



# پژوهش‌های فرسایش محیطی

journal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>



## مقایسه دو روش تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی برای پهنه‌بندی خطر فرسایش آبکندی در سه منطقه از استان اردبیل

حسین شهاب ارخازلو<sup>۱</sup>، حجت امامی<sup>۱\*</sup>، غلامحسین حق‌نیا<sup>۱</sup>، اباذر اسمعیلی<sup>۲</sup>

۱. گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی

۲. گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

### چکیده

فرسایش آبکندی پیشرفته‌ترین نوع فرسایش آبی است که با تولید حجم زیاد رسوب در حوزه‌های آبخیز خسارات زیادی ایجاد می‌کند. به منظور مدیریت و مقابله با این نوع فرسایش، شناسایی مناطق دارای خطر زیاد از نظر فرسایش آبکندی در سطح حوزه‌های آبخیز اهمیت فراوانی دارد. برای این منظور نقشه‌های پهنه‌بندی خطر فرسایش آبکندی، با ترکیب لایه‌های اطلاعاتی عوامل مختلف موثر بر تشکیل آبکند بر حسب اهمیت تهیه می‌شود. روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP<sup>۱</sup>) و عملگر گامای فازی دو روش مفید و نوین برای وزن‌دهی و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی مختلف می‌باشند. این پژوهش با هدف مقایسه پهنه‌بندی با دو روش AHP و گامای ۰/۸ فازی در سه حوزه آبخیز به نام‌های آرتاداغ، ملاحمد و سرچم در استان اردبیل انجام شد. برای انجام پهنه‌بندی از ۸ عامل درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری زمین، درصد تاج پوشش گیاهی، زمین شناسی، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه که جزو عوامل موثر بر تشکیل آبکندها می‌باشند، استفاده شد. برای مقایسه دو روش پهنه‌بندی از نظر دقت تعیین پهنه‌ها، از دو شاخص نسبت تراکمی (Dr<sup>۲</sup>) و مجموع کیفیت (Qs<sup>۳</sup>) استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از پهنه‌بندی خطر به روش گامای فازی، مقادیر شاخص Qs برای آرتاداغ، ملاحمد و سرچم به ترتیب ۰/۶۸، ۲/۵۹ و ۰/۷۷ بود، در حالی که برای روش AHP به ترتیب ۰/۲۸، ۱/۴۵ و ۰/۰۵ بود. شاخص Dr نیز در روش فازی برای هر سه حوزه با افزایش خطر تشکیل آبکند روند افزایشی نشان داد که بیانگر مناسب بودن این روش برای هر سه حوزه است. بنابراین در هر سه حوزه مورد بررسی روش فازی دقت بالاتری داشت و روش AHP نیز در دو حوزه آرتاداغ و ملاحمد دارای دقت قابل قبولی بود، ولی در سرچم دقت آن پایین بود. به‌طور کلی برای پهنه‌بندی خطر فرسایش آبکندی روش گامای فازی مناسب‌تر از AHP تشخیص داده شد، با این وجود در صورت انتخاب دقیق عوامل موثر بر تشکیل آبکند و وزن دهی صحیح آن‌ها روش AHP هم می‌تواند کارایی لازم را داشته باشد.

تاریخچه مقاله:

دریافت:

۹۴/۱۲/۲۵

اصلاح:

۹۵/۰۳/۳۰

پذیرش:

۹۵/۰۴/۱۴

واژگان کلیدی:

عوامل تشکیل آبکند،

نسبت فراوانی،

مجموع کیفیت،

پهنه بندی خطر

تشکیل آبکند

- 1- Analytical Hierarchy Process
- 2- Density ratio
- 3- Quality sum

## مقدمه

فرسایش آبکندی یکی از انواع تکامل یافته فرسایش آبی است که موجب تخریب گسترده خاک و تولید حجم زیادی رسوب می‌گردد (Poesena et al, 2003; Valentin et al, 2005). از جمله اثرات مخرب این نوع فرسایش پر شدن مخازن سدها در اثر تولید حجم زیاد رسوب، از بین رفتن زمین‌های کشاورزی، کاهش حاصلخیزی خاک، ایجاد و گسترش بدلندها و هدر رفت آب در اثر کاهش ظرفیت نگهداری آب خاک می‌باشد (Dlapa et al, 2012). اصلی‌ترین عوامل تشکیل آبکند وجود جریان متمرکز رواناب در سطح خاک یا فرسایش زیر زمینی و ریزش سقف این نوع فرسایش است که شرایط توپوگرافی و زمین شناسی تعیین کننده این دو عامل است (Poesena et al, 2003; Valentin et al, 2005). عوامل انسانی مانند تغییر کاربری زمین، تخریب جنگل‌ها و مراتع، کاهش پوشش گیاهی و گسترش مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی نیز با ایجاد تغییرات اساسی در شرایط هیدرولوژیکی طبیعی حوزه‌های آبخیز، زمینه ساز و تشدید کننده ایجاد فرسایش آبکندی می‌باشند (Deng et al, 2015; Sidorochu, 1999). اصلی‌ترین پیش نیاز مقابله با انواع فرسایش از جمله فرسایش آبکندی، پیش بینی میزان خطر تشکیل آبکند در نقاط مختلف مناطق مستعد این نوع فرسایش می‌باشد (Qilin et al, 2011). عوامل محیطی مختلف مانند ویژگی‌های زمین شناسی، توپوگرافی، نوع کاربری زمین، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی بر ایجاد فرسایش آبکندی موثر می‌باشند، لذا برای پیش بینی خطر و مقابله با این نوع فرسایش لازم است این عوامل مورد توجه قرار گیرند (Qilin et al, 2011; انتظارى و همکاران، ۱۳۹۲). به منظور پیش بینی احتمال تشکیل آبکند در هر نقطه از سطح حوزه‌های آبخیز، پهنه بندی خطر فرسایش آبکندی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام می‌شود. برای این منظور عوامل محیطی موثر بر تشکیل آبکند در منطقه به صورت لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS تهیه شده و بر اساس تاثیر هر عامل در تشکیل آبکند وزن دهی می‌شوند، سپس از روی هم اندازی و ترکیب لایه‌ها بر حسب وزنشان میزان خطر تشکیل آبکند برای هر نقطه تعیین و سطح منطقه به طبقات مختلف از نظر خطر تشکیل آبکند تقسیم می‌شود (Bouaziz et al, 2011). دقت پهنه بندی بستگی به روش مورد استفاده در وزن دهی و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی دارد، که دو روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و اپراتور گامای فازی از جمله روش‌های کارآمد مورد استفاده برای این منظور می‌باشند (Qilin et al, 2011; Barreto-Neto and Filho, 2008). در روش تحلیل سلسله مراتبی مقایسات زوجی بین عوامل موثر بر تشکیل آبکند انجام می‌گیرد به این ترتیب که بر مبنای برتری یک عامل بر عامل دیگر و بر اساس قضاوت کارشناسی امتیاز بین ۱ تا ۹ به عوامل داده می‌شود که ۱ به معنی تاثیر یکسان دو عامل، ۹ به معنی برتری بسیار زیاد یک عامل به عامل دیگر و اعداد بینابین حدود واسط این دو حالت هستند (مهرگان، ۱۳۸۳). به این ترتیب ماتریس مقایسات زوجی بین عوامل مورد نظر تشکیل می‌گردد که با حل این ماتریس به روش میانگین حسابی، وزن نسبی هر عامل تعیین می‌گردد و ترکیب لایه‌های مختلف بر اساس این وزن‌ها انجام می‌گیرد (Gorsevski et al, 2006). کیلین<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) رابطه قوی بین مناطقی که ایجاد آبکند در اثر ریزش مواد اتفاق افتاده بود با پیش بینی نقاطی که توسط تحلیل سلسله مراتبی دارای خطر بالا تشخیص داده شده بود، مشاهده کردند. همچنین انتظارى و همکاران (۱۳۹۲) کارایی مناسب این روش را در تشخیص نقاط دارای پتانسیل بالای تشکیل آبکند گزارش کردند.

در منطق فازی وزن دهی هر عامل بر اساس تابع عضویت آن عامل انجام می‌گیرد. تابع عضویت مقدار عامل مورد نظر را بر اساس حداقل رابطه تا بیشترین رابطه با پدیده مورد بررسی به صورت یک تابع پیوسته بیان می‌کند، بنابراین عوامل بر اساس مقدارشان در محدوده بین صفر و یک وزن دهی می‌گردند (Kaufmann et al, 2009). برای پهنه بندی به روش فازی، لایه فازی هر عامل بر اساس مقدار عضویت آن در نقاط مختلف در GIS تشکیل می‌گردد سپس ترکیب امتیاز عوامل با استفاده از عملگر جمع جبری فازی، ضرب فازی و یا گامای فازی انجام می‌گیرد و سطح منطقه بر اساس میزان خطر بین صفر و یک امتیاز دهی می‌گردد. عملگر گامای فازی به صورت زیر بیان می‌شود (متولی و اسماعیلی، ۱۳۹۱):

$$\mu_{combination} = (Fuzzy_{Sum} \times Fuzzy_{Product})^{1-\gamma} \quad (1)$$

در این رابطه  $\mu_{combination}$  لایه حاصل از گامای فازی،  $Fuzzy_{Sum}$  جمع جبری فازی،  $Fuzzy_{Product}$  ضرب فازی و  $\gamma$  در محدوده بین صفر و ۱ انتخاب می‌شود. با انتخاب مقدار گامای یک، نتیجه ترکیب لایه‌ها، معادل جمع جبری فازی می‌شود که اثر افزایشی

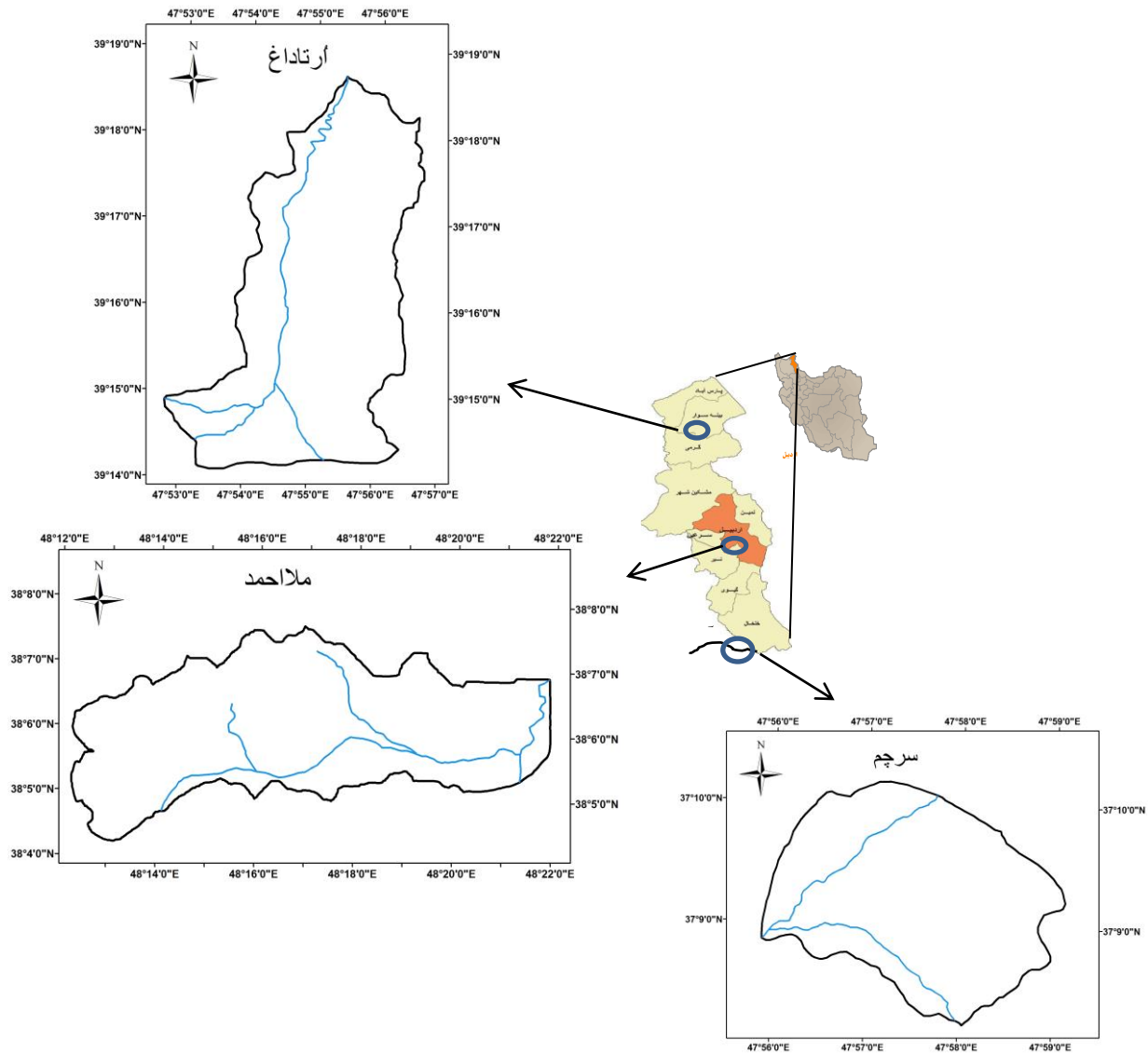
نسبت به شرایط واقعی دارد و با انتخاب صفر معادل ضرب فازی می‌گردد که اثر کاهشی دارد، اما با انتخاب مقدار بین صفر و یک، اثر افزایشی و کاهشی خنثی شده و برآورد حاصل از ترکیب لایه‌ها به واقعیت نزدیکتر می‌شود. متولی و اسماعیلی (۱۳۹۱) با مقایسه مقادیر گامای ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹، مقدار گامای ۰/۸ را مناسب‌ترین مقدار برای پهنه‌بندی معرفی کردند. شادفر (۱۳۹۳) نیز در مقایسه ضرب فازی، گامای ۰/۵ و گامای ۰/۸ بهترین مقدار گاما برای پهنه‌بندی فرسایش آبکندی را مقدار ۰/۸ بیان کرد. با مقایسه دو اپراتور جمع جبری و ضرب فازی نیز کارایی بیشتر جمع جبری فازی در تشخیص پهنه‌های دارای خطر فرسایشی بیشتر نشان داده شده است (روستایی و همکاران، ۱۳۸۹). برتری روش امتیاز دهی فازی در مقایسه با روش‌های وزن‌دهی دیگر نیز توسط پژوهشگران نشان داده شده است (Gorsevski et al, 2006; Dube et al, 2014). هر چند در بین روش‌های پهنه‌بندی روش تحلیل سلسله مراتبی و فازی برای تشخیص دقیقتر نقاط دارای خطر بیشتر تشکیل آبکنند دارای کارایی بیشتری می‌باشند، مقایسه بین دو روش برای تعیین روش مناسب‌تر در نقاط مختلف و تعیین کارایی و مزایای هر روش لازم می‌باشد (Gorsevski et al, 2006; Dube et al, 2014).

وجود فرسایش آبکندی و اثرات مخرب آن در نقاط مختلف دنیا و ایران گزارش شده است (Poesena et al, 2003؛ صوفی و عیسایی، ۱۳۸۸)، همچنین در استان اردبیل و مناطق مجاور آن نیز پژوهش‌هایی در مورد فرسایش آبکندی و عوامل موثر بر آن انجام شده است (بیاتی، ۱۳۸۵؛ مقیمی و سلامی، ۱۳۹۰). با این وجود انجام پژوهش‌های بیشتر در حوزه‌های آبخیز دارای فرسایش آبکندی گسترده در استان اردبیل و پهنه‌بندی خطر ایجاد آبکنند با روش‌های نوین، به منظور مدیریت مناسب این مناطق ضروری به نظر می‌رسد. در سه حوزه آرتاداغ، ملااحمد و سرچم که به ترتیب در شمال، مرکز و جنوب استان اردبیل قرار دارند فرسایش آبکندی به طور قابل توجهی مشاهده می‌شود. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر تشکیل آبکنند در سطح این سه حوزه آبخیز از استان اردبیل بر اساس ویژگی‌های محیطی، زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی موثر بر فرسایش آبکندی، با دو روش AHP و فازی است. همچنین مقایسه این دو روش پهنه‌بندی و مزایای هر کدام در سه حوزه مورد نظر نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای مقایسه دو روش از نظر کارایی پهنه‌بندی و تشخیص دقیق پهنه‌های دارای خطر بالا نیز از دو روش نسبت تراکم (Dr) و شاخص کیفیت (Qs) استفاده شد (Yalcin, 2008).

## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

در این پژوهش سه حوزه آبخیز در استان اردبیل که فرسایش آبکندی در سطح آن‌ها مشاهده می‌شود انتخاب شدند. حوزه آبخیز اول به مساحت ۲۷۲۷ هکتار در شمال استان اردبیل و منطقه آرتاداغ در محدوده جغرافیایی  $39^{\circ} 18' 42''$  تا  $39^{\circ} 14' 06''$  عرض شمالی و  $47^{\circ} 52' 47''$  تا  $47^{\circ} 56' 41''$  طول شرقی قرار دارد، حوزه آبخیز دوم به مساحت ۵۰۳۸ هکتار در مرکز استان و منطقه ملااحمد در محدوده جغرافیایی  $38^{\circ} 04' 57''$  تا  $38^{\circ} 07' 37''$  عرض شمالی و  $48^{\circ} 12' 14''$  تا  $48^{\circ} 21' 52''$  طول شرقی قرار دارد و حوزه آبخیز سوم به مساحت ۱۱۰۸ هکتار در جنوب استان و منطقه سرچم در محدوده جغرافیایی  $37^{\circ} 08' 10''$  تا  $37^{\circ} 10' 10''$  عرض شمالی و  $47^{\circ} 59' 06''$  تا  $47^{\circ} 55' 54''$  طول شرقی قرار دارد. منطقه آرتاداغ، ملااحمد و سرچم به ترتیب دارای میانگین بارش ۲۷۱، ۳۰۳ و ۳۸۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۵/۱، ۹ و ۸ درجه سانتیگراد می‌باشند. همچنین هر سه منطقه طبق طبقه‌بندی اقلیمی دوماترین توسعه یافته دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشند. موقعیت حوزه‌های آبخیز مطالعه شده در سطح استان اردبیل و سطح کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت آبخیزهای مطالعه شده در سطح کشور و استان اردبیل

#### روش انجام پژوهش

در این پژوهش برای پهنه بندی خطر فرسایش آبکندی در سطح مناطق مورد نظر از هشت عامل درصد شیب زمین، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، زمین شناسی سطحی، درصد تاج پوشش گیاهی، کاربری زمین، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه استفاده شد. ابتدا با بررسی تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، لندست ۸ (۲۰۱۳)، عکس‌های هوایی و انجام بازدیدهای صحرائی وجود فرسایش آبکندی در سه منطقه مورد نظر اثبات و محدوده آن تعیین شد. با شناسایی صحرائی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای محل آبکندهای موجود در سطح مناطق تعیین شد، سپس نقشه و لایه‌ی اطلاعاتی توزیع آبکندها در سطح مناطق در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در ArcGIS 10.2 مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت ۵ متر تهیه شد و با استفاده از DEM، حوزه‌ی آبخیز اصلی و زیر حوزه‌های موجود در آن برای هر منطقه توسط نرم افزار Global mapper 14 جدا شد. در مرحله بعد هر یک از هشت عامل مورد نظر به صورت یک لایه اطلاعاتی در GIS برای سه حوزه مورد نظر تهیه شد. برای این منظور با استفاده از DEM نقشه شیب برای سه حوزه آبخیز مورد نظر تهیه شد و با استفاده از نقشه شیب، نقشه جهات شیب در ۸ جهت اصلی و فرعی و نقشه طبقات شیب در ۵ طبقه تهیه شد. همچنین

#### 4- Digital Elevation Model

با استفاده از DEM، نقشه طبقات ارتفاعی مناطق با فواصل ارتفاعی ۱۰۰ متر تهیه شد. با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان اردبیل، نقشه توزیع سازندهای زمین شناسی در سه منطقه به دست آمد. با استفاده از شاخص درصد تاج پوشش گیاهی (NDVI) و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و نیز بازدیدهای صحرایی نقشه درصد تاج پوشش گیاهی سطح مناطق به دست آمد و نقشه طبقات درصد تاج پوشش گیاهی نیز تهیه شد. همچنین با تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و بازدیدهای صحرایی نقشه کاربری اراضی، نقشه جاده‌ها و رودخانه‌های مناطق نیز تهیه شد و با استفاده از آن‌ها نقشه توزیع کاربری اراضی و نیز نقشه طبقات فاصله از جاده و طبقات فاصله از آبراهه مناطق در ۵ طبقه تهیه شد. به این ترتیب تمام هشت عامل مورد نظر برای سه حوزه، به صورت لایه‌های اطلاعاتی در GIS تهیه و آماده استفاده در پهنه‌بندی شدند. همچنین با استفاده از نقشه توزیع آبکندهای تهیه شده، تراکم آبکند در هر طبقه عوامل مورد نظر محاسبه شد. تمام نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از ArcGIS 10.2 تهیه شدند. در جدول شماره ۱ خلاصه اطلاعات معیارهای مورد استفاده در پهنه‌بندی سه حوزه ارائه شده است.

جدول ۱: خلاصه اطلاعات معیارهای مورد استفاده در پهنه‌بندی

عوامل مورد استفاده	طبقات عوامل
شیب (%)	۱۰-، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰، ۴۰-۳۰ و <۴۰
جهت شیب	شمال (N)، جنوب (S)، غرب (W)، شرق (E)، شمال غرب (NW)، شمال شرق (NE)، جنوب غرب (SW)، جنوب شرق (SE)
فاصله از جاده (متر)	۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰ و <۱۰۰۰
فاصله از آبراهه (متر)	۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰ و <۱۰۰۰
کاربری زمین	کشاورزی و مرتع
ارتفاع (متر)	ارتداد: ۳۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۵۰۰، ۵۰۰-۶۰۰، ۶۰۰-۷۰۰ و <۷۰۰ ملاحمد: ۱۴۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۱۶۰۰، ۱۶۰۰-۱۷۰۰، ۱۷۰۰-۱۸۰۰ و >۱۸۰۰ سرچم: ۱۱۰۰-۱۲۰۰، ۱۲۰۰-۱۳۰۰ و <۱۳۰۰
سازند زمین شناسی	ارتداد: Qt1 (تراس‌های قدیمی، توف‌های سیلتی و رسی)، OMz4 (سنداستون سیلتی و رسی)، M4 (سنداستون و گنگلومرای سیلتی و رسی)، M1 (سنداستون و دولومیت سیلتی و رسی)، Qt2 (تراس‌های جوان و فن‌ها)، Qba (توف و سنگ آهک)، M3 (سنداستون و گنگلومرای گچی) و M5 (گنگلومرای سنداستون و سیلت و رس). ملاحمد: Ng4 (توف‌های آذرین)، Ng4 (مارن و گنگلومرای قهوه‌ای)، Qt1 (تراس‌های قدیمی) و Qt2 (تراس‌های جوان و الویال فن‌ها). سرچم: Ng4 (توف‌های آذرین)، Ng4 (مارن و گنگلومرای قهوه‌ای)، Qt1 (تراس‌های قدیمی) و Qt2 (تراس‌های جوان و الویال فن‌ها).
تاج پوشش گیاهی (%)	ارتداد: >۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰ و >۳۰-۴۰ ملاحمد: >۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰، ۴۰-۵۰، ۵۰-۶۰ و >۶۰-۷۰ سرچم: >۵، ۵-۱۵ و ۱۵-۲۵

در ادامه با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی هشت عامل فوق پهنه بندی خطر تشکیل آبکند با دو روش AHP و فازی انجام گرفت. برای انجام تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ابتدا بایستی وزن هر عامل تعیین شود (Qilin et al, 2011). برای این کار ابتدا بر اساس قضاوت کارشناسی اهمیت عوامل مورد بررسی در ایجاد آبکند تعیین شد، برای این منظور از تراکم آبکند موجود در طبقات عوامل مورد بررسی و سایر مطالعات انجام گرفته استفاده شد و ترتیب اهمیت عوامل مورد بررسی در تشکیل آبکند تعیین شد. طبق بررسی‌های انجام شده در منابع موجود (روستائی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Dube et al, 2014؛ Qilin et al, 2011) و نیز بر اساس تراکم آبکند در طبقات مختلف عوامل، بین هشت عامل مورد بررسی درصد شیب دارای بیشترین اهمیت و فاصله از آبراهه

کم اهمیت ترین عامل در نظر گرفته شد و سایر عوامل نیز اهمیت بینابینی داشتند. سپس مقایسات به صورت زوجی بین تمام عوامل انجام و با مقادیر ۱ تا ۹ اهمیت عوامل نسبت به هم امتیاز دهی شد، به این ترتیب ماتریس مقایسات زوجی عوامل تهیه شد (مهرگان، ۱۳۸۳؛ انتظاری و همکاران، ۱۳۹۲). با حل ماتریس مقایسات زوجی به روش میانگین حسابی وزن ۸ عامل مورد نظر تعیین شد (مهرگان، ۱۳۸۳). انجام تحلیل سلسله مراتبی به منظور تعیین وزن عوامل، با استفاده از نرم افزار Expert Choose 9 انجام گرفت. سپس در محیط GIS با استفاده از لایه طبقات ویژگی‌های مورد بررسی، برای هر عامل لایه رستری براساس تراکم آبکند در طبقات مختلف عوامل مورد بررسی تهیه شد و با ترکیب این لایه‌ها بر اساس وزنشان که از روش AHP محاسبه شده بود لایه پیوسته احتمال تشکیل آبکند در سطح مناطق به دست آمد. در نهایت طبقه بندی این لایه به ۵ طبقه بسیار پر خطر، پر خطر، خطر متوسط، خطر کم و خطر خیلی کم انجام و به این ترتیب نقشه پهنه بندی خطر تشکیل آبکند به روش AHP برای سه منطقه به دست آمد.

برای پهنه بندی به روش گامای فازی ابتدا بر اساس رابطه هر یک از هشت عامل مورد نظر با تراکم آبکندها، مدل فازی تغییرات آن عامل با شدت تشکیل آبکند به صورت قواعد زبانی فازی تعریف شد. بر اساس نوع مدل‌های تعریف شده، توابع عضویت فازی که مقادیر هر عامل را بر اساس نوع رابطه با تشکیل آبکند به صورت یک تابع پیوسته بین صفر و یک بیان می‌کند، برای هر عامل تعریف شد (Chaplot, 2013). تابع عضویت هر عامل به صورتی تعریف شد که با افزایش احتمال تشکیل آبکند مقدار عضویت عامل به یک نزدیک و با کاهش احتمال تشکیل آبکند مقدار عضویت عامل به صفر نزدیک شود. ساخت مدل فازی و تشکیل توابع عضویت با استفاده از نرم افزار MATLAB 2010 انجام شد. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی هر عامل در GIS، براساس نوع تابع عضویت تعیین شده به یک لایه رستری فازی شده تبدیل شد. در نتیجه برای هر یک از هشت عامل یک نقشه فازی ارائه شد که مقدار آن عامل را در هر نقطه از سطح مناطق بر اساس تابع عضویت مناسب آن عامل بین صفر و یک وزن دهی شده بود (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۲). در نهایت هشت لایه فازی شده، با استفاده از عملگر فازی گامای ۰/۸ طبق رابطه ۱ در محیط GIS ترکیب شدند. با توجه به منابع موجود که مقدار گامای ۰/۸ مناسب‌ترین سطح آن برای پهنه بندی فرسایش آبکندی معرفی شده است (متولی و اسماعیلی، ۱۳۹۱؛ شادفر، ۱۳۹۳) و نیز مقایسه انجام گرفته بین مقادیر گامای ۰/۵، ۰/۸ و ۰/۹ از نظر تفکیک پهنه‌های خطر در مناطق مورد نظر، ۰/۸ به عنوان مناسب‌ترین مقدار گاما برای این پژوهش انتخاب شد. پس از ترکیب لایه‌ها، برای سه منطقه مورد نظر نقشه فازی پیوسته‌ای احتمال تشکیل آبکند ارائه شد که در هر نقطه خطر تشکیل آبکند را به صورت مقادیر بین صفر و یک نشان می‌دهد، که مقادیر بالاتر بیانگر احتمال خطر بیشتر می‌باشند. در نهایت طبقه بندی این لایه به ۵ طبقه بسیار پر خطر، پر خطر، خطر متوسط، خطر کم و خطر خیلی کم انجام و به این ترتیب نقشه پهنه بندی خطر تشکیل آبکند به روش گامای فازی برای سه منطقه به دست آمد.

به این ترتیب برای هر منطقه با استفاده از دو روش AHP و گامای فازی، دو نقشه پهنه بندی خطر تشکیل آبکند ارائه شد، که سطح مناطق را به ۵ طبقه خطر تقسیم می‌کند. به منظور مقایسه دو روش از نظر تشخیص بهتر پهنه‌های خطر، در دو نقشه پهنه بندی هر یک از مناطق دو شاخص نسبت تراکمی (Dr) و شاخص مجموع کیفیت (Qs) که به صورت روابط ۲ و ۳ تعریف می‌شوند تعیین و با یکدیگر مقایسه شدند (Yalcin, 2008):

$$Dr = \frac{(L_i / A_i)}{(\sum_{i=1}^{i=n} L_i / \sum_{i=1}^{i=n} A_i)} \quad (2)$$

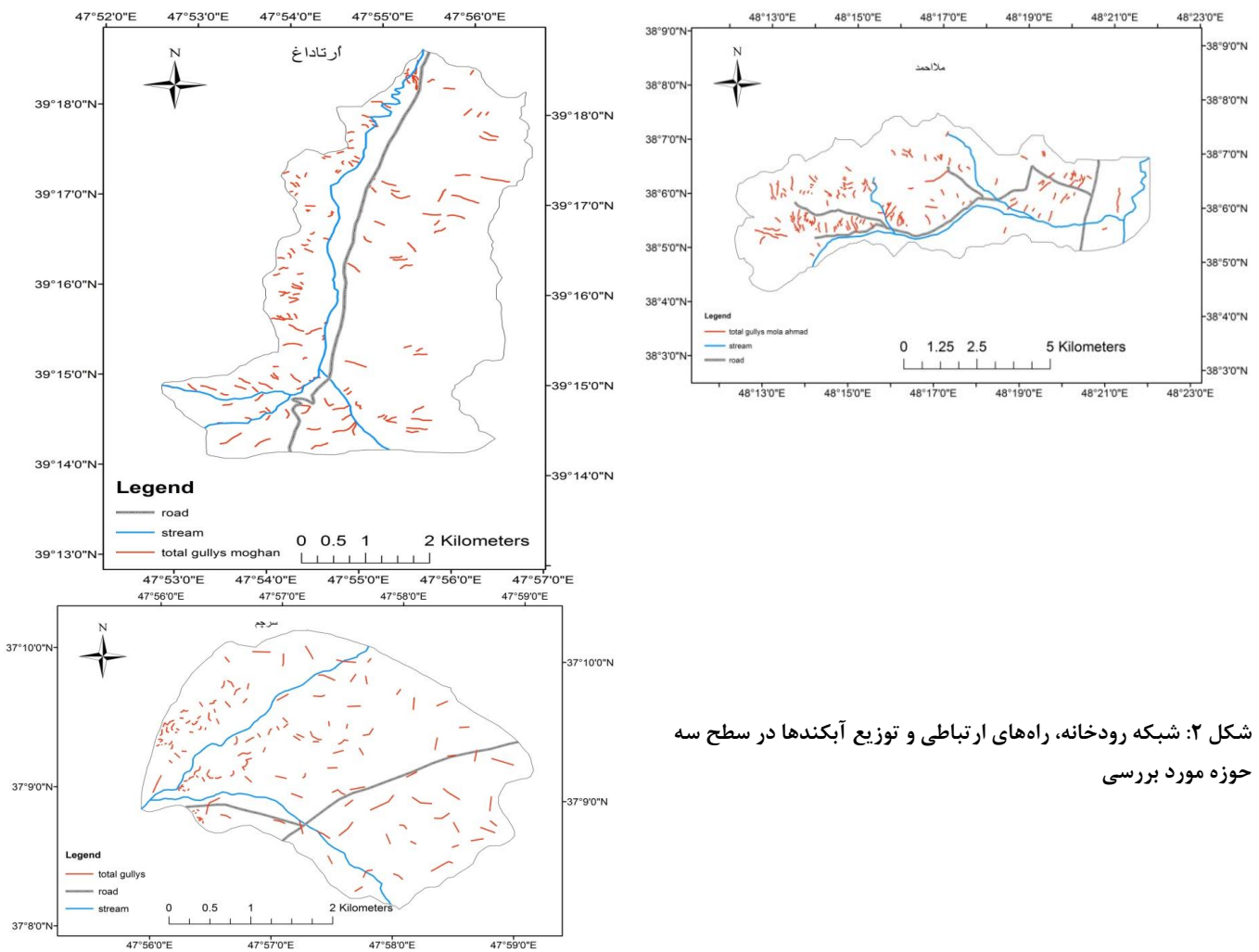
در این رابطه Dr نسبت تراکمی طبقه خطر  $A_i$ ، طول آبکندها در طبقه  $A_i$ ، مساحت طبقه  $A_i$  و  $n$  تعداد طبقات خطر است. هر چه Dr یک طبقه خطر بیشتر باشد نشان دهنده تراکم آبکند بیشتر در آن طبقه نسبت به تراکم متوسط منطقه است، بنابراین هر چه پهنه بندی خطر دقیقتر باشد با افزایش خطر تشکیل آبکند در پهنه‌های تفکیک شده (از پهنه خطر خیلی کم تا بسیار پر خطر) مقدار Dr افزایش می‌یابد (متولی و اسماعیلی، ۱۳۹۱).

$$Qs = \sum_{i=1}^{i=n} ((Dr_i - 1)^2 \times S_i) \quad (3)$$

در این رابطه  $Q_s$  شاخص مجموع کیفیت پهنه بندی،  $DR_i$  نسبت تراکمی طبقه  $i$ ام و  $S_i$  نسبت مساحت طبقه خطر  $i$  به مساحت کل منطقه است. هر چه مقدار  $Q_s$  بیشتر باشد نشان دهنده دقت پهنه بندی بیشتر می‌باشد و اختلاف کمتر از  $0/1$  در این شاخص بین دو نقشه نشان دهنده دقت تقریباً مشابه می‌باشد (Yalcin, 2008).

## نتایج

همان طور که گفته شد ابتدا آبکندهای موجود در سطح سه حوزه آبخیز مورد بررسی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدید صحرایی تعیین شدند، که در شکل ۲ نقشه توزیع آبکندها در سطح سه حوزه نشان داده شده است. به طور کلی میانگین تراکم آبکندها در منطقه آرتاداغ  $0/84 \text{ Km/Km}^2$ ، در ملاحمد  $0/74 \text{ Km/Km}^2$  و در منطقه سرچم  $1/4 \text{ Km/Km}^2$  می‌باشد.



شکل ۲: شبکه رودخانه، راه‌های ارتباطی و توزیع آبکندها در سطح سه حوزه مورد بررسی

پس از تهیه نقشه طبقات هشت عامل مورد بررسی، تراکم آبکندها در هر یک از طبقات عوامل مختلف محاسبه شد. به علت تعداد زیاد نقشه‌های توزیع آبکندها در طبقات عوامل هشت گانه (هشت نقشه برای هر منطقه)، نتایج این بخش به صورت تراکم آبکندها در هر طبقه عوامل مورد بررسی، به طور خلاصه در جدول ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برای منطقه آرتاداغ، ملاحمد و سرچم ارائه شده است. در ستون اول این جداول طبقات مختلف عوامل به صورت شماره ۱ تا ۸ بیان شده‌اند و در زیر نویس جدول نیز برای هر عامل شماره طبقات معرفی شده‌اند. در ستون‌های مربوط به هر عامل نیز تراکم آبکندها در هر طبقه عامل با واحد  $\text{Km/Km}^2$  ارائه شده است.

جدول ۲: تراکم آبکند در طبقات مختلف عوامل مورد بررسی در منطقه آرتا داغ

تراکم آبکند ( $Km/Km^2$ )								
طبقات عوامل *	جهت شیب	درصد شیب	ارتفاع	زمین شناسی	کاربری زمین	درصد تاج پوشش گیاهی	فاصله از جاده	فاصله از آبراهه
۱	۰/۶	۰/۷	۱	۰/۹	۰/۷۷	۱/۴۴	۰/۸۵	۱/۸
۲	۰/۸	۰/۹۱	۰/۷۲	۱/۵	۱/۱۵	۰/۷۲	۰/۸۶	۱/۴۱
۳	۰/۷	۱/۲۴	۱/۴۲	۱/۲۵		۱/۱۱	۱/۰۸	۱/۳۳
۴	۱/۱	۰/۷۵	۰/۷۴	۰/۲۱		۰/۶۹	۱/۱۷	۱/۲۳
۵	۰/۴	۰/۷	۲/۷	۱/۲۷			۰/۶۶	۰/۴۸
۶	۰/۵۵			۰/۵۲				
۷	۰/۶			۲/۲۶				
۸	۰/۷			۰/۸۲				

\* طبقات جهت شیب: ۱ (N)، ۲ (S)، ۳ (E)، ۴ (W)، ۵ (NE)، ۶ (NW)، ۷ (SE) و ۸ (SW).

\* طبقات درصد شیب: ۱ (&lt;math&gt;0-10\%&lt;/math&gt;)، ۲ (&lt;math&gt;10-20\%&lt;/math&gt;)، ۳ (&lt;math&gt;20-30\%&lt;/math&gt;)، ۴ (&lt;math&gt;30-40\%&lt;/math&gt;) و ۵ (&lt;math&gt;40-50\%&lt;/math&gt;).

\* طبقات ارتفاع: ۱ (۳۰۰-۴۰۰ متر)، ۲ (۴۰۰-۵۰۰ متر)، ۳ (۵۰۰-۶۰۰ متر)، ۴ (۶۰۰-۷۰۰ متر) و ۵ (&gt;۷۰۰ متر).

\* زمین شناسی به ترتیب از ۱ تا ۸: Qt1 (تراس‌های قدیمی، توف‌های سیلتی و رسی)، OMz4 (سنداستون سیلتی و رسی)، M4 (سنداستون و کنگلومرای سیلتی و رسی)، M1 (سنداستون و دولومیت سیلتی و رسی)، Qt2 (تراس‌های جوان و فن‌ها)، Qba (توف و سنگ آهک)، M3 (سنداستون و کنگلومرای گچی) و M5 (کنگلومرا، سنداستون و سیلت و رس).

\* طبقات کاربری زمین: ۱ (کشاورزی) و ۲ (مرتع).

\* طبقات درصد تاج پوشش گیاهی: ۱ (&lt;math&gt;0-30\%&lt;/math&gt;)، ۲ (&lt;math&gt;30-40\%&lt;/math&gt;)، ۳ (&lt;math&gt;40-50\%&lt;/math&gt;) و ۴ (&lt;math&gt;50-60\%&lt;/math&gt;).

\* طبقات فاصله از جاده: ۱ (۱۵۰ متر)، ۲ (۳۰۰ متر)، ۳ (۶۰۰ متر)، ۴ (۱۰۰۰ متر) و ۵ (&gt;۱۰۰۰ متر).

\* طبقات فاصله از آبراهه: ۱ (۱۵۰ متر)، ۲ (۳۰۰ متر)، ۳ (۶۰۰ متر)، ۴ (۱۰۰۰ متر) و ۵ (&gt;۱۰۰۰ متر).

جدول ۳: تراکم آبکند در طبقات مختلف عوامل مورد بررسی در منطقه ملا احمد

تراکم آبکند ( $Km/Km^2$ )								
طبقات عوامل *	جهت شیب	درصد شیب	ارتفاع	زمین شناسی	کاربری زمین	درصد تاج پوشش گیاهی	فاصله از جاده	فاصله از آبراهه
۱	۰/۵۵	۰/۳	۰/۴۷	۰/۹۵	۰/۳۷	۱/۸۳	۰/۲۷	۰/۲۷
۲	۰/۷۷	۱/۶۳	۰/۷۵	۰/۶۷	۱/۳۲	۲/۸۴	۰/۷۵	۰/۴۸
۳	۰/۱۸	۴/۵۶	۱/۱	۰/۱		۰/۳	۱	۰/۶۲
۴	۰/۶۹	۵	۰/۵۵	۰/۲		۰/۳	۰/۹۴	۰/۱۶
۵	۰/۲۴	۱۱				۰/۶	۰/۳۶	۰/۸۶
۶	۰/۵					۰/۲۵		
۷	۰/۳۸							
۸	۰/۷							

\* طبقات جهت شیب: ۱ (N)، ۲ (S)، ۳ (E)، ۴ (W)، ۵ (NE)، ۶ (NW)، ۷ (SE) و ۸ (SW).

\* طبقات درصد شیب: ۱ (&lt;math&gt;0-10\%&lt;/math&gt;)، ۲ (&lt;math&gt;10-20\%&lt;/math&gt;)، ۳ (&lt;math&gt;20-30\%&lt;/math&gt;)، ۴ (&lt;math&gt;30-40\%&lt;/math&gt;) و ۵ (&lt;math&gt;40-50\%&lt;/math&gt;).

\* طبقات ارتفاع: ۱ (۱۴۰۰-۱۵۰۰ متر)، ۲ (۱۵۰۰-۱۶۰۰ متر)، ۳ (۱۶۰۰-۱۷۰۰ متر) و ۴ (۱۷۰۰-۱۸۰۰ متر).

\* زمین شناسی به ترتیب از ۱ تا ۴: Ng1 (توف‌های آذرین)، Ng4 (مارن و کنگلومرای فیهوای)، Qt1 (تراس‌های قدیمی) و Qt2 (تراس‌های جوان و الویال فن‌ها).

\* طبقات کاربری زمین: ۱ (کشاورزی) و ۲ (مرتع).

\* طبقات درصد تاج پوشش گیاهی: ۱ (&lt;math&gt;0-20\%&lt;/math&gt;)، ۲ (&lt;math&gt;20-30\%&lt;/math&gt;)، ۳ (&lt;math&gt;30-40\%&lt;/math&gt;)، ۴ (&lt;math&gt;40-50\%&lt;/math&gt;) و ۵ (&lt;math&gt;50-60\%&lt;/math&gt;).



- \* طبقات فاصله از جاده: ۱ (۱۵۰ متر)، ۲ (۳۰۰ متر)، ۳ (۶۰۰ متر)، ۴ (۱۰۰۰ متر) و ۵ (< ۱۰۰۰ متر).
- \* طبقات فاصله از آبراهه: ۱ (۱۵۰ متر)، ۲ (۳۰۰ متر)، ۳ (۶۰۰ متر)، ۴ (۱۰۰۰ متر) و ۵ (< ۱۰۰۰ متر).

جدول ۴: تراکم آبکند در طبقات مختلف عوامل مورد بررسی در منطقه سرچم

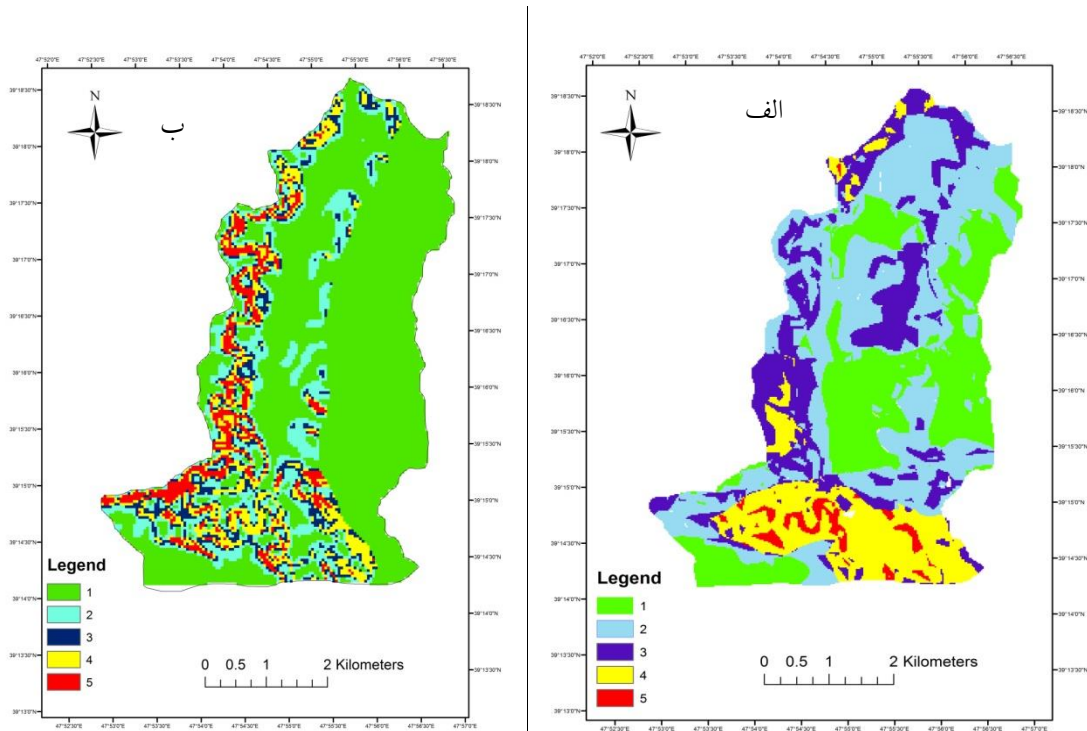
تراکم آبکند ( $\text{Km}/\text{Km}^2$ )								
طبقات عوامل *	جهت شیب	درصد شیب	ارتفاع	زمین شناسی	کاربری زمین	درصد تاج پوشش گیاهی	فاصله از جاده	فاصله از آبراهه
۱	۰/۹۶	۴/۴	۰/۸۵	۱/۱	۰/۹۶	۱/۸۸	۱/۳۲	۱/۲۹
۲	۰/۶۶	۵/۲	۱	۲/۳	۱/۷۷	۱/۴۲	۰/۹۲	۱/۵۳
۳	۰/۳۳	۲	۰/۵۶	۰/۸		۰/۹۱	۱/۱۲	۱/۵۸
۴	۱/۱۵	۱/۷					۱/۲۴	۱/۴۹
۵	۰/۶۱	۳/۹					۱/۹۵	۱/۴
۶	۰/۸۱							
۷	۰/۳۴							
۸	۰/۵۳							

- \* طبقات جهت شیب: ۱ (N)، ۲ (S)، ۳ (E)، ۴ (W)، ۵ (NE)، ۶ (NW)، ۷ (SE) و ۸ (SW).
- \* طبقات درصد شیب: ۱ (< ۱۰٪)، ۲ (۱۰-۲۰٪)، ۳ (۲۰-۳۰٪)، ۴ (۳۰-۴۰٪) و ۵ (> ۴۰٪).
- \* طبقات ارتفاع: ۱ (۱۱۰۰-۱۲۰۰ متر)، ۲ (۱۲۰۰-۱۳۰۰ متر) و ۳ (۱۳۰۰-۱۴۰۰ متر).
- \* زمین شناسی به ترتیب از ۱ تا ۳: Ng4 (مارن و گنگلو مرای قهوه‌ای)، Ng2 (مارن‌های گچی) و Qt2 (تراس‌های جوان و الویال فن‌ها).
- \* کاربری زمین: ۱ (کشاورزی) و ۲ (مرتع).
- \* طبقات درصد تاج پوشش گیاهی: ۱ (> ۵٪)، ۲ (۵-۱۵٪) و ۳ (۱۵-۲۵٪).
- \* طبقات فاصله از جاده: ۱ (۱۵۰ متر)، ۲ (۳۰۰ متر)، ۳ (۶۰۰ متر)، ۴ (۱۰۰۰ متر) و ۵ (< ۱۰۰۰ متر).
- \* طبقات فاصله از آبراهه: ۱ (۱۵۰ متر)، ۲ (۳۰۰ متر)، ۳ (۶۰۰ متر)، ۴ (۱۰۰۰ متر) و ۵ (< ۱۰۰۰ متر).

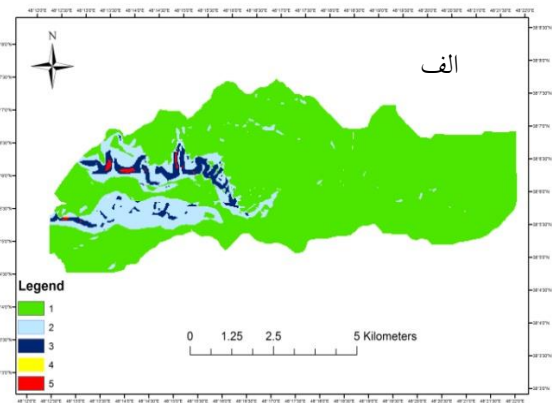
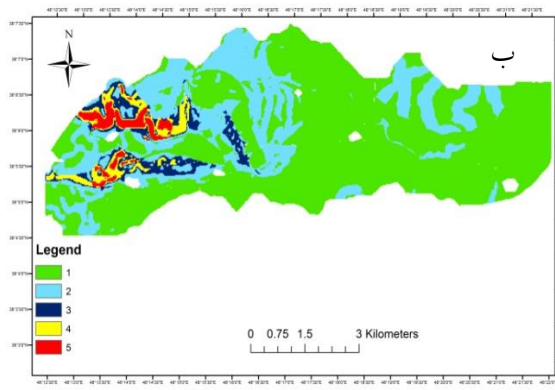
به طور کلی مشاهده می‌شود در مورد عامل جهت شیب در دو منطقه آرتاداغ و ملااحمد شیب‌های رو به جنوب و غرب دارای تراکم آبکند بیشتری می‌باشند که این امر می‌تواند به علت دریافت انرژی خورشیدی بیشتر و در نتیجه کاهش میزان مواد آلی و پوشش گیاهی خاک باشد، ولی در منطقه سرچم این روند وجود ندارد و تنها جهت غربی دارای تراکم آبکند بیشتری است. در پژوهش‌های دیگر نیز تراکم بیشتر فرسایش آبکندی در شیب‌های جنوبی به علت میکروکلیمای خشک‌تر آن نشان داده شده است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲). برای عامل درصد شیب، در منطقه ملااحمد با افزایش شیب تراکم آبکند به شدت افزایش می‌یابد، که بیانگر تاثیر بیشتر رواناب سطحی در ایجاد آبکندها است (Morgan and Mngomezulu, 2003). در منطقه آرتاداغ با افزایش شیب تا طبقه سوم (۲۰-۳۰٪) تراکم افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد، این روند می‌تواند نشانگر تاثیر توام دو فرآیند جریان سطحی و زیر زمینی در تشکیل آبکند باشد. حسین زاده و همکاران (۱۳۹۰) نیز وجود بیشترین تراکم آبکند در طبقه شیب ۲۰-۳۰٪ در اثر تاثیر همزمان جریان سطحی و زیر سطحی تشکیل آبکند را گزارش نمودند. در منطقه سرچم روند خاصی بین عامل شیب و تراکم آبکند وجود ندارد و شیب‌های کمتر دارای تراکم آبکند بیشتری می‌باشند که بیانگر تاثیر فرسایش زیر زمینی در تشکیل آبکندها است. ثروتی و همکاران (۱۳۹۳) نیز وجود بیشترین تراکم آبکند در شیب‌های کمتر از ۱۰ درصد را در اثر ایجاد آبکند با فرسایش زیر زمینی نشان دادند. در عامل ارتفاع از سطح دریا نیز منطقه آرتاداغ و ملااحمد بطور نسبی دارای روند افزایش تراکم آبکند با افزایش ارتفاع بودند و در منطقه سرچم نیز همین روند با شدت کمتری وجود دارد. با توجه به اینکه با افزایش ارتفاع منطقه میزان بارش افزایش می‌یابد، در مناطقی که رواناب سطحی عامل اصلی تشکیل آبکند است با افزایش ارتفاع تراکم افزایش می‌یابد (Kakembo et al, 2003). بطور کلی رابطه تراکم آبکند با عوامل توپوگرافی مورد بررسی (شیب، جهت شیب و ارتفاع) نشان دهنده شرایط هیدرولوژیکی متفاوت تشکیل آبکند در سه منطقه است.

در عامل زمین شناسی، در هر سه منطقه سطوحی که از سازندهای حاوی ذرات ریز دانه مانند سیلت و رس یا حاوی مواد با قابلیت انحلال بالا مانند مارن و مواد گچ دار پوشیده شده‌اند دارای بیشترین تراکم آبکند می‌باشند. وجود سازندهای ریز دانه و حساس به فرسایش احتمال تشکیل آبکند را در منطقه افزایش می‌دهد (Chaplot, 2013). در عامل کاربری زمین، زمین‌های بایر و مراتع نسبت به زمین‌های زراعی دارای تراکم بیشتری بوده‌اند و با افزایش عامل درصد تاج پوشش گیاهی نیز تراکم آبکند نسبتاً کاهش می‌یابد، هرچند این روند در آرتاداغ کامل نیست و افزایش و کاهش مشاهده می‌شود. در منطقه آرتاداغ و ملااحمد در عامل فاصله از جاده بیشترین تراکم در طبقه ۱۰۰۰ و ۶۰۰ متر مشاهده شد و در عامل فاصله از آبراهه با افزایش فاصله تراکم کاهش یافت، اما در منطقه سرچم روند معنی داری در مورد این دو عامل وجود نداشت و آبکندها در کل سطح منطقه پراکنده شده‌اند (شکل ۲). در پژوهش‌های دیگر نیز تاثیر احداث جاده و وجود آبراهه بر گسترش فرسایش آبکندی در طبقات مختلف فاصله از آنها نشان داده شده است (Valentin et al, 2005؛ انتظاری و همکاران، ۱۳۹۲).

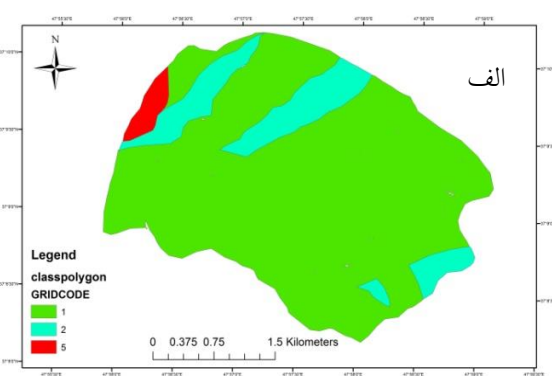
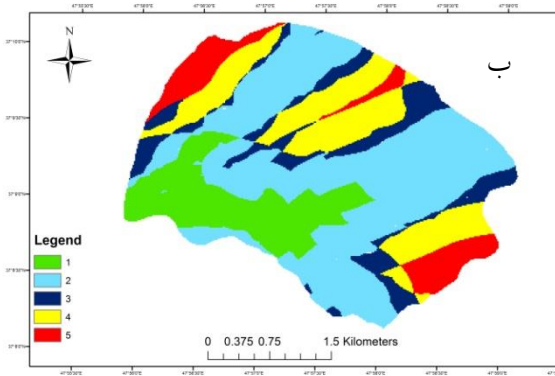
پس از تهیه لایه‌های GIS عوامل، پهنه بندی خطر تشکیل آبکند با دو روش AHP و گامای ۰/۸ فازی برای سه منطقه انجام شد که نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده با دو روش در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ به ترتیب برای آرتاداغ، ملااحمد و سرچم نشان داده شده است. در این نقشه‌ها سطح حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه به پنج پهنه خطر خیلی کم، خطر کم، خطر متوسط، پر خطر و بسیار پرخطر تقسیم شده است، که به ترتیب با شماره ۱ تا ۵ نشان داده شده است. همچنین مساحت و درصد سطح هر یک از پهنه‌های خطر به دست آمده با روش AHP در جدول شماره ۵ و با روش گامای ۰/۸ فازی در جدول شماره ۶ برای سه منطقه ارائه شده است.



شکل ۳: پهنه‌های خطر تشکیل آبکند در منطقه آرتاداغ (الف) با روش AHP و (ب) با روش گامای ۰/۸ فازی



شکل ۴: پهنه‌های خطر تشکیل آبکند در منطقه ملاحمد الف) با روش AHP و ب) با روش گامای ۰/۸ فازی



شکل ۵: پهنه‌های خطر تشکیل آبکند در منطقه سرچم الف) با روش AHP و ب) با روش گامای ۰/۸ فازی

جدول ۵: مساحت و درصد سطح طبقات خطر به دست آمده با روش AHP

منطقه	بسیار پر خطر		پرخطر		خطر متوسط		خطر کم		خطر خیلی کم	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
آرتاداغ	۱۲۴	۴/۵	۳۹۰	۱۴/۳	۵۳۳	۱۹/۵	۹۸۳	۳۶	۶۹۷	۲۵/۷
ملاحمد	۲۱۳	۴/۲	۳	۰	۱۶۵	۳/۳	۵۹۰	۱۲	۴۰۶۷	۸۰/۵
سرچم	۲۲	۲	۰	۰	۰	۰	۱۵۳	۱۴	۹۳۳	۸۴

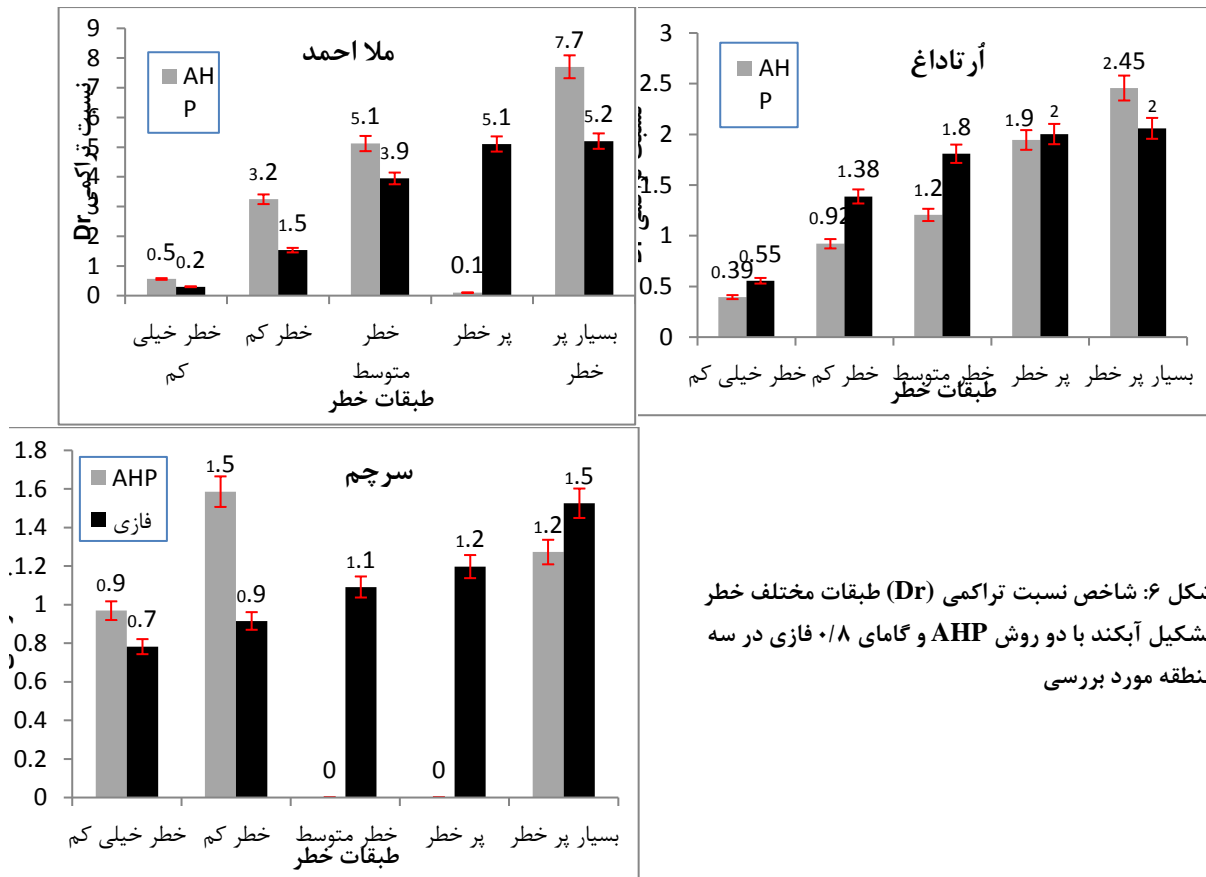
جدول ۶: مساحت و درصد سطح طبقات خطر به دست آمده با روش گامای ۰/۸ فازی

منطقه	بسیار پر خطر		پرخطر		خطر متوسط		خطر کم		خطر خیلی کم	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
آرتاداغ	۳۴۱	۱۳	۲۳۰	۹	۲۰۰	۷	۳۰۶	۱۱	۱۶۵۰	۶۰
ملاحمد	۱۶۵	۳/۳	۱۳۰	۲/۷	۲۱۰	۴	۱۳۲۰	۲۶	۳۲۱۸	۶۴
سرچم	۹۷	۹	۲۱۱	۱۹	۱۷۳	۱۵/۶	۴۴۹	۴۰/۳	۱۷۸	۱۶/۱

همان‌طور که مشاهده می‌شود در منطقه آرتاداغ با روش AHP در مجموع ۳۸/۳ درصد و با روش فازی ۲۹ درصد کل منطقه در محدوده دارای خطر متوسط و بیشتر از نظر تشکیل آبکند قرار دارند. با وجود اینکه در این حوزه روش AHP از نظر تشخیص

پهنه‌های خطر به خوبی عمل کرده ولی مناطق بسیار پر خطر و پر خطر را تنها در نواحی جنوبی حوزه تشخیص داده، در حالی که روش فازی توزیع بهتری از این دو پهنه ارائه داده است (شکل ۳) که با مشاهدات توزیع آبکندها در سطح منطقه (شکل ۲) انطباق بیشتری دارد. در منطقه ملاحمد با روش AHP، ۷/۵ درصد و بار روش فازی ۱۰ درصد سطح منطقه دارای خطر متوسط و بیشتر از نظر تشکیل آبکند می‌باشد که با توجه به مساحت زیاد این حوزه سطح قابل توجهی می‌باشد (۳۸۱ و ۵۰۵ هکتار). مشاهده می‌شود در این منطقه نیز پهنه بندی به روش فازی نسبت به AHP (شکل ۴) پهنه‌های خطر را بهتر تشخیص داده و این پهنه‌ها انطباق بیشتری با توزیع آبکندها در منطقه دارد (شکل ۲). در منطقه سرچم روش AHP تنها دو درصد سطح منطقه را در پهنه خطرناک قرار داده و سایر مناطق را دارای خطر کم و خیلی کم تشخیص داده، که این وضعیت با شرایط واقعی و توزیع آبکندها در سطح کل حوزه مطابقت ندارد (شکل ۲). در مقابل روش فازی ۴۳/۶ درصد حوزه سرچم را در پهنه دارای خطر متوسط و بیشتر از نظر تشکیل آبکند قرار داده است، که با توزیع واقعی آبکندها در سطح منطقه انطباق خوبی دارد. به روش مشابه این پژوهش و با استفاده از عملگر گامای ۰/۸ فازی، در حوزه طرود نیز ۶۲ درصد سطح منطقه در پهنه دارای خطر بالا از نظر تشکیل آبکند تشخیص داده شد (شادفر، ۱۳۹۳). به نظر می‌رسد در هر سه منطقه روش پهنه‌بندی گامای ۰/۸ فازی انطباق بیشتری با شرایط واقعی دارد و دارای دقت پهنه بندی بیشتری است، با این وجود روش AHP نیز در منطقه آرتاداغ دقت خوب و در منطقه ملاحمد دقت قابل قبولی داشت ولی در منطقه سرچم فاقد دقت بود. پژوهش‌های دیگر نیز دقت بیشتر روش فازی را نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، در پهنه‌بندی خطر فرسایش گزارش کرده‌اند (Gorsevski et al, 2006; Dube et al, 2014).

به منظور مقایسه بهتر دقت دو روش پهنه‌بندی مورد استفاده و بررسی کارایی آنها در تشخیص پهنه‌های خطر، لازم است مقایسه دو روش با استفاده از شاخص‌های کمی صورت گیرد، که برای این منظور شاخص نیمه کمی نسبت تراکمی (Dr) و شاخص کمی مجموع کیفیت تعیین شد (Yalcin, 2008). در شکل ۶ شاخص نسبت تراکمی پهنه‌های خطر به دست آمده از دو روش پهنه‌بندی، برای سه منطقه پژوهش ارائه شده است. همان‌طور که ذکر شده در صورت دقیق بودن پهنه‌بندی با افزایش سطح خطر پهنه، این شاخص افزایش می‌یابد بنابراین بایستی مقدار Dr از پهنه خطر خیلی کم تا پهنه بسیار پر خطر روند افزایشی داشته باشد (Gee, 1992؛ متولی و اسماعیلی، ۱۳۹۱).



شکل ۶: شاخص نسبت تراکمی (Dr) طبقات مختلف خطر تشکیل آبکند با دو روش AHP و گامای ۰/۸ فازی در سه منطقه مورد بررسی

همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو روش پهنه بندی در منطقه آرتاداغ با افزایش سطح خطر پهنه، مرتبا شاخص Dr آن پهنه نیز افزایش می‌یابد. بنابراین هر دو روش با این شاخص دارای دقت قابل قبولی می‌باشند. در منطقه ملاحمد شاخص Dr پهنه‌های خطر به دست آمده با روش فازی مرتبا افزایش می‌یابد. با وجود روند افزایشی Dr پهنه‌ها در مورد روش AHP، ولی کاهش یکباره آن در پهنه پرخطر نیز دیده می‌شود. بنابراین با وجود دقت نسبی روش AHP در پهنه‌بندی خطر تشکیل آبکند این منطقه، روش گامای ۰/۸ فازی از دقت بیشتری در تشخیص پهنه‌ها برخوردار می‌باشد. در سرچم نیز وجود روند کاملا افزایشی شاخص Dr پهنه‌ها به ترتیب افزایش میزان خطر آن در روش فازی نشان دهنده کارایی کاملا مطلوب این روش در پهنه‌بندی خطر فرسایش آبکندی این منطقه است. در مقابل عدم وجود روند در شاخص Dr پهنه‌های خطر به دست آمده به روش AHP بیانگر عدم کارایی این روش در پهنه‌بندی صحیح منطقه سرچم می‌باشد.

در نهایت در جدول شماره ۷ پهنه‌بندی خطر تشکیل آبکند به دست آمده با دو روش AHP و فازی، در هر منطقه با شاخص کمی مجموع کیفیت (Qs) با یکدیگر مقایسه شدند. در مورد این شاخص نیز مشاهده می‌شود در هر سه منطقه روش فازی دارای کیفیت پهنه‌بندی بیشتری نسبت به AHP است. با این وجود در آرتاداغ اختلاف نسبتا کم شاخص Qs دو روش نشان می‌دهد روش AHP نیز دقت پهنه‌بندی قابل قبولی دارد. در مورد ملاحمد هر چند Qs روش فازی به میزان قابل توجهی بالاتر از AHP است، اما بالا بودن نسبی مقدار شاخص مجموع کیفیت در پهنه‌بندی به روش AHP، نشان می‌دهد این روش نیز می‌تواند دقت قابل قبولی در پهنه‌بندی خطر تشکیل آبکند داشته باشد. در منطقه سرچم مقدار بسیار بیشتر Qs روش پهنه‌بندی فازی نسبت به AHP بیانگر برتری کامل این روش در پهنه بندی دقیق خطر تشکیل آبکند در منطقه است. از طرفی مقدار بسیار کم شاخص Qs پهنه بندی به روش AHP نیز نشان دهنده عدم کارایی این روش در پهنه‌بندی صحیح خطر تشکیل آبکند در سطح منطقه سرچم است.

جدول ۷: شاخص مجموع کیفیت (QS) در سه منطقه برای دو روش پهنه بندی

شاخص مجموع کیفیت (QS)			
روش پهنه بندی	آرتاداغ	ملاحمد	سرچم
AHP	۰/۲۸	۱/۴۵	۰/۰۵
گامای فازی	۰/۶۸	۲/۵۹	۰/۷۷

به طور کلی مقایسه دو روش پهنه‌بندی تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و گامای ۰/۸ فازی، با روش‌های مختلف بررسی کیفی و توصیفی درصد پهنه‌های خطر، استفاده از شاخص نیمه کمی Dr و شاخص کمی QS نشان داد در هر سه منطقه روش فازی دقت پهنه‌بندی بیشتری نسبت به AHP دارد. روش AHP نیز با وجود دقت کمتر نسبت به روش فازی، در منطقه آرتاداغ و ملاحمد دقت قابل قبولی دارد ولی در منطقه سرچم فاقد دقت بوده و غیر قابل استفاده می‌باشد. پژوهش‌های دیگر در سایر نقاط دنیا نیز برتری روش فازی را نسبت به روش AHP برای پهنه‌بندی خطر گزارش کرده‌اند (Qilin et al, 2006; Gorsevski et al, 2014; Dube et al, 2011). با این وجود روش AHP نیز در صورت اجرای دقیق و شناسایی و وزن دهی صحیح عوامل موثر بر تشکیل آبکند می‌تواند روش مناسبی برای پهنه بندی خطر فرسایش آبکندی باشد (Qilin et al, 2011); انتظاری و همکاران، (۱۳۹۲).

### نتیجه‌گیری

به طور کلی مشاهده می‌شود در هر سه منطقه روش کمی و پیوسته فازی نسبت به روش کمی مقایسه‌ای AHP توانایی بیشتری در تشخیص پهنه‌های خطر فرسایش آبکندی دارد. با این وجود روش AHP نیز در مناطق آرتاداغ و ملاحمد که طبق رابطه توپوگرافی با تراکم آبکند، جریان رواناب سطحی عامل تشکیل آبکند بود کارایی لازم را در تشخیص پهنه‌های خطر دارد، اما در سرچم که طبق رابطه توپوگرافی با تراکم آبکند و مشاهدات صحرایی جریان زیرزمینی عامل اصلی تشکیل آبکند است روش AHP فاقد کارایی بود. این مساله می‌تواند به علت تعلق امتیاز بیشتر به عوامل توپوگرافی به ویژه شیب در مقایسات زوجی باشد. در مناطقی که جریان رواناب سطحی بر تشکیل آبکند موثر است عوامل توپوگرافی تاثیر مهمی بر شدت جریان و تشکیل آبکند دارد، در نتیجه دادن امتیاز بیشتر به شیب و عوامل توپوگرافی در مقایسات زوجی می‌تواند پیش بینی پهنه خطر را به شرایط واقعی نزدیک کند. در حالی که در نواحی مانند سرچم که رواناب عامل اصلی تشکیل آبکند نیست عوامل توپوگرافی نیز تاثیر کمتری بر تشکیل آبکند دارد و دادن امتیاز بالا به این عوامل در مقایسات زوجی، باعث خطا در پهنه‌بندی خطر می‌شود. در این نوع مناطق استفاده از روش فازی که برای وزن دهی عوامل از توابع عضویت پیوسته هر عامل به جای مقایسات دو به دو (که در AHP وجود دارد) استفاده می‌کند، نتایج به مراتب دقیقتری ارائه می‌دهد. در صورت استفاده از روش AHP در این مناطق نیز بایستی در مقایسات زوجی و وزن دهی به جای عوامل توپوگرافی و شیب، به عواملی که با فرسایش پذیری خاک زیر سطحی ارتباط دارد برتری بیشتری داد. در این مورد بایستی ویژگی‌های خاک زیر سطحی نیز در پهنه بندی مورد استفاده قرار گیرد.

### منابع

۱. اسفندیاری، ف.، جاوید، ا.، فتحی، م. ۱۳۹۲. بررسی قابلیت فرسایش خندقی با استفاده از مدل منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه سد گلستان -رودخانه قرناوه). دومین کنفرانس بین المللی مخاطرات محیطی.
۲. انتظاری، م.، ملکی، ا.، مرادی، خ.، الفتی، س. ۱۳۹۲. پهنه بندی فرسایش خندقی در حوضه آبریز دیره با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP). برنامه‌ریزی و آمایش فضا. شماره ۱۷، صفحات ۶۳-۸۶.
۳. ثروتی، م.، قهرودی، م.، کرمی، ع.، نجفی، ا. ۱۳۹۳. آستانه های ژئومورفولوژیکی آبکند زایی در حوزه آبریز کچیک، شمال شرق استان گلستان. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۳۲، صفحات ۲۳۱-۲۴۹.
۴. حسین زاده، م.، اسماعیلی، ر.، کلهر، س.، نصرتی، ک. ۱۳۹۰. ارزیابی تغییرات مکانی فرسایش آبراهه‌ایی تحت تاثیر عوامل محیطی در کجور با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. پژوهش‌های فرسایش محیطی. شماره ۱، صفحات ۱-۱۹.
۵. خطیبی، م. ۱۳۸۵. ویژگی‌های خندق‌ها و عوامل کنترل کننده‌ی فرآیندهای خندق زایی. مجله توسعه و جغرافیا. صفحات ۱۱۵-۱۳۶.

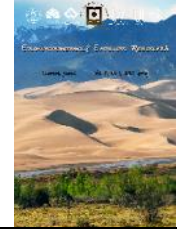
۶. روستائی، ش.، نیکجو، م.، حبیب زاده، ا. ۱۳۸۹. بررسی فرسایش پذیری اراضی در حوضه آبخیز بجوشن چای با استفاده از تئوری فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. جغرافیا و برنامه ریزی. شماره ۳۳، صفحات ۱۴۷-۱۷۶.
۷. شادفر، ص. ۱۳۹۳. کاربرد منطق فازی در بررسی فرسایش خندقی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: حوزه طرود). اطلاعات جغرافیایی. شماره ۲۳، صفحات ۳۵-۴۱.
۸. صوفی، م.، عیسانی، ح. ۱۳۸۸. برآورد حجم فرسایش آبکندی با استفاده از ویژگی های مورفومتریک و خاک در آبکندهای استان گلستان. مهندسی و مدیریت آبخیز. شماره ۲، صفحات ۷۳-۸۲.
۹. عرفانیان، م.، قهرمانی، پ.، سعادت، ح. ۱۳۹۲. تهیه نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک با استفاده از منطق فازی در حوزه آبخیز قرناوه گلستان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. شماره ۲۳، صفحات ۴۳-۵۲.
۱۰. متولی، ص.، اسماعیلی، ر. ۱۳۹۱. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان). پژوهشهای فرسایش محیطی. شماره ۸، صفحات ۱-۲۰.
۱۱. مقیمی، ا.، سلامی، ن. ۱۳۹۰. مکانیسم ژئومورفولوژیک تشکیل وتوسعه خندق در دامنه شمالی خروسلو قشلاق حاج محمد واقع در اردبیل. فصلنامه جغرافیایی سرزمین. شماره ۳۰، صفحات ۴۹-۶۱.
۱۲. مهرگان، م. ۱۳۸۳. پژوهش عملیاتی پیشرفته. چاپ اول. انتشارات کتاب دانشگاهی. ۳۲۰ ص.
13. Barreto-Neto, A., Filho, C.R. 2008. Application of fuzzy logic to the evaluation of runoff in a tropical watershed. *Environmental Modelling & Software*. 23:244-253.
14. Bouaziz, M., Leidig, M., Gloaguen, R. 2011. Optimal parameter selection for qualitative regional erosion risk monitoring: A remote sensing study of SE Ethiopia. *Geoscience Frontiers*. 2:237-245.
15. Chaplot, V. 2013. Impact of terrain attributes, parent material and soil types on gully erosion. *Geomorphology*. 186:1-11.
16. Deng, Q., Qin, F., Zhang, B., Wang, H., Luo, M., Shu, C., Liu, H., Liu, G. 2015. Characterizing the morphology of gully cross-sections based on PCA: A case of Yuanmou Dry-Hot Valley. *Geomorphology*. 228: 703-713.
17. Dlapa, P., Chrenková, K., Mataix-Solera, J., Šimkovic, I. 2012. Soil profile improvement as a by-product of gully stabilization measures. *Catena*. 92:155-161.
18. Dube, F., Nhapi, I., Murwira, A., Gumindoga, W., Goldin, J., Mashauri, D. A. 2014. Potential of weight of evidence modelling for gully erosion hazard assessment in Mbire District-Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*. 67:145-152.
19. Gee, M.D. 1992. Classification of Landslides Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability. In: Bell, Davi, H. (eds.), *Proceedings 6th International Symposium on Landslide*, 48-56.
20. Gorsevski, P.V., Jankowski, P., Gelssler, P.E. 2006. Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. *Control and Cybernetics*. 35: 1-26.
21. Kakembo, V., Xanga, W.W., Rowntree. 2003. Topographic Thresholds in Gully Development on the Hill Slopes of Communal Areas in Ngqushwa Local Municipality, Eastern Cape, South Africa", Department of Gepsiences, NelsonMandela Metropolitan University, Port Elizabeth, South Africa, 2003.
22. Kaufmann, M., Tobias, S., Schulin, R. 2009. Quality evaluation of restored soils with a fuzzy logic expert system. *Geoderma*. 151:290-302.
23. Morgan, R.P.C., Mngomezulu, D. 2003. Threshold conditions for initiation of valley-side gullies in the middle veld of Swaziland. *Catena*. 50:401-414.
24. Poesena, J., Nachtergaele, J., Verstraetena, G., Valentin, C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*. 50:91-133
25. Qilin, Y., Jiarong, G., Yue, W., Bintian, Q. 2011. Debris Flow Characteristics and Risk Degree Assessment in Changyuan Gully, Huairou District, Beijing. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2: 262 - 271.
26. Sidorchu, A. 1999. Dynamic and Static Models of Gully Erosion. *Catena*. 37:401-414.
27. Valentin, C. J., Poesen, J., Yong, Li. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*. 63:132-153.
28. Yalcin, A. 2008. GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey), Comparisons of results and confirmations. *Catena*. 72: 1-12.



Hormozgan University

# Environmental Erosion Research

journal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>



## Comparing the Analytic Hierarchy Process and fuzzy logic for zoning the risk of gully erosion in the three regions of the Ardebil province

Shahab, H.<sup>1</sup>, Emami, H.<sup>1\*</sup>, Haghnia, Gh.H.<sup>1</sup>, Esmali, A.<sup>2</sup>

1. Soil Science Department, Faculty of Agricultural, Ferdowsi University

2. Rangeland & Watershed Management Department, Faculty of Agricultural & Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University

### Abstract

Gully erosion is the most advanced water erosion in watersheds that produce large volumes of sediment can cause serious damage. In order to manage and cope with this type of erosion, to identify areas of high risk of gully erosion in the watershed is very important. For this purpose gully erosion hazard zonation maps by combining information layers of different factors affecting the formation of gullies is prepared on the basis of their importance. Analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy Gamma operator new and useful methods for weighting and combining various layers of information. This study aimed to compare two methods of zoning with AHP and fuzzy gamma 0.8 in three watersheds in the name of Orta dagh, Molla ahmd and Sarcham was conducted in Ardabil province. For zoning from eight factor include slope, aspect, elevation, land use, Plant cover, geology, distance from roads and distance from waterways that are important factors affecting the formation of gullies were used. For comparison of two methods to accurately determine the zoning of the area, two compression density ratios (Dr) and quality sum (Qs) was used. The results showed that Qs values for fuzzy gamma zoning method in OrtaDagh, Molla Ahmad and Sarcham respectively were 0.68, 2.59 and 0.77, while those of AHP were 0.28, 1.45 and 0.05. The Dr index in fuzzy method for all three watersheds had increasing trend that indicated this method is appropriate for 3 watersheds. Therefore in all three watersheds, fuzzy method has high accurate, and AHP method is acceptable accurate in Orta Dagh and Molla ahmad watersheds but its accurate in Sarcham was weak. In general for zoning of gully erosion risk using fuzzy gamma was suitable. However, if selection and weighting factors influenced the formation of gullies has careful, AHP can was a good method.

### Article History:

**Received:**  
March 15, 2016  
**Revised:**  
June 19, 2016  
**Accepted:**  
July 04, 2016

### Keywords:

**Gully formation factors,**  
**Density ratio,**  
**Quality sum,**  
**Zoning of gully formation risk**

\* Corresponding Author Email: [hemami@um.ac.ir](mailto:hemami@um.ac.ir)