

ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک و منطق فازی در تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش های شهر سنندج

• کمال حسینی کار

دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)

• شاهین رفیعی

استاد ماشین آلات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

• عطااله شیرزادی

کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

• کمال نبی الهی

استادیار علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: خرداد ماه ۹۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ماه ۹۳

Email: Khosainikar@yahoo.com

چکیده

وقوع زمین لغزش در شهر سنندج باعث خسارات مالی فراوان و مهم تر از آن استرس حاکم بر مردم ساکن در مناطق لغزشی شده است. هدف از این پژوهش تفکیک و شناسایی میزان حساسیت مناطق اطراف زمین لغزش ها و مقایسه کارایی دو مدل رگرسیون لجستیک و منطق فازی با تابع عضویت گوسی و مثلثی می باشد. با توجه به مرور منابع داخلی و خارجی و همچنین بازدیدهای صحرایی اولیه از شهر سنندج، هشت عامل بر وقوع زمین لغزش های منطقه مورد مطالعه، موثر شناخته شدند. نرم افزار SPSS 19 جهت پردازش آماری مدل رگرسیون لجستیک و نرم افزار MATLAB جهت استفاده در مدل منطق فازی و نرم افزار Arc GIS 9.2 برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش منطقه مورد مطالعه استفاده شدند. بر اساس ضرایب به دست آمده از مدل رگرسیون لجستیک، معادله احتمالاتی و نقشه پهنه بندی حساسیت زمین لغزش شهر سنندج در نرم افزار Arc GIS 9.2 و در ۴ کلاس حساسیت کم، متوسط، حساسیت بالا و خیلی حساس تهیه شدند. ارزیابی مدل آماری رگرسیون لجستیک با روش منحنی ROC انجام و با درصد مساحت زیر منحنی ۰/۹۵۸ مدل آماری صحت بالایی نشان داد. لیتولوژی و ارتفاع به دلیل همبستگی در سطح اعتماد آماری ۹۵٪ با پراکنش زمین لغزش ها در مدل رگرسیون لجستیک به عنوان موثرترین عوامل معرفی گردیدند. در مدل منطق فازی، جداول نرمالیزه کلاس های هر فاکتور تهیه و با استفاده از فرمول نهایی به صورت دو تابع مثلثی و گوسی به نرم افزار مربوطه وارد شدند. نتایج مدل منطق فازی نشان داد که بیشترین زمین لغزش ها در مناطقی با فعالیت های ساختمان سازی و جاده سازی، جهت شمال، کلاس شیب بین ۳۰-۴۰ درصد، کلاس ارتفاعی ۱۷۰۰-۱۵۰۰ متر، فاصله بیشتر از ۴۰۰ متر از گسل، فاصله ۱۰۰-۰ متری از جاده، سازندهای KSh2 (شیب سیاه و زرد با ماسه سنگ و آهک میکرایتی (شیل سنندج)، خاک های خیلی کم عمق تا کم عمق سنگلاخی و سنگریزه دار بر روی شیب با بافت لومی تا حدی شنی وقوع یافته است. نتایج نهایی مقایسه ارزیابی صحت نقشه های حساسیت زمین لغزش نشان داد که مدل منطق فازی با دو تابع عضویت مثلثی با درصد صحت ۱۳/۲۱ و گوسی با درصد صحت ۱۳/۱۴ در تهیه نقشه حساسیت خطر نسبت به مدل رگرسیون لجستیک با درصد صحت ۱/۹ بسیار دقیق تر عمل کرده است.

کلمات کلیدی: زمین لغزش، حساسیت، رگرسیون لجستیک، منطق فازی، کردستان، شهر سنندج.

Assessing logistic regression and fuzzy-logic models to make sensitivity map of landslides of Sanandaj city

By: *K. Hosainikar: MSc Student, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University. (Corresponding Author). Sh. Rafiee: Professor, Faculty of Agriculture, University of Tehran. A. Shirzadi: MSc, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan. K. Nabiollahy: Assistant Professor, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan.*

The occurrence of landslides in Sanandaj cause significant financial losses and lot of stress on people living in the sliding regions. The purpose of this research is to separate and identify the sensitivity of landslide area and performance compared with two logistic regression model and fuzzy membership function with Gaussian and triangular. According to the review of internal and external studies and Field survey of Sanandaj, eight factors on the occurrence of landslides of the study area were considered effective. SPSS 19 software for data processing by logistic regression model and MATLAB software for using in fuzzy logic model and Arc GIS 9.2 software for landslide susceptibility map of the study area were used. Based on the coefficients obtained from the logistic regression model, equation Probabilistic and landslide susceptibility zonation map of the city of Sanandaj in Arc GIS 9.2 software and the sensitivity of the 4 classes low, medium, high sensitivity, and were very susceptible to preparation. Logistic regression model was evaluated using ROC curves and the area under the curve of 0.958 showed a high accuracy of the statistical models. Lithology and elevation of sea because of the statistical confidence level of 95% correlation with the landslide were introduced as the most influential factors in the logistic regression model. In the fuzzy logic model, normalized tables classes for each factor provide and using the final formula as two Triangular and Gaussian function were entered into the software. Results show that in the fuzzy model, the most landslides has occurred in areas with activities and road building, north aspect, slope between 30-40 percent, elevation of sea 1700 to 1500 m, 400 meters away from the fault, a distance of 100 -0 m from the road, constructive KSh2 (yellow with black shale's and limestone Mykraity (shale Sanandaj), the soil was too shallow to shallow, rocky and gravel on schist with some sandy loam. Final results of comparing the validity of landslide susceptibility maps showed that in the case study the fuzzy logic with tow membership functions; triangular by 13.21 percentage of accuracy and Gaussian by 13.14 percentage of accuracy is more precise of the mapping than the logistic regression model by 1.9 percentage of accuracy

Keywords: Landslide Susceptibility, logistic regression, fuzzy logic, Kurdistan, Sanandaj.

مقدمه

بلایای طبیعی سالانه باعث کشته و مجروح شدن هزاران نفر و بی‌خانمان شدن میلیون‌ها نفر در سطح جهان می‌شوند. زمین لغزش نیز یکی از این بلایای طبیعی از شاخه‌های حرکت‌های توده‌ای است که در مناطق مسکونی شهر سنج باعث خسارات مالی فراوان و ایجاد رعب و وحشت شده است. ولی با این وجود راه‌های مدیریت و مهار آن بسیار آسان است (محمدی، ۱۳۸۶). بنابراین به دلیل افزایش وقوع زمین‌لغزش در شهر سنج، شناسایی و برنامه‌ریزی‌های مهندسی از لحاظ ظرفیت زمین‌لغزش و ارتباط عوامل موثر بر آن، لازم و در نهایت می‌توان تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش‌ها با استفاده از کاربرد علم روز را ضروری دانست. شکل ۱ ضرورت انجام پژوهش را نشان می‌دهد. (Bai et al ۲۰۱۰) نقشه حساسیت زمین‌لغزش سه منطقه

چین را براساس سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک تهیه کردند. چند فاکتور را که *Tolerance* آن‌ها از حد ۰/۲ کمتر و *VIF* بزرگتر از ۲ داشتند، به دلیل ارتباط خطی زیاد با سایر فاکتورها، بر روی لغزش حذف کردند. در نهایت نقشه را با استفاده از نسبت فراوانی لغزش‌ها در مناطق کلاس بندی شده با حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد تهیه کرده و درجه صحت آن را ۰/۸۷ اعلام کردند (Sezar et al ۲۰۱۱). از مدل فاز عصبی در نقشه برداری زمین‌لغزش در دره کلانگ مالزی استفاده کردند. این مطالعه شامل سه مرحله اصلی شامل وجود لغزش، تجزیه و تحلیل حساسیت و تایید بود. منطقه مورد مطالعه دارای لغزش مکرر به دلیل شهر نشینی سریع و بارش باران‌های سنگین بود. نتیجه نهایی به دست آمده از این مطالعه نشان داد که مدل *ANFIS* یک ابزار

پهنه‌بندی زمین لغزش مناطق تهیه شود و برای تهیه این نقشه نیز باید از مدل‌هایی کارآمد استفاده کرد. در این تحقیق سعی بر این است که نقشه حساسیت زمین لغزش را با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک، که هدف آن یافتن بهترین فرمول جهت پیش‌بینی احتمال وقوع زمین لغزش بوده و مزیت‌هایی از این قبیل که نیازی به ارتباط خطی میان متغیرهای مستقل با متغیر وابسته ندارد، به توزیع نرمال میان متغیرها نیاز نداشته و در نهایت نیاز به فرضیات کمتر، دارد. (Lei and Jing-feng, Garcia-Rodriguez et al., ۲۰۰۷, Shirzadi et al., ۲۰۰۸) و مدل منطق فازی مدلی است که ابهامات و عدم دقت رویدادها را مدل‌سازی می‌نماید، مدلی که متفاوت از نظریه احتمالات است (Tanaka, ۱۳۸۳). جایگاه پیچیدگی سیستم در حدی است که نمی‌توان با دقت و صراحت در مورد پارامترها، مشخصه‌ها و رفتار سیستم قضاوت کرد، مفهوم فازی جهت مدل‌سازی و تحلیل مطرح می‌شود (Poorghasemi, ۱۳۸۶). در نهایت هدف از این پژوهش، بررسی و شناسایی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش‌ها در شهر سنندج، تفکیک مناطق حساس براساس میزان حساسیت به زمین لغزش، ارزیابی این مناطق جهت فعالیت‌های ساختمانی و راه‌سازی و مقایسه مدل رگرسیون لجستیک و روش منطق فازی در تفکیک مناطق حساس به زمین لغزش است.

بسیار مفید و کارآمد جهت ارزیابی حساسیت لغزش منطقه مورد نظر بوده است. (Shirzadi et al., ۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای با عنوان مدل سازی خطر ریزش سنگ در طول جاده های کوهستانی در گردنه صلوات آباد شهر سنندج با مدل آماری رگرسیون لجستیک نشان دادند که فاصله از گسل و لیتولوژی مهمترین دلایل وقوع این نوع از حرکت های توده ای بوده اند. در پایان نقشه پهنه بندی به دست آمده با درصد صحت ۷۷/۴ مورد ارزیابی قرار گرفت. (HosseinZadeh et al., ۱۳۸۸)، پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای را با استفاده از مدل رگرسیونی لجستیک در محدوده مسیر سنندج به دهگلان مورد بررسی قرار دادند. شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، تراکم زهکش‌ها و فاصله از جاده عوامل موثر بر خطر حرکات توده‌ای بودند. (Zare, ۱۳۸۹)، خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی؛ بخشی از حوزه آبخیز هراز) را مورد بررسی قرار داد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی را با استفاده از توابع مثلثی و گوسی در چهار کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تهیه کرد. در پایان منطقه مورد مطالعه را با پتانسیل زیاد برای وقوع لغزش معرفی کرد. فاکتور زمین‌شناسی و خصوصیات ژئومورفولوژیکی، شبکه آبراهه غیرقابل تغییر بوده و تنها راه جلوگیری از خسارات ناشی از لغزش را دوری از این مناطق و عدم تحریک آن‌ها دانست. با توجه به تحقیقات انجام شده جهت شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش باید نقشه



شکل ۱- نمونه‌ای از زمین لغزش‌ها در مناطق مسکونی شهر سنندج

شده است. آب و هوای شهر سنندج سرد و نیمه‌خشک است. حداکثر دما در تیر حدود ۴۴° و حداقل آن در بهمن، ۵.۱۳- درجه سانتی‌گراد است. بارندگی ماهانه به طور متوسط ۳۳/۹ میلی‌متر بوده و حداکثر روزانه، ۶۱ میلی‌متر است (شکل ۲). منطقه مورد مطالعه دارای سازندهای زمین‌شناسی متنوع است، که شامل K152 (کنگلومرای ماسیو تا لایه‌های متوسط قرمز)، Klt (تناوب ریتیمیک از سکنس‌های کالک آرنایت نازک لایه)، Klu (سنگ آهک توده ای خاکستری دارای گاستروپود)، Kpf (فلیش)، Ksct (توالی از شیل و کلکارنایت نازک لایه خاکستری تیره)، Ksh2 (شیل سیاه و زرد با ماسه سنگ

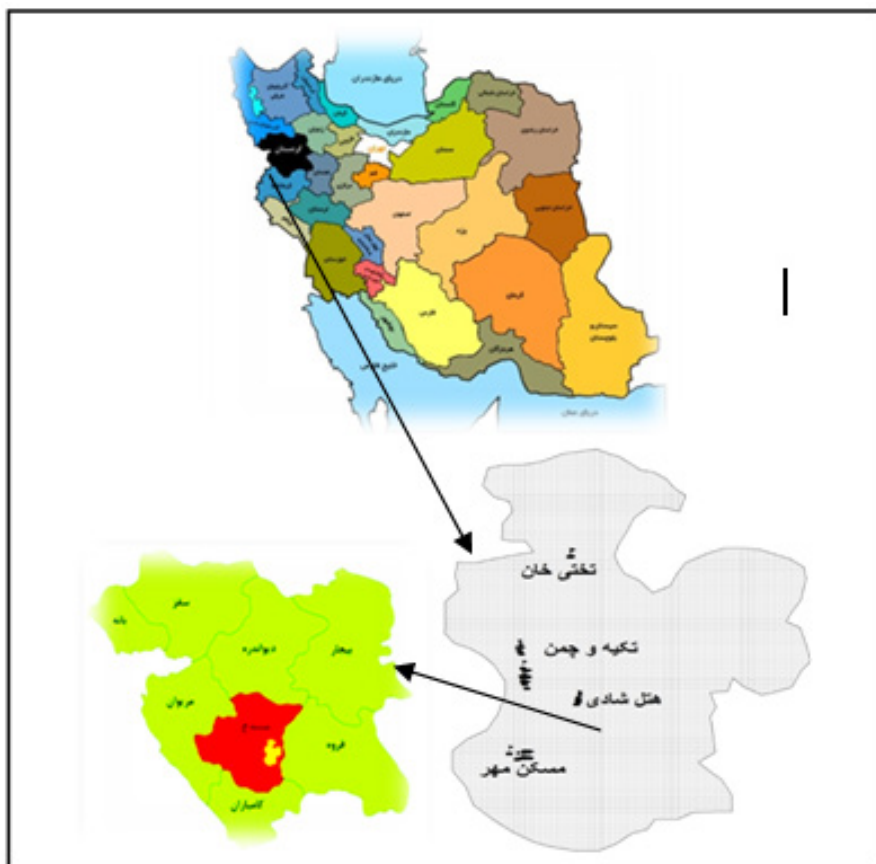
مواد و روش‌ها

- موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه

مختصات جغرافیایی شهر سنندج در موقعیت ۳۵ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۱۳۰۰ تا ۲۱۰۰ متر در نقاط مختلف شهر متغیر است. این شهر از سمت غرب به کوه آبیدر، از سمت شمال به کوه شیخ معروف، از سمت جنوب به کوه سراج الدین، محدود شده است و در منطقه‌ای به وسعت ۳۶۸۸/۶ هکتار گسترده

در مسیل رودخانه‌ها)، Qc (پهنه‌های رسی)، Qf (پهنه‌های شنی قدیمی بادبزی شکل)، Qt2 (نهشته‌های آبرفتی مسطح کم ارتفاع)، Qtr (تراورتن)، Ur (منطقه شهری) که می‌توانند به طور جداگانه بر روی خطر زمین‌لغزش تاثیر گذار باشند.

و آهک میکرایتی (شیل سنندج)، Kss (سلیت سیاه و فیلیت شیل سنندج)، Kv2 (آندزیت پیروکسن دار، اندزیت)، Kvc (توف بلورین لیتیک، ماسه سنگ و چرت)، Qal (آبرفت های عهدحاضر



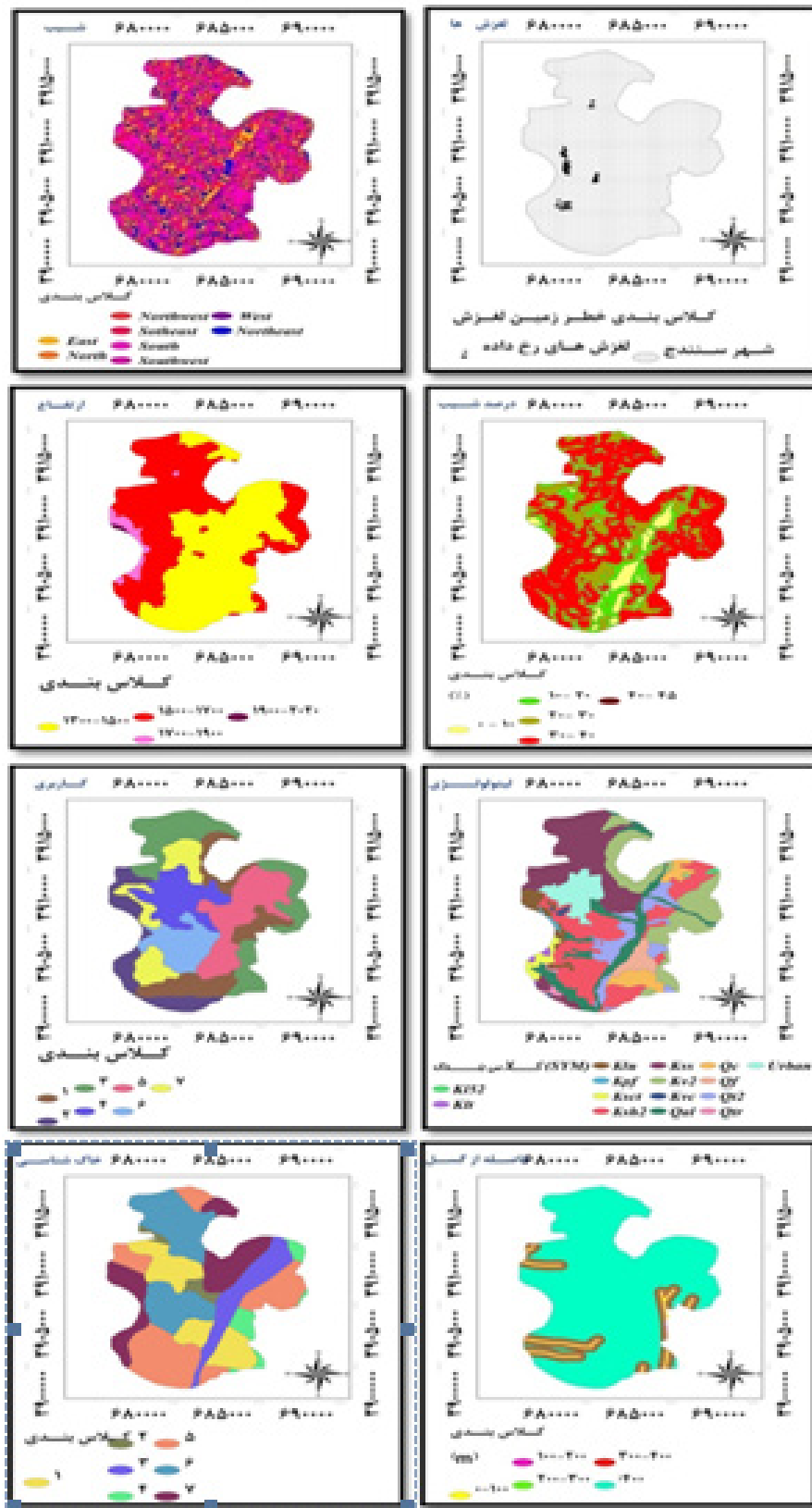
شکل ۲- موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه

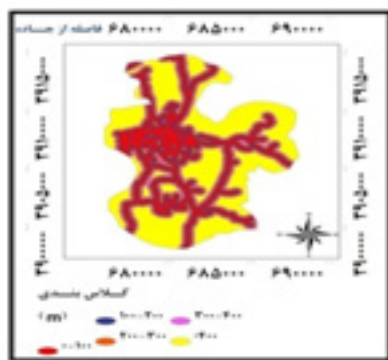
روش انجام پژوهش

کاربری اراضی بر اساس طبقه‌بندی نظارت نشده از تصویر ماهواره‌ای ETM+ به سال ۲۰۰۳ در فصل اردیبهشت در هفت کلاس شامل: (۱) بافت قدیمی (۲) بایر و قابلیت کم برای چراگاه (۳) فقط خانه‌سازی (۴) قابلیت متوسط برای چراگاه (۵) خانه‌سازی و راه‌سازی (۶) روستا و مرتع و باغات (۷) تغییرات شهری، تهیه گردید. نقشه خاکشناسی در هفت کلاس کلاس‌بندی شدند، (۱) خاک عمیق با بافت سنگین تا خیلی سنگین همراه با مقداری تجمع مواد آهکی در لایه‌های زیرین (۲) خاک عمیق با بافت سنگین تا خیلی سنگین و بدون سنگریزه (۳) خاک‌های خیلی کم عمق تا کم عمق سنگلاخی و سنگریزه‌دار بر روی شیب (۴) خاک نیمه عمیق با بافت سنگین بر روی سنگریزه و مواد آهکی (۵) خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار با بافت متوسط تا سنگین بر روی سنگ‌ها و مواد آهکی (۶) خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق بر روی مواد مادری آهکی (۷) خاک‌های کم عمق همراه با رخنمون سنگی تقسیم‌بندی شدند.

عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه

شکل شماره ۳ نقشه‌های عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. بر اساس بازدیدهای صحرایی از شهر سنندج موقعیت و تعداد نقاط لغزشی با استفاده از GPS ثبت گردید. از ۴۰ نقطه لغزشی وقوع یافته در شهر سنندج، ۱۰ نقطه لغزشی را برای ارزیابی نقشه و ۳۰ نقطه باقی مانده جهت تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش به نرم‌افزار Arc GIS ۹٫۲ منتقل شدند. نقشه درجه شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا از نقشه رقومی ارتفاع تهیه گردید. نقشه‌های فاصله از گسل و لیتولوژی از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سنندج و نقشه فاصله از جاده بر اساس فواصلی اطراف شبکه جاده تهیه شدند. در تهیه نقشه هم‌باران نیز با توجه به اینکه اختلافات بارندگی در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد، این عامل جهت وارد کردن فاکتورها به دو مدل حذف گردید. نقشه





شکل ۳- نقشه‌های پراکنش زمین‌لغزش، درجه شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از جاده و گسل

که در آن: $Z =$ عبارت است از پارامتر خطی مدل $B_0 =$ عرض از مبدأ، $X_1 \dots X_n =$ ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل B_1, \dots, B_n و $P =$ احتمال وقوع پدیده (زمین لغزش) ضرایب به دست آمده بر اساس همبستگی هر کدام از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته می‌باشد. جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش باید این ضرایب بر روی طبقات مشخص شده در نرم‌افزار، اعمال شوند. سپس براساس معادله کلی لجستیک و احتمال وقوع (لغزش) در نرم‌افزار Arc GIS، نقشه رستری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه تهیه و کلاس بندی گردد.

ارزیابی صحت مدل آماری رگرسیون لجستیک با استفاده از درصد مساحت زیر منحنی ROC

با استفاده از منحنی ROC باید میزان دقت مدل به صورت کمی برآورد گردد. سطح زیر منحنی در این تحقیق بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقوع زمین‌لغزش و عدم وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه است. ایده‌آل‌ترین مدل، مدلی است که بیشترین سطح زیر منحنی را دارد و مقدار سطح آن مابین ۰/۵-۱ باشد. اگر مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی تخمین زند یعنی مقدار سطح کمتر از ۰/۵ باشد، مدل قابلیت استفاده جهت پیش‌بینی را ندارد (Poorghasemi et al, ۱۳۸۹). همبستگی کیفی-کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به صورت (۰/۶-۰/۷ ضعیف، ۰/۷-۰/۸ متوسط، ۰/۸-۰/۹ خوب، ۰/۹-۱ خیلی خوب، ۱-۰/۹ عالی) است.

مدل منطق فازی در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش سیستم استنتاج فازی (FIS)

ملاک امتیاز دهی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با لغزش از تقسیم نسبت مناطق لغزشی (درصد لغزش‌هایی که در لایه‌های متفاوت رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد مساحت لایه‌های متفاوت) به دست می‌آید. وزن‌های به دست آمده در روش نسبت فراوانی به عنوان بستری برای توابع عضویت فاکتورهای گوناگون در

مدل آماری رگرسیون لجستیک در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش

کاربرد مدل آماری رگرسیون لجستیک ایجاد ارتباط بین عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش (متغیرهای مستقل) و متغیر وابسته دو حالت (وقوع و عدم وقوع زمین‌لغزش) است. معادله زمانی ارزشمند است که پیش‌بینی ارتباط هر کدام از فاکتورها با وقوع و عدم وقوع زمین‌لغزش با واقعیت موجود در طبیعت مستقیم باشد. کاهش معنی‌دار لگاریتم درست‌نمایی یک معیار با ارزش در این راستا است. آزمون ضرایب (β) در معادله نشان می‌دهند که معادله رگرسیون مورد نظر مرکب از چه متغیرهای مستقلی می‌باشد (Shirzadi, ۱۳۸۶). جهت انتخاب فاکتورهای تاثیر گذار بر وقوع زمین‌لغزش باید از جدول هم‌خطی آماری استفاده کرد. سپس با توجه به میزان Tolerance و VIF هر کدام از فاکتورها، باید فاکتورهایی که دارای $Tolerance > 0.2$ و $VIF < 2$ باشند از مدل حذف گردند (Lei and Jing-feng, ۲۰۰۷; Baiet all, ۲۰۱۰). پس از ورود تمامی عوامل، ضریب معنی‌داری آن‌ها با توجه به مقادیر انتخاب شده مورد آزمون قرار گرفته و هر فاکتوری که ضریب معنی‌داری آن بزرگتر از (۰/۰۵) باشد، حذف خواهد شد، در مرحله بعد روش آماری برای اینکه تشخیص دهد که آیا هر کدام از متغیرهای مستقل دیگر جهت حذف قابلیت دارند یا خیر، مجدداً پردازش می‌شوند تا در نهایت چند متغیر مستقل که سطح معنی‌داری بزرگتر از ۰/۹۵ دارند باقی بمانند. سپس معادله احتمال وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه براساس این ضرایب فرموله شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس این معادله به دست می‌آید. شکل کلی و عمومی معادله لجستیک به صورت زیر است.

معادله (۱)

$$Z = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n$$

معادله (۲)

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

(۱۳۸۹).

نتایج

آزمون همبستگی خطی (co-linearity) در مدل آماری رگرسیون لجستیک
 با توجه به اینکه تمام متغیرها دارای Tolerance بزرگتر از ۰/۲ و VIF کمتر از ۲ می‌باشد پس می‌توان کلیه متغیرها را در مدل وارد کرد (جدول ۱).

ضرایب معادله رگرسیون لجستیک

این قسمت در مدل آماری رگرسیون لجستیک بسیار حائز اهمیت است، زیرا ضرایب لجسیتی خطی را لیست می‌کند. یکسری از کلاس‌ها تا مرحله نهایی، به این دلیل که دارای Sig بیشتر از ۰/۰۵ حذف می‌شوند در نتیجه، فقط متغیرهایی وارد معادله نهایی می‌شوند که در سطح ۰/۰۵ آماری دارای شواهد کافی برای صفر نبودن متغیرها باشند (DashtiMrvly, ۱۳۸۷). معادله احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه براساس این ضرایب فرموله شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر اساس این معادله به دست می‌آید (جدول ۲).

قالب ۸ فاکتور در ۱۳۱۸۴ پیکسل به کار گرفته شده‌اند. لازم به ذکر است که این تعداد پیکسل با تلفیق نقشه‌های رقومی شده کلیه عوامل تاثیرگذار در وقوع زمین لغزش منطقه حاصل شده که در این تحقیق به عنوان واحدهای کاری مورد استفاده قرار گرفته است. به طوری کلی مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش چند شاخصه تصمیم‌گیری در این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- فازی نمودن وزن‌های پیشنهادی برای کلاس‌های مختلف ۸ فاکتور در ۱۳۱۸۳ پیکسل (واحد کاری)
- مشخص نمودن کلاس هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده براساس توابع عضویت
- غیر فازی نمودن مقادیر خطر به دست آمده برای ۱۳۱۸۳ واحد شبکه

ارزیابی نقشه‌های به دست آمده با دو مدل و مقایسه‌ی آن‌ها
 ارزیابی نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش چند شاخصه تصمیم‌گیری فازی به این صورت است که از روش نسبت فراوانی لغزش‌های رخ داده بر مساحت کلاس تخمین زده توسط مدل، منهای یک سپس به توان ۲، در نسبت مساحت آن کلاس به دست می‌آید. هرچه مقدار عددی به دست آمده بزرگتر باشد نشان دهنده صحت بیشتر نقشه تهیه شده است (Poorghasemi, ۱۳۸۶, Zare).

جدول ۱- رابطه هم‌خطی بین عوامل تاثیر گذار بر زمین لغزش

تمام فاکتورهای ورودی	Co-linearity Statistics	
	Tolerance	VIF
ارتفاع	۰/۶۶۱	۱/۵۱۳
فاصله از غسل	۰/۸۵۰	۱/۱۷۷
زمین‌شناسی	۰/۴۷۸	۱/۹۹۷
فاصله از جاده	۰/۶۱۰	۱/۶۴۰
درجه شیب	۰/۵۵۴	۱/۸۰۴
خاکشناسی	۰/۷۵۸	۱/۳۱۹
کاربری	۰/۶۴۶	۱/۵۴۹
جهت شیب	۰/۹۱۵	۱/۰۹۲

جدول ۲- ضرایب مدل آماری منطقه مورد مطالعه با استفاده از رگرسیون لجستیک

کلاس‌های هر فاکتور	β	Sig	Exp(β)
E ^۲	۱/۹۵۷	۰/۰۰۹	۷/۰۷۸
G ^۳	۳/۳۵۹	۰/۰۰۶	۲۸/۷۴۷
G ^۶	۲/۰۸۰	۰/۰۰۳	۸/۰۰۳
Constant	۰/۹۳۲	۰/۱۱۲	۲/۵۶۴

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(0.942 + 1.957 \text{Elevation} + 3.356 \text{Geo log y(Klu)} + 2.080 \text{Geo log y(KSh2)})}}$$

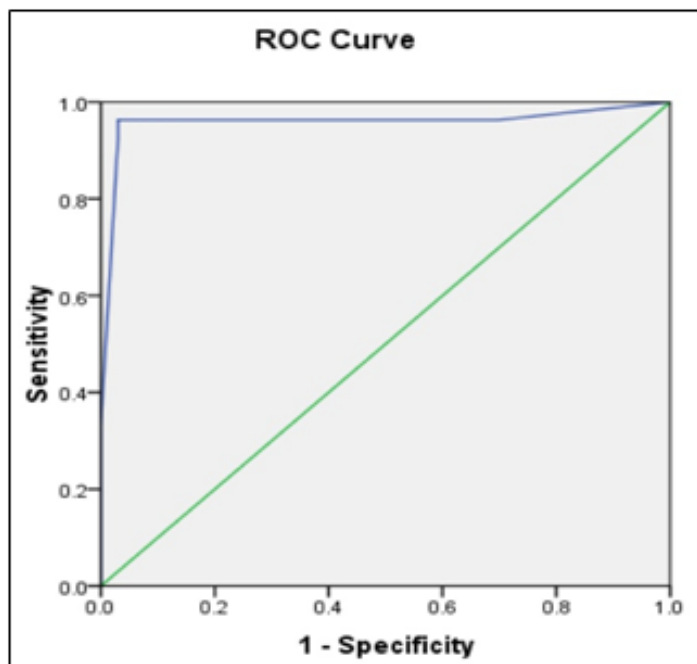
ارزیابی صحت مدل آماری رگرسیون لجستیک با استفاده از درصد مساحت زیر منحنی ROC

بر اساس نتایج منحنی ROC، مقدار سطح زیر منحنی منطقه مورد مطالعه (۰/۹۵۸) با انحراف استاندارد (۰/۰۳۳) برآورد گردیده است (جدول ۳). شکل نشان داده شده نشان دهنده ارزیابی عالی مدل احتمالی برای پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش است (شکل ۴).

تابع خطی و معادله احتمال وقوع زمین لغزش:
بعد از استخراج ضرایب معادله وقوع زمین لغزش در شهر سنندج بر اساس همبستگی متغیر وابسته با متغیرهای مستقل و انتقال داده‌های استخراج شده به لایه‌های اطلاعاتی پارامتر Z به دست آمد که به صورت زیر ارائه گردید.

$$Z = 1.957 + 0.942 \text{Elevation} + (3.359 + (1700 \text{Geology(Klu)} + 2.080 \text{Geology(KSh2)})$$

با قرار دادن پارامتر Z در رابطه بالا معادله نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش شهر سنندج به دست آمد.



شکل ۴- ارزیابی مدل آماری رگرسیون لجستیک بر اساس منحنی ROC

جدول ۳- ارزیابی صحت مدل آماری با روش سوم

سطح	انحراف استاندارد	Sig	ضریب بالا و پایین مدل در سطح احتمال ۹۵٪	
			حد بالا	حد پایین
٪ ۹۵/۸	۰/۱۱۲	۰/۰۳۳	۰/۸۹۴	۱/۰۲۳

نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی جهت تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از روش چند شاخصه تصمیم‌گیری در منطقه مورد مطالعه از دو نوع تابع عضویت مثلثی و گوسی استفاده گردید. نتایج حاصل از ارتباط بین عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و لغزش‌های رخ داده در شهر سنندج نیز برای هر یک از عوامل تاثیر گذار بر لغزش در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

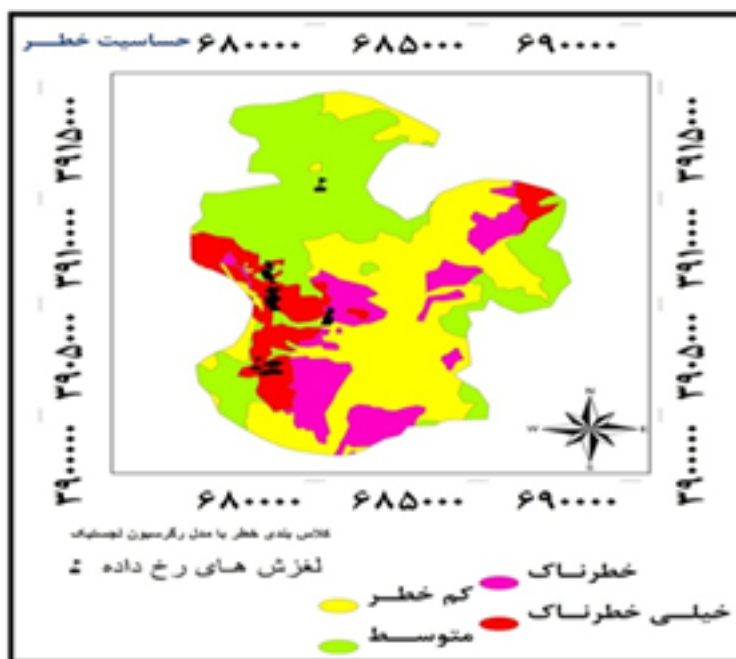
نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش شهر سنندج با استفاده از رگرسیون لجستیک با اعمال رابطه بالا به نرم افزار Arc GIS نقشه پهنه‌بندی شهر سنندج به چهار بازه از (۰-۰/۶۶)، (۰/۶۶-۰/۸۹)، (۰/۸۹-۰/۹۵)، (۰/۹۵-۱) در چهار کلاس کم خطر، متوسط، خطرناک و خیلی خطرناک تهیه گردید (شکل ۵).

جدول ۴- مقادیر نرمالیزه عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های رخ داده در شهر سنندج

مقادیر نرمال شده	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس‌های هر فاکتور	فاکتورهای موثر
۰/۰۴	۰/۲۶	۳/۳۳	۱	۱۲/۶۳	۶۹۱۳	کلاس ۱	کاربری اراضی
۰	۰	۰	۰	۱۰/۸۱	۵۹۲۱	کلاس ۲	
۰	۰	۰	۰	۱۷/۷۱	۹۶۹۸	کلاس ۳	
۰	۰	۰	۰	۲۲/۷۹	۱۲۴۷۸	کلاس ۴	
۱	۷۱/۰۵	۸۰	۲۴	۱۱/۳۵	۶۲۸۳	کلاس ۵	
۰	۰	۰	۰	۱۴/۳۳	۷۸۴۶	کلاس ۶	
۰/۲۴	۱/۶۱	۱۶/۶۷	۵	۱۰/۳۸	۵۶۸۱	کلاس ۷	
۱	۱/۵۳	۳۰	۹	۱۹/۶۲	۱۰۲۸۷	Northeast	جهت شیب
۰/۶۵	۱/۰۱	۱۰	۳	۹/۹۳	۵۴۰۸	North	
۰/۶۶	۱/۲۷	۱۶/۶۷	۵	۱۳/۰۷	۶۸۵۵	South	
۰/۵۵	۰/۶۶	۶/۶۷	۲	۱۰/۰۷	۵۲۸۲	West	
۰/۹۶	۱/۴۹	۱۳/۳۳	۴	۸/۹۶	۴۷۰۰	Northwest	
۰/۶۰	۰/۹۱	۱۰	۳	۱۰/۹۳	۵۷۲۶	East	
۰/۹۸	۱/۵۰	۱۳/۳۳	۴	۸/۸۸	۴۶۵۵	Sotheast	
۰	۰	۰	۰	۱۱/۸۷	۶۲۲۷	Southwest	
۰	۰	۰	۰	۲/۲۹	۱۲۵۴	کلاس ۱	خاک شناسی
۰	۰	۰	۰	۱۱/۳۷	۶۲۲۳	کلاس ۲	
۰	۰	۰	۰	۱۶/۲۲	۸۸۸۲	کلاس ۳	
۱	۲/۵۰	۵۶/۶۷	۱۷	۲۲/۷۰	۱۲۴۲۸	کلاس ۴	
۰	۰	۰	۰	۴/۲۱	۲۳۰۵	کلاس ۵	
۰/۶۶	۱/۶۵	۴۳/۳۳	۱۳	۲۶/۳۳	۱۴۴۱۴	کلاس ۶	
۰	۰	۰	۰	۱۶/۸۸	۹۲۴۵	کلاس ۷	
۰	۰	۰	۰	۰/۲۱	۱۱۶	KI52 (G1)	لیتولوژی
۰	۰	۰	۰	۰/۴۱	۲۲۳	KIt (G2)	
۰/۵۷	۹/۵۲	۲۶/۶۷	۸	۲/۸	۱۵۴۳	Klu (G3)	
۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۵	Kpf (G4)	
۰	۰	۰	۰	۱/۷۸	۹۷۶	KsCt (G5)	
۰/۱۶	۲/۶۴	۵۶/۶۷	۱۷	۲۱/۴۶	۱۱۷۵۱	Ksh2 (G6)	
۰/۰۳	۰/۴۷	۱۰	۳	۲۱/۲۰	۱۱۶۰۷	Kss (G7)	
۰	۰	۰	۰	۱۷/۱۷	۹۴۰۵	Kv2 (G8)	
۱	۱۷/۱۰	۶/۶۷	۲	۰/۳۹	۲۱۵	Kvc (G9)	
۰	۰	۰	۰	۱۰/۷۳	۵۸۷۹	Qal (G10)	
۰	۰	۰	۰	۴/۵۶	۲۴۹۵	Qc (G11)	
۰	۰	۰	۰	۳/۰۶	۱۶۷۵	Qf (G12)	
۰	۰	۰	۰	۸/۴۱	۴۶۰۲	Qt2 (G13)	
۰	۰	۰	۰	۰/۶۲	۳۴۰	Qtr (G14)	
۰	۰	۰	۰	۶/۸۲	۳۷۴۹	Urban (G15)	

ادامه جدول ۴- مقادیر نرمالیزه عوامل موثر بر وقوع لغزش‌های رخ داده در شهر سنندج

مقادیر نرمال شده	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس‌های هر فاکتور	فاکتورهای موثر
.	.	.	.	۱۲	۶۲۹۱	۰-۱۰	درجه شیب
.	.	.	.	۵۶/۱۸	۲۹۴۵۸	۱۰-۲۰	
۰/۳۰	۱/۰۷	۶/۶۷	۲	۶/۲۴	۳۲۷۵	۲۰-۳۰	
۱	۳/۶۵	۹۳/۳۳	۲۸	۲۵/۵۴	۱۳۳۹۵	۳۰-۴۰	
.	.	.	.	۰/۰۴	۲۰	>۴۰	
۰/۲۴	۰/۴۴	۱۳/۳۳	۴	۲۹/۹۶	۲۶۹۹۳	۱۳۰۰-۱۵۰۰	ارتفاع
۱	۱/۸۵	۸۶/۶۷	۲۶	۴۶/۷۹	۲۵۲۷۸	۱۵۰۰-۱۷۰۰	
.	.	.	.	۳	۱۶۲۰	۱۷۰۰-۱۹۰۰	
.	.	.	.	۰/۲۵	۱۳۲	۱۹۰۰-۲۱۰۰	
.	.	.	.	۲/۸۱	۱۵۴۰	۰-۱۰۰	
.	.	.	.	۳/۰۴	۱۶۶۲	۱۰۰-۲۰۰	فاصله از گسل
۰/۳۸	۳/۱۷	۱۰	۳	۳/۱۵	۱۷۲۵	۲۰۰-۳۰۰	
۱	۸/۱۶	۲۶/۶۷	۸	۳/۲۷	۱۷۸۸	۳۰۰-۴۰۰	
۰/۰۹	۰/۷۲	۵۳/۳۳	۱۹	۸۷/۷۳	۴۸۰۳۶	>۴۰۰	
۱	۴/۳۱	۸۳/۳۳	۲۵	۱۹/۳۲	۱۰۵۷۸	۰-۱۰۰	
۰/۱	۰/۴۵	۶/۶۷	۲	۱۴/۸۸	۸۱۴۶	۱۰۰-۲۰۰	فاصله از جاده
۰/۰۷	۰/۳	۳/۳۳	۱	۱۱/۲۵	۶۱۶۲	۲۰۰-۳۰۰	
۰/۱۶	۰/۷۱	۶/۶۷	۲	۹/۳۴	۵۱۱۶	۳۰۰-۴۰۰	
.	.	.	.	۴۵/۲۰	۲۴۷۴۹	>۴۰۰	



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک

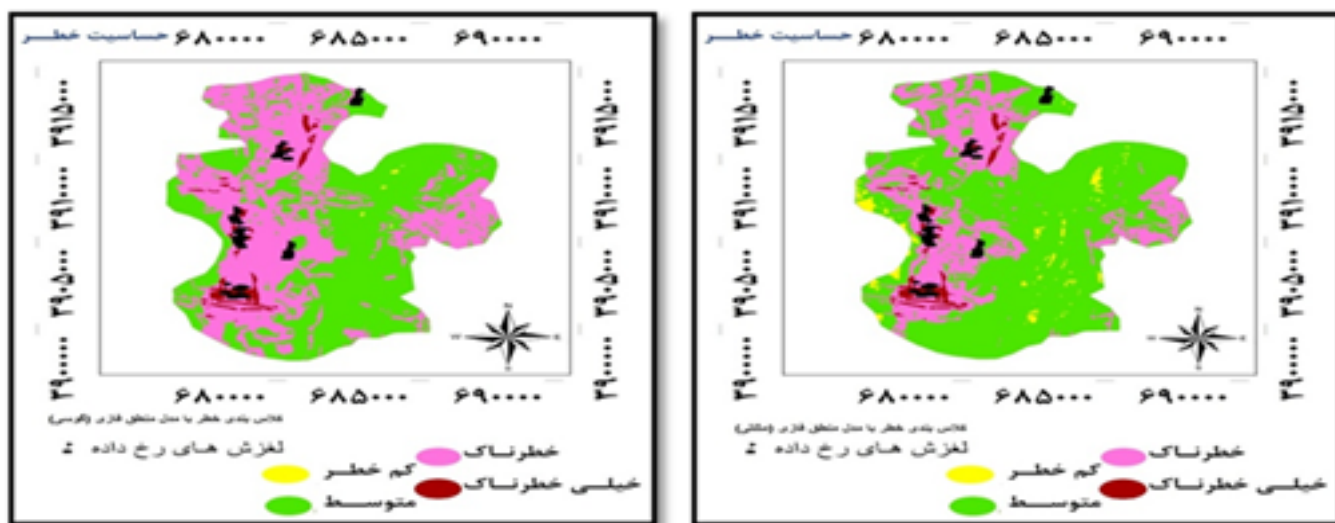
کلاس کم خطر، متوسط، خطرناک، خیلی خطرناک تهیه شد (شکل ۶)

ارزیابی نقشه‌های پهنه بندی با استفاده از رگرسیون لجستیک و منطق فازی

نتایج ارزیابی نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش چند شاخصه تصمیم‌گیری فازی با توجه به قرار دادن نقاط لغزشی بر روی محدوده‌های تعیین شده در نقشه‌های حساسیت لغزشی، در جدول‌های ۵ تا ۷ ارائه گردیده است. نقشه تهیه شده با تابع عضویت مثلثی دارای درصد صحت بیشتری نسبت به تابع عضویت گوسی است.

نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از توابع عضویت مثلثی و گوسی

برای تهیه نقشه خطر، هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از تابع عضویت مثلثی شکل، فازی گردیدند. همچنین تابع مثلثی تمام عوامل تاثیرگذار در خطر وقوع زمین لغزش منطقه را با استفاده از نسبت فراوانی آن‌ها وزن‌دهی و سپس جدول نهایی خطر با ۱۳۱۸۳ ردیف به دست آمد. پس از وارد کردن جدول نهایی خطر به جدول نقشه کل فاکتورهای روی هم قرار گرفته در نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه حساسیت زمین لغزش تهیه شده توسط منطق فازی (تابع عضویت مثلثی و گوسی) برای شهر سنندج، شامل چهار



شکل ۶- نقشه پیش‌بینی حساسیت زمین لغزش در شهر سنندج در چهار کلاس

جدول ۵- درصد صحت نقشه تهیه شده با مدل رگرسیون لجستیک

طبقه خطر (رگرسیون لجستیک)	%مساحت	%زمین لغزش	DR	$(DR-1)^2 \times \%Area$
۱	۳۸/۱	۱۲/۵	۰/۳۳	۰/۱۷
۲	۳۷/۴۸	۲۰	۰/۵۳	۰/۰۸
۳	۱۳/۶۸	۱۵	۱/۱	۰/۰۲
۴	۱۰/۷۴	۵۲/۵	۴/۸۹	۱/۶۳
جمع کل				
				۱/۹

جدول ۶- درصد صحت نقشه تهیه شده با مدل منطق فازی و تابع عضویت مثلثی

طبقه خطر (رگرسیون لجستیک)	%مساحت	%زمین لغزش	DR	$(DR-1)^2 \times \%Area$
۱	۱/۵۷	۰	۰	۰/۰۱۶
۲	۶۳/۴۲	۱۲/۵	۰/۲	۰/۴۱
۳	۳۲/۸۱	۳۲/۵	۰/۹۹	۰
۴	۲/۲۲	۵۵	۲۵	۱۲/۷۸
جمع کل				
				۱۳/۲۱

جدول ۷- درصد صحت نقشه تهیه شده با مدل منطق فازی و تابع عضویت گوسی

طبقه خطر (رگرسیون لجستیک)	%مساحت	%زمین لغزش	DR	$(DR-1)^2 \times \%Area$
۱	۰/۰۸	۰	۰	۰
۲	۴۵/۶۸	۱۲/۵	۰/۲۷	۰/۲
۳	۵۲/۰۷	۳۲/۵	۰/۶۲	۰/۰۸
۴	۲/۱۷	۵۵	۲۵/۳۵	۱۲/۸۶
جمع کل				
۱۳/۱۴				

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج ارزیابی نقشه های لغزشی تهیه شده با دو مدل، نقشه حساسیت لغزشی تهیه شده با مدل منطق فازی دارای دقت و صحت بیشتری نسبت به نقشه تهیه شده با مدل رگرسیون لجستیک است. بنابراین نتایج حاصل از ارتباط بین عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و زمین لغزش های رخ داده در شهر سنندج در جدول نرمالیزه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی کلاس های کاربری نشان داد که بیشترین لغزش ها در مناطقی که دارای فعالیت های ساختمان سازی و جاده سازی بودند اتفاق افتاده است، که با نظر (Poorghasemi, ۱۳۸۶) مطابقت دارد. دلیل آن را می توان نقش انسان در برش شیب ها و خاکبرداری ها و خاکریزی های نابجا در مناطقی که از لحاظ سایر عوامل نیز دارای خطر بالقوه به لغزش اند، دانست. نتایج بررسی جهت شیب نشان می دهد که، بیشترین لغزش ها در جهت شمال رخ داده است. که دلیل آن را می توان تأثیرات آب و هوایی، از لحاظ میزان رطوبت منطقه معرفی کرد. چون در شیب های شمال تکامل خاک بیشتر و همچنین به دلیل عامل رطوبت، هوازگی سنگ های بستر نیز بیشتر بوده است. که با نظرات (Poorghasemi, ۱۳۸۶, Haeri and Samii, ۱۳۸۶, Mohammadi, ۱۳۸۶) مطابقت دارد. البته در مرحله دوم شیب جهت جنوب دارای بیشترین لغزش های رخ داده در منطقه بود. که در توضیح فراوانی لغزش در جهت جنوب می توان گفت که عامل جهت یک عامل غالب بر روی وقوع زمین-لغزش نیست، احتمالاً در این مناطق فاکتور های دیگری به عنوان عامل غالب در وقوع زمین لغزش موثر بوده اند. طبق گفته (Ercanoglu and Gokceoglu, ۲۰۰۴) زیرا امکان دارد عامل زمین لغزش، تحت تاثیر عوامل دیگری مانند فیزیوگرافی منطقه قرار گیرد. بررسی خاک منطقه نشان دهنده، وقوع زمین لغزش در خاک های خیلی کم عمق تا کم عمق سنگلاخی و سنگریزه دار بر روی شیبست با بافت لومی تا حدی شنی می باشد. البته قابل توجه است که در خاکهای کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه دار با بافت متوسط تا سنگین بر روی سنگها و مواد آهکی وقوع زمین لغزش دومین رتبه را شامل می شود. بیشتر زمین لغزش ها در خاک های کلاس ۵ رخ داده است که با توجه به نمونه های برداشت شده از آن کلاس، خاکها رسی و چسپنده بودند که وقوع لغزش در این نوع خاکها با نظر (Ahmadi, ۱۳۷۸, Rfahi, ۱۳۸۶) مطابقت دارد. در کل افزایش رطوبت به دلیل پایین بودن حدود اتربرگ، تخلخل

زیاد و وجود یون هایی مانند سدیم در این خاک ها باعث کاهش چسپندگی خاک گردیده و پایداری آن بویژه در شیب های تند به نحو چشم گیری کاهش داده و همچنین باعث افزایش تنش برشی شده و در نهایت باعث وقوع زمین لغزش شده اند. البته با توجه به بازدیدهای صحرائی، عامل خاکشناسی عامل اصلی بر وقوع لغزش نبود. چون فقط در قسمت هایی که کوه برش خورده بود، وقوع زمین لغزش قابل مشاهده بود. بررسی عامل زمین شناسی شهر سنندج بیانگر وقوع بیشترین زمین لغزش در سازندهای KSh₂ (شیل سیاه و زرد با ماسه سنگ و آهک میکرایتی (شیل سنندج)) بوده است و بعد از آن سازند KLu (سنگ آهک توده ای خاکستری دارای گاستروپود (سنومانین-پالئوزوئیک زیرین)) حاوی بیشترین زمین لغزش در منطقه بوده است. که دلیل آن را می توان حساسیت این سازندها به زمین لغزش دانست. نتایج حاصل از بررسی کلاس های شیب نشان دهنده ی وقوع بیشترین زمین لغزش در کلاس بین ۳۰-۴۰ درجه است که با نظرات (C. Ohlmacher and Davis, ۲۰۰۳, Haeri, Lei, ۲۰۰۵, Ayalew and Yamagishi, ۱۳۸۶, and Samii, ۲۰۰۷, and Jing-feng, ۲۰۰۷) مطابقت دارد. به دلیل درجه شیب بالا وقتی برش هایی در آن ایجاد می شود، میزان نیروی مقاومت سطح به شدت کاهش و نیروی وزن افزایش یافته و در نتیجه باعث لغزیدن توده مورد نظر می شود. بررسی طبقات ارتفاعی نشان داد که بیشترین وقوع زمین لغزش در کلاس ارتفاعی ۱۷۰۰-۱۵۰۰ بوده است و بعد از آن در کلاس ۱۳۰۰-۱۵۰۰ زمین لغزش رخ داده است. ارتفاع با تاثیر بر روی پدیده خاک زایی و فرسایش و همچنین فعالیت های انسانی و نگر داشت برف باعث انفصال در توده های خاکی و بستر مادری شده و مقاومت برشی آن ها را کاهش می دهد، که با نظر (Madani, ۱۳۸۰) مطابقت داشت. با توجه به اینکه در کلاس های ارتفاعی بالاتر وقوع زمین لغزش نداشته ایم، می توان گفت با افزایش ارتفاع میزان حساسیت به خطر زمین لغزش کاهش یافته است. هرچند بیشتر محققین معتقدند که با افزایش ارتفاع میزان وقوع زمین لغزش، افزایش می یابد. می توان این مطلب را اینگونه تفسیر کرد که هیچ کدام از عوامل به تنهایی عاملی غالب بر روی وقوع لغزش نبوده اند و چند عامل با هم باعث رخداد زمین لغزش در منطقه شده اند. با توجه به نتایج حاصل از فاصله از گسل، بیشتر لغزش های رخ داده در فاصله بیشتر از ۴۰۰ متر بوده، ولی کمترین وزن را به خود اختصاص داده، بیشترین وزن به فاصله ۴۰۰-۳۰۰ متری اختصاص

- susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, central Japan. *Geomorphology*, 15: 65-81.
2. Bai, S.B, J., Wang, G.N., Lji, P.G., Zhou, S.S., Hou, S.N., Xu. (2010). GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China. *Geomorphology*, 31-23, 115.
 3. C. Ohlmacher, G., J.C. Davis, (2003). Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 343-331, 69.
 4. Ercanoglu, M. and Gokceoglu, C. (2004). Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 250-229, 75.
 5. Garcia-Rodriguez M.J., Malpica J.A., Benito B., Diaz M. (2008). Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression. *Geomorphology*, 191-172, 95.
 6. Lei, Z., Jing-feng, H. (2007). GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale. *Zhu et al. / J Zhejiang Univ SCIENCE A* (2017-2007): (12).
 7. Pradhan, B. (2010). Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. *Advances in Space Research*, 45 1256-1244.
 8. Sezar, A.E., Pradhan, B., Gokceoglu, C. (2011). Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia. *Expert Systems with Application*, 38 8219.
 9. Shirzadi, A., Saro, L., Hyun-Joo Oh., Chapi, K. (2012) A GIS-based logistic regression model in rock-fall susceptibility mapping along a mountainous road: Salavat Abad case study, Kurdistan, Iran, *Natural Hazard*, 1656-64:1639
 10. Ahmadi, H. (1386). *Applied Geomorphology*, Tehran University Press, Fifth Edition, pp. 223-249.
 11. Poorghasemi, H.R. (1386). *Landslide hazard zonation using fuzzy logic (case study, part of Haraz watershed)*, Mater of Sciences thesis, University of Tarbiat Modares.

یافته است. پدیده گسل یکی از با اهمیت ترین عوامل تکتونیکی است که به طور بلقوه می تواند بر روی ناپایداری دامنه ها تاثیر گذار باشد. در شهر سنندج، اینگونه نشان داده شده که عامل گسل به عنوان پارامتر اصلی وقوع لغزش نبوده و سایر عوامل باعث شده اند که عامل گسل در تاثیر بر روی لغزش منطقه خود را نشان ندهد. اما امکان دارد با فعال شدن گسل های منطقه، تاثیر زیادی بر تمام حرکات توده های و لرزه ای از جمله لغزش داشته باشد. بررسی عامل فاصله از جاده نشان داد که بیشترین لغزش در فاصله ۱۰۰-۰ متری رخ داده است، که با نظرات (Poorghasemi, ۱۳۸۶, DashtiMrvly, ۱۳۸۷, FatemiAqda et al., ۱۳۸۴, Shadfr et al., ۱۳۸۴, Shirzadi, ۱۳۸۶) مطابقت دارد. که دلیل آن را می توان برش در شیب ها و ارتفاعات ذکر شده و همچنین سازندها و خاک های ناپایدار دانست. با توجه به این که بیشترین فراوانی لغزش نیز در این فاصله است می توان گفت که یکی از عوامل مهم تشدید کننده لغزش است. تحقیق حاضر نشان دهنده دقت بالای نقشه تهیه شده با مدل منطق فازی نسبت به مدل رگرسیون لجستیک می باشد. ولی با توجه به این که مدل منطق فازی قادر به تشخیص مهمترین عامل نیست، پس جهت شناسایی مهمترین عوامل تاثیرگذار بر وقوع زمین لغزش از مدل رگرسیون لجستیک نیز همراه مدل منطق فازی جهت ارزیابی خطر مناطق استفاده کرد. در کل کلاس فاصله ۳۰۰-۴۰۰ متری از گسل؛ کلاس خاک کم عمق بر روی شیب و خاک عمیق بر روی شیب؛ کلاس شیب شمال، جهت شیب؛ کلاس خانه سازی و راه سازی، کاربری؛ کلاس ۳۰-۴۰ درجه شیب؛ کلاس فاصله ۱۰۰ متر از جاده؛ کلاس ارتفاعی ۱۷۰۰-۱۵۰۰؛ کلاس Ksh₂ و Klu زمین شناسی تاثیرگذارترین کلاس ها بر روی وقوع زمین لغزش در شهر سنندج بوده اند. که با توجه به مدل لجستیک مهمترین آن ها کلاس های ۱۷۰۰-۱۵۰۰ ارتفاعی و کلاس Ksh₂ و Klu زمین شناسی بودند. با توجه به کلاس بندی خطر در نقشه های تهیه شده، مناطق غرب و جنوب غربی شهر سنندج بیشتر در مناطق خطرناک و خیلی خطرناک قرار دارند، که می توان دلیل آن را قرار گیری چند کلاس خطرناک مانند سازند زمین شناسی Ksh₂، ارتفاع ۱۷۰۰-۱۵۰۰، شیب های تند ۴۰-۳۰ درصد بر روی هم باشد. البته باید این مطلب را نیز در نظر گرفت که با تحریک این مناطق با وارد کردن کلاس هایی مانند خانه سازی و راه سازی احتمال وقوع لغزش در این مناطق بالا برده، و نهایتاً منجر به وقوع لغزش در این مناطق شد. بنابراین پیشنهاد می شود، تحقیقاتی در زمینه روش های پیشگیری زمین لغزش در مناطق خطرناک و خیلی خطرناک منطقه مورد مطالعه انجام گیرد. سازمان های مربوطه نیز باید برنامه های اجرایی خود را در راستای نقشه تهیه شده انجام داده تا با فعالیت های نادرست موجب تشدید این خطر در شهر سنندج نگردند.

منابع مورد استفاده

1. Ayalew, L., Yamagishi, H. (2005). The Application of GIS - based logistic regression for landslide

