کاربرد توابع تئوری کاتاستروف در مکان‌یابی بهینهٔ توسعهٔ فضایی شهرها براساس متغیرها و مخاطرات طبیعی (مورد: کلان‌شهر تبریز)

دکتر منصور خیری‌زاده آروق[1*]، دکتر مرضیه اسمعیل‌پور[2]

جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۶۲، بهار ۱۴۰۰
تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۰
تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۲۴
صفحات : ۳۰-۱

واژه‌های کلیدی:
مکان‌یابی، توسعهٔ فضایی-کالبـدی شـهر، جغرافیای‌طبیعی،تئوری کاتاستروف،تبریز.

چکیده

این تحقیق با هدف کاربست توابع تئوری کاتاستروف در مکان‌یابی توسعهٔ فضایی-کالبدی شهرها در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام گرفت. تقریباً همهٔ مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بر وزن‌دهی کارشناسی استوار بوده و تحت‌الشعاع سلیقه و قضاوت تصمیم‌گیران قرار می‌گیرند. در روش ارزیابی مبتنی بر تئوری کاتاستروف، اهمیت هر یک از معیارها با استفاده از مکانیسم درونی سیستم محاسبه شده و در نتیجه ذهن‌گرایی ناشی از قضاوت تصمیم‌گیران تا حد زیادی کاهش می‌یابد. این روش‌شناسی در مکان‌یابی توسعهٔ فضایی کلان‌شهر تبریز مورد استفاده قرار گرفت. در طی دهه‌های اخیر، توسعهٔ فضایی گسترده‌ای در سطح شهر تبریز صورت گرفته‌است. توسعهٔ شهر در اغلب موارد به‌دلیل فقدان فضاهای مطلوب شهرسازی در پهنه‌های نامناسب و حتی مخاطره‌آمیز، ازجمله حریم گسل تبریز، اتفاق افتاده‌است. نتایج مدل مذکور انطباق بالایی با واقعیت‌های میدانی نشان داد. مطابق با نتایج، هیچ منطقه‌ای از پیرامون شهر تبریز مناسب توسعه و عمران شهری نیست و محیط طبیعی، تنگناها و تهدیدات زیادی را به توسعهٔ فضایی-کالبدی شهر تحمیل می‌کند. این محدودیت‌ها و مخاطرات ناشی از توپوگرافی نامساعد و خشن در شمال و جنوب شهر، عبور گسل فعال و بزرگ تبریز از نیمهٔ شمالی شهر، لیتولوژی سست و ناپایداری‌های دامنه‌ای در شمال منطقهٔ مطالعاتی، وجود اراضی کشاورزی مرغوب و حاصلخیز در جنوب‌غربی شهر و درنهایت، پراکندگی شوره‌زارها و بالابودن سطح آب‌های زیرزمینی در غرب منطقهٔ مطالعاتی است. لاجرم توسعهٔ فضایی-کالبدی شهر می‌تواند به شکل تخریب و نوسازی بافت‌های فرسودهٔ شهری (توسعهٔ درون‌زا) و ایجاد شهرک‌هایی در جنوب شهر مادر صورت گیرد.

مقدمه

امروزه بخش قابل‌توجهی از جمعیت جهان (بیش از ۵۰ درصد) در مناطق شهری زندگی می‌کنند. رشد شهری معمولاً چندین دهه تداوم می‌یابد و به‌همین‌دلیل در زمرهٔ مهم‌ترین روندهای سطح زمین به‌شمار می‌آید (*Yang and Li, 2013: 186*). توسعهٔ شهری ماهیت سطح زمین را به‌طور اساسی تغییر می‌دهد. درواقع، نقش انسان به‌عنوان عامل تغییر زمین‌شناسی و ژئومورفیک در هیچ‌جایی مشخص‌تر از مناطق شهری نیست (*Douglas et al., 2011: 159*). در دهه‌های پیش‌رو، افزایش سریع شهرهای بزرگ در کشورهای درحال‌توسعه و دگرگونی چشم‌اندازهای شهری در کشورهای توسعه‌یافته در زمرهٔ چالش‌های بزرگ در زمینهٔ رفاه جوامع انسانی و محیط‌زیست جهانی خواهدبود (*Netzband et al, 2007: 1*). در طی روند توسعهٔ شهرها، ممکن است مناطق بالقوه خطرناک، ازقبیل دشت‌های سیلابی یا دامنه‌های پرشیب و عمیقاً هوازده، اشغال‌شده و گروه‌های انسانی در معرض ریسک قرار گیرند. به دلایل مذکور، تلفات جانی و مالی ناشی از مخاطرات ژئومورفولوژیک در حال افزایش است (*Alcántara-Ayala & Goudie, 2010: 1*).

درواقع، افزایش جمعیت و سکنی‌گزینی انسان در

۱. دانش‌آموختهٔ دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول) m_kheirizadeh@tabrizu.ac.ir
۲. استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران m.esmaeilpour@maragheh.ac.ir

پهنه‌های مستعد خطر، منجر به وقوع بلایا شده‌است (*Alcántara-Ayala & Goudie, 2010:270*)؛ بنابراین برنامه‌ریزی شهری خوب و کارآ، مستلزم شناخت و درک صحیح زمینی است که شهرها بر روی آن ساخته می‌شوند.برخی از شهرها بر روی نهشته‌های یخچالی ساخته شده‌اند که در شرایط اشباع از آب، تمایل به حرکت و ناپایداری دارند. برخی دیگر بر روی زمین‌های سنگ‌آهک حفره‌ای قرار گرفته‌اند که مسائل و مشکلاتی در زمینهٔ فونداسیون ایجاد می‌کنند و ممکن است در معرض فروریزش قرار گیرند. تعدادی از آن‌ها بر روی رس‌های انقباضی- تورمی[1] بنا شده‌اند. این‌گونه رس‌ها در صورت خشک‌شدن می‌توانند باعث فرونشست شوند. تقریباً در همهٔ مناطق، ساخت‌وساز شهری بر روی اراضی شیب‌دار و تپه‌ماهوری می‌تواند به‌طور بالقوه محرک زمین‌لغزش باشد (*Douglas et al, 2011: 100*). در این زمینه، استراتژی‌های مؤثر پیشگیرانه نه‌تنها منجر به صرفه‌جویی ده‌ها میلیارد دلار خواهدشد، بلکه زندگی ده‌ها هزار نفر را نیز نجات خواهد داد؛ بنابراین منابع مالی‌ای که درحال‌حاضر برای مداخله و امدادرسانی صرف‌می‌شوند، می‌توانستند برای بهبود و ارتقاء توسعهٔ عادلانه و پایدار اختصاص داده‌شوند (*Alcántara-Ayala &Goudie,2010:277*).

شناخت ویژگی‌های طبیعی، اجتماعی و اقتصادی محیط جغرافیایی، از یک طرف موجب وسعت بینش و آگاهی از محیط می‌شود و از طرف دیگر، امکان هرگونه حرکت سنجیده و اندیشیده در محیط را از سوی انسان در قالب یک سیستم منظم فراهم می‌سازد؛ بنابراین شناخت اجزا و عناصر و عوامل سازنده و مؤثر در محیط، لازمه و پیش‌شرط هرگونه حرکت اندیشیده از طرف انسان است که برای اِعمال مدیریت بر محیط و در محیط صورت می‌گیرد (*سرور، ۱۳۸۷: ۲۸*)؛ بنابراین درکنار محیط انسانی و بیولوژیک، می‌بایست محیط طبیعی نیز شناخته شده و در فرایند برنامه‌ریزی‌های مکانی به‌کار بسته شوند.محیط طبیعی دارای اجزا و مؤلفه‌های مختلفی است که شامل زمین‌شناسی (ویژگی‌های سطحی‌و زیرسطحی،کنترل‌های ژئومورفیک)، توپوگرافی (شکل، ترکیب و پایداری دامنه‌ها)، خاک (نوع خاک، ترکیب و بافت خاک، خواص خاک، ویژگی‌های ژئوتکنیک)، هیدرولوژی (ویژگی‌های آب‌های سطحی، الگوهای زهکشی حوضه‌های آبخیز، سیستم‌های آب‌زیرزمینی، ویژگی‌های دشت سیلابی)، اقلیم (الگوهای منطقه‌ای و سینوپتیک، میکروکلیما، رخدادهای حدّی) و مخاطرات‌محیطی(زمین‌لرزه‌ها، زمین‌لغزش‌ها، فرونشست، خشکسالی) می‌شود (*Lein, 2003: 70*). تمامی این مؤلفه‌ها می‌بایست در یک چارچوب و نگرش فراگیر و نظام‌مند مورد ارزیابی و سنتز قرار گیرند. مهم‌تر اینکه، توسعهٔ کالبدی شهرها و حتی بسیاری از روستاها بدون توجه به‌فرایندهای خطرناک‌تکتونیک، ژئومورفیک و اقلیمی صورت گرفته است. این امر باعث تبدیل فرایندهای طبیعی به مخاطرات طبیعی و ریسک شده است. تمامی موارد مذکور اهمیت توجه به جنبه‌های مرتبط با محیط طبیعی برنامه‌ریزی‌ها و طرح‌های عمران شهری را گوشزد می‌کند. در پژوهش حاضر، پهنه‌های مناسبِ توسعهٔ فضایی-کالبدی کلان‌شهر تبریز با درنظرگرفتن متغیرها و مخاطرات طبیعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.در این‌زمینه برای تلفیق و یکپارچه‌سازی این متغیرها از توابع تئوری کاتاستروف در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده می‌شود. تئوری کاتاستروف، از شاخهٔ توپولوژی ریاضیات نشأت می‌گیرد. این تئوری در سال ۱۹۷۲، توسط یک ریاضی‌دان فرانسوی به‌نام رنه‌تام[2] با انتشار کتابی تحت عنوان «پایداری ساختاری و موفوژنز[3]» بنیان نهاده شد (*You & Zhang, 2015: 4937-4965; Wang et al, 2011: 356-362*). تئوری کاتاستروف، یک تئوری ریاضیاتی است که پدیده‌های ناپیوسته را براساس

1-Shrink-swell clays

2-Renethom
3-Structural stability and morphogenesis

توپولوژی و تئوری پایداری ساختاری مطالعه می‌کند (Wang et al, 2011: 356-362).

در مدل‌سازی GIS به‌منظور به‌دست‌آوردن اهمیت نسبی یک‌معیار نسبت به معیار دیگر، وزن‌دهی صورت می‌گیرد. بدین‌منظور، روش‌های وزن‌دهی مختلفی توسعه یافته‌اند که عمدتاً به روش‌های ذهنی[1] و عینی[2] تقسیم‌بندی‌می‌شوند.در روش‌های وزن‌دهی‌ذهن‌گرایانه، وزن‌ها براساس دانش و قضاوت سلیقه‌ای یا ترجیحِ تصمیم‌گیران حاصل می‌شوند. از سوی دیگر، در روش‌های وزن‌دهی عینی، مدل‌های ریاضیاتی برای استخراج وزن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. از روش‌های وزن‌دهی ذهن‌گرایانه می‌توان به‌ترکیب خطی وزنی (WLC)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، روش تجمع وزنی (WAM)، مدل جمع وزنی (WSM) و... اشاره کرد (Ahmed et al., 2015: 539-549). این مدل‌ها با توجه به رویهٔ وزن‌دهی و رتبه‌بندی شاخص‌ها براساس اهمیت آن‌ها، به‌صورت یک فرایند ناپیوسته عمل می‌کنند. درنتیجه، چنین روش‌هایی اغلب به‌علت ناتوانی در اجتناب از ذهن‌گرایی و ترکیب درجه‌ای از عدم قطعیت ذاتی مورد انتقاد قرار می‌گیرند (Su et al,2011: 737-746). در این‌چارچوب،روش ارزیابی مبتنی بر تئوری‌کاتاستروف[3] سلیقه تصمیم‌گیران را شامل نمی‌شود بلکه اهمیت یک معیار بر معیار دیگر را به‌واسطهٔ مکانیسم درونی آن محاسبه می‌کند و ازاین‌رو، ذهن‌گرایی را به‌شدت کاهش می‌دهد (Ahmed et al., 2015: 539-549). در روش مذکور هیچ وزنی برای شاخص‌ها وجود ندارد، اما اهمیت نسبی هر شاخص در نظر گرفته می‌شود،به‌طوری‌که می‌تواند تأثیر ذهن‌گرایی بر نتایج ارزیابی را کاهش دهد (You & Zhang,2015: 4937-4965)؛ بنابراین روش ارزیابی مبتنی بر تئوری کاتاستروف وزن‌ها را با استفاده از اعداد مطلق تعیین نمی‌کند. در عوض، تمامی شاخص‌ها را یکپارچه ساخته و بر معایب موجود در ذهن‌گرایی و عدم قطعیت غلبه می‌یابد (Su et al., 2011: 737-746).

هدف اساسی تئوری کاتاستروف رفتار با پدیده‌های ناپیوسته است (Ahmed et al., 2015: 539-549; Xiao-jun et al, 2014: 463-477). تئوری کاتاستروف در تلاش برای احتساب معقولانهٔ پدیدهٔ تغییر ناپیوسته در رفتارِ (خروجی‌ها) ناشی از تغییر پیوسته در پارامترها (ورودی‌ها) در یک سیستم مشخص ارائه شده است (Su et al., 2011: 737-746)؛ ازاین‌رو به‌ویژه برای مطالعهٔ سیستم‌هایی با عملکردهای داخلی ناشناخته، قابل اجرا است (Chen et al., 2012: 4386-4402). تئوری کاتاستروف باتوجه به ویژگی‌های دیالکتیک و مزایای آن به‌عنوان یک ساختار ریاضیاتی ساده توأم با معنای فیزیکی روشن، اخیراً در چندین مطالعهٔ غیرمکانیکی ناپیوسته به کار بسته شده است. در این رابطه می‌توان به ارزیابی امنیت اکولوژیک زمین (Su et al, 2011: 737-746)، پیش‌بینی انفجار زغال‌سنگ و گاز (Tian- Jun et al, 2009: 430-434)، ارزیابی پهنه‌های بالقوهٔ آب زیرزمینی (Ahmed et al., 2015: 539-549 Sadeghfam et al., 2016: 1-19)، ارزیابی امنیت آب (Xiao- Jun et al., 2014: 463-477; Wang et al., 2011: 356-362)، ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی در برابر سیلاب‌ها (You & Zhang, 2015: 4937-4965) و ارزیابی پتانسیل فرسایش کنارهٔ مجرای رودخانه‌ها (خیری‌زاده، ۱۳۹۵: ۱۹۳-۱) اشاره کرد.

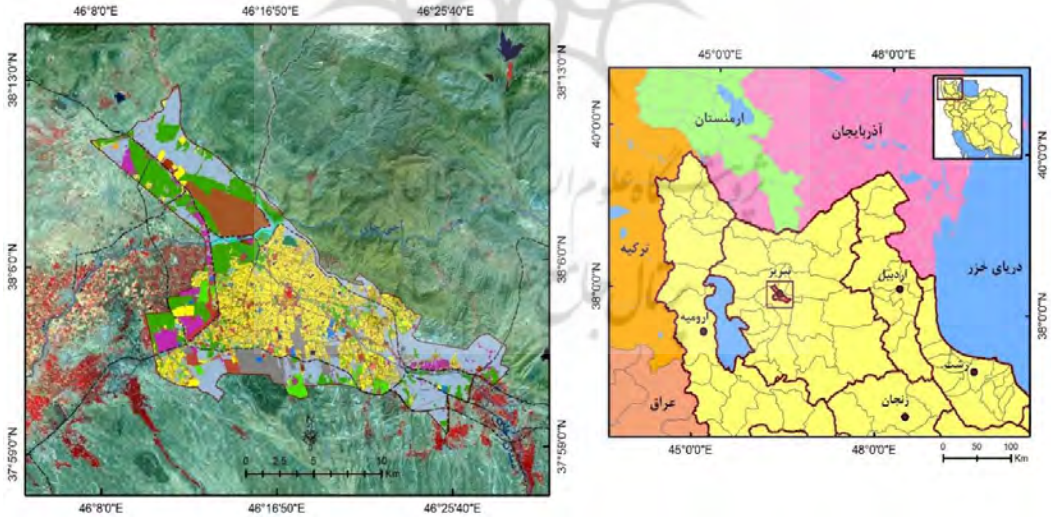
هدف اصلی پژوهش حاضر کاربرد توابع تئوری کاتاستروف در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌منظور یکپارچه‌سازی فاکتورهای تأثیرگذار در مکان‌یابی بهینهٔ توسعهٔ فضایی- کالبدی شهرها است. روش‌شناسی مزبور با دارابودن بنیان ریاضیاتی و عدم دخالت‌تصمیم‌گیران در فرایند وزن‌دهی می‌تواند در ارزیابی سریع و مطلوب پهنه‌های مناسب توسعهٔ فضایی شهرها مورد استفاده قرار گیرد. این روش‌شناسی در شهر تبریز به کار بسته شد.

1-Subjective
2-Objective
3-Catastrophe theory

منطقهٔ مورد مطالعه

شهر تبریز با وسعتی حدود ۲۵۰۵۶ هکتار، در ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقهٔ طول شرقی واقع شده‌است. متوسط ارتفاع شهر حدود ۱۴۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد برآورد شده است. این شهر در گوشهٔ شمالِ‌غربی کشور و در امتداد محور بین‌المللی تهران-بازرگان که ایران را به اروپا متصل می‌سازد، قرار گرفته است (شکل ۱). تبریز پرجمعیت‌ترین شهر استان آذربایجان شرقی و از پرجمعیت‌ترین شهرهای کشور است. ۴۵ درصد جمعیت استان در شهرستان تبریز و بیش از ۴۰ درصد تنها در شهر تبریز ساکن هستند. براساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهرستان تبریز ۱۷۷۳۰۳۳ نفر و جمعیت مرکز این شهرستان ۱۵۵۸۶۹۳ نفر برآورد شده‌است *(سازمان برنامه و بودجه استان آذربایجان شرقی، ۱۳۹۶)*.

تبریز یک ناحیهٔ مادرشهری با پیچیدگی شرایط محیطی، اداری و صنعتی است و توسعه صنایع و رشد سریع جمعیت، درحال حاضر مشکلات ژئومورفولوژیک زیادی را برای این ناحیه به‌وجود آورده است *(روستایی و جباری، ۱۳۹۰: ۱۶۶)*. توسعهٔ کالبدیِ سریع، سبب شده است تا علاوه بر پیدایش کوی‌ها و شهرک‌های جدید در اطراف شهر، برخی از روستاهای منطقه نیز در آن ادغام شده و وارد محدودهٔ شهر شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که در نتیجهٔ رشد شهر تبریز، اراضی زراعی مستعد، باغات و همین‌طور حدود ۱۰ روستا در داخل بافت فیزیکی شهر قرار گرفته و درنهایت با توسعهٔ فیزیکی شهر در آن ادغام شده‌اند؛ برای نمونه روستاهای بارنج در شرق، لاله، لواسان و امامیّه در جنوب و جنوب‌غربی، قراملک در سمت غرب و ائل‌گلی در جنوب‌شرقی را می‌توان نام برد و آرام‌آرام و به‌تدریج باسمنج نیز جذب تبریز می‌شود *(محمّدزاد، ۱۳۷۶: ۲۲۴)*.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی شهر تبریز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی تناسب اراضی با هدف توسعهٔ فضایی-کالبدی شهر تبریز از ۱۱ متغیر طبیعی استفاده شد. این متغیرها عبارت‌اند از: ارتفاع، شیب، لندفرم‌ها (ژئومورفولوژی)، لیتولوژی، فاصله از گسل، خاک، سطح آب زیرزمینی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، مخاطرهٔ زمین‌لغزش و مخاطرهٔ سیلاب. برای تهیهٔ لایه‌های موضوعی ارتفاع، شیب و

لندفرم‌های منطقهٔ مطالعاتی، از تصاویر DEM منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر مربوط به ماهوارهٔ ALOS-PALSAR استفاده شد[1]. با ذکر این نکته که برای شناسایی لندفرم‌های منطقه، روش طبقه‌بندیِ ارائه‌شده توسط ویس[2] (۲۰۰۱) و جنس[3] (۲۰۰۶) به کار بسته شد. در این روشِ طبقه‌بندی، از شاخصی موسوم به شاخص موقعیت توپوگرافیک[4] یا TPI استفاده می‌شود و براساس آن، ۱۰ نوع لندفرم قابل تشخیص است *(مراجعه شود به: اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۷؛ مکرم و نگهبان، ۱۳۹۳)*. به‌منظور تهیهٔ لایه‌های پوشش زمین و پوشش گیاهی (شاخص NDVI) از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر مربوط به اوایل تابستان ۱۳۹۷ استفاده شد[5]. لایهٔ تراز آب زیرزمینی از طریق درون‌یابی داده‌های چاه‌های پیزومتری دشت تبریز (آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی) حاصل شد. لایهٔ خاک منطقه براساس نقشهٔ ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان آذربایجان شرقی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب) تهیه شد. لایه‌های فاصله از گسل و لیتولوژی منطقهٔ مطالعاتی از روی نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ *(سازمان زمین‌شناسی کشور)* به‌دست آمد. نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش منطقه براساس روی‌هم‌گذاری فازی لایه‌های ارتفاع، شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه‌ها، پوشش گیاهی و لندفرم‌ها حاصل شد. صحت نقشهٔ مذکور از طریق انطباق آن با زمین‌لغزش‌های گذشتهٔ منطقه مورد تأیید قرار گرفت. همچنین، نقشهٔ پهنه‌بندی خطر سیلاب رودخانه‌های اصلی منطقه (میدان‌چای‌و آجی‌چای)بااستفاده ازمدل‌هیدرودینامیکی HEC-RAS تهیه شد (شکل ۲). با عطف به اینکه روش‌های آماده‌سازی و تهیهٔ لایه‌های موضوعی و همچنین نحوهٔ اجرای دو مدل مذکور به کَرّات توسط محققان مختلف به کار بسته شده‌اند، از توضیحات بیشتر در این زمینه اجتناب می‌شود. درواقع هدف اساسی پژوهش حاضر معرفی روش‌شناسی مبتنی بر تئوری کاتاستروف درجهت ترکیب لایه‌های موضوعی مختلف در بستر GIS با مقاصد مکان‌یابی و تناسب اراضی (در اینجا مکان‌یابی توسعهٔ فضایی شهر تبریز) است؛ بنابراین روش‌شناسی مذکور با جزئیات بیشتری تبیین می‌شود.

در تئوری کاتاستروف، متغیرهای تابع[6] سیستم به متغیرهای حالتِ وابسته[7] و متغیرهای کنترل[8] تقسیم می‌شوند. متغیرهای حالت وابسته، متغیرهای درونی سیستم هستند و متغیرهای کنترل، فاکتورهای مؤثر خارجی حینِ اجرای سیستم هستند *(Xiao-jun et al, 2014: 463-477)*؛ به‌عنوان مثال، در تحقیق حاضر، تناسب اراضی به‌منظور توسعهٔ شهری متغیر حالت یا پاسخ و فاصله ازگسل،شیب،سنگ‌شناسی و... متغیرهای کنترل هستند. تئوری کاتاستروف مطالعهٔ تابع پتانسیل $V(x_i c_a)$ است، که در آن x_i متغیر حالت و c_a پارامتر کنترل است *(Xiao-jun et al,2014:463-477)*.

این روش، تحلیل سلسله‌مراتبی، تابع مطلوبیت[9] و ارزیابی فازی را درجهت به‌دست آوردن توابع عضویت فازی کاتاستروف از طریق عملیات نرمالیزه‌کردن مجموعهٔ دوحالته[10] به‌هم مرتبط می‌سازد. وابستگی متغیرهای حالت به متغیرهای کنترل توسط توابع عضویت فازی کاتاستروفیک و نه وزن‌های تخصیص‌یافته توسط کاربران، تعیین می‌شود؛ علاوه‌براین، در تئوری کاتاستروف متغیرهای کنترل مختلف اثرات متفاوتی بر متغیرهای حالت دارند. در ابتدا، این سیستم به زیرسیستم‌هایی با شاخص‌های مختلف مطابق با

1-https://vertex.daac.asf.alaska.edu/
2-Weiss
3-Jenness
4-Topographic Position Index (TPI)
5-https://eos.com/landviewer/

6-Function variables
7-Dependent state variables
8-Control variables
9-Utility function
10-Bifurcation set

مکانیسم درونی سیستمِ مورد ارزیابی طبقه‌بندی می‌شود. داده‌های اولیه با استفاده از تئوری کاتاستروف و ریاضیات فازی برای حاصل‌شدن داده‌های بهینه یا مطلوب‌ترین[1] نرمالیزه می‌شوند. توابع عضویت فازی کاتاستروف چندبُعدی، مقادیری را در دامنهٔ ۰ تا ۱ برای حل ناسازگاری داده‌های اولیهٔ مختلف اختصاص می‌دهند (*Ahmed et al., 2015: 539-549; Wang et al., 2011: 356-362*). هفت مدل کاتاستروف وجود دارد که عبارت‌اند از: کاتاستروف فولد[2]، کاتاستروف کاسپ[3]، کاتاستروف دُم‌فاخته‌ای[4]، کاتاستروف پروانه‌ای[5]، کاتاستروف دُم‌چلچله‌ای[6]، کاتاستروف‌ها پیربولیک اومبیلیک[7] و کاتاستروف‌پارابولا اومبیلیک[8] (*Xiao-jun et al., 2014: 463-477; Ahmed et al., 2015: 539-549*). این مدل‌ها در جدول (۱) نشان داده شده‌است. در این جدول، x نشان‌دهندهٔ متغیر حالت و a، b، c و d نشان‌دهندهٔ متغیر کنترل هستند.

جدول ۱: هفت نوع مدل کاتاستروف

مدل کاتاستروف	پارامترهای کنترل	متغیرهای حالت	تابع پتانسیل
فولد	۱	۱	$V_a(x) \quad 1/3x^3 \quad ax$
کاسپ	۲	۱	$V_{ab}(x) \quad 1/4x^4 \quad 1/2ax^2 \quad bx$
دُم‌فاخته‌ای	۳	۱	$V_{abc}(x) \quad 1/5x^5 . \ 1/3ax^3 . \ 1/2bx^2 \quad cx$
پروانه‌ای	۴	۱	$V_{abcd}(x) \quad 1/6x^5 \quad 1/4ax^4 \quad 1/3bx^3 . \ 1/2cx^2 \quad dx$
دم چلچله‌ای (ویگ‌وام)	۳	۲	$V_{abc}(x,y) \quad x^3 \quad xy^2 \quad a(x^2 \quad y^2) \quad bx \quad cy$
الیپتیک اومبیلیک	۳	۲	$V_{abc}(x,y) \quad x^3 \quad xy^2 \quad a(x^2 \quad y^2) \quad bx \quad cy$
پارابولیک اومبیلیک	۴	۲	$V_{abc}(x,y) \quad x^2y \quad y^4 \quad ax^2 \quad by^2 . \ cx \quad dy$

مأخذ: (Ahmed et al., 2015: 539-549; Xiao-jun et al., 2014: 463-477)

روش‌شناسی مبتنی بر تئوری کاتاستروف به‌منظور مکان‌یابی بهینهٔ توسعهٔ فضایی شهر تبریز شامل چهار گام اصلی زیر است:

- ایجاد سیستم شاخص

از آنجایی که متغیرهای کنترلِ مختلف اثرات متفاوتی بر روی متغیر حالت دارند، سیستم مکان‌یابی یا تناسب اراضی ابتدا به چندین زیرسیستم تقسیم‌بندی شد. هر زیرسیستم شامل تعدادی فاکتور یا شاخص مرتبط با مکان‌یابی است. در مطالعهٔ موردی شهر تبریز این زیرسیستم‌ها را می‌توان به سه دستهٔ کلی تقسیم‌بندی کرد: شاخص‌های هیدرولوژیک شامل متغیرهای سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و مخاطرهٔ سیلاب؛ شاخص‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیک شامل متغیرهای ارتفاع، شیب، لندفرم‌ها، فاصله از گسل، لیتولوژی، خاک و ناپایداری‌های دامنه‌ای؛ شاخص‌های پوشش زمین شامل کاربری اراضی و پوشش گیاهی.

1-Optimal or cleanest
2-Fold catastrophe
3-Cusp catastrophe
4-Dovetail catastrophe
5-Butterfly catastrophe
6-Swallowtail catastrophe
7-Hyperbolic umbilical catastrophe
8-Parabola umbilical catastrophe

- نرمال‌سازی شاخص‌ها

از آنجا که دامنه و واحدهای داده‌های اصلی با یکدیگر متفاوت هستند، استفاده از همان واحدها در تحلیل داده‌ها امکان‌پذیر نبوده و نرمالیزه‌کردن داده‌ها ضرورت می‌یابد. فرایند نرمالیزه‌سازی، داده‌ها را بی‌بُعد ساخته و از این طریق، عدم تناسب شاخص‌ها را رفع می‌کند. در پژوهش حاضر، معادلات زیر درجهت نرمالیزه‌سازی لایه‌های رستری هریک از شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفتند *(Ahmed et al., 2015: 539-549)*.معادلهٔ مورد استفاده درجهت نرمالیزه‌سازی شاخص‌های «بزرگ‌تر بهتر»

رابطهٔ (۱) $$x_i \quad \frac{x_i \quad x_{i\,(\min)}}{x_{i\,(\max)} \quad x_{i\,(\min)}}$$

معادلهٔ مورد استفاده درجهت نرمالیزه‌سازی شاخص‌های «کوچک‌تر بهتر»

رابطهٔ (۲) $$x_i \quad 1 \quad \frac{x_i \quad x_{i\,(\min)}}{x_{i\,(\max)} \quad x_{i\,(\min)}}$$

که در آن، i شاخص یا صفت، x_i مقدار اولیهٔ i و xi(max) و xi(min) مقادیر حداکثر و حداقل هستند.

- محاسبهٔ تابع عضویت فازی و تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر تئوری کاتاستروف

تصاعد کاتاستروف[1] هر متغیر کنترل می‌تواند از روی تابع فرعی (وابسته) فازی اولیه[2] مبتنی بر فرمول‌های نرمالیزه‌سازی محاسبه شود. در طی فرایند محاسبه، دو اصل به کار گرفته می‌شود: اصل مکمل[3] و اصل غیرمکمل[4]. اصل مکمل بدین‌معنی است که متغیرهای کنترل، مکمل همدیگرند، به‌طوری‌که هریک از آن‌ها تمایل دارند تا به مقدار میانگین برسند؛ یعنی x = (xa + xb + xc + xd)/4. از سوی دیگر، اصل غیرمکمل به این اشاره دارد که متغیرهای کنترل یک سیستم، شامل a، b، c، و d، نمی‌توانند جایگزین یکدیگر شوند؛ بنابراین هنگام یافتن مقدار متغیر حالت x با استفاده از فرمول‌های نرمالیزه‌سازی، کوچک‌ترین مقادیر متغیر حالت متناظر با متغیرهای کنترل است، یعنی x = min {xa, xb, xc, xd} به‌عنوان مقدار متغیر حالت کل سیستم انتخاب می‌شوند *(Ahmed et al., 2015: 539-549; Wang et al., 2011: 356-362)*. در پژوهش حاضر، اصل مکمل برای محاسبهٔ تصاعد کاتاستروف هر متغیر کنترل مورد استفاده قرار گرفت. توابع عضویت فازی کاتاستروف هر شاخص مطابق جدول (۲) محاسبه می‌شود.

جدول ۲: توابع عضویت فازی کاتاستروف

نام	متغیر حالت	متغیر کنترل	فرمول نرمال‌کردن
کاسپ	۱	۲	$x_a \quad a^{1/2}$ and $x_b \quad b^{1/3}$
دُم‌چلچله‌ای	۱	۳	$x_a \quad a^{1/2}$ and $x_b \quad b^{1/3}$ and $x_c \quad c^{1/4}$
پروانه‌ای	۱	۴	$x_a \quad a^{1/2}$ and $x_b \quad b^{1/3}$ and $x_c \quad c^{1/4}$ and $x_d^{1/5}$
ویگ‌وام	۱	۵	$x_a \quad a^{1/2}$ and $x_b \quad b^{1/3}$ and $x_c \quad c^{1/4}$ and $x_d^{1/5}$ and $x_e^{1/6}$

مأخذ: *Ahmed et al., 2015: 539-549*

1-Catastrophe progression
2-Initial fuzzy subordinate function
3-Complementary
4-Non-complementary

تغییرپذیری و افتراق فضایی بالای متغیرهای طبیعی منطقه باعث شده‌است که اکثریت شاخص‌ها از نوع تابع کاتاستروف ویگ‌وام باشند.

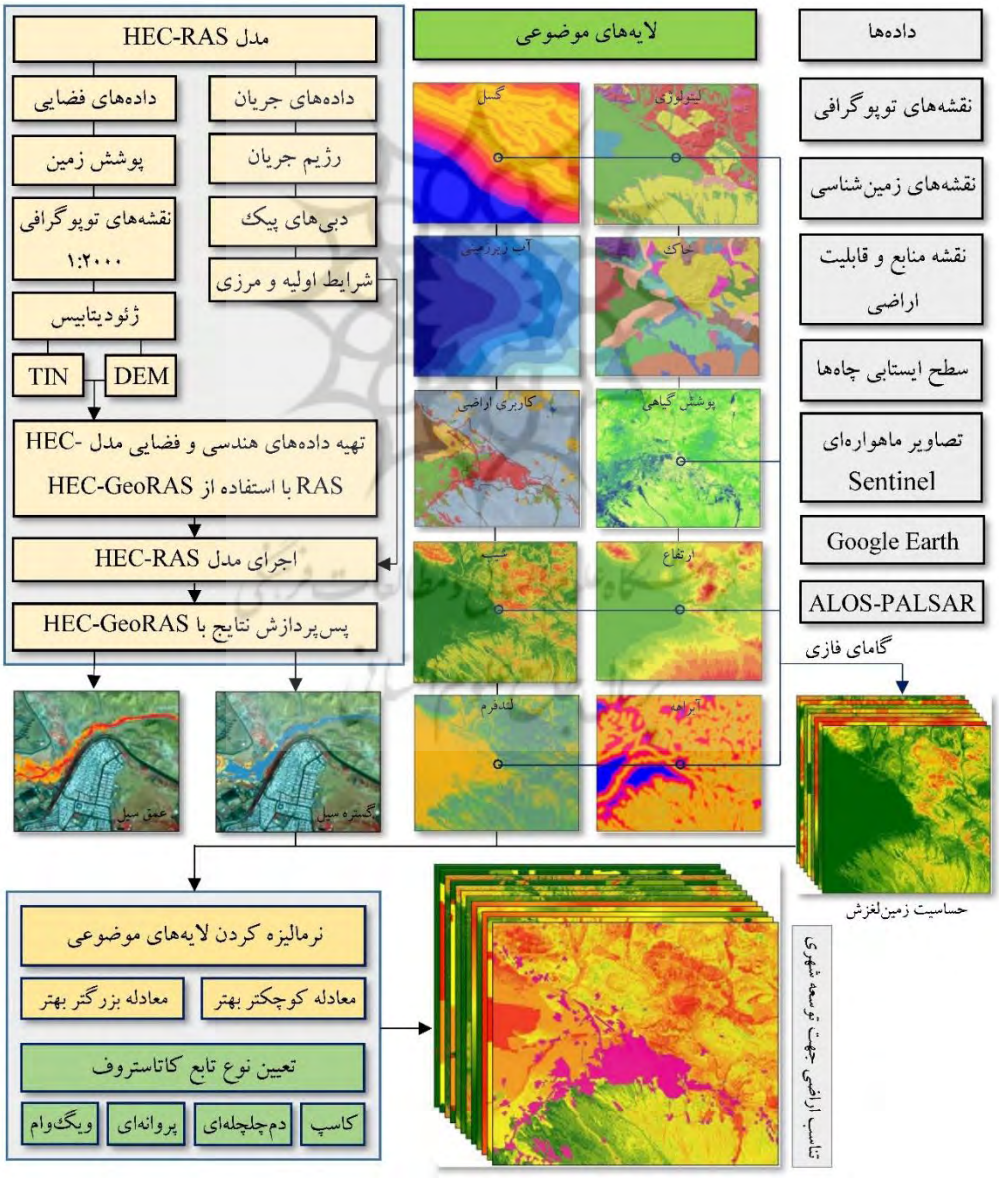
- تلفیق لایه‌ها و ارزیابی پهنه‌های مناسب به‌منظور توسعهٔ فضایی شهر

پس از تعیین وزن هر شاخص در طی مراحل قبل، لایه‌های مربوطه در چارچوب یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تلفیق شدند:

رابطهٔ (۳) $$SZ = \sum_{i=1}^{11} wi \times Layer_i$$

که در آن wi وزن هر لایه و $Layer_i$ لایهٔ رستری نرمال‌شده متناظر است.

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر و روند اجرای کار در شکل (۲) ارائه شده‌است.



شکل ۲: فلوچارت پژوهش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

یافته‌ها

در پژوهش حاضر فرض شد که تمامی اجزا و مؤلفه‌های سیستم طبیعی محدوده و پیراشهر تبریز با یکدیگر در ارتباط تعاملی بوده و بر مورفولوژی شهر تأثیرگذارند. ژئومورفولوژی بر خصوصیات خاک، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، مخاطرات طبیعی و... تأثیر قاطعی دارد. خاک و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی به نوبهٔ خود بر پوشش گیاهی منطقه تأثیرگذارند. درادامه، سیستم‌های شاخصِ مدل مورد استفاده به‌اختصار تبیین می‌شوند.

توزیع سطوح مختلف شیب در منطقهٔ مطالعاتی به تبعیت از وضعیت ناهمواری‌ها و سیمای مورفولوژی منطقه شکل گرفته‌است (شکل ۳: الف و ب). جهت شیب منطقه توسط روند عمومی ناهمواری‌ها (تودهٔ آتشفشانی سهند در جنوب و ارتفاعات عینالی در شمال) و همچنین دو رودخانهٔ عمدهٔ منطقه (میدان‌چای و آجی‌چای) کنترل می‌شود. هستهٔ اصلی شهر تبریز بر روی اراضی هموار و کم‌شیب جلگهٔ تبریز شکل گرفته‌است. در طی دهه‌های اخیر، توسعهٔ شهر در جهت شمال و شمال‌شرقی بر روی اراضی پرشیب و ناپایدار پایکوه‌های عینالی صورت گرفته‌است. با عطف به نقشه‌های توزیع فضایی ارتفاعات و شیب منطقه (شکل ۳: الف و ب) و شیب‌های مناسب برای توسعهٔ شهری (جدول ۳) می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای ارتفاع و شیب محدودیت‌های زیادی را در قسمت‌های شمالی و جنوبی شهر به‌منظور توسعهٔ فضایی-کالبدی ایجاد می‌کنند؛ درحالی‌که قسمت‌های مرکزی و غربی منطقهٔ مطالعاتی شامل اراضی هموار و مسطحی هستند که شیب‌هایی برابر با ۰ تا ۵ درصد دارند و حداقل از نظر شیب و ارتفاع، مناسب‌ترین پهنه‌ها برای توسعهٔ شهری هستند؛ هرچند در قسمت‌های غربی، شیبِ بسیار کم می‌تواند منشأ مشکلاتی در زمینهٔ زهکشی و هدایت رواناب‌ها و فاضلاب شهری باشد.

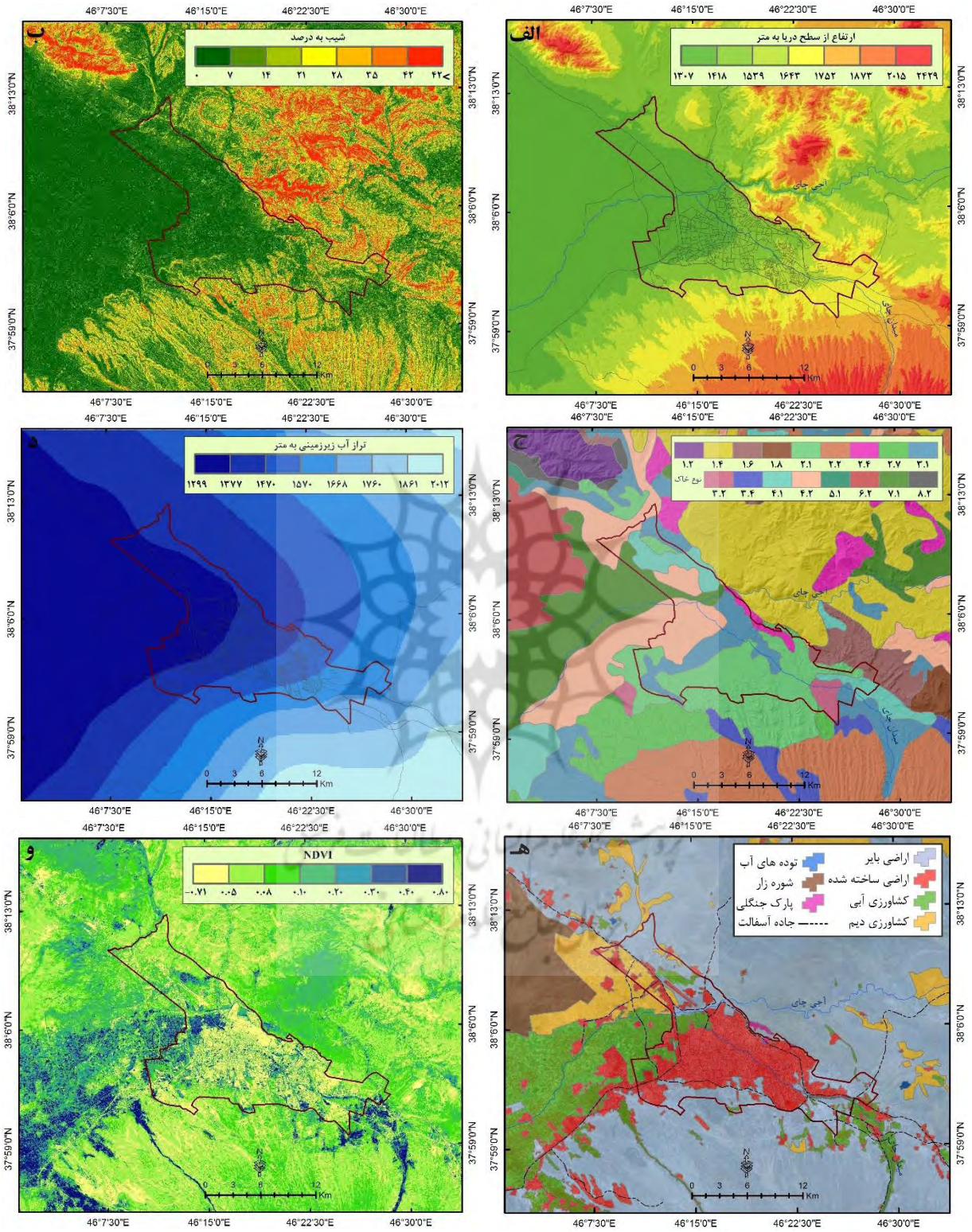
جدول ۳: متوسط زاویهٔ شیب، توسعهٔ ساخت‌وساز و عملیات خاکبرداری و تسطیح

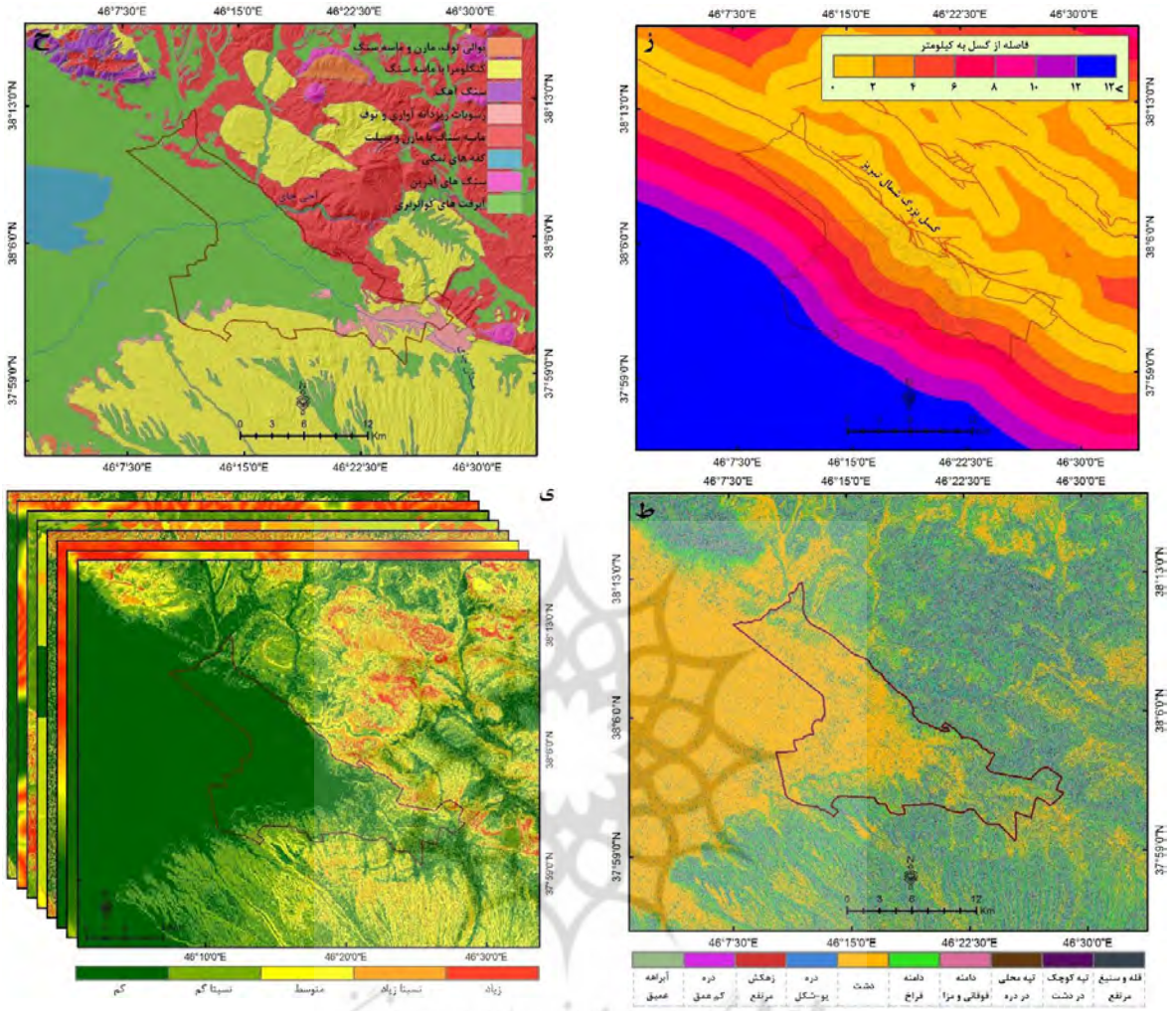
زاویهٔ شیب	پتانسیل توسعه، خاکبرداری و تسطیح موردنیاز
تا ۵ درصد	نواحی با پتانسیل توسعهٔ آسان و اقتصادی؛ تراس‌بندی ضروری نیست؛ تسطیح و خاکبرداری تنها به ایجاد شبکهٔ فاضلاب و زهکشی محدود می‌شود؛ پستی و بلندی محدودیت خاصی در زمینهٔ تراکم ساخت‌وساز یا ابعاد ساختمان‌ها ایجاد نمی‌کند.
۵ - ۱۲ درصد	افزایش هزینه‌های توسعه؛ تسطیح و خاکبرداری اجتناب‌ناپذیر است؛ توسعه صرفاً با تراس‌بندی و تسطیح شیب‌ها امکان‌پذیر است؛ توسعه تا حدودی محدود می‌شود.
۱۲- ۲۵ درصد	این نواحی با هزینه و نیروی کار قابل‌توجه، تراس‌بندی و احداث دیوارهای نگهدارنده توسعه پیدا می‌کنند. تغییر و تبدیل توپوگرافیک عمده‌ای موردنیاز است و اساساً ناهمواری و پستی و بلندی تعیین‌کنندهٔ نوع توسعه خواهدبود.
۲۵- ۳۵ درصد	سطوح با پتانسیل محدود برای توسعهٔ شهری؛ ساخت و ساز با تراکم پایین همراه با ساختمان‌های با ابعاد و اندازه‌های کوچک مجاز است.
بیشتر از ۳۵ درصد	سطوح نامناسب برای توسعهٔ شهری.

مأخذ: (Szabo et al., 2010: 182)

به‌تبعیت از ژئومورفولوژی منطقه، بخش قابل‌توجهی (حدود ۷۰ درصد) از خاک‌های شمال و جنوب منطقهٔ مطالعاتی جزو خاک‌های جوان و تکامل‌نیافته است که در نقشهٔ مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی (مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب) شامل: تیپ اراضی کوه‌ها با واحدهای فرعی (۲. ۱)، (۴. ۱)، (۶. ۱) و (۸.

۱)؛ تیپ اراضی تپه‌ها با واحدهای فرعی (۱. ۲)، (۲. ۲)، (۴. ۲) و (۷. ۲) و تیپ اراضی فلات‌ها و تراس‌های فوقانی با واحدهای فرعی (۱. ۳)، (۲. ۳) و (۴. ۳) هستند (شکل ۳: ج). این خاک‌ها به‌علت کم‌عمق‌بودن و تناسب پایین برای فعالیت‌های کشاورزی، محدودیت خاصی را برای توسعهٔ شهری ایجاد نمی‌کنند. کاربری اساسی این خاک‌ها عمدتاً به‌صورت اراضی بایر و مراتع ضعیف تا متوسط است. خاک‌های تیپ اراضی دشت‌ها دارای واحدهای فرعی (۱. ۴)، (۲. ۴)، (۱. ۵)، (۲. ۶)، (۱. ۷) و (۲. ۸) هستند. چهار واحد (۱. ۴)، (۲. ۴)، (۱. ۵) و (۲. ۸) شامل خاک‌های نیمه‌عمیق تا عمیق با بافت سنگین و تکامل پروفیلی هستند که عموماً زیرکشت نباتات آبی و باغات و در بعضی قسمت‌ها دیم‌کاری هستند. این خاک‌ها مناسب‌ترین خاک‌های منطقه برای فعالیت‌های کشاورزی بوده و جزو محدودیت‌های توسعهٔ فضایی شهر، به‌خصوص در جنوب غرب منطقه، محسوب می‌شوند. دو واحد (۲. ۶) و (۱. ۷) اراضی پست و شور اطراف رودخانهٔ آجی‌چای و کویر کبودان هستند (در رابطه با کویر کبودان در شمال شرق دریاچهٔ اورمیه مراجعه شود به: جداری‌عیوضی، ۱۳۶۱) که به‌علت بالابودن سطح آب‌های زیرزمینی (شکل ۳: د)، شیب بسیارکم، زهکشی نامناسب، خاصیت گران‌روی به‌هنگام زلزله و سایر موارد از محدودیت‌های توسعهٔ فیزیکی شهر به حساب می‌آیند. نقشهٔ تراز آب‌های زیرزمینی منطقهٔ مطالعاتی (شکل ۳: د) نیز نشان‌دهندهٔ روند کاهشی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در جهت غرب است؛ به‌طوری‌که در غربی‌ترین قسمت‌های منطقهٔ مطالعاتی، فاصلهٔ سطح آب زیرزمینی از سطح زمین به ۰/۶ متر کاهش می‌یابد. این در حالی است که در برخی از قسمت‌های شرقی و جنوب‌شرقی، فاصلهٔ سطح آب زیرزمینی از سطح زمین به حدود ۲۰۰ متر نیز می‌رسد. در حالت کلی قسمت‌های غربی منطقه به‌دلیل بالابودن سطح آب‌های زیرزمینی مناسب توسعه و عمران شهری نیست. این شرایط خاکشناسی -در ارتباط با اقلیم و ژئومورفولوژی- در پراکندگی پوشش زمین (شکل ۳: هـ) و پوشش گیاهی (شکل ۳: و) منطقه، انعکاس یافته‌است؛ به‌طوری‌که مقادیر شاخص NDVI نشان‌دهندهٔ پایین‌بودن تراکم پوشش گیاهی در منطقه است. در حدود ۸۶ درصد از منطقهٔ مطالعاتی مقدار شاخص NDVI کمتر از ۰/۱۴ (اراضی بایر) است. مقادیر بسیار پایین این شاخص عمدتاً در دامنه‌های پرشیب رشته‌کوه عون‌ابن‌علی (عینالی)، پایکوه‌های تودهٔ آتش‌فشانی سهند و سطح شوره‌زارها دیده می‌شوند. تنها ۳/۵ درصد از منطقه دارای مقادیر نسبتاً بالای شاخص NDVI (بیشتر از ۰/۳۶) است و اغلب شامل اراضی کشاورزی است؛ بنابراین بخش اعظمی (حدود ۶۴ درصد) از اراضی شمالی و جنوبی شهر تبریز شامل اراضی بایر یا با پوشش گیاهی بسیار ضعیف است و از این نظر محدودیتی برای توسعهٔ شهری وجود ندارد. همچنین حدود ۱۱ درصد از منطقه جزو اراضی ساخته‌شده است که عمدتاً منطبق بر شهر تبریز و شهر جدید سهند است.


الف
ارتفاع از سطح دریا به متر
۱۳۰۷ ۱۴۱۸ ۱۵۳۹ ۱۶۴۳ ۱۷۵۲ ۱۸۷۳ ۲۰۱۵ ۲۴۴۹
ب
شیب به درصد
۰ ۷ ۱۴ ۲۱ ۲۸ ۳۵ ۴۲ ۴۲<
ج
نوع خاک
د
تراز آب زیرزمینی به متر
۱۲۹۹ ۱۳۷۷ ۱۴۷۰ ۱۵۷۰ ۱۶۶۸ ۱۷۶۰ ۱۸۶۱ ۲۰۱۲
ه
اراضی بایر
توده های آب
اراضی ساخته شده
شوره زار
کشاورزی آبی
پارک جنگلی
کشاورزی دیم
جاده آسفالت
و
NDVI
-۰.۷۱ ۰.۰۵ ۰.۰۸ ۰.۱۰ ۰.۲۰ ۰.۳۰ ۰.۴۰ ۰.۸۰
46°7'30"E
46°15'0"E
46°22'30"E
46°30'0"E
38°13'0"N
38°6'0"N
37°59'0"N
0 3 6 12 Km



شکل ۳: الف) توزیع فضایی ارتفاع، ب) توزیع فضایی شیب، ج) توزیع فضایی خاک، د) تراز آب زیرزمینی، هـ) پوشش گیاهی (شاخص NDVI)، و) کاربری اراضی، ز) موقعیت گسل‌ها و فاصله از آن‌ها، ح) سازندهای زمین‌شناسی (تلخیص‌شده)، ط) لندفرم‌ها، ی) نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش در منطقهٔ مطالعاتی *(تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸)*

مخاطرات طبیعی یکی دیگر از متغیرهای بسیار مهم در رابطه با مکان‌یابی توسعهٔ فضایی شهر تبریز به‌شمار می‌آید. در این رابطه، مخاطرهٔ زلزله می‌تواند کل سیستم شهر و پیرامون آن را تحت‌تأثیر قرار دهد. مخاطرات زمین‌لغزش و سیلاب به‌صورت محلی و موضعی فرض شدند. درواقع وجود گسل امتدادلغز، بزرگ، سراسری و فعال شمال تبریز، این شهر را به یک‌پهنهٔ سکونتگاهی بسیار خطرناک تبدیل کرده‌است (شکل ۳: ز). این در حالی است که قسمت‌های شمالی شهر تبریز دارای تراکم‌های بالای ساختمانی، مسکونی و جمعیتی هستند. این تراکم‌های بالا در بخش‌هایی از شمال شهر (به‌خصوص منطقهٔ ۱۰ شهرداری) توأم با حاشیه‌نشینی هستند که آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را افزایش می‌دهد. به‌خصوص که توسعهٔ کالبدی بر روی شیب‌های نسبتاً تند و سازندهای زمین‌شناسی مارنی همراه شده‌است (شکل ۳: هـ). در چند سال گذشته نیز توسعهٔ فضایی شهر عمدتاً در این قسمت‌ها به‌ویژه به‌صورت برج‌های مسکونی در شهرک‌های جدیدالاحداث ارم، باغمیشه، رشدیه و ولی‌عصر اتفاق افتاده‌است؛ بنابراین یکی از دلایل اصلی آسیب‌پذیر بودن شهر تبریز

در برابر مخاطرهٔ زمین‌لرزه مربوط به مکان‌یابی نامناسب و عدم لحاظ گسل بزرگ تبریز در توسعه ساخت‌وسازها است. درواقع منطقه‌ای که باید به‌عنوان حریم گسل درنظر گرفته‌شده و به کاربری‌هایی مانند فضاهای سبز شهری اختصاص یابد، به‌صورت متراکمی به زیر ساخت‌وسازهای شهری رفته است. این امر باعث افزایش قابل‌توجه آسیب‌پذیری شهر نسبت‌به مخاطرهٔ زلزله شده‌است. متأسفانه، این روند در حال حاضر نیز تداوم دارد.

مطابق با نقشهٔ حساسیت زمین‌لغزش (شکل ۳: ی)، قسمت‌هایی از محدودهٔ قانونی شهر در شمال و شمال‌شرق و جنوب شهر (با احتمال کم‌تر) در معرض گسیختگی توده‌ای و زمین‌لغزش قرار دارند. در یک حالت تطبیقی، قسمت‌های شمالی شهر تبریز که منطبق بر پایکوه‌ها و دامنه‌های رشته‌کوه عینالی هستند، ازحساسیت بالاتری نسبت‌به وقوع زمین‌لغزش برخوردارند. قسمت‌های جنوبی شهر که منطبق بر پایکوه تودهٔ آتشفشانی سهند است، در درجهٔ بعدی اهمیت قرار دارد. وقوع زمین‌لغزش‌ها در شهرک ولی‌عصر *(مراجعه شود به‌روستایی و ساری‌صراف، ۱۳۸۵)*، ۴۲ متری و خلیل‌آباد در شمال شهر دلالت بر این امر دارد (شکل ۴)؛ بنابراین هرگونه ساخت‌وساز و توسعهٔ فضایی شهر در این قسمت‌ها، به‌خصوص در بخش‌های شمالی و شمال‌شرقی که دارای واحدهای مارنی‌هستند، نیازمند لحاظ‌کردن احتمال‌ناپایداری‌های دامنه‌ای است. عدم توجه به این مهم می‌تواند منجر به مسائل و مشکلات عدیده و حتی خسارات مادی و جانی فراوان شود. احداث ده‌ها واحد مسکونی در انتهای محلهٔ خلیل‌آباد در شمال شهر در طی سال‌های اخیر، نمونه‌ای بسیار مشخص در زمینهٔ نادیده‌گرفتن فرایندهای ژئومورفولوژیک است. این مناطق علاوه بر اینکه در مجاورت گسل فعال و بزرگ تبریز قرار گرفته‌اند، به‌دلیل وجود سازندهای حساس، در معرض ناپایداری‌های دامنه‌ای نیز هستند. احداث واحدهای مسکونی بر روی این سازندها به‌دلیل افزایش بار بر روی دامنه‌ها می‌تواند محرک زمین‌لغزش باشد؛ بنابراین در یک حالت تطبیقی، در بخش‌هایی از شهر و پیرامون آن که دارای سازندهای مارنی هستند، زمین‌لغزش احتمال وقوع بالاتری دارد؛ ازاین‌رو وقتی سایر شرایط، به‌خصوص حضور آب و شیب مناسب یا تکانه‌ها و ارتعاشات ناشی از زلزله فراهم باشد، پتانسیل بالایی برای لغزش خواهند داشت. این امر به‌دلیل حضور گسل بزرگ تبریز در این مناطق از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و رخداد زمین‌لغزش می‌تواند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پیامدهای ثانویهٔ زلزله محسوب شود.

شکل ۴: الف) وقوع زمین‌لغزش در امتداد جادهٔ وادی رحمت به دیزل‌آباد، ب) رانش زمین در محلهٔ ۴۲ متری، ج) به‌دلیل مکان‌یابی نامناسب، ده‌ها واحد مسکونی در آخر خلیل‌آباد در معرض زمین‌لغزش قرار دارند.

سیلاب، یکی دیگر از مخاطراتی است که می‌بایست در مکان‌یابی توسعهٔ فضایی-کالبدی شهرها مورد توجه قرار گیرد. در پژوهش حاضر برای محاسبهٔ دبی پیک سیلاب‌های رودخانه‌های آجی‌چای و میدان‌چای برای دوره‌های بازگشت مختلف، انواع توابع توزیع متداول شامل توزیع نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، گامبل اکسترمال تیپ ۱، پیرسون تیپ ۳ و لوگ پیرسون تیپ ۳ برازش داده شد. با توجه به نمودارهای حاصل، توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ به‌عنوان بهترین توزیع انتخاب شد. به‌منظور محاسبهٔ پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه‌های آجی‌چای و میدان‌چای، از مدل HEC-RAS (*HEC, 2010*) به‌همراه اکستنشن HEC-GeoRAS (*Cameron & Ackerman, 2012*) در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. در شکل ۵ پهنه‌های سیل‌گیر این رودخانه‌ها نشان داده شده‌است.

جدول ۴: دبی پیک سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت و احتمال وقوع مختلف با استفاده از توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ برای ایستگاه‌های آخولا (آجی‌چای) و هروی (میدان‌چای)

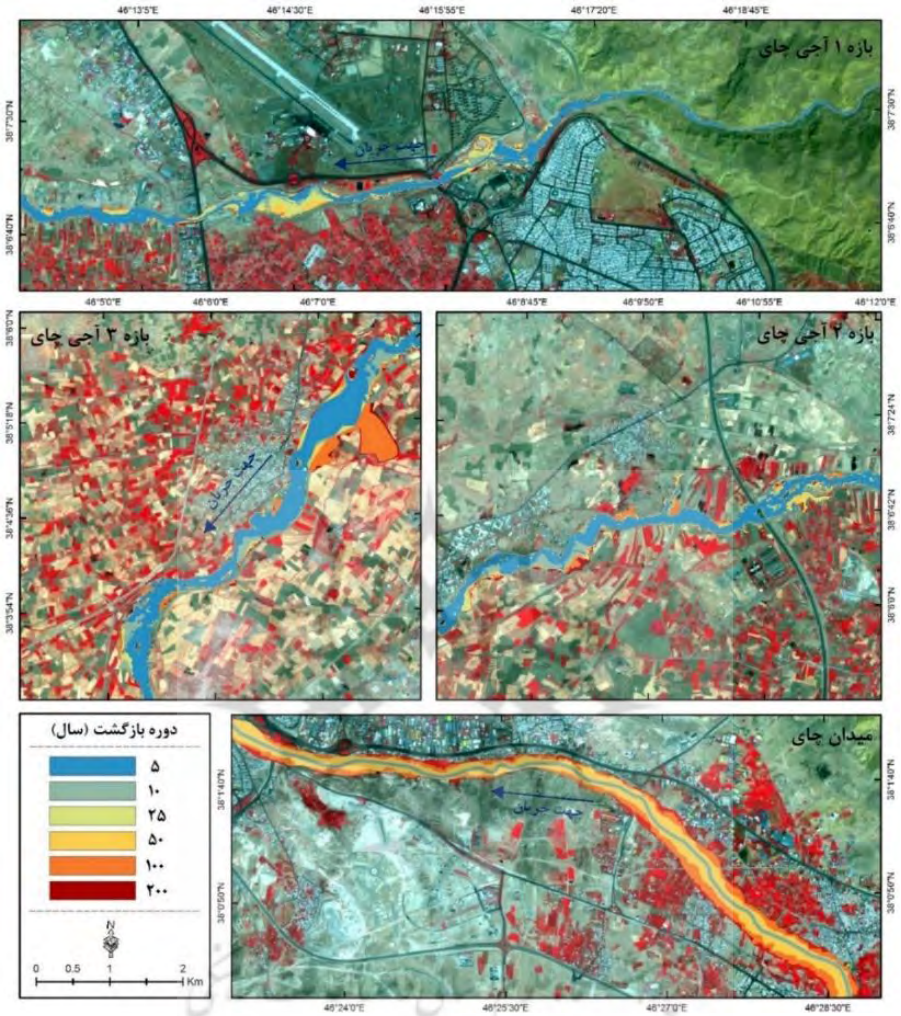
دورهٔ بازگشت	احتمال وقوع	ایستگاه	دبی پیک محاسباتی	انحراف معیار	ایستگاه	دبی پیک محاسباتی	انحراف معیار
۲	۰/۵۰۰	آخولا	۸۷/۹	۱۷/۵	هروی	۹/۱	۱/۲
۳	۰/۶۶۷		۱۱۸/۵	۱۹/۰		۱۲/۹	۱/۸
۵	۰/۸۰۰		۱۴۹/۹	۱۸/۸		۱۸/۳	۲/۸
۱۰	۰/۹۰۰		۱۸۳/۸	۲۷/۵		۲۶/۷	۵/۰
۲۵	۰/۹۶۰		۲۱۷/۳	۵۶/۰		۴۰/۴	۱۰/۲
۵۰	۰/۹۸۰		۲۳۶/۴	۸۲/۹		۵۳/۲	۱۶/۷
۱۰۰	۰/۹۹۰		۲۵۱/۴	۱۱۱/۳		۶۸/۴	۲۶/۱
۲۰۰	۰/۹۹۵		۲۶۳/۲	۱۳۹/۹		۸۶/۴	۳۹/۳

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸

باوجود اینکه آجی‌چای اراضی وسیعی را زهکشی می‌کند (تقریباً ۹۲۰۰کیلومترمربع)، اما در سال‌های اخیر به‌علت احداث بندها و سدهای متعدد بر روی انشعابات آن، دبی رودخانه تا حد زیادی کاهش یافته و کنترل شده‌است. این امر علاوه بر کاهش قابل‌توجه دبی رودخانه در قسمت‌های پایین‌دست (محدودهٔ تبریز)، باعث کاهش دبی‌های اوج نیز شده‌است؛ به‌طوری‌که برای ایستگاه آخولا واقع در مصب رودخانه مقدار دبی محاسباتی با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ ساله در حدود ۲۵۱ مترمکعب در ثانیه محاسبه شد (جدول ۴). این مقدار دبی و حتی دبی با دورهٔ بازگشت ۲۰۰ ساله (۲۶۳ مترمکعب در ثانیه) قادر به سرریزی و پخش گسترده در دشت سیلابی رودخانه نیست و تنها مخاطراتی را برای اراضی کشاورزی پیرامون و بخش‌هایی از روستاهای مجاور رودخانه ایجاد می‌کند. مساحت پهنه‌های سیل‌گیر رودخانهٔ آجی‌چای در بازهٔ مطالعاتی برای دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال به‌ترتیب برابر با ۴۷۱، ۵۵۰، ۶۱۲، ۶۵۲، ۷۸۹ و ۸۱۹ هکتار است. رودخانهٔ آجی‌چای قبل از ورود به محدودهٔ قانونی شهر تبریز (محلهٔ رضوان‌شهر منطقهٔ ۴ شهرداری) در دره‌ای کم‌عرض جریان‌می‌یابد که به‌صورت عرضی رشته‌کوه‌های عینالی را قطع کرده‌است؛ بنابراین به‌دلیل کم‌عرض‌بودن دره و عدم توسعهٔ دشت سیلابی، محدوده‌های سیل‌گیر رودخانه نیز بسیار محدود بوده و عرض سیل‌گیری تقریباً منطبق بر سیلاب‌های ۵ ساله است. سیلاب‌های

با دورهٔ بازگشت بالاتر تنها بر عمق آب و انرژی رودخانه تأثیر می‌گذارند. رودخانه پس از گذر از این دره وارد مناطق شهرداری ۴و۶ تبریز می‌شود. کاربری اساسی اطراف این بازه شامل مناطق نظامی نیروی هوایی و فرودگاه تبریز، کاربری کشاورزی و فضای سبز و در مقیاس محدودتر کاربری‌های مسکونی و صنعتی است. رودخانه در این بازه دارای بستری عریض و تا حدودی گودافتاده است. با توجه به کاهش محسوس دبی در سال‌های اخیر، بستر فعلی توانایی انتقال سیلاب‌های رودخانه از سطح شهر را داراست. با وجود این، لایروبی بستر، حفظ و رعایت حریم رودخانه و نظارت بر توسعهٔ فیزیکی پیرامون آن ضروری است؛ ازاین‌رو مخاطرهٔ سیلاب‌های ناشی از رودخانهٔ آجی‌چای به‌دلیل اثرات کنترلی سدهای متعدد تاحد زیادی کاهش یافته‌است. ازطرفی، به‌دلیل وجود ساختار کوهستانی عینالی در شمال شهر تبریز، مخاطرهٔ سیلاب این رودخانه به بخش‌هایی از غرب شهر محدود شده‌است.

درواقع، شهر تبریز عمدتاً متأثر از حوضهٔ آبریز میدان‌چای و شاخه‌های فرعی آن است کـه از سمت جنوب و دامنهٔ سهند بـه سمت ایـن شهر جریان می‌یابند. بخش عمدهٔ جریانات ناشی از بارندگی در ناحیهٔ جنوب‌شرقی توسط رودخانهٔ میدان‌چای زهکشی می‌شود که حداکثر ظرفیت تخلیهٔ مسیل داخل شهر حدود ۱۰۸مترمکعب در ثانیه است، اما در قسمت‌های پایین دست این رودخانه و حوالی بلوار آذربایجان بستر رودخانه به قدری از رسوبات انباشته شده که تقریباً با زمین‌های اطراف رودخانه همسطح شده‌است و باعث بالاآمدن آب از بستر رودخانه به سطح خیابان‌های اطراف می‌شود، چنانکه در سال ۱۳۷۶ بلوار آذربایجان را به‌شدت تخریب کرد. قسمتی از رودخانهٔ میدان‌چای که در محدودهٔ شهر تبریز واقع شده،دارای طولی معادل با ۱۵کیلومتر و شیب متوسط ۱/۳ درصد و عرض بستر متغیر ۲۵ تا ۶۶ متر بوده و مساحت اراضی اشغال‌شده توسط رودخانه در حدود ۷۰ هکتار است *(روستایی و ساری صراف، ۱۳۸۵)*. نقشهٔ پهنه‌بندی سیلاب آبراههٔ اصلی میدان‌چای نشان می‌دهد که سیلاب‌های با دورهٔ بازگشت ۵۰ ساله و بالاتر می‌توانندمخاطراتی را متوجه واحدهای مسکونی، صنعتی، زیرساخت‌ها و تأسیسات شهری مجاور رودخانه سازند (شکل ۵). درواقع توسعهٔ تبریز درجهت درهٔ لیقوان و میدان‌چای باعث شده‌است که بعضی از تأسیسات شهری به‌تدریج در بستر سیلابی مستقر شوند. در چند سال اخیر، علاوه‌بر افزایش تأسیسات شهری، تعداد خانه‌ها و ویلاهای ساخته‌شده نیز در داخل دره و سطوح دشت سیلابی بسیار افزایش یافته و بر اثر این ساخت‌وسازها، علاوه‌بر انتقال مواد ساختمانی به دشت سیلابی و داخل بستر اصلی رود، احداث دیوار در اطراف ویلاها به‌صورت فزاینده‌ای بستر رود را تنگ کرده‌است.گاهی دیوارکشی پیرامون ویلاها و زمین‌های خریداری شده در وسط دشت سیلابی، تا کنارهٔ بستر دائم و کانال اصلی رود نیز کشیده شده که این امر به ابعاد مخاطرات احتمالی در آینده و میزان آشفتگی‌های فعلی در بستر رود و دشت سیلابی افزوده‌است *(روستایی و جباری، ۱۳۹۰)*.



شکل ۵: پهنه‌های سیل‌گیر رودخانهٔ آجی‌چای و میدان‌چای در منطقهٔ مطالعاتی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

جدول ۵: جزئیات روش وزن‌دهی کاتاستروف به‌منظور تلفیق سیستم‌های شاخص مؤثر بر مکان‌یابی بهینهٔ توسعهٔ فضایی شهر تبریز

لایهٔ داده	پارامترهای کنترل	شاخص‌ها	میانگین	انحراف معیار	نرمال‌سازی مقادیر میانگین	تابع کاتاستروف	عضویت فازی کاتاستروف	اولویت مبتنی بر اصل مکمل	وزن
شیب	۷ ≥ کلاس ۱	ملایم	۳/۵۰۷	۱/۸۷۲	۱/۰۰۰	ویگ‌وام	۱/۰۰۰	۰/۷۳۹	۱/۰
	۱۴ ≥ کلاس ۲ > ۷	نسبتاً ملایم	۹/۷۵۱	۲/۱۰۰	۰/۸۳۷		۰/۹۴۳		
	۲۱ ≥ کلاس ۳ > ۱۴	متوسط	۱۷/۱۹۶	۱/۹۷۱	۰/۶۴۴		۰/۸۹۶		
	۲۸ ≥ کلاس ۴ > ۲۱	تند	۲۴/۱۷۰	۲/۰۴۰	۰/۴۶۲		۰/۸۵۷		
	۲۸ < کلاس ۵	بسیار تند	۴۱/۹۱۷	۱۴/۶۶۸	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰		
ارتفاع	۱۴۳۷ ≥ کلاس ۱ > ۱۳۱۱	ارتفاع کم	۱۳۵۷/۰	۳۱/۶۶	۱/۰۰۰	ویگ‌وام	۱/۰۰۰	۰/۷۰۸	۰/۹
	۱۵۸۶ ≥ کلاس ۲ > ۱۴۳۷	ارتفاع نسبتاً کم	۱۵۱۷/۷	۴۱/۲۴	۰/۷۴۵		۰/۹۰۷		
	۱۷۳۰ ≥ کلاس ۳ > ۱۵۸۶	ارتفاع متوسط	۱۶۵۵/۳	۴۰/۹۶	۰/۵۲۷		۰/۸۵۲		
	۱۸۹۶ ≥ کلاس ۴ > ۱۷۳۰	ارتفاع زیاد	۱۸۰۵/۳	۴۷/۴۸	۰/۲۸۹		۰/۷۸۰		
	۲۴۲۹ ≥ کلاس ۵ > ۱۸۹۶	ارتفاع بسیار زیاد	۱۹۸۷/۲	۷۰/۸۷	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰		
فاصله از گسل	۳۴۹۳ ≥ کلاس ۱ ≥ ۰	بسیار خطرناک	۱۳۹۱/۳	۹۷۹/۷	۰/۰۰۰	ویگ‌وام	۰/۰۰۰	۰/۷۰۰	۰/۸
	۸۵۴۰ ≥ کلاس ۲ > ۳۴۹۳	خطرناک	۵۶۵۲/۴	۱۴۶۰/۲	۰/۲۱۶		۰/۶۰۰		
	۱۴۶۲۱ ≥ کلاس ۳ > ۸۵۴۰	با خطر متوسط	۱۱۳۷۵/۸	۱۷۵۶/۳	۰/۶۷۱		۰/۹۰۵		
	۲۱۶۰۸ ≥ کلاس ۴ > ۱۴۶۲۱	با خطر نسبتاً کم	۱۷۷۶۱/۸	۱۹۹۰/۹	۰/۹۶۶		۰/۹۹۳		
	۳۲۹۹۵ ≥ کلاس ۵ > ۲۱۶۰۸	با خطر کم	۲۵۳۹۱/۴	۲۷۲۲/۳	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
تراز آب زیرزمینی	۱۴۰۵ ≥ کلاس ۱ ≥ ۱۲۹۹	تراز بسیار پایین	۱۳۴۷/۰	۲۹/۴	۰/۰۰۰	ویگ‌وام	۰/۰۰۰	۰/۶۷۴	۰/۴
	۱۵۳۱ ≥ کلاس ۲ > ۱۴۰۵	تراز پایین	۱۴۶۳/۳	۳۶/۵	۰/۲۱۹		۰/۶۰۳		
	۱۶۶۵ ≥ کلاس ۲ > ۱۵۳۱	تراز متوسط	۱۵۹۸/۸	۳۹/۱	۰/۴۷۴		۰/۸۳۰		
	۱۸۰۵ ≥ کلاس ۲ > ۱۶۶۵	تراز بالا	۱۷۳۰/۵	۳۸/۷	۰/۷۲۲		۰/۹۳۷		
	۲۰۱۱ ≥ کلاس ۲ > ۱۸۰۵	تراز بسیار بالا	۱۸۷۷/۸	۵۱/۹	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		

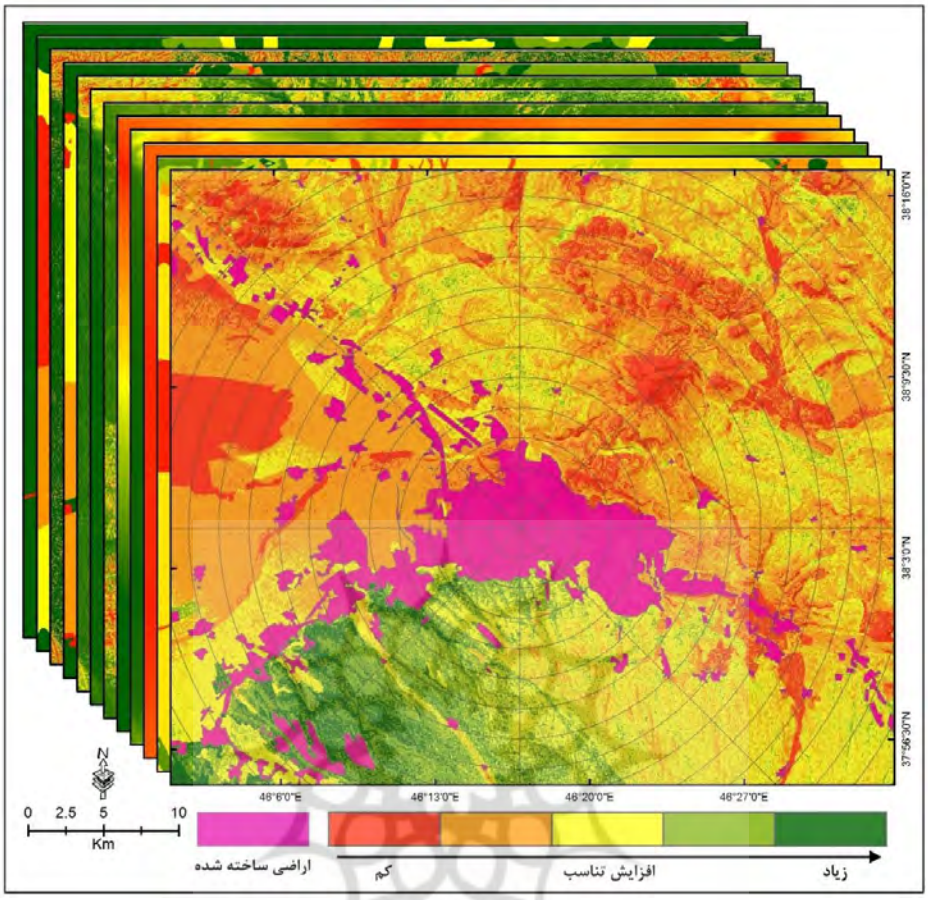
ادامهٔ جدول ۵: جزئیات روش وزن‌دهی کاتاستروف به‌منظور تلفیق سیستم‌های شاخص مؤثر بر مکان‌یابی بهینهٔ توسعهٔ فضایی شهر تبریز

لایهٔ داده	پارامترهای کنترل	شاخص‌ها	میانگین	انحراف معیار	نرمال‌سازی مقادیر میانگین	تابع کاتاستروف	عضویت فازی کاتاستروف	اولویت مبتنی بر اصل مکمل	وزن
پوشش گیاهی	۰/۱ ≤ کلاس۱ ≤ ۰/۷-	بایر	۰/۰۶۴	۰/۰۲۷	۱/۰۰۰	دُم‌چلچله‌ای	۱/۰۰۰	۰/۶۴۲	۰/۲
	۰/۲ ≤ کلاس۲ < ۰/۱	تراکم پایین	۰/۱۲۹	۰/۰۲۶	۰/۷۹۳		۰/۹۲۵		
	۰/۸ ≤ کلاس۳ < ۰/۲	تراکم متوسط	۰/۳۸۰	۰/۱۴۴	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰		
مخاطرهٔ زمین‌لغزش	۰/۲۰۲ ≤ کلاس۱ ≤ ۰	بسیار پایین	۰/۰۵۵	۰/۰۶۵	۱/۰۰۰	ویگ‌وام	۱/۰۰۰	۰/۶۷۶	۰/۵
	۰/۴۱۴ ≤ کلاس۲ < ۰/۲۰۲	پایین	۰/۳۰۵	۰/۰۶۰	۰/۶۶۷		۰/۸۷۴		
	۰/۶۰۶ ≤ کلاس۳ < ۰/۴۱۴	متوسط	۰/۵۰۱	۰/۰۵۴	۰/۴۰۷		۰/۷۹۹		
	۰/۷۶۵ ≤ کلاس۴ < ۰/۶۰۶	بالا	۰/۶۷۳	۰/۰۴۵	۰/۱۷۸		۰/۷۰۸		
	۰/۹۲۸ ≤ کلاس۵ < ۰/۷۶۵	بسیار بالا	۰/۸۰۷	۰/۰۳۳	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰		
خاک	واحد ۲. ۶	تناسب بسیار کم	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	ویگ‌وام	۰/۰۰۰	۰/۶۸۳	۰/۶
	واحد ۱. ۷	تناسب کم	۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰		۰/۶۳۰		
	واحدهای ۲. ۴، ۱. ۴، ۲. ۸، ۱. ۵	تناسب متوسط	۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۰۰		۰/۸۴۱		
	واحدهای ۱. ۳، ۴. ۳، ۲. ۳	تناسب بالا	۴/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۵۰		۰/۹۴۴		
	واحدهای ۴. ۲، ۲. ۲، ۸. ۱، ۱. ۲، ۴. ۱، ۷. ۲، ۶. ۱، ۲. ۱	تناسب بسیار بالا	۵/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
لندفرم	آبراهه‌های عمیق، زهکش‌های مرتفع، دامنه‌های فوقانی، قله‌ها	تناسب بسیار کم	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	پروانه‌ای	۰/۰۰۰	۰/۶۴۹	۰/۳
	دره‌های کم‌عمق، دره‌های یو-شکل، تپه‌های محلی در دره‌ها	تناسب کم	۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۳۳		۰/۶۹۳		
	دامنه‌های فراخ، تپه‌های کوچک در دشت‌ها	تناسب نسبتاً زیاد	۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۶۷		۰/۹۰۴		
	دشت‌ها	تناسب زیاد	۴/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		

ادامهٔ جدول ۵: جزئیات روش وزن‌دهی کاتاستروف به‌منظور تلفیق سیستم‌های شاخص مؤثر بر مکان‌یابی بهینهٔ توسعهٔ فضایی شهر تبریز

لایهٔ داده	پارامترهای کنترل	شاخص‌ها	میانگین	انحراف معیار	نرمال‌سازی مقادیر میانگین	تابع کاتاستروف	عضویت فازی کاتاستروف	اولویت مبتنی بر اصل مکمل	وزن
لیتولوژی	توده‌های لغزشی، کفه‌های نمکی، تپه‌های ماسه‌ای، آبرفت‌های منفصل	بسیار سست	۱/۸۴۲	۰/۷۳۸	۰/۰۰۰	ویگ‌وام	۰/۰۰۰	۰/۶۹۵	۰/۷
	مارن، تراس‌ها و دشت‌های گراولی جوان	نسبتاً سست	۴/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۵۰		۰/۷۰۵		
	تراس‌های قدیمی، کنگلومرای تحکیم‌نیافته، ماسه‌سنگ همراه مارن	با سستی متوسط	۵/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۱۳		۰/۸۴۶		
	ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای مستحکم	نسبتاً پایدار	۶/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۶۷۵		۰/۹۲۴		
	سنگ‌های آذرین	پایدار	۸/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
کاربری اراضی	ساخته‌شده، آب، پارک جنگلی	تناسب بسیار کم	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	ویگ‌وام	۰/۰۰۰	۰/۶۸۳	۰/۶
	اراضی کشاورزی آبی	تناسب کم	۲	۰/۰۰۰	۰/۲۵۰		۰/۶۳۰		
	شوره‌زار	تناسب متوسط	۳	۰/۰۰۰	۰/۵۰۰		۰/۸۴۱		
	اراضی کشاورزی دیم	تناسب زیاد	۴	۰/۰۰۰	۰/۷۵۰		۰/۹۴۴		
	اراضی بایر، مراتع ضعیف	تناسب بسیار زیاد	۵	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		
مخاطرهٔ سیل	سیل با دورهٔ بازگشت ۲۵ سال	خطرناک	۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	کاسپ	۰/۰۰۰	۰/۵۰۰	۰/۱
	سیل با دورهٔ بازگشت بیش از ۲۵ سال	نسبتاً بی‌خطر	۲	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰		۱/۰۰۰		

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۸



شکل ۶: نقشهٔ پهنه‌بندی تناسب توسعهٔ فضایی-کالبدی شهر تبریز

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸

نتیجهٔ روی‌هم‌گذاری متغیرهای طبیعی با استفاده از توابع تئوری کاتاستروف (جدول ۵) نشان می‌دهد که توسعهٔ فضایی-کالبدی شهر تبریز با موانع، محدودیت‌ها و تنگناهای شدیدی روبه‌رو است. هنگامی‌که لایهٔ نهایی با توجه به ارزش‌های به‌دست آمده به پنج کلاس مساوی طبقه‌بندی شد، تنها حدود ۲۰۹ هکتار از منطقهٔ مورد مطالعه (۰/۱ درصد) در کلاس با تناسب خیلی زیاد قرار گرفت که آن هم به‌صورت لکه‌هایی در سطح منطقه پراکنده شده‌اند. واقعیت‌های میدانی نیز تأییدکنندهٔ نتایج مدل مورد استفاده است. درواقع، هیچ منطقه‌ای از اطراف شهر تبریز مناسب توسعهٔ فضایی-کالبدی نیست و به‌ناچار از میزان سخت‌گیری طبقه‌بندی تناسب اراضی کاسته شد. با توجه به نقشهٔ پهنه‌بندی (شکل ۶) و واقعیت‌های میدانی، می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

- شرایط توپوگرافیکی و تکتونیکی نقش بسیار اساسی و تعیین‌کننده در مکان‌یابی بهینهٔ توسعهٔ فضایی شهر تبریز دارند. این امر در مدل‌سازی توسعهٔ فضایی بهینهٔ شهر با استفاده از تئوری کاتاستروف نیز به وضوح انعکاس یافته‌است؛ به‌طوری‌که لایهٔ داده‌های ارتفاع، شیب و فاصله از گسل، از اولویت بالاتری برخوردار شده‌اند (جدول ۵). افتراق فضایی شدید این متغیرها نقش اساسی در بالابودن اولویت مبتنی بر اصل مکمل این متغیرها داشته‌است.

- توسعهٔ فضایی شهر تبریز در جهت شمال، شمال‌شرقی و شمال‌غربی با محدودیت‌ها و تنگناهای بسیار زیادی مواجه است. مهم‌ترین محدودیت‌ها مربوط به حضور تودهٔ کوهستانی عینالی و درنتیجه توپوگرافی ناهموار، شیب‌های تند، ناپایداری‌های دامنه‌ای، وجود برخی سازندهای زمین‌شناسی سست و ناپایدار به‌خصوص حضور مارن‌ها و مهم‌تر از همه، عبور گسل بزرگ و خطرناک تبریز است. در سال‌های اخیر ساخت‌وسازهای زیادی در برخی از قسمت‌های شمالی (شمال‌شرقی) شهر به‌خصوص در محدودهٔ شهرک‌های رشدیه، باغمیشه و ولی‌عصر بدون توجه به لیتولوژی، ناپایدارهای دامنه‌ای و گسل شمال تبریز صورت گرفته‌است. درحالی‌که این مناطق جزو حریم گسلش محسوب شده و ساخت‌وساز در این مناطق ممنوع است. درواقع توسعهٔ شهر در این قسمت‌ها بدون‌توجه به محدودیت‌ها و مخاطرات ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی صورت گرفته و می‌گیرد. این امر آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات محیطی را به‌شدت افزایش می‌دهد. می‌توان گفت قسمت‌های شمالی و به‌خصوص شمال‌شرقی نامناسب‌ترین مناطق برای توسعهٔ فضایی شهر تبریز محسوب می‌شوند (شکل ۵) و باید از توسعهٔ فضایی شهر در این پهنه‌ها جداً جلوگیری شود.

-توسعهٔ فضایی شهر تبریز در قسمت‌های جنوب‌شرقی و جنوبی نیز به‌دلیل وجود تودهٔ آتشفشانی سهند با محدودیت مواجه است؛ بنابراین عوامل ژئومورفولوژیک نقش قاطعی در کاهش تناسب این پهنه‌ها به‌منظور توسعهٔ بهینهٔ شهر ایفا می‌کنند. به‌طوری‌که این اراضی با فراوانی توزیع فضایی شیب‌های تند و سطوح تپه‌ماهوری از سایر اراضی متمایز می‌شوند. اراضی هموار یا با شیب کم، عمدتاً به‌صورت لکه‌های کوچک و بزرگ در این پهنه توزیع شده‌اند. درنتیجه ساخت‌وساز در این قطاع‌ها مستلزم هزینه‌های سنگین به‌منظور آماده‌سازی زمین یا تسطیح و خاک‌برداری است. هرچند در حالت تطبیقی و به‌ناچار این پهنه‌ها می‌توانند - مشروط به اقدامات مهندسی- برای اهداف توسعهٔ فضایی شهر مورد استفاده قرار گیرند.

- در قسمت‌هایی از غرب شهر تبریز (اراضی غرب خط راه‌آهن تبریز- مراغه) اراضی بسیار هموار و مسطحی وجود دارد که دارای شیب بسیار پایین (۰/۵ در هزار) بوده و منطبق بر شوره‌زارهای اطراف آجی‌چای است. این اراضی به‌دلایل مختلف، مناسب شهرسازی نیستند. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های این اراضی مربوط به شیب بسیار پایین است که مسائل و مشکلات زیادی را در رابطه با دفع رواناب‌های سطحی و فاضلاب شهری به بار خواهد آورد. همچنین در این بخش از منطقهٔ مطالعاتی، سطح آب زیرزمینی بالا بوده و به‌دلیل واقع‌شدن در مصب رودخانهٔ آجی‌چای، دارای شرایط کویری است. از طرف دیگر باد غالب تبریز از جهت شرق به غرب می‌وزد و درنتیجه دود کارخانجات ناحیهٔ صنعتی شهر تبریز را به این قسمت منتقل می‌کند. این امر می‌تواند با آلودگی ناشی از ترافیک شهری توأم شده و مشکلات بسیار زیادی را موجب شود.

- هرچند در قسمت‌هایی از غرب و جنوب‌غرب پیرامون شهر تبریز پهنه‌های نسبتاً مناسبی به‌منظور توسعهٔ فضایی-کالبدی شهر وجود دارد؛ اما باید توجه داشت که در این مناطق اراضی مرغوب کشاورزی حضور دارند. وجود خاک‌های حاصلخیز حاکی از قابلیت و توان طبیعی این قسمت‌ها برای فعالیت‌های کشاورزی است. اصولاً شهرهای مراکز ناحیه‌ای، عمدتاً در عرصه‌های با قابلیت بالای کشت اسکان یافته‌اند و

در دهه‌های اخیر به موازات افزایش مهاجرت‌های روستایی و بالابودن نرخ رشد جمعیت، تغییرات کالبدی سریعی را پذیرفته‌اند و از این رهگذر، اراضی پیرامونی که اصولاً در زمینهٔ «قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغ‌ها» (مصوب ۳۱ خرداد ۱۳۷۴) و «آیین‌نامهٔ اجرایی قانون فوق» (مصوب ۲۴ دی ۱۳۷۴ هیئت وزیران)، باید وظیفهٔ تولید غذا را برای جمعیتِ روبه‌رشد داشته باشند، اغلب به انواع ساخت‌وسازها اختصاص یافته‌اند *(سرور، ۱۳۸۷: ۱۱۵)*؛ بنابراین همچنانکه توان‌های محیط طبیعی در این محدودهٔ پیراشهری نشان می‌دهد، تدوین برنامه‌های پیشنهادی در افق آتی لزوم توجه به این سیستم طبیعی را باید در درجهٔ اول اولویت‌های اجرایی قرار دهد؛ بنابراین کاربری‌های کشاورزی یکی از مهم‌ترین کاربری‌های عمده در برخی از قطاع‌های غربی و جنوب‌غربی پیراشهر است و اهمیت زیادی در تأمین بخشی از نیازهای شهر به‌محصولات کشاورزی،زیبایی،گردشگری و کاهش آلودگی هوای شهر دارند.

- با توجه به موارد گفته‌شده، شهر تبریز در زمینه توسعهٔ فضایی بسیار محدود است. این محدودیت‌ها ناشی از مخاطرات ژئومورفولوژیک (به‌خصوص عبور گسل بزرگ تبریز)، توپوگرافی ناهموار، بالابودن سطح آب‌های زیرزمینی و وجود اراضی کشاورزی مرغوب است. درواقع اراضی هموار و کم‌شیب به‌دلیل وجود زمین‌های کشاورزی حاصلخیز یا وجود شوره‌زار و بالابودن سطح آب‌های زیرزمینی مناسب توسعهٔفضایی شهر نیستند؛ بنابراین هرگونه توسعهٔ فضایی شهر مستلزم هزینه‌های زیادی به‌منظور آماده‌سازی زمین خواهدبود. در حالت تطبیقی، مناطق مناسب برای توسعهٔ فیزیکی شهر در جنوب منطقهٔ پیراشهری در حد فاصل شهر تبریز و شهر جدید سهند مکان‌یابی شدند. این مناطق هرچند محدودیت‌های زیادی را در رابطه با توپوگرافی و شیب اعمال می‌کنند، اما در یک حالت‌تطبیقی و اجباری به‌چند دلیل اساسی می‌توانند در زمینه توسعهٔ فضایی شهر تبریز - به‌صورت احداث شهرک‌ها- مورد توجه قرار گیرند. نخست اینکه گسل بزرگ تبریز مهم‌ترین و جدی‌ترین مخاطرهٔ طبیعی منطقهٔ مطالعاتی محسوب می‌شود. این گسل به‌دلیل تراکم بالای ساخت‌وساز در مجاورت آن یکی از خطرناک‌ترین گسل‌های ایران است. با توجه به پتانسیل لرزه‌زایی این گسل (حدود ۷ ریشتر) و پیامدهای ثانویهٔ ناشی از رخداد زلزله، می‌توان به این نتیجه رسید که رعایت حریم و دوری از این گسل می‌تواند خسارات ناشی از زلزله را تا حد بسیار زیادی کاهش دهد؛ بنابراین قسمت‌های جنوبی منطقهٔ مطالعاتی به‌دلیل دوری از گسل از امتیاز بالاتری نسبت به‌سایر مناطق برخوردار هستند. دوم اینکه لیتولوژی این‌منطقه در حالت مقایسه‌ای نسبت‌به سایر قسمت‌های منطقهٔ مطالعاتی واقع در پیرامون شهر از استحکام و مقاومت بالاتری برخوردار است. درواقع می‌توان انتظار داشت که مسائل مربوط به ناپایداری پی‌سنگ و مخاطرهٔ فرونشست موجود در برخی قسمت‌های سطح شهر تبریز (به‌خصوص منطقه شمال‌شرق شهر) در این منطقه کمتر نمود خواهد یافت. با توجه به این موارد و مواردی از قبیل نبود مسائل ناشی از بالابودن سطح آب‌های زیرزمینی، قابلیت بسیار پایین این مناطق برای فعالیت‌های کشاورزی، جهت بادهای غالب منطقه، آلودگی کمتر هوا و مسائل مربوط به زیبایی‌شناختی، قطاع‌های واقع در محدودهٔ بین شهر تبریز و شهر جدید سهند، می‌تواند به‌منظور توسعهٔ فضایی شهر تبریز و آن هم

به‌صورت احداث شهرک‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه

در این تحقیق استعداد اراضی و امکان‌سنجی توسعهٔ فضایی- کالبدی شهر تبریز با توجه به پتانسیل‌ها و محدودیت‌های طبیعی مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اینکه مدل‌های مبتنی بر وزن‌دهی کارشناسی به‌واسطهٔ سلیقه و قضاوت تصمیم‌گیران به‌شدت تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند، در پژوهش حاضر به‌منظور اجتناب از ذهن‌گرایی، توابع تئوری کاتاستروف برای ترکیب و یکپارچه‌سازی متغیرهای مختلف در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد استفاده قرار گرفت. در تئوری کاتاستروف، وابستگی متغیر حالت به متغیرهای کنترل به‌واسطهٔ توابع فازی کاتاستروف تعیین می‌شود. ویژگی اصلی این روش، ارزیابی وزن‌های شاخص‌های مورد استفاده نیست، بلکه اهمیت نسبی آن‌ها موردتوجه است. بنیان ریاضیاتی، کاهش چشمگیر عدم قطعیت تصمیم‌گیری در طی فرایند وزن‌دهی و تا حدودی کاهش عدم قطعیت کلاسه‌بندی، درنظرگرفتن افتراق فضایی متغیرها، قابلیت تکرار نتایج توسط محققان مختلف، انعطاف‌پذیری بالا در نوع و تعداد متغیرها و قابلیت استفاده در تمامی شرایط جغرافیایی (طبیعی و انسانی) از مهم‌ترین مزایای این مدل است. مقایسهٔ نتایج این مدل با واقعیت‌های میدانی و جغرافیایی حاکم بر منطقه نشان‌دهندهٔ اعتبار و کارایی بالای مدل مورد استفاده است.

امکان‌سنجی توسعهٔ فضایی- کالبدی شهر تبریز با استفاده از تئوری کاتاستروف نشان داد که در پیرامون شهر تبریز به‌دلیل شرایط خاص ژئومورفولوژیک، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و هیدرولوژیک، پهنه‌هایی مناسب و مطلوب برای توسعهٔ فضایی-کالبدی شهر موجود نیست و توسعهٔ فضایی تبریز با محدودیت‌ها و تنگناهای محیطی زیادی مواجه است. حتی روند توسعهٔ شهر تبریز در طی دهه‌ها و سال‌های اخیر، بخش عمده‌ای از سیستم شهر را در معرض مخاطرات جدی محیطی قرار داده‌است. در این زمینه گسل فعال شمال تبریز مهم‌ترین و جدی‌ترین چالش پیش‌روی شهر تبریز است که متأسفانه در برنامه‌ریزی‌های توسعهٔ فضایی شهر نادیده گرفته شده‌است. به نظر می‌رسد که روند توسعهٔ شهر در مجاورت و حتی بر روی گسل مذکور در سال‌های آتی نیز تداوم داشته باشد.

درحالی‌که با توجه به توان‌لرزه‌زایی بالای این گسل، می‌بایست از توسعهٔ بیشتر شهر در حریم این گسل ممانعت به عمل آید. این امر به روش‌های مختلف، ازقبیل عدم صدور مجوزهای ساخت‌وساز و تبدیل منطقهٔ حریم گسل به فضاهای سبز عملی است. همچنین اطراف رودخانهٔ میدان‌چای در شرق منطقه، یکی از جهات توسعهٔ فعلی شهر تبریز است که می‌بایست نظارت بیشتری در زمینهٔ رعایت حریم رودخانه صورت گیرد. همچنین اقدامات مهندسی در زمینهٔ کاهش مخاطرهٔ سیلاب از ضروریات منطقه به‌شمار می‌آید. درنهایت با کاهش سخت‌گیری، نتایج مدل و ارزیابیِ ویژگی‌های بستر جغرافیایی اراضی پیرامون شهر و فرصت‌ها، تنگناها و مخاطرات مختلف طبیعی (به‌خصوص مخاطرهٔ زلزله)، بهترین پهنه‌ها به‌منظور توسعهٔ بیرونی شهر در جنوب پیراشهر و گسترهٔ بین شهر تبریز و شهر جدید سهند واقع شده‌است. هرچند توسعهٔ فضایی شهر در این پهنه‌ها - به‌صورت شهرک‌ها- مستلزم هزینه‌های کلانی برای آماده‌سازی زمین خواهدبود؛ بنابراین با عطف به شرایط نامساعد محیطی پیرامون شهر، بهتر است برنامه‌ریزی

توسعهٔ فضایی- کالبدی با توجه به پتانسیل‌های درونی (مانند نوسازی بافت‌های فرسوده) صورت گیرد. در این‌رابطه، کاربری‌های گستردهٔ نظامی در جنوب شهر، به‌عنوان کاربری‌های ناسازگار، می‌تواند به خارج از محدودهٔ شهر منتقل شوند. از این طریق اراضی قابل‌توجهی در اختیار شهرداری قرار گرفته که می‌تواند راه‌گشای برخی از مسائل مربوط به محدودیت فضا شود.

منابع

- اسفندیاری، فریبا؛ مسعود رحیمی؛ منصور خیری‌زاده (۱۳۹۷). ارزیابی و پیش‌بینی مکانی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های آماری فاکتور قطعیت و رگرسیون‌لجستیک (منطقهٔ مطالعاتی: جادهٔ مواصلاتی خلخال- سرچم)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی. سال هفتم. شمارهٔ ۲. صفحات ۴۵- ۱۹.
http://www.geomorphologyjournal.ir/article_80782.html

- جداری‌عیوضی، جمشید (۱۳۶۱). کویر کبودان، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۰. شمارهٔ پیاپی ۱۰۶۰. صفحات ۲۷-۱.
https://journals.ut.ac.ir/article_14258_0.html

- خیری‌زاده‌آروق، منصور(۱۳۹۵). تحلیل‌مورفودینامیک و تغییرات جانبی مجرای رودخانهٔ زرینه‌رود (از شاهین‌دژ تا دریاچهٔ ارومیه)، پایان‌نامهٔ دکتری به راهنمایی محمدحسین رضائی‌مقدم و معصومه رجبی، دانشکدهٔ برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

- روستایی، شهرام؛ ایرج جباری (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی مناطق شهری، چاپ سوم. انتشارات سمت.

- روستایی، شهرام و بهروز ساری‌صراف (۱۳۸۵). پهنه‌بندی مخاطرات محیطی مؤثر در توسعهٔ فیزیکی شهر تبریز، فصلنامهٔ جغرافیایی سرزمین، سال سوم، شمارهٔ ۱۰، صفحات ۱۱۰- ۱۲۶.
http://journals.srbiau.ac.ir/article_5955.html

- سازمان برنامه و بودجهٔ استان آذربایجان شرقی (۱۳۹۶). چکیدهٔ نتایج جمعیتی سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، استانداری آذربایجان شرقی.
https://www.ostan-as.ir/Uploads/User/1669/files/ea_sarshomari_95.pdf

- سازمان تحقیقات خاک و آب. نقشهٔ ارزیابی منابع و قابلیت اراضی استان آذربایجان شرقی.

- سازمان زمین‌شناسی کشور. نقشه‌های زمین‌شناسی ۱۰۰۰۰۰ :۱، برگه‌های تبریز، بستان‌آباد، خوجا و اسکو به‌همراه گزارشات.

- سرور، رحیم (۱۳۸۷). جغرافیای کاربردی و آمایش سرزمین، چاپ سوم، انتشارات سمت.

- محمدزاده، رحمت (۱۳۷۶). درآمدی بر توسعهٔ فیزیکی شتابان شهر و عوارض ناشی از آن، مجلهٔ اطلاعات سیاسی- اقتصادی. دورهٔ ۱۱. شمارهٔ ۸-۷ (۱۱۶- ۱۱۵). صفحات ۲۲۷-۲۲۲.
https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=105205

- مکرم، مرضیه؛ سعید نگهبان (۱۳۹۳). طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ جنوبی شهرستان داراب)، فصلنامهٔ علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر). دورهٔ ۲۳. شمارهٔ ۹۲. صفحات ۵۷-۶۵.
http://www.sepehr.org/article_13507.html

- مهندسان مشاور نقش محیط (۱۳۹۱). طرح توسعه و عمران (جامع) شهر تبریز. اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی.

- Ahmed, Kamal; Shahid, Shamsuddin; Bin Harun, Sobri; Ismail, Tarmizi; Nawaz, Nadeem; Shamsudin, Supiah (2015). Assessment of groundwater potential zones in an arid region based on catastrophe theory. Earth Science Informatics, Vol. 8, Issue. 3, PP. 539-549.
https://doi.org/10.1007/s12145-014-0173-3

- Netzband, M; Stefanov, W. L; Redman. C. (2007). Applied Remote Sensing for Urban Planning, Governance and Sustainability, Springer, Berlin, 278 p. https://www.springer.com/gp/book/9783540255468
- Sadeghfam, Sina; Hassanzadeh, Yousef; Nadiri, Ata Allah; Khatibi, Rahman (2016). Mapping groundwater potential field using catastrophe fuzzy membership functions and Jenks optimization method: a case study of Maragheh-Bonab plain, Iran. Environmental Earth Sciences,75:545, PP.1-19. https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-015-5107-y
- Su, Shiliang; Li, Dan; Yu Xiang; Zhang, Zhonghao; Zhang, Qi; Xiao, Rui; Zhi, Junjun; Wu, Jiaping (2011). Assessing land ecological security in Shanghai (China) based on catastrophe theory. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, Vol. 25, Issue. 6, PP. 737-746. https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-011-0457-9
- Szabo, J; David,L; Loczy, D (2010). Anthropogenic Geomorphology: A Guide to Man-Made Landforms. Springer. 298p. https://link.springer.com/book/10.1007/978-90-481-3058-0
- Tian-jun, Zhang; Shu-xin, Ren; Shu-gang, Li; Tian-cai, Zhang; Hong-jie, Xu. (2009). Application of the catastrophe progression method in predicting coal and gas outburst. Mining Science and Technology, Vol. 19, PP. 430-434. https://doi.org/10.1016/S1674-5264(09)60080-6
- Wang, Chao; Ni, Fu-Quan; Deng, Yu; Jiang, Lin-Lin(2011). Research on the Risk Associated with Rural Drinking Water Safety Based on Catastrophe Theory. Journal of Water Resource and Protection, Vol. 3, PP. 356-362. https://doi.org/10.4236/jwarp.2011.36045
- Alcántara-Ayala, Irasema; Goudie, Andrew. S (2010). Geomorphological Hazards and Disaster Prevention. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511807527
- Cameron, T and Ackerman, P. E (2012). HEC-GeoRAS, GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS®10. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-georas/downloads.aspx
- Chen, Yu; Song, Guobao; Yang, Fenglin; Zhang, Shushen; Zhang, Yun; Liu, Zhenyu (2012). Risk Assessment and Hierarchical Risk Management of Enterprises in Chemical Industrial Parks Based on Catastrophe Theory. International Journal of Environmental Research & Public Health,Vol.9, Issue.12,PP.4386-4402. https://doi.org/10.3390/ijerph9124386
- Douglas, Ian; Goode, Davi; Houck, Mike; Wang,Rusong (2011). The Routledge Handbook of Urban Ecology. Routledge. https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.4324/9780203839263
- HEC (Hydrologic Engineering Center). (2010). HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual. U. S. Army Corps of Engineers. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf
- Jenness, Jeff (2006). Topographic Position Index (TPI) v. 1.2. http://www.jennessent.com.
- Lein, James K. 2003. Integrated environmental planning. Blackwell Science Ltd. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470999233

- Weiss, A (2001). Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA. http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf

- Xiao-jun, Wang; Jian-yun, Zhang; Shahid, Shamsuddin; Xing-hui, Xia; Rui-min, He; Man-ting, Shang (2014). Catastrophe theory to assess water security and adaptation strategy in the context of environmental change. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Vol. 19, Issue. 4, PP. 463-477. https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11027-012-9443-x

- Yang, X; Li, J (2013). Advances in mapping from remote sensor imagery: techniques and applications, CRC Press, Taylor & Francis Group, 414 p. https://www.routledge.com/Advances-in-Mapping-from-Remote-Sensor-Imagery-Techniques-and-Applications/Yang-Li/p/book/9781138072947

- You, W. J & Zhang, Y. L (2015). Evaluation of social vulnerability to floods in Huaihe River basin: a methodology based on catastrophe theory. Natural Hazard and Earth System Sciences, Vol. 3, Issue. 8, PP. 4937-4965. https://doi.org/10.5194/nhessd-3-4937-2015

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی