گیرنده تعیین می شود. به طور کلی ارجحیت المان $\tilde{a}_{ij}$ بر المان $\tilde{a}_{ji}$ را با $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ نشان می دهند. همچنین ارجحیت المان $\tilde{a}_{ij}$ بر المان $\tilde{a}_{ji}$ به صورت $\tilde{a}_{ji} = (\frac{1}{d_{ij}}, \frac{1}{c_{ij}}, \frac{1}{b_{ij}}, \frac{1}{a_{ij}})$ بیان می گردد. در صورتی که $i = j$ باشد، آنگاه $\tilde{a}_{ij} = \tilde{a}_{ji} = (1, 1, 1, 1)$ خواهد بود (کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۴).

جدول ۱- اعداد فازی دوزنقه‌ای مربوط به عبارتهای زبانی بیان کننده‌ی ارجحیت

اعداد فازی دوزنقه‌ای	متغیرهای زبانی ارجحیت
(۰,۱,۲,۳)	خیلی ضعیف
(۱,۲,۳,۴)	ضعیف
(۴,۵,۶,۷)	متوسط
(۵,۶,۷,۸)	خوب
(۷,۸,۹,۱۰)	خیلی خوب

گام دوم- در این مرحله اوزان فازی ($\tilde{W}_i$) محاسبه می‌شود. ابتدا میانگین هندسی هر سطر از ماتریس‌های مقایسه زوجی با کمک رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$z_i = (\tilde{a}_{i1} \cdot \tilde{a}_{i2} \cdot \dots \cdot \tilde{a}_{in})^{1/n} \quad \text{رابطه ۱}$$

سپس وزن فازی از رابطه ۲-۳۳ حاصل می‌شود.

$$\tilde{W}_i = \tilde{z}_i \cdot (\tilde{z}_1 \oplus \tilde{z}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{z}_n)^{-1} \quad \text{رابطه ۲}$$

عملگرهای ضرب و جمع فوق، عملگرهای فازی می‌باشند. فرض می‌شود کران چپ و راست مجموعه فازی $\tilde{a}_{ij}$ به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$f_i(a) = \left[\prod_{j=1}^n ((b_{ij} - a_{ij})a + a_{ij}) \right]^{1/n}, \quad a \in [0,1] \quad \text{رابطه ۳}$$

$$g_i(a) = \left[\prod_{j=1}^n ((c_{ij} - d_{ij})a + b_{ij}) \right]^{1/n}, \quad a \in [0,1] \quad \text{رابطه ۴}$$

$$a_{ij} = \left[\prod_{j=1}^n a_{ij} \right]^{1/n} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$a_{ij} = \sum_{i=1}^m a_i$$

به صورت مشابه b_i و b ، c و c_i ، d و d_i را نیز می‌توان تعریف کرد؛ لذا وزن فازی $\tilde{W}_i$ از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$\tilde{W}_i = \left(\frac{a_i}{d}, \frac{b_j}{c}, \frac{c_i}{b}, \frac{d_i}{a} \right) \quad \text{رابطه ۶}$$

تابع عضویت $\mu_{\tilde{W}_i}(x)$ به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$\mu_{\tilde{Q}'}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \leq (a_i/d) \text{ or } x \geq (d_i/a) \\ 1 & \text{if } (b_i/c) \leq x \leq (c_i/b) \\ a \in [0,1] & \text{if } (a_i/d) \leq x \leq (b_i/c) \\ a \in [0,1] & \text{if } (c_i/b) \leq x \leq (d_i/a) \end{cases} \quad \text{رابطه ۷}$$

زمانی که $(a_i/d) \leq x \leq (b_i/c)$ باشد، x از رابطه ۳-۴۰ حساب می‌شود.

$$x = f_i(a)/g(a) \quad \text{رابطه ۸}$$

اگر $(c_i/b) \leq x \leq (d_i/a)$ باشد، x از رابطه ۳-۴۱ حساب می‌شود.

$$x = g_i(a)/f(a) \quad \text{رابطه ۹}$$

به طوری که

$$f(a) = \sum_{i=1}^m f_i(a) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$g(a) = \sum_{i=1}^m g_i(a) \quad \text{رابطه ۱۱}$$

به شیوه مشابه گام دوم برای تمام مقادیر $\tilde{r}_i$ و $\tilde{z}_j$ تکرار و تمام ارجحیت‌های فازی‌ها $\tilde{r}_{ij}$ محاسبه می‌شود. گام سوم- در این مرحله با ترکیب ارجحیت‌ها و اوزان حاصل از گام قبل، مقادیر مطلوبیت فازی، $\tilde{U}_i$ با استفاده از رابطه ۳-۴ محاسبه می‌شود.

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^m \tilde{w}_j \tilde{r}_{ij} \quad \text{رابطه ۱۲}$$

غیرفازی‌سازی (Defuzzification): به‌طور کلی برای این که اعداد فازی دوزنقه‌ای به مقادیر قابل استفاده در کاربردهای گوناگون تبدیل شوند، باید از مقادیر خروجی از حالت فازی خارج شوند. فرایند تبدیل اعداد فازی به اعداد حقیقی قطعی، غیر فازی‌سازی نامیده می‌شود. برای غیرفازی کردن روش‌های مختلفی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: روش میانگین وزنی، روش گرانیگاه (Center of Area)، روش نصف‌کننده سطح (Bisector)، روش میانگین بیشینه‌ها (Mean of maximum)، روش کوچک‌ترین بیشینه‌ها (Smallest of Maximum) و روش بزرگ‌ترین بیشینه‌ها (Largest of Maximum) (عطایی، ۱۳۸۹). در این مطالعه غیرفازی‌سازی با روش میانگین وزنی صورت گرفته. اگر (a, b, c, d) یک عدد فازی دوزنقه‌ای باشد آنگاه N عدد قطعی حاصل از غیرفازی‌سازی آن است (رابطه ۱۳).

$$N = \frac{a + 2b + 2c + d}{6} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

برآورد دقت

➤ دقت کلی: عبارت است از نسبت مجموع تعداد نمونه‌های روی قطر اصلی به تعداد کل نمونه‌های ارزیابی شده. در رابطه ۱۴، Ac دقت کلی است، x_{ii} طبقه واقع در قطر اصلی ماتریس و N مجموع تعداد نمونه‌هاست.

$$Ac = \frac{\sum_{i=1}^N x_{ii}}{N} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

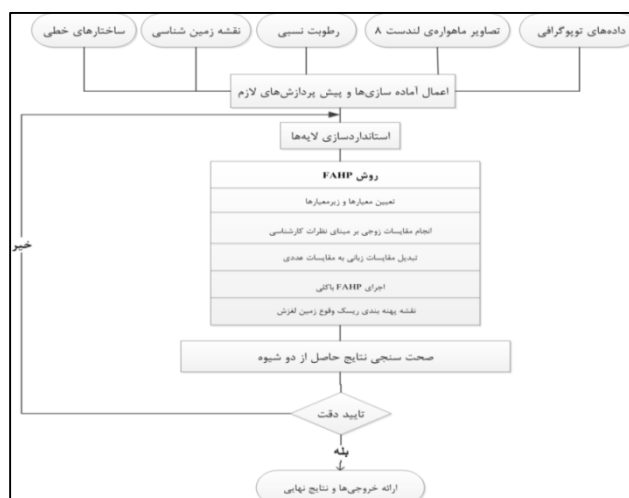
➤ دقت کاربر: برابر است با نسبت عناصر درست طبقه‌بندی شده برای هر طبقه به مجموع تعداد عناصر روی سطر نشان‌دهنده آن طبقه. اگر این دقت از یک کم شود خطای اضافه (Commission error) حاصل می‌شود.

➤ دقت تولید کننده (accuracy s'Producer): برابر است با نسبت عناصر درست طبقه‌بندی شده برای هر طبقه به مجموع تعداد عناصر روی ستون نشان‌دهنده آن طبقه و اگر دقت تولیدکننده از یک تفریق شود، خطای حذف (Omission error) به دست خواهد آمد.

➤ آماره‌ی کاپا: تفاوت بین توافق مشاهده شده میان دو نقشه، مانند آنچه در اعداد قطری در ماتریس خطا گزارش شده و توافقی که ممکن است تنها به طور شانسی در دو نقشه به دست آید را اندازه می‌گیرد (Jensen, ۲۰۰۴).

$$k = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N x_{ii} - \sum_{i=1}^N (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^N (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

در رابطه ۱۵، k آماره یا ضریب کاپاست و x_{i+} مجموع عناصر روی سطر i ام در حالی که x_{+i} مجموع عناصر روی ستون i ام است. مقدار ضریب کاپا از ۱- تا ۱ است و هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد بیانگر صحت بالاتر طبقه‌بندی است. نمودار جریانی روند پیاده سازی تحقیق به صورت شماتیک در شکل ۲ نمایش داده شده است.

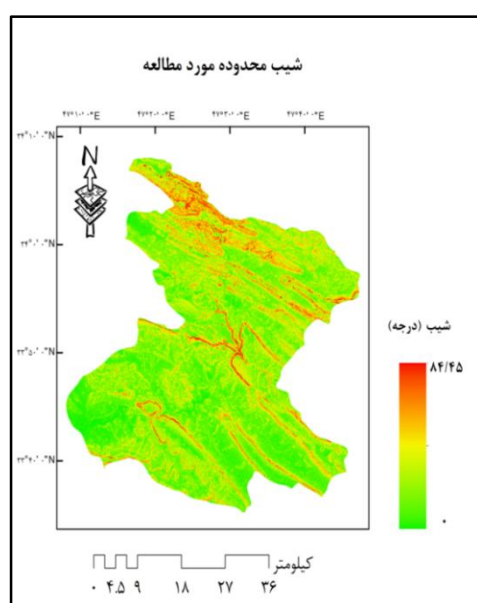


شکل ۲- نمودار جریان‌ی روند اجرای مراحل پژوهش

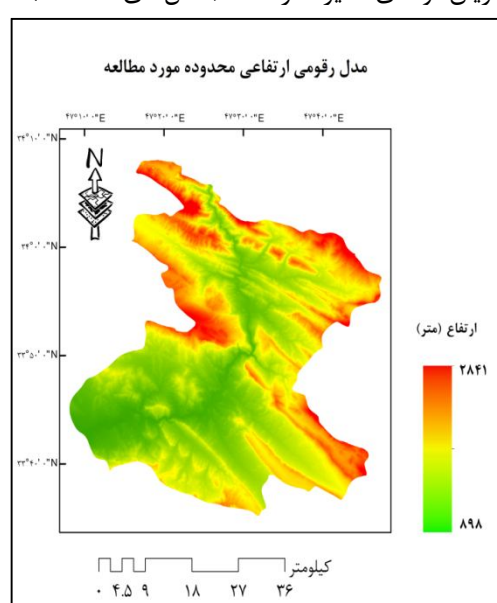
نتایج و بحث

لایه‌های اطلاعاتی

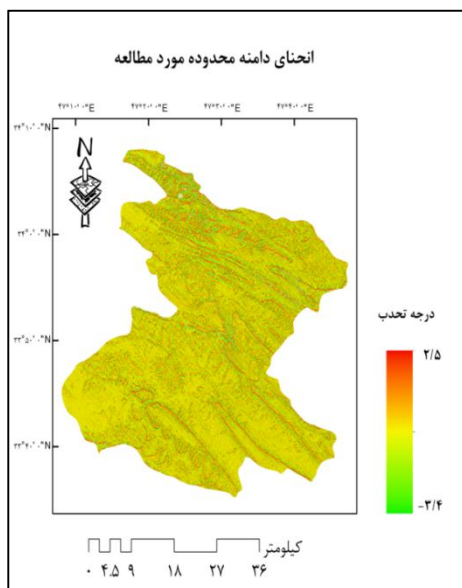
لایه‌های اطلاعاتی مدل رقومی ارتفاع، شیب، جهت شیب و انحنا یا تحدب دامنه، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی، عمق گسیختگی خاک، فاصله از جاده و رودخانه‌ها و رده مقاومتی زمین در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. لایه‌های شیب، جهت شیب و انحنا نیز با استفاده از ArcGis و توابع مربوطه تهیه شدند. و خروجی‌های حاصل برای شیب به صورت درجه است، در لایه‌ی جهت شیب نیز جهت‌های هشت گانه به علاوه حالتی برای اراضی صاف در نظر گرفته شده است. لایه‌ی انحنای دامنه یا همان محدب و مقعر بودن دامنه نیز بر اساس تابعی که مشتق دوم سطح ارتفاعی را حساب می‌کند، حاصل می‌شود. به‌طور کلی از دید کاربردی نتایج تابع انحنا می‌تواند خصوصیات فیزیکی یک حوضه زهکشی را به منظور درک فرایندهای رواناب و فرسایش توصیف نماید. شیب اراضی آهنگ حرکت جریان به پایین دامنه را مشخص می‌کند، جهت شیب جهت جریان را تعیین می‌کند در حالی که انحنای نیمرخ بر افزایش یا کاهش سرعت جریان و بنابراین بر فرسایش و رسوب گذاری اثرگذار خواهد بود. ضمن این‌که انحنای صفحه بر واگرا بودن یا همگرا بودن جریان توده‌ای تأثیرگذار است (شکل‌های ۴، ۵، ۶).



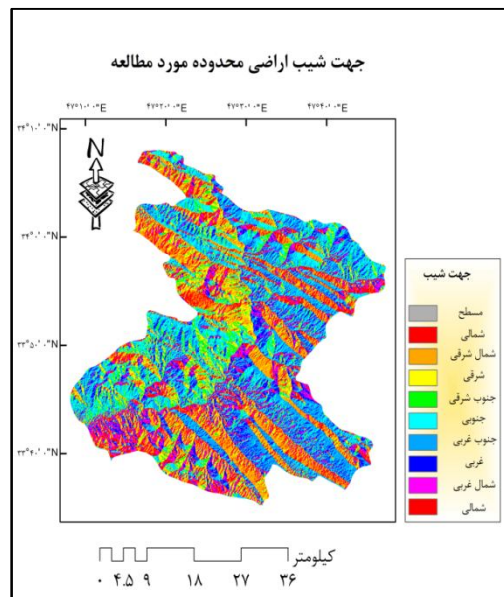
شکل ۴- نقشه شیب محدوده مورد مطالعه



شکل ۳- نقشه ارتفاعی محدوده مورد مطالعه



شکل ۶- تحذب دامنه محدوده مورد مطالعه



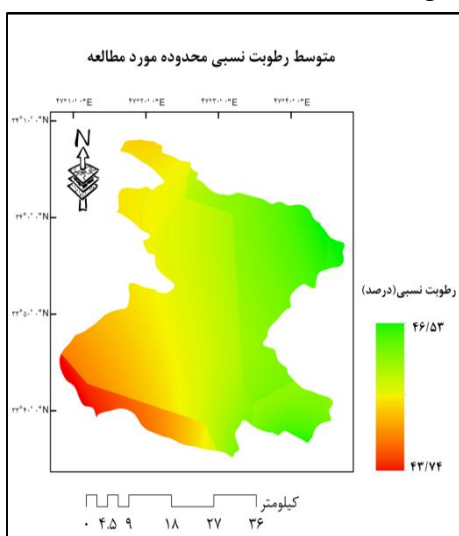
شکل ۵- نقشه جهت شیب محدوده مورد مطالعه

پوشش گیاهی

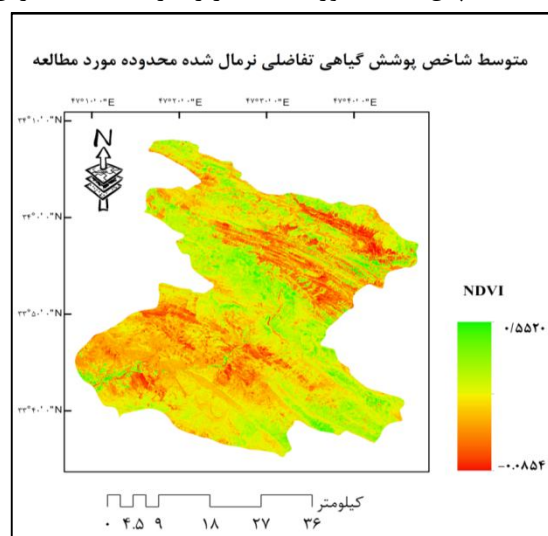
برای دخالت دادن پارامتر پوشش گیاهی از شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، NDVI، که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی تهیه می‌شود، استفاده شد. به منظور تولید رستر شاخص مذکور از شش فریم تصاویر ماهواره‌ای مربوط به ماهواره‌ی Landsat 8 در دو فصل بهار و کمینه پوشش گیاهی بهره گرفته شد. در نهایت پس از تولید لایه‌ی اطلاعاتی پوشش گیاهی برای دو تاریخ، میانگین رسترهای تهیه شده به عنوان لایه پوشش گیاهی برای محدوده‌ی مورد مطالعه در نظر گرفته شد (شکل ۷).

رطوبت نسبی

ایجاد لایه‌ی رطوبت نسبی بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در محدوده استان‌های لرستان، کرمانشاه و ایلام به صورت میانگین سالانه مقادیر رطوبت نسبی (بر حسب درصد) ایستگاه‌ها از سال تأسیس تاکنون لحاظ شد و به صورت داده‌های نقطه‌ای مختصات‌دار وارد سامانه اطلاعات جغرافیایی و از طریق تابع پرکاربرد درون یابی IDW به منظور تخمین و برآورد مقادیر نقاط مجهول استفاده شد. سپس منطقه مورد مطالعه از رستر ایجاد شده، برش داده شد (شکل ۸).



شکل ۸- نقشه رطوبت تهیه شده منطقه مورد نظر با داده‌های هواشناسی



شکل ۷- پوشش گیاهی برآورد شده منطقه مورد نظر با NDVI

عمق گسیختگی، خاک

برای تهیه این لایه‌ی اطلاعاتی با استفاده از رابطه‌ی نمایی که میان متغیرهای شیب و عمق گسیختگی خاک به‌وسیله Salciarini و همکاران (۲۰۰۶) ذکر شده است عمل شد (رابطه ۱۶).

$$d_{lh} = 14 \exp(-0.0693\alpha)$$

رابطه ۱۶

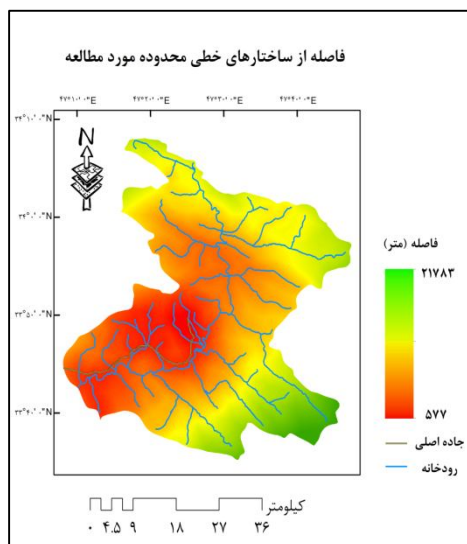
در رابطه ۱۶ d_{lb} ضخامت خاک (متر) و α شیب (درجه) را نشان می‌دهد. در نهایت لایه‌ی عمق خاک بر اساس رابطه فوق و با استفاده از لایه‌ی شیب که از قبل آماده شده بود، به دست آمد (شکل ۹).

فاصله از ساختارهای خطی

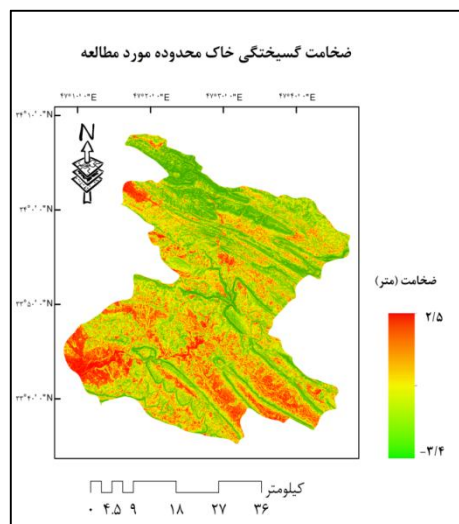
سه ساختار رستری که برای این مطالعه در نظر گرفته شدند عبارت بودند از: رودخانه‌ها، گسل‌ها و جاده‌ها که در محدوده مورد مطالعه گسل عمده‌ای وجود نداشت، لذا رستر فاصله از دو عارضه رودخانه‌ها و جاده‌ها لحاظ شد (شکل ۱۰).

رده مقاومتی زمین

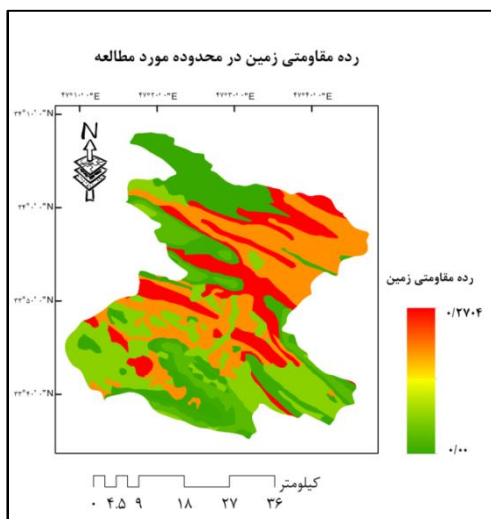
به‌منظور تهیه لایه‌ی مقاومتی زمین از لایه‌های واحدهای زمین‌شناسی (شکل ۱۰ و جدول ۲) و زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده مورد نظر استفاده شد. به این ترتیب که با استفاده از توابع GIS میزان تراکم زمین لغزش‌ها در واحدهای زمین‌شناختی محاسبه و به صورت یه لایه‌ی مجزا تهیه شد. به‌طور کلی این پارامتر از تقسیم سطح زمین لغزش‌های رخ داده شده به سطح واحدهای زمین‌شناختی پدید آمد و مقادیری کمتر از واحد را نشان می‌دهد (شکل ۱۱). به‌منظور تلفیق لایه‌های مذکور، در قالب اوزان حاصل از اجرای تحلیل سلسله مراتبی فازی، برای استانداردسازی لایه‌ها می‌توان از طرق مختلفی چون توابع عضویت فازی و یا دیگر نرمال‌سازی‌های معمول بهره برد.



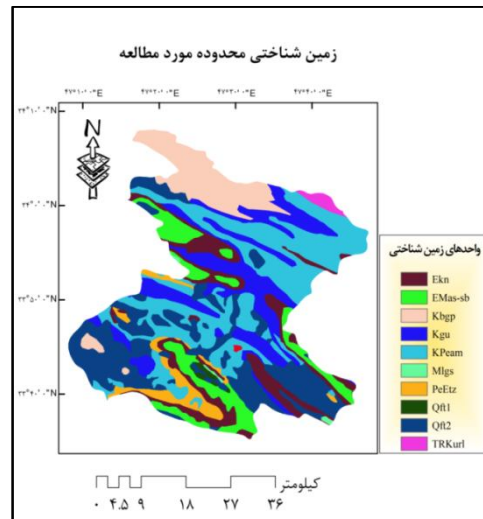
شکل ۱۰- نقشه فاصله از ساختارهای خطی



شکل ۹- نقشه عمق گسیختگی خاک



شکل ۱۲- نقش رده مقاومتی محدوده مورد مطالعه



شکل ۱۱- نقشه زمین شناسی واحدهای زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

استانداردسازی

برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آماده شده و به نوعی برای مقایسه پذیر نمودن آن‌ها باید نوعی عملیات بی واحد سازی را در دستور کار قرار داد. این مرحله با استفاده از توابع متنوعی می‌تواند صورت پذیرد و با توجه به نوع الگوریتم تلفیق سازی به کار رفته می‌تواند تفاوت‌هایی را نشان دهد. به‌طور کلی در این پژوهش برای لایه‌های پیوسته، لایه‌هایی که هر پیکسل ارزش منحصر به فردی را به خود اختصاص می‌دهد، از توابع عضویت فازی استفاده شد که با توجه به پارامترهای تعریف شده به پیکسل خروجی مقادیری بین صفر تا واحد اختصاص می‌دهند، برای استانداردسازی و نرمالسازی پیکسل‌های گسسته، پیکسل‌هایی که گروهی از پیکسل‌ها مقدار واحدی را به خود اختصاص داده‌اند و به عبارتی یک رستر طبقه بندی شده را ایجاد نموده‌اند، از طریق نرمالسازی معمولی صورت می‌پذیرد (رابطه ۱۷).

جدول ۲- توضیحات نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

واحد زمین شناسی	توصیف
Ekn	سازند کشکان، کنگلومرای قرمز، ماسه سنگ و سیلتستون
EMas-sb	سنگ‌های تفکیک نشده سازندهای آسماری و شهبازان
Kbgp	گروه بنگستان تفکیک نشده غالباً آهک و شیل مشتمل بر کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام
Kgu	سازند گورپی، مارن خاکستری مایل به آبی و شیل به صورت فرعی حاوی آهک آرزلی نازک لایه
Kpeam	سازند امیران، سیلتستون کمی هوازده زیتونی تیره ای تا قهوه‌ای و ماسه سنگ با توسعه‌ی محلی از کنگلومرای چرتی و آهک صدفی
Mlgs	سازند گچساران، شامل انیدریت، نمک، کارن‌های دگرسان شده خاکستری و قرمز با انیدریت، آهک‌های آرزلی و آهک
PeEtz	سازند تله زنگ، آهک فسیل دار توده‌ای متوسط لایه خاکستری و قهوه‌ای
Qft1	ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی کم ارتفاع
Qft2	ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع

$$X_{norm} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

رابطه ۱۷

در رابطه بالا X_{nom} مقدار نرمال شده لایه یا رستر ایجاد شده است در حالی که X_i ، X_{max} و X_{min} هم به ترتیب مقادیر اولیه، بیشینه و کمینه رستر را نشان می‌دهند. در جدول ۳ پارامترهای نرمالسازی لایه‌های پیوسته به کار رفته آورده شده است. استانداردسازی لایه‌های ارتفاع و جهت شیب با محاسبه میزان رخداد زمین لغزش‌ها در هر کدام از طبقات ارتفاعی و جهت شیب و با در نظر داشتن سطح هر کدام از طبقات و آنگاه استفاده از رابطه ۱۷، حاصل شد. باید توجه داشت که در سه لایه رده مقاومتی زمین، جهت شیب و ارتفاع به دلیل اعمال طبقه بندی و محاسبه تقاطع طبقات حاصل با موقعیت زمین لغزش‌های رخ داده که به صورت تصادفی ساده انتخاب شده بودند برخلاف لایه های اطلاعاتی دیگر، استانداردسازی حاصل لزوماً متناسب با تغییرات مقادیر لایه نیست، به عبارتی، رتبه بندی طبقات با توجه به زمین لغزش‌های رخ داده مد نظر قرار گرفته و لایه‌های استاندارد شده یکنوا نیستند.

جدول ۳- یارامترهای نرمالسازی فازی خطی لایه‌های ورودی

لايه‌ها	يكنوايي	Min.	Max.
عمق گسيختگي خاك	صعودي	۲	۱۲
ناهمواري (انحنای دامنه)	صعودي	-۲	۲
فاصله از ساختارهاي خطي	نزولي	۸۰۰	۳۵۰۰
شيب زمين	صعودي نزولي	۱	۳۵
شاخص پوشش گياهي	نزولي	۰/۴۵	۰/۱۵
رطوبت نسبي	غيريكنوا	۴۴	۴۵.۵
رده مقاومتی زمین	صعودي	۰	۰.۲۷۰۵
جهت شيب	غير يكنوا	شمالی	جنوبی
ارتفاع	غيريكنوا	كلاس ۵	كلاس ۶

تلفیق لایه های اطلاعاتی

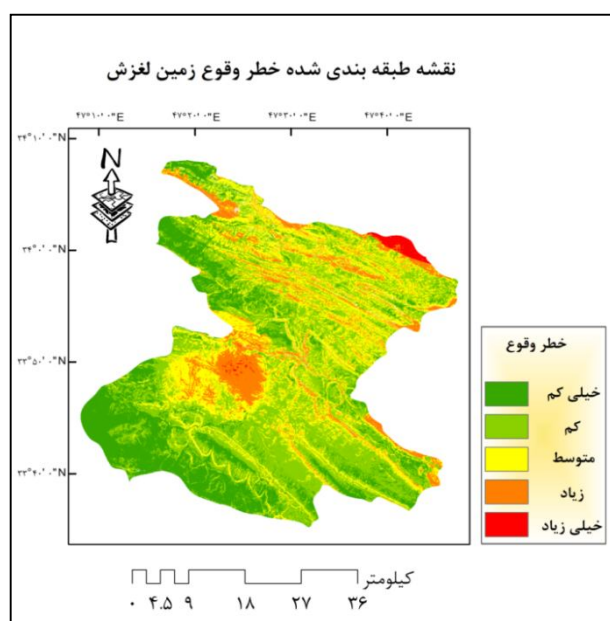
FAHP از شیوه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره محسوب می‌شود که در قالب مجموعه‌های فازی نظرات کارشناسی را در مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها وارد می‌کند. لازم به ذکر است که منظور از زیرمعیارها یا زیر شاخص‌ها همان لایه‌های اطلاعاتی است در صورتی که شاخص‌ها یا معیارها از گنجاندن لایه‌ها در دسته‌های مورد نظر به صورت سلسله‌مراتبی برای پیاده‌سازی FAHP حاصل می‌شود. با توجه به تعداد لایه‌های اطلاعاتی مهیا شده برای این مطالعه، نه لایه، از دو معیار برای دسته مرتبه بالاتر آن‌ها در تحلیل سلسله‌مراتبی فازی با نام‌های «توپوگرافی» و «طبیعی و زمین‌شناختی» استفاده شد. جدول ۴ معیارها و زیرمعیارها را که بر اساس نظرات کارشناسان حاصل شده است، نشان می‌دهد. اکنون سه ماتریس برای انجام مقایسات زوجی وجود دارد که شامل ماتریس معیارها و دو ماتریس زیرمعیارهای «طبیعی و زمین‌شناختی» و «توپوگرافی» است. در مرحله بعد با استفاده از شیوه FAHP باکلی که از اعداد دوزنقه‌ای فازی استفاده می‌کند و در محیط برنامه Matlab نوشته شده بود، اهمیت نسبی زیرمعیارها برای همپوشانی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی حاصل شد. جدول ۴ اوزان حاصل را برای لایه‌های اطلاعاتی نشان می‌دهد. به منظور همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی با اوزان به دست آمده، شیوه همپوشانی شاخص یا مجموع ساده وزن‌دار به کار رفت. در این روش نقشه‌های معیار با استفاده از مدل همپوشانی شاخص یا مجموع ساده وزن دار با هم ترکیب شدند. در نهایت با همپوشانی لایه‌های استاندارد شده، نقشه پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه حاصل شده است (شکل ۱۲). با بررسی کلی نقشه فوق معلوم می‌شود که نواحی شمالی و غربی محدوده‌ی مورد مطالعه ریسک بالاتری را در وقوع زمین لغزش نشان می‌دهند. در گام بعدی با اعمال شیوه طبقه بندی شکست طبیعی، نقشه مذکور صاحب پنج طبقه خطر زمین لغزش شد که عبارت اند از: خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد (شکل ۱۳). در جدول ۵ سطح پوشیده شده به‌وسیله هر یک از طبقات نام برده آورده شده است. لازم به ذکر است که در شیوه شکست طبیعی پس از تعیین تعداد طبقات، نرم افزار با یک الگوریتم محاسباتی، سعی در به کمینه رساندن اختلاف بین داده ها در هر طبقه و به بیشینه رساندن اختلاف بین طبقات می‌کند.

جدول ۴- اوزان استخراج شده از روش FAHP برای لایه های اطلاعاتی

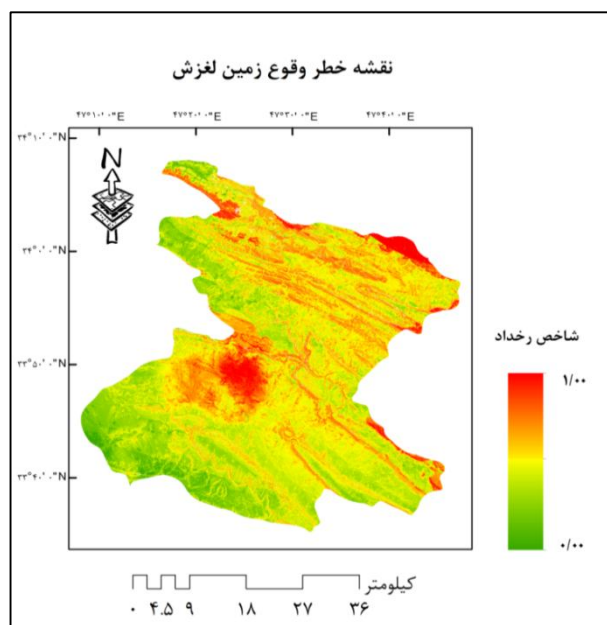
معیارها	درجه اهمیت
جهت شیب	۰/۰۳۵۶
ناهمواری (انحنای دامنه)	۰/۰۵۷۴
فاصله از ساختارهای خطی	۰/۱۷۳۵
شیب زمین	۰/۱۵۸۴
ارتفاع	۰/۰۹۷۹
شاخص پوشش گیاهی	۰/۱۲۴۸
رطوبت نسبی	۰/۰۹۷۴
عمق گسیختگی خاک	۰/۰۶۸۲
رده مقاومتی زمین	۰/۱۸۶۷

دقت سنجی نتایج

برای تعیین دقت و به عبارتی میزان قابل اطمینان بودن خروجی ها از ۵۰ درصد نواحی دچار زمین لغزش و ۱۰ درصد نواحی که زمین لغزه و حرکات توده ای برای آن ها ثبت نشده بود، با استفاده از داده های سازمان مراتع و آبخیزداری، به صورت تصادفی ساده و به کمک تابع نمونه برداری تصادفی نمونه برداری شد و مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱۴). باید در نظر داشت که نمونه هایی که برای دقت سنجی استفاده شدند از پیکسل هایی که در آماده سازی و استانداردسازی لایه های ورودی نمونه برداری شدند، برداشت نشدند. نکته دیگری که باید توجه داشت این است که برای تعیین دو طبقه رخدادهای زمین لغزش و عدم وقوع زمین لغزش و حرکات توده ای از نقشه خروجی نهایی، نقشه طبقه بندی شده به شیوه شکست طبیعی، حاصل از پهنه بندی استفاده شده است؛ به این شکل که طبقه با خطر وقوع خیلی زیاد به عنوان طبقه وقوع زمین لغزش به کار رفت در حالی که چهار طبقه دیگر به عنوان طبقه عدم وقوع زمین لغزش به کار رفتند.



شکل ۱۳- نقشه طبقه بندی شده شاخص رخدادهای زمین لغزه و حرکات توده ای با FAHP

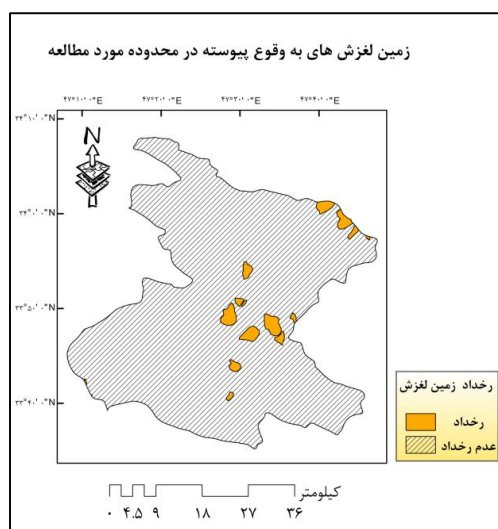


شکل ۱۲- نقشه شاخص رخدادهای زمین لغزه و حرکات توده ای با FAHP

جدول ۵- مساحت هریک از طبقات نقشه خطر زمین لغزه و حرکات توده‌ای با FAHP

درجه خطر	مساحت (هکتار)	مساحت (%)
خیلی کم	۴۱۳۷۱/۰۲	۲۱/۰۷۶۸
کم	۷۴۹۲۳/۶۵	۳۸/۱۷۰۴
متوسط	۵۷۴۷۲/۷۴	۲۹/۲۷۹۹
زیاد	۲۰۷۲۵/۸۳	۱۰/۵۵۸۹
خیلی زیاد	۱۷۹۴/۱۵	۰/۹۱۴

جدول ۶ نتایج دقت‌سنجی و دقت برآورد شده نقشه خروجی حاصل از پیاده‌سازی شیوهی FAHP را نشان می‌دهد. دقت در نتایج و به خصوص دقت کلی و ضریب کاپا، رضایت‌بخش بودن نتایج ثابت می‌شود.



شکل ۱۴- زمین لغزش‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه

جدول ۶- نتایج آماره‌های دقت سنجی برای خروجی‌های حاصل از FAHP و MLP

آماره دقت سنجی	دقت کلی	۰/۶۱۲۴
آماره‌ی کاپا	۰/۳۴۰۱	
کلاس	وقوع زمین لغزش	عدم وقوع زمین لغزش
دقت کاربر	۰/۴۱۵۷	۰/۸۳۶۷
خطای اضافه	۰/۵۸۴۳	۰/۱۶۳۳
دقت تولیدکننده	۰/۵۹۳۸	۰/۶۱۸
خطای اضافه	۰/۴۰۶۲	۰/۳۸۲

نتیجه گیری

لایه‌های به کار رفته عبارت بودند از: لایه‌های توپوگرافی (ارتفاع، شیب اراضی، جهت شیب و تحدب یا ناهمواری دامنه)، پوشش گیاهی، فاصله از ساختارهای خطی (جاده و رودخانه)، رطوبت، ضخامت گسیختگی خاک و رده مقاومتی زمین. لایه‌های مذکور از منابع مختلفی نظیر تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های هواشناسی، نقشه زمین شناسی، داده‌های زمین لغزش‌های رخ داده، داده‌های توپوگرافی سازمان نقشه برداری و ... جمع آوری شدند و آنگاه به منظور استاندارد سازی و در نهایت تلفیق پایانی، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری مورد آماده سازی و پیش پردازش قرار گرفتند و سپس وارد محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی شدند. باید در نظر

داشت که در این مرحله همه‌ی لایه‌های اطلاعاتی به صورت رستری درآمده بودند. نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که نواحی شمالی (به خصوص دو گوشه شمال غربی و شمال شرقی) و تا حدودی بخش غربی حوضه سیمره هومیان، ریسک بالای وقوع زمین لغزش و حرکات توده‌ای را نشان می‌دهند. لذا لزوم اتخاذ توجه بیشتر برنامه ریزان و مدیران محیطی و اخذ تصمیمات مدیریتی مناسب کوتاه مدت و بلند مدت در این نواحی بیش از پیش محل اعراب خواهد بود. از اقدامات مدیریتی که می‌توان برای جلوگیری از تشدید خطر وقوع این حرکات پیشنهاد داد، عدم مسیریابی و مکان‌یابی جاده‌ها و زیرساخت‌های جدید در نواحی مستعد وقوع زمین لغزش و حرکات دامنه‌ای است.

منابع

- جلالی، نادر، ۱۳۷۶، روشی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های متأثر از ساختار زمین‌شناسی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجموعه مقالات دومین سمینار زمین‌لغزه و کاهش خسارت‌های آن: موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، صص ۱۷۲-۱۵۹.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۹)، نقشه زمین‌شناسی کوه‌دشت-ایلام مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، چاپ شرکت نفت. عطائی، محمد، (۱۳۸۹)، تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- کمک‌پناه، علی، ۱۳۷۰، مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی راهبردهای کاهش خسارات زمین لغزه در کشور، چاپ اول، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، صص ۷-۵.
- کوره‌پزان دزفولی، امین، ۱۳۸۷، اصول تئوری مجموعه‌های فازی، انتشارات جهاد کشاورزی واحد صنعتی امیرکبیر، تهران.
- محمودی، فرج‌الله و کرم، عبدالامیر، ۱۳۸۱، مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین خورده، مطالعه موردی حوضه آبریز سرخون در استان چهارمحال بختیاری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۱، صص ۱۴-۱.
- Salciarini, D., Gost, J. W., Savage, W. Z., Convesini, P., Baum, R. L., & Michael, J. A. 2006. Modeling regional initiation of rainfall-induced shallow landslides in the eastern Umbria Region of central Italy. Landslides, 3, 181-194