

## تحلیل الگوی رشد کالبدی- فضایی شهرها از طریق آمار فضایی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر گرگان)

مهدی خداداد بناب\*

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۴/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۹/۱۷

### چکیده

برنامه‌ریزی شهری از گذشته تا به امروز بیشتر بر اساس توجه به عوامل کالبدی پیش رفته است تا جایی که اساس برنامه‌ها و طرح‌های شهرسازی و برنامه‌های شهری را عمران شهر و فضاهای کالبدی، تحت تأثیر خود قرار داده است. شهر محصول روابط و مناسبات پیچیده اقتصادی و اجتماعی است و ناهمگونی‌های فضایی آن بازتاب فرایندهای در هم بافته فرهنگی- اجتماعی و سیاسی- اقتصادی در طی تاریخ در بستر طبیعت بوده است. شناخت الگوی رشد فضایی شهرهای اصلی مناطق و کشورها، برای تدوین سیاست‌های مناسب و دستیابی به توسعه پایدار امری اساسی است. دستیابی به این مهم نیز نیازمند استفاده از روش‌ها و ابزارهای مناسب و پیشرفته می‌باشد. این مقاله باهدف مطالعه رشد و توسعه فضایی شهر گرگان با استفاده از مدل‌های تحلیل فضایی و تکنیک‌های مربوط به خودهمبستگی فضایی با استفاده از GIS نگارش یافته است. بر این اساس به‌منظور تحلیل توسعه فضایی شهر گرگان فرضیه پژوهشی مطرح شد و به روش توصیفی-تحلیلی ارزیابی شد. بر این اساس از روش‌های مختلف آمار فضایی و تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی از جمله تحلیل خوشه‌بندی، ضرایب موران و G عمومی، تحلیل لکه‌های داغ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که شهر گرگان، الگوی رشد تصادفی متمایل به خوشه‌ای را با شکل‌گیری دو لکه داغ در بخش جنوب و شرق شهر و یک لکه سرد در بخش شمال تجربه نموده است.

### واژگان کلیدی

الگوی رشد فضایی، آمار فضایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شهر گرگان

\* کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه گلستان، گرگان Khodadadmehdi91@yahoo.com

## مقدمه

توسعه شهری در سیر رو به تکامل خود از زمان شروع تا به امروز دارای روند نسبتاً متعادلی بود (حسینی و سلیمانی مقدم، ۱۳۸۵: ۲۸-۲۹)؛ اما تحولات فرهنگی-اجتماعی و اقتصادی قرن ۱۹ و ۲۰ متأثر از مدرنیسم، گسترش سریع شهرها و پیدایش کلان-شهرها را موجب شده و تغییرات بنیادی را در ساختار و سازمان فضایی-کالبدی آن‌ها به وجود آورده است (زیاری، ۱۳۸۲: ۱۵۱)؛ در واقع یکی از موضوعات حیاتی قرن بیست و یکم در ارتباط با پایداری شهر، شکل شهر یا چگونگی رشد و توسعه شهر در فضا می‌باشد (لطفی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۹۲). در ایران نیز تا زمانی که الگوی رشد شهرها ارگانیک بوده و عوامل درون‌زا و محلی تعیین‌کننده رشد شهری بوده‌اند، زمین شهری نیز کفایت کاربری‌های سنتی را می‌داده است (حسینی و قدمی، ۱۳۹۲: ۲). در اثر رشد فزاینده شهرها، گسترش فیزیکی شهر به مناطق پیرامون و همچنین افزایش تراکم و انباشتگی در درون شهرها اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (پناهی و زیاری، ۱۳۸۸: ۲-۱). این رشد شهری مشکلات جدی و بی‌شماری در پی خواهد داشت (شوگیل، ۱۳۸۲: ۴۳).

الگوها و عواقب ناشی از توسعه شهری در حال طراحی و به دلیل اثرات عمیق خود در سطح جهان موردتوجه بوده و جهت نشان دادن زندگی انسان و محیط‌زیست می‌باشند (Zhao, 2015: 1). یکی از مهم‌ترین دلایل رشد سریع این‌گونه شهرها، تمرکز خدمات، صنایع و تسهیلات در آن‌ها بوده که منجر به مهاجرپذیری شدید گردیده، افزایش جمعیت به‌نوبه‌ی خود باعث توسعه فیزیکی و کالبدی بدون برنامه و لجام‌گسیخته، افزایش حاشیه‌نشینی و ایجاد شهرک‌ها در پیرامون شهرها می‌شود (Bazzi et al., 2015: 2). آمار فضایی به ما کمک می‌کند تا رفتار پدیده‌های جغرافیایی را بهتر درک نماییم. الگوها و روندهای موجود در پدیده‌ها را شناسایی و دلایل آن‌ها را کشف کنیم (قدیری و دستا، ۱۳۹۲: ۲)؛ بنابراین، شناخت الگوی رشد فضایی شهرهای اصلی مناطق و کشورها برای تدوین سیاست‌های مناسب و دستیابی به توسعه پایدار امری اساسی است. در این ارتباط، تحلیل‌های آمار فضایی در GIS از جمله روش‌های توسعه‌یافته در دهه‌های اخیر هستند که با توجه به دخیل کردن عامل فضا در محاسبات آماری، توانایی بالایی در ارائه الگوهای فضایی رشد و توسعه دارند؛ در واقع در مهر و موم‌های اخیر، به همراه پیشرفت‌های فن‌آوری در زمینه جمع‌آوری و پردازش داده‌های جغرافیایی و درک خال‌های موجود در زمینه داده‌های فضایی و جغرافیایی، توجه پژوهشگران بیشتری به آمار فضایی جلب شده است و پیشرفت‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است. برای مدت‌ها عدم امکان تحلیل‌های آمار فضایی در نرم‌افزارهای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نوعی خلأ محسوب می‌گردید و باعث پیدایش نرم‌افزارهایی مانند GeoDat و Space Stat شده بود که محدودیت‌های خاص خود را داشت؛ اما در سال‌های اخیر افزوده شدن مجموعه ابزارهای تحلیلی آمار فضایی به ArcGis توانمندی‌های بسیار خوبی را در این زمینه ایجاد کرده است که می‌توان در تحلیل الگوهای توزیع پدیده‌های جغرافیایی به‌خوبی از آن‌ها استفاده نمود (عسگری، ۱۳۹۰: ۱۵-۱۳). شهر گرگان به‌عنوان مرکز استان گلستان مراحل رشد و توسعه خود را بسیار سریع‌تر از آهنگ طبیعی طی نموده است؛ بطوریکه طبق آخرین سرشماری ۱۳۹۰ جمعیت این شهر در حدود ۴۶۲۴۵۵ نفر بوده است (مرکز آمار ایران) (www.sci.org.ir). بر این اساس، سؤال اصلی این است که الگوی رشد کالبدی-فضایی شهر گرگان چگونه بوده است؟

## هدف پژوهش

یکی از مشکلات شهر و شهرنشینی گسترش فیزیکی نامتناسب شهرها می‌باشد. این فرآیند عمدتاً پویا و مداوم است که طی آن محدوده‌های فیزیکی شهر و فضاها کالبدی آن در جهات عمودی و افقی از حیث کمی و کیفی افزایش می‌یابد و در صورتی که این روند سریع و بی‌برنامه باشد، باعث بروز مشکلات فراوانی در شهرها می‌شود (طاهری، ۱۳۸۱: ۴). در همین راستا هدف پژوهش بررسی الگوی رشد کالبدی-فضایی شهر گرگان می‌باشد.

## روش تحقیق

روش تحقیق در این مقاله توصیفی-تحلیلی است و داده‌های آن شامل نقشه شهر گرگان به تفکیک مناطق و نواحی شهرداری همراه با پایگاه اطلاعاتی داده‌های جمعیتی بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۰ است. از طرفی جهت آزمون فرضیه تحقیق در چارچوب روش تحقیق، داده‌های موردنیاز از طریق روش کتابخانه‌ای گردآوری شد. مطابق مبانی نظری و پیشینه تحقیق، متغیرهای تراکم، مساحت و نیز تجمع و پراکندگی جمعیت و اشتغال به‌عنوان متغیرهای اساسی سنجش الگوی رشد کالبدی فضایی انتخاب شد؛ لذا در چارچوب روش تحلیل کمی، جهت آزمون فرضیه از روش‌های مختلف آمار فضایی استفاده شد.

## پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر و به‌خصوص در طی دهه اخیر کارهای زیادی در خصوص مکان‌یابی با روش‌های کمی در ایران و جهان انجام گرفته است که در زیر به ذکر تعدادی از آن‌ها پرداخته می‌شود:

ابراهیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۸)، در مقاله‌ای به مکان‌یابی بهینه جهات گسترش شهری در شهر مرودشت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پرداخته‌اند. در این مقاله از ۱۰ شاخص جهت شیب، قابلیت اراضی، اراضی سیلاب خیز، گسل، رود، شبکه‌ی ارتباطی جاده‌ای، شبکه ارتباطی ریلی، صنایع، نقاط روستایی اطراف شهر و خطوط انتقال نیرو استفاده شده است که با استفاده از مدل‌ها و توابع تحلیل سیستم اطلاعات جغرافیایی و همپوشانی و ترکیب لایه‌های مذکور مناسب‌ترین جهت را برای گسترش آتی شهر مرودشت انتخاب نموده‌اند. ضیائیان و همکاران (۱۳۹۰)، در مقاله خود با عنوان تعیین جهت بهینه گسترش شهر مشهد با استفاده از مدل ارزیابی چندعامله GIS و RS پرداخته‌اند. در این مقاله با استفاده از مدل ارزیابی چندعامله و روش وزن دهی Critic و نیز عوامل فاصله از کاربری‌های شهری، فاصله از گسل، فاصله از اراضی مرغوب کشاورزی و باغ‌ها، زمین‌شناسی، قابلیت اراضی و شیب، جهت بهینه گسترش شهر تعیین شده است که در این مکان‌یابی، مشخص گردید جهت بهینه گسترش آینده شهر مشهد، شمال غرب و غرب شهر است.

حسینی و همکاران (۱۳۹۰)، در پژوهشی با عنوان ارزیابی و مکان‌یابی جهات توسعه فیزیکی شهر با استفاده از مدل منطق فازی مطالعه موردی: شهر دیواندره، پرداخته‌اند و در نهایت بر اساس نقشه نهائی طبقه‌بندی نتیجه حاصل شد که پهنه‌های مساعد جهت توسعه فیزیکی آتی شهر دیواندره بیشتر در بخش شرقی تا حدودی نیز بخش شمالی و جنوب شرقی به‌صورت پراکنده وجود دارند.

قدیری و دستا (۱۳۹۲)، در پژوهشی به بررسی تحلیل الگوی رشد کالبدی- فضایی شهرها از طریق آمار فضایی در GIS مطالعه موردی کلان‌شهر تهران، به این نتیجه رسیده‌اند که کلان‌شهر تهران طی سال‌های ۷۵ و ۸۵ الگوی رشد تصادفی متمایل به خوشه‌ای را با شکل‌گیری دو لکه داغ در بخش جنوب شهر و یک لکه سرد در بخش شمال تجربه نموده است.

لطفی و همکاران (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای به بررسی الگوی گسترش کالبدی- فضایی شهر مراغه با استفاده از مدل‌های کمی پرداخته‌اند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش نشان می‌دهد که شهر مراغه از نظر رشد کالبدی و فضایی در گذشته رشدی آرام و فشرده داشته که با شروع شهرنشینی سریع یعنی از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۶۵ رشد شتابان شهری تجربه کرده است به‌طوری‌که مساحت شهر در این دوره ۱۶.۵ برابر افزایش یافته است که از این دهه رشد بی‌رویه شهری (Sprawl) رخ داده و تا دهه ۱۳۸۵ توسعه و گسترش شهر به‌صورت پراکنده ادامه یافته است.

شمس و همکاران (۱۳۹۳)، در پژوهشی به بررسی گسترش کالبدی- فضایی شهر و تعیین الگوی بهینه و پایدار رشد کالبدی شهر صالح‌آباد با بهره‌گیری از مدل‌های کمی، پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که شهر صالح‌آباد در طی دهه‌های گذشته به‌صورت پراکنده رشد نموده و منجر به پدیده‌ی گسترش افقی یا پراکندگی شهری شده است. بر این اساس باید از الگوی گسترش متمرکز درون بافتی فشرده و درعین حال الگوی پیوسته‌ی قطاعی با توسعه سیستم شبکه ارتباطی متقاطع و مورب بهره‌گرفت تا رشد کالبدی شهر روندی معقولانه‌تر را طی نماید.

## مبانی نظری پژوهش

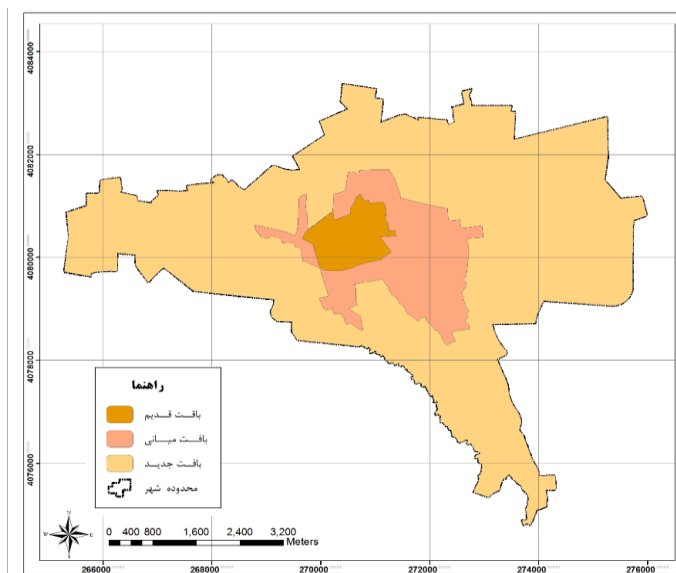
تسریع رشد شهری و استفاده از زمین و تغییر مکان به‌طور فزاینده فشار بر محیط زیست طبیعی و رفاه انسان و یک نگرانی جهانی تبدیل شده‌اند. ایران به‌عنوان یک کشور در حال توسعه، نیز دچار رشد مناطق شهری آن در طول چند دهه گذشته نرخ بالای مهاجرت از روستا به شهر همراه با تغییرات اجتماعی و اقتصادی و سیاسی سریع است (Bihamta et al., 2015). از طرفی از مشکلات اساسی ناشی از ساختار فضایی نامناسب که برنامه‌ریزی شهری امروز با آن روبه‌رو می‌باشد، توسعه و رشد بی‌رویه و بی‌برنامه شهرهاست (موحد و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۵). شناخت الگوی توسعه کالبدی شهر و ارزیابی درجه پراکندگی و فشردگی آن جهت هدایت آن در راستای توسعه پایدار شهری ضروری است (حسینی و قدمی، ۱۳۹۲: ۲). فرم شهر به‌عنوان الگوی توزیع فضایی فعالیت‌های انسان در برهه خاصی از زمان تعریف می‌شود. رشد شهر به‌صورت یک فرآیند دوگانه گسترش بیرونی و رشد فیزیکی سریع یا رشد درونی و سازمان‌دهی مجدد است. گسترش بیرونی به شکل افزایش محدوده شهر یا به‌اصطلاح گسترش افقی بی‌رویه ظاهر می‌گردد و رشد درونی به‌صورت درون‌ریزی جمعیت و الگوی رشد فشرده نمایان می‌شود (قرخلو و زنگنه شهرکی، ۱۳۸۸: ۲۲-۲۱).

درک، تجزیه و تحلیل، نظارت و مدل‌سازی تکامل رشد شهری به‌عنوان یک نیروی محرک اصلی تغییر و تحول پوشش استفاده از زمین، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، از اهمیت زیادی برای مدیران زمین در روند توسعه پایدار است (Sakieh et al, 2015: 8). چند برابر شدن محدوده‌های شهری، شکل‌گیری بافت‌های کم تراکم در حاشیه‌های شهر و دشواری‌های خدمات‌رسانی اشاره کرد (سیف‌الدینی، ۱۳۹۱: ۲).

الگوی اسپرال، رشد شهری پراکنده و کم بازده (غیر مؤثر) شهری را بیان می‌کند (Hass & Lathrop, 2003: 159). از آنجا که در قرن ۲۱ فرم مسلط زندگی شهری بر اساس اتومبیل شکل گرفته است (Glaeser & Kahn, 2004: 2481). الگوی اسپرال ابتدا در کشورهای توسعه یافته به علت استفاده زیاد از اتومبیل شخصی و حومه‌نشینی به وجود آمد و هم‌اکنون در بسیاری از هسته‌های شهری کشورهای در حال توسعه دیده می‌شود (قرخلو و زنگنه شهرکی، ۱۳۸۸: ۲۲)؛ در واقع شهر اسپرال پدیده‌ای ظالمانه است که سطح هرچه بیشتر زمین را می‌پوشاند (Salingaros, 2006: 100). مناطق شهری تمرکز مردم، زیرساخت‌ها و فعالیت‌های اقتصادی، شهرنشینی را به‌طور هم‌زمان یک فعالیت اقتصادی به‌منظور استفاده از زمین و پدیده تغییر جمعیتی تبدیل کرده است. تأثیرات منفی که اغلب به آن نسبت داده شده است، ازدحام ترافیک، فقدان فضای باز و افزایش آلوده‌کننده‌ها به آبراه‌های طبیعی می‌باشد (Sutton, 2003: 353). در آمریکا به دلیل اینکه تهدید جدی برای جنگل‌ها و دیگر فضاهای طبیعی این کشور محسوب می‌شود، نگرانی‌های عمومی درباره تأثیرات این الگو افزایش یافته است (Bengston, 2005: 745). الگوی دیگر، فرم فضایی فشرده (رشد هوشمند شهری) می‌باشد. رشد هوشمند از نظریات طرح‌شده در دهه پایانی قرن بیستم است که ریشه‌های آن در توسعه پایدار قرار دارد و با مشخصاتی چون؛ تراکم بالا، کاربری‌های مختلط و اتکای بیشتر به پیاده‌روی توصیف شده است که راه‌حلی است برای یک برنامه‌ریزی شهری بهتر (Chen and et al., 2008: 28)؛ در واقع رشد هوشمند نوعی استراتژی توسعه می‌باشد که شهر اسپرال را توصیه نمی‌کند (Gabriel and et al., 2006: 212) و یا تراکم بالا و کاربری مختلط، عدالت اجتماعی را گسترش می‌دهد (Burton, 2001: 2). جهت نیل به فرم شهری پایدار می‌بایست ابعاد پراکندگی روشن شود. این ابعاد عبارت‌اند از تراکم، پیوستگی، تمرکز، مجموعه بندی، مرکزیت، قطبی بودن، کاربری ترکیبی، مجاورت (رهنما و عباس زاده ۱۳۸۵: ۱۰۷-۱۰۳).

### معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان گرگان مرکز استان گلستان شهری زیبا و نگینی در طبیعت چشم‌نواز شمال ایران با وسعت ۱۶۱۵/۸۱ کیلومترمربع با جاذبه‌های فراوان طبیعی و تاریخی یکی از شهرهای سیاحتی و میعادگاه عاشقان طبیعت و دوستداران تاریخ است. شهرستان گرگان از جنوب به استان سمنان، از شمال به آق‌قلا، از شرق به علی‌آباد کنول و از غرب به کردکوی محدود است. طبق آخرین سرشماری ۱۳۹۰ جمعیت شهر گرگان در حدود ۴۶۲۴۵۵ نفر بوده است (مرکز آمار ایران) ([www.sci.org.ir](http://www.sci.org.ir)).

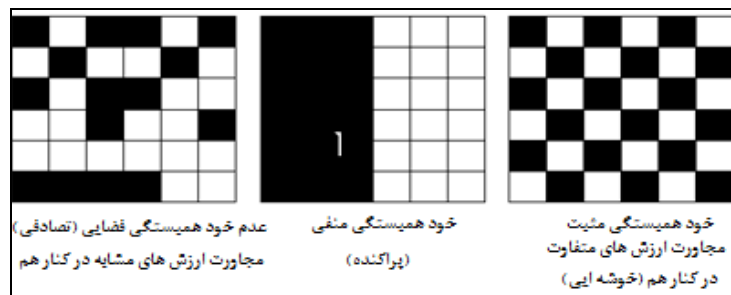


تصویر ۱- نقشه مراحل توسعه کالبدی شهر گرگان

### روش‌شناسی و معرفی مدل‌های تحقیق

تحلیل مدل خودهمبستگی فضایی (Spatial Autocorrelation): در طبقه‌بندی الگوهای فضایی - خواه خوشه‌ای، پراکنده و تصادفی - می‌توان بر چگونگی نظم و ترتیب قرارگیری واحدهای ناحیه‌ای متمرکز شد. می‌توان مشابهت و نبود مشابهت هر جفت از واحدهای ناحیه‌ای مجاور را اندازه گرفت. وقتی این مشابهت و نبود مشابهت‌ها برای الگوهای فضایی تعیین شود، خودهمبستگی فضایی شکل

می‌گیرد (Lee, 2001: 135). خودهمبستگی یا همبستگی سریالی، به ارتباط باقی‌مانده‌های معادله رگرسیونی اشاره دارد. به‌وسیله خودهمبستگی، وضعیتی را توصیف می‌کنیم که در آن هر باقی‌مانده یا ضریب خطا  $e_t$  مرتبط به ضریب‌های قبلی است (Clark, 1997: 379). مفهوم خودهمبستگی فضایی این است که ارزش صفت‌های مطالعه شده، خود همبسته‌اند و همبستگی آن‌ها قابل استناد به نظم جغرافیایی پدیده‌هاست. وضعیت‌های زیادی، درجه‌ای از همبستگی فضایی را نمایش می‌دهند. خودهمبستگی فضایی قوی، بدین مفهوم است که ارزش صفت پدیده‌های جغرافیایی به‌طور قوی با یکدیگر رابطه دارند (مثبت یا منفی). ضریب ویژگی توزیع پدیده‌های جغرافیایی مجاور، ارتباطات و نظم ظاهری مختلفی دارد که گفته می‌شود دارای ارتباط فضایی ضعیف، قوی و یا دارای الگوی تصادفی می‌باشد (تصویر ۲).



تصویر ۲- انواع خودهمبستگی فضایی

خودهمبستگی فضایی، ابزار ارزشمندی برای مطالعه چگونگی تغییرات الگوهای فضایی در طول زمان است. نتایج این نوع تحقیق به فهم بیشتری از تغییر نحوه الگوهای فضایی گذشته به حال منجر گردیده است. بنابراین، نتایج مفیدی برای فهم عوامل تغییر الگوهای را نشان می‌دهند. علاوه بر این، مطالعه همبستگی فضایی، پیشنهادهاى ضمنی مهمی برای کاربرد تکنیک‌های آماری در تحلیل اطلاعات فضایی دربردارد. برای اندازه‌گیری همبستگی فضایی، آماره‌هایی وجود دارد که به ما اجازه می‌دهند با نقاط یا پلی‌گون‌ها (سطوح نواحی) کار کنیم. برای داده‌های فاصله‌ای نسبی، شاخص موران (Moran's I) و ضریب گری (Gray Ratio) و شاخص محلی (G-Statistics) به کار می‌روند.

**انواع معیارهای تعامل فضایی:** مدل‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری آماره‌های تعامل فضایی وجود دارد. اگر صفت‌های فضایی یا متغیرهای مورد مطالعه با مقیاس اسمی (Nominal) و دوتایی (Binary) باشند (به‌عنوان نمونه صفت‌ها فقط دو ارزش ممکن صفر و یک دارند)، پس آماره محاسبات عددی، تعداد اتصال‌ها (Joint Count) می‌تواند استفاده شود. اگر متغیرهای فضایی اندازه‌گیری شده، دارای مقیاس فاصله‌ای یا نسبی باشند، آماره‌های ارتباط فضایی مناسب شاخص موران (Moran's I) و ضریب گری (Gary Ratio) می‌باشند و گزینه ممکن دیگر، آماره G عمومی (G-Statistic) است (لی و وانگ، ۱۳۸۱: ۲۳).

همه این معیارها می‌توانند، به‌عنوان معیارهای جهانی همبستگی یا تمرکز فضایی مدنظر قرار گیرند. یک آماره یا ارزش مشتق شده برای تمام ناحیه مورد مطالعه، ارتباط فضایی جامع همه واحدهای ناحیه‌ای را توصیف می‌کند. به‌هرحال، دلیلی وجود ندارد باور کنیم که هر فرایند فضایی در درون خودش دارای توزیع همگن است. اندازه خودهمبستگی فضایی می‌تواند به وسیله موقعیت‌ها تغییر کند؛ بنابراین یک توزیع یا یک الگوی فضایی می‌تواند در شرایط مختلف از نظر فضایی ناهمگن باشد. برای توصیف ناهمگنی خودهمبستگی فضایی، باید بر معیارهایی متکی باشیم که می‌توانند خودهمبستگی فضایی را در مقیاس محلی کشف کنند. شاخص محلی تمرکز فضایی (Local Indicator of Spatial Association-LISA) و آماره G محلی (Local G-Statistics) برای این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد (لی و وانگ، ۱۳۸۱: ۲۸).

**شاخص‌های موران و ضریب گری (Moran I & Gary Ratio):** آماره‌های اتصال مشترک معیارهای جهانی سودمند خودهمبستگی فضایی برای متغیرهای با فقط دو نتیجه هستند (اتصال و نبود اتصال). این موقعیت کاملاً محدودکننده است؛ زیرا در اکثر موارد در دنیای واقعی با متغیرهای در مقیاس‌های فاصله‌ای و نسبی نیز سروکار داریم. در این موارد، شاخص موران (Moran's I) و ضریب C گری (Gary Ratio) قابل استفاده خواهند بود.

شاخص‌های موران و گری مشخصه‌های مشترکی دارند؛ اما خواص آماری آن‌ها متفاوت است. اکثر تحلیلگران با شاخص موران موافق‌ترند، که اساساً به خاطر توزیع مشخصاتش، مطلوب‌تر است (Lee and Wong, 2007: 174). هنوز هر دو روش بر مقایسه ارزش‌های همسایگی واحدهای ناحیه‌ای متکی هستند. اگر واحدهای ناحیه‌ای همسایگی در طول ناحیه ارزش‌های مشابهی داشته باشند، آماره‌ها (مدل‌ها)

بر یک خودهمبستگی فضایی قوی دلالت داشته‌اند. اگر واحدهای ناحیه‌ای همسایگی ارزش‌های خیلی نامشابهی داشته باشند، آماره‌ها باید یک خودهمبستگی فضایی منفی خیلی قوی را نشان دهند. به‌هرحال دو مدل، روش‌های متفاوتی را برای مقایسه ضرایب همسایگی‌ها به کار می‌گیرند.

۱. شاخص موران (Moran's I): شاخص موران، به شرح زیر است:

$$I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{w \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$X_i$  ضریب متغیر فاصله‌ای یا نسبی در واحد ناحیه‌ای  $i$ ،  $n$  تعداد واحدهای ناحیه‌ای،  $w_{ij}$  ضریب موران بین  $i-1$  تا  $i$  متغیر است.  $-1$  برابر تعامل فضایی منفی و  $1$  برابر تعامل فضایی مثبت به کار می‌رود. اگر تعامل فضایی وجود نداشته باشد. ضریب‌های مورد انتظار موران، برابر است:

$$E_I = -\frac{1}{(n-1)}$$

وقتی شاخص موران محاسبه می‌شود، ماتریس‌های وزنی فضایی مورد استفاده ماتریس‌های دوتایی (Binary) و تصادفی (Stochastic) می‌باشند. اگر شاخص دوتایی (زوجی) استفاده شود،  $W$  در مخرج کسر اساساً دو برابر مرزهای مشترک در کل ناحیه مورد مطالعه خواهد بود یا  $2L$ . به‌هرحال، این امکان وجود دارد که انواع دیگری از ماتریس‌های وزنی را به کار ببریم (Getis, 2005: 627).

۲. ضریب «گری» (Geary's Ratio C): مشابه روش شاخص موران برای اندازه‌گیری خودهمبستگی فضایی، ضریب  $C$  گری می‌تواند یک عبارت حاصل ضرب ضریب‌گیری را سازگار کند (Getis, 1991). ضریب «گری» به صورت فرمول زیر است:

$$C = \frac{(n-1) \sum \sum w_{ij} (x_i - x_j)^2}{2W \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

شبه شاخص موران، ضریب «گری» می‌تواند با هر نوع ماتریس وزنی فضایی به کار رود؛ گرچه عمومی‌ترین آن‌ها، ماتریس‌های دوتایی و تصادفی می‌باشند. با مقایسه این فرمول با فرمول موران، آشکار می‌شود مهم‌ترین تفاوت بین آن‌ها عبارت حاصل ضرب در مخرج است. در شاخص موران، عبارت حاصل ضرب ضریب‌گیری بر انحراف از میانگین ارزش‌های همسایگی‌ها متکی بوده، اما در ضریب «گری»، در عوض مقایسه ارزش‌های همسایگی‌ها با میانگین، ارزش‌های دو همسایگی با یکدیگر، به‌طور مستقیم مقایسه می‌شوند. ضریب «گری» بین  $0$  تا  $2$  در نوسان است که مقدار صفر دلالت بر خودهمبستگی فضایی کاملاً مثبت دارد (زمانی که ارزش همه همسایگی‌ها مشابه باشند). بنابراین، حاصل ضرب ضریب‌گیری برابر صفر است و مقدار  $2$  بر خودهمبستگی فضایی کاملاً منفی دلالت دارد. مقدار  $1$  در ضریب «گری» به مفهوم نبود رابطه فضایی است. در تضاد با شاخص موران، مقدار مورد انتظار ضریب «گری» به وسیله اندازه کوچک  $n$  متأثر نمی‌شود و غالباً برابر  $1$  است (Getis, 2005: 632).

۳. آماره  $G$  عمومی (General G-Statistic): شاخص محلی دیگر خودهمبستگی فضایی آمار  $G$  عمومی است.

آماره  $G$  عمومی محلی برای هر واحد ناحیه‌ای محاسبه می‌شود و بر این دلالت دارد که چگونه ارزش واحد ناحیه مورد مطالعه مرتبط به ارزش‌های واحدهای ناحیه‌ای مجاور، از طریق آستانه مسافت ( $d$ ) تعریف شده، می‌باشد. از نظر فرمولی، به شرح زیر است:

$$G_I(d) = \frac{\sum_j w_{ij}(d) x_i}{\sum_j x_j}; \quad j \neq i$$

عبارت فوق قبلاً تعریف شده است. در اینجا نیز بهتر است آماره را در بطن امتیاز استاندارد شده تفسیر کنیم. برای به دست آوردن امتیاز استاندارد شده، به دانستن ضریب مورد انتظار و واریانس آماره نیاز است. ضریب مورد انتظار به شرح زیر می‌باشد:

$$E(G_i) = w_i / (n - 1),$$

$$w_i = \sum_j w_{ij}(d)$$

تعریف واریانس، مشابه تعریف آماره G عمومی است که به شرح زیر تعریف شده است:

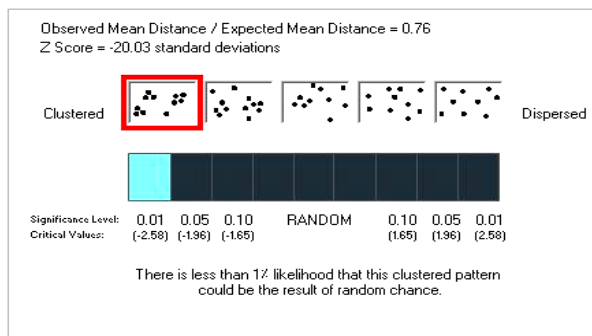
$$Var(G_i) = E(G_i^2) - [E(G_i)]^2$$

$$E(G_i^2) = \frac{1}{(\sum_j x_j)^2} \left[ \frac{w_i(n-1-w_i) \sum_j x_j^2}{(n-1)(n-2)} \right] + \frac{w_i(w_i-1)}{(n-1)(n-2)}, \quad j \neq i$$

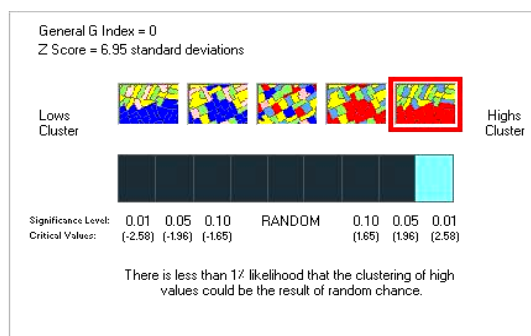
امتیاز استاندارد شده  $Gi(d)$  از ضریب مورد انتظار و واریانس استفاده می‌کند. یک امتیاز بالا وقتی به دست می‌آید که دسته‌بندی (خوشه‌بندی فضایی) به وسیله ضریب‌های مشابه ولی بالا، شکل می‌گیرد. اگر دسته‌بندی فضایی شکل گرفته به وسیله ضریب‌های پایین امتیاز Z تمایل به منفی بالا باشد. یک امتیاز Z برابر ۰ دلالت بر این دارد که هیچ الگوی پیوستگی فضایی وجود ندارد. یک آماره مرتبط، می‌باشد. این آماره تقریباً شبیه  $GI(d)$  می‌باشد. به استثنای اینکه شامل مواردی است که  $\sum_j x_j = 1$  می‌باشد. به خاطر اینکه این دو آماره خیلی شبیه یکدیگرند، بر  $GI(d)$  متمرکز می‌شویم. ضریب Z بین -۱ و +۱ متمرکز است، اگر ضریب Z برابر ۰ باشد، نمایانگر نداشتن ارتباط فضایی است (لی و وانگ، ۱۳۸۱: ۳۸).

**تجزیه و تحلیل داده‌ها:** برای تحلیل الگوی رشد کالبدی- فضایی شهر گرگان از روش‌های مختلفی استفاده شد؛ در واقع هر یک از تحلیل‌ها بازگوکننده جنبه‌ای از الگوی رشد شهر گرگان می‌باشد.

۱- میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی و تحلیل خوشه‌بندی زیاد/کم تراکم جمعیت در ابتدا لازم بود که الگوی نظام منطقه‌بندی شهر گرگان بررسی شود. اینکه آیا تعداد، وسعت و نحوه استقرار مناطق شهر گرگان در کنار هم از توزیع یکنواخت و متعادلی برخوردار است یا خیر؟ این الگو در صورتی که خوشه‌ای باشد، خود می‌تواند در الگوی تجمع و پراکندگی جمعیت و رشد شهر مؤثر باشد. بررسی این موضوع از طریق روش میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی و با در نظر گرفتن مختصات X و مرکز هندسی مناطق انجام می‌شود. حال لازم است بررسی شود که آیا تراکم‌های بالا و یا پایین جمعیت و اشتغال از خوشه‌بندی بالایی برخوردار است یا پایین؟ یعنی اینکه آیا مناطق دارای تراکم پایین تر یا بالاتر جمعیت از خوشه‌بندی بالایی برخوردارند یا پایین؟ بدین منظور با استفاده از روش خوشه‌بندی بالا/پایین تراکم جمعیت در شهر گرگان نشان داده شده است. در محاسبه میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی همچنان که در تصویر ۳ نشان داده شده است، شهر گرگان از نظام منطقه‌بندی الگوی پراکنده برخوردار می‌باشد. در محاسبه تحلیل خوشه‌بندی زیاد و تراکم جمعیت همان‌طور که در تصویر ۴ نشان داده شده است، شهر گرگان دارای نظام الگوی خوشه‌بندی بالا می‌باشد.

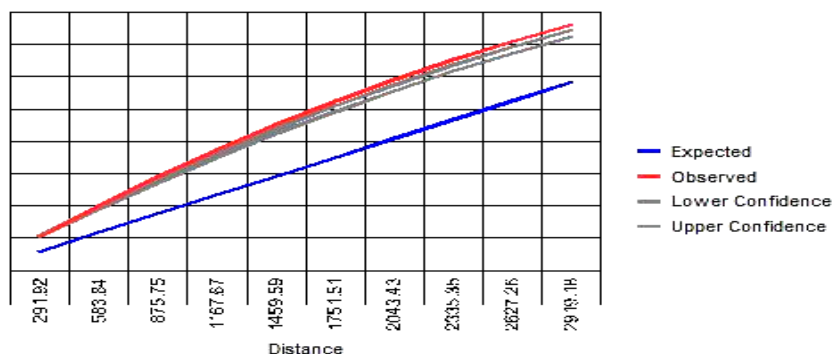


تصویر ۴- محاسبه تحلیل خوشه‌بندی زیاد و تراکم جمعیت



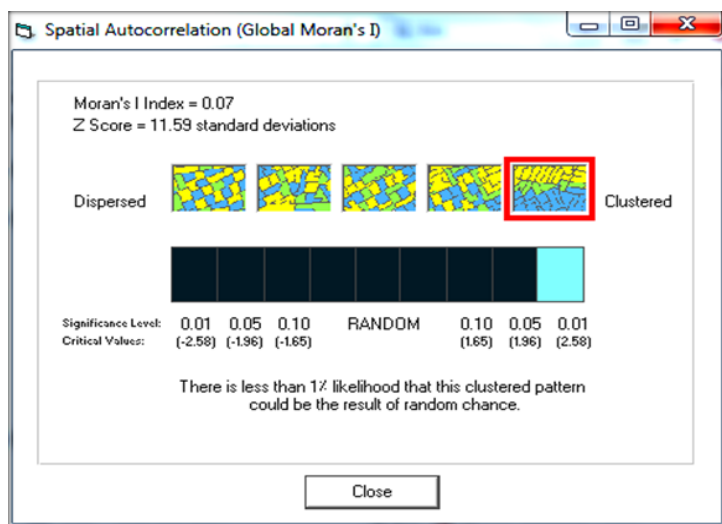
تصویر ۳- محاسبه نزدیک‌ترین فاصله همسایگی

Clustered



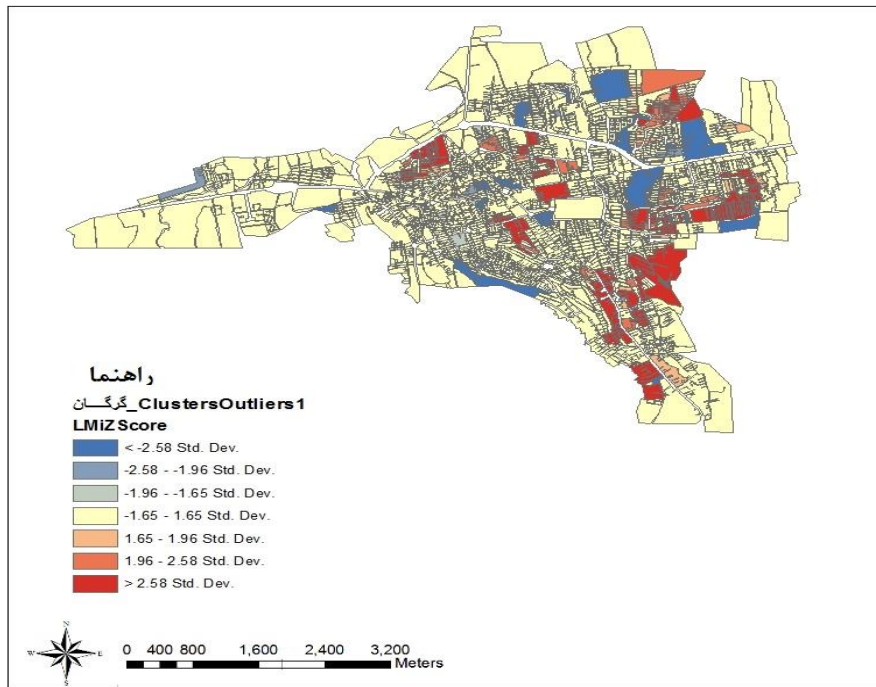
تصویر ۵- نمودار آنالیز خوشه‌های فضایی با فاصله بالا در آمار فضایی

آماره فضایی موران محلی: این آماره عددی را به دست می‌دهد که امتیاز استاندارد شده ZSCORE از آن می‌توان درجه پخشی بودن و یا متمرکز بودن عوارض و یا داده‌های فضایی را در فضا اندازه‌گیری کرد. شاخص موران بین مقادیر ۱- تا ۱+ محاسبه می‌شود. ۱+ بیانگر الگوی کاملاً تک‌قطبی (خوشه‌ای) مقدار صفر بیانگر الگوی تجمع تصادفی یا چندقطبی و مقدار ۱- بیانگر الگوی پراکنده است. هرچه این ضریب مقدار بالایی داشته باشد، بیانگر تجمع زیاد و هرچه مقدار پایینی داشته باشد، بیانگر پراکندگی است. همچنان که در تصویر ۶ نشان داده شده است، ضریب موران محاسبه شده ۰.۰۷ می‌باشد که از مقدار ۱ کمتر می‌باشد که الگوی پراکندگی شهر گرگان به طرف چندقطبی بودن تمایل دارد.



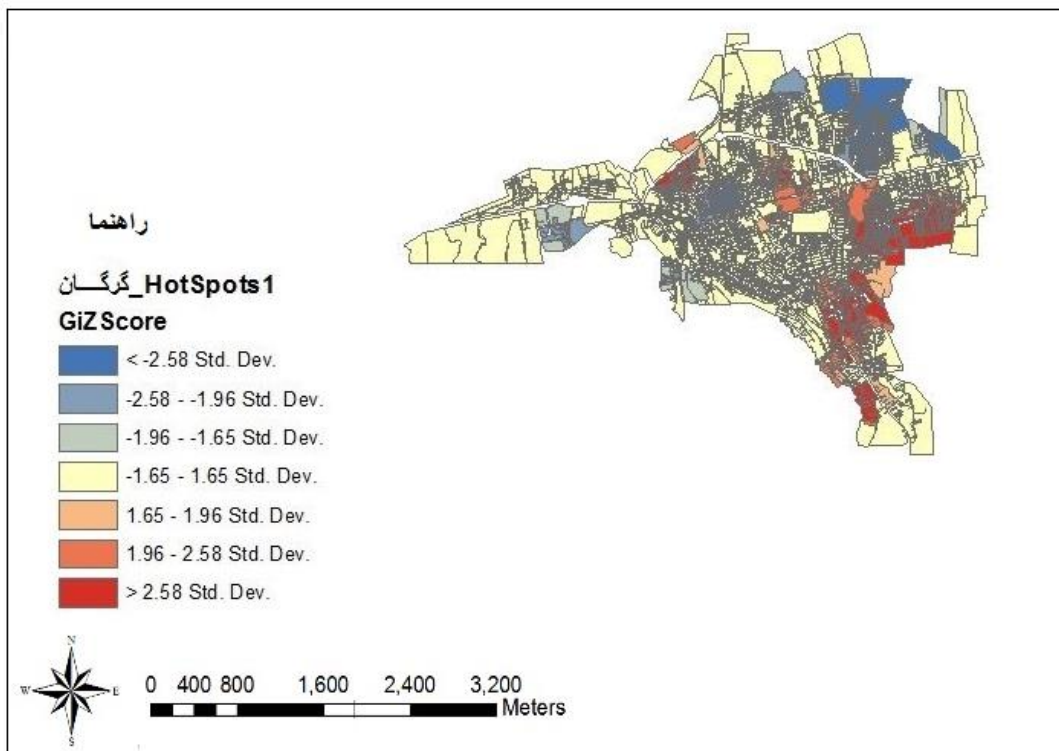
تصویر ۶- ضریب موران

تا اینجا تحلیل توزیع فضایی تراکم جمعیت در مناطق شهرداری گرگان در مجموع الگوی رشد کالبدی- فضایی تصادفی متمایل به خوشه‌ای را نشان داد. در ادامه برای شناسایی موقعیت خوشه‌های دارای تراکم زیاد یا کم جمعیت از روش تحلیل خوشه/ ناخوشه (یا همان موران محلی) استفاده شد. برای دقت بیشتر، این تحلیل برحسب محلات شهر گرگان انجام شد. نتایج مطابق شکل ۵ موقعیت خوشه‌ها را نشان می‌دهد.



تصویر ۷- موقعیت خوشه‌های دارای تراکم زیاد تا کم

موقعیت لکه‌های داغ و سرد: همان‌طور که در تصویر ۸ نشان داده شده است، در قسمت شمال شرقی گرگان وجود یک لکه سرد دیده می‌شود که این بیانگر آن است که این محلات دارای تمرکز پایین جمعیتی می‌باشد و از نظر تمرکز بالای جمعیتی و یا همان نقاط لکه داغ پراکندگی بیشتر می‌باشد؛ ولی بیشترین بخش پراکندگی جمعیت در بخش شرق متمایل به جنوب و جنوب شرقی شهر گرگان می‌باشد.



تصویر ۸- لکه‌های داغ و سرد جمعیتی

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

روش‌های مختلف آمار فضایی در GIS جهت تحلیل رشد کالبدی- فضایی شهر و شناخت الگوها و روندهای آن از کارایی بالایی برخوردار است و با استفاده از آن‌ها می‌توان جنبه‌های مختلف رشد و توسعه شهر و الگو و روندهای حاکم بر آن را تحلیل و شناخت لازم را جهت برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های مربوطه فراهم نمود. روش‌های مذکور در تحلیل مسائل مختلف و متعدد شهری کاربرد دارد. این پژوهش عمدتاً از این روش‌ها در زمینه تحلیل الگوی رشد کالبدی- فضایی شهر استفاده نمود. در صورت داشتن اطلاعات مناسب و لایه‌های فضایی مرتبط برای سال‌ها یا دوره‌های زمانی متعدد و طولانی، با استفاده از روش‌های مذکور می‌توان به‌خوبی تحول الگوها و رفتارهای پدیده‌های جغرافیایی از جمله الگوی رشد کالبدی را بررسی نمود.

از آنجا که الگوی توسعه فیزیکی هر شهر تحت تأثیر اساسی بر پایداری یا ناپایداری توسعه آن دارد، مدیران و برنامه‌ریزان شهری باید به‌منظور هدایت این الگو برای توسعه پایدار شهری از الگوی توسعه فیزیکی و رشد کالبدی موجود شهرها شناخت کافی داشته باشند. در این مقاله برای بررسی الگوی رشد کالبدی و فرم شهر گرگان از روش‌های محاسباتی موران و میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی و خوشه‌بندی در شهر گرگان استفاده شده است. ضرایب به‌دست‌آمده برای جمعیت نشان‌دهنده پراکنش شهری و رشد فضایی شهر گرگان چندقطبی و پراکنده می‌باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که در مناطق مختلف شهر گرگان چندقطبی و رشد فضایی لجام‌گسیخته و به‌شدت پراکنده‌ای داشته است، چنین گسترش‌ها و ساخت‌وسازهای فاقد برنامه‌ریزی راهبردی و خارج از قاعده، تبعات بلندمدت و متعددی دارد که در حال حاضر قابل مشاهده است. چنین رشد بی‌قواره‌ای، علی‌رغم کنترل نسبی آن و افزایش فشردگی شهر گرگان، سازمان فضایی مطلوب شهر را به هم می‌زند. آنچه نتایج تحلیل ضرایب موران و گری به‌نوعی بیانگر آن هستند، توزیع فضایی جمعیت شهر گرگان از الگوی تصادفی پیروی می‌کند و گرایش اندکی به سمت الگوی خوشه‌ای دارد. چنین وضعیتی بیانگر غلبه توسعه‌های بدون برنامه‌ریزی راهبردی بر توسعه برنامه‌ریزی‌شده می‌باشد، که بخش عمده‌ای از آن ناشی از گسترش‌های بی‌قواره دوره‌های قبلی و تداوم بی‌نظمی‌های آن است. بعلاوه، نتایج تحلیل از طریق ضریب G عمومی مطابق روش ۰ و ۱ و روش مرز مشترک، به ترتیب شکل‌گیری نقاط داغ در جنوب و شرق شهر، تراکم و فشردگی بالا را نشان می‌دهد؛ همچنین نقاط سرد در شمال، تراکم و فشردگی پایین را نشان می‌دهد. یعنی اینکه تمایز و تفاوت بین مناطق جنوب و شمال شهر گرگان، در حال افزایش است.

مهم‌تر اینکه الگوی رشد تصادفی متمایل به خوشه‌ای موجود در راستای تشدید تمایزات اجتماعی- فضایی در شهر گرگان می‌باشد، وضعیتی که مطلوب و مناسب نیست.

در مجموع، با توجه به لزوم هدایت شهر به سمت پایداری بیشتر و نیز خصوصیات و الگوی رشد فضایی شهر گرگان، که در فوق ذکر شد، در ادامه پیشنهادهای حاصل از پژوهش به‌صورت موردی ارائه شده است:

- لازم است علاوه بر کنترل مساحت و محدوده شهر و افزایش تراکم شهری، الگوی توسعه درونی نیز در قالب برنامه‌ریزی مداوم و سیاست‌گذاری راهبردی هدایت شود.
- پژوهش، برنامه‌ریزی و توسعه با تکیه بر شاخص‌ها و مقادیر رشد و توسعه کلی و در مقیاس شهری کافی نیست. بایستی تفاوت فضایی توسعه و تراکم برحسب قالب‌های فضایی- اجتماعی مناطق و محلات موردتوجه اساسی قرار گیرد.
- پژوهش بر روی شاخص‌های کیفی رشد هوشمند شهری و ارزیابی مناطق و محلات مختلف شهر بر اساس میزان دستیابی به آن‌ها از ملزومات توسعه صحیح و پایدار است.
- رشد هوشمند شهری مستلزم نظامی منسجم از مدیریت و کنترل بر اراضی و فعالیت‌های شهری است. جلوگیری از زمین‌خواری و بورس‌بازی زمین و ساختمان از ملزومات آن است.
- کنترل و کاهش فاصله مناطق شمالی و جنوبی شهر از نظر میزان تراکم و تجمع جمعیت و فعالیت‌ها و میزان برخورداری اهمیتی اساسی دارد.

- نظام برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی مبتنی بر انسان و فضاهای عمومی و کاهش غلبه اتومبیل محوری از راهکارهای تحقق شهر فشرده و پایدار است.
- تلاش برای تحقیق رشد هوشمند بر اساس تخصیص کاربری به‌صورت منسجم با گرایش به حمل‌ونقل عمومی و توسعه پیاده‌روی.

## فهرست منابع

- ابراهیم‌زاده، ع. و رفیعی، ق. (۱۳۸۸). مکان‌یابی بهینه‌ی جهات گسترش شهر با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله جغرافیا و توسعه، ۱۵، ۴۵-۷۰.
- پناهی، ر. و زیاری، ک. (۱۳۸۸). بررسی تأثیر فعالیت‌های کشت و صنعت بر شهر نویناد پارس‌آباد. مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۷۰.
- حسینی، س.ح. و قدمی، م. (۱۳۹۲). تحلیل الگوی توسعه کالبدی-فضایی شهر سبزوار، فضای جغرافیایی، ۱۳، ۴۴، ۲۱۹-۲۴۰.
- حسینی، ه.، کرم، ا.، صفاری، ا.، قنوازی، ع.، و بهشتی جاوید، ا. (۱۳۹۰). ارزیابی و مکان‌یابی جهات توسعه فیزیکی شهر با استفاده از مدل منطق فازی مطالعه موردی: شهر دیواندره، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰، ۲۳، ۸۳-۶۳.
- حسینی، س.ه. و سلیمانی مقدم، ه. (۱۳۸۵). توسعه شهری و تضعیف مفاهیم محله‌ای، فصلنامه مسکن و انقلاب، ۱۱۳.
- رهنما، م.ر.، عباس‌زاده، غ. (۱۳۸۵). مطالعه تطبیقی سنجش درجه پراکنش/ فشرده‌گی در کلان‌شهرهای سیدنی و مشهد. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۶، ۱۰۱.
- زیاری، ک. (۱۳۸۲). تحولات اجتماعی- فرهنگی ناشی از انقلاب صنعتی در توسعه فضایی تهران. مجله جغرافیا و توسعه، ۱.
- سیف‌الدینی، ف.، زیاری، ک.، پوراحمد، ا.، و نیک‌پور، ع. (۱۳۹۱). تبیین پراکنش و فشرده‌گی فرم شهری در آمل با رویکرد فرم شهری پایدار. مجله پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، ۸۰، ۱۷۶-۱۵۵.
- شمس، م.، رحمانی، ب.، و رحمانی، ا. (۱۳۹۳). تحلیلی بر گسترش کالبدی-فضایی شهر و تعیین الگوی بهینه و پایدار رشد کالبدی شهر صالح‌آباد با بهره‌گیری از مدل‌های کمی. فصلنامه مطالعات محیطی هفت حصار، ۱، ۳.
- شوگیل، چ. (۱۳۸۲). آینده توسعه شهری برنامه‌ریزی شده در جهان سوم: جهت‌گیری‌های نو. ترجمه. شهرزاد مهدوی، مجله هفت شهر، ۳، ۹ و ۱۰.
- ضیائیان، پ.، سلیمانی مقدم، ه. و برزگر، ص. (۱۳۹۰). تعیین جهت بهینه گسترش شهر مشهد با استفاده از مدل ارزیابی چند عامله GIS و RS مجله جغرافیا. فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران، ۹، ۳۰، ۹۴-۷۷.
- طاهری، غ. (۱۳۸۱). ارزیابی توسعه فیزیکی شهر رامشیر و ارائه الگوی مناسب آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، استاد راهنما: محمد نجار سلیقه، دانشگاه سیستان بلوچستان.
- عسگری، ع. (۱۳۹۰). تحلیل‌های آمار فضایی با Arc GIS. سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران: چاپ اول.
- قدیری، م. و دستا، ف. (۱۳۹۲). تحلیل الگوی رشد کالبدی- فضایی شهرها از طریق آمار فضایی مطالعه موردی: کلان‌شهر تهران، پنجمین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، مشهد.
- قریلو، م. و زنگنه شهرکی، س. (۱۳۸۸). شناخت الگوی رشد کالبدی- فضایی شهر با استفاده از مدل‌های کمی (مطالعه موردی: شهر تهران). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۳، ۴۰-۱۹.
- لطفی، ص.، منوچهری میان‌دوب، ا. و آهار، ح. (۱۳۹۲). تحلیل الگوی گسترش کالبدی-فضایی شهر مراغه با استفاده از مدل‌های کمی. جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، ۱۷، ۴۲.
- لی، ج. و وانگ، د. (۱۳۸۱). تجزیه‌وتحلیل آماری با Arc Gis. ترجمه: محمدرضا حسین نژاد و فریدون قدیمی عروس محله. دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ اول.

- مرکز ملی آمار ایران، [www.sci.org.ir](http://www.sci.org.ir)
- موحد، ع.، مصطفوی صاحب، س. و احمدی، م. (۱۳۹۳). تبیین الگوی گسترش فضایی-کالبدی شهر سقز با رویکرد فرم شهری پایدار، فصلنامه مطالعات برنامه‌ریزی شهری، ۲، ۵، ۷۵-۵۵.
- Bazzi, KH., Karami, Sh., Mousazadeh, H., & Zangiabadi, Z. (2015). To Determine Areas Prone to Physical Development of the Analytical Hierarchy Process (AHP nine degree) Poldokhtar studied in Iran, *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 5, 7s, 190-202.
- Bengston, D., Robert, S., Potts, D., Fan, P., & Edward, G. Goet. (2005). An analysis of the public discourse about urban sprawl in the United States: Monitoring concern about a major threat to forests. *Forest Policy and Economics*, 7, 5.
- Bihamta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., & Gholamalifard. M. (2015). Using the SLEUTH Urban Growth Model to Simulate Future Urban Expansion of the Isfahan Metropolitan Area, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43, 2, 407-414.
- Burton. E. (2001). The Compact City and Social Justice. A paper presented to the Housing Studies Association Spring Conference, Housing, Environment and Sustainability, University of York, 18/19 April 2001.
- Chen, H., Beisi, J., & Lau, S. (2008). Sustainable urban form for Chinese compact cities: Challenges of a rapid urbanized economy. *Habitat International*, 32, 1.
- Clark, J. (1997). *Coastal Zone Management Handbook*. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Gabriel, S., José, A., & Moglen, G. (2006). A multi objective optimization approach to smart growth in land development. *Socio-Economic Planning Sciences*, 40, 3.
- Getis, A. (2005). Spatial Pattern Analysis. *Encyclopedia of Social Measurement*, 3.
- Glaeser, E., & Matthew, E. (2004). Chapter 56 Sprawl and urban growth. *Handbook of Regional and Urban Economics*, 4.
- Hasse, J., & Richard, G. (2003). Land resource impact indicators of urban sprawl. *Applied Geography*, 23, 2-3.
- Lee, J. & Wong, D. (2001). *Statistical Analysis with Arc View GIS* New York: Wiley, 1st ed. 2001(all page references are to this book), 2nd ed. 2005.
- Sakieh, Y., Jabbarian, B., Amiri, B., Danekar, A., Fegghi, J., & Dezhkam, S. (2015). Simulating urban expansion and scenario prediction using a cellular automata urban growth model SLEUTH, through a case study of Karaj City, Iran. *Journal of Housing and the Built Environment*, 30, 4, 591-611.
- Salingaros, N. (2006). Compact City Replaces Sprawl. Chapter in: *Crossover: Architecture, Urbanism, Technology*, Edited by Arie Graafland & Leslie Kavanaugh (010 Publishers, Rotterdam, Holland), 100-115.
- Zhao, Sh., ZhouChao, D., Wenyuan, Zh., Zhao, Q., SunDian, Y., Wenjia, H., & Liu, W. (2015). Rates and patterns of urban expansion in China's 32 major cities over the past three decades, *Landscape Ecology*, 30, 8, 1541-1559.
- Sutton Paul C., (2003) , A scale-adjusted measure of "Urban sprawl" using nighttime satellite imagery , *Remote Sensing of Environment* 86, 3.