

واژگان کلیدی: خطر زمین لغزش، مدل آماری دو متغیره وزنی، AHP، زیرحوزه‌های آبخیز چهل چای، استان گلستان

## پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل آماری دو متغیره وزنی AHP در زیرحوزه‌های چهل چای، استان گلستان

### مقدمه

زمین لغزش عبارتست از حرکت مواد تشکیل دهنده شیب، شامل صخره‌های طبیعی، خاک، انباشته‌های مصنوعی و یا مخلوطی از آنها که توسط نیروی ثقل به سمت پایین جابه‌جا می‌شوند [۱۷]. زمین لغزش‌ها نتیجه‌ی فرآیندهای مکانی - زمانی به هم وابسته شامل فرآیندهای هیدرولوژیک (بارش، تبخیر و آب زیرزمینی)، وزن پوشش گیاهی، مقاومت ریشه، وضعیت خاک، سنگ مادر، توپوگرافی و فعالیت‌های انسانی هستند [۱۸]. عوامل متعددی مانند شرایط زمین‌شناسی، شرایط آب‌شناختی، وضعیت پستی و بلندی، ریخت‌شناسی، آب و هوا و هوازدگی بر پایداری یک دامنه تأثیر گذاشته و می‌توانند باعث ایجاد لغزش شوند [۴].

برای پهنه‌بندی خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها و وقوع زمین لغزش‌ها ده‌ها مدل عددی با عوامل، وزن، نرخ، منطق محاسباتی و مقیاس متفاوت ابداع و در شرایط متنوع براساس شواهد زمینی و اسنجی اصلاح شده است [۱۲] و [۱۳]. ۳ رویکرد اصلی در ارزیابی خطر زمین لغزش وجود دارد: کیفی، نیمه‌کمی و کمی [۹]. روش‌های کمی بر پایه منطق ریاضی از همبستگی بین فاکتورهای موثر و وقوع زمین لغزش می‌باشند که شامل معادله همبستگی تحلیلی دو متغیره، چندمتغیره و لجیستیک، منطق فازی، تحلیل شبکه مصنوعی هستند [۲] و [۱۱]. روش‌های کیفی بر پایه نظرات کارشناسی می‌باشند. [۳]. مدل‌های کیفی که از روش‌های وزن‌دهی و نرخ‌دهی استفاده می‌کنند به عنوان روش‌های نیمه‌کمی شناخته می‌شوند [۱۹]، [۷] و [۵]. نمونه‌ای از مدل‌های کیفی تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> (AHP) [۱۳]، [۱۵] و [۶] و ترکیب خطی وزین<sup>۴</sup> (WLC) [۱] و [۸] می‌باشند. طبق این طبقه‌بندی مدل آماری دو متغیره وزنی AHP یک مدل نیمه‌کمی می‌باشد. شیرانی و همکاران [۱۶]، بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را با استفاده از ۴ روش آماری در پادانای علیای سمیرم انجام داده و مشخص کردند که به ترتیب روش‌های دو متغیره تحلیل ارزش اطلاعاتی و روش دو متغیره تراکم سطح در اولویت قرار می‌گیرند.

کلارستاقی و همکاران [۶] مطالعه وقوع زمین لغزش‌ها را در

ابراهیم کریمی سنگ چینی<sup>۱\*</sup> و مجید اونق<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۶/۱۹

### چکیده

در این پژوهش خطر زمین لغزش در زیرحوزه‌های آبخیز چهل چای با مدل آماری دو متغیره تراکم سطحی، وزن دهی شده با AHP به منظور تعیین مناطق خطر زمین لغزش برای مدیریت خطر و خسارت حوزه آبخیز مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا از طریق بازدید میدانی و استفاده از اطلاعات محلی و دستگاه GPS، از زمین لغزش‌های موجود (تعداد و مساحت) فهرست برداری شده و نقشه پراکنش زمین لغزش به تفکیک زیرحوزه‌ها تهیه گردید. با مرور منابع قبلی و بررسی شرایط حوزه آبخیز چهل چای ۹ عامل اعم از ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی و میزان بارش به عنوان عوامل موثر بر زمین لغزش (متغیر مستقل) انتخاب شده و نقشه خطر نسبی زمین لغزش با ۶ کلاس به ازای هر یک از آن‌ها تهیه شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بین فراوانی و مساحت زمین لغزش‌ها در زیر حوزه‌ها، بین تراکم سطحی در بین ۴ زیر حوزه، بین مساحت کلاس‌های خطر در هر زیرحوزه و نیز مساحت هر کلاس در بین زیرحوزه‌ها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی دار ولی تراکم عددی در بین ۴ زیر حوزه تفاوت معنی‌داری ندارد. در ۵۹ درصد از طبقات در زیرحوزه‌های متفاوت، رابطه معنی داری بین مساحت زمین لغزش و مساحت طبقات عوامل مختلف در سطح ۱ درصد وجود نداشت. همچنین نتایج پژوهش نشان می‌دهد که براساس درصد کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد، زیرحوزه‌های قلعه‌قافه (۵۱/۶٪)، خروجی (۱۹/۷٪)، چمانی (۱٪) و دوزین (۰٪) به ترتیب در رتبه‌های ۱ تا ۴ قرار می‌گیرند.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، E.karimi164@yahoo.com، نویسنده مسئول

۲- استاد و عضو هیئت علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، com.yahoo@mownegh

3- Analytical Hierarchy Process

4- Weighted Linear Combination

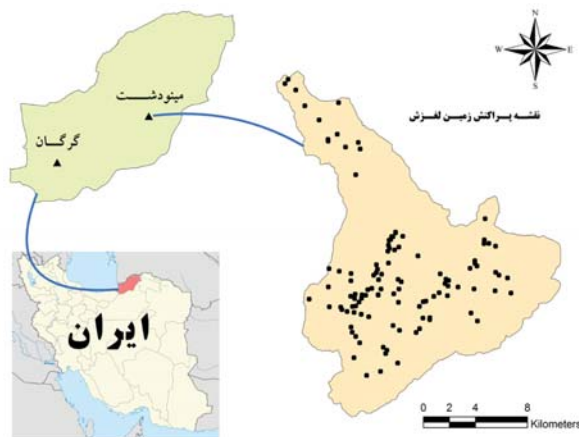
بر زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفت. نقشه خطر زمین لغزش در ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم بندی شد. در حدود ۲۶ درصد از منطقه مورد مطالعه در کلاس های زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت. ایلماز [۲۰] نقشه بندی استعداد زمین لغزش را با استفاده از مدل های نسبت فراوانی، آماری لجستیک و شبکه عصبی در ناحیه تاکات ترکیه انجام داد و به این نتیجه رسید که مدل نسبت فراوانی با یک مقدار داده کافی، می تواند به عنوان یک ابزار ساده در ارزیابی استعداد زمین لغزش استفاده شود.

هدف از این پژوهش پهنه بندی خطر زمین لغزش در زیر حوزه های آبخیز چهل چای با مدل آماری دو متغیره تراکم سطح، وزن دهی شده با روش سلسله مراتبی (AHP) به منظور تعیین مناطق خطر زمین لغزش و تعیین مناسب ترین روش پهنه بندی است.

## مواد و روش ها

### معرفی حوزه مورد تحقیق

چهل چای از حوزه های کوهستانی کشور با مختصات ۲۳° ۵۵' تا ۳۸° ۵۵' طول شرقی و ۳۶° ۵۹' تا ۳۷° ۱۳' عرض شمالی، دارای وسعت ۲۵۶۸۳/۱ هکتار می باشد. این حوزه از لحاظ تقسیمات سیاسی در محدوده شهرستان مینودشت و یکی از زیرحوزه های بزرگ گرگانرود می باشد. حداقل ارتفاع ۱۳۵ متر و حداکثر آن ۲۵۵۰ متر از سطح دریا می باشد. میانگین بارندگی سالانه حوزه برابر ۷۶۶/۵ میلی متر، حدود ۹۰ درصد بارش به صورت باران می باشد. از لحاظ زمین شناسی در حد وسط دو ایالت بزرگ ساختاری - رسوبی البرز شرقی و کپه داغ غربی قرار داشته، کتات سازندهای حوزه اکثراً از نوع گسلی می باشد. بیشترین سطح آن حدود ۶۰ درصد پوشیده از جنگل و اراضی زراعی بقیه سطح حوزه را دربرمی گیرد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز چهل چای در ایران و گلستان

### روش پژوهش

با انجام بازدید میدانی در حوزه، استفاده از اطلاعات محلی، دستگاه GPS و استفاده از نقشه پراکنش زمین لغزش تهیه شده

ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده سازی در حوزه آبخیز تجن، ساری انجام دادند و عوامل سنگ شناسی، جاده سازی و تغییر کاربری را برای حوزه مورد مطالعه موثر دانسته اند. شادفر و همکاران [۱۵] پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در حوزه آبخیز چالکروند تنکابن انجام دادند و عوامل سنگ شناسی، جاده سازی، تغییر کاربری و فاصله از آبراهه را برای حوزه مورد مطالعه موثر دانسته اند.

ملکی و قربانپور [۱۰] پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه چرمه شهرستان سنقر کرمانشاه را با استفاده از چهار روش تراکم سطح، قضاوت کارشناسی (تحلیل سلسله مراتبی)، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی نقشه های خطر زمین لغزش این حوزه تهیه کردند و به این نتیجه رسیدند که از بین نقشه های تهیه شده به روش های مذکور نقشه حاصل از روش کارشناسی بیشترین تناسب را با زمین لغزش های مشاهده شده در حوزه داشته است.

اونق [۱۴] پتانسیل خطر زمین لغزش آبخیز زیارت را با دو مدل وزنی (AHP) ۷ پارامتری استاتیک و دینامیک پهنه بندی و میزان انطباق دو نقشه خطر را از طرق شاخص کاپا محاسبه و با نقشه تراکم زمین لغزش مقایسه نموده و مدل استاتیک را برای آبخیز مناسب تر دانسته است.

کریمی سنگ چینی و همکاران [۵]، در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی و مقایسه مدل آماری دو متغیره در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز چهل چای، استان گلستان، ۴ روش مدل آماری دو متغیره، تراکم عددی و سطحی غبروزنی و وزنی (به روش AHP) را ارزیابی و مقایسه نمودند. ۹ عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از راه، کاربری اراضی و میزان بارش به عنوان عوامل موثر بر زمین لغزش انتخاب کردند. با استفاده از شاخص QS، مدل آماری دو متغیره تراکم سطح وزنی AHP را در این حوزه مناسب تر دانسته اند. مدل برتر قسمت های شمالی و خروجی حوزه را در کلاس های خطر زیاد و خیلی زیاد پهنه بندی کرد.

یالسین [۱۹]، نقشه سازی آسیب پذیری خطر زمین لغزش بر مبنای GIS با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل های آماری دو متغیره را در اردسن ترکیه انجام داد. در این مطالعه روش های تحلیل سلسله مراتبی، شاخص آماری Wi و فاکتور وزن دهی Wf برای تهیه و مقایسه نقشه های آسیب پذیری حاصل از این روش ها مورد استفاده قرار گرفتند. عوامل سنگ شناسی، پوشش گیاهی و شیب فاکتورهای مهمی در منطقه مورد مطالعه شناخته شدند. برای مقایسه نقشه های این روش ۳ نقشه پراکنش زمین لغزش استفاده شد. نتایج نشان داد که روش AHP نقشه شدت خطر واقعی تری را نسبت به روش های Wf و Wi ارائه کرد.

کلارستاقی و احمدی [۷]، تحلیل آسیب پذیری زمین لغزش با یک رویکرد دو متغیره و GIS را در شمال ایران انجام دادند. و روش تراکم سطح (دو متغیره) در ارزش دهی لایه های عوامل موثر

- A: مساحت لغزش‌های هر طبقه از عوامل  
 B: مساحت هر طبقه از عوامل  
 C: مساحت کل لغزش در حوزه  
 D: مساحت کل حوزه  
 Ra: نرخ تراکم سطح

جدول ۱- نقاط عطف ارزش پیکسل‌ها در طبقه‌بندی کلاس‌های خطر در حوزه آبخیز چهل چای

| کلاس خطر | طبقات نقشه پهنه‌بندی | نقاط عطف ارزش پیکسل‌ها |
|----------|----------------------|------------------------|
| ۱        | ناچیز                | $\geq 12/9$            |
| ۲        | خیلی کم              | $12/9$ تا $2/2$        |
| ۳        | کم                   | $2/2$ تا $7/7$         |
| ۴        | متوسط                | $7/7$ تا $18/3$        |
| ۵        | زیاد                 | $18/3$ تا $68/2$       |
| ۶        | خیلی زیاد            | $\geq 68/2$            |

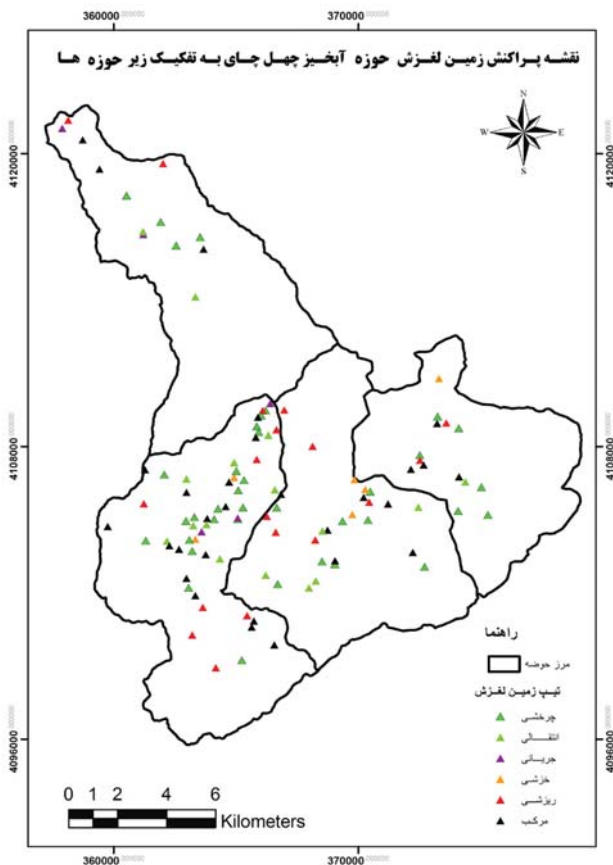
جهت بررسی رابطه بین مساحت زمین لغزش و مساحت طبقات عوامل ۹ گانه در هر زیر حوزه، تفاوت فراوانی و مساحت زمین لغزش بین زیرحوزه‌ها، تفاوت تراکم عددی و تراکم مساحتی در بین زیر

از تفسیر عکس هوایی و بازدید صحرایی (اداره آبخیزداری استان گلستان)، فهرست‌برداری و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تهیه گردید. مبنای کار زمین لغزش‌های با آستانه مساحتی یا بزرگی حداقل  $10 \times 10$  متر مربع انتخاب شد. با مرور منابع قبلی، مطالعات کتابخانه‌ای و با بررسی حوزه آبخیز چهل چای نه عامل ارتفاع، شیب، جهت، فاصله از آبراهه، فاصله از راه (نقشه پستی و بلندی ۱:۵۰۰۰۰ رقومی اداره آبخیزداری استان گلستان)، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ اداره آبخیزداری گلستان)، کاربری اراضی (از نقشه اداره آبخیزداری) و میزان بارش (از منحنی هم‌باران تهیه شده از آمار ایستگاه‌های مجاور حوزه از اداره آبخیزداری گلستان) به عنوان عوامل موثر بر زمین لغزش انتخاب گردیدند. در مرحله بعد مساحت و درصد زمین لغزش، نرخ تراکم سطح و درصد تراکم زمین لغزش در هر طبقه از عوامل ۹ گانه زمین لغزش محاسبه گردید.

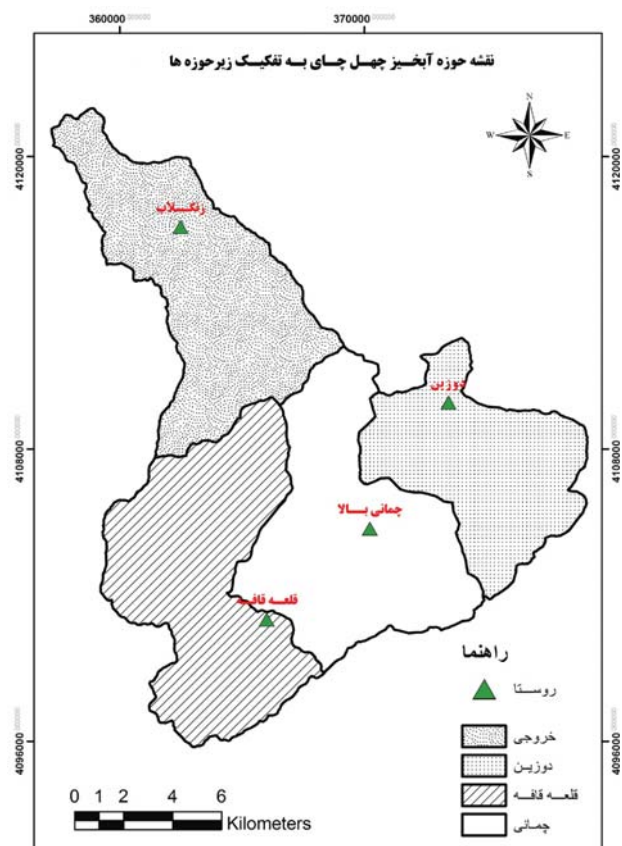
پهنه‌بندی خطر زمین لغزش براساس تراکم سطحی وزنی AHP با مقایسات زوجی توسط ۸ متخصص هیئت علمی و ۶ متخصص اجرایی و با نرم‌افزار Expert\_Choice انجام شد. با استفاده از رابطه زیر نقشه شدت خطر تهیه، و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها (جدول ۱) در ۶ کلاس طبقه‌بندی گردید.

$$Ra = 1000 \times (A/B) - 1000 \times (C/D)$$

رابطه نرخ تراکم سطح:



شکل ۳- نقشه پراکنش زمین لغزش حوزه آبخیز چهل چای به تفکیک زیرحوزه‌ها



شکل ۲- نقشه حوزه آبخیز چهل چای به تفکیک زیرحوزه‌ها

جدول ۲- فراوانی و مساحت زمین لغزش زیر حوزه‌های چهل چای

| زیر حوزه  | مساحت (ha) | درصد مساحت | تعداد لغزش | درصد تعداد | مساحت لغزش (ha) | درصد مساحت |
|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------------|------------|
| چمانی     | ۶۸۳۵/۹     | ۲۶         | ۲۸         | ۲۵/۲       | ۲۶۷/۴           | ۳۲         |
| قلعه قافه | ۷۱۲۵/۶     | ۲۷/۷       | ۵۷         | ۵۱/۴       | ۵۰۵/۲           | ۴۲/۶       |
| دوزین     | ۵۰۴۶/۳     | ۱۹/۶       | ۱۴         | ۱۲/۶       | ۳۴/۹            | ۲/۹        |
| خروجی     | ۶۶۷۵/۴     | ۲۶/۶       | ۱۳         | ۱۱/۷       | ۳۷۹/۹           | ۲۲/۵       |

جدول ۳- مقایسه یکپارچه نتایج آزمون های آماری

| شماره | تفاوت                                 | Df | X <sup>۲</sup> | سطح تفاوت |
|-------|---------------------------------------|----|----------------|-----------|
| ۱     | فراوانی های زمین لغزش بین زیر حوزه ها | ۳  | ۴۳/۴           | ۰/۰۱      |
| ۲     | مساحت زمین لغزش در بین زیر حوزه ها    | ۳  | ۴۰۳/۴          | ۰/۰۱      |
| ۳     | مساحت کلاس های خطر در زیر حوزه ها     | ۵  | ۳۹۹/۸          | ۰/۰۱      |
|       |                                       | ۵  | ۸۴۷/۹          | ۰/۰۱      |
|       |                                       | ۵  | ۷۲۶/۲          | ۰/۰۱      |
|       |                                       | ۵  | ۱۴۶۴           | ۰/۰۱      |
| ۴     | مساحت کلاس های خطر در بین زیر حوزه ها | ۳  | ۵۰۱۱/۵         | ۰/۰۱      |
|       |                                       | ۳  | ۳۰۰/۴          | ۰/۰۱      |
|       |                                       | ۳  | ۲۶۱            | ۰/۰۱      |
|       |                                       | ۳  | ۵۴۶/۲          | ۰/۰۱      |
|       |                                       | ۳  | ۱۰۵۵/۸         | ۰/۰۱      |
|       |                                       | ۳  | ۴۴۲/۱          | ۰/۰۱      |
| ۶     | تراکم عددی در بین زیر حوزه ها         | ۳  | ۷/۳            | *         |
| ۸     | تراکم سطحی بین زیر حوزه ها            | ۳  | ۵۶۸/۶          | ۰/۰۱      |

بر اساس فهرست برداری میدانی در کل حوزه تعداد ۱۱۱ زمین لغزش با نظم فضایی متفاوتی پراکنش دارند. مجموع سطح لغزش یافته در حوزه ۱۱۹۲/۱ هکتار می باشد که معادل ۴/۶ درصد سطح آبخیز است (شکل ۳).

### ۳- آزمون آماری

پس از بررسی رابطه بین مساحت زمین لغزش و مساحت طبقات عوامل نه گانه در هر زیرحوزه با استفاده از آزمون کای اسکوتر مشخص شد که در ۵۹ درصد از طبقات در زیرحوزه های متفاوت، رابطه معنی داری بین مساحت زمین لغزش و مساحت طبقات عوامل مختلف در زیرحوزه ها در سطح ۱ درصد وجود نداشت و در ۴۱/۱

حوزه ها و همچنین تفاوت مساحت کلاس های خطر به تفکیک زیر حوزه ها و کل حوزه ها از آزمون کای اسکوتر استفاده گردید.

### نتایج

#### ۱- زیر حوزه های آبخیز چهل چای

حوزه آبخیز چهل چای به چهار زیر حوزه تقسیم شد و در هر یک از زیر حوزه ها جداگانه اقدام به پهنه بندی خطر زمین لغزش شد (شکل ۲ و جدول ۲).

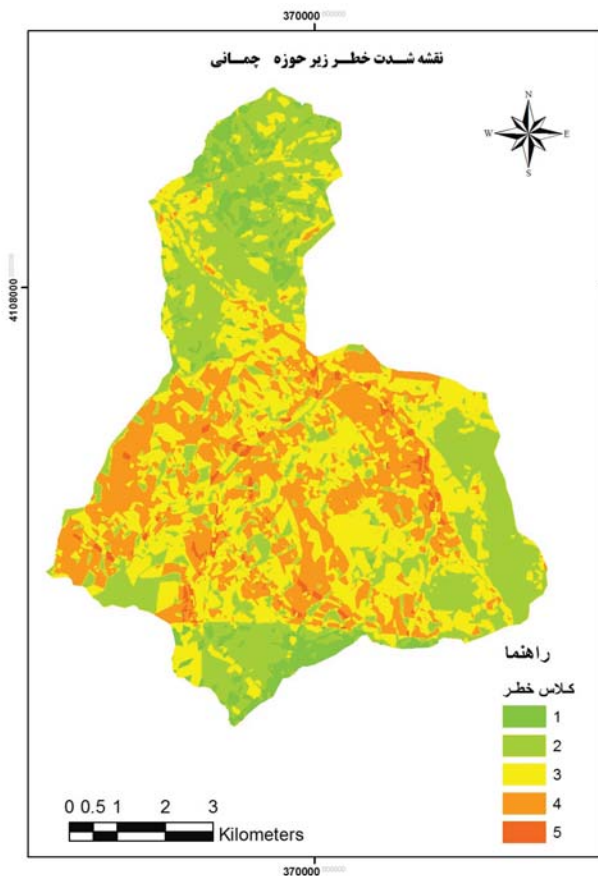
#### ۲- پراکنش زمین لغزش حوزه

1- Chi square(x<sup>2</sup>)

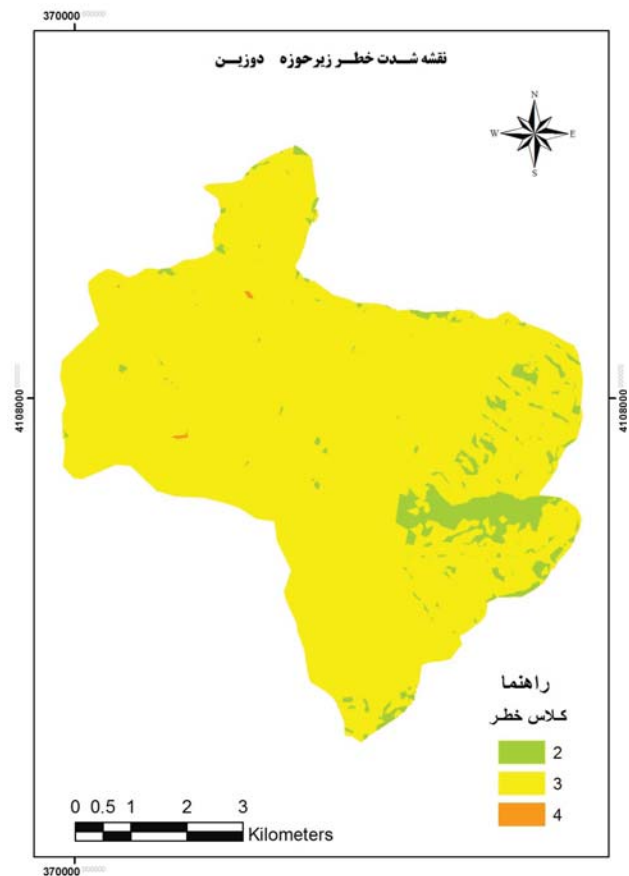
چگونگی اعمال وزن AHP برای تهیه نقشه خطر در زیر آورده شده است:  
 نقشه خطر زمین لغزش با مدل آماری دو متغیره وزنی AHP = (نقشه نرخ طبقات بارش  $\times 0/246$ ) + (نقشه نرخ طبقات شیب  $\times 0/225$ ) + (نقشه نرخ طبقات سنگ شناسی  $\times 0/164$ ) + (نقشه نرخ طبقات جهت شیب  $\times 0/088$ ) + (نقشه نرخ طبقات کاربری  $\times 0/08$ ) + (نقشه نرخ طبقات فاصله از جاده  $\times 0/062$ ) + (نقشه نرخ طبقات فاصله از گسل  $\times 0/062$ ) + (نقشه نرخ طبقات فاصله از آبراهه  $\times 0/048$ ) + (نقشه ارتفاع  $\times 0/023$ ).  
 برای محاسبه وزن نهایی از روش میانگین هندسی استفاده گردید.

جدول ۴- مقایسات زوجی و تعیین وزن نهایی عوامل مختلف موثر بر زمین لغزش

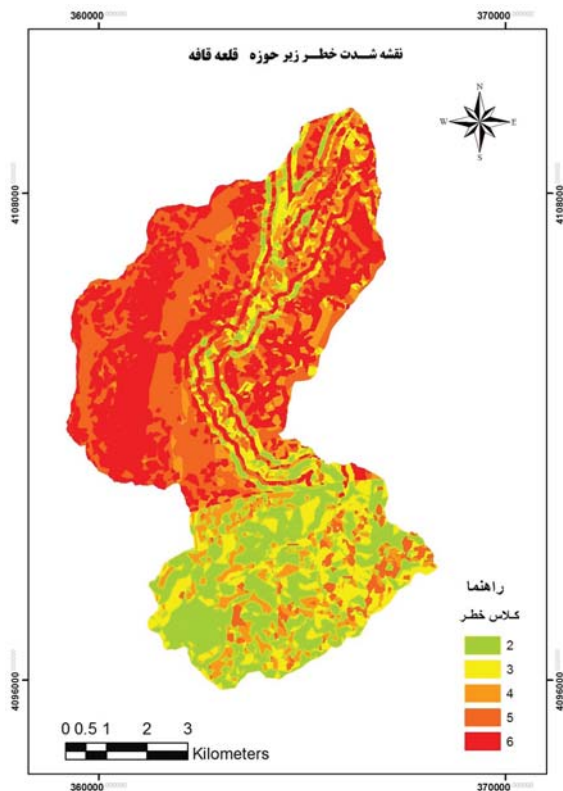
| ارتفاع | فاصله از آبراهه | فاصله از گسل | فاصله از جاده | کاربری | جهت شیب | سنگ شناسی | شیب   | بارش  |                 |
|--------|-----------------|--------------|---------------|--------|---------|-----------|-------|-------|-----------------|
| ۷      | ۴               | ۳            | ۳             | ۴      | ۳       | ۲         | ۲     | ۱     | بارش            |
| ۷      | ۴               | ۳            | ۴             | ۳      | ۳       | ۳         | ۱     | ۰/۵   | شیب             |
| ۶      | ۴               | ۴            | ۳             | ۲      | ۳       | ۱         | ۰/۳۳  | ۵/۰   | سنگ شناسی       |
| ۴      | ۲               | ۱            | ۲             | ۲      | ۱       | ۰/۳۳      | ۰/۳۳  | ۰/۳۳  | جهت شیب         |
| ۳      | ۲               | ۲            | ۲             | ۱      | ۰/۵     | ۰/۵       | ۰/۳۳  | ۰/۲۵  | کاربری          |
| ۴      | ۱               | ۲            | ۱             | ۰/۵    | ۰/۵     | ۰/۳۳      | ۰/۲۵  | ۰/۳۳  | فاصله از جاده   |
| ۳      | ۲               | ۱            | ۰/۵           | ۰/۵    | ۱       | ۰/۲۵      | ۰/۳۳  | ۰/۳۳  | فاصله از گسل    |
| ۳      | ۱               | ۰/۵          | ۱             | ۰/۵    | ۰/۵     | ۰/۲۵      | ۰/۲۵  | ۰/۲۵  | فاصله از آبراهه |
| ۱      | ۰/۳۳            | ۰/۳۳         | ۰/۲۵          | ۰/۳۳   | ۰/۲۵    | ۰/۱۷      | ۰/۱۴  | ۰/۱۴  | ارتفاع          |
| ۰/۰۲۳  | ۰/۰۴۸           | ۰/۰۶۲        | ۰/۰۶۴         | ۰/۰۸   | ۰/۰۸۸   | ۰/۱۶۴     | ۰/۲۲۵ | ۰/۲۴۶ | وزن نهایی       |



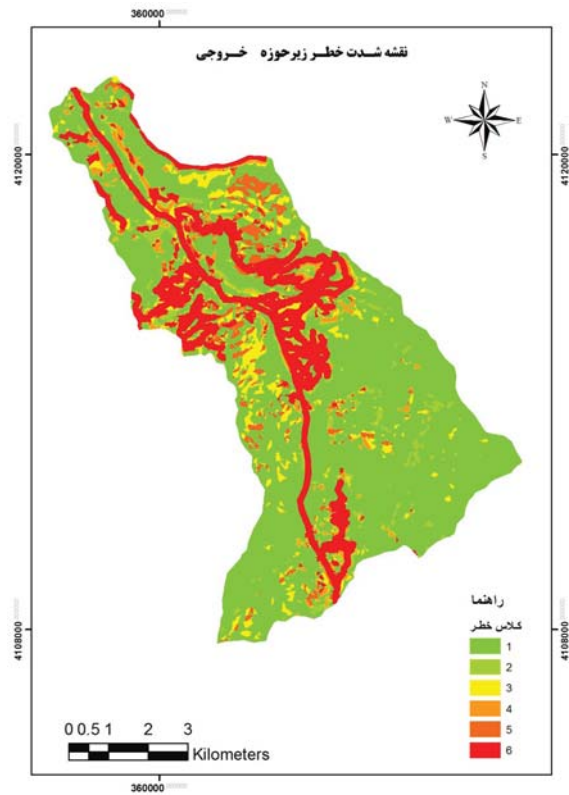
شکل ۵- نقشه شدت خطر زیرحوزه چمانی



شکل ۴- نقشه شدت خطر زیرحوزه دوزین



شکل ۷- نقشه شدت خطر زیرحوزه قلعه قافه



شکل ۶- نقشه شدت خطر زیرحوزه خروجی

جدول ۵- طبقات عوامل موثر بر زمین لغزش دارای بیشترین درصد مساحت در زیرحوزه های آبخیز چهل چای

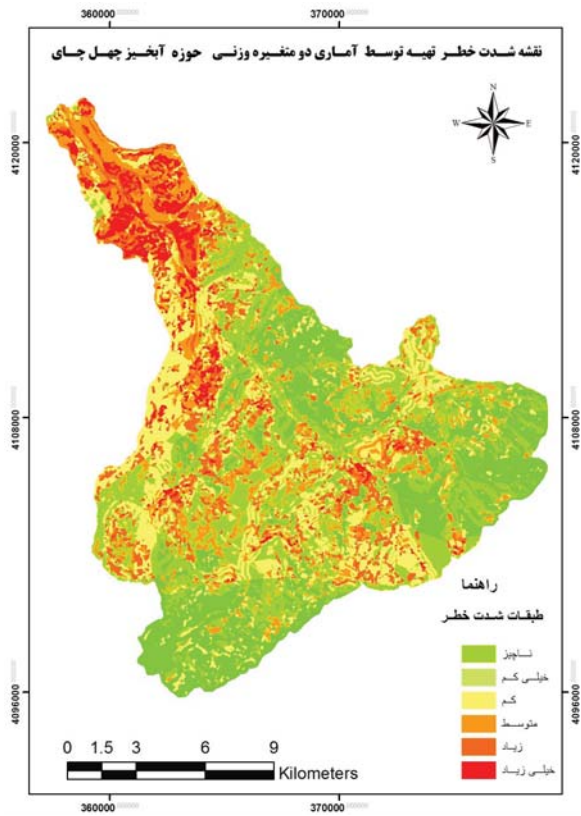
| عوامل موثر          | زیرحوزه    |            | چمانی      |            | قلعه قافه  |            | دوزین      |            | خروجی      |            |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                     | عنوان طبقه | درصد مساحت | عنوان طبقه | درصد مساحت | عنوان طبقه | درصد مساحت | عنوان طبقه | درصد مساحت | عنوان طبقه | درصد مساحت |
| بارش (mm)           | ۷۲۰-۸۰۰    | ۹۲/۶       | ۷۲۰-۸۰۰    | ۶۲/۳       | ۷۲۰-۸۰۰    | ۶۲/۳       | ۷۲۰-۸۰۰    | ۶۲/۳       | ۸۰۰-۸۸۰    | ۸۳/۹       |
| شیب (درصد)          | ۳۰-۴۵      | ۲۴/۹       | ۳۰-۴۵      | ۲۸/۸       | ۳۰-۴۵      | ۲۸/۸       | ۴۵-۶۰      | ۱۹/۲       | >۶۵        | ۳۴/۵       |
| سنگ شناسی           | Dkh,Cm     | ۶۱/۳       | Dkh,Cm     | ۶۶/۹       | Dkh,Cm     | ۶۶/۹       | Dkh,Cm     | ۹۷/۵       | Pr,Jcb     | ۳۵/۸       |
| جهت شیب             | شمال       | ۲۷/۳       | غرب        | ۲۷/۵       | غرب        | ۲۷/۵       | غرب        | ۳۳/۴       | غرب        | ۲۸/۳       |
| کاربری              | جنگل       | ۵۴/۹       | جنگل       | ۵۲/۸       | جنگل       | ۵۲/۸       | جنگل       | ۶۳/۹       | جنگل       | ۷۶/۱       |
| فاصله از جاده (m)   | >۴۰۰       | ۷۰/۱       | >۴۰۰       | ۷۸/۷       | >۴۰۰       | ۷۸/۷       | >۴۰۰       | ۷۴/۵       | >۴۰۰       | ۵۴/۶       |
| فاصله از گسل (m)    | ۱۳۰۰-۲۳۰۰  | ۳۴/۹       | ۱۳۰۰-۲۳۰۰  | ۲۹/۶       | ۱۳۰۰-۲۳۰۰  | ۲۹/۶       | >۳۵۰۰      | ۴۴/۹       | ۵۰۰-۱۳۰۰   | ۴۴/۳       |
| فاصله از آبراهه (m) | >۴۰۰       | ۵۶/۴       | >۴۰۰       | ۶۹/۸       | >۴۰۰       | ۶۹/۸       | >۴۰۰       | ۴۱/۲       | >۴۰۰       | ۴۹/۷       |
| ارتفاع (m)          | ۱۰۰۰-۱۵۰۰  | ۵۱/۱       | ۱۰۰۰-۱۵۰۰  | ۵۱/۷       | ۱۰۰۰-۱۵۰۰  | ۵۱/۷       | ۱۰۰۰-۱۵۰۰  | ۴۹/۱       | ۵۰۰-۱۰۰۰   | ۵۹/۹       |

عددی در بین زیرحوزه‌ها تفاوت معنی‌داری ندارد. نتایج مقایسات آماری در جدول ۳ آورده شده است.

#### ۴- تعیین وزن لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از (AHP)

با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی، وزن عوامل موثر بر زمین لغزش تعیین شد (جدول ۴). براساس نظر کارشناسان بارندگی مهمترین معیار با وزن ۰/۲۶۴ به دست آمد.

درصد از طبقات در زیر حوزه‌های متفاوت، رابطه معنی‌داری بین مساحت زمین لغزش و مساحت طبقات عوامل مختلف در زیرحوزه‌ها در سطح ۱ درصد وجود داشت. بین فراوانی و مساحت زمین لغزش‌ها در بین زیرحوزه‌ها، بین تراکم سطحی در بین زیرحوزه‌ها، بین مساحت کلاس‌های خطر در زیرحوزه‌ها و نیز هر یک کلاس در بین زیرحوزه‌ها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. تراکم



شکل ۸- نقشه شدت خطر زمین لغزش با مدل آماری دومتغیره وزنی AHP حوزه آبخیز چهل چای

پوشش لسی نداشتند، به صورت ریزشی می‌باشند. از مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی این است که در آن به عوامل موثر در بروز پدیده زمین لغزش از طریق مقایسه جفتی بین عوامل وزن داده شده و به ترتیب از طریق میزان تأثیرگذاری هر یک از عوامل در رخداد زمین لغزش اقدام به اولویت بندی می‌شوند. به طوری که از این طریق می‌توان به نتایج مطمئن تری دست یافت [۱۵]. براساس وزن دهی AHP، به ترتیب عوامل بارش، شیب، زمین شناسی، جهت، کاربری اراضی، فاصله از راه، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و ارتفاع دارای بیشترین اهمیت می‌باشند. در حالی که در پژوهش یالسن [۱۹] در اردسن ترکیه براساس وزن دهی AHP، عوامل سنگ شناسی، پوشش گیاهی و شیب به ترتیب اولویت به عنوان مهم ترین عوامل موثر در زمین لغزش شناخته شدند. نشان می‌دهد که در وقوع زمین لغزش در حوزه چهل چای نقش بارش و شیب نسبت به سنگ مهم تر می‌باشد.

پس از پهنه بندی با مدل آماری دومتغیره تراکم سطح وزندهی شده با AHP، ۱۵/۸ درصد از حوزه چهل چای در طبقات خطر زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شدند. این مدل قسمت های شمالی و خروجی حوزه را در کلاس های خطر زیاد و خیلی زیاد پهنه بندی کرد. کریمی سنگچینی و همکاران [۵] در حوزه مورد مطالعه تراکم سطح وزندهی شده با AHP را از ۳ روش مدل آماری دومتغیره، تراکم عددی و سطحی غیروزی و تراکم عددی وزنی AHP مناسب تر

نرخ ناسازگاری برای ماتریس مقایسات زوجی عوامل موثر بر زمین لغزش در این تحقیق برابر  $0.4/IR=0$  می‌باشد که از ثبات خوبی برخوردار می‌باشد.

### ۵- خطر زمین لغزش

با قطع دادن نقشه عوامل مختلف با نقشه زمین لغزش ها مشاهده می‌گردد که بیشترین درصد لغزش ها در طبقه بارش ۸۸۰-۸۰۰ در شیب های ۴۵-۳۰ درصد، در واحدهای سنگی روته (Pr)، مبارک (Cm)، خوش بیلاق (Dkh)، چمن بید (Jcb)، در جهت های شیب شمالی، در طبقات فاصله از گسل ۵۰۰-۰ متر، در طبقات فاصله از جاده ۷۵-۰ متر، در کاربری کشاورزی، در طبقات ارتفاعی ۱۰۰۰-۵۰۰ متر و در طبقات فاصله از آبراهه ۲۰۰-۱۰۰ متر به وقوع پیوسته اند (جدول ۵). پهنه بندی خطر زمین لغزش در زیرحوزه های چهل چای با روش آماری دومتغیره نشان می‌دهد که در زیرحوزه دوزین کلاس های خطر زیاد و خیلی زیاد صفر درصد از مساحت کل زیرحوزه را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۵ و شکل ۴).

در زیرحوزه چمانی کلاس های خطر زیاد و خیلی زیاد ۱/۱ درصد از مساحت کل زیر حوزه را به خود اختصاص داده‌اند. (جدول ۵ و شکل ۵)

در زیرحوزه خروجی کلاس های خطر زیاد و خیلی زیاد ۱۹/۷ درصد از مساحت کل زیرحوزه را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۵ و شکل ۶).

در زیرحوزه قلعه کافه کلاس های خطر زیاد و خیلی زیاد ۵۱/۶ درصد از مساحت کل زیرحوزه را به خود اختصاص دادند. (جدول ۵ و شکل ۷)

نتیجه پهنه بندی در کل حوزه نشان می‌دهد که کلاس های خطر زیاد و خیلی زیاد ۱۰/۶ درصد از مساحت کل حوزه را به خود اختصاص دادند. (جدول ۵ و شکل ۸)

### بحث و نتیجه گیری

شرایط طبیعی حوزه آبخیز چهل چای مانند زمین شناسی، شرایط ناهمواری ها، زمین ریخت شناسی و تکتونیک و همچنین عوامل تشدید کننده انسانی مانند تغییر کاربری و راه های روستایی، بستر مناسبی را برای وقوع زمین لغزش به وجود آورده که وقوع آن در حدود ۱۱۱ مورد و با وسعت حدود ۱۱۹۲ هکتار در سطح حوزه خود موید این مدعاست.

در این پژوهش واحدهای سنگی روته (Pr)، مبارک (Cm)، خوش بیلاق (Dkh) و چمن بید (Jcb) بیشترین درصد مساحت خطر زیاد و خیلی زیاد را به خود اختصاص دادند. سازندهای مبارک و خوش بیلاق سازندهای مقاوم به وقوع زمین لغزش می‌باشند. در بخش هایی از حوزه مورد پژوهش این سازندها با لس های کوتاه تر پوشیده شده‌اند، همچنین به علت قرار گیری در خروجی حوزه آبخیز دارای بیشترین شیب و بارش می‌باشند. پس از بررسی مشخص شد که بیشترین لغزش وقوع یافته در این سازندها (در بخش هایی که

جدول ۶- توزیع فراوانی کلاس‌های خطر زمین لغزش به روش آماری دو متغیره وزنی زیر حوزه‌های آبخیز چهل چای

| زیر حوزه  | کلاس خطر | صفات بیانی | مساحت (ha) | درصد    | مساحت لغزش (ha) | نسبت تراکم (D <sub>r</sub> ) | اختلاف درصد با کل حوزه | درصد مساحت در پهنه‌بندی کل حوزه |
|-----------|----------|------------|------------|---------|-----------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|
| خروجی     | ۱        | ناچیز      | ۴۳۱۶/۸     | ۶۵/۱    | ۲۰/۴            | ۰/۲                          | ۴۵/۲                   | ۵/۵                             |
|           | ۲        | خیلی کم    | ۳۱۶/۸      | ۴/۸     | ۰/۴             | ۰/۰۳                         | -۲۲/۸                  | ۱۵/۳                            |
|           | ۳        | کم         | ۴۰۱/۵      | ۶/۱     | ۰               | ۰                            | -۱۳/۶                  | ۲۰/۴                            |
|           | ۴        | متوسط      | ۲۲۳/۹      | ۳/۳     | ۰               | ۰                            | -۱۳/۷                  | ۲۴/۴                            |
|           | ۵        | زیاد       | ۲۵۰/۸      | ۳/۸     | ۳/۲             | ۰/۱                          | -۷/۴                   | ۱۲/۱                            |
|           | ۶        | خیلی زیاد  | ۱۱۲۰/۷     | ۱۶/۹    | ۳۵۶/۳           | ۱۴/۹                         | ۱۲/۴                   | ۱۵/۳                            |
|           |          | مجموع      |            | ۶۶۳۰/۴  | ۱۰۰             | ۳۸۰/۳                        | ۰                      | ۱۰۰                             |
| قلعه قافه | ۱        | ناچیز      | ۰          | ۰       | ۰               | ۰                            | -۱۹/۹                  | ۲۵/۳                            |
|           | ۲        | خیلی کم    | ۱۵۸۹/۱     | ۲۲/۴    | ۱۲/۴            | ۰/۱                          | -۵/۲                   | ۲۹/۹                            |
|           | ۳        | کم         | ۸۴۳/۲      | ۱۱/۹    | ۲۳/۶            | ۰/۱                          | -۷/۸                   | ۱۹/۶                            |
|           | ۴        | متوسط      | ۹۹۸/۴      | ۱۴/۱    | ۵۳/۹            | ۰/۵                          | -۳                     | ۱۴/۵                            |
|           | ۵        | زیاد       | ۱۸۰۸/۲     | ۲۵/۵    | ۴۲/۹            | ۱/۷                          | ۱۴/۳                   | ۹/۸                             |
|           | ۶        | خیلی زیاد  | ۱۸۴۹/۱     | ۲۶/۱    | ۳۷۶/۴           | ۱۸/۸                         | ۲۱/۶                   | ۰/۹                             |
|           |          | مجموع      |            | ۷۰۸۸/۱  | ۱۰۰             | ۵۰۹/۲                        | ۰                      | ۱۰۰                             |
| دوزین     | ۱        | ناچیز      | ۰          | ۰       | ۰               | ۰                            | -۱۹/۹                  | ۳۱/۹                            |
|           | ۲        | خیلی کم    | ۳۴۵/۸      | ۶/۹     | ۰               | ۰                            | ۲۰/۹                   | ۳۳/۱                            |
|           | ۳        | کم         | ۴۶۶۵/۹     | ۹۳/۱    | ۳۴/۹            | ۵/۱                          | ۷۳/۳                   | ۱۵/۷                            |
|           | ۴        | متوسط      | ۴/۳        | ۰/۱     | ۰               | ۰                            | -۱۶/۹                  | ۱۴/۴                            |
|           | ۵        | زیاد       | ۰          | ۰       | ۰               | ۰                            | -۱۱/۲                  | ۴/۵                             |
|           | ۶        | خیلی زیاد  | ۰          | ۰       | ۰               | ۰                            | -۴/۵                   | ۰/۵                             |
|           |          | مجموع      |            | ۵۰۱۵/۹  | ۱۰۰             | ۳۴/۹                         | ۰                      | ۱۰۰                             |
| چمانی     | ۱        | ناچیز      | ۴۲۱/۱      | ۶/۲     | ۰               | ۰                            | -۱۳/۷                  | ۱۹/۶                            |
|           | ۲        | خیلی کم    | ۲۳۸۱/۴     | ۳۴/۹    | ۹/۹             | ۰/۱                          | ۷/۳                    | ۳۳/۱                            |
|           | ۳        | کم         | ۲۱۷۵/۳     | ۳۱/۹    | ۱۰/۴            | ۰/۲                          | ۱۲/۲                   | ۲۱/۹                            |
|           | ۴        | متوسط      | ۱۷۷۱/۴     | ۲۶      | ۱۵۹/۸           | ۳/۴                          | ۸/۹                    | ۱۴/۵                            |
|           | ۵        | زیاد       | ۷۰/۴       | ۱/۱     | ۸۷/۶            | ۱/۵                          | -۱۰/۲                  | ۱۰                              |
|           | ۶        | خیلی زیاد  | ۰          | ۰       | ۰               | ۰                            | -۴/۵                   | ۱                               |
|           |          | مجموع      |            | ۶۸۱۹/۶  | ۱۰۰             | ۲۶۷/۷                        | ۰                      | ۱۰۰                             |
| کل حوزه   | ۱        | ناچیز      | ۵۱۰۱/۹     | ۱۹/۹    | ۳۴/۸            | ۰/۱                          | ۰                      | ۱۹/۹                            |
|           | ۲        | خیلی کم    | ۷۰۶۴/۵     | ۲۷/۶    | ۱۸۹/۹           | ۰/۶                          | ۰                      | ۲۷/۶                            |
|           | ۳        | کم         | ۵۰۴۰/۴     | ۱۹/۷    | ۱۵۵/۵           | ۰/۷                          | ۰                      | ۱۹/۷                            |
|           | ۴        | متوسط      | ۴۳۶۴/۴     | ۱۷/۱    | ۱۶۰/۱           | ۰/۸                          | ۰                      | ۱۷                              |
|           | ۵        | زیاد       | ۲۸۷۴/۱     | ۱۱/۲    | ۱۲۸/۴           | ۱                            | ۰                      | ۱۱/۲                            |
|           | ۶        | خیلی زیاد  | ۱۱۶۶/۶     | ۴/۶     | ۵۲۳/۵           | ۹/۶                          | ۰                      | ۴/۵                             |
|           |          | مجموع      |            | ۲۵۶۱۱/۸ | ۱۰۰             | ۱۱۹۲/۱                       | ۰                      | ۱۰۰                             |

\* در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.



5- Karimi Sangchini, E., Ownegh, M., Saddodin, A. and Najafinejat, A. 2010. Evaluation and comparing applicability of bivariate statistical models to landslide hazard zonation in Chehel-Chay Watershed, Golestan province. 4<sup>th</sup> National Seminar on Erosion and sedimentary sciences, Tarbiat Modares Univ, P. 8. (In Persian)

6- Kelarestaghi, A., Habibnejat, M. and Ahmadi, H. 2007. Studying of landslides occurrence to relation to land use change and road construction, case study: Tajan Watershed, Sari. Pajoheshhaie Joghrafiiai, 2:81-91. (In Persian)

7- Kelarestaghi, A. and Ahmadi, H. 2009. Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in Northern Iran. Arab J Geosci, 2:95-101.

8- Kouli, M., Loupasakis, C., Soupios, P. and Vallianatos, F. 2010. Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece. Nat Hazards, 52: 599-621.

9- Lee, E. M. and Jones, D. K. C. 2004. Landslide risk assessment. Thomas Telford, London, p 454.

10- Maleki, A. and Ghorbanpoor, A. 2006. landslide hazard zonation in Chermaleh Watershed, Kermanshah province, Joghrafia va Toseie, 12:187-198.

11- Nandi, A., Shakoor, A. 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. Engineering Geology, 110: 11-20.

12- Ownegh, M. 2002. Landslide hazard, and risk assessment in the southern Suburbs of Newcastle. Sabbatical research report No.2. University of Newcastle. Australia. pp. 85.

13- Ownegh, M. 2004. Assessing the applicability of the Australian landslide databases in hazard management. Proceedings of ISCO. Brisbane 4 to 8 July. Australia. pp 1001-1006.

14- Ownegh, M. 2009. Landslide hazard and risk zonation in Ziarat watershed, Gorgan. Research project, Gorgan Univ of Agriculture Sciences and Natural Resources, p.120. (In Persian)

15- Shadfar, S., Yamani, M., Ghoddosi, J. and

دانسته‌اند. این مدل روش مناسب برای پهنه‌بندی خطر حوزه آبخیز چهل چای می‌باشد. شیرانی و همکاران [۱۶]، ملکی و قربانپور [۱۰] یالسن [۱۹] و کلارستاقی و همکاران [۷] نیز در پژوهش‌های خود این مدل را مناسب برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه مورد مطالعه خود دانسته‌اند.

می‌توان از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز چهل چای نتیجه گرفت که وقوع زمین‌لغزش‌های با مساحت بزرگ بیشتر به عوامل بارش، شیب، زمین‌شناسی، جهت و کاربری اراضی بستگی دارد، این در حالی است که وقوع یا عدم وقوع زمین‌لغزش به عوامل فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی بستگی دارد و بیشترین تعداد زمین‌لغزش نزدیک جاده و آبراهه و در کاربری کشاورزی وقوع یافتند. نقش موثرتر شیب، سنگ‌شناسی و بارش و پرننگتر شدن این عوامل در اثر عوامل انسانی مثل تغییر کاربری و جاده‌سازی غیر استاندارد در وقوع زمین‌لغزش را در حوزه‌های شمال کشور نشان می‌دهد که با نتایج پژوهش‌های شادفر و همکاران [۱۵]، کلارستاقی و همکاران [۶] و کلارستاقی و احمدی [۷] هم‌راستا می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده به ویژه در رابطه با کاربری اراضی و وقوع اکثر زمین‌لغزش‌ها در مناطق غیرجنگلی و یا به طور عمده در اراضی زراعی واقع در دامنه‌های پرشیب یا واحدهای سنگی نفوذناپذیر نزدیک به سطح زمین در حاشیه آبراهه‌ها و کنار جاده‌ها توصیه می‌شود از تغییر کاربری این اراضی از جنگلی به مرتع و به ویژه کشاورزی جهت جلوگیری از رخداد زمین‌لغزش خودداری شود.

## منابع

1- Ayalew, L., Yamagishi, H. and Ugawa, N. 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. Landslides 1: 73-81.

2- Caniani, D., Pascale, S., Sdao, F. and Sole, A. 2008. Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza. Nat Hazards, 45: 55-72.

3- Fall, M., Azam, R. and Noubactep, C. 2006. A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping. Eng Geol, 82(4): 241-263.

4- Garfi, G. and Bruno, Dd. E. 2007. Fan morphodynamics and slope instability in the Mucone River Basin (Sila Massif, Southern Italy): signification of weathering and role of land use changes. Catena, (50): pp.181-196.

slope stability model for steep forested basins. Water Research 31. 2097- 2110.

19- 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.

20- Yilmaz, I. 2008. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat\_Turkey). Geosciences. pp1-14.

Ghayoumian, J. 2007. Landslide hazard zonation using analytical hierarchy method a case study: Chalkrood catchment. Pajouhesh & Sazandegi, 75: 118-126. (In Persian)

16- Shirani, K., Chavoshi Borojeni, S. and Ghayoumian, J. 2006. Investigation and evaluation landslide hazard zonation method in Padena Olia Region, Semirom, Esfahan. Esfahan Univ, 23(1): 23-28. (In Persian)

17- Varnes, D. J., 1984. Landslide hazard zonation: A review of Principles and Practice, UNESCO, France, 63p.

18- Wu, W and Sidle, R. C. 1995. A distributed