جغرافیا (فصلنامه علمی ـ پژوهشی و بین المللی انجمن جغرافیایی ایران)

سال هفدهم، شماره ۶۳، زمستان ۱۳۹۸

نقش توپوگرافی در بزرگسازی شدت زلزله در شهر کلات نادری[1]

محمد محمدنژاد [2]، لیلا گلی مختاری [3]، ابوالفضل بهنیافر[4]

چکیده

کشور ایران از مناطق مستعد وقوع زلزله است و محدوده مورد مطالعه که در زون ساختاری هزار مسجد، کپه داغ قرار دارد از دیدگاه لرزه خیزی و زمین لرزه، منطقه ای نسبتا فعال است که در این راستا پهنه بندی مناطق در معرض مخاطرات زمین لرزه با هدف کاهش آسیب پذیری مناطق شهری شهر کلات و نواحی پیرامونی باید دراولویت برنامه ریزی ها قرار گیرد. هدف از این پژوهش بررسی نقش توپوگرافی در بزرگسازی شدت زلزله در محدوده شهر کلات نادری، در استان خراسان رضوی با استفاده از روش پسینا و همکاران[5] است. به این منظور در ابتدا با استفاده ازمدل رقومی ارتفاع سایت های مستعد برای بزرگ سازی اثر ژئومورفولوژی مورد بررسی قرار گرفت. این عوارض شامل: خط الراس ها، قله ها، تپه ها، دره ها همراه با ویژگی هایی از جمله شکل دامنه و نیز شیب و اختلاف ارتفاع بودند. همچنین از توابع GIS برای طبقه بندی محدوده های بحرانی استفاده گردید. نقشه های حاصل در این روش می توانند برای ارزیابی مناطق دارای ریسک و خطر زمین لرزه مرتبط با توپوگرافی در مقیاس وسیع مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به نتایج تحقیق از کل مساحت محدوده مطالعاتی ۱۷/۲۴ درصد در محدوده اثرات بزرگسازی خیلی کم ،۳۴/۶۴ درصد در طبقه خطر کم، ۳۴/۴۰ درصد در طبقه خطر متوسط، ۹/۵۱ درصد در طبقه خطر زیاد و ۴/۲۱ درصد در طبقه خطر خیلی زیاد قرار گرفته است.

واژگان کلیدی : ویژگیهای مورفولوژیکی، روش پسینا، پهنه بندی خطر زمین لرزه، شهر کلات، GIS

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

---

۱. این مقاله مسخرج از رساله دکتری با عنوان بررسی مخاطرات ژئومورفولوژیک شهرهای کوهستانی (مطالعه موردی : شهر کلات) است

۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری

۳. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری

۴. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

5 . pessina et al (2010)

مقدمه و پیشینه تحقیق

در دهه های اخیر، خسارات ناشی از مخاطره زمین لرزه در شهرها عمدتا به علت نرخ بالای شهرنشینی، استفاده نامناسب از زمین، تخریب زیرساخت ها و تخریب محیط زیست به شدت افزایش یافته است (اردیک،۲:۲۰۰۶)[1]. فقدان قوانین و نظام نامه های ساختمانی، ساخت و ساز های غیر اصولی و پایین بودن سطح آمادگی، آسیب پذیری مردم را در برابر زمین لرزه ها به میزان قابل توجهی افزایش داده است. تصویب و اجرای نظام نامه های ساختمان به طور گسترده ای به عنوان موثرترین ابزار در حفاظت از زندگی و اموال مردم در برابر بلایای بزرگ مانند زمین لرزه و مهمترین عامل کاهش خطر در جامعه محسوب می شود (جونز – واسوانی، ۳۴۵:۲۰۱۷)[2]. زمین‌لرزه یکی از پدیده‌های طبیعی کرهٔ زمین است که در صورت وقوع در مناطق پرجمعیت خسارات جانی و مالی فراوان را به بار خواهدآورد (فرجی ملایی،۸۹:۱۳۹۶). کشور ایران به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ – هیمالیا همواره از لرزه خیزی بالایی در طول تاریخ برخوردار بوده است، به گونه ای که بخش های مختلف کشور توسط زمین لرزه های ویرانگر متعددی تخریب شده است و این پدیده تاکنون، به عنوان مهم ترین بلای طبیعی کشور، تلفات و خسارات سنگینی را به بار آورده است (اسفندیاری و همکاران،۱۸:۱۳۹۳). بر اثر گزارش کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی در ایران به طور متوسط هر سال یک زلزله ۶ ریشتری و هر ۲۹ سال یک زلزله بزرگتراز ۷ ریشتر رخ می دهد. بر اساس همین گزارش هرسال احتمال وقوع ۱ زلزله بزرگ در کشور وجود دارد (نجفی و همکاران،۱۲۳۸:۱۳۹۵).

منطقه ی خراسان نیز به واسطه ی وجود گسل های فعال متعدد در آن از جمله مناطق مستعد زلزله در کشور به شمار می رود و به گواه زلزله های تاریخی آن، ویرانی ها و خرابی های ناشی از زلزله در آن زیاد بوده است (امیر احمدی،۱۳۴:۱۳۹۳). در این استان به عنوان دومین استان پرجمعیت کشور با نزدیک به ۶ میلیون نفر ساکن، بیش از ۲۵۰۰ گسل شناسایی شده که ٪۶۰ مساحت،٪۷۵ شهرها و ۳۵ ٪ روستاها در حریم این گسل ها قرار دارد (حیاتی،۲:۱۳۹۵). با توجه به بررسی زلزله های ثبت شده طی نیم قرن اخیر، محدوده مورد مطالعه که در قسمت شمالی واحد ساختاری هزار مسجد قرار دارد از دیدگاه لرزه خیزی و زمین لرزه، منطقه ای نسبتا فعال است. همانطور که نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه نشان می دهد، در محدوده مورد مطالعه گسل های موجود عمدتا منطبق بر ارتفاعات هزار مسجد بوده و از نوع گسل فرعی و کوتاه می باشد که با جهتی شمال غربی- جنوب شرقی، ضلع جنوبی شهر کلات و محدوده مطالعاتی را تحت الشعاع قرار داده اند. به طوری که نزدیکترین گسل به شهر کلات نادر، گسل فرعی است که در فاصله ۱۰ کیلومتری ارتفاعات جنوبی این شهر قرار گرفته است. از آنجایی که آسیب پذیری ناشی از زمین لرزه تابعی از عوامل مختلف تکتونیکی، زمین شناسی، ژئومورفولوژیکی و توپوگرافیک است و از نظر ژئومورفولوژی آنچه در خسارت یک زلزله مهم است به جز بزرگی زلزله، شکل زمین، مقاومت آن و اثر آن بر امواج زلزله را نیز در بر می گیرد بنابراین شناخت ویژگیهای لندفرم ها، شرایط سطح زمین و نقش آن ها در تشدید و تخفیف زلزله می تواند گام مهمی در تحلیل و تخفیف اثرات زمین لرزه در محدوده مورد مطالعه باشد.

بسیاری از محققان داخلی و خارجی به مطالعه و تهیه نقشه های خطر زلزله پرداختند: روستایی و ساری صراف (۱۳۸۵) در مقاله ای به پهنه بندی مخاطرات محیطی موثر در توسعه فیزیکی شهر تبریز پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عمده ترین خطر طبیعی تهدید کننده شهر تبریز، گسل بزرگ شمال این شهر است که مخاطرات دیگر از قبیل رانش زمین و فرونشست به تبع آن اتفاق خواهند افتاد و در مرحله بعدی وقوع سیلاب از مخاطرات اصلی شهر تبریز محسوب می شود. شریفی کیا و همکاران (۱۳۸۹) در مقاله ای به تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی

1 - Erdik
2 - Jones and Vasvani

ناشی از توسعه فیزیکی شهر ماهنشان با استفاده از داده های سنجش از دور و مشاهدات میدانی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بخش عمده بستر فیزیکی شهر ماهنشان در معرض مخاطرات طبیعی قرار دارد. بطوریکه ۵۱/۸۱٪ مساحت این شهر در منطقه خطر زیاد واقع شده است.

مهدوی عادلی و جزایری مقدس (۱۳۹۰) در پژوهشی به تحلیل و ارزیابی خطر زلزله در مناطق مختلف شهر مشهد با استفاده از روش تحلیل احتمالی خطر لرزه ای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که سطح نسبی خطر زلزله در این شهر زیاد و از شرق به غرب و از شمال به جنوب افزایش می یابد و مناطق غربی شهر از خطر لرزه ای بالاتر نسبت به سایر مناطق برخوردار است. قائد رحمتی و قانعی بافقی (۱۳۹۱) در پژوهشی به تحلیل تأثیر گسترش فضایی شهر تهران در افزایش آسیب پذیری ناشی از زلزله – دوره زمانی: گسترش فیزیکی ۲۰۰ سال اخیر با استفاده از با استفاده از مدل هلدرن پرداختند. نتایج پژوهش حاضر نشان می دهد با توجه به سوابق زلزله‌های تاریخی، پیشینهٔ لرزه خیزی و گسل‌های متعدد، شهر تهران از شهرهای با خطر لرزه‌خیزی بالاست. مهمترین عامل افزایش آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران، گسترش افقی شهر، بدون در نظر گرفتن حریم امن گسل‌هاست. قدیری و رکن الدین افتخاری (۱۳۹۲) در پژوهشی به بررسی رابطه ساخت اجتماعی شهرها و میزان آسیب پذیری در برابر خطر زلزله مطالعه موردی: محلات کلانشهر تهران با استفاده از روشهای «علی– مقایسه‌ای» و «همبستگی» پرداختند و به این نتیجه رسیدند که درجهٔ آسیب‌پذیری مردم نه تنها به نزدیکی به منبع خطر، و یا رفتار سنتی؛ بلکه به جایگاه اجتماعی و فضایی آنها در جامعه نیز وابسته است. در این میان نقش اساسی را عوامل محله و پایگاه در بستر فرایند جدایی‌گزینی اجتماعی– فضایی ایفا می‌نمایند. امیر احمدی و آب باریکی (۱۳۹۳) در تحقیقی به ریز پهنه بندی خطر زلزله شهر سبزوار با استفاده از نرم افزارGIS و روشAHP پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در صورت بروز زلزله ،۱۱ کیلومتر از وسعت این شهر در پهنه خطر بسیار زیاد، ۳۷ کیلومتر خطر زیاد، ۴۹کیلومتر خطرمتوسط، ۶۰ کیلومترخطر کم و ۵۹ کیلومتر از وسعت شهر در پهنه خطر خیلی کم قرارمی گیرد. صیامی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به آسیب شناسی لرزه‌ای پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس(IHWP) و GIS شهر گرگان پرداختند و به این نتایج دست یافتند که شهر گرگان با جمعیتی حدود ۳۳۰ هزار نفر و وسعتی معادل ۳۶۰۰ هکتار جزء شهرهای واقع بر روی پهنه های زلزله خیز با خطر نسبی زیاد است . حیاتی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به پیش‌بینی محل وقوع زلزله احتمالی در استان خراسان رضوی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی خود سازمان ده کوهونن پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که ٪۱۲ جمعیت شهری و ۱۰ ٪ جمعیت روستایی استان در پهنه های با خطر نسبتا بالا و بالا قرار دارد. بیشترین احتمال وقوع زلزله در منطقه مرکزی متمایل به غرب استان (شهرستان کاشمر و جنوب شرق شهرستان های سبزوار و بردسکن) و در منطقه جنوب شرق استان (شهرستان خواف) با احتمال ٪۳۰ ، بالاتر نسبت به سایر مناطق پیش بینی شده است. فاضل و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به پهنه بندی آسیب پذیری لرزه ای شهری (مطالعه موردی: شهر نجف آباد) با استفاده از رویکرد تصمیم گیری چند معیاره و فرآیند تحلیل شبکه ANP و نرم افزار GIS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مطابق نقشه ی پهنه بندی آسیب پذیری، مجموعاً حدود ۳۰ درصد مساحت توسعه یافته ی شهر از آسیب پذیری بالا و بسیار بالا و ۳۷ درصد این مساحت از آسیب پذیری متوسط برخوردار است. رجبی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی به پهنه بندی آسیب پذیری مخاطرات طبیعی و ژئومورفولوژیکی سکونتگاههای روستایی شهرستان سقز (مطالعه موردی سیل و زلزله) با استفاده از روش AHP و نرم افزار GIS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که از کل روستاهای موجود در شهرستان سقز ۱۴۵ روستا در پهنه با خطر نسبتاً بالا و ۱۳۵ روستا در پهنه باخطر نسبتاً متوسط زلزله قرار گرفته اند. راشد و ویکس[1] (۲۰۰۳) درمقاله ای به ارزیابی آسیب

1 - RASHED and WEEKS

پذیری خطرات زلزله از طریق تجزیه و تحلیل چند متغیره فضایی مناطق شهری با استفاده از GIS، روش تحلیل فضایی و منطق فازی در شهر لس آنجلس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روش پیشنهادی ممکن است یک رویکرد جدید برای تحلیل آسیب پذیری ارائه کند که می تواند به درک ما از تعامل انسان با مخاطرات منجر شود. آلبایومی (۲۰۱۲)[۱] درتحقیقی به بررسی و ارزیابی خطر ژئومورفولوژیکی ناحیه شهری در ساحل شمال شرقی شهر قاهره بر اساس تحلیل سنجش از دور و GIS و عوامل ژئومورفیک شهری شامل: محل سکونت شهری، مورفولوژی شهری، شیب، مدل های ارتفاعی دیجیتال، پرداخت و به این نتیجه رسید که اکثر اراضی با(گرید ۱) که در حدود ۶۲٪ است در منطقه کم خطر و۲۶٪ اززمین ها در کل منطقه در خطر متوسط و بیش از۱۲٪ در درمنطقه با خطر بالا است. پسینا و همکاران (۲۰۱۴)[۲] در پژوهشی به بررسی و طبقه بندی موقعیت توپوگرافیکی ایستگاههای لرزه نگاری ایتالیا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و GIS پرداختند. هدف این روش طبقه بندی ۸۰۰ ایستگاه لرزه نگاری در کوههای آلپ و آپنین ایتالیا با توجه به نظام نامه های وقوانین جاری اروپا و شاخص موقعیت توپوگرافی جهت کاهش مخاطرات زمین لرزه است. کریم زاده و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به بررسی موقعیت توپوگرافیکی ایستگاههای لرزه نگاری در ایران با استفاده از مدل رقومی ارتفاع[۳] ، GIS، ضریب تاثیر توپوگرافی[۴] و شاخص موقعیت توپوگرافی[۵] در شبکه ایستگاه های لرزه نگاری اتوماتیک (IGUT، IIEES، GSI و BHRC) پرداخت و به این نتیجه رسیدند که بیشترین ضریب تاثیر موقعیت توپوگرافی در ایران بر اساس میزان خطر زلزله، متعلق به مناطق کوهستانی زاگرس ، البرز (آذربایجان)، ایران مرکزی،کپه داغ، لوت و مکران است. لنتادا و همکاران (۲۰۱۸)[۶] در پژوهشی به بررسی سناریوهای خطر زلزله در مناطق شهری: با برنامه های کاربردی در ناحیه CiutatVella در بارسلونا، اسپانیا با استفاده از یک روش مبتنی بر شاخص آسیب پذیری در مناطق قدیمی شهر بارسلونا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به خطر لرزه ای کم و متوسط در اسپانیا این منطقه در معرض خطر بالا قرار دارد. دایانا و همکاران (۲۰۱۹)[۷] در پژوهشی به ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شهری با استفاده از منحنی های تیپولوژیکال و پیش بینی دقیق میزان خسارت در اروپا با استفاده از روش Risk-UE پرداخت که شامل رویکرد تجربی (روش LM1) و رویکرد مکانیکی (روش LM2) می باشد و به به این نتیجه رسیدند که هر دو روش به ارزیابی و پالایش درجه آسیب پذیری شهری کمک می کند. شهرکلات و محدوده آن اگرچه سابقه لرزه خیزی با شدت بالا ندارد و درآن زلزله مهمی رخ نداده است ولی به دلیل قرار گیری در حاشیه گسل ها، کمبود فضای کاربردی جهت توسعه فیزیکی و همچنین توسعه افقی و عمودی شهر منجر به وقوع زلزله در این منطقه و نواحی پیرامونی آن می گردد. لذا لزوم مطالعه مناطق در معرض خطر زلزله در این شهر و آمادگی لازم جهت کاهش مخاطرات ناشی از زلزله در آن ضروری است.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

پرتال جامع علوم انسانی

۱ - Albayomi

۲ - pessina et al(2014)

۳ - Digital elevation model

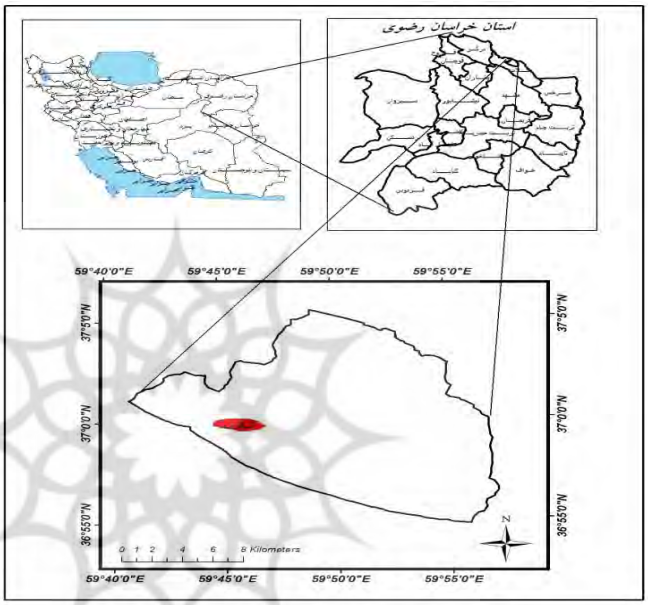
۴ - Topographic amplification factor (TAF)

۵ - Topographic position index (TPI)

۶ - Lantada et al

۷ - Diana et al

محدوده مورد مطالعه شهرکوهستانی کلات در زون کپه داغ و محدوده اطراف آن بصورت بخشی از حوضه آبریز رودخانه کلات است که در دامنه شمالی ارتفاعات هزار مسجد- کپه داغ و در امتداد کانال اصلی رودخانه کلات و درطول جغرافیایی ۵۹ درجه و۴۰ دقیقه و ۵۵ ثانیه تا ۵۹ درجه و۵۷ دقیقه و ۹ ثانیه طول شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۵ دقیقه و ۲۷ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. این محدوده با مساحت ۲۶۶/۷ کیلومتر مربع برابر۲۶۶۷۰ هکتار در ۱۴۵ کیلومتری شمال شهر مشهد و در شمال شرق خراسان رضوی واقع شده است. حداکثر ارتفاع محدوده ۱۷۰۹ متر و حداقل ارتفاع آن ۴۹۵ متر است، ارتفاع شهرکلات از سطح دریا ۸۸۰ متر است. این محدوده از شمال به وسیله تپه ماهورهای نسبتاً پست به طول ۱۸۰ کیلومتر با کشور ترکمنستان، از جنوب به کوه هزارمسجد و شهرستان مشهد، از شرق به شهرستان سرخس و از سمت غرب به شهرستان درگز محدود می‌شود. این شهر با جمعیتی حدود ۷۶۷۸ نفر مرکز شهرستان کلات به شمار می رود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵)، مهم ترین راه های دسترسی به این محدوده از مسیر مشهد به کلات، درگز به کلات و سرخس به کلات است، شکل (۱).



شکل ۱ : نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده ها و روش تحقیق

این مقاله بر روش مطالعات توصیفی – تحلیلی و اسنادی متکی است. ابتدا با استفاده از نقشه های توپوگرافی، محدوده مورد مطالعه مشخص شد. از نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ کلات (سازمان نقشه برداری)، جهت تهیه نقشه ارتفاع، شیب، جهت شیب، از مدل رقومی ارتفاع (DEM SRTM) با دقت ۳۰ متر، نقشه خط الراس ها، نقشه اختلاف ارتفاع کمتر از ۳۰ متر و بیشتر از ۳۰ متر، از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات جهت بررسی سازندهای زمین شناسی، واحدهای سنگ شناسی و لیتولوژیکی محدوده و گسل های اصلی و فرعی (سازمان زمین شناسی خراسان رضوی)، از نقشه های خاک شناسی محدوده با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ (مرکز تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی استان خراسان رضوی) و کاربری اراضی ۱:۵۰۰۰۰ (اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی)، تصاویر ماهواره ای، عکسهای هوایی باند ۱ مشهد (بلوک کلات) با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، استفاده شده است. با استفاده از نرم افزار GIS نقشه های محدوده مطالعاتی ترسیم گردید.

به منظور ارزیابی مخاطره زمین لرزه و بررسی اثرات بزرگسازی توپوگرافی در محدوده مطالعاتی روش پسینا و همکاران (۲۰۱۰) انتخاب گردیده است. این روش یک روش تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفولوژی در رابطه با مخاطره زلزله است که توسط پسینا و همکاران در سال۲۰۱۰ در کشور ایتالیا و در دو منطقه کوهستانی مارسی وکالابریا استفاده شده است. بر اساس این روش، پژوهش در دو سطح صورت می گیرد، سطح ۰ و سطح ۱. اولین سطح مربوط به پایش اولیه بویژه در محدوده ای که مناطق مسکونی[1] وجود دارند می باشد که به سطح صفر تحلیل خرد پهنه بندی مشهور است. سطح ۱ تحلیل خرد پهنه بندی اطلاعات بیشتری دارد و از پارامترهای متنوعی استفاده می کند، شکل (۲) روش مورد استفاده برای شناسایی مناطق مسکونی که ممکن است تحت تاثیرعوامل توپوگرافی در معرض اثرات بزرگسازی زلزله باشند را تشریح می کند. دو روش برای استخراج پارامترهای مورفولوژیکی مورد نیاز از DEM مورد آزمایش قرار گرفته است. اولین روش ممکن است برای انجام غربالگری اولیه از مراکز سکونتی در مناطق بزرگ استفاده شود و با تجزیه و تحلیل ریز پهنه بندی سطح صفر سازگار است، در حالی که روش دوم برای مطالعه دقیق تر سطح یک ریز پهنه بندی مناسب است .

شکل۲: فلوچارت تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفولوژی در رابطه با بزرگسازی شدت زلزله

در این روش برای محاسبه اثرات توپوگرافی و مورفولوژی زمین بر بزرگسازی امواج زلزله، قوانین و نظام نامه های ساختمانی چهار معیار طبقه بندی و شناسایی لندفرم ها ارائه نموده است، جدول (۱).

۱.T1: سطوح مسطح، دامنه های با میانگین شیب کمتر از ۱۵ درجه،

۲. T2: دامنه های با شیب متوسط بیشتر از ۱۵ درجه،

۳. ناهمواری هایی کهT3: ناهمواری هایی که عرض قسمت بالایی آنها(قله) بسیار کمتر از قاعده آنهاست با شیب متوسط بین ۱۵ تا ۳۰ درجه.

۴. T4 :عرض قسمت بالایی آنها (قله) بسیار کمتر از قاعده آنهاست با شیب متوسط بیش از ۳۰ درجه.

جدول ۱: طبقه بندی لندفرم های مورفولوژیکی جهت بررسی اثرات بزرگسازی بر اساس روش پسینا۲۰۱۰

کلاس توپوگرافی	شرح	ضریب تاثیر

1- residential areas

T1	سطوح مسطح؛ با زاویه شیب متوسط i<15 درجه	۱
T2	شیب های با $i > 15°$ درجه	۱,۲
T3	خط الراس ها با قلل با ارتفاع کم با شیب $15°<i<30°$ درجه است	۱,۲
T4	خط الراس ها با قلل مرتفع با شیب $i>30°$ درجه است	۱,۴

این طبقه بندی های شیب اشاره دارند به موقعیت و امتداد قله ها و خط الراس ها و باید فقط زمانی که ارتفاع آنها بیشتر از ۳۰ متر است، مورد توجه قرار گیرد. برای هر دسته، ضریب تاثیر توپوگرافی(ST) ، در طراحی نقشه ها ارائه شده است.$1 \leq ST \leq 1.4$ ، این در حالی است که در مورفولوژی پیچیده تر معیارها نیاز به تجزیه و تحلیل اثرات خاص مکان دارد. در این پژوهش از فرآیند های GIS و پارامترهای مورفولوژیکی جهت پردازش و تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده ها استفاده گردیده است که در ادامه به بیان هریک از این موارد می پردازیم: تجزیه و تحلیل داده های GIS نشان داده است که شناسایی مناسب مناطق در معرض خطر زلزله بستگی به وضوح مدل رقومی ارتفاع (DEM) و ویژگی های مورفولوژیکی زمین دارد که با توجه به شرایط کوهستانی محدوده مطالعاتی از آن استفاده شده است.

پردازش و تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده ها

پردازش اجرایی داده ها در GIS

توپوگرافی سطح زمین می تواند به شدت تحت تاثیر حرکت زمین لرزه، که توسط نمونه های زیادی از حوادث غیر مترقبه که در ساختمان های واقع در بالای تپه ها، خط الراس ها و یا در امتداد دامنه ها نشان داده می شود، قرار گیرد(pessina et al 2010:1). برای ارائه ابزار عملی برای شناسایی سایت های مهم توپوگرافی، تجزیه و تحلیل مدل های ارتفاعی دیجیتالی با وضوح بالا (DEM) با پشتیبانی از سیستم های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در این پژوهش ارائه شده است. توابع ساده GIS برای طبقه بندی محدوده های بحرانی شیب استفاده می شوند، در حالی که شناسایی دره ها و خط الراس ها نیازمند روش های پیچیده تر است. نقشه های حاصل می توانند برای ارزیابی خطر لرزه ای مرتبط با توپوگرافی در مقیاس وسیع مورد استفاده قرار گیرند. داده های مربوط به موقعیت مساکن از سازمان مدیریت وبرنامه ریزی خراسان رضوی و داده های مربوط به جمعیت محدوده مطالعاتی بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ از پایگاه داده مرکز امار ایران استخراج گردید و یک نقشه جدید از مناطق مسکونی شهر کلات نادری و محدوده آن ایجاد گردید تا شبکه ای از اطلاعات شیب، اختلاف ارتفاع و خط الراس ها را پوشش دهد. شناسایی مناسب یال ها و خط الراس درطبقه بندی توپوگرافی حیاتی است و برای این کار روش های پیچیده تری مورد نیاز است. پس از تست روش های مختلف برای شناسایی خط الراس ها (به عنوان مثال معکوس طبقات ارتفاعی و تابع تجمع جریان هیدرولوژی یا فرآیند فیلتر کردن در ترکیب نقشه های انحنا و شیب) روش های زیر پیشنهاد شده است:

۱. DEM با یک فیلتر پایین گذر در یک پیکسل ۳×۳ با استفاده از عملکرد متوسط، برای کاهش خطای DEM.

۲. یک لایه تجمع جریان و یک رستر منحنی ایجاد و با هم مقایسه می شود تا مناطق با انحنای محدب و تجمع جریان کم را انتخاب کنند.

۳. نقشه نهائی ابتدا با استفاده از یک بلوک پیکسل۳×۳ و سپس یک پنجره متحرک۵×۵ فیلتر شده است به طوری که خط الراس ها ضخیم شده و پیکسل های جدا شده طبقه بندی و به عنوان خط الراس حذف می شوند.

۴. نقشه شیب توسط طبقات ارتفاعی نرمال، استخراج و به مقدار بیشتر یا مساوی ۵ درجه با استفاده از یک تابع گروه منطقه ای تعمیم داده شده، به طوری که بی نظمی های توپوگرافی کوچک موجود در مناطق مسطح بزرگ حذف می شوند.

۵. نقشه شیب تولید شده در مرحله ۴ و اولین نقشه خط الراس ها (مرحله ۳) با انتخاب تنها خط الراسهای مناطق شیب دار (شیب بیشتر از ۵ درجه) با هم ترکیب می شوند، به طوری که برآمدگی های محلی در دشت حذف شوند.

۶. تجزیه و تحلیل آمار جدول بین این چند ضلعی ها (پلیگون) و DEM انجام می شود. در داخل هر چند ضلعی، نرم افزار، مقادیر ارتفاع را می خواند و مقادیر را در یک جدول همراه با مقادیر مختلف آماری (حداقل و حداکثر مقدار، حد فاصل و مجموع داده های ارتفاع) را ذخیره می کند.

۷. استخراج داده های ارتفاع با مقادیر محدوده بیش از ۳۰ متر در داخل هر چند ضلعی جدید، مجاورت با یک ناهمواری خیلی مرتفع (برجستگی مرتفع) را تضمین می کند.

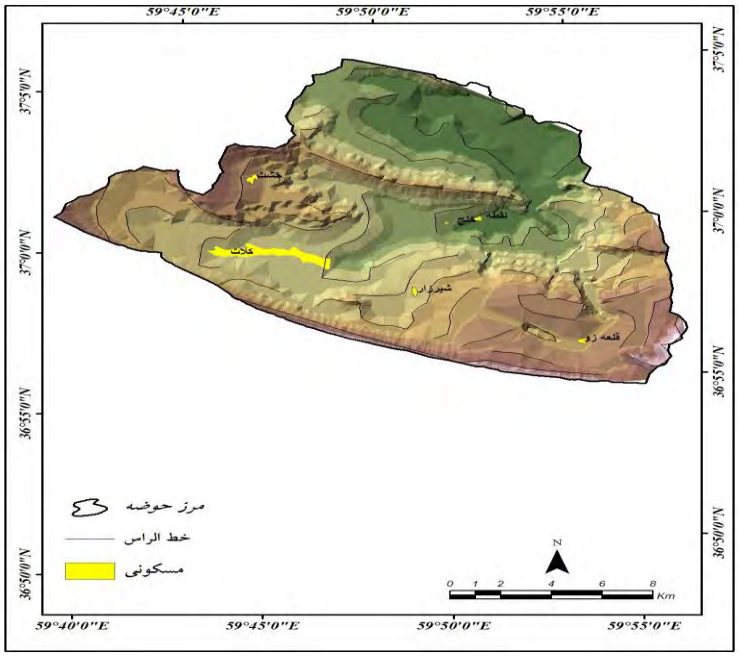
تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفولوژیکی

مدل رقومی ارتفاع[1] **(DEM)**

مدل رقومی ارتفاع متشکل از شبکه منظم نقاط ارتفاعی است (حسین زاده، بیدخوری،۱۱۲:۱۳۹۵). داده های سطح زمین به شکل رقومی، معمولاً در مجموعه داده های رستری ارائه می گردند .شبکه ی نامنظم مثلثی یا TIN مدل داده توپولوژی، برداریست که برای نمایش عوارض زمین به کار می رود (امیر احمدی،۱۳۸:۱۳۹۳). با استفاده از مدل TIN پارامترهای عوارض زمین مانند شیب و جهت شیب، خط الراس ها، مناطق با اختلاف ارتفاع بیش از ۳۰ متر و کمتر از ۳۰ متر برای هر سطح محاسبه گردیده و به عنوان توصیفات آن سطح مطابق روش ذخیره توصیفات در پلیگون ها، ذخیره می گردند. ویژگی های توپوگرافیکی که باید از مدل رقومی ارتفاع استخراج گردد، تا مکان های احتمالی (توسعه – بسط) توپوگرافی را شناسایی کنند عبارتند از: کوه ها و تپه ها و پارامترهای مورفولوژیکی مانند شیب و اختلاف ارتفاع. در حال حاضر روش های استاندارد در هر نرم افزار(GIS) برای تولید نقشه های شیب وجود دارد که می تواند به ترتیب در سه دامنه شیب مطابق با نیازهای ساختمان (کمتر از ۱۵درجه، کمتر یا مساوی ۱۵درجه – کمتر از ۳۰ درجه و بیشتر یا مساوی۳۰ درجه) طبقه بندی شوند. همانطوریکه که در شکل (۳) نشان داده شده است نواحی خط الراس نتیجه خطوط رستری هستند که تبدیل به سیمای وکتوری شده اند .

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1- Digital Elevation Model



شکل ۳: نتایج شناسایی خط الراس ها (خطوط سیاه) در محدوده مطالعاتی

تجزیه وتحلیل خرد پهنه بندی- سطح صفر

سطح صفر خرد پهنه بندی از طریق تحلیل آماری پارامترهای مورفولوژیک سطح صفر انجام می شود. نقشه شیب به ۳ کلاس شامل مقادیر کمتر یا برابر ۱۵، بین ۳۰- ۱۵ و بیشتر از ۳۰ تقسیم بندی می شود. سپس خط الراسها طی چند مرحله ازDEM منطقه استخراج می گردند. پس از تلفیق نقشه ها و بررسی آنها طبقه بندی بر روی نقشه نهایی اعمال می گردد. بنابراین خرد پهنه بندی سطح صفر بر اساس جدول (۲) و شکل (۴) و توضیحات ذیل دسته بندی می گردد:

i) مناطق بدون اثرات بزرگسازی، با شیب متوسط کمتر یا مساوی ۱۵ درجه مطابق باکلاس T1.

ii) مناطق با احتمال اثر بزرگسازی با شیب بیشتر از ۱۵ درجه بدون مجاورت با خط الراس ها .

ii_a) مناطقی با شیب مساوی یا بیش از ۳۰ درجه و با حضور خط الراس ها.

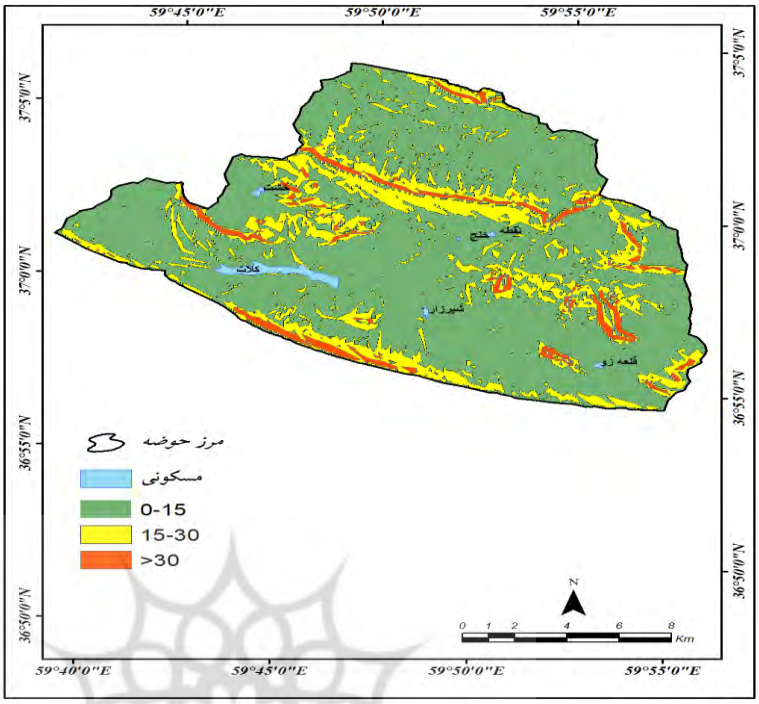
جدول ۲. نتیجه طبقه بندی سطح ۰

کلاس خطر	کلاس شیب	منطقه	مساحت به کیلومتر مربع	درصد خطر برای منطقه کلات براساس مساحت	درصد خط الراس برای هر کلاس
I	۰-۱۵	بدون اثرات بزرگسازی	۱۹۹،۰۸	۷۴/۷۳	۰
ii	>۱۵	با اثرات بالقوه بزرگسازی	۵۶،۳۳	۲۱/۱۲	۰
ii_a	≥۳۰	با شرایط بحرانی	۱۱،۰۹	۴/۱۵	>٪۱

منبع (یافته های تحقیق)

جدول ۲ نتایج تجزیه و تحلیل برای منطقه کلات را نشان می دهد، درصد خطر برای مناطق مسکونی که در سه کلاس بزرگسازی در بالا تعریف شده ، با استفاده از حداکثر مقدار شیب در فرآیند انتخاب، بیان می شود. روش پیشنهادی نسبتا ساده است و می تواند برای تجزیه و تحلیل سطح ۰ در مقیاس های منطقه ای یا ملی مورد استفاده

قرار گیرد. در این مرحله می توان سطوح مسطح و شیب های جدا شده را با میانگین شیب کمتر یا مساوی ۱۵درجه مطابق با کلاس T1 برای ساختمان ها کد گذاری و مشخص کرد، در حالیکه شناسایی کلاس های T3،T2 و T4 (دامنه ها و خط الراس های با شیب بیشتر از ۱۵ درجه و اختلاف ارتفاع بیش از ۳۰ متر) هنوز ضروری نیست.



شکل۴: نقشه کلاس شیب محدوده مطالعاتی

تجزیه وتحلیل خرد پهنه بندی- سطح یک

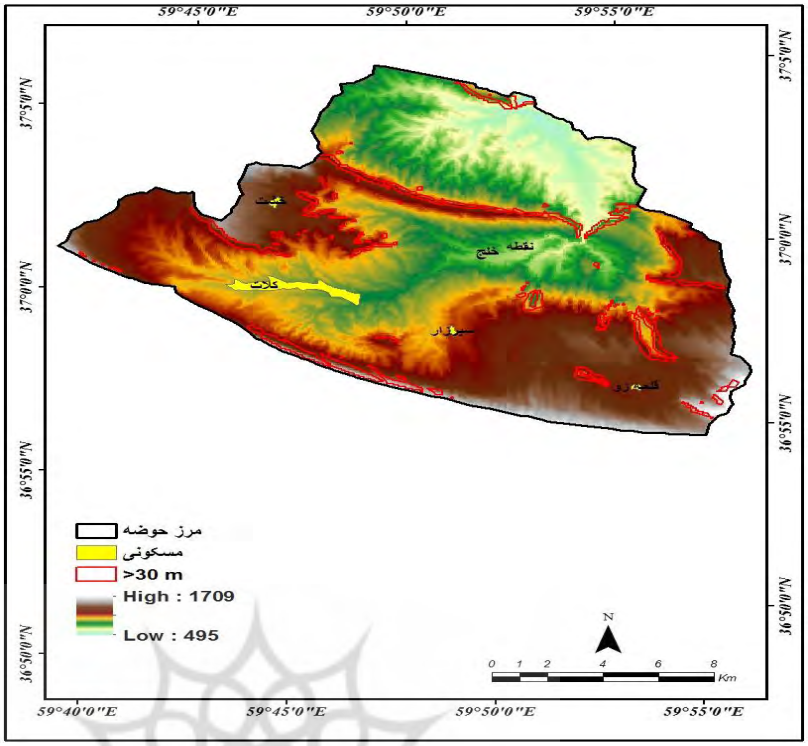
شناسایی لند فرم ها برای نشان دادن پارامتر اختلاف ارتفاع (اختلاف ارتفاع بیش از۳۰ متر) که توسط مقرّرات ساختمانی تعیین شده است، نمی تواند با روش های سطح صفر محقق شود. برای این منظور، یک روش جدید اجرا می شود. کلاس های پیشنهاد شده برای سطح ۰ مطابق با کلاس های استاندارد شده تکنیکی نیست. بنابراین نیاز است مناطقی با اختلاف ارتفاع بیشتر از ۳۰ متر را مشخص کنیم که برای این منظورخرد پهنه بندی دیگری با تحلیل آماری انجام می گردد. دراین مورد در حالیکه نقشه های خط الراس و شیب به همان صورت باقی می مانند یک رستر جدید توسط رهیافت لندفرمیک اضافه می شود. در رستر جدید مقادیر ۱ به بخش هایی که خط الراس ها اختلاف ارتفاع بیشتر از ۳۰ متر دارند اطلاق می شود و در غیر اینصورت مقدار صفر به آن تعلق می گیرد. تلفیق این نقشه ها رستری را در اختیار ما قرار می دهد که با طبقه بندی خروجی نهایی می توان تقسیم بندی مناسبی را از نظر شناسایی و پهنه بندی مناطق در معرض خطر زلزله در رابطه با ویژگیهای ژئومورفولوژی ارائه نمود. این سطح از طبقه بندی دارای دقت مناسب برای اعمال در استانداردهای ساختمانی کشورهای پیشرفته است، جدول (۳) و شکل (۵).

جدول ۳: معیارهای تعریف طبقه بندی سطح ۱

کلاس توپوگرافی	درصد خط الراس	کلاس شیب	Δh30 اختلاف ارتفاع ۳۰ متر	مساحت در منطقه	درصد مساحت در منطقه
T1	۰	۰-۱۵	۰	۱۹۹,۰۸	۷۴/۶۴
T2	<۱٪	>۱۵	۱	۰/۲	۰/۰۷

T3	>۱٪	۱۵-۳۰	۱	۵۶,۳۳	۲۱/۱۲
T4	>۱٪	>۳۰	۱	۱۱,۰۹	۴/۱۵

منبع: یافته های تحقیق

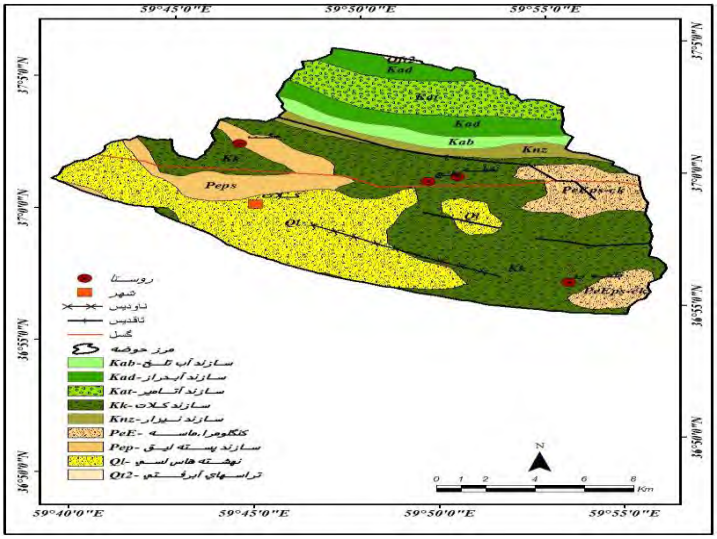


شکل ۵ : شناسایی مناطق با اختلاف ارتفاع بیش از ۳۰ متر (چند ضلعی قرمز)

تهیه نقشه نهایی پهنه بندی خطر زلزله و محاسبه ضریب تاثیر توپوگرافی برای محدوده مطالعاتی

ویژگی های ساختاری (تکتونیک و زمین ساخت)

گسل ها از آثار مربوط به حرکات تکتونیکی هستند که در خلق آثار ژئومورفیک و امثال آن نقش قابل توجهی دارند (زمردیان،۱۳۹۳:۴۲). همانطور که نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه نشان می دهد، در شهر کلات گسل اصلی وجود ندارد.گسل های موجود عمدتا منطبق بر ارتفاعات هزار مسجد بوده و از نوع گسل فرعی و کوتاه می باشد که با جهتی شمال غربی- جنوب شرقی، ضلع جنوبی شهر کلات و محدوده مطالعاتی را تحت الشعاع قرار داده اند. به طوری که نزدیکترین گسل به شهر کلات نادر گسل فرعی در فاصله ۱۰ کیلومتری ارتفاعات جنوبی این شهر قرار گرفته است، تنها یک گسل اصلی در محدوده طاقدیس کلات و در نزدیکی مرز با ترکمنستان و با جهت شمال غربی - جنوبشرقی و در فاصله ۲/۴۰۰ کیلومتری از شهر کلات قرار دارد شکل (۶ و۷). بنابراین با توجه به زلزله های به وقوع پیوسته از سال ۱۳۹۶-۱۳۸۱ و مطابق با جدول (۴) محدوده مطالعاتی دارای شدت زلزله بین ۳/۳ تا ۳/۹ ریشتر است که با مقایسه داده ها زلزله منطقه با جدول (۵) شهر کلات و حومه در محدوده خطر۴-۲ ریشتر با ضریب خطر۰/۸ و میزان تخریب کم قرار دارد.



شکل ۶ : نقشه گسل های منطقه مطالعاتی

شکل۷ : تصویر ماهواره ای موقعیت گسل های اصلی و فرعی محدوده (شرکت مهندسین مشاور بهین آب پاژ،۷۱:۱۳۹)

جدول۴: زمین لرزه های با بزرگی ۳/۵ ریشتر در داخل و پیرامون محدوده مطالعاتی

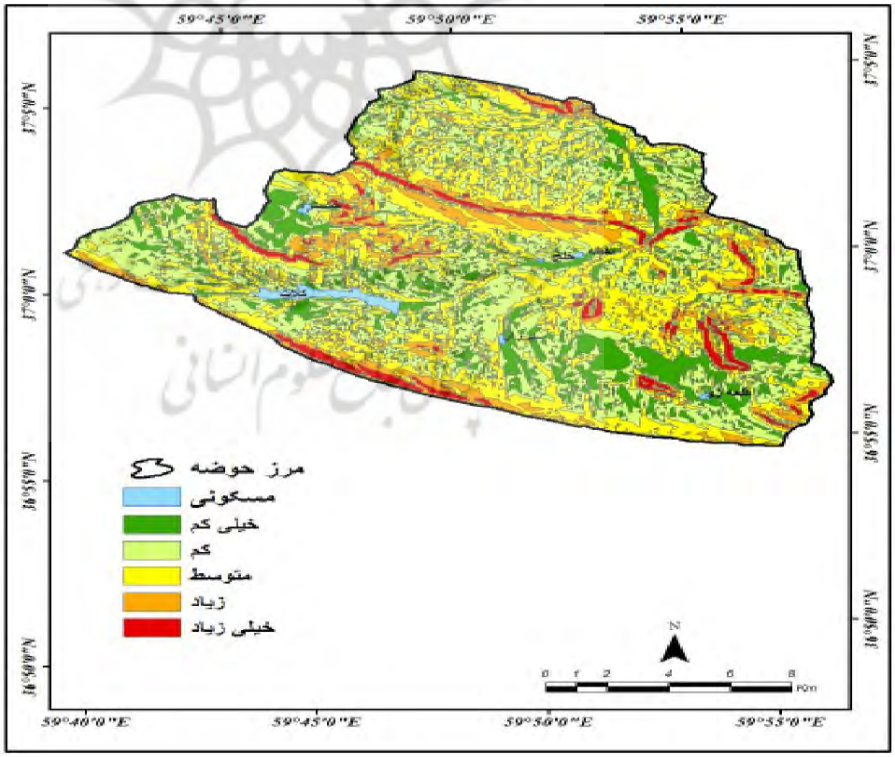
ردیف	مکان	تاریخ	بزرگی (ریشتر)	زمان وقوع (وقت محلی)			طول شرقی	عرض شمالی
				ثانیه	دقیقه	ساعت	UTMX	UTMY
۱	داخل حوضه آبریز کلات	۱۳۸۱/۴/۱۳	۳/۹	۳۰	۸	۹	۵۹/۳۸	۳۷/۰۴
							۷۱۱۶۶۹	۴۱۰۱۹۵۹
۲	داخل حوضه آبریز کلات	۱۳۸۰/۷/۲۲	۳/۵	۲۳	۵	۱۲	۵۹/۳۸	۳۷/۰۳
							۷۱۱۶۹۷	۴۱۰۰۸۴۹
۳	شرق حوضه آبریز کلات	۱۳۸۵/۴/۱۹	۳/۵	۵۶	۵۶	۵	۵۹/۵۴	۳۷/۰۷
							۷۲۵۸۱۲	۴۱۰۵۶۵۶
۴	درون ناودیس کلات	۱۳۸۳/۷/۲۰	۳/۷	۱	۳۱	۴	۵۹/۶۹	۳۷/۱۷
							۷۳۸۸۳۶	۴۱۱۷۱۲۰
۵	داخل حوضه آبریز کلات جلیل آباد و حمام قلعه	۹۶/۶/۲۸	۳/۳	۵۷	۲	۲۱	۷۱۱۶۶۹	۴۱۰۱۹۵۹

(شرکت مهندسین مشاور بهین آب پاژ،۷۱:۱۳۹)

جدول ۵ : طبقه بندی میزان خطر بر اساس شدت زلزله به مقیاس ریشتر، منبع (مقیمی، ۲۳۵:۱۳۸۸)

مقدار زلزله خیزی به ریشتر	ضریب خطر	میزان تخریب
۱	صفر	صفر
۲	۰/۲	بسیار کم
۲-۴	۰/۸	کم
۴-۶	۱/۲۵	متوسط
۶-۷	۲	زیاد
۷-۸	۴	بسیار زیاد
۸-۱۲	-	بسیار بسیار زیاد

جهت تهیه نقشه بزرگسازی اثرات زلزله در محدوده کلات ابتدا یک روش برای انجام تحلیل های خرد در سطح ملی یا منطقه ای استفاده شده است. این روش (سطح صفر) حضور همزمان مناطق تقویت بالقوه حرکت زمینی لرزه ای و عناصر بحرانی مانند مراکز کوچک (سطح صفر) شهری یا مکان های بحرانی را شناسایی می کند. پس از آن یک رویکرد دقیق تر (سطح ۱) به منظور طبقه بندی در مناطق محلی،T1- T4 مناطق با پتانسیل توسعه و گسترش با توجه به لند فرم های تعریف شده در این روش معرفی می شود. کاربرد هر یک از دو روش ارائه شده در این روش به هدف نقشه ریز پهنه بندی بستگی دارد. برای پهنه بندی مناطق تحت تاثیر زمین لرزه با استفاده از ویژگی های طبیعی و مورفولوژیکی ازمدل رقومی ارتفاع (DEM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش پسینا و همکاران استفاده گردیده است. براساس یافته های پژوهش و مشاهدات میدانی، نقشه نهایی حاصل از ریز پهنه بندی بزرگسازی زلزله در ۵ طبقه : بزرگسازی بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه بندی شد. شکل شماره (۶) نقشه نهایی پهنه بندی بزرگسازی زلزله در محدوده مطالعاتی و جدول (۶) و شکل شماره (۷) مساحت و درصد طبقات به روش پسینا را نشان می دهد.

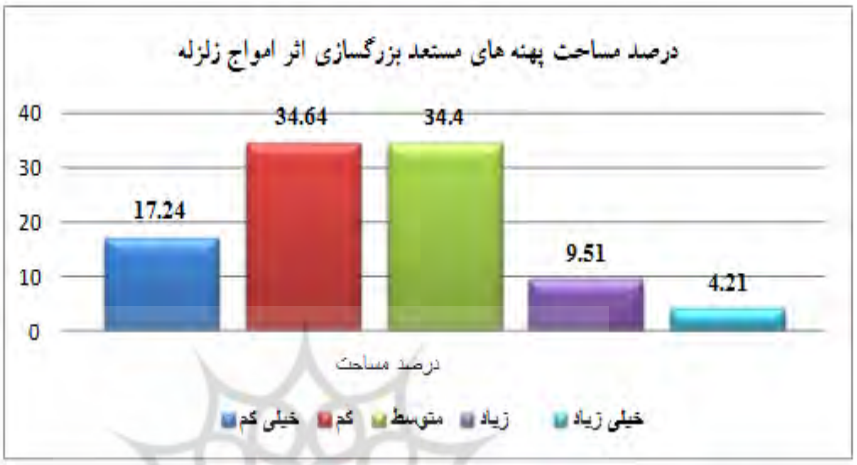


شکل ۶ : نقشه پهنه بندی خطر بزرگسازی زلزله برای محدوده مطالعاتی

جدول۶ : مساحت و درصد پهنه های در معرض بزرگسازی اثرات زلزله در محدوده مطالعاتی

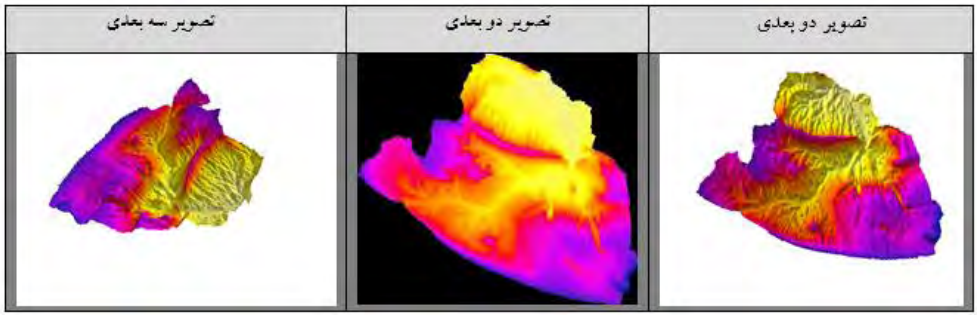
ردیف	بزرگسازی اثر امواج زلزله	مساحت به کیلومترمربع	درصد مساحت از محدوده مطالعاتی
۱	خیلی زیاد	۱۱/۲۵	۴/۲۱
۲	زیاد	۲۵/۳۸	۹/۵۱
۳	متوسط	۹۱/۷۵	۳۴/۴۰
۴	کم	۹۲/۳۹	۳۴/۶۴
۵	خیلی کم	۴۶	۱۷/۲۴

منبع (یافته های تحقیق)



کل ۷ : نمودار پهنه های در معرض بزرگسازی خطر زلزله درشهرکلات نادری و محدوده مطالعاتی (نگارندگان)

با توجه به نتایج تحقیق ازکل مساحت محدوده مطالعاتی ۱۷/۲۴ درصد در محدوده خطر خیلی کم ،۳۴/۶۴ درصد در طبقه خطر کم، ۳۴/۴۰ درصد در طبقه خطر متوسط، ۹/۵۱ درصد در طبقه خطر زیاد و ۴/۲۱ درصد در طبقه خطر خیلی زیاد قرار گرفته است. از مجموع مساحت منطقه ۱۶۵ کیلومتر مربع توسط خط الراس ها در بر گرفته شده است و تقریبا۹۶ ٪ درصد از مساحت محدوده مطالعاتی را شیب بین ۰ تا ۳۰ درصد در بر می گیرد که این امر خود گواه بر کوهستانی بودن منطقه است. با توجه به این امر ضریب تاثیر توپوگرافی بر اساس روش ارائه شده در این پژوهش و با توجه به شرایط محیطی و ژئومورفولوژیکی آن(ST = 1.2) است. این ضریب تاثیر توپوگرافی بیانگر آن است که این منطقه در خطر بزرگسازی نسبی زلزله قرار دارد. در شکل (۸) تصاویر ۲ و ۳ بعدی لندفرم های ژئومورفولوژیکی شهر کلات نادری نشان داده شده است. در نهایت جهت کنترل صحت و سقم مدل، نقشه زمین شناسی (تکتونیک و سازند های لیتولوژیکی) نقشه های توپوگرافیکی (ارتفاع، شیب، جهت شیب) لندفرم های ژئومورفولوژی محدوده (عوارض کوهستانی، تپه ، تپه ماهور ها، دره،کانیون)، وضعیت هیدرولوژی و فیزیوگرافیکی آبراهه های اصلی و زیر حوضه های آبخیز ورودی به شهر با شرایط محیطی و مشاهدات میدانی منطقه انطباق داده شده است.



شکل ۸ : تصاویر ۲ و ۳ بعدی لند فرم های ژئومورفولوژی حوضه آبخیز شهرکلات نادری (نگارندگان)

نتیجه گیری

مقایسه روشهای مختلف شناسایی بزرگسازی لرزه ای سایت های مهم توپوگرافی در این پژوهش با هدف یافتن مناسب ترین روش تجزیه و تحلیل ریز پهنه بندی ارائه شده است. در این پژوهش از امکانات GIS و پارامترهای مورفولوژیکی جهت پردازش و تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده ها و پهنه بندی مناطق در معرض خطر زلزله در محدوده مطالعاتی شهر کلات نادری، در استان خراسان رضوی استفاده گردیده است. تجزیه و تحلیل داده های GIS نشان داده است که روش شناسایی مناسب مناطق در معرض خطر زلزله بستگی به وضوح مدل رقومی ارتفاع (DEM) و ویژگی های مورفولوژیکی زمین دارد که با توجه به شرایط کوهستانی محدوده مطالعاتی از آن استفاده شده است، نقشه های حاصل در این روش می توانند برای ارزیابی مناطق دارای ریسک و خطر زمین لرزه مرتبط با توپوگرافی در مقیاس وسیع مورد استفاده قرار گیرند. این روش در سطوح مختلف تجزیه و تحلیل اجرا شده است: سطح صفر برای تحقیقات در مقیاس در سطح ملی یا منطقه ای مناسب است و سطح ۱ به طور پیوسته برای طبقه بندی معیارها در مناطق کوچکتر (مقیاس استان یا محلی) پیشنهاد شده است. با توجه به نتایج تحقیق ازکل مساحت محدوده مطالعاتی ۱۷/۲۴ درصد در محدوده خطر خیلی کم ،۳۴/۶۴ درصد در طبقه خطر کم، ۳۴/۴۰ درصد در طبقه خطر متوسط، ۹/۵۱ درصد در طبقه خطر زیاد و ۴/۲۱ درصد در طبقه خطر خیلی زیاد قرار گرفته است. با توجه به نتایج تحقیق ازکل مساحت محدوده مطالعاتی ۷۴/۷۱ درصد در محدوده خطر کم ،۲۱/۱۲ درصد در طبقه خطر زیاد و ۴/۱۵ در طبقه خطر خیلی زیاد قرار گرفته است. ضریب تاثیر توپوگرافی بر اساس روش ارائه شده در این پژوهش با توجه به شرایط محیطی و ژئومورفولوژیکی محدوده مطالعاتی(ST = 1.2) است که بیانگر آن است که این منطقه در محدوده خطر بزرگسازی نسبی زلزله قرار دارد. همانطور که نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه نشان می دهد، در محدوده شهرکلات، گسل اصلی وجود ندارد، گسل های موجود عمدتا منطبق بر ارتفاعات هزار مسجد بوده و از نوع گسل فرعی و کوتاه می باشد که با جهتی شمال غربی- جنوب شرقی، ضلع جنوبی شهر کلات و محدوده مطالعاتی را تحت الشعاع قرار داده اند. لذا مطالعه مناطق در معرض خطر زلزله در این شهر و مناطق پیرامونی آن و آمادگی لازم جهت کاهش مخاطرات ناشی از زلزله در این محدوده برای مسئولین وبرنامه ریزان شهری ضروری است.

منابع

۱. امیراحمدی، ابوالقاسم؛ آب باریکی، زکیه (۱۳۹۳)، "ریزپهنه بندی خطر زلزله شهر سبزوار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS " ، جغرافیا وتوسعه ،۳۵، صص. ۱۵۲-۱۳۳.

۲. احمدی، حسن (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی (جلد ۱) فرسایش آبی، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۳. اسفندیاری، فریبا؛ غفاری گیلانده، عطا؛ لطفی، خداداد (۱۳۹۳)، "بررسی توان لرزه زایی گسل ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زلزله در مناطق شهری مطالعه موردی: (شهر اردبیل)"، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴، صص. ۳۶-۱۷.

۴. حسین زاده، رضا؛ بید خوری، علیرضا(۱۳۹۵)، سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS (مبانی وآموزش نرم افزار Arc GIS)، مشهد: جهاددانشگاهی مشهد.

۵. حیاتی، سلمان؛ اسماعیلی، آسیه؛ رضوی‌نژاد، مرتضی (۱۳۹۵)، "پیش‌بینی محل وقوع زلزله احتمالی در استان خراسان رضوی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی خود سازمان ده کوهونن، مجله علمی – پژوهشی جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۰، صص. ۲۰-۱.

۶. روستایی،شهرام؛ ساری صراف، بهروز(۱۳۸۵)، "پهنه بندی مخاطرات محیطی موثردر توسعه فیزیکی شهر تبریز"، فصل نامه جغرافیایی سرزمین،۳(۱۰) صص.۱۲۶-۱۱۰.

۷. رجبی، معصومه؛ حجازی، میر اسدالله؛ روستایی، شهرام؛ عالی، نگین (۱۳۹۷)، "پهنه بندی آسیب پذیری مخاطرات طبیعی و ژئومورفولوژیکی سکونتگاههای روستایی شهرستان سقز (مطالعه موردی سیل و زلزله)"، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره۲، صص. ۱۹۵-۱۸۳۰.

۸. زمردیان ،محمدجعفر(۱۳۹۳).کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه ریزی شهری وروستایی، تهران ، انتشارات دانشگاه پیام نور.

۹. قائد رحمتی، صفر؛ قانعی بافقی، روح اله (۱۳۹۱)، "تحلیل تأثیر گسترش فضایی شهر تهران در افزایش آسیب پذیری ناشی از زلزله – دوره زمانی: گسترش فیزیکی ۲۰۰ سال اخیر با استفاده از با استفاده از مدل هلدرن"، مجله علمی – پژوهشی تحقیقات جغرافیایی شماره ۱۰۵، صص. ۱۹۱- ۱۶۹.

۱۰. فرجی ملایی، امین؛ پیله ور، مهدی؛ امیری شابنده، جواد؛ حاجیلو، مهران (۱۳۹۶)، "تحلیلی بر روند گسترش کالبدی- فضایی کلانشهر مشهد و افزایش آسیب پذیری در برابر زلزله"، نشریه علمی- پژوهشی وزارت علوم، شماره ۱۰،صص. ۱۱۰-۸۹ .

۱۱. قدیری، محمود؛ رکن الدین افتخاری، عبدالرضا (۱۳۹۲)، "رابطه ساخت اجتماعی شهرها و میزان آسیب پذیری در برابر خطر زلزله مطالعه موردی: محلات کلانشهر تهران"، مجله علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی ، شماره ۵۰، صص. ۱۷۴- ۱۵۳.

۱۲. سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی، شرکت مهندسین مشاور بهین آب پاژ (۱۳۹۵)، گزارش فنی طرح بهره برداری بهینه از منابع آب رودخانه کلات در محدوده سد امیر (سد نادری).

۱۳. سازمان نقشه برداری کشور، عکسهای هوایی بلوک مشهد باند ۲-۱، مقیاس: ۱:۴۰۰۰۰ .

۱۴. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، ۱۳۷۸ ، نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ کلات، برگهای کلات و قله زو.

۱۵. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور. ۱۳۸۴ ، نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ کلات، برگه کلات نادری.

۱۶. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور. ۱۳۸۶ ، نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ کلات، برگه مارشک.

۱۷. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۱۳۸۷ ،گزارش نقشه زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ کلات، برگه کلات نادری.

۱۸. شریفی کیا، محمد؛ معتمدی نیا، منیره؛ شایان، سیاوش (۱۳۸۹)، "تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی ناشی از توسعه فیزیکی شهر ماهنشان"، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۳، شماره ۱۶ ، صص. ۱۲۶-۱۰۵.

۱۹. صیامی، قدیر؛ تقی نژاد، کاظم؛ زاهدی کلاکی، علی (۱۳۹۴)، "آسیب شناسی لرزه‌ای پهنه‌های شهری با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی معکوس(IHWP) و GIS (مطالعه موردی شهر گرگان)"، مجله مطالعات برنامه ریزی شهری، شماره ۹ ، صص. ۶۴ – ۴۳.

۲۰. فاضل، سوگل؛ تقوایی، مسعود؛ محمود زاده، امیر (۱۳۹۶)، "پهنه بندی آسیب پذیری لرزه ای شهری با استفاده از مدل ANP مطالعه موردی: شهر نجف آباد"، دوفصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱۱، صص. ۱۳۲-۱۲۱.

۲۱. مهدوی عادلی، مهدی؛جزایری مقدس،سید محمود(۱۳۹۰)، سومین کنفرانس برنامه ریزی ومدیریت شهری .۱۳۹۰، صص.۱۲-۱۰.

۲۲. مرادی، حمیدرضا؛ محمدی، مجید؛ پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۱)، حرکات دامنه ای (حرکات توده ای) با تاکید بر روش های کمی تحلیل وقوع زمین لغزش، تهران: انتشارات سمت.

۲۳. محمودی، فرج الله (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی اقلیمی، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.

۲۴. مقیمی، ابراهیم (۱۳۸۸)، ژئومورفولوژی شهری، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.

۲۵. مرکز ملی آمار ایران، نتایج سرشماری (۱۳۹۵)، آدرس اینترنتی .http://www.amar.org.ir

۲۶. نجفی، اسماعیل؛ نجفی، کبری؛ رستمی فتح آبادی، محمد؛ قاسمیان، محمد (۱۳۹۵)، "معضلات و مخاطرات محیطی محدودکننده توسعه پایدار شهری مطالعه موردی: کلان شهر تهران"، انجمن علمی اقتصاد شهری، مجموعه مقالات همایشی.

27. Albayomi,G (2012) "Assessment of Urban Geomorphological Hazard in the North-East of Cairo City, Using Remote Sensing and GIS Techniques". Life Science Journal, Vol9, Issue2,pp398-402

28. -Diana, L. Lestuzzi, P. Podestà S. Luchini, C. (2019), "Improved Urban Seismic Vulnerability Assessment Using Typological Curves and Accurate Displacement Demand Prediction", Journal of Earthquake Engineering, vol 23,1ssue 5,pp725-908.

29. Pessina V، fiorini E. and paolucci (2010). "GIS-Based Identification of Topographic Sites in Italy with Significant Ground Motion Amplification Effects". Missouri University of Science and Technology.pp 27-33.

30. Pessina V, Fiorini E (2014) "A GIS procedure for fast topographic characterization of seismic recording stations". Soil Dyn Earthq Eng 63:248–258.

31. -Lantada, N. Pujades, L.G. Barbat, A.H. (2018), "Earthquake Risk Scenarios in Urban Areas: A Review with Applications to the Ciutat Vella District in Barcelona, Spain", International Journal of Architectural Heritage, Vol 12, Issue 7-8, Pp 1112-1130.

32. RASHED, TAREK. WEEKS, JOHN(2003), "Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial". International Journal of Geographical ,vol 17, Issue 6,pp 547-576.
33. Karimzadeh, Sadra.Miyajima, Masakatsu. Kamel, Batoul. Pessina, Vera (2015), "A fast topographic characterization of seismic station locations in Iran through integrated use of digital elevation models and GIS", Springer Science, Journal of Seismology, pp1-20.
34. Erdik, Mustafa (2006), "Urban Earthquake Risk, Engineering Conferences International Proceedings Geohazards, pp 1-13.
35. -Jones, Samantha. Vasvani, Vishal (2017), "Compliance with the building byelaws and earthquake safety in urban areas of Bihar: progress, constraints and challenges", ENVIRONMENTAL HAZARDS, VOL. 16, NO. 4,pp 345–362.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی