Vol. 10, No. 1, Ser (36) 2020

Predicting the Physical Development of Qaen City using Satellite Images

Ahmad Asadi [1*], Ebrahim Akbari [2], Najmeh Shafie [3]

1- Assistant Professor of Geography and Urban Planning, Faculty of Humanities, Bozorgmehr University of Qaenat, Qaen, Iran
2- Master of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Bozorgmehr University of Ghaenat, Qaen, Iran
3- Ph.D. Candidate of Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Abstract

The growth of cities and their impacts on the environment have disastrous consequences. But, with having the knowledge of the areas, investigation, employment, and proper use of new technologies, sustainable development can be achieved. On the other hand, geography and its most important indicators, especially geomorphology as a specialized science, can play an important role in the growth and development of urban centers. The present study examines the development status of the city and the risks that affect its development. In the present study, using the remote sensing and geographic information system of land use changes in the city of Qaen, in order to estimate the increase in the urban area and the reduction of agricultural and horticultural lands in the period from 2000 and 2017, and also its effect on the geomorphological hazards (such as fault, waterway and lithology) has been studied in the region. The area of use was characterized by maximum similarity algorithm, supervised method and Markov chain model at 1404 horizons. The results of this study show that during the years 2000, 2010 and 2017, the area of use of the boundaries built in the city of Qaen has increased and this increase has brought the city closer to the clay formations, faults and main waterways. So that constructed lands (114.84%), gardens and agricultural lands (99.1%), uncultivated lands (99.71%) and rangeland (99.94%) will change. The combination of different data to obtain more accurate and coherent outcomes as well as a vision for identification of favorable areas for urban growth and development in the coming years will be considered as the innovation of this research.

Keywords: Satellite Images, Land Use Changes, Markov Chain Model, Geomorphic Hazards, Qaen.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)
سال دهم، شماره یکم، (پیاپی ۳۶)، بهار ۱۳۹۹
تاریخ وصول: ۹۷/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۱۳
صص: ۸۴-۶۷

پیش‌بینی توسعهٔ فیزیکی شهر قائن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

احمد اسدی [۱*]، ابراهیم اکبری [۲]، نجمه شفیعی [۳]

۱- استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه بزرگمهر قائنات، قائن، ایران
۲- کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه بزرگمهر قائنات، قائن، ایران
۳- دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

رشد شهرها و تأثیرات حاصل از آن بر محیط پیرامون، پیامدهای زیان‌باری به دنبال دارد؛ اما با شناخت و آگاهی از نواحی، بررسی، به‌کارگیری و استفادهٔ بهینه از علوم و فناوری‌های جدید می‌توان به سمت توسعهٔ پایدار حرکت کرد؛ از سویی جغرافیا و شاخص‌های بسیار مهم آن به‌ویژه ژئومورفولوژی به‌مثابهٔ علمی تخصصی و کاربردی، نقش مؤثری در رشد و گسترش مراکز شهری دارد. در پژوهش حاضر، وضعیت توسعهٔ شهر و مخاطراتی بررسی شده است که بر این توسعه تأثیر می‌گذارد. در این پژوهش با استفاده از قابلیت تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، تغییرات کاربری اراضی شهر قائن به‌منظور تخمین افزایش سطح مجموعهٔ شهری و میزان کاهش اراضی کشاورزی و باغی در بازهٔ زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ بررسی شد؛ همچنین تأثیر آن بر مخاطرات ژئومورفولوژیکی ازجمله گسل، آبراهه و لیتولوژی در منطقه ارزیابی شد. در ادامه محدودهٔ کاربری با الگوریتم حداکثر مشابهت، روش نظارت‌شده و مدل زنجیرهٔ مارکوف در افق ۱۴۰۴ مشخص شد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد طی سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶ مساحت کاربری محدوده‌های ساخته‌شده در شهر قائن افزایش داشته و این افزایش سبب نزدیک‌شدن شهر به سازندهای رسی، گسل‌ها و آبراههٔ اصلی شده است؛ به‌طوری که مساحت اراضی ساخته‌شده (۱۱۴/۸۴درصد)، باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی (۹۹/۱درصد)، زمین‌های بایر (۹۹/۷۱درصد) و مراتع (۹۹/۹۴درصد) تغییر خواهد کرد. تلفیق داده‌های متفاوت برای به‌دست‌آوردن نتایج دقیق‌تر و منسجم‌تر و همچنین آینده‌نگری برای شناسایی مناطق مساعد به‌منظور رشد و گسترش شهری در سال‌های آتی، نوآوری این پژوهش محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات کاربری اراضی، مدل زنجیرهٔ مارکوف، مخاطرات ژئومورفیک، قائن.

* نویسنده مسؤول asadi@buqaen.ac.ir

مقدمه

جهان امروز، جهان شهری است که متأسفانه نتیجهٔ آن دوری از محیط طبیعی و پذیرش ناخواستهٔ نامتعادلی‌هایی است که از روابط ناموزون انسان‌ها و فضای شهری نشئت می‌گیرد (فرید، ١٣٧٥: ٨). نحوهٔ استفاده از زمین شهری از مهم‌ترین مسائل زندگی امروزی است (سیف‌الدینی، ١٣٨١: ١٦١). توسعهٔ شهری که مناطق وسیعی از سطح زمین را پوشش می‌دهد، امروزه در عرض‌های پایین به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه اهمیت می‌یابد که رشد شهرها در آنها از اروپا و آمریکای شمالی سبقت گرفته است (Chengtai, 1999: 960).

توسعهٔ فیزیکی در شهرهای ایران به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی، تراکم انسانی، رشد جمعیت و مهاجرت‌های روستایی، همواره با دگرگونی در ساختار شهر همراه بوده و این عوامل بر شکل‌گیری توسعهٔ نامتوازن شهری اثر فراوان داشته است. بدین ترتیب رشد شهرنشینی طی دهه‌های گذشته با توان تجهیز فضاهای شهری و گسترش زیرساخت‌ها متناسب نبوده و مشکلات فراوانی را به وجود آورده است؛ نظیر گرانی مسکن، بیکاری و اسکان غیررسمی در سیمای ظاهری شهرها (عابدینی و مقیمی، ١٣٩١: ١٥٠). بر این اساس در برنامه‌ریزی‌های شهری و الگوهای توسعهٔ فیزیکی شهر، توجه به مخاطرات و پی‌جویی بسترهای عاری از مخاطره برای کاهش آسیب‌پذیری جمعیت و توسعه‌های آتی، امری ضروری است (معتمدی‌نیا، ١٣٨٩: ١٥٤).

گستردگی به‌منزلهٔ پدیده‌ای غالب در بیشتر شهرها ایجاد شده است و با ویژگی‌های پراکندگی و تراکم کم، اراضی بیشتری را نسبت به شهرهای متراکم و فشرده اشغال می‌کند (Bullard et al., 2000: 127)؛ با وجود اینکه مناطق انسان‌ساخت فقط ٣ درصد سطح کرهٔ زمین را شامل می‌شود، در مقیاس جهانی و محلی آثار مهمی بر شرایط محیطی داشته‌اند (Hirold et al., 2003: 286- 302)؛ برای نمونه تجاوز مناطق شهری به زمین‌های کشاورزی عواقب زیست‌محیطی بسیار نامطلوبی در پی داشته است؛ مانند بیابان‌زایی و فرسایش خاک؛ بنابراین داشتن اطلاعات به‌روز و درست از تغییر کاربری اراضی برای درک و مدیریت پیامدهای چنین تغییراتی لازم است (Giri et al., 2005: 123-132).

اهداف و پرسش‌های پژوهش

در سال‌های اخیر مساحت شهر قائن به‌طور چشمگیری افزایش یافته است؛ گسترش پراکندهٔ شهر پیامدهای مختلف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را برای شهر در پی داشته است؛ بنابراین هدف از این مطالعه، بررسی توسعهٔ شهر قائن در سال‌های اخیر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پرسش‌های اصلی پژوهش به شرح زیر است:

١- توسعهٔ فضایی شهر قائن در جهت تغییر کاربری اراضی بوده است؟

٢- جهت توسعهٔ مناسب شهر قائن به‌لحاظ مخاطرات ژئومورفولوژی کدام سمت است و کدام جهت گسترش شهر برای آینده مناسب است؟

پیشینهٔ پژوهش

آلانسی و همکاران[1] (۲۰۰۹) مخاطرات زمینی حاصل از توسعهٔ شهری را در حوضهٔ آبریز مالزی با استفاده از تکنیک GIS بررسی کردند.

ربیعی و همکاران (۱۳۸٤) در پژوهشی با عنوان «کشف و بازیابی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان به کمک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۰ و GIS»، تغییرات کاربری و پوشش اراضی را با تأکید بر گسترش افقی شهر اصفهان ارزیابی کردند.

شریفی‌کیا و همکاران (۱۳۸۹) تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی ناشی از توسعهٔ فیزیکی شهر ماه‌نشان را مدنظر قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد بخش عمدهٔ بستر فیزیکی شهر ماه‌نشان در معرض خطر ناشی از مخاطرات قرار دارد؛ به‌طوری که ۵۱ درصد مساحت این شهر در منطقهٔ خطر زیاد واقع شده است.

محمداسماعیل (۱۳۸۹) پایش تغییرات کاربری اراضی کرج را با استفاده از تکنیک سنجش از دور مدنظر قرار داده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد وسعت اراضی مسکونی ساخته‌شده در تصویر سال ۱۹۸۷ شامل شهر کرج و آبادی‌های پراکنده در اطراف آن، تقریباً ٦۰۳۲/۳ هکتار بوده و در تصویر سال ۲۰۰۲ بر مناطق شهری افزوده شده است؛ زمانی که شهر کرج به شهر بزرگ و آبادی‌های آن به شهرهای کوچک تبدیل شده‌اند.

ستایشی نسار و همکاران (۱۳۹۲) تنگناهای ژئومورفولوژی و تأثیر آن را بر توسعهٔ فیزیکی شهر با استفاده از GIS و روش AHP بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که شمال غرب و غرب شهر، مکان‌های کاملاً مناسب و شرق شهر، مکان‌های کاملاً نامناسب برای توسعهٔ فیزیکی شهر هستند.

روستایی و همکاران (۱۳۹۳) «سنجش فضایی گستردگی شهری را با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه؛ مطالعهٔ موردی: ارومیه» مدنظر قرار داده‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد طی دورهٔ ۱۳٦۳ تا ۱۳۹۰، ۱۷۱۸۸/٥٦ هکتار از اراضی شهر ارومیه تغییر کاربری داده و بیشترین تغییر کاربری اراضی در اراضی کشاورزی آبی با کاهش ۷٦۷۲/٤۱ هکتار صورت گرفته است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد در سال ۱٤۰۰، حدود ۲٤۰۸/٥٥ هکتار به اراضی ساخته‌شده اضافه خواهد شد. این امر به تغییر کاربری اراضی در شهر ارومیه و ناپایداری شهری در توزیع بهینهٔ خدمات و دسترسی به امکانات زندگی برای ساکنان شهر خواهد انجامید.

نیکخو و همکاران (۱۳۹٤) در مطالعه‌ای تحولات کاربری اراضی شهر ملایر را با بهره‌گیری از سنجش از دور بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد تغییرات چشمگیری در کاربری‌های اراضی محدودهٔ مطالعاتی در یک بازهٔ زمانی ۲۸ساله روی داده است که پیرو آن، اراضی مسکونی و کشاورزی آبی به میزان ۲/۱۹ و ٤/۳٦ درصد افزایش و کشاورزی دیم و مراتع به میزان ۲/۳۸ و ٦/۸ درصد کاهش یافت.

حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹٦) الگوی گسترش فیزیکی شهر خرم‌آباد را با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن و جهات بهینهٔ گسترش آن را با استفاده از مدل AHP تحلیل و تعیین کرده‌اند. یافته‌های پژوهش حاکی از مکان‌یابی توسعهٔ آتی شهر به سمت جنوب خرم‌آباد است.

[1] Alansi et al

احمدی (۱۳۹۶) «محدودیت‌های توسعهٔ فیزیکی شهرها، مطالعهٔ موردی: شهر سردشت» را بررسی کرده است. نتایج به‌دست‌آمده بیان‌کنندهٔ آن است که شهر سردشت به‌لحاظ موقعیت قرارگیری جهت توسعه با محدودیت زیادی از سه جهت جغرافیایی غرب، شمال و شرق مواجه است و از جهت جنوب نیز توسعهٔ فیزیکی روی زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها صورت گرفته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد از مجموع حدود ۳۱۲/۶ هکتار، ۸/۵۹ درصد محدودهٔ مکان‌های کاملاً مناسب و ۳۶/۰۸ درصد محدودهٔ کاملاً نامناسب را شامل می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش از تصاویر سنجندهٔ ETM مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ (۱۳۷۹) و ۲۰۱۰ (۱۳۸۹) و سنجندهٔ OLY مربوط به سال ۲۰۱۷ (۱۳۹۶) و ماهوارهٔ لندست استفاده شده است. لایه‌های فاصله از گسل و لیتولوژی از نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ایران و لایهٔ فاصله از آبراهه از لایهٔ DEM تهیه شد که به‌منظور بررسی مخاطرات و نقش آن بر توسعهٔ فیزیکی شهر به کار رفتند. تاریخ تصاویر به ترتیب ۲۰۰۰/۵/۲۸، ۲۰۱۰/۵/۲٤ و ۲۰۱۷/۱۱/۲۷ است. برای کاهش خطاهای مربوط به تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر ماهواره‌ای لندست تصحیح هندسی و رادیومتریک شد. سپس محدودهٔ پژوهش از تصاویر جدا، اطلاعات ماهواره‌ای با روش نظارت‌شده طبقه‌بندی و برای رده‌بندی پیکسل‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده شد. بدین صورت که با تعریف پیکسل‌های مشخص از تصویر برای هریک از کلاس‌ها، عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌های آموزشی در نظر گرفته‌شده انجام می‌شود. برای طبقه‌بندی از الگوریتم نظارت‌شده (حداکثر مشابهت) استفاده شده است. در این روش ارزش هر پیکسل ناشناخته براساس واریانس و کواریانس آن طبقه‌بندی و سپس واکنش طیفی ویژهٔ آن تجزیه و تحلیل می‌شود. فرض بر این است که توزیع داده‌های هر طبقه براساس توزیع نرمال در اطراف پیکسل میانگین آن طبقه قرار گرفته است. در عمل واریانس و کواریانس و میانگین طبقهٔ مختلف هر تصویر ماهواره‌ای برای طبقه‌بندی پدیده‌ها محاسبه می‌شود تا هریک از پیکسل‌ها به طبقه‌ای تعلق یابد که حضورش در آن طبقه احتمال بیشتری دارد. در ادامه برای پی‌بردن به تغییرات صورت‌گرفته در کاربری اراضی محدودهٔ پژوهش (شهر قائن) شامل کاربری‌های باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته‌شده، اراضی بایر و مراتع، مدل زنجیرهٔ مارکوف به کار رفته است.

مدل زنجیرهٔ مارکوف و CA مارکوف

زنجیره‌های مارکوف، یک روش ریاضی و احتمالاتی است. درواقع مدل زنجیره‌ای مارکوف به‌صورت فرایندی تصادفی عمل می‌کند که در آن وضعیت آیندهٔ یک پیکسل فقط به وضعیت پیشین آن بستگی دارد و براساس آن پیش‌بینی می‌شود. نتیجهٔ مستقیم حاصل از این مدل، ماتریس احتمال انتقال است؛ اما در این مدل هیچ درک جغرافیایی به دست نمی‌آید و در پایان مدل‌سازی نقشهٔ واحدی تولید نمی‌شود که نشان‌دهندهٔ توزیع مکانی کلاس‌ها باشد. برای رفع این مشکل در دههٔ ۱۹۵۰، مدل CA مارکوف را جان وان نیومن[1] برای اضافه‌کردن مشخصهٔ مکانی

[1] Janvan new man

به مدل مارکوف طراحی کرد (Fan et al., 2008: 127- 147). پیش‌بینی در مدل مارکوف با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود.

رابطهٔ (۱) $$S(t+1)= Pij \times s(t)$$

در این رابطه s (t) و S (t+1)، حالت‌های سیستم در زمان t و t+1 هستند و pij، ماتریس احتمال انتقال در یک حالت است که با رابطهٔ ۲ محاسبه می‌شود.

رابطهٔ (۲) $$p_{ij}=\begin{matrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{matrix}$$

در زنجیرهٔ مارکوف از کلاس‌های پوشش به‌مثابهٔ حالت یا همان وضعیت‌های زنجیره استفاده شده است. در این تحلیل همواره از دو نقشهٔ رستری استفاده می‌شود که «مدل» نامیده می‌شوند؛ علاوه بر این دو نقشهٔ فاصلهٔ زمانی بین دو تصویر و فاصلهٔ زمانی پیش‌بینی در افق ۱۴۰۱ نیز در مدل CA مارکوف در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل مارکوف نیز شامل احتمال تبدیل وضعیت و ماتریس مساحت‌های تبدیل‌شده در هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالاً شرطی برای تبدیل کاربری‌های مختلف است. همین‌طور در این پژوهش برای اعتماد به طبقه‌بندی صورت‌گرفته از شاخص کاپا استفاده شده است. شاخص کاپا از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

رابطهٔ (۳) $$Kappaaaas = \frac{P_{0-P_C}}{1-P_C} * 100$$

P_0: درستی مشاهده‌شده

P_C: توافق مورد انتظار

نتایج دقت طبقه‌بندی

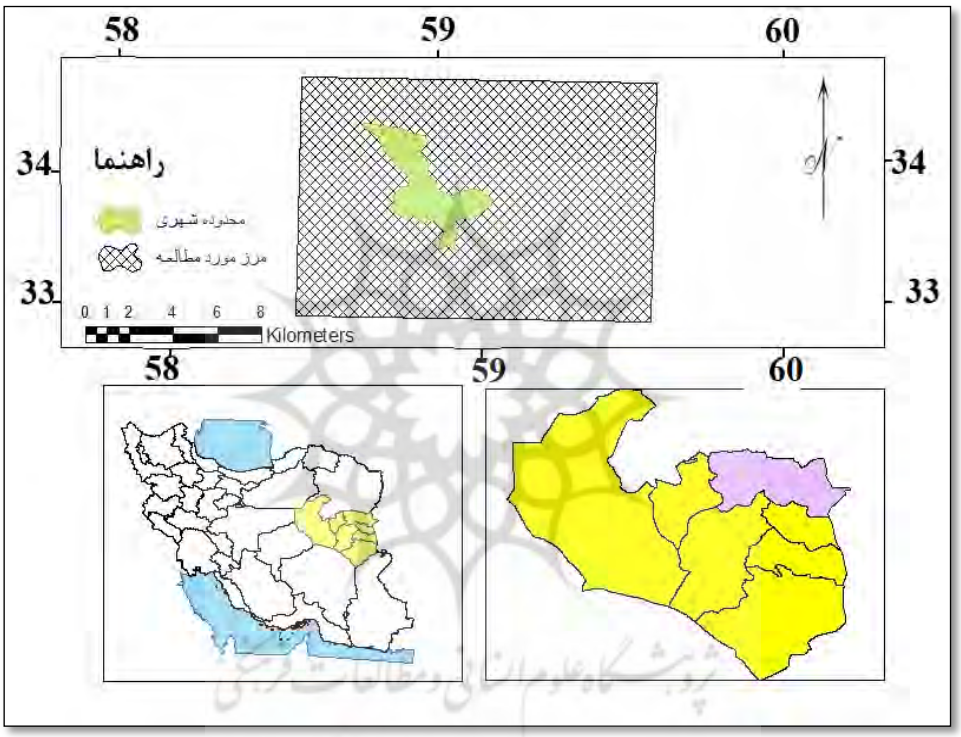
یکی از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی صحت طبقه‌بندی، محاسبهٔ ماتریس خطاست که کاربرد فراوانی دارد. پس از طبقه‌بندی تصاویر، شاخص کاپا و صحت کلی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده براساس ماتریس خطا محاسبه شد. این مقادیر نشان می‌دهد طبقه‌بندی و انواع طبقات کاربری زمین با یکدیگر توافق خوبی دارند. جدول (۱)، ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد. براساس این جدول دقت کلی بیش از ۹۰ درصد و شاخص کاپا بین ۰/۸۸ تا ۰/۹ است.

جدول- ۱: ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

سال	تصویر	شاخص کاپا	ضریب صحت
۱۳۷۸	**ETM**	۰/۹۰	۹۲/۵٤
۱۳۸۹	**ETM**	۰/۸۹	۰/۹٤
۱۳۹٦	**OLI**	۰/۸۸	۰/۹۱

محدودهٔ پژوهش

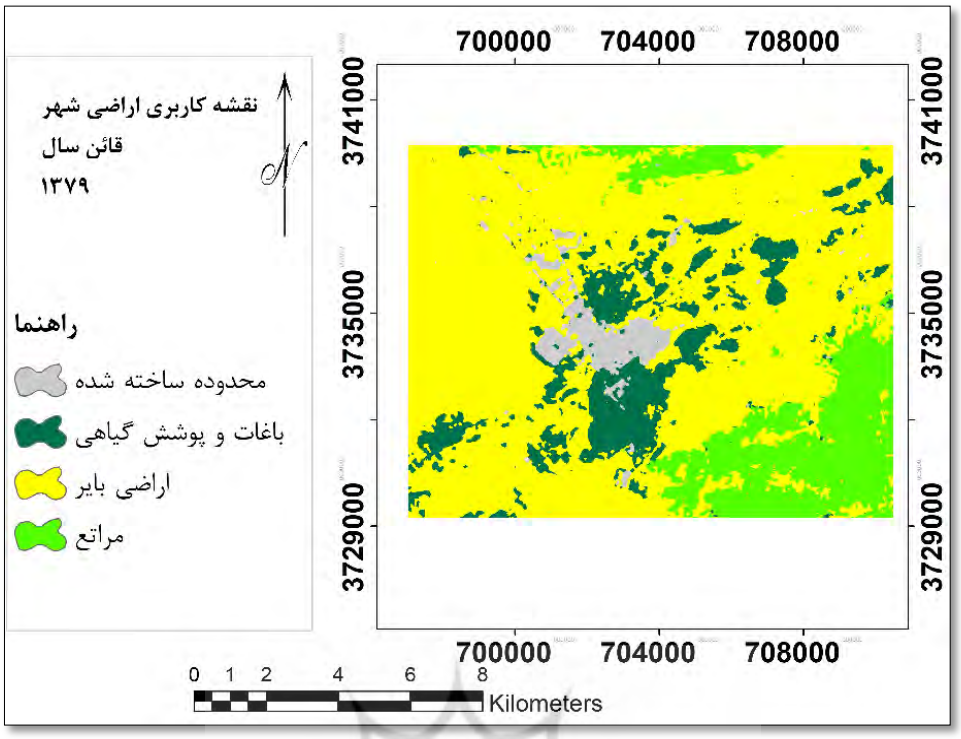
شهر قائن، مرکز شهرستان قائنات، بر دشت قائن قرار دارد. شهر قائن در مسیر بزرگراه آسیایی، مشهد به زاهدان و چابهار (کریدور شمال - جنوب شرق کشور) قرار گرفته و از سطح دریا ۱٤٤۰ متر بلندی، تا مرز افغانستان ۱۸۰ کیلومتر، از دو شهر بیرجند و گناباد ۱۰۰ کیلومتر و از تهران ۱۳۰۰ کیلومتر فاصله دارد. این شهر در ۳۷۲کیلومتری جنوب مشهد واقع شده است. رشته‌کوه قهستان در غرب و شاسکوه و آهنگران در شرق آن سر بر آسمان ساییده‌اند و بلندترین قلهٔ منطقهٔ کمرسرخ با ۲۸٤۲ متر در نیم‌بلوک و پست‌ترین نقطه با ٦۱۰ متر در پترگان قرار دارد. برپایهٔ سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، جمعیت این شهر ٤۲۳۲۳ نفر (در ۱۱۹۲۰ خانوار) بوده است.



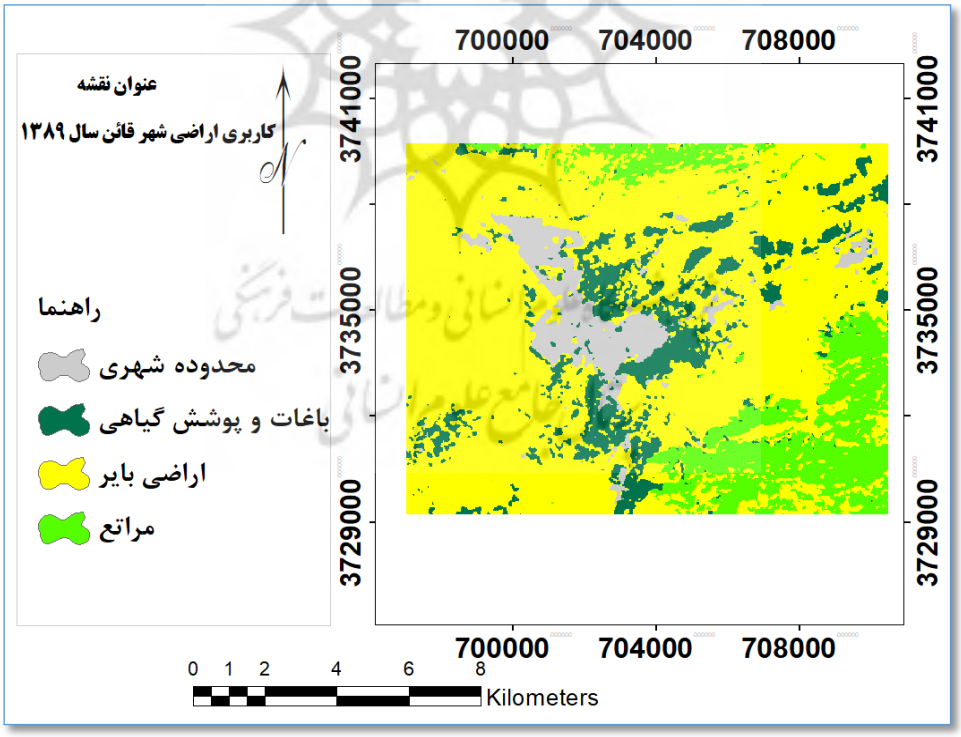
شکل- ۱: موقعیت شهر قائن

یافته‌های پژوهش

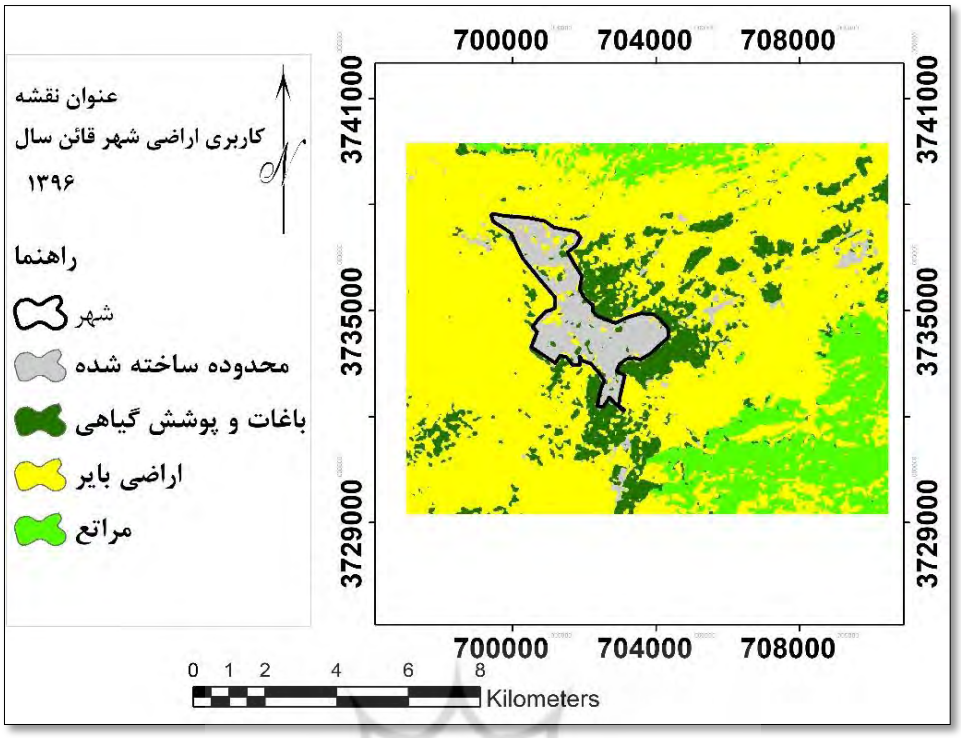
بررسی توسعهٔ شهر طی سال‌های مختلف ناشی از افزایش جمعیت است. از سویی این توسعه باید از مخاطرات ژئومورفولوژیکی به دور باشد؛ اما بیشتر برنامه‌ریزی‌ها برای توسعه اصولی نیست و همین برنامهٔ نادرست، خطر بروز حوادث پیش‌بینی‌ناپذیر را گسترش می‌دهد. با بررسی نقشه‌های کاربری اراضی و مخاطرات ژئومورفولوژی شهر قائن، تغییرات مربوط به سال‌های مختلف و همچنین بروز خطرات پیش رو را در محدوده به‌طور وسیع ارزیابی می‌کنیم. نقشه‌های (۲)، (۳) و (٤) به ترتیب نشان‌دهندهٔ تغییرات کاربری اراضی محدودهٔ شهر قائن در ٤ کلاس (محدودهٔ ساخته‌شده، باغ‌ها و اراضی کشاورزی، اراضی بایر و مراتع) است.



شکل- ۲: نقشهٔ پوشش زمین در شهر قائن در سال ۱۳۷۹



شکل- ۳: نقشهٔ پوشش زمین در شهر قائن در سال ۱۳۸۹



شکل- ٤: نقشهٔ پوشش زمین در شهر قائن در سال ۱۳۹٦

با بررسی این نقشه‌ها مشخص شد در سه بازهٔ زمانی ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹٦، بیشترین تغییرات به محدوده‌های ساخته‌شده (مسکونی) مربوط است. با توجه به تغییرات شهر در سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹٦، بیشترین رشد شهر در جهت غرب و شمال غربی و به مقدار کمتری در جهت جنوب روی داده است. از آنجا که بیشترین رشد در باغ‌ها، مراتع و کشاورزی رخ داده، تغییرات کمی در اراضی بایر ایجاد شده است. با توجه به خروجی نقشه‌ها در سه بازهٔ زمانی ۱۳۸۹، ۱۳۷۹ و ۱۳۹٦ مشخص شد بیشترین تغییرات کاربری به محدوده‌های ساخته‌شده بر اثر ساخت‌وساز بی‌رویه به‌ویژه در بازهٔ زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹٦ در شهر قائن مربوط است که نتیجهٔ آن ازبین‌رفتن سایر کاربری‌ها بوده است.

ماتریس تبدیل وضعیت

با استفاده از نقشه‌های پوشش زمین به‌دست‌آمده برای هر دورهٔ ماتریس، تبدیل وضعیت کلاس‌های پوشش زمین بین دو دورهٔ زمانی محاسبه شده است. از نقشه های پوشش سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹، ماتریس تبدیل وضعیت اول و از نقشه‌های پوشش سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹٦، ماتریس تبدیل وضعیت دوم به دست آمده است. این ماتریس‌ها حاوی اطلاعات و تبدیل هر کلاس به سایر کلاس‌هاست و درنهایت مساحت کاربری‌ها در بازهٔ زمانی ۱۳۹٦ تا ۱۳۷۹ در شهر قائن مشخص شد. ماتریس مساحت انتقال نشان‌دهندهٔ میزان مساحتی است که از هر کلاس به کلاس دیگر تغییر کاربری می‌دهد.

جدول- ۲: ماتریس مساحت انتقال وضعیت بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ (به مترمربع)

مراتع	اراضی بایر	باغ‌ها و کشاورزی	محدودهٔ ساخته‌شده	پوشش زمین
۳٦	۲۸۱۲	۸۲۰	۵۲۰۳	محدودهٔ ساخته‌شده
٤۹۰	۷۳۷۳	۱٤۱۷۷	٤۰۸	باغ‌ها و کشاورزی
۵۰۳۸	۹۰۰۷۵	۵۰۷۹	۱۰٦۷	اراضی بایر
۱۹۰٦۸	٤٤۹۰	۵۸٤	۸۰	مراتع

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

بین سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹ ماتریس انتقال وضعیت برحسب مترمربع نشان‌دهندهٔ این است که بیشترین تغییرات در تبدیل اراضی بایر به باغ‌ها و کشاورزی و همچنین باغ‌ها و کشاورزی به بایر رخ داده است. در محدودهٔ شهر قائن بیشتر زمین‌های کشاورزی به کشت زعفران اختصاص دارد؛ بنابراین انتقال وضعیت در این دوره بین اراضی بایر به کشاورزی و برعکس تغییر می‌کند و همچنین در همین بازهٔ زمانی مراتع به اراضی بایر تبدیل شده‌اند.

جدول- ۳: ماتریس احتمال انتقال وضعیت بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ (به مترمربع)

مراتع	اراضی بایر	باغ‌ها و کشاورزی	محدودهٔ ساخته‌شده	پوشش زمین
۰/۲	۰/۱۷۹	۰/۵۲	۰/۳۳۲	محدودهٔ ساخته‌شده
۰/۳۱	۰/٤۷۰	۰/۹۰٤	۰/۲٦	باغ‌ها و کشاورزی
۰/۳۲۱	۰/۵۷٤۵	۰/۳۲٤	۰/٦۸	اراضی بایر
۰/۱۲۱٦	۰/۲۸٦	۰/۳۷	۰/۵	مراتع

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

ماتریس احتمال انتقال، احتمال تغییر هر کلاس به کلاس دیگر را مشخص می‌کند. براساس جدول (۳) بیشترین احتمال انتقال کاربری‌ها در بازهٔ زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹ به تبدیل اراضی بایر به باغ‌ها و کشاورزی (و برعکس) و مرتع مربوط بوده است.

جدول- ٤: ماتریس مساحت انتقال وضعیت بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹٦ (به مترمربع)

مراتع	اراضی بایر	باغ‌ها و کشاورزی	محدودهٔ ساخته‌شده	پوشش زمین
۷۸	۲٤۵۵	۵۷۷	۷٤٦۹	محدودهٔ ساخته‌شده
۱٤٤٤	٤۲٤٦	۱۳۹۰۳	٤٦۲	باغ‌ها و کشاورزی
٦٤٦۳	۸۹۷۱۱	۷۲۹۹	۹۲۸	اراضی بایر
۱٦۲۳۷	٤۸٤۷	٦٦۹	۱۲	مراتع

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

با توجه به جدول (٤) محدودهٔ ساخته‌شدهٔ شهر قائن از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹٦ روندی افزایشی داشته و توسعهٔ شهری آن به‌صورت گسترده و افقی است؛ به‌طوری که محدودهٔ ساخته‌شده در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹٦ به ترتیب ٦۰۸/۲۲، ۷۹۸/۳۹ و ۹۵۲/۱۱ هکتار بوده که در حدود ۳٤٤ هکتار به مساحت ساخته‌شده اضافه شده و

بالعکس از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ به دلیل توسعهٔ شهر، از مساحت اراضی باغ‌ها و کشاورزی، اراضی بایر و مراتع کاسته شده است.

جدول- ۵: ماتریس احتمال انتقال وضعیت بین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۶ (به مترمربع)

پوشش زمین	محدودهٔ ساخته‌شده	باغ‌ها و کشاورزی	اراضی بایر	مراتع
محدودهٔ ساخته‌شده	۰/٤۷٦	۰/۳۷	۰/۱۵۷	۰/۵
باغ‌ها و کشاورزی	۰/۲۹	۰/۸۸۷	۰/۲۷۱	۰/۹۲
اراضی بایر	۰/۵۹	۰/٤٦۵	۰/۵۷۲۱	۰/٤۱۲
مراتع	۰/۱	۰/٤۳	۰/۳۰۹	۰/۱۰۳٦

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

با توجه به خروجی‌های جدول (۵) مشخص شد بیشترین احتمال انتقال کاربری‌ها به ترتیب در بازهٔ زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹٦ به احتمال تغییر باغ‌ها و کشاورزی به اراضی بایر (و برعکس) و تبدیل مرتع به بایر مربوط بوده است. با توجه به جدول (۵)، محدودهٔ ساخته‌شدهٔ شهر قائن از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹٦ روندی افزایشی داشته است. توسعهٔ شهری قائن به‌صورت گسترده و افقی است؛ به‌طوری که محدودهٔ ساخته‌شدهٔ شهر قائن در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹٦ به ترتیب ٦۰۸/۲۲، ۷۹۸/۳۹ و ۹۵۲/۱۱ هکتار بوده که حدود ۳٤٤ هکتار به مساحت ساخته‌شدهٔ قائن اضافه شده است؛ بالعکس از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹٦ از مساحت اراضی باغ‌ها و کشاورزی، اراضی بایر و مراتع کاسته شده که به دلیل توسعهٔ شهری قائن بوده است.

جدول- ٦: مساحت زمین در سال ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹٦ (به مترمربع)

ردیف	پوشش زمین	۱۳۷۹	۱۳۸۹	۱۳۹٦
۱	محدودهٔ ساخته‌شده	٦۰۸۲۲۰۰	۷۹۸۳۹۰۰	۹۵۲۱۱۰۰
۲	باغ‌ها و کشاورزی	۱۸۵۹٤۰۰۰	۲۰۲۰۳۲۰۰	۱۸۰٤۹۵۰۰
۳	اراضی بایر	۹٤۲۷۵۰۰۰	۹۱۱۳۳۱۰۰	۹۳۹٦۰۹۰۰
٤	مراتع	۲۲۱٦۸۸۰۰	۲۱۷۹۹۸۰۰	۱۹۵۸۸۵۰۰

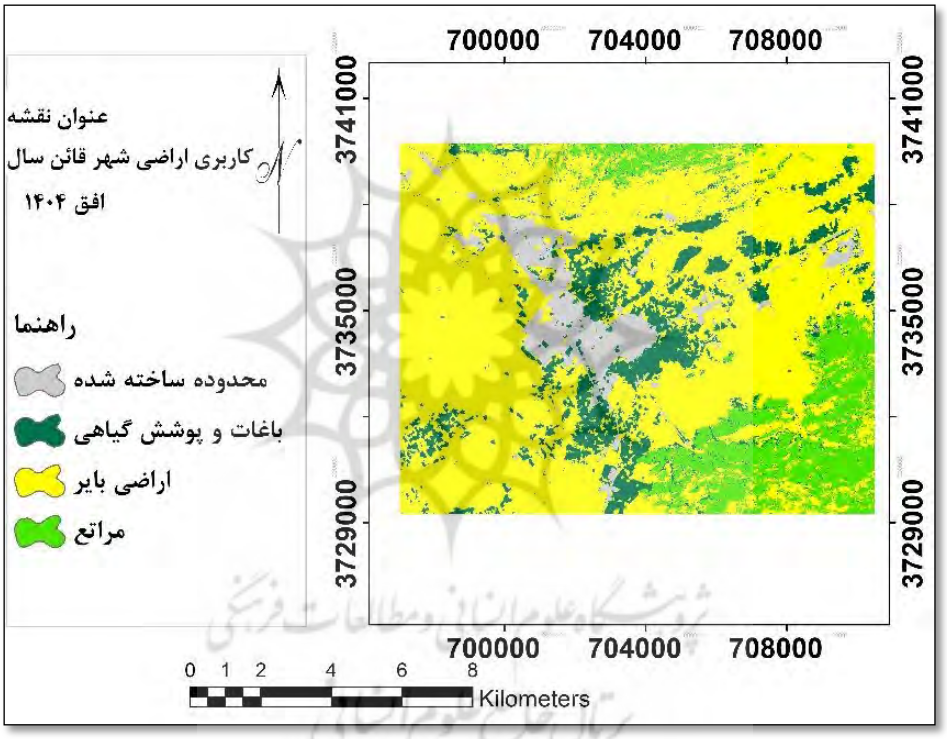
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

جدول ٦ مساحت هر کاربری را در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹٦ نشان می‌دهد. براساس این جدول مساحت محدودهٔ شهری از سال ۱۳۷۹ نسبت به سال ۱۳۹٦ کاهش پیدا کرده است. کاربری‌های باغ‌ها و کشاورزی و اراضی بایر نیز به‌صورت مخالف کم و زیاد شده‌اند. در بازهٔ زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۹، باغ‌ها و کشاورزی زیاد و اراضی بایر کم شده است؛ در صورتی که در دورهٔ ۱۰سالهٔ بعدی مساحت باغ‌ها و کشاورزی کم و اراضی بایر زیاد شده است. علت این تغییرات، نوع کشاورزی منطقهٔ قائن است. عمدهٔ فعالیت کشاورزی شهرستان قائن به‌صورت کشت زعفران است. این محصول در حد ۷ تا ۱۰ سال در یک زمین پایداری دارد؛ اما پس از این مدت باید پیاز زعفران را از زمین خارج کرد و به زمین استراحت داد تا برای کشت بعدی آماده شود؛ به همین دلیل زمین‌ها به‌صورت تناوبی بین کشاورزی

و بایر جابه‌جا می‌شوند. اراضی مسکونی در سال ۱۳۹٦ به بیشترین حد خود می‌رسند، اما کاهش باغ‌ها و زمین‌های بایر و مراتع نامحسوس است.

پیش‌بینی کلاس‌های کاربری در سال ۱٤۰٤

برای پیش‌بینی تغییرات صورت‌گرفته در کلاس‌های یادشده از مدل زنجیرهٔ مارکوف استفاده شده است. در این مدل، کلاس‌های طبقه‌بندی به‌مثابهٔ وضعیت‌های زنجیره به کار گرفته شده است. همچنین ماتریس مساحت انتقال نشان‌دهندهٔ مقدار مساحتی از کاربری است که به کاربری دیگر در بازهٔ زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹٦ تبدیل شده است. براساس خروجی جدول‌ها و استفاده از مدل زنجیرهٔ مارکوف، مساحت ٤ کلاس کاربری‌های یادشده در افق ۱٤۰٤ مشخص شده است.



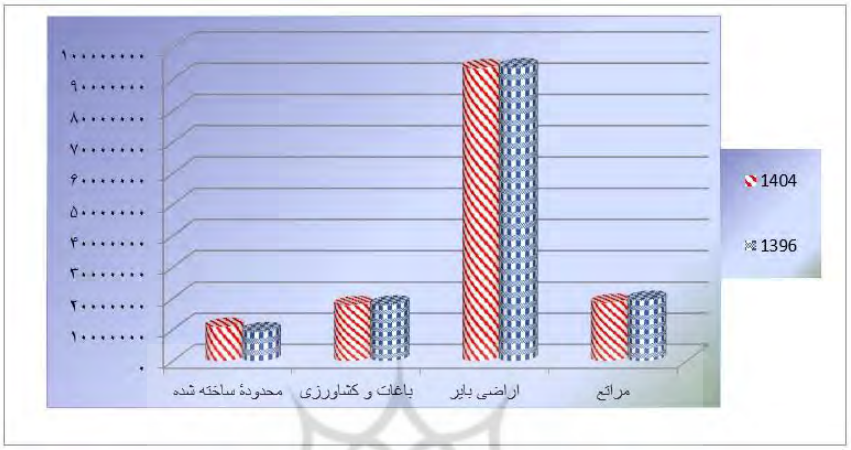
شکل- ۵: نقشهٔ پیش‌بینی پوشش زمین در شهر قائن برای افق ۱٤۰٤

جدول- ۷: وسعت پوشش زمین در افق ۱۳۹٦- ۱٤۰٤ (به مترمربع)

ردیف	پوشش زمین	۱۳۹٦	۱٤۰٤	افزایش تغییرات در افق ۱٤۰٤ (به درصد)
۱	محدودهٔ ساخته‌شده	۹۵۲۱۱۰۰	۱۰۹۳٤۱۰۰	۱۱٤/۸٤
۲	باغ‌ها و کشاورزی	۱۸۰٤۹۵۰۰	۱۷۸۸۷۵۰۰	۹۹/۱
۳	اراضی بایر	۹۳۹٦۰۹۰۰	۹۳٦۹۰۹۰۰	۹۹/۷۱
٤	مراتع	۱۹۵۸۸۵۰۰	۱۸٦۰۷۵۰۰	۹٤/۹۹

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۷

این داده‌ها وسعت کلاس‌های محدودهٔ ساخته‌شده، باغ‌ها و کشاورزی، اراضی بایر و مراتع را در سال ۱٤۰٤ برای محدودهٔ شهر قائن مشخص می‌کند. جدول (۷) وسعت کاربری‌ها را در سال ۱۳۹٦ و پیش‌بینی تغییرات آنها را در سال ۱٤۰٤ نشان می‌دهد. براساس این جدول بیشترین تغییرات در محدودهٔ ساخته‌شده با ۱۱٤/۸٤ درصد رشد روی داده است و پس از آن کاربری‌های باغ‌ها و کشاورزی، مراتع و اراضی بایر به ترتیب ۹۹/۱، ۹٤/۹۹ و ۹۹/۷۱ درصد کاهش یافته‌اند. از این بین تغییرات باغ‌ها و کشاورزی و اراضی بایر محسوس نیست.



شکل- ٦: نمایش وسعت کاربری‌ها و تغییرات آنها طی سال‌های ۱۳۹٦- ۱٤۰٤

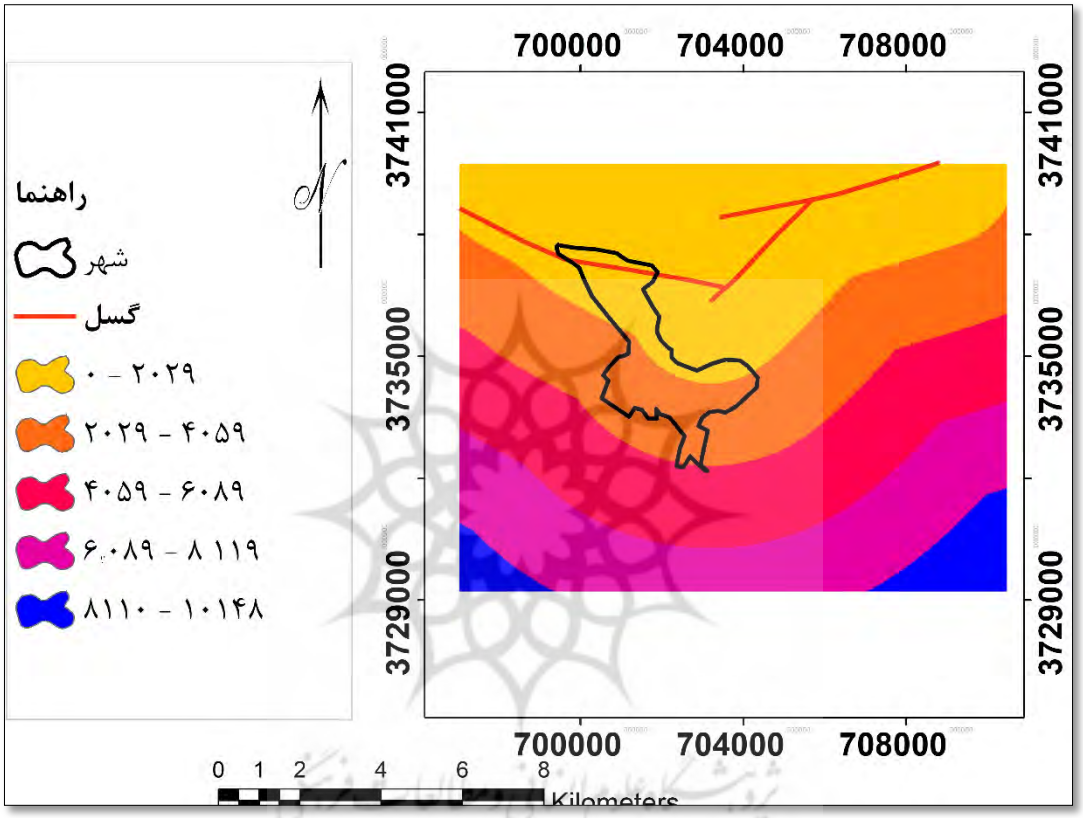
توسعهٔ شهر در ارتباط با گسل

با توجه به اینکه مسیر گسل‌های بالقوه جزو نقاط ناپایدار زمین است و همچنین به دلیل ایجاد گسیختگی در دامنه‌ها و شکستگی در لایه‌ها و خردشدگی توده‌های سنگی، احتمالاً عامل فاصله از گسل، یکی از مهم‌ترین عوامل در ایجاد زمین‌لرزه‌ها و اشکال ژئومورفولوژیکی و محدودیت در توسعهٔ شهر است. گسل ازجمله عوامل مؤثر در ایجاد مخاطره به‌ویژه در مناطق شهری به شمار می‌رود. با توجه به ساخت‌وساز در حریم گسل، رعایت‌نکردن این امر ضررهای جبران‌ناپذیری به بار می‌آورد.

منطقهٔ شرق کشور و خراسان جنوبی در بیشتر تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی در حدفاصل زون ساختاری سیستان و لوت مرکزی و در محلی قرار گرفته است که این واحد در بخش شمالی با تغییر جهت به سمت باختر به‌صورت تداخلی وارد بلوک لوت می‌شود (خطیب، ۱۳۷۷: ٦۰). محدودهٔ قائن با سرشاخه‌های پایانی گسل نهبندان با یک راستای کلی شمال غربی احاطه شده است. بدین ترتیب این پهنه به‌ویژه مناطق جمعیتی آن مانند شهر قائن به طرز چشمگیری متأثر از عملکرد گسل‌های یادشده است که ازنظر لرزه‌خیزی فعالیت زیادی را نشان می‌دهند.

در این منطقه به دلیل وجود گسل‌های فعال لرزه‌زا از قبیل گسل دشت بیاض و کولی در شمال، مهم‌ترین زمین‌لرزه‌های یک قرن اخیر ایجاد شده است؛ بنابراین مؤلفه‌های بررسی لرزه‌ای و ژئوتکنیکی شرایط بسیار حیاتی و در خور تأملی دارد. بر این اساس به نظر می‌رسد انجام مطالعات بررسی خطر زمین‌لرزه و ریزپهنه‌بندی در این منطقه، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر باشد.

در محدودهٔ شهر قائن از سال ۲۰۰۰ به سمت ۲۰۱۷، تغییراتی در شکل شهر صورت گرفته است که وضعیت فعلی شهر را نشان می‌دهد. این گسل که زمانی با محدودهٔ شهری قائن فاصله داشت، هم‌اکنون براثر گسترش ساخت‌وساز و شهرک‌سازی روی حریم آن، از میان شهرک‌های جدید ساخته‌شده و در حال احداث در شمال قائن عبور می‌کند. ساخت‌وسازها به‌ویژه پروژهٔ مسکن مهر در مسیر گسل است و در فاصلهٔ کمتر از ۲۰۰۰ متری از حریم گسل قرار دارد که با تهیهٔ نقشهٔ پیش‌بینی، این توسعه به سمت گسل بسیار بیشتر شده است. روند توسعهٔ شهر به سمت شمال بسیار حائز اهمیت است.



شکل- ۷: نقشهٔ فاصله از گسل در ارتباط با توسعهٔ شهر در سال‌های ۱۳۹۶

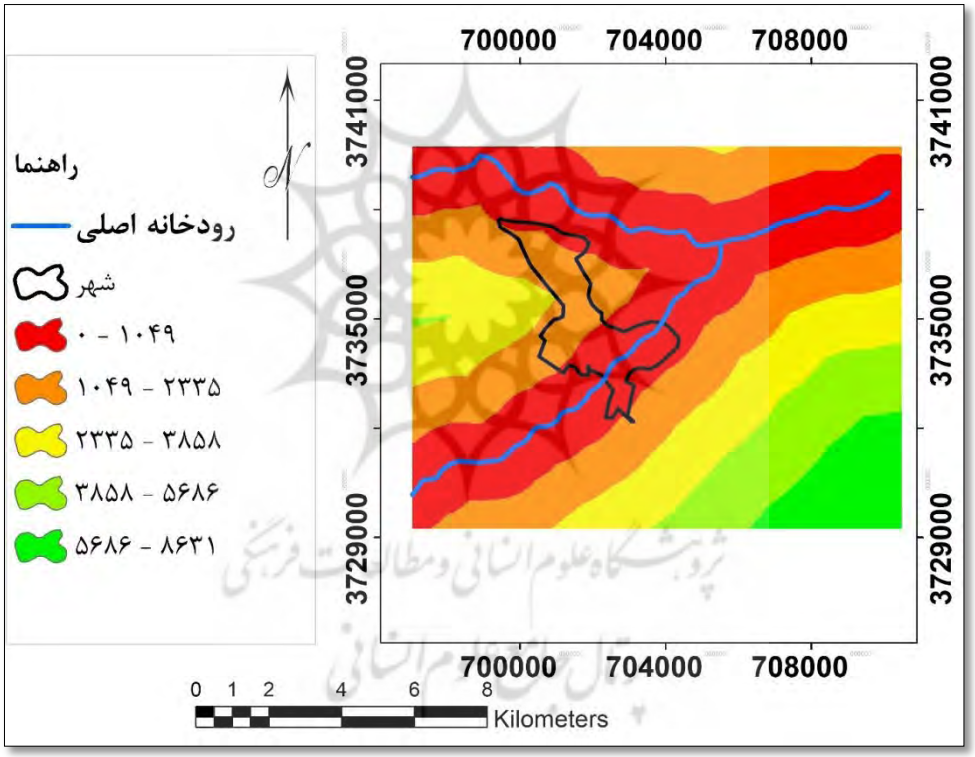
(منبع: زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ایران)

توسعهٔ شهر و فاصله از آبراهه

رودخانه‌ها ضمن اینکه چشم‌انداز بسیار زیبایی برای شهرها ایجاد می‌کنند، اگر حریم آنها رعایت نشود، هنگام طغیان برای ساکنان شهر خطرآفرین خواهند بود. اگر ساخت‌وساز اماکن و استقرار تأسیسات در کنار رودها با حفظ حریم و آگاهی از دوره‌های طغیان و میزان آن نباشد، تمام این سازه‌ها همواره در معرض تهدید خواهند بود (نگارش، ۱۳۸۳: ۱۳۷).

رودخانهٔ اصلی شهر دو سرشاخه دارد؛ سرشاخهٔ پایین‌دست که درواقع از مرکز شهر عبور می‌کند و در سال‌های اخیر به علت خشکسالی‌های پیاپی این بستر از رودخانه جدول‌بندی شده است. گاهی اوقات بارش‌های سیلابی در

منطقه روی می‌دهد و به علت اینکه بستر رودخانه به بستری سیمانی تبدیل شده است، سبب بروز خسارت بسیاری در بخش‌های مختلف شهر می‌شود؛ سرشاخهٔ دیگر در سمت شمال منطقه قرار دارد و در سال‌های اخیر هم شهر به همین سمت توسعه می‌یابد که با ساخت‌وسازها در این مسیر در مواقع سیلابی، مسیر رودخانه با مشکل مواجه و حرکت آب با سرعت هرچه بیشتر سبب تخریب ساختمان‌ها و خسارات جبران‌ناپذیر حاصل از بارندگی می‌شود. از سوی دیگر علاوه بر خطرات سیل، مشکل دیگری که درنتیجهٔ این ساخت‌وسازها به‌تدریج به بحران تبدیل می‌شود، ورود فاضلاب واحدهای مسکونی و تجاری ساخته‌شده در حریم رودخانه‌ها به داخل رودخانه است که مستقیماً بر سلامت محیط‌زیست و انسان‌ها تأثیر می‌گذارد. ساماندهی ساخت‌وسازهای جدید در حریم و بستر رودخانه‌ها و جلوگیری از آنها، برخورد قضایی با متخلفان، لای‌روبی بستر رودخانه‌ها و هدایت هوشمندانهٔ سیلاب به محل‌های کم‌خطر مانند مخازن سد، دریاچه‌های طبیعی و اراضی کم‌خطر و پایدارسازی شیب‌ها، ازجمله راهکارهایی است که به پیشگیری از وقوع خسارات ناشی از سیل می‌انجامد.

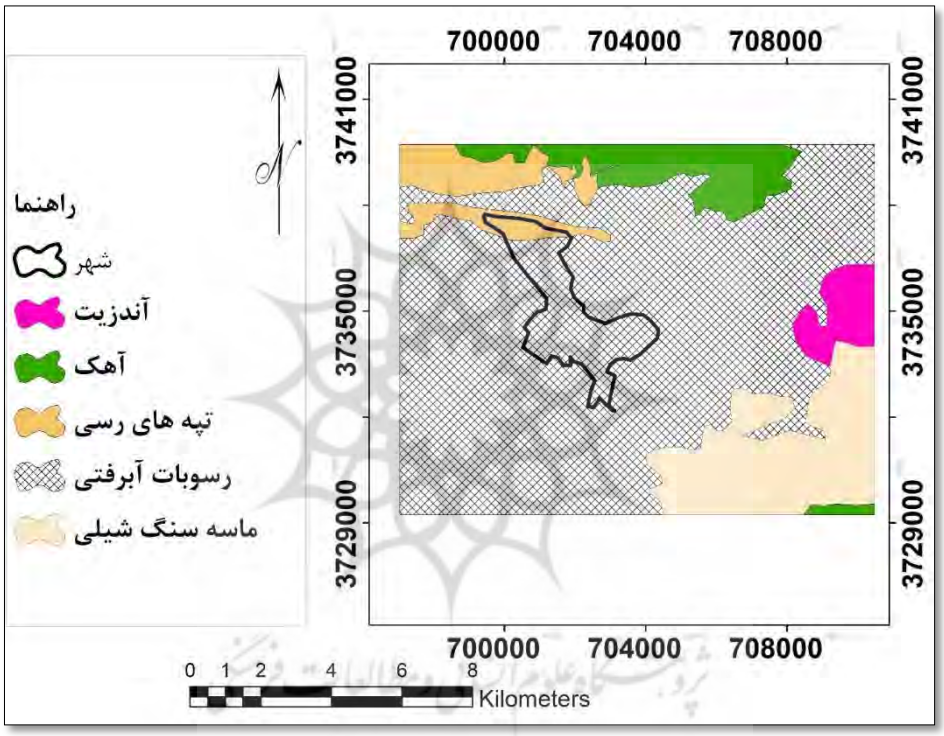


شکل- ۸: نقشهٔ فاصله از آبراهه در ارتباط با توسعهٔ شهر در سال‌های ۱۳۹۶

ارتباط توسعهٔ شهر و لیتولوژی

بسیاری از پدیده‌هایی که مورفولوژی کنونی منطقه را به وجود می‌آورند، لیتولوژی خاصی دارند؛ بنابراین برای تحلیل مطلوب تحول ژئومورفولوژیکی، بررسی دقیق همهٔ مشخصات لیتولوژیکی منطقه ضروری است (علایی طالقانی، ۱۳۸۶: ۷۲-۸۲). لیتولوژی محدودهٔ پژوهش برای آگاهی و شناخت مخاطرات ژئومورفولوژیکی با عواملی ازجمله جنس و مقاومت سازندها دربرابر تغییرات ژئومورفولوژیکی و نقش آنها در جلوگیری از مخاطرات مطالعه

می‌شود. درمجموع با استناد به شکل (۹) در منطقهٔ پژوهش، سنگ‌ها ازلحاظ لیتولوژیکی به سه گروه تقسیم می‌شوند (احمدی، ۱۳۸۸: ۲۲۰)؛ سازندهای مقاوم (آندزیت، آهک، ماسه‌سنگ)، سازندهای نامقاوم (رس و مارن) و سازندهای نیمه‌مقاوم (مخروطه‌افکنه، رسوبات آبرفتی، پادگانه‌ها). بررسی ساختار لیتولوژی در محدودهٔ شهر قائن نشان می‌دهد در بخش‌های جنوبی سازندهای آهکی ماسه‌سنگی و آندزیتی و در سمت شمال و شمال غرب شهر سازندها و تپه‌های رسی وجود دارد؛ به گونه‌ای که براساس تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مختلف درمی‌یابیم شهر به‌مرور زمان به سمتی توسعه می‌یابد که برنامه‌ریزی‌های ژئومورفولوژیکی روی آن اعمال نشده است. یکی از این عوامل، تپه‌های رسی است. نزدیک‌شدن به این تپه‌ها سبب تخریب ساختمان‌ها، گسترش گرد و غبار و بروز حوادث پیش‌بینی‌ناپذیر می‌شود.



شکل- ۹: نقشهٔ لیتولوژی در ارتباط با توسعهٔ شهر در سال ۱۳۹۶

نتیجه‌گیری

زندگی شهری به‌سرعت در سطح جهان گسترش می‌یابد و این سرعت در کشورهای در حال توسعه بسیار سریع‌تر از کشورهای توسعه‌یافته است. روند شهرنشینی در ایران بسیار سریع و شتابان است که این مسئله باعث بروز مشکلات و معضلاتی شده است. توسعهٔ افقی شهرها موجب انهدام اراضی اطراف شهرها و صرف هزینه‌های بسیار برای احداث شهرک‌ها و محلات می‌شود. در این زمینه توجه به ظرفیت‌های توسعهٔ محله‌ای موجب پویایی و سرزندگی محلات قدیمی می‌شود و استفاده از الگوهای توسعهٔ پایدار شهری از تخریب اراضی مساعد کشاورزی و تحمیل هزینه‌های گزاف جلوگیری می‌کند. شکل توسعهٔ پراکندهٔ شهر درمجموع نوعی رشد لجام‌گسیخته در حواشی

آن و افزایش بی‌رویهٔ زمین‌شهری به شمار می‌رود که به کاهش تراکم جمعیت، افزایش سهم فضای باز بدون استفاده و درنتیجه گسستگی بخش‌های مختلف یک شهر، جدایی‌گزینی فضایی - اکولوژیکی، افزایش همزمان قیمت زمین و هزینهٔ تأمین تأسیسات و تجهیزات و بسیاری مسائل و مشکلات دیگر می‌انجامد.

در این پژوهش برای بررسی تغییرات پوشش زمین در کاربری باغ‌ها، زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های ساخته‌شده، زمین‌های بایر و مراتع با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده (الگوریتم حداکثر مشابهت) و مدل زنجیرهٔ مارکوف استفاده و تأثیر ارتباط آنها با مخاطرات ژئومورفولوژیکی (گسل، آبراهه و لیتولوژی) بررسی شد.

طی سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶، مساحت کاربری محدوده‌های ساخته‌شده در شهر قائن افزایش داشته و این افزایش سبب نزدیک‌شدن شهر به سازندهای رسی، گسل‌ها و آبراههٔ اصلی شده است؛ به‌طوری که مساحت اراضی ساخته‌شده (۱۱٤.۸٤ درصد)، باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی (۹۹.۱ درصد)، اراضی بایر (۹۹.۷۱ درصد) و مراتع (۹۹.۹٤ درصد) تغییر خواهد کرد.

با توجه به اینکه توسعهٔ شهر قائن به‌صورت غیرمتمرکز بوده و باعث پراکندگی رشد شهری شده است و از سویی با نزدیک‌شدن به خطوط گسل و امکان بروز خطر سیل با نزدیک‌شدن به آبراهه و تپه‌های رسی که در شمال غرب منطقه واقع شده، بر این اساس مشخص شد در سه بازهٔ زمانی ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶، مساحت کاربری محدودهٔ ساخته‌شده افزایش یافته و مساحت اراضی بایر و باغ‌ها و کشاورزی به‌صورت دوره‌ای کم و زیاد شده است. در این تناوب زمین‌هایی که کاربری کشاورزی داشته‌اند، به بایر و اراضی بایر به کشاورزی تبدیل شده‌اند. پس در کل، مساحت زمین‌های کشاورزی تغییر زیادی نکرده است. بیشترین احتمال انتقال در تمام بازه‌های زمانی، تبدیل کاربری‌های اراضی بایر و کشاورزی به یکدیگر بوده و بقیهٔ احتمالات (مرتع یا اراضی بایر به مسکونی) در درجهٔ دوم قرار می‌گیرد.

در سال ۱۳۹٦ کاربری مسکونی به بیشترین مساحت خود (۹۵۲۱۱۰۰ مترمربع) رسیده است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۱٤۰٤ به ۱۰۹۳٤۱۰۰ مترمربع برسد. گسترش افقی و توسعهٔ فیزیکی ناموزون شهر قائن سبب نزدیک‌شدن به گسل اصلی در سطح محدودهٔ سرشاخهٔ اصلی آبراهه در شمال حوضه و نزدیک‌شدن به تپه‌های رسی سبب توسعهٔ فرسایش و تخریب ساختمان‌ها با زیربنای سست می‌شود که این مخاطرات خسارات جبران‌ناپذیری را به وجود می‌آورد.

منابع

۱- احمدی، حسن، (۱۳۸۸)، **ژئومورفولوژی کاربردی**، نشر دانشگاه تهران، جلد ۱، چاپ دوم، تهران، ٦۰۰-۱.

۲- احمدی، شیرکوه، (۱۳۹٦)، **تحلیل محدودیت‌های توسعهٔ فیزیکی شهرها؛ مطالعهٔ موردی: شهر سردشت**، فصلنامهٔ علمی‌پژوهشی مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاههای انسانی، دورهٔ ۱۲، شمارهٔ ٤۱، رشت، ۹۷۲-۹۵۳.

۳- حاتمی‌نژاد، حسین، لرستانی، اکبر، احمدی، سجاد، محمدی، مریم، (۱۳۹٦)، **تحلیل الگوی گسترش فیزیکی شهر خرم‌آباد با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن و تعیین جهات بهینهٔ گسترش آن با استفاده از مدل AHP**، فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دورهٔ ٤۹، شمارهٔ ۳، تهران، ۵۱۹-۵۳۷.

٤- خطیب، محمدمهدی، (۱۳۷۷)، **هندسهٔ پایانهٔ گسل‌های امتداد لغز**، رسالهٔ دکتری، استاد راهنما: شهریاری، سهراب، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکدهٔ علوم زمین.

۵- ربیعی، حمیدرضا، ضیاییان فیروزآبادی، پرویز، علی‌محمدی، عباس، (۱۳۸٤)، **کشف و بازیابی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان به کمک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی**، فصلنامهٔ برنامه‌ریزی و آمایش فضا، گلستان، دورهٔ ۹، شمارهٔ ٤، ۷۵-۲۲.

٦- روستایی، شهریور، احدنژاد روشتی، محسن، فرخی صومعه، مینا، (۱۳۹۳)، **بررسی سنجش فضایی گستردگی شهری با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه؛ مطالعهٔ موردی: ارومیه**، نشریهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی، دورهٔ ۱۸، شمارهٔ ۵۰، تبریز، ۱۸۹-۲۰٦.

۷- ستایشی نسار، حسین، روستایی، شهرام، عمرانی دورباش، مجتبی، زارع‌پیشه، نرگس، (۱۳۹۳)، **بررسی تنگناهای ژئومورفولوژیکی و تأثیر آن بر توسعهٔ فیزیکی شهر با استفاده از GIS و روش AHP؛ مطالعهٔ موردی: شهر گیوی**، فصلنامهٔ پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، تهران، سال ۲، شمارهٔ ٤، ۱٦-۱.

۸- سیف‌الدینی، فرانک، (۱۳۸۱)، **فرهنگ واژگان برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای**، انتشارات دانشگاه شیراز، چاپ اول، شیراز، ۵۰۷ ص.

۹- شریفی‌کیا، محمد، معتمدی‌نیا، منیره، شایان، سیاوش، (۱۳۸۹)، **بررسی تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی ناشی از توسعهٔ فیزیکی شهر ماهنشان**، نشریهٔ پژوهش‌های کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۳، دورهٔ ٤، شمارهٔ ۱٦، تهران، ۱۲٦-۱۰۵.

۱۰- عابدینی، موسی، مقیمی، ابراهیم، (۱۳۹۱)، **نقش تنگناهای ژئومورفولوژیکی در توسعهٔ فیزیکی کلان‌شهر تبریز برای استفادهٔ بهینه**، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دورهٔ ۲۳، شمارهٔ ۱، اصفهان، ۱٤۷-۱٦٦.

۱۱- علایی طالقانی، محمود، (۱۳۸٦)، **ژئومورفولوژی ایران**، انتشارات سمت، چاپ اول، تهران، ۳٦۰ ص.

۱۲- فرید، یدالله، (۱۳۷۵)، **نگرش‌های نوین در بستر جغرافیای شهری**، مجلهٔ تحقیقات جغرافیایی، شمارهٔ ۳۳، تهران، ۱٤-۵.

۱۳- محمداسماعیل، زهرا، (۱۳۸۹)، **بررسی پایش تغییرات کاربری اراضی کرج با استفاده از تکنیک سنجش از دور**، مجلهٔ پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد ۲٤، دورهٔ ۲٤، شمارهٔ ۱، تهران، ۸۸-۸۱.

۱٤- مختاری، داوود، (۱۳۷۹)، **آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های واقع در مسیر خطوط گسل و عمران روستایی**، مجلهٔ مسکن و انقلاب، شمارهٔ ۹۱-۹۲، تهران، ۷۰-۷٤.

۱۵- معتمدی‌نیا، منیره، (۱۳۸۹)، **بررسی مخاطرات ژئومورفولوژیکی ناشی از توسعهٔ فیزیکی شهری؛ مطالعهٔ موردی: شهر ماه‌نشان**، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، استاد راهنما: شریفی‌کیا، محمد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکدهٔ جغرافیا.

۱٦- نگارش، حسین، (۱۳۸۳)، **کاربرد ژئومورفولوژی در مکان‌گزینی شهرها و پیامدهای آن**، جغرافیا و توسعه، دورهٔ ۱، شمارهٔ ۱، سیستان و بلوچستان، ۱۳٤-۱۵۰.

۱۷- نیکخو، نوا، ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید، (۱۳۹٤)، **تحولات کاربری اراضی شهر ملایر با بهره‌گیری از سنجش از دور**، آمایش محیط، دورهٔ ۸، شمارهٔ ۳۰، ملایر، ٦۳-۸٦.

18- Alansi, A.W., Amin, M.S.M., (2009). "**The Effect of Development and Land Use Change on Rainfall-Runoff and Runoff-Sediment125 Relationships under Humid Tropical Condition: Case Study of Bernam Watershed Malaysia**", European Journal of Scientific Research, Vol 31, No 1, Pp 88-105.

19- Bullard, R.D., Johnson, G.S., Torres, A.O., (2000). "**Sprawl City: Race, Politics, and Planning in Atlanta**", Island Press, Washington, DC.

20- Chengtai, D., (1999). **Urban geomorphology in Chinese**, 391 p.

21- Downs, A., (1999). **Some Realities about Sprawl and Urban Decline**, Housing Policy Debate, Vol 10, Pp 955-974.

22- Ewing, R., (1997). **"Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable"**, Journal of the American Planning, Association, Vol 1, No 63, American, Pp 107-126.

23- Fan, Fenglei, Wang, Yunpeng, Wang, Zhishi, (2008). **Temporal and spatial change, detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl**, Pp 127-147.

24- Galaster, G., Hanson, R., Wolman, H., Coleman, S., and Freihage, J., (2001). **"Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Meaturing an Elusive Concept"**, Housing Policy Debate, Vol 12, Issue 4, Pp 681-717.

25- Giri, C., Zhu, Z., Reed, B., (2005), **A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets**, Remote Sensing of Environment, Vol 94, Pp 123-132.

26- Hrrold, M., Goldstein, N.C., Clarke, K.C., (2003). **The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling**, Remote Sensing of Environment, Vol 86, Pp 286-306.

27- Irasma Alca´ntara-Ayala, (2002). "**Geomorphology Natural Hazards Vulerability and prevention of Natural disasters in developingcountries**", Geomorpholog, Vol 47, Pp 107-12.

28- Malpezzi, S., Gue, W.K., (2001). "**Measuring Sptawl: Alternative Measures of Urban Form**".