

نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۰، شماره ۵۷، پاییز ۱۳۹۵، صفحات ۲۱۶-۱۹۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۰۷

ارزیابی فعالیت و توان لرزه‌زایی گسل تبریز و برآورد تلفات انسانی کلان‌شهر تبریز با فن آوری سنجش از دور و GIS

موسی عابدینی*^۱

خلیل ولیزاده کامران^۲

نادر سرمستی^۳

چکیده

گسترش کلان‌شهر تبریز در حریم گسل، احتمال بروز خطرات زمین‌لرزه را افزایش داده است. با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش سعی دارد با استفاده از فن آوری سنجش از دور و GIS به ارزیابی فعالیت و توان لرزه‌زایی گسل تبریز و برآورد تلفات انسانی در کلان‌شهر تبریز بپردازد. برای دستیابی به هدف، تصویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 پردازش و شواهد فعالیت گسل تبریز بررسی شد. توان لرزه‌زایی گسل تبریز با مدل‌های تجربی تعیین شد. تلفات انسانی کلان‌شهر تبریز به روش متناسب با شرایط لرزه‌خیزی و بافت عناصر شهری کشورمان برآورد شد. انحراف آبراهه آجی‌چای، پرتگاه گسل، پشته‌های فشاری و پدیده عدسی شکل مهم‌ترین شواهدی هستند که در تفسیر فعالیت گسل تبریز بر روی تصویر ماهواره‌ای مورد توجه قرار گرفتند. بر اساس نتایج مدل‌های تجربی، گسل تبریز توان ایجاد زمین‌لرزه‌هایی به بزرگی میانگین ۶/۸ ریشتر را دارد. با فرض وقوع زمین‌لرزه‌ای مطابق سناریوی فعالیت لرزه‌ای گسل تبریز، از کل جمعیت ۱۶۰۵۸۸۴ نفری کلان‌شهر تبریز (سرشماری سال ۱۳۹۰) به تعداد تقریبی ۱۲۵۲۵۸۹ نفر تلفات شب‌هنگام شامل ۶۵۸۴۱۲ نفر مردگان و ۵۹۴۱۷۷ نفر مجروحان در شرایط تخریبی کامل ساختمان‌ها برآورد شد.

واژگان کلیدی: تکتونیک، گسل تبریز، توان لرزه‌زایی، تلفات انسانی، سنجش از دور و GIS.

Email: abedini@uma.ac.ir

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۲- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز.

۳- دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

مقدمه

فعالیت تکتونیکی در امتداد خطوط گسلی فعال بر روی ویژگی‌های توپوگرافی اثر مهمی دارد. متدهای رایج مطالعات گسل، به پژوهش‌های میدانی وسیعی نیاز دارد که مستلزم صرف زمان و هزینه زیادی است (ایرینی^۴ و همکاران، ۲۰۱۱: ۹). فن‌آوری سنجش از دور^۵ همراه با روش‌های پردازش تصویر در ارزیابی فعالیت گسل‌های فعال کارایی دارد (زهانگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۳). هر چند جلوگیری از رخداد زمین‌لرزه اجتناب‌ناپذیر است، اما ارزیابی توان لرزه‌زایی و تلفات ناشی از آن امری ضروری است (آلوک^۷ و همکاران، ۲۰۱۳: ۶۳۵). شکل‌گیری مناطق شهری همراه با دخالت‌های نسنجیده انسانی در حریم گسل موجب شده است تا بر اثر وقوع زمین‌لرزه، فاجعه انسانی به‌وجود آید. در این میان فن‌آوری GIS نقش برجسته‌ای را ایفا می‌کند، چرا که مدیریت ریسک لرزه‌ای بر پایه‌ی پیاده‌سازی مدل‌های محاسباتی و تولید نقشه‌های خطرپذیری لرزه‌ای امکان‌پذیر است (منصوری، ۲۰۰۸: ۱). در پهنه‌بندی نسبی خطر زمین‌لرزه، کلان‌شهر تبریز در جایگاه پهنه‌بندی با خطر نسبی بسیار بالا قرار دارد. گسل تبریز در مجاورت بلافاصل شهر قرار گرفته و در مناطقی نیز شهر بر روی آن بنا شده است (ولیزاده‌کامران، ۱۳۸۰: ۵۱).

تحلیل‌های متعددی در ارتباط با ماهیت موضوع انجام گرفته است که در اینجا به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۰)، ساختار گسل تبریز را با استفاده از داده‌های دورسنجی تحلیل نمودند. نتایج این پژوهش، نشان‌دهنده اهمیت بالای تصاویر ماهواره‌ای در ارزیابی فعالیت گسل‌های فعال است. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳)، توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زمین‌لرزه در شهر اردبیل را بررسی نمودند. بر اساس نتایج معلوم گردیده است که وضعیت وقوع زمین‌لرزه در شب بدون هیچ‌گونه امدادسانی، شدیدترین تلفات را موجب می‌گردد. صفری و همکاران (۲۰۱۰)، مخاطره

4- Eirini

5- Remote Sensing

6- Zhang

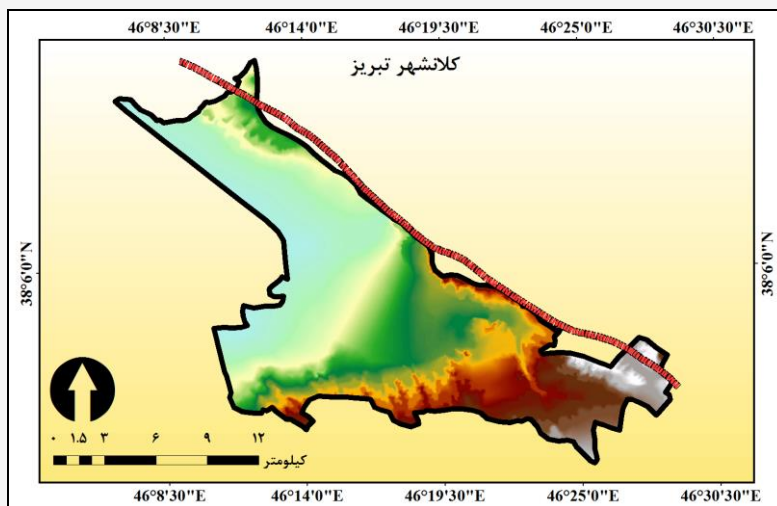
7- Alok

لرزه‌زایی منطقه مسجد سلیمان را با فن‌آوری سنجش از دور و GIS ارزیابی نمودند. نتایج بیان‌گر توان لرزه‌زایی گسل‌های فعال با حداکثر بزرگی بین ۶/۲۳ و ۷/۰۵ ریشتر است. کریم‌زاده و همکاران (۲۰۱۴)، آسیب‌پذیری ساختمانی و تلفات انسانی کلان‌شهر تبریز (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی دو کلان‌شهر تبریز) را در سناریوهای مختلف زمین‌لرزه با GIS ارزیابی نمودند. نتایج نشان داده است که ۶۹/۵ درصد ساختمان‌های منطقه دو کلان‌شهر تبریز به‌طور کامل تخریب شده و نرخ تلفات در سناریو شب‌هنگام در این منطقه تقریباً ۳۳ درصد است.

کلان‌شهر تبریز به‌عنوان بزرگ‌ترین پایگاه جمعیتی، بر روی گسلی فعال قرار گرفته است. با توجه به اهمیت موضوع، بررسی فعالیت و توان لرزه‌زایی گسل تبریز و برآورد تلفات انسانی کلان‌شهر تبریز با فن‌آوری سنجش از دور و GIS از مهم‌ترین اهداف این پژوهش است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تبریز در شمال‌غربی ایران واقع شده و با وسعتی حدود ۲۴۴۹۸ هکتار در موقعیت جغرافیایی بین $38^{\circ} 13' 11''$ تا $38^{\circ} 9' 50''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 11'$ تا $46^{\circ} 23'$ طول شرقی با ارتفاع متوسط حدود ۱۳۴۰ متر در جلگه‌ای به نام جلگه تبریز واقع شده است. گسل تبریز یکی از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی در شمال‌غرب کشور است که در طول عمر خود تأثیر زیادی بر روند زمین‌شناسی و مورفولوژی و هم‌چنین لرزه‌خیزی منطقه داشته است. گسل تبریز که از بخش‌های شمالی کلان‌شهر تبریز عبور می‌نماید، به دلیل وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد تاریخی و دوازده بار تخریب کامل شهر از گسل‌های شناخته‌شده زمین‌لرزه‌ای ایران است (زارع، ۱۳۸۰: ۴۶). شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، علاوه بر استفاده از کتب و منابع نوشتاری، از داده‌های متنوع دیگری نیز استفاده شده است که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌گردد:

۱. تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER مربوط به ردیف ۸۰ و گذر ۱۶۰ تاریخ ۲۰۱۲/۱۲/۲۸

۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلان‌شهر تبریز.

۳. مدل رقومی ارتفاع (DEM)^۸ با قدرت تفکیک ۲۰ متری.

۴. نقشه کاربری اراضی و بلوک‌های آماری جمعیت کلان‌شهر تبریز.

در این پژوهش برای بررسی داده‌های مورد اشاره در بالا، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است که جزئیات آن‌ها به شرح زیر است:

8- Digital Elevation Model

الف- ارزیابی فعالیت گسل تبریز با پردازش داده‌های ماهواره‌ای: پس از ورود داده‌ها به محیط نرم‌افزار ENVI (نسخه ۵/۳)، اقدام به ایجاد تصاویر ترکیبی از باندهای مختلف سنجنده‌ی ASTER گردید. پس از تهیه تصویر رنگی کاذب، شواهد فعالیت گسل تبریز بررسی شد.

ب- ارزیابی توان لرزه‌زایی گسل تبریز: توان لرزه‌زایی گسل تبریز با روابط کمی نوروزی و اشجعی، سلمونز^۹، آمبرسایز و ملویل^{۱۰}، نوروزی، کوپر اسمیت^{۱۱} و زارع تعیین شد.

پ- ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زمین‌لرزه: در این پژوهش، مجموعه‌ای از معیارهای طبیعی و انسانی را طبق نظرات کارشناسان انتخاب نموده و سعی شده است تا با به‌کارگیری مدل همپوشانی وزنی و تحلیل چند معیاری، برآورد مناسبی از ضریب آسیب‌پذیری کلی کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زمین‌لرزه ارائه شود.

ت- طراحی سناریو برای ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری ساختمان‌های کلان‌شهر تبریز در برابر میانگین شدت زمین‌لرزه: برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر، لازم است با استفاده از روش میزان متوسط آسیب به طراحی سناریوی زمین‌لرزه برای شدت‌های مختلف پرداخت و در نهایت، ارزیابی نسبتاً دقیقی از میزان خسارات وارده به ساختمان‌ها و تلفات انسانی میسر شود.

ث- برآورد تلفات انسانی: در این پژوهش، تلفات انسانی به روش متناسب با شرایط لرزه‌خیزی و بافت عناصر شهری کشورمان برآورد شد.

ج- بررسی‌های صحرایی: به‌منظور تطبیق نتایج حاصل با مشاهدات میدانی، مطالعات صحرایی در بخش‌هایی از منطقه‌ی مورد مطالعه انجام گرفت.

9- Selmoons

10- Ambersiz and Melvil

11- Coppersmith

یافته‌ها و بحث

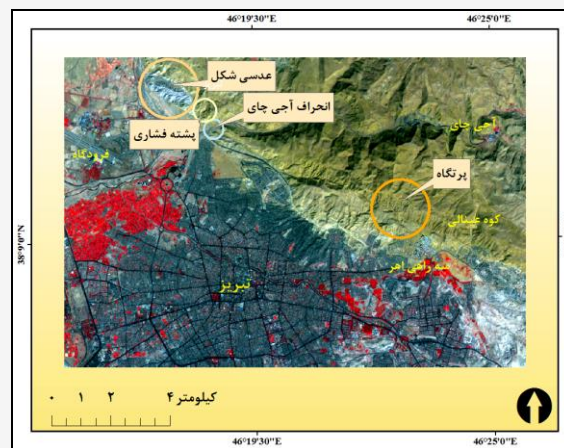
ارزیابی فعالیت گسل تبریز با پردازش داده‌های ماهواره‌ای

با توجه به هدف پژوهش، تصویر رنگی کاذب از ترکیب باندهای مرئی سنجنده ASTER ساخته شده و با تفسیر بصری ارزیابی شد (شکل ۲). در تفسیر گسل با تصاویر رنگی کاذب، شرایط زیر را باید در نظر گرفت (بابااحمدی، ۱۳۸۷: ۱۱۴):

الف- قطع‌شدگی، جابه‌جایی و کشیدگی ساختارهای زمین‌شناسی مانند آبراهه‌ها و رودخانه‌ها.

ب- وجود ساختارهای پلکانی و عدسی‌های تشکیل‌شده در واحدهای سنگی.

با توجه به شکل (۲)، انحراف آبراهه آجی‌چای، پرتگاه گسل، پشته‌های فشاری و پدیده عدسی شکل مهم‌ترین شواهدی هستند که در تفسیر فعالیت گسل تبریز بر روی تصویر ماهواره‌ای مورد توجه قرار گرفتند. به‌منظور کنترل نتایج تفسیری، از شواهد میدانی منطقه نیز استفاده شد (شکل ۳).



شکل (۲) شواهد گسل تبریز بر روی تصویر رنگی



(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

شکل (۳) (الف) یرتگاه گسلی، (ب) انحراف آبراهه آجی‌چای، (پ) پدیده عدسی شکل، (ت) پشته فشاری

ارزیابی توان لرزه‌زایی گسل تبریز

روش بزرگا- طول گسل یکی از معتبرترین روش‌ها در محاسبه توان لرزه‌زایی گسل است (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۹). روابط تجربی موجود عبارت‌اند از:

الف) رابطه نوروزی و مهاجراشجعی (۱۹۷۸):

$$M_s = 5.4 + \text{Log}_L \quad (۱) \quad \text{رابطه}$$

که M_s بزرگی زمین‌لرزه در مقیاس ریشتر و L نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است.

ب) رابطه پیشنهادی سلمونز (۱۹۸۲) برای گسل‌های امتداد لغز:

$$M_S = 1.404 + 1.169 \log L \quad \text{رابطه (۲)}$$

که L نیمی از طول گسل بر حسب متر است.

پ) رابطه آمبرسایز و ملویل (۱۹۸۲):

$$M_S = 4.629 + 1.429 \log L \quad \text{رابطه (۳)}$$

که L نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است.

ت) رابطه نوروزی (۱۹۸۵):

$$M_S = 1.259 + 1.244 \log L \quad \text{رابطه (۴)}$$

که L نیمی از طول گسل بر حسب متر است (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۲۸).

ث) رابطه‌ی کوپر اسمیت (۱۹۹۴) برای گسل‌های امتدادلغز:

$$M_S = 5.16 + 1.12 \log L \quad \text{رابطه (۵)}$$

که L نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است.

ج) رابطه زارع (۱۳۷۴):

$$M_S = 3.66 + 9.91 \ln L \quad \text{رابطه (۶)}$$

که L نیمی از طول گسل بر حسب کیلومتر است (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۱).

طول گسل تبریز از شهر صوفیان در شمال غرب تا شهر بستان‌آباد در جنوب شرق تبریز ۹۷ کیلومتر تعیین شده است که این قطعه از گسل، مبنای محاسبه توان لرزه‌زایی در نظر گرفته شد. با جایگزینی طول گسل در روابط کمی (۱ تا ۶)، توان لرزه‌زایی گسل تبریز محاسبه شد. با توجه به این محاسبات، میانگین عدد ۶/۸ ریشتر به دست آمد (جدول ۱).

جدول (۱) حداکثر توان لرزه‌زایی گسل تبریز برحسب ریشتر

| طول گسل (کیلومتر) | نوروزی و اشجعی | سلمونز | آمبرسایز و ملویل | نوروزی | کوپر اسمیت | زارع | میانگین |
|----------------------|-------------------|--------|---------------------|--------|---------------|------|---------|
| ۹۷ | ۷ | ۶/۵ | ۶/۹ | ۶/۶ | ۷ | ۷/۱ | ۶/۸ |

ارزیابی ضریب آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زمین‌لرزه

یکی از روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر خطر زمین‌لرزه، مدل همپوشانی وزنی است. در این پژوهش، مجموعه‌ای از معیارهای طبیعی و انسانی را طبق نظرات کارشناسان مختلف انتخاب نموده و سعی شده است تا با به‌کارگیری مدل همپوشانی وزنی و تحلیل چند معیاری، برآورد مناسبی از آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زمین‌لرزه ارائه شود. با بررسی تحقیقات پیشین، نه معیار طبیعی و انسانی انتخاب شدند (جدول ۲).

جدول (۲) معیارهای طبیعی و انسانی

| معیارها | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------|-----|----------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| فاصله از گسل | سازند زمین‌شناسی | شیب | تراکم جمعیت | تراکم ساختمان | کیفیت ابنیه | مساحت قطعات | کاربری اراضی | تعداد طبقات |

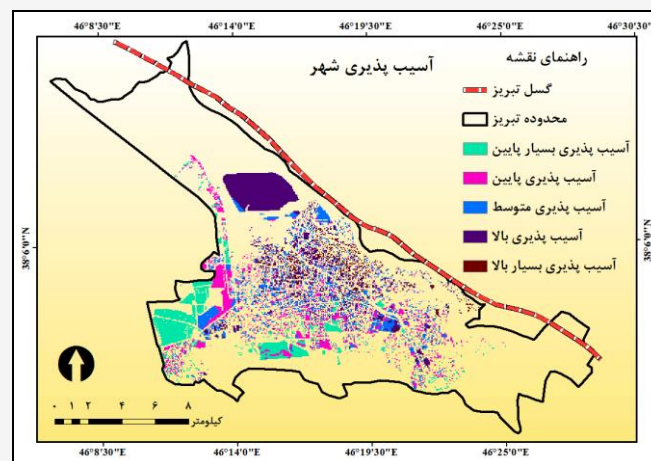
در مرحله بعد، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به معیارهای منتخب با استفاده از نقشه‌های رقومی^{۱۲} موجود تهیه شد. لایه‌ها بر اساس فیلدهای موجود به پنج طبقه اولویت‌بندی^{۱۳} شدند. برای وزن‌دهی بین ۱ تا ۱۰۰ (مجموع این معیارها باید ۱۰۰ باشد)، طی پرسشنامه‌ای از نظرات ۲۱ نفر از کارشناسان استفاده شد (جدول ۳). نتایج حاکی از امتیاز بالا برای عوامل محیطی است که در این میان فاصله از گسل و سازند زمین‌شناسی بیش‌ترین امتیاز را دارد. کیفیت ابنیه و تراکم جمعیت نیز در بین عوامل انسانی به‌عنوان مهم‌ترین عوامل انتخاب شدند. در نهایت با همپوشانی لایه‌ها با مدل همپوشانی وزنی، آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در برابر خطر زمین‌لرزه مدل‌سازی شد (شکل ۴).

12- Digital

13- Reclassify

جدول (۳) وزن نهایی معیارها

| ردیف | معیار | وزن معیارها |
|------|---------------------------|-------------|
| ۱ | فاصله از گسل | ۱۹/۸ |
| ۲ | سازند زمین‌شناسی | ۱۲/۶ |
| ۳ | شیب | ۷/۸ |
| ۴ | تراکم جمعیت | ۱۱/۵ |
| ۵ | تراکم ساختمانی | ۶/۹ |
| ۶ | کیفیت ابنیه | ۱۷/۷ |
| ۷ | اندازه قطعات کاربری اراضی | ۵/۵ |
| ۸ | نوع کاربری اراضی | ۶/۴ |
| ۹ | تعداد طبقات ساختمان‌ها | ۷/۹ |



شکل (۴) نقشه توزیع فضایی ضریب آسیب پذیری کلان شهر تبریز در برابر زمین لرزه

با توجه به شکل (۴)، کلان شهر تبریز از نظر خطر زمین لرزه وضعیت مطلوبی نداشته و بیش تر قسمت‌های پرتراکم شهری به خصوص قسمت‌های شمالی و مرکزی شهر در پهنه‌های آسیب‌پذیری بسیار بالا و بالا قرار دارند.

طراحی سناریو^{۱۴} برای ارزیابی آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز در شدت‌های مختلف زمین‌لرزه طراحی و آزمون سناریوها، رویکردهای مناسبی برای مدل‌سازی حوادث زمین‌لرزه هستند که برنامه‌ریزان را به تفهیم سطح لرزه‌زایی و تلفات ناشی از آن توانمند می‌سازد (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۲۴). برای ارزیابی میزان تلفات، ابتدا لازم است با روش میزان متوسط آسیب به طراحی سناریوهای زمین‌لرزه برای شدت‌های مختلف آن پرداخت و در نهایت، ارزیابی نسبتاً دقیقی از میزان تلفات انسانی میسر شود (زهراپی و ارشاد، ۱۳۸۹: ۲۸۷). برای این منظور، از طریق رابطه (۷) به محاسبه درجات آسیب ساختمان در برابر شدت‌های مختلف زمین‌لرزه پرداخته می‌شود:

$$\mu_D = 2.5[1 + \tanh((1_o + 6.25V_i - 13.1)/2.3)] \quad \text{رابطه (۷)}$$

که μ_D نشان‌گر متوسط درجه آسیب، \tanh تانژانت هیپربولیک^{۱۵}، I_o شدت زمین‌لرزه بر اساس واحد مرکلی و V_i ضریب آسیب‌پذیری لرزه‌ای حاصل از روش چندمعیاری مورد نظر است. شدت نسبی زمین‌لرزه در کانون (I_o) در مقیاس مرکلی^{۱۶} از رابطه آمبرسایز-ملویل به دست می‌آید:

$$I_o = 1.3M_s - 0.09 \quad \text{رابطه (۸)}$$

که I_o شدت زمین‌لرزه در کانون در مقیاس مرکلی، M_s بزرگی زمین‌لرزه در مقیاس ریشتر است (کیانی‌فر و پورکرمانی، ۱۳۹۰: ۴۲). در این مدل، بازده تغییرات خسارت بین ۰ تا ۱ است که در اینجا عدد صفر به معنی عدم آسیب‌پذیری یا عدم خسارت و عدد ۱ به معنای ریزش ساختمان یا خسارت کلی خواهد بود که در جدول (۴) آورده شده است (احدث‌آدروشتی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۸۲). در این پژوهش، با استفاده از رابطه (۷) به کمک محاسبات رستری^{۱۷} در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.2، درجه آسیب‌پذیری ساختمان‌های کلان‌شهر

14- Scenario

15- Hyperbolique

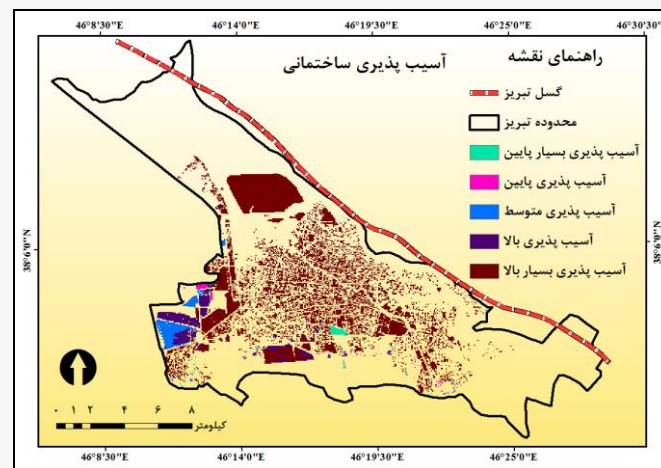
16- Mercalli

17- Raster Calculator

تبریز مدل‌سازی شد (شکل ۵). بررسی نتایج حاکی از آن است که اکثر ساختمان‌های کلان‌شهر تبریز در درجه آسیب بین ۰/۸ تا ۱ (D5) با شرایط تخریبی کامل قرار دارند.

جدول (۴) درجه‌بندی آسیب وارده به ساختمان

| درجه آسیب | بازه آسیب | شرح | درصد آسیب وارده به ساختمان |
|-----------|-----------|------------------|----------------------------|
| D1 | ۰/۲-۰ | آسیب جزئی | ۱۰-۲ |
| D2 | ۰/۴-۰/۲ | آسیب متوسط | ۳۰-۱۱ |
| D3 | ۰/۶-۰/۴ | آسیب سنگین | ۶۰-۳۱ |
| D4 | ۰/۸-۰/۶ | آسیب بسیار سنگین | ۸۰-۶۱ |
| D5 | ۱-۰/۸ | تخریبی کامل | ۱۰۰-۸۱ |



شکل (۵) نقشه توزیع فضایی آسیب وارده به ساختمان‌های کلان‌شهر تبریز

برآورد تلفات انسانی در سناریوی زمین‌لرزه احتمالی کلان‌شهر تبریز

برای ارزیابی تلفات انسانی ناشی از زمین‌لرزه، باید تعداد جمعیت نواحی هر سناریوی زمین‌لرزه مشخص شود. تعداد افراد ساکنان و تعداد تلفات مورد انتظار در هر زون آسیب‌پذیری ساختمان در زمان وقوع زمین‌لرزه، جزو پارامترهای مهمی در تخمین تلفات

انسانی هستند. درصد احتمال آسیب‌دیدگی هر زون جمعیتی بر اساس گزارش زمین‌لرزه‌های گذشته کشورمان در ارتباط با آسیب‌پذیری ساختمانی و جمعیتی برآورد شده است (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۳۴). تلفات انسانی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H = \sum BP_i \times PK_i \quad (9) \text{ رابطه}$$

که H تلفات انسانی، BP_i تعداد جمعیت و PK_i درصد احتمال آسیب‌دیدگی جمعیت هر زون تخریبی ساختمان‌ها است که در جدول (۵) ارائه شده است (کریم‌زاده، ۲۰۱۴: ۲۷۳).

جدول (۵) رتبه‌بندی تلفات انسانی مورد انتظار

| درجه تخریب ساختمان | سطح تلفات | درصد آسیب |
|-----------------------|--------------|-----------|
| تخریب سبک (D1) | مرگ | ۲ |
| | مجروح بستری | ۵ |
| | مجروح سرپایی | ۹ |
| | سالم | ۸۴ |
| تخریب متوسط (D2) | مرگ | ۴ |
| | مجروح بستری | ۹ |
| | مجروح سرپایی | ۱۵ |
| | سالم | ۷۲ |
| تخریب سنگین (D3) | مرگ | ۱۳ |
| | مجروح بستری | ۱۷ |
| | مجروح سرپایی | ۲۳ |
| | سالم | ۴۷ |
| تخریب خیلی سنگین (D4) | مرگ | ۱۶ |
| | مجروح بستری | ۲۲ |
| | مجروح سرپایی | ۲۸ |
| | سالم | ۳۴ |
| تخریبی کامل (D5) | مرگ | ۴۱ |
| | مجروح بستری | ۱۶ |
| | مجروح سرپایی | ۲۱ |
| | سالم | ۲۲ |

با فرض وقوع زمین‌لرزه مطابق سناریوی فعالیت لرزه‌ای گسل تبریز در شرایط تخریبی کامل ساختمان‌ها (D5)، از کل جمعیت ۱۶۰۵۸۸۴ نفری کلان‌شهر تبریز (سرشماری سال ۱۳۹۰) در به تعداد تقریبی ۱۲۵۲۵۸۹ نفر تلفات شب‌هنگام شامل ۶۵۸۴۱۲ نفر مردگان و ۵۹۴۱۷۷ نفر مجروحان برآورد شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش حاضر با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و GIS به ارزیابی فعالیت و توان لرزه‌زایی گسل تبریز و تلفات انسانی کلان‌شهر تبریز می‌پردازد. انحراف آبراهه‌ی آجی‌چای، پرتگاه گسل، پشته‌های فشاری و پدیده‌ی عدسی شکل مهم‌ترین شواهدی هستند که در تفسیر فعالیت گسل تبریز بر روی تصویر ماهواره‌ای مورد توجه قرار گرفتند. آبراهه آجی‌چای که از شمال شهر در میان تنگه کوهستانی عینالی به سمت جنوب جریان دارد، تقریباً دچار انحرافی به سمت غربی گسل شده است و پس از یافتن مسیر مطلوب دوباره جهت جنوبی پیدا کرده است. اثر دیگر این گسل، ایجاد یک پرتگاه در مجاورت آبراهه آجی‌چای و بلوک شرقی آن است. ایجاد پدیده عدسی شکل در اثر خمش فشارشی گسل تبریز، نشانه دیگری از فعالیت گسل تبریز است. همچنین در این محدوده، رسوبات در اثر قرارگرفتن در زون گسلی، فشرده شده و پشته‌های فشاری را ایجاد کرده‌اند. به‌طور کلی می‌توان گفت گسل تبریز ضمن این‌که تحولات ژئومورفولوژی زمان خود را به دنبال داشته، بستر و حدود واحدهای مورفوتکتونیک کنونی را نیز قالب‌ریزی نموده است. بنابه محاسبات صورت‌گرفته بر اساس مدل‌های تجربی، میانگین توان لرزه‌زایی گسل تبریز عدد ۶/۸ ریشتر به‌دست آمد. بنابراین با توجه به این بررسی می‌توان گفت که احتمال فعالیت مجدد گسل تبریز در آینده نیز وجود دارد. این امر می‌بایست در مباحث برنامه‌ریزی شهری و اجرای برنامه‌های عمرانی مورد توجه مسئولین شهری قرار گیرد.

در این پژوهش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌ی کلان‌شهر تبریز با در نظرگرفتن نقش عوامل طبیعی و انسانی با استفاده از مدل همپوشانی وزنی در محیط GIS انجام شده است. با توجه به نتایج، کلان‌شهر تبریز از نظر خطر زمین‌لرزه وضعیت مطلوبی نداشته و بیش‌تر

قسمت‌های پرتراکم شهری به خصوص قسمت‌های شمالی و مرکزی شهر در پهنه‌های آسیب‌پذیری بسیار بالا و بالا قرار دارند. بررسی نتایج سناریوی زمین‌لرزه‌ای گسل تبریز نیز حاکی از آن است که اکثر ساختمان‌های شهر در درجه تخریبی کامل بین ۰/۸ تا ۱ (D5) قرار دارند. با توجه به این سناریو، در مجموع از کل جمعیت ۱۶۰۵۸۸۴ نفری کلان‌شهر تبریز (سرشماری سال ۱۳۹۰) به تعداد تقریبی ۱۲۵۲۵۸۹ نفر تلفات شب‌هنگام شامل ۶۵۸۴۱۲ نفر مردگان و ۵۹۴۱۷۷ نفر مجروحین در شرایط تخریبی کامل ساختمان‌ها (D5) برآورد شد. در پایان می‌توان گفت مناطق پرجمعیت کلان‌شهر تبریز در سمت شمال، مرکز و تا حدودی شرق شهر پراکنده شده‌اند و بیش‌ترین خطرات ژئومورفولوژی گسلی نیز متوجه همین مناطق است. این پژوهش، با ارائه الگویی سلسله مراتبی از وضعیت تکتونیکی و آسیب‌پذیری کلان‌شهر تبریز از بعد تلفات انسانی، دیدی جامع به مقوله زمین‌لرزه دارد. در برخی از مطالعات از جمله کریم‌زاده و همکاران (۲۰۱۴)، صرفاً از دیدگاه زلزله‌شناسی و مهندسی بدون در نظر گرفتن نقش عوامل طبیعی با متدولوژی متفاوت به ابعاد تلفات انسانی شهر (منطقه ۲ کلان‌شهر تبریز) پرداخته شده است. در حالی که این پژوهش، به آسیب‌پذیری و تلفات انسانی کل شهر با در نظر گرفتن نقش عوامل طبیعی و انسانی از دیدگاه ژئومورفولوژی با مشاهدات میدانی می‌پردازد. متأسفانه به‌علت عدم همکاری یا همکاری ضعیف سازمان‌ها بالأخص در اخذ اطلاعات و طولانی‌شدن روند اداری انجام کار، به نتایج گزارش ریزپهنه‌بندی کلان‌شهر تبریز دسترسی نداشته و به این علت در پژوهش حاضر به آن اشاره‌ای نشده است.

منابع

- احدنژادروشتی، محسن؛ قرخلو، مهدی و کرامت‌الله زیاری (۱۳۸۹)، «مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زمین‌لرزه با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی»، *جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۹، صص ۱۷۱-۱۹۸.
- اسفندیاری، فریبا، غفاری‌گیلانده، عطا و لطفی خداداد (۱۳۹۳)، «بررسی توان لرزه‌زایی گسل‌ها و برآورد تلفات انسانی ناشی از زمین‌لرزه در مناطق شهری (مطالعه موردی: شهر اردبیل)»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۴، صص ۱۷-۳۶.
- باباحمدی، عباس (۱۳۸۸)، «*کاربردهای سنجش از دور در زمین‌شناسی*»، چاپ دوم، تهران: انتشارات آوای قلم، ۱۷۸ ص.
- حسین‌پور، مارال (۱۳۸۶)، «بررسی‌های سائیموتکتونیک شمال غرب ایران و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در شهر تبریز»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تبریز.
- زهرایی، سیدمهدی و لیلی ارشاد (۱۳۸۴)، «بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر قزوین»، *نشریه دانشکده فن‌آوری*، جلد ۳۹، شماره ۳، صص ۲۸۷-۲۹۷.
- زارع، مهدی (۱۳۸۰)، «خطر زمین‌لرزه و ساخت‌وساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسلش گسل‌های زمین‌لرزه‌ای ایران»، *پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله*، شماره ۲ و ۳، صص ۴۶-۵۷.
- سادات‌ریاضی‌راد، زهره؛ کی‌نژاد، آناهیتا و جعفر قمی‌اویلی (۱۳۸۸)، «بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل خطر بالا»، *فصلنامه علوم زمین*، شماره ۴، صص ۷۷-۸۹.
- کیانی‌فر، رضا و محسن پورکرمانی (۱۳۹۰)، «تحلیل ساختاری گسل رباط‌کریم و توان لرزه‌زایی آن»، *فصلنامه علوم زمین*، شماره ۲۱، صص ۲۷-۴۹.
- محمودزاده، مریم؛ الماسیان، محمود؛ پورکرمانی، محسن و ماهیار سلطانی (۱۳۹۰)، «تحلیل ساختاری گسل تبریز با استفاده از داده‌های دورسنجی»، *فصلنامه علوم زمین*، سال ششم، شماره ۱۹، صص ۱۱۹-۱۳۱.

- ولیزاده کامران، خلیل (۱۳۸۰)، «پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در شهرستان تبریز با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی»، نشریه فضای جغرافیایی، شماره ۴، صص ۵۰-۶۵.
- Alok, K. and Verma, K. (2014), "Estimation of maximum magnitude (M_{max}): Impending large earthquakes in Northeast Region, India", *Journal Geological Society of India*, Vol. 83, PP. 635-640.
- Erini, S. and Stelios, P. (2011), "Identification of lineaments with possible structural origin using ASTER images and DEM derived products in Western Crete Greece", *Earsele Proceeding*, Vol. 10, PP. 1-18.
- Hassanzadeh, R. Zorica, N. Alavir, A. Norouzzadeh, M. and Hodhodkian, H. (2013), "Interactive approach GIS-based earthquake scenario development and resource estimation", *Computers & Geosciences*, Vol. 51, PP. 324-338.
- Karimzadeh, S. Miyajima, M. Hassanzadeh, R. Amiraslanzadeh, R. and Kamel, B. (2014), "A GIS-based seismic hazard, building vulnerability and human loss assessment for the earthquake scenario in Tabriz", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 66, PP. 263-280.
- Lantada, N. Pujades, L.G. and Barbat, H.A. (2009), "Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation", *Nat Hazards*, Vol. 51, PP. 501-524.
- Mansouri, B. Nourjou, R. and Hosseini, K.A. (2008), "Comprehensive GIS-Based solution for road blockage due to seismic building collapse in Tehran, *the 14th World Conference Earthquake Engineering*, October 12-17, Beijing, China, PP.1-6.
- Safari, H.O. Pirasteh, S. Pradhan, B. and Gharibvand, L.K. (2010), "Use of remote sensing data and GIS tools for seismic hazard assessment for shallow oilfields and its impact on the settlements at Masjed-i-Soleiman area, Zagros Mountains, Iran, *Open Access Remote Sensing*, Vol. 2, PP. 1367-1377.

- Zhang, W. Liu, W. Yang, J. and Chen, L. (2012), "Remote sensing data analysis for structural information of active faults, International Conference on Ecology", *Waste Recycling and Environment Advances in Biomedical Engineering*, Vol. 7, PP. 13-18.