

# ارزیابی و پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از تکنیک FAHP در محیط GIS (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)

مهندس حسین سلیمانی<sup>۱\*</sup>، مهندس حمید رضا پیران<sup>۲</sup>

۱. کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، دانشگاه تربیت مدرس

پست الکترونیکی: Hossein\_soleymani63@yahoo.com

۲. کارشناسی رشته برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

پست الکترونیکی: Navid.Piran@gmail.com

## چکیده

در سالیان اخیر با افزایش خسارات ناشی از وقوع حرکات توده‌ای، بشر در صدد کاهش زیان‌های آن برآمده است. از آنجا که پیش بینی زمان دقیق وقوع زمین لغزش از توان علمی انسان خارج بوده؛ بنابراین با شناسایی مناطق مستعد خطر حرکات توده‌ای و رتبه‌بندی آن‌ها می‌توان تا حدودی از خطرات ناشی از رخداد این پدیده جلوگیری نمود. هدف از این پژوهش شناسایی مناطق مستعد حرکات توده‌ای با استفاده از تکنیک FAHP در بستر سیستم اطلاعات مکانی (GIS) بوده و در این راستا از ۹ معیار زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، گسل، جاده، شیب، پوشش گیاهی، بارش، جهت شیب و ارتفاع استفاده گردید. در نقشه حاصله از کل مساحت منطقه ۲۷/۸۴٪ در کلاس کم خطر، ۵۶/۴۲٪ در کلاس خطر متوسط، ۱۳/۹۳٪ در کلاس پر خطر و ۱/۱۸٪ در کلاس بسیار پر خطر قرار گرفت. همچنین بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر مهم‌ترین معیارهای مؤثر در پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای لایه‌های زمین‌شناسی، رودخانه، شیب، پوشش گیاهی، جاده و گسل می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: حرکات توده‌ای، پهنه‌بندی، آذربایجان شرقی، FAHP، GIS

## ۱- مقدمه

شرایط اقلیمی، ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناختی، تکتونیکی و موقعیت خاص جغرافیایی کشور ایران را یکی از مناطق مستعد حرکات توده‌ای و زمین لغزش‌ها ساخته است [۵]. این مسئله باعث خسارات جانی و مالی فراوانی می‌شود. به عنوان مثال آمار ثبت شده توسط وزارت جهاد کشاورزی 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 ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی شده است [۷].

این مسائل همگی لزوم شناسایی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حرکات توده‌ای را در ایران الزامی می‌سازد. علاوه بر این بررسی پدیده ناپایداری دامنه‌ای برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری و از سوی دیگر برای شناسایی مکان‌های امن برای توسعه

زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های آتی انسان نظیر جاده‌ها، مسیرهای انتقال نیرو و انرژی و غیره دارای اهمیت می‌باشد [۱۰].

مسائل محیطی اغلب به صورت چند بعدی بوده و در آن معیارها و پارامترهای گوناگونی با وزن و اهمیت‌های مختلفی نقش دارند؛ بنابراین توسعه سیستمی که بتواند تمام این عوامل را با اوزان گوناگون در نظر بگیرد، امری ضروری است. با توجه به اینکه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS<sup>1</sup>) در ترکیب با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از قابلیت‌های زیادی در این زمینه برخوردار است، محققین بسیاری برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر از آن بهره گرفته‌اند، منجمله: اسماعیلی و احمدی [۱۳]، محمدخان [۹]، کلارستاقی [۸]، آیالیو و همکاران [۱۱] و کوماک [۱۴] از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP<sup>2</sup>) استفاده کرده و نتایج حاصل از آن را رضایت بخش اعلام نموده‌اند. سلیمانی و کریمی [۵] با استفاده از ۸ معیار شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه‌ها، خطوط ارتباطی، گسل، لیتولوژی، کاربری اراضی و بارندگی و مدل SAW<sup>3</sup> اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در استان لرستان نموده‌اند. مورات [۱۵] با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره، روش هندسی، ژئومورفولوژیک و منطق فازی و عوامل شیب، جهت شیب، کاربری زمین، وضعیت آب و هوایی و ارتفاع به پهنه بندی زمین لغزش در شمال غرب ترکیه پرداخته و در انتها روش فازی را برای این امر مناسب معرفی کرده است.

با توجه به اهمیت تهیه نقشه خطر حرکات توده‌ای و کمبود مطالعات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه، هدف از این پژوهش تهیه نقشه خطر حرکت مواد توده‌ای با استفاده از روش Fuzzy-AHP در محیط GIS می‌باشد.

## ۲- مواد و روش تحقیق

### ۲-۱ منطقه مورد مطالعه

استان آذربایجان شرقی در گوشه شمال غرب ایران به مرکزیت شهر تبریز با مساحتی در حدود ۴۵،۴۸۱ کیلومتر مربع، حدود ۲/۸ درصد مساحت کل کشور را داراست. از نظر مختصات جغرافیایی، مدارهای ۲۶° و ۳۹° و ۴۵° و ۳۶° شمالی، منتهی‌الیه شمالی و جنوبی، و نصف‌النهارات ۵° و ۴۵° و ۲۲° و ۴۸° منتهی‌الیه غربی و شرقی استان را می‌پوشاند. توپوگرافی منطقه، یکی از عوامل مهم آفرینش ویژگی‌های اقلیمی استان و عامل اصلی تنوع در آن می‌باشد. قله سهند با ۳،۷۲۲ متر بلندترین نقطه و سرزمین‌های ساحلی شهرستان کلبر با ارتفاع ۱۶۰ متر پست‌ترین نقطه آن می‌باشند. حدود ۲۱/۸٪ از کل مساحت استان دارای شیب کمتر از ۵٪ و ۵/۵٪ (۲۵۰۳ کیلومتر مربع) از کل مساحت استان دارای شیب بیش از ۵۰٪ می‌باشد. میانگین دمای روزانه نیز در بین ایستگاه‌های استان ۶/۵ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین میزان نزولات جوی استان بطور متوسط ۲۵۰ الی ۶۰۰ میلی متر بوده که اغلب در فصل‌های زمستان و بهار اتفاق می‌افتد [۳].

### ۲-۲ منابع داده

جهت تهیه داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بدین ترتیب عمل گردید که برای لایه‌های فاصله از خطوط گسلی و زمین شناسی از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشوری استفاده گردید. لایه‌های فاصله از رودخانه، خطوط ارتباطی، شیب و ارتفاع از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور استفاده گردید. اطلاعات راجع به بارش از سازمان هواشناسی کشوری و لایه پوشش گیاهی منطقه از سازمان جنگلها

و مراتع بدست آمد. همچنین جهت بدست آوردن لایه کاربری اراضی منطقه از تصاویر ETM سال ۲۰۰۲ میلادی استفاده گردید. توضیح اینکه تصاویر مذکور بعد از انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریک با استفاده از روش حدکثر احتمال طبقه بندی گردید.

### ۲-۳ روش تحقیق

بعد از جمع آوری و ساخت لایه‌ها در محیط GIS، با توجه به اینکه هر یک از لایه‌ها در مقیاس خاصی مورد سنجش قرار گرفته بودند؛ با استفاده از تابع زیر اقدام به نرمال سازی لایه‌ها گردید.

$$X'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}} \quad (\text{تابع ۱})$$

که  $X'_{ij}$  نمره استاندارد شده،  $X_{ij}$  نمره خام،  $X_j^{\max}$  نمره حداکثر می‌باشد. در مرحله بعدی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی وزن معیارهای مذکور بدست آمد. سپس وزن‌های بدست آمده در لایه‌های نرمال شده ضرب و در مرحله آخر تمام لایه‌ها با یکدیگر ترکیب و در چهار کلاس بسیار پر خطر (۰-۱/۸)، پر خطر (۰/۸-۰/۶)، متوسط (۰/۴-۰/۲) و کم خطر (۰-۰/۲) طبقه‌بندی شد (شکل ۱).



شکل ۱: فلوچارت فرایند انجام تحقیق

### ۲-۳-۱ روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی (AHP) به دلیل قابلیت‌های ویژه، از جمله توانایی مدل کردن معیارهای کیفی و کمی توأم، و نیز استفاده از نظرات کارشناسان موضوع تصمیم‌گیری و اجازه امکان خطا توسط کارشناسان و سپس اصلاح آن، یکی از بهترین روش‌های حل مسائل  $MADM^4$  یا تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه می‌باشد. این تکنیک ابتدا توسط توماس ال. سآتی در سال ۱۹۸۰ [۱۷] ابداع شد و کاربردهای بسیاری در رشته‌های مختلف تصمیم‌گیری و مسائل انتخاب و ارزیابی پیدا کرد. با این وجود، روش AHP مورد انتقادات بسیاری قرار گرفته است؛ که از آنجمله می‌توان به عدم توانایی روش AHP در مدل سازی ابهامات موجود در داده‌ها و دانش فرد خبره اشاره کرد. برای غلبه بر این مسائل و مشکلات بسیاری از محققان از روش ترکیبی فازی و AHP استفاده نموده‌اند [۴].

در این پژوهش از تحلیل سلسله مراتبی فازی توسعه یافته<sup>۵</sup> برای وزن دهی و ترکیب داده‌ها استفاده گردید. این روش توسط چانگ در سال ۱۹۹۶ [۱۲] توسعه یافته و بر مبنای اعداد مثلثی فازی قرار دارد. عدد فازی مثلثی مجموعه‌ای از اعداد فازی بوده که توابع عضویت آن‌ها توسط سه عدد اصلی به صورت  $(l, m, u)$  نمایش داده می‌شود.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{(x-l)}{(m-l)}, & l \leq x \leq m \\ \frac{(u-x)}{(u-m)}, & m \leq x \leq u \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{تابع } ۲)$$

در این تحقیق، جهت بهره‌گیری از این روش مراحل ذیل به اجرا گذاشته شد:

• انجام مقایسات زوجی

در این مرحله با استفاده از اعداد مثلثی فازی مقادیر کلاسیک مورد استفاده در روش AHP به مقادیر فازی تبدیل گردیده (جدول ۱)، سپس تمام معیارها بصورت زوجی مورد مقایسه قرار می‌گیرند (جدول ۲).

جدول ۱: مقادیر کلاسیک و فازی شده در مقایسه زوجی بر مبنای مقیاس نه کمیته ساعتی [۱۶]

مقادیر کلاسیک	مقیاس زبانی	مقدار فازی $(l, m, u)$	معکوس $(1/u, 1/m, 1/l)$
-	کاملاً برابر	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
1	اهمیت برابر	(1, 1, 2)	(1/2, 1/1, 1/1)
3	اهمیت متوسط	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
5	اهمیت قوی	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
7	اهمیت خیلی قوی	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
9	اهمیت فوق‌العاده قوی	(8, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/8)
2, 4, 6, 8	مقادیر میانی	$x-1, x, x+1$ $x=2, 4, 6, 8$	$(1/(x+1), 1/x, 1/(x-1))$ $x=2, 4, 6, 8$

جدول ۲: مقایسه زوجی فازی معیارهای مورد استفاده

	زمین شناسی	رودخانه	شیب	پوشش گیاهی	جاده	گسل	بارش	جهت شیب	ارتفاع
زمین شناسی	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)	(5, 6, 7)
رودخانه	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)
شیب	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)	(4, 5, 6)
پوشش گیاهی	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(3, 4, 5)
جاده	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/3, 1/2, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)
گسل	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/3, 1/2, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)	(2, 3, 4)
بارش	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/3, 1/2, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)	(1, 2, 3)
جهت شیب	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/3, 1/2, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)	(1, 2, 3)
ارتفاع	(1/7, 1/6, 1/5)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/5, 1/4, 1/3)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/3, 1/2, 1)	(1/3, 1/2, 1)	(1, 1, 1)

- بعد از انجام مقایسات زوجی فازی، مقدار  $S_i$  برای هر یک از سطرهای ماتریس فوق، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} \quad (\text{تابع ۳})$$

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (\text{تابع ۴})$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (\text{تابع ۵})$$

$$\sum L_i = 91.46 \text{ and } \sum M_i = 131.22 \text{ and } \sum U_i = 176.43$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ij}]^{-1} = (176.43, 131.22, 91.46)^{-1} = (0.0056, 0.0076, 0.01)$$

$$\sum C1 = (22, 30, 38), \sum C2 = (18.33, 25.5, 33), \sum C3 = (14.66, 21, 28), \sum C4 = (10.83, 16.16, 22), \sum C5 = (8.16, 12.66, 18), \sum C6 = (6.36, 9.91, 14.33), \sum C7 = (4.56, 7.16, 10.66), \sum C8 = (3.72, 5.36, 7.91), \sum C9 = (2.83, 3.47, 5.03)$$

$$S1 = (22, 30, 38) \times (0.0056, 0.0076, 0.01) = (0.123, 0.228, 0.38), S2 = (18.33, 25.5, 33) \times (0.0056, 0.0076, 0.01) = (0.1, 0.19, 0.33), S3 = (14.66, 21, 28) \times (0.0056, 0.0076, 0.01) = (0.08, 0.16, 0.28), S4 = (10.83, 16.16, 22) \times (0.0056, 0.0076, 0.01) = (0.06, 0.123, 0.22), S5 = (8.16, 12.66, 18) \times (0.0056, 0.0076, 0.01) = (0.045, 0.096, 0.18), S6 = (6.36, 9.91, 14.33) \times (0.0056, 0.0076, 0.01) = (0.035, 0.075, 0.143), S7 = (4.56, 7.16, 10.66) \times (0.0056, 0.0076, 0.01) = (0.025, 0.054, 0.106), S8 = (3.72, 5.36, 7.91) \times (0.0056, 0.0076, 0.01) = (0.02, 0.04, 0.079), S9 = (2.83, 3.47, 5.03) \times (0.0056, 0.0076, 0.01) = (0.015, 0.026, 0.05)$$

- در مرحله بعدی درجه بزرگی  $S_i$  ها با استفاده از توابع ذیل محاسبه می‌گردد.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (\text{تابع ۶})$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{تابع ۷})$$

که  $d$  عرض نقطه اشتراک بین  $\mu_{M_1}$ ،  $\mu_{M_2}$  می‌باشد. برای مقایسه  $M_1$  و  $M_2$  مقادیر درجه بزرگی  $V(M_2 \geq M_1)$  و

$V(M_1 \geq M_2)$  مورد نیاز می‌باشد.

$$\begin{aligned} V(S1 \geq S2) &= 1, V(S1 \geq S3) = 1, V(S1 \geq S4) = 1, V(S1 \geq S5) = 1, V(S1 \geq S6) = 1, V(S1 \geq S7) = 1, V(S1 \geq S8) = 1, \\ V(S1 \geq S9) &= 1, V(S2 \geq S1) = 0.844, V(S2 \geq S3) = 1, V(S2 \geq S4) = 1, V(S2 \geq S5) = 1, V(S2 \geq S6) = 1, V(S2 \geq S7) = 1, \\ V(S2 \geq S8) &= 1, V(S2 \geq S9) = 1, V(S3 \geq S1) = 0.697, V(S3 \geq S2) = 0.857, V(S3 \geq S4) = 1, V(S3 \geq S5) = 1, \\ V(S3 \geq S6) &= 1, V(S3 \geq S7) = 1, V(S3 \geq S8) = 1, V(S3 \geq S9) = 1, V(S4 \geq S1) = 0.48, V(S4 \geq S2) = 0.64, \\ V(S4 \geq S3) &= 0.79, V(S4 \geq S5) = 1, V(S4 \geq S6) = 1, V(S4 \geq S7) = 1, V(S4 \geq S8) = 1, V(S4 \geq S9) = 1, V(S5 \geq S1) = 0.3, \\ V(S5 \geq S2) &= 0.46, V(S5 \geq S3) = 0.6, V(S5 \geq S4) = 0.81, V(S5 \geq S6) = 1, V(S5 \geq S7) = 1, V(S5 \geq S8) = 1, \\ V(S5 \geq S9) &= 1, V(S6 \geq S1) = 0.11, V(S6 \geq S2) = 0.27, V(S6 \geq S3) = 0.42, V(S6 \geq S4) = 0.63, V(S6 \geq S5) = 0.82, \\ V(S6 \geq S7) &= 1, V(S6 \geq S8) = 1, V(S6 \geq S9) = 1, V(S7 \geq S1) = 0, V(S7 \geq S2) = 0.042, V(S7 \geq S3) = 0.197, \\ V(S7 \geq S4) &= 0.4, V(S7 \geq S5) = 0.59, V(S7 \geq S6) = 0.77, V(S7 \geq S8) = 1, V(S7 \geq S9) = 1, V(S8 \geq S1) = 0, \\ V(S8 \geq S2) &= 0, V(S8 \geq S3) = 0, V(S8 \geq S4) = 0.18, V(S8 \geq S5) = 0.37, V(S8 \geq S6) = 0.55, V(S8 \geq S7) = 0.79, \\ V(S8 \geq S9) &= 1, V(S9 \geq S1) = 0, V(S9 \geq S2) = 0, V(S9 \geq S3) = 0, V(S9 \geq S4) = 0, V(S9 \geq S5) = 0.06, \\ V(S9 \geq S6) &= 0.23, V(S9 \geq S7) = 0.47, V(S9 \geq S8) = 0.68 \end{aligned}$$

- بعد از محاسبه درجه بزرگی، باید به محاسبه وزن شاخص‌ها اقدام کرد.

$$W(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, n; \quad k \neq i \quad (\text{تابع ۸})$$

$$V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.844, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1) = 0.844$$

$$V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.697, 0.857, 1, 1, 1, 1, 1, 1) = 0.697$$

$$V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.48, 0.64, 0.79, 1, 1, 1, 1, 1) = 0.48$$

$$V(S_5 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_6, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.3, 0.46, 0.6, 0.81, 1, 1, 1, 1) = 0.3$$

$$V(S_6 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_7, S_8, S_9) = \text{Min}(0.11, 0.27, 0.42, 0.63, 0.82, 1, 1, 1) = 0.11$$

$$V(S_7 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_8, S_9) = \text{Min}(0, 0.042, 0.197, 0.4, 0.59, 0.77, 1, 1) = 0$$

$$V(S_8 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_9) = \text{Min}(0, 0, 0, 0.18, 0.37, 0.55, 0.79, 1) = 0$$

$$V(S_9 \geq S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8) = \text{Min}(0, 0, 0, 0, 0.06, 0.23, 0.47, 0.68) = 0$$

$$W' = (1, 0.844, 0.697, 0.48, 0.3, 0.11, 0, 0, 0)$$

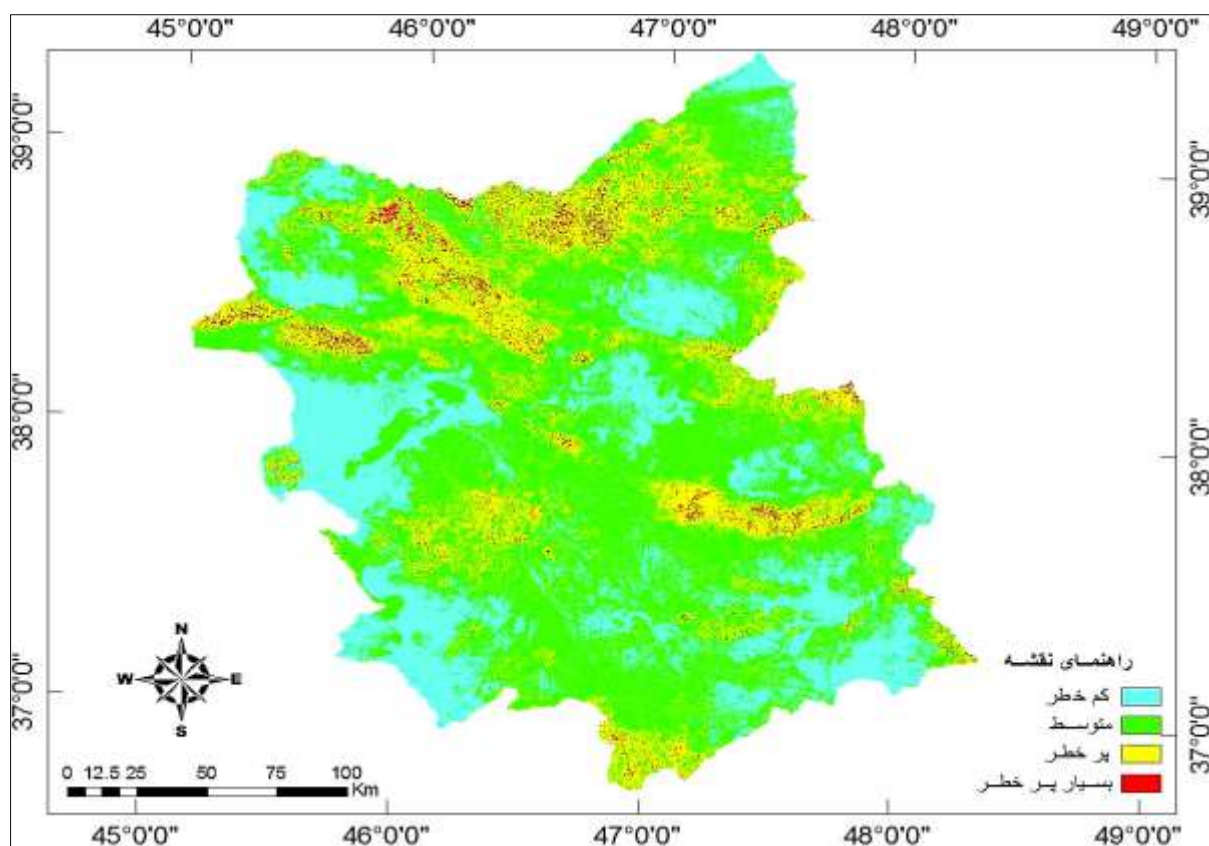
- در مرحله آخر با استفاده از تابع زیر مقدار وزن استاندارد شده شاخص‌ها بدست می‌آید.

$$W_i = \frac{W'_i}{\sum W'_i} \quad (\text{تابع ۹})$$

$$W = (0.29, 0.246, 0.2, 0.14, 0.089, 0.035, 0, 0, 0)$$

### ۳. نتایج و بحث

با توجه به نتایج بدست آمده، (جدول ۳) ۱/۸٪ از کل مساحت منطقه در کلاس بسیار پر خطر قرار دارد. بعبارت دیگر حدود ۸۱۷ کیلومتر از اراضی استان مستعد حرکت مواد توده‌ای با خطر بسیار زیاد هستند. کلاس پر خطر حدود ۱۴٪ (۶۳۳۹ کیلومتر مربع) از مساحت منطقه را شامل گردیده و این دو کلاس اکثراً در نیمه شمالی استان و دامنه کوه‌های بزرگوش قرار دارند؛ در حالیکه بیشترین مساحت استان (۵۶٫۴۲٪) در کلاس با خطر متوسط قرار دارد (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای در استان آذربایجان شرقی

جدول ۳: مساحت کلاس‌های تحت طبقه‌بندی

ردیف	کلاس	مساحت (Km <sup>2</sup> )	مساحت (%)
۱	کم خطر	۱۲۵۸۰/۴۷	۲۷/۸۴
۲	متوسط	۲۵۷۶۶/۱۲	۵۶/۴۲
۳	پر خطر	۶۳۳۹	۱۳/۹۳
۴	بسیار پر خطر	۸۱۷/۴۳	۱/۸

مطالعه و بررسی لایه زمین شناسی منطقه نشان می‌دهد که بیشترین حرکات توده‌ای در سازندهای آهکی، ماسه سنگ‌ها، کنگلومرا و پادگانه‌های آبرفتی قرار دادند که، با مطالعات و محمدی و همکاران [۱۰] هم خوانی دارد. در لایه گسل مناطق پر خطر عمدتاً در فاصله ۴۰۰-۸۰۰ متری قرار دارند. شادفر [۶] و سلیمانی و کریمی [۵] نیز به نتایج مشابهی رسیده‌اند. همچنین فاصله ۵۰۰ متری از جاده و ۴۰۰ متری آبراهه بیشترین حساسیت را نسبت به حرکات توده‌ای داشته که می‌تواند به خاطر بریدگی ناشی از این عوامل، فشار حاصل از وزن اضافی در جاده‌ها و افزایش رطوبت آبراهه‌ها باشد. آبراهه‌ها همچنین بر اثر فرسایش رودخانه‌ای و سایش دیواره کنار رودخانه باعث به هم خوردن تعادل شیب و در نتیجه ناپایداری دامنه‌های مشرف به رودخانه می‌گردد.

بررسی‌های درصد شیب نیز نشان داد که شیب ۳۰-۵۰ و ۱۵-۳۰ درصد بیشترین حساسیت را نسبت به حرکات توده‌ای دارند که با مطالعات احمدی و همکاران [۱] و محمدی و همکاران [۱۰] هم‌خوانی دارد. در شیب‌های کم به طور معمول نیروهای مقاوم بیشتر از نیروهای محرک بوده و در شیب‌های خیلی زیاد نیز خاک تجمع نمی‌یابد که منجر بوقوع زمین لغزش شود. به همین خاطر در شیب‌های متوسط (۵۰-۱۵ درصد) بیشترین میزان لغزش مشاهده شده است. بررسی طبقات ارتفاع نشان داد که طبقات ۱۵۰۰-۱۸۰۰ و ۱۸۰۰-۲۱۰۰ متری بیشترین حساسیت را نسبت به خطر حرکات توده‌ای دارند. در ارتفاعات بالا بارش معمولاً بصورت برف بوده و چیره بودن پدیده یخبندان در بخش بزرگی از سال باعث کندی پدیده خاک‌زایی و در نتیجه کاهش زمین لغزش می‌شود. در بین کاربری‌های مختلف نیز مناطق مسکونی و باغات کشاورزی بالاترین حساسیت را به وقوع پدیده حرکات توده‌ای داشته که دخالت‌های بیش از حد در طبیعت و افزایش ساخت و ساز و در نتیجه ایجاد تغییر در تعادل شیب دامنه و افزایش بار اضافی بر دامنه می‌تواند دلیل اصلی ناپایداری دامنه باشد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ترکیب GIS و تکنیک FAHP ابزاری قوی و کارآمد برای پهنه‌بندی و تهیه نقشه خطر حرکات توده‌ای می‌باشد. در مدل معرفی شده از ابزار GIS جهت تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و از تکنیک FAHP جهت برآورد وزن معیارها استفاده گردید. همچنین این مدل: ۱- با استفاده از روش AHP امکان مشارکت افراد خبره زیادی با اهداف و اولویت‌های گوناگون و ۲- با استفاده از روش فازی بجای روش‌های کلاسیک (دودویی) باعث افزایش دقت اطلاعات بدست آمده گردیده است.

با توجه به اینکه روش‌های سنتی توانایی در نظر گرفتن تمام عوامل را نداشته و همچنین دارای دقت پایینی بوده، استفاده از این روش‌ها تا اندازه زیادی محدودیت‌ها و پیچیدگی ناشی از حجم فراوان اطلاعات، ناهم‌خوانی ناشی از تنوع ماهیت معیارها را کاهش داده و مدت زمان محاسبات و تحلیل‌ها را نیز کاهش می‌دهد. ضمن آنکه این روش‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار هستند. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر ۱۵/۷۳٪ از کل مساحت منطقه ( ۷۱۵۶/۴۳ km<sup>2</sup>) در محدوده خطر حرکات توده‌ای قرار داشته و این مسئله لزوم مکان‌گزینی صحیح مناطق مسکونی، صنعتی و ... را الزامی می‌سازد. همچنین لایه‌های زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، شیب، پوشش گیاهی و فاصله از جاده بترتیب بعنوان مهم‌ترین معیارها در پهنه‌بندی حرکات توده‌ای معرفی می‌گردند.

#### ۵. پانوشتها

- 1- Geographical Information System
- 2- Analytical Hierarchy Process

- 3- Simple Additive Weighting Method
- 4- Multiple Attribute Decision Making (MADM)
- 5- Extended Fuzzy-AHP
- 6- Boolean

## مراجع

۱. احمدی، حسن؛ اسماعیلی، اباذر؛ فیض نیا، سادات؛ شریعت جعفری، محسن، ۱۳۸۲، پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)، مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرمی چای، منابع طبیعی ایران، ش ۴، صص ۳۲۳-۳۳۵.
۲. ایلانلو، مریم؛ مقیمی، ابراهیم؛ ثروتی، محمد رضا، ۱۳۸۸، پهنه بندی خطر حرکات توده ای با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی حوضه آبریز سد کرج)، جغرافیای طبیعی، ش ۵، صص ۹۵-۸۵.
۳. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، آمارنامه استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۵.
۴. سلیمانی، حسین، مدل سازی تناسب اراضی برای گندم دیم با استفاده از منطق فازی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: شهرستان میانه)، ۱۳۹۱، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، گروه سنجش از دور و GIS.
۵. سلیمانی، حسین؛ کریمی، حسن، ۱۳۹۱، پهنه بندی خطر زمین لغزش در استان لرستان با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS، همایش ژئوماتیک، تهران، ایران.
۶. شادفر، صمد، ۱۳۸۵، بررسی عوامل موثر بر زمین لغزش و پهنه بندی آن با استفاده از GIS در حوزه آبخیز پلتان، سومین همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی، تهران، ایران.
۷. صالحی پور، علیرضا، ۱۳۸۰، بررسی پارامترهای هیدرومورفیک موثر در حرکات دامنه‌ای حوضه آبریز قوری چای با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۸. کلارستاقی، عطاله، ۱۳۸۱، بررسی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز شیرین رود ساری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۹. محمد خان، شیرین، ۱۳۸۰، تهیه مدل برای پهنه بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی، حوزه آبخیز طالقان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۱۰. محمدی، مجید؛ مرادی، حمید رضا؛ سادات، فیض نیا؛ پور قاسمی، حمید رضا، ۱۳۸۸، اولویت بندی عوامل موثر بر زمین لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)، علوم زمین، ش ۷۴، صص ۳۲-۲۷.
11. Ayalew, Lulseged., Ymagashi, Hiromitsu., Marui, Hideaki., Kanno, T., 2005. *Landslide in Sado Iland of Japan: Part II. Gis based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications*, Engineering Geology, vol. 81, pp. 432-445.
12. Chang, Da-Yong, 1996, *Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP*, European Journal of Operational Research, vol. 95, pp. 649-655.
13. Esmaili, A., Ahmadi.M, 2003, *Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation ,A Case Study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran* , Map Asia Conference.
14. Komac, Marko, 2006, *A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process and multivariate statistics in periaalpine Sloveni*, Geomorfology. vol. 74, pp. 17-28.
15. Morat, Ercanogla., Gokceoglu C, 2002, *Assessment of Landslide Susceptibility for a Landslide Prone Area ( North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach*. Environmental geology, vol. 41, pp. 720-730.



16. Onut, Semih., Efeendigil, Tugba., Kara, Selin Soner, 2010, *A combined fuzzy MCDM approach for selecting shopping center site: An example from Istanbul, Turkey*, Expert system with application, vol. 37, pp. 1973-1980.
17. Saaty, Thomas. L, 1980, *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill. New York.