

# تخمین شاخص ضریب دید به آسمان (SVF) مقایسه‌ای تجربی از مدل‌های درونیابی<sup>۱</sup>

للا جهانشاهلو<sup>۳</sup>

بهلول علیجانی<sup>۵</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۶/۲۹

عبدالحسین ظریفیان‌مهر<sup>۲</sup>

حسین ذیحی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۲۷

\*\*\*\*\*

## چکیده

معمولاً به دست آوردن مقادیر محیطی قابل اعتماد در محدوده‌های جغرافیایی وسیع، پرهزینه و دشوار است، بنابراین توانایی پیش‌بینی مقادیر نامعلوم یا به عبارت بهتر بهره‌گیری از روش‌های درونیابی مهم است. از طرفی ضریب دید به آسمان (SVF)، به عنوان یکی از شاخص‌های توصیف هندسه شهری به دلیل کاربرد در اقلیم شهری و سهم بودن در داده‌های مکانی-فضایی و وجود تکنیک‌های در دسترس، به یکی از مهم‌ترین پیش‌بینی کننده‌های UHI تبدیل شده است. از این رو اندازه‌گیری و تخمین دقیق مقادیر این شاخص در محدوده‌های شهری بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اینکه روش‌ها و مدل‌های متفاوتی برای درونیابی داده‌های نقطه‌ای معرفی شده است و از طرفی تاکنون روش مشخصی برای تخمین این شاخص ارائه نگردیده؛ این پژوهش مقایسه‌ای تجربی در بین مدل‌های درونیابی را با تأکید بر کریجینگ بیضی تجربی (EBK) انجام داده است. این مقایسه به دلیل اینکه EBK، دشوارترین جنبه‌های ساخت یک مدل کریجینگ را خودکار سازی کرده، مورد توجه است. این در حالی است که در دیگر روش‌ها، پارامترها به طور دستی برای دریافت نتایج دقیق تنظیم می‌شوند.

این پژوهش از حیث هدف، نوعی پژوهش کاربردی بوده و فنون تحلیل داده‌ها کمی است. محدوده مورد مطالعه این پژوهش منطقه شش شهرداری شیراز است. با توجه به تعدد روش‌ها و تکنیک‌های درونیابی و همچنین توابع کرنل و توابع برازش بر مدل‌ها، در حدود ۱۳۸ سناریوی درونیابی اجرا شده. همچنین از چهار شاخص، جذر متوسط مربع (RMS)، میانگین استاندارد شده (MS)، جذر متوسط مربع استاندارد شده (RMSS) و خطای استاندارد میانگین (ASE)، برای ارزیابی بین مدل‌ها استفاده شده است. داده‌های ورودی (نمونه) شامل ۶۱۵۷ نقطه است که به فواصل ۳۰ متری در محدوده مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است. این نقاط بر مبنای روش نرم افزاری محاسبه‌ی SVF و با استفاده از مدل GIS پایه، در نرم افزار ArcGIS10.6 تهیه شده‌اند. نتایج پژوهش حاکی از برتری روش کریجینگ بیضی تجربی (EBK) نسبت به سایر روش‌ها است.

واژه‌های کلیدی: درونیابی، کریجینگ بیضی تجربی، ضریب دید به آسمان، شیراز، جی‌آی‌اس.

\*\*\*\*\*

۱- مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، با عنوان «بررسی و تحلیل تأثیر هندسه شهری بر اقلیم شهری» است.

۲- دانشجوی دکتری، گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران Zarifianmehr@gmail.com

۳- استادیار، گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) l.jahanshahloo@srbiau.ac.ir

۴- دانشیار گروه شهرسازی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۵- استاد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

## ۱- مقدمه

باتوجه به افزایش روزافزون مسائل و مشکلات شهرنشینی و جزایر گرمایی شهری، شهرهای کنونی نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و گسترده‌ای برای پیشرفت‌های آینده و حفظ کیفیت محیط شهری خود هستند.

(Jusuf, Ignatius, Wong, & Tan, 2017; Unger, 2009)

از طرفی هندسه دره‌های شهری، که با تغییر ارتفاع، طول و فاصله ساختمان‌ها تعریف می‌شوند، تأثیر قابل توجهی بر مبادلات انرژی و در نتیجه درجه حرارت مناطق شهری دارند (Grimmond, Potter, Zutter, & Souch, 2001). اما این درجه حرارت

نیز به‌نوبه خود بستگی به تعدادی از عوامل جغرافیایی-هندسی (مثل SVF) و متغیرهای هواشناسی دارد (Upmanis & Chen, 1999). یکی از شاخص‌های معمول برای توصیف هندسه شهری، SVF است (Chen et al., 2012). به دلیل کاربرد در اقلیم شهری و مدل‌های UHI و سهم بودن در داده‌های مکانی - فضایی و وجود تکنیک‌های در دسترس، به یکی از مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های UHI تبدیل شده است (Drezner & Shaker, 2010; Jusuf et al., 2017; Yamashita, Sekine, Shoda, Yamashita, & Hara, 1986). در مطالعات اقلیمی نیز SVF به‌عنوان یک پارامتر هندسی مهم، به دلیل همبستگی با عملکرد دمای محلی<sup>۱</sup> و اهمیت بالقوه آن در فرآیند طراحی شهری مورد توجه است (Li, PUTRA, & Yang, 2004).

از طرفی در پژوهش‌ها، اغلب برای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به اطلاعات سطحی، از مدل‌های فضایی استفاده می‌شود. از همین رو در سال‌های اخیر با گسترش تحلیل‌های مکانی؛ مدل‌های فضایی و روش‌های درونیابی گسترش پیدا کرده‌اند (سیفی و میرزایی، ۱۳۹۶). همچنین توسعه مدل‌های درونیابی خودکار آماری، به مدت طولانی، مسأله‌ای داغ در جامعه GIS بوده است. با این حال، این بحث بسیار پیچیده و چالش برانگیز است؛ چرا که هر مدل آماری براساس داده‌های کاربران عمل می‌کند و داده‌ها نیز اغلب، بسیار پیچیده بوده و توصیف آن‌ها به لحاظ ریاضی بدون تعامل،

بسیار سخت خواهد بود (Krivoruchko, 2012). از همین روست که انتخاب یک روش درونیابی مناسب برای داده‌ها آسان نیست و برای رسیدن به سطح پیوسته، هنوز روش جامعی وجود ندارد و روش‌های درونیابی مکانی در حال تکامل هستند و نمی‌توان یک روش را برای هر منظور و هر منطقه تجویز کرد (سیفی و میرزایی، ۱۳۹۶). به عبارت دیگر، برآورد تغییرات مکانی داده‌های نقطه‌ای بدون توجه به چگونگی انتخاب روش مناسب می‌تواند از عوامل مهم ایجاد خطا در برآورد و انجام مطالعات آتی وابسته به آن باشد (شمسی‌پور، ۱۳۹۳، ص. ۳۷).

با توجه به اینکه ماهیت داده‌های SVF از نوع داده‌های نقطه‌ای است، مسأله‌ی اصلی پژوهش بررسی روش‌های مختلف درونیابی و گزینش دقیق‌ترین آن‌ها برای تخمین مقادیر مبهم محدوده‌ی مورد مطالعه است. از این رو مروری بر روش‌های تخمین SVF نیز انجام شده است. جدول شماره ۱ پیشینه‌ای از روش‌های تخمین SVF با تأکید بر روش نرم‌افزاری و تکنیک GIS، که بستر اصلی پژوهش حاضر است را نشان می‌دهد. همچنین مروری بر ادبیات موضوع این فرضیه را مطرح کرده است که: باتوجه به آزمون‌های گسترده‌ای که با استفاده از طیف وسیعی از داده‌ها انجام شده است، کریجینگ بیضی تجربی (EBK) یک درونیابی اتوماتیک قابل اعتماد برای تخمین ضریب دید به آسمان (SVF) است.

بر این اساس، پژوهش حاضر برای رد یا اثبات فرضیه مذکور، سه گام را در پیاده سازی داده‌ها طی کرده است. نگراره ۱ فرایند کلی پژوهش و گام‌های تخمین SVF محدوده‌ی مورد مطالعه و مقایسه‌ی روش‌های درونیابی را نشان می‌دهد. هر یک از گام‌های پژوهش، شامل فعالیت‌هایی هستند که مفصلاً در پیاده‌سازی داده‌ها مورد بحث قرار گرفته‌اند.

به طور کلی این مقاله در پنج بخش تدوین شده است. در ابتدا، مقدمه که شرح مختصری از مسأله و پیشینه موضوع را بیان می‌کند. دوم، مبانی نظری که ادبیات موضوع، شامل



## ۱-۲- درونیابی<sup>۱</sup>

درونیابی صورت می‌گیرد. در روش دوم، درونیابی احتمالی - زمین‌آماری است که براساس ویژگی‌های آماری نقاط نمونه‌گیری شده انجام می‌گیرد (کلاتری، قهرمانی، خسروی، و جباری، ۱۳۸۸).

به دست آوردن مقادیر محیطی قابل‌اعتماد می‌تواند پرهزینه و دشوار باشد، بنابراین توانایی پیش‌بینی مقادیری که در آن‌ها مشاهدات در دسترس نمی‌باشد، بسیار مهم است (Krivoruchko, 2012).

## ۱-۲-۲- درونیابی جبری یا قطعی<sup>۲</sup>

این درونیابی فرض می‌کند که تخمین پدیده مورد نظر قطعی انجام می‌شود و با خطا مواجه نیست، بنابراین درونیابی جبری یک درونیابی غیراحتمالی است. این گونه درونیابی دقیق<sup>۵</sup> است و مقدار برآوردی تنها تابعی از ساختار مکانی متغیر مورد نظر است و در آن نشانی از تغییرات تصادفی وجود ندارد (شمسی‌پور، ۱۳۹۳: ۴۱-۴۰). از آنجا که اندازه‌گیری‌ها همواره با مقداری خطا همراهند و برآوردها نمی‌توانند دقیق‌تر از اندازه‌گیری‌ها باشند، لذا روش‌های درونیابی جبری تنها زمانی سودمند خواهند بود که مقدار خطای اندازه‌گیری به اندازه کافی کوچک باشد. از این گذشته اگر تغییرات مکانی خیلی زیاد باشد، مدل‌های زمین‌آماری نتایج بهتری دارند (قهرودی تالی و بابایی فینی، ۱۳۹۴: ۱۷۴). شش روش زیر از جمله‌ی این روش‌ها هستند:

بر این اساس، زمانی که پدیده‌ها بصورت نقطه‌ای برداشت می‌شوند، روش‌های خاصی برای شکل دادن یا لایه ساختن آنها بکار می‌رود که درونیابی نام دارد (قهرودی تالی و بابایی فینی، ۱۳۹۴، ص. ۷۰).

بنا به تعریف، درونیابی مکانی، فرایندی است که در آن با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در نقاط معلوم، مقادیر نقاط مجهول برآورد می‌شود (شمسی‌پور، ۱۳۹۳: ۳۹). لذا برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند، درونیابی می‌گویند (قهرودی تالی و بابایی فینی، ۱۳۹۴: ۷۲). اغلب برای درونیابی، از GIS با هدف استخراج توزیع مکانی متغیرها در قالب شبکه‌های سلولی (رستری) و یا مدل‌های برداری استفاده می‌شود (شمسی‌پور، ۱۳۹۳: ۳۹).

## ۲-۲- روش‌های درونیابی

• **وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)<sup>۶</sup>**  
در این روش فرض اساسی بر این است که میزان همبستگی و تشابه بین همسایه‌ها با فاصله بین آن‌ها متناسب است که می‌توان آن را به صورت تابعی با توان معکوس از فاصله هر نقطه از نقاط همسایه تعریف کرد (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵: ۱۰۳). درونیابی در روش IDW به این ترتیب برآورد می‌شود که محدوده مورد نظر تبدیل به ماتریسی با سلول‌های هم اندازه می‌شود. مختصات مکانی این ماتریس روشن است و دارای واحد اندازه‌گیری می‌باشد. در این شبکه مقدار متغیر در سلول‌هایی معلوم است. سلول‌هایی که ارزش آن نامعلوم است با استفاده از سلول‌های اطراف

روش‌های درونیابی، مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف ریاضی و آماری را برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم بکار می‌گیرند. آنچه مسلم است شباهت نقاط مجهول به نزدیکترین نقاط معلوم یا اصل نزدیکترین همسایه پایه روش‌های درونیابی است و اینکه چگونه این اصل مورد استفاده قرار می‌گیرد بستگی به مدل انتخابی دارد. در یک دسته‌بندی کلی، روش‌های درونیابی به دو رده بزرگ تقسیم می‌شوند (قهرودی تالی و بابایی فینی، ۱۳۹۴: ۷۳): روش اول قطعی یا جبری است که در این شیوه بر اساس تعیین سطح نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌هایی مانند روش وزندهی عکس فاصله<sup>۲</sup> یا درجه هموارسازی (توابع پایه شعاعی)<sup>۳</sup>

4- Deterministic

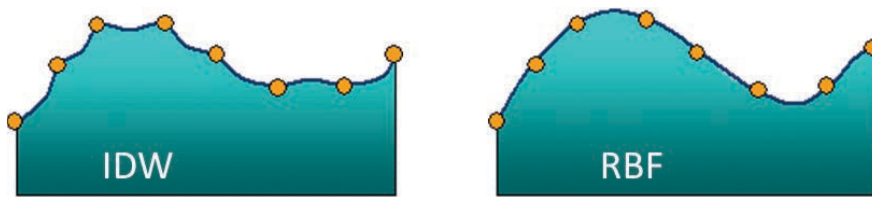
5- Exact

6- Inverse Distance Weighting (IDW)

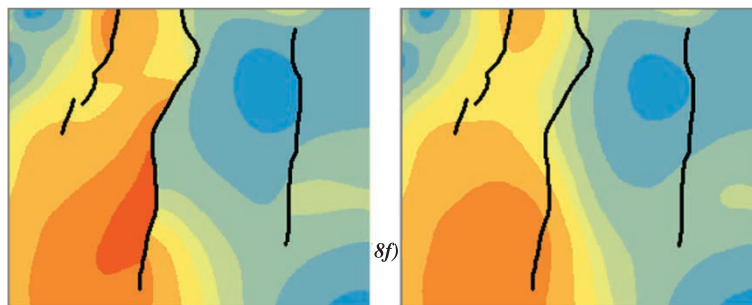
1- Interpolation

2- Inverse Distance Weighting (IDW)

3- Radial Basis Functions (RBF)



نگاره ۲: تفاوت روش IDW و RBF در سطح تخمین



نگاره ۳: درون‌یابی کرنل بدون موانع (راست) - درون‌یابی کرنل با موانع (چپ) (Esri, 2018c)

در یک شعاع مشخص بر اساس فرمول زیر برآورد می‌شود (قهرودی تالی و بابایی فینی، ۱۳۹۴: ۹۱):

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

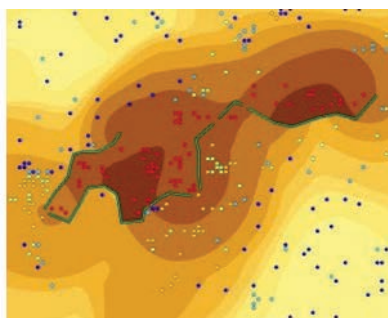
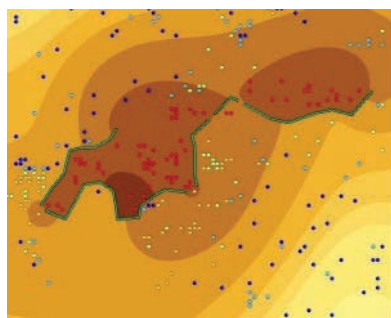
● **درون‌یابی چندجمله‌ای کلی - سراسری (GPI)<sup>۷</sup>**  
 این نوع از درون‌یابی با استفاده از تمامی نقاط موجود در یک محدوده و با کمک فرمول ریاضیاتی چند جمله‌ای، سطحی را برای کل منطقه تعیین و برازش می‌دهد. در صورتی که سطح دارای تغییرات ملایم و یکنواخت باشد، استفاده از این تابع چند جمله‌ای درجه یک مناسب به نظر می‌رسد (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵: ۱۰۷).

● **درون‌یابی چندجمله‌ای محلی (LPI)<sup>۸</sup>**  
 در حالی که GPI یک چندجمله‌ای را برای کل سطح استفاده می‌کند، اما LPI برای یک سطح پیوسته چندین معادله‌ی چند جمله‌ای را بکار می‌برد. این روش انعطاف‌پذیرتر از روش GPI است. این روش اجازه‌ی بررسی خود همبستگی داده‌ها را نمی‌دهد و انعطاف‌پذیری کمتری نسبت به روش کریجینگ دارد. LPI همچنین برای ایجاد سطوح صاف و شناسایی روندهای طولانی<sup>۹</sup> در مجموعه داده‌ها مفید است و هیچگونه پیش‌فرضی نیز برای داده‌ها ندارد (Esri, 2018e).

● **توابع پایه شعاعی یک سری از تکنیک‌های درون‌یابی دقیق هستند؛ در این تکنیک، سطح باید از میان هر مقدار نمونه اندازه‌گیری شده عبور کند. تفاوت RBF با روش IDW در این است که در روش فعلی مقادیر بیش و یا کمتر از حداکثر و حداقل مشاهده‌ای در سطح برآورد وجود دارد (نگاره ۲). علاوه بر این، برای این روش، پنج تابع اساسی مختلف<sup>۱</sup> (TPS)<sup>۲</sup>، (SWT)<sup>۳</sup>، (CRS)<sup>۴</sup>، (MF)<sup>۵</sup> و (IMF)<sup>۶</sup> وجود دارد (Esri, 2018f).**

7- Global Polynomial Interpolation(GPI)  
 8- Local Polynomial Interpolation(LPI)  
 9- long-range trends

1- Radial Basis Function (RBFs)  
 2- Thin-plate spline  
 3- Spline with tension  
 4 - Completely regularized spline  
 5- Multiquadric function  
 6- Inverse Multiquadric Function



نگاره ۴: مقایسه‌ی مدل KIB (راست) با مدل DIB (چپ) (Esri, 2018b)

• درون‌یابی کرنل با موانع (KIB)<sup>۱</sup>

KIB یک نوع LPI است که از ناپایداری (بی‌ثباتی) در محاسبات جلوگیری می‌کند. این امر با استفاده از روشی شبیه به مدل استفاده شده در رگرسیون سلسله مراتبی<sup>۲</sup> برای تخمین ضرایب رگرسیون انجام می‌شود. خطای پیش‌بینی LPI با فرض این که مدل صحیح است تخمین زده می‌شود. یعنی تعداد شرایط فضایی (SCN)<sup>۳</sup>، در همه جا بسیار کوچک است. این فرض اغلب مورد تخطی قرار می‌گیرد و SCN مناطقی را نشان می‌دهد که در آن پیش‌بینی‌ها و خطاهای استاندارد پیش‌بینی (PSE)<sup>۴</sup> ناپایدار هستند. این مسأله در مدل با استفاده از RP<sup>۵</sup> با معرفی مقدار کمی بایاس<sup>۶</sup> به معادلات، تصحیح می‌شود. این باعث می‌شود که نقشه SCN غیر ضروری باشد. از این رو، درون‌یابی کرنل تنها پیش‌بینی و PSE را برای سطح خروجی ارائه می‌دهد. از آنجا که RP جهت تثبیت پیش‌بینی‌ها، بایاس را معرفی می‌کند، RP باید تا حد امکان کوچک باشد و در عین حال همچنان پایداری مدل را حفظ کند. تفاوت دیگر بین این دو مدل این است که مدل کرنل از کوتاه‌ترین فاصله بین نقاط استفاده می‌کند به طوری که نقاط دو طرف مانع با مجموعه‌ای از خطوط مستقیم به هم متصل می‌شوند (Esri, 2018c). درون‌یابی کرنل در دو حالت بدون موانع و با موانع در نگاره ۳ نشان داده شده است.

• درون‌یابی انتشار با موانع (DIB)<sup>۷</sup>

درون‌یابی انتشار به راه‌حل اساسی معادله گرمایی که چگونه گرما یا ذرات با گذشت زمان در یک محیط همگن پخش می‌شوند، اشاره دارد. با استفاده از این روش، پیش‌بینی‌ها به آرامی در اطراف موانع جریان پیدا می‌کنند. در غیاب موانع، پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط درون‌یابی انتشار، تقریباً شبیه پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط درون‌یابی کرنل با کرنل گاوسی است. درون‌یابی انتشار، از یک معیار فاصله پیچیده که توسط سطح هزینه<sup>۸</sup> تعریف شده است، استفاده می‌کند. این تابع که تابع شبکه‌ای رایجی نیز هست، هزینه (مقادیر) جابجایی از یک سلول به سلول بعدی را محاسبه می‌کند. این مدل، پیش‌بینی‌هایی را به طور خودکار بر روی شبکه‌های انتخاب‌شده (سلول‌ها) تولید می‌کند، در حالی که در سایر مدل‌های افزونه‌ی تحلیلگر زمین‌آمار (GAE)<sup>۹</sup> از مثلث‌ها با اندازه‌های متغیر استفاده شده است. نتیجه DIB با سطح هزینه، در نگاره ۴ چپ، با پیش‌بینی ایجاد شده با استفاده از KIB، در سمت راست مقایسه شده است. در مورد تغییرات و پیش‌بینی DIB، شکل کرنل در نزدیکی مانع با توجه به معادله انتشار، تعیین‌کننده است، در حالی که در مورد KIB، کوتاه‌ترین فاصله بین نقاط، تغییرات را رقم می‌زند (Esri, 2018b).

۲-۲-۲- درون‌یابی احتمالی<sup>۱۰</sup> - تصادفی (زمین‌آمار)<sup>۱۱</sup>

این تکنیک نقاط مجهول را بر اساس خود همبستگی

7- Diffusion Interpolation with Barriers

8- Cost Surface

9- Geostatistical Analyst Extension

10- Probabilistic

11- Geostatistical

1- Kernel interpolation With Barriers

2- ridge

3- Spatial Condition Number

4- Prediction Standard Errors

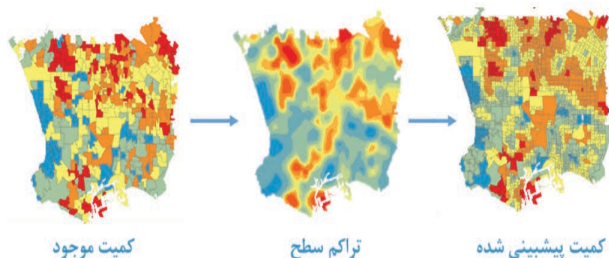
5- Ridge Parameter

6- bias

نوع آن، مدل‌هایی جهت برازش به سمی‌واریوگرام انتخاب می‌شوند که شامل: مدل‌های کروی<sup>۹</sup>، دایره‌ای<sup>۱۰</sup>، نمایی<sup>۱۱</sup>، گوسی<sup>۱۲</sup>، خطی<sup>۱۳</sup> و ... هستند.

#### • درون‌یابی محدوده‌ای-فضایی (AI)<sup>۱۴</sup>

AI در GAE نرم‌افزار ArcGIS است. AI تکنیکی زمین‌آماري است، که تئوری کریجینگ را در چند ضلعی‌ها گسترش می‌دهد. اگرچه روش‌های درون‌یابی دیگر، ورودی چند ضلعی را می‌پذیرند، اما ارزش چندضلعی را با مرکز آن مرتبط می‌دانند و آن را به عنوان نقطه مورد نظر قرار می‌دهند. بنابراین، اندازه چندضلعی در نظر گرفته نمی‌شود، لذا این روش‌ها برای محاسبه داده‌ها مناسب نیستند. همچنین پیش‌بینی‌ها و خطاهای استاندارد<sup>۱۵</sup> برای تمام نقاط درون و بین چند ضلعی‌های ورودی، می‌تواند محاسبه شود. سپس پیش‌بینی‌ها (به همراه خطاهای استاندارد) به مجموعه جدیدی از چندضلعی تبدیل می‌شوند (نگاره ۵). روش‌های دیگر کریجینگ به داده‌های نقطه‌ای که پیوسته و دارای تابع گوسی باشند نیاز دارند، درحالی که AI، اجازه می‌دهد تا داده‌های چندضلعی، گسسته باشند (Esri, 2018g).



نگاره ۵: بازبازی مجدد چند ضلعی به چند ضلعی<sup>۱۶</sup>

(Esri, 2018g)

بین نقاط اندازه‌گیری شده و ساختار فضایی آنها پیش‌بینی می‌کند. در واقع درون‌یابی زمین‌آماري، یک درون‌یابی غیر دقیق<sup>۱</sup> یا احتمالی است که در آن نقاط پیش‌بینی شده با اندازه‌های واقعی تفاوت دارد (تهرودی تالی و بابایی فینی، ۱۳۹۴: ۱۷۴). این نوع درون‌یابی می‌تواند از تاثیر داده‌های نادر مثل پیشینه‌ها و کمینه‌های مطلق جلوگیری کند (شمسی‌پور، ۱۳۹۳: ۴۱). این نوع درون‌یابی سه روش دارد:

#### • کریجینگ

کریجینگ یک روش برآورد زمین‌آماري است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. به طوری که می‌توان گفت این روش بهترین برآوردکننده خطی نارایب است. شرط نارایب بودن در سایر روش‌های تخمین، نظیر روش چندجمله‌ای و IDW نیز اعمال می‌شود، ولی ویژگی کریجینگ آن است که در عین نارایب بودن، واریانس تخمین نیز در کمترین مقدار است. بنابراین کریجینگ همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می‌دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد آن می‌توان قسمت‌های واجد خطای زیاد که برای کاهش خطا به داده‌های بیشتری نیاز دارند را مشخص نمود (سنی و میرزایی، ۱۳۹۶). در این روش، فرض بر این است که داده‌ها از یک فرآیند تصادفی<sup>۲</sup> ثابت ناشی شده‌اند، و در برخی از روش‌های آن، داده‌های نرمال نیز پیش فرض هستند (Esri, 2018d). کریجینگ طیف وسیعی از روش‌های حداقل مربعات از پیش‌بینی فضایی را پوشش می‌دهد. روش‌های مختلف کریجینگ شامل موارد زیر است: کریجینگ معمولی<sup>۳</sup>، کریجینگ ساده<sup>۴</sup>، کریجینگ عام<sup>۵</sup>، کریجینگ شاخص<sup>۶</sup>، کریجینگ منفصل یا گسسته<sup>۷</sup> و کریجینگ احتمالاتی<sup>۸</sup>. در هر یک از این روش‌ها به فراخور

9- SPHERICAL  
 10- CIRCULAR  
 11- EXPONENTIAL  
 12- GAUSSIAN  
 13- LINEAR  
 14- Areal Interpolation  
 15- Predictions and standard errors  
 16- Polygon-to-polygon reaggregation

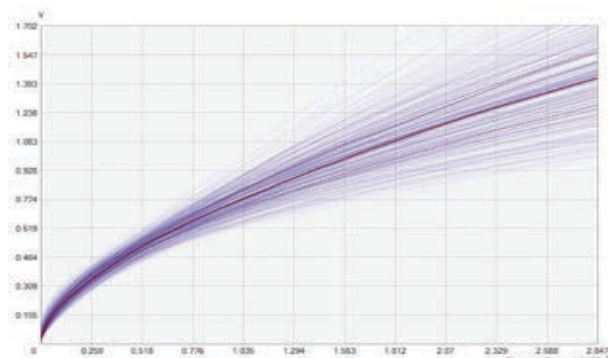
1- INexact  
 2- stochastic  
 3- Ordinary  
 4- Simple  
 5- Universal  
 6- Indicator  
 7- Disjunctive  
 8- Probability

### ● کریجینگ بیضی تجربی (EBK)<sup>۱</sup>

EBK یک روش درونیابی زمین‌آمار است که دشوارترین جنبه‌های ساخت یک مدل کریجینگ معتبر را خودکارسازی کرده است. این در حالی است که در دیگر روش‌های کریجینگ پارامترها به طور دستی برای دریافت نتایج دقیق تنظیم می‌شوند، اما EBK به طور خودکار این پارامترها را از طریق یک فرآیند تنظیم فرعی<sup>۲</sup>، شبیه‌سازی و محاسبه می‌کند (Esri, 2018h). EBK با دیگر روش‌های کریجینگ-که محاسبه خطا توسط سمی‌واریوگرام پایه تخمین زده می‌شود- تفاوت دارد. در کریجینگ کلاسیک فرض می‌شود که سمی‌واریوگرام تخمین زده‌شده، سمی‌واریوگرام صحیحی از داده‌های مشاهده شده است. این به این معنی است که داده‌ها، از توزیع گاوسی با ساختار همبستگی تعریف شده توسط سمی‌واریوگرام برآوردشده، تولید شده‌اند. این یک پیش فرض بسیار قوی است، و به ندرت در عمل صادق است (Krivoruchko, 2012). به عبارت بهتر سایر روش‌های کریجینگ، سمی‌واریوگرام را از محل داده‌های معلوم محاسبه کرده و فقط از این تک‌سمی‌واریوگرام برای پیش‌بینی سایر مقادیر نامعلوم استفاده می‌کنند؛ این فرآیند به طور ضمنی فرض می‌کند که سمی‌واریوگرام تخمین زده شده، سمی‌واریوگرام حقیقی<sup>۳</sup> برای منطقه درونیابی است. سایر روش‌های کریجینگ به دلیل عدم قطعیت تخمین سمی‌واریوگرام، خطاهای استاندارد پیش‌بینی را دست‌کم می‌گیرند (Esri, 2018h). از این رو، اقدامی باید انجام شود تا مدل آماری، واقع‌گرایانه‌تر شود. روش EBK با روش‌های کریجینگ کلاسیک-که بر مبنای محاسبه خطای معرفی شده به وسیله‌ی برآورد مدل سمی‌واریوگرام- متفاوت است. این کار ابتدا با تخمین و سپس با استفاده از تعداد بسیار زیادی از سمی‌واریوگرام به جای یک سمی‌واریوگرام انجام می‌شود. این فرآیند شامل مراحل زیر است (Krivoruchko, 2012):

- ۱- برآورد یک مدل نیم‌تغییرنا از داده‌ها

۲- شبیه‌سازی یک مقدار جدید با استفاده از این سمی‌واریوگرام  
۳- برآورد یک مدل سمی‌واریوگرام جدید از داده‌های شبیه‌سازی شده. سپس با استفاده از قاعده بیزی، وزنی برای این سمی‌واریوگرام جدید محاسبه می‌شود، که چگونگی تولید داده‌های مشاهده‌شده از سمی‌واریوگرام را نشان می‌دهد. مراحل ۲ و ۳ تکرار می‌شوند. با هر تکرار، سمی‌واریوگرامی که در مرحله ۱ تخمین زده می‌شود برای شبیه‌سازی مجموعه جدیدی از مقادیر استفاده می‌شود. این فرآیند طیفی از سمی‌واریوگرام‌ها را ایجاد می‌کند. هر سمی‌واریوگرامیک تخمین از سمی‌واریوگرام حقیقی است که فرآیند مشاهده می‌تواند تولید کند. نگاره ۶ طیف مدل‌های سمی‌واریوگرام ترسیم شده با هم را نشان می‌دهد. میانه توزیع با یک خط قرمز توپر نشان داده شده است. ۲۵٪ و ۷۵٪ با خط چین قرمز رنگ مشخص شده‌اند. عرض خطوط آبی متناسب با وزن سمی‌واریوگرام است به طوری که مدل‌های با وزن‌های کوچک‌تر با خطوط نازک‌تر نشان داده می‌شوند (Krivoruchko, 2012).



نگاره ۶: طیف وسیعی از مدل‌های سمی‌واریوگرام تولید

شده توسط EBK (Krivoruchko, 2012)

استفاده از توزیع مدل‌های سمی‌واریوگرام - به جای تنها یک مدل، مزیت بزرگی نسبت به مدل‌های کلاسیک کریجینگ ارائه می‌دهد. با این حال، EBK چندین مزیت دیگر دارد: این مدل می‌تواند برای داده‌های غیرثابت<sup>۴</sup> و مناطق بزرگ استفاده شود و همچنین داده‌ها را می‌توان به صورت محلی به یک توزیع گاوسی تبدیل کرد (Krivoruchko, 2012). سایر مزایا و معایب این روش در جدول ۲ فهرست شده‌اند.

6- nonstationary

1- Empirical Bayesian Kriging

2- sub setting

3- Semivariogram

4- single

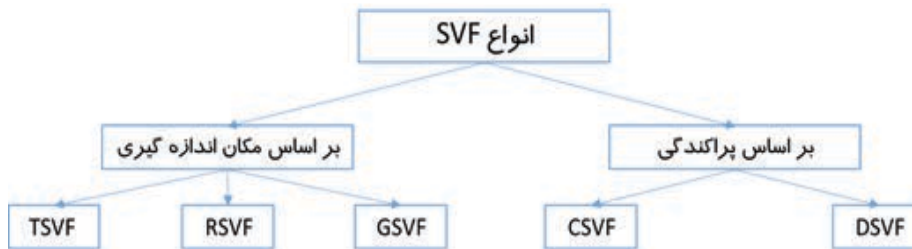
5- true



فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( ... )  
 تخمین شاخص ضریب دید به آسمان (SVF) / ... / ۱۰۵



نگاره ۷: راست: تصویر سطح دیده شده ساختمان بر روی سطح نیم کره فرضی (Unger, 2009)؛ وسط: نمونه‌ای از تصاویر  
 چپ: انواع SVF بر اساس مکان اندازه‌گیری (Chun & Guldmann, 2014)؛ FE(Chen et al., 2012)



نگاره ۸: تقسیم‌بندی SVF  
 بر اساس پراکندگی و  
 مکان اندازه‌گیری

### ۲-۳- ضریب دید به آسمان (SVF)

SVF، پارامتری در اقلیم‌شناسی شهری است که نشان‌دهنده میزان آسمان مشاهده شده از نقطه‌ای بر روی زمین است. نسبتی هندسی که کسری از آسمان قابل مشاهده از دیدگاه ناظر را بیان می‌کند (De Souza & Da Silva, 2006). فاکتوری کمی و بدون بُعد، بین ۱ و ۰ است (Bottyan & Unger, 2003; L Chapman, Thornes, & Bradley, 2001; Oke, 1988) که هندسه سطح را توصیف می‌کند.

عدد ۱ به معنای آسمان کامل و هر چه به صفر نزدیک می‌شود، آسمان به وسیله عناصر مصنوع یا طبیعی پوشیده می‌شود. هدف آن کشف اثرات یک سطح پیچیده شهری بر فرایندهای اقلیمی مناطق ساخته‌شده‌ی شهری است (Hämmerle, Gál, Unger, & Matzarakis, 2011).

### ۲-۴- انواع ضریب دید به آسمان

SVF به لحاظ نوع پراکندگی در محیط به دو گونه‌ی منقطع (DSVF) و پیوسته (CSVF) تقسیم می‌شود: علاوه بر این، سه گونه SVF بر اساس مکان اندازه‌گیری (نگاره ۷ چپ) نیز وجود دارد (Chun & Guldmann, 2014). انواع

### جدول ۲: مزایا و معایب روش EBK

توضیحات	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● کوکریجینگ و تصحیحات آنستروفیک<sup>۱</sup> ندارد.</li> <li>● سرعت پردازش، به خصوص وقتی که خروجی داده‌ها رستری باشد، کندتر از دیگر روش‌های کریجینگ است.</li> <li>● تبدیل لوگ تجربی<sup>۲</sup> به طور خاص - به موارد پرت حساس است. بنابراین اگر در این تبدیل، از داده‌های پرت استفاده شود، ممکن است پیش‌بینی‌ها، بزرگ‌تر یا کوچک‌تر از مقادیر ورودی باشند.</li> <li>● زمان پردازش، با نقاط ورودی، اندازه زیرمجموعه و یا افزایش ضریب همپوشانی، سریعاً افزایش می‌یابد. بکار بردن دگرگونی<sup>۳</sup> نیز زمان پردازش را افزایش خواهد داد، به خصوص اگر K-Bessel یا K-Bessel Detrended برای نوع مدل سمی‌واریوگرام انتخاب شود.</li> </ul>	معایب
<ul style="list-style-type: none"> <li>● به حداقل مدل‌سازی تعاملی نیاز دارد.</li> <li>● امکان پیش‌بینی دقیق از داده‌های نسبتاً ثابت را فراهم آورد.</li> <li>● خطاهای استاندارد پیش‌بینی، از سایر روش‌های کریجینگ دقیق‌تر است.</li> <li>● برای مجموعه داده‌های کوچک، دقیق‌تر از دیگر روش‌های کریجینگ است.</li> </ul>	مزایا

منبع: (Esri, 2018h)

- 1- Anisotropic
- 2- Log Empirical transformation
- 3- Transformation

هنگام استفاده از محاسبات عکاسی برای تخمین توزیع نور خورشید در مطالعات تاج پوششی جنگل، مورد استفاده قرارداد، اما تنها از دهه ۱۹۸۰ است که روش‌های عکاسی به اندازه کافی در تعیین SVF در تحقیقات اقلیم شهری مورد توجه قرار گرفته‌اند (Chen et al., 2012).

استین (Steyn, 1980) روشی را برای به دست آوردن SVF صحیح هندسی با استفاده از تصاویر چشم ماهی (FE)<sup>۸</sup> (نگاره ۷، وسط) برای محیط‌های شهری پیچیده معرفی کرده است (Unger, 2009). در ادامه تجربیاتی برای خودکار کردن این روش‌ها انجام گرفت (Barring, Mattsson, & Lindqvist, 1985). علاوه بر این، در ادامه روند رو به تکامل این روش، گرموند و همکاران، اسونسون (Svensson, 2004)، هولمر (Holmer, 1992)، چپمن و همکاران (L Chapman et al., 2001)، لیانگ (Liang et al., 2017) و سایرین (Lee Chapman, Thornes, Muller, & McMuldroy, 2013; Debbage, 2007) نیز مطالعاتی در این زمینه انجام داده‌اند.

### ۲-۵-۳- روش نرم‌افزاری

با عنایت به اینکه در محیط‌های شهری، SVF عمدتاً توسط ساختمان‌ها به‌عنوان عنصر اصلی سطح زمین تعیین می‌شود (Unger, 2009)؛ سوزا و مندس (Souza, Rodrigues, & Mendes, 2003b) اقدام به توسعه‌ی روشی برای تخمین SVF در محیط‌های شهری به‌وسیله‌ی GIS، کرده‌اند. در ادامه یونگر (Unger, 2009) نیز در مطالعات خود، الگوریتمی را بر اساس پژوهش سوزا (Souza, Rodrigues, & Mendes, 2003a; Souza et al., 2003b) و با استفاده از برنامه Arc View 3.2، ارائه کرده است.

گال و همکاران (T. Gál, Lindberg, & Unger, 2008; T. M. Gál, Rzepa, Gromek, & Unger, 2007) "چون و گلدمن" (Chun)<sup>۹</sup> (Guldman, 2014) نیز در پژوهش‌های خود این مقدار را حساب کردند. علاوه بر این چن و همکاران (Chen et al., 2012) یک روش نرم‌افزاری سریع برای محاسبه مقادیر CSVF را پیشنهاد دادند. تصویرسازی این الگوریتم در نگاره

تقسیم‌بندی SVF در نگاره ۸ نشان داده شده است. این پژوهش به دنبال تبدیل DSVF به CSVF با توجه به داده‌های GSVF است.

### ۲-۵-۵- پیشینه روش‌های محاسبه SVF

تاکنون روش‌های گوناگونی برای محاسبه SVF با در نظرگیری تکنیک‌های مختلف پیشنهاد گردیده؛ در ادامه به تشریح برخی از این موارد پرداخته شده است.

### ۲-۵-۱- روش تحلیلی (هندسی)<sup>۱</sup>

برای اولین بار نوعی از روش محاسبه SVF به‌وسیله جانسون و واتسون (Johnson & Watson, 1984) ارائه شد. محاسبه SVF از این طریق فقط نیاز به "ارتفاع" و "زوایای آزیموت ساختمان" دارد (Unger, 2009). در این روش، پایه‌ی تخمین SVF بر روی مشخصات هندسی و "مدل تبادل تابش" دره‌های شهری قرار دارد (Chen et al., 2012). اوکه (Oke, 1981) برای دره متقارن شهری در طول بی‌نهایت، و جانسون و واتسون (Johnson & Watson, 1984) توضیحات مشابهی برای دره‌های نامتقارن در طول محدود، ارائه کرده‌اند (Watson & Johnson, 1987). این نوع از روش‌ها (تحلیلی)<sup>۵</sup> پارچوب نظری‌ای برای تعیین SVF یک نقطه خاص در ساختارهای شهری مختلف ارائه می‌دهند. آن‌ها برای ساختارهای ساده مناسب هستند و می‌توان از آن‌ها برای آزمایش الگوریتم و آنالیز پارامتری استفاده کرد (Chen et al., 2012).

### ۲-۵-۲- روش عکاسی<sup>۶</sup>

احتمالاً اندرسون (Anderson, 1964) اولین کسی بود که مسئله «ضریب دید»<sup>۷</sup> را از طریق یک رویکرد عکاسی در

- 1- Analytical (geometrical)
- 2- Elevation
- 3 - Azimuth angles of a building
- 4- Radiation Exchange Model

۵- ایلپاسون (Eliasson, 1992) با نام روش گرافیکی (graphical method) از آن یاد می‌کند.

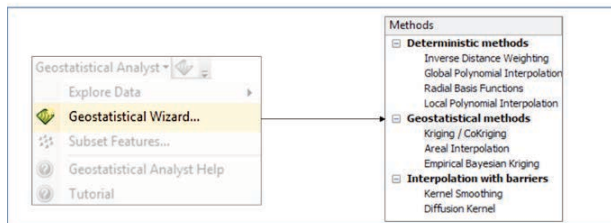
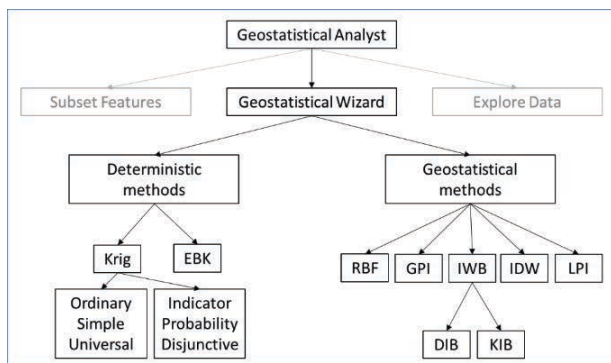
- 6- Photographic
- 7- View factor

8- Fish Eye

9- B. Chun, J.M. Guldman

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۰۷)**  
 تخمین شاخص ضریب دید به آسمان (SVF) / ... / ۱۰۷

کاربردهای مرتبط با جغرافیا و اقلیم شهری گسترش پیدا کرده است (Wong, Jusuf, & Tan, 2011). GIS امکان تجزیه و تحلیل و ذخیره سازی داده های فضایی و غیرفضایی را فراهم می آورد. همچنین GIS قادر به بهینه سازی محاسبات و در عین حال کاهش زمان تصمیم سازی است (De Souza & Da Silva, 2006; Souza et al., 2003b) از همین رو به دلیل قابلیت این سامانه، از آخرین نسخه ی نرم افزار (ArcGIS 10.6) و افزونه ی تحلیلگر زمین آمار (نگاره ۱۰) در تحلیل ها استفاده شده است.



نگاره ۱۰: ساختار شماتیک افزونه تحلیلگر زمین آمار در نرم افزار ArcGIS 10.6 (بالا) و اصل منوها (پایین)

**۳- پیاده سازی**

این پژوهش از حیث هدف، پژوهشی کاربردی است. و فنون تحلیل داده ها کمی است. با توجه به تعدد روش ها و تکنیک های درونیابی و همچنین توابع کرنل و توابع برازش بر مدل ها، در حدود ۱۳۸ سناریوی درونیابی اجرا شد. همچنین از چهار شاخص، جذر متوسط مربع (RMS)<sup>۲</sup>،

2- Root Mean Square

۹ نشان داده شده است. علاوه بر این سایر پژوهشگران نظیر (Matuschek & Matzarakis, 2011; Matzarakis & Matuschek, 2011) و (Matzarakis & Matuschek, 2011; Matzarakis, Mayer, & Chmielewski, 2010, pp. 534-539) و (Asawa, Hoyano, & Nakaohkubo, 2008) و (Vieira & Vasconcelos, 2003) و (Jusuf et al., 2017) و (Lindberg & Grimmond, 2010) و (Ratti, 2001; Ratti & Richens, 1999, 2004) نیز نرم افزارهای دیگری برای محاسبه ی SVF پیشنهاد داده اند.

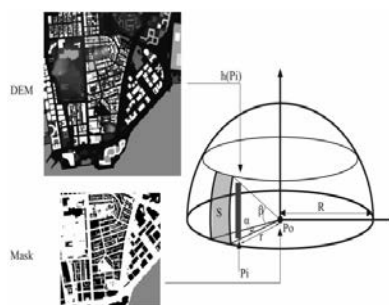


Figure 3. Illustration of the algorithm for calculating SVF. The Mask layer defines the pixels whose SVFs are to be calculated (P0) and the DEM layer stores height information of the urban surface (h(Pi)).  $\alpha$  is the rotation angle and R is the searching radius. Pi is the pixel with the largest elevation angle  $\beta$  along a certain direction. Surface S is the segment of the sky obstructed by Pi.

**نگاره ۹: تصویرسازی الگوریتم محاسبه SVF (Chen et al., 2012)**

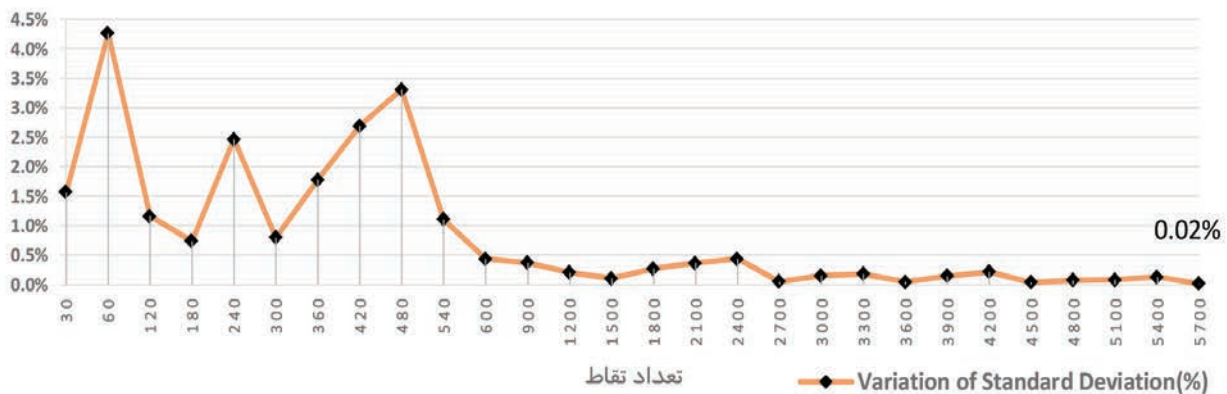
**۲-۵-۴- روش GPS**

در مقایسه با روش های ذکر شده در بالا که بر اساس محاسبه مستقیم SVF هستند، روش GPS با استفاده از داده های پروکسی برای اولین بار توسط چپمن و همکاران (Lee Chapman, Thornes, & Bradley, 2002) توسعه داده شد. همچنین برادلی (Bradley, Thornes, & Chapman, 2001) نیز مطالعاتی برای شهر بیرمنگام انجام داده است. این روش در محیط های شهری نتایج خوبی را نشان می دهد، اما قدرت توضیحی مناسبی در محیط های حومه و روستایی ندارد، چراکه تغییر در پوشش درخت باعث ایجاد نویز در پردازش سیگنال می شود (Chen et al., 2012).

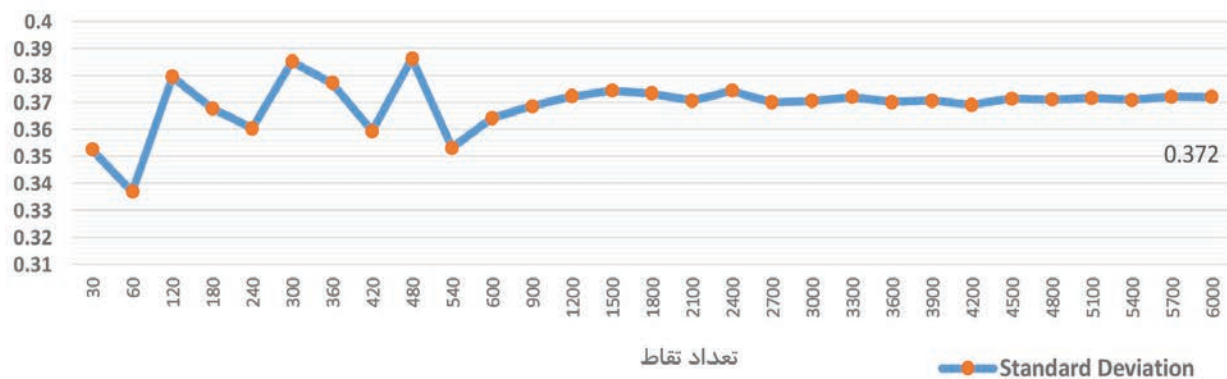
**۲-۶- جی ای اس (GIS)<sup>۱</sup>**

امروزه استفاده از GIS به عنوان ابزاری برای درک و تجزیه و تحلیل مناطق شهری و همچنین تحقیقات و

1- Geographic Information System



نگاره ۱۱: ارتباط تغییرات انحراف معیار (%) با تغییرات حجم نمونه



نگاره ۱۲: ارتباط تغییرات انحراف معیار نمونه با تغییرات حجم نمونه

### ۳-۱-۱- گام اول: اقدامات مقدماتی

در گام اول، اقدامات مقدماتی انجام می‌شود. در این مرحله بنا به تجهیزات، تخصص و توانایی پژوهشگر، داده‌های نقطه‌ای برای مرحله‌ی بعد باید تهیه گردد. در این مرحله می‌توان از هر یک از چهار روشی که برای اندازه‌گیری SVF استفاده می‌شود و شرح آن گذشت، بهره برد.

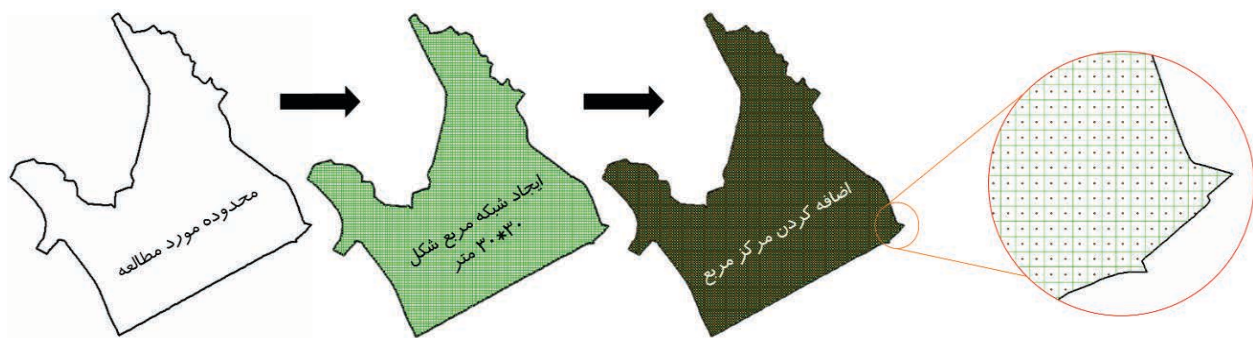
### ۳-۱-۱- تعیین حجم جامعه و نمونه

یکی از دغدغه‌های این پژوهش، تعیین و یا به عبارتی مشخص کردن منطقی تعداد نمونه‌ها بوده است. از طرفی اولین گام در تئوری نمونه‌برداری، تعریف یک جامعه هدف است. در بررسی و ارزیابی‌های محیطی، جامعه تقریباً همیشه توسط مرز یک ناحیه‌ی فیزیکی محدود می‌شود (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵: ۴۹)، که در اینجا، محدوده‌ی مورد مطالعه، منطقه شش شهرداری شیراز است (نگاره ۱۴). باتوجه به

میانگین استاندارد شده (MS)<sup>۱</sup>، جذر متوسط مربع استاندارد شده (RMSS)<sup>۲</sup> و خطای استاندارد میانگین (ASE)<sup>۳</sup>، برای ارزیابی استفاده شده است. داده‌های ورودی شامل ۶۱۵۷ نقطه است که به فواصل ۳۰ متری در محدوده مورد مطالعه اندازه‌گیری شده است. این نقاط بر مبنای روش نرم افزاری محاسبه‌ی SVF و با استفاده از مدل GIS پایه، تهیه شده‌اند.<sup>۴</sup> به طور کلی فرایند این پژوهش در سه گام قابل دسته‌بندی است (نگاره ۱):

- 1- Mean Standardized
- 2- Root-Mean-Square Standardized
- 3- Average Standard Error

۴- جهت کسب اطلاع بیشتر در خصوص مدل استفاده شده، به اصل رساله رجوع شود. این پژوهش قصد ندارد نحوه‌ی اندازه‌گیری SVF را توضیح دهد. چرا که بست این مقوله خود پژوهش جداگانه‌ای را مطالبه می‌کند.



نگاره ۱۳: فرایند ایجاد شبکه (Fishnet) در محدوده‌ی مورد مطالعه

در خصوص چگونگی انتخاب نقاط نیز، از روش نمونه‌گیری نظام‌یافته (سیستماتیک) استفاده شده است. بدین صورت که شبکه‌ی به هم پیوسته‌ی مربع شکلی در داخل محدوده ایجاد شد. اندازه هر ضلع این مربع‌ها ۳۰ متر در نظر گرفته شده است. مرکز هر یک از این مربع‌ها یکی از نقاط نمونه هستند. بر این اساس تعداد نمونه‌ی این پژوهش ۶۱۵۷ نقطه خواهد بود؛ که پس از اندازه‌گیری SVF، در این نقاط، داده‌ها، آماده برای ورود به گام دوم می‌شوند.

### ۲-۳- گام دوم: درونیابی داده‌ها

گام دوم، بخش اصلی فرایند پژوهش را شامل می‌شود. در این مرحله داده‌های ورودی از گام اول به مدل‌های درونیابی وارد می‌شود. روش‌های درونیابی که در دو دسته‌ی اصلی احتمالی و جبری قرار می‌گیرند، در این مرحله به سه دسته تقسیم می‌شوند. دسته‌ی سوم درونیابی با موانع (IWB)<sup>۱</sup> است. لازم به ذکر است که IWB نیز زیر مجموعه‌ی روش‌های جبری است. اما به دلیل اینکه در محیط نرم‌افزار جداگانه آورده شده‌اند (نگاره ۱۰)، در اینجا نیز از آن پیروی می‌شود. متغیرهایی نظیر توابع کرنل<sup>۲</sup> و مدل‌های برازش نیز در هر تکنیک به فراخور امکان آن بکار گرفته شده است. جدول ۳ تعداد سناریوها و متغیرهای هر تکنیک را نشان می‌دهد.

اینکه در این محدوده می‌توان بی‌نهایت نقطه را اندازه‌گیری کرد، لذا حجم جامعه‌ی مورد نظر وصف ناشدنی است. از همین رو به دلیل نامتناهی بودن جامعه و محدودیت‌های مالی، زمانی و سخت افزاری، امکان استفاده از تمام داده‌ها عملاً غیر ممکن است. از این رو پژوهشگر مجبور است به نمونه‌هایی از جامعه بسنده کند.

نمونه‌ها زمانی می‌توانند نماینده‌ی سالمی از جامعه قلمداد شوند، که از نظر شمارگان، کافی باشند (خسروی و عباسی، ۱۳۹۵: ۴۸) و به طور صحیحی نیز انتخاب شده باشند. بر این اساس، روش نمونه‌گیری در این پژوهش از دو مرحله تشکیل شده است: اول تعیین کمیت نمونه (تعداد) و دوم چگونگی انتخاب نمونه‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه.

برای تعیین تعداد نمونه کافی، شاخص انحراف معیار و همچنین درصد تغییرات انحراف معیار بکارگرفته شد. بدین صورت که با افزایش تعداد نمونه مقادیر انحراف معیار نمونه محاسبه گردید. با افزایش حجم نمونه، انحراف معیار کل نمونه تقریباً مقدار ثابتی را بیان می‌کند (نگاره ۱۲). به عبارت دیگر با افزایش حجم نمونه، درصد تغییرات انحراف معیار نمونه کم و کمتر می‌شود و از مقداری به بعد این تغییرات بسیار جزئی بوده و افزایش حجم نمونه عملاً تغییرات قابل توجهی را در نتایج نشان نخواهد داد. بر این اساس و همانگونه که در نگاره ۱۱ نشان داده شده است، هنگامی که حجم نمونه به ۶۰۰۰ نقطه برسد، تغییرات بسیار اندک و انحراف معیار تقریباً باثبات است. از این رو کمیت نمونه نباید از ۶۰۰۰ نقطه کمتر باشد.

1- Interpolation with Barriers

2- Kernel Functions

### ۳-۳- گام سوم: ارزیابی مدل‌ها

گام سوم، ارزیابی سناریوهای ۱۳۸ گانه است. در این مرحله بر اساس شاخص ریشه دوم مربع میانگین (RMS) یا مقدار مؤثر، سناریوها غربال شدند و هفت سناریوی برتر با توجه به سه شاخص دیگر با نام‌های، میانگین استاندارد شده (MS)<sup>۱</sup>، ریشه دوم مربع میانگین استاندارد شده (RMSS)<sup>۲</sup> و خطای استاندارد میانگین (ASE)<sup>۳</sup> مورد ارزیابی قرار گرفتند.

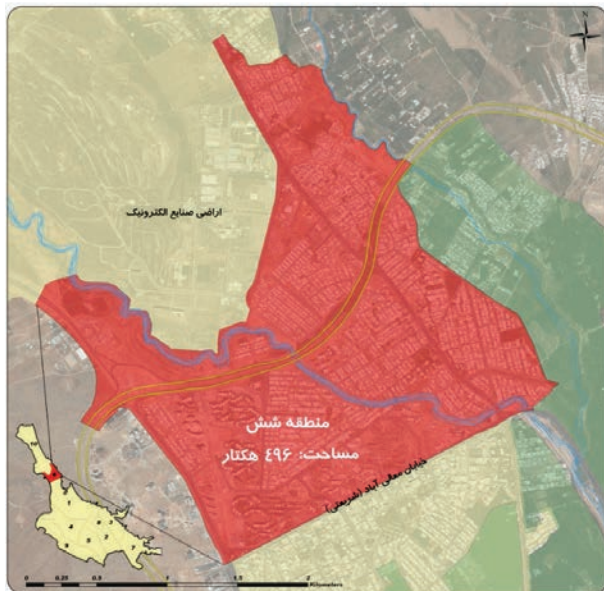
جدول ۳: متغیرها و تعداد سناریوهای اجرا شده در هر تکنیک

روش	تکنیک	تعداد سناریو	تابع کرنل	مدل برازش
Deterministic	IDW	1		
	GPI	1		
	RBF	1		
	LPI	6	*	
Geostatistical	Ordinary	11		*
	Simple	11		*
	Universal	66	*	*
	Indicator	11		*
	Probability	11		*
	Disjunctive	11		*
	EBK	1		
IWB	KIB	6	*	
	DIB	1	*	
جمع		138		

منطقه به لحاظ وسعت، بعد از منطقه ۸ (تاریخی-فرهنگی) کوچکترین منطقه از مناطق شهرداری محسوب شده و مساحتی بالغ بر ۴۹۶ هکتار را داراست (شهرداری شیراز، ۱۳۹۳).<sup>۶</sup> در حال حاضر، تراکم ساختمانی در منطقه شش شهرداری با معضلات بی شماری مواجه است، زیرا بعضی از افزایش تراکم‌ها که با مصوبه کمیسیون ماده پنجم یا بدون مصوبه و یا عدم رعایت دقیق ضوابط و مقررات مربوط در مناطق مسکونی با تراکم طرح تفصیلی مصوب صورت گرفته، باعث افزایش تقاضای ساکنان محله‌ها و پلاک‌های مجاور جهت افزایش تراکم ساختمانی گردیده است (فرهناد و شهروخانه، ج ۱۳۹۳: ۱۵۰).

### ۳-۴-۱- دلایل انتخاب منطقه شش

منطقه شش یکی از مناطق نسبتاً نوساز شهر شیراز است. این منطقه به دلایل زیر به عنوان مطالعه موردی برای این پژوهش انتخاب شده است:  
۱- رشد بالای جمعیت و افزایش تراکم جمعیتی در منطقه (فرهناد و شهروخانه، الف ۱۳۹۳: ۸)



نگاره ۱۴: محدوده منطقه شش و جایگاه آن در نظام

### تقسیمات اداری شهر شیراز

۶- اگرچه در حال حاضر شهرداری شیراز دارای ۱۱ منطقه است و بر این مبنا مرز مناطق نیز تغییر کرده، با این حال به دلیل اینکه آمار و اطلاعات در دسترس با مرزبندی پیشین سازگار است، لذا از قالب‌بندی مناطق ۱۰ گانه استفاده شده است.

### ۳-۴-۲- محدوده مورد مطالعه

شیراز با جمعیتی بالغ بر ۱۵۶۵۵۷۲ نفر<sup>۷</sup> در سال ۱۳۹۵ یکی از کلان‌شهرهای کشور است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷). شهر شیراز دارای ۱۰ منطقه است. شهرداری منطقه شش از سال ۱۳۷۲ و به دنبال افزایش محدوده شهر در حوزه شمال شهر به جهت ارائه خدمات بهتر و مطلوب‌تر به مردم راه‌اندازی گردیده است (شهرداری، ۱۳۹۶: ۱۷). در حال حاضر جمعیت این منطقه حدوداً ۱۲۰ هزار نفر است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷). این

1- Root Mean Square

2- Mean Standardized

3- Root-Mean-Square Standardized

4- Average Standard Error

۵- بدون در نظرگیری شهرک‌های منفصل قصرقمشه، دوکوهک، اکبرآباد و ...

جدول ۴: رتبه‌بندی سناریوهای ۱۳۸ گانه براساس شاخص RMS (سناریوهای برتر با رنگ سبز مشخص شده‌اند)

Interpolation Methods		Deterministic									Interpolation with Barriers						
Interpolation Techniques		IDW	GPI	RBF	LPI					KIB					DIB		
Kernel Function					Cons	Quar	Epan	Gaus	Poly	Expo	Cons	Poly	Epan	Quar	Gaus	Expo	Gaus
Model																	
Root-Mean-Square(RMS)	smallest	0.2819	0.3709	0.2828	0.2818	0.2804	0.2804	0.2805	0.2804	0.2810	0.2806	0.2804	0.2804	0.2805	0.2804	0.2807	0.3137
Scenario		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Interpolation Methods		Geostatistical										Geostatistical											
Interpolation Techniques		Ordinary										Simple											
Kernel Function																							
Model		J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab	J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab
Root-Mean-Square(RMS)	smallest	0.2855	0.2807	0.2912	0.2802	0.2847	0.2803	0.2822	0.2823	0.2825	0.2829	0.2812	0.2815	0.2799	0.2875	0.2780	0.2806	0.2790	0.2783	0.2784	0.2786	0.2789	0.2805
Scenario		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38

Interpolation Methods		Geostatistical										Geostatistical											
Interpolation Techniques		Universal										Universal											
Kernel Function		Exponential										Polynomial5											
Model		J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab	J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab
Root-Mean-Square(RMS)	smallest	0.2929	0.2929	0.2929	0.2926	0.2929	0.2922	0.2925	0.2926	0.2926	0.2926	0.2929	0.2929	0.2929	0.2929	0.2929	0.2926	0.2929	0.2922	0.2926	0.2926	0.2926	0.2929
Scenario		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

Interpolation Methods		Geostatistical										Geostatistical											
Interpolation Techniques		Universal										Universal											
Kernel Function		Gaussian										Epanechnikov											
Model		J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab	J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab
Root-Mean-Square(RMS)	smallest	0.2929	0.2929	0.2929	0.2925	0.2929	0.2922	0.2925	0.2926	0.2926	0.2926	0.2929	0.2929	0.2929	0.2929	0.2926	0.2929	0.2923	0.2926	0.2926	0.2926	0.2926	0.2929
Scenario		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82

Interpolation Methods		Geostatistical										Geostatistical											
Interpolation Techniques		Universal										Universal											
Kernel Function		Quartic										Constant											
Model		J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab	J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab
Root-Mean-Square(RMS)	smallest	0.2929	0.2929	0.2929	0.2926	0.2929	0.2923	0.2926	0.2926	0.2926	0.2926	0.2929	0.2929	0.2929	0.2929	0.2927	0.2929	0.2924	0.2926	0.2926	0.2927	0.2927	0.2929
Scenario		83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104

Interpolation Methods		Geostatistical										Geostatistical											
Interpolation Techniques		Indicator										Probability											
Kernel Function																							
Model		J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab	J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab
Root-Mean-Square(RMS)	smallest	0.3424	0.3224	0.3575	0.3236	0.3400	0.3230	0.3315	0.3323	0.3332	0.3347	0.3223	0.3460	0.3213	0.3572	0.3224	0.3437	0.3219	0.3331	0.3340	0.3350	0.3370	0.3211
Scenario		105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126

Interpolation Methods		Geostatistical										اندازه‌های			
Interpolation Techniques		Disjunctive										EBK			
Kernel Function															
Model		J-B	K-B	Hole E	RQ	Gaus	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	Stab	معیوم	اندازه‌های	
Root-Mean-Square(RMS)	smallest	0.2830	0.2822	0.2881	0.2802	0.2822	0.2812	0.2801	0.2803	0.2805	0.2827	0.2782	معیوم	اندازه‌های	
Scenario		127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	معیوم	اندازه‌های

مختلف (کمربندی تا کوچه بن‌بست) و بلوک‌های در اندازه‌های ریز و درشت‌دانه و نظام ارتفاعی مختلف (نگاره ۱۵)  
۸- وسعت مناسب محدوده (۴۹۶ هکتار) برای انجام عملیات محاسباتی.  
همچنین همانطور که پیشتر نیز بدان اشاره شد، SVF و تغییرات آن، ارتباط نزدیکی با تغییرات دمای سطح و حتی دمای محیط دارد. باتوجه به اینکه پیشنهاد طرح تفصیلی برای این منطقه افزایش تراکم ساختمانی است، لذا بررسی این منطقه و پیش‌بینی اثرات ناشی از این افزایش تراکم، از جمله دلایل انتخاب این محدوده برای پژوهش بوده است.<sup>۱</sup>

۲- افزایش ساخت و سازهای مسکونی و گرایش به افزایش تراکم ساختمانی (فرهاد و شهروخانه، الف ۱۳۹۳، ص. ۱)  
۳- تنوع تعداد طبقات ساختمانی (فرهاد و شهروخانه، ب ۱۳۹۳: ۱۷۵)  
۴- سکونت پژوهشگر در مجاورت این منطقه و امکان حضور بی‌وقفه در محدوده‌ی مطالعاتی  
۵- دسترسی ساده‌تر به اطلاعات، آمار و ارقام این منطقه نسبت به سایر مناطق شهر  
۶- مورفولوژی متنوع و موقعیت ویژه اقلیمی منطقه با وجود رودخانه خشک و کوه دراک (فرهاد و شهروخانه، الف ۱۳۹۳، ص. ۲۹)  
۷- تنوع هندسه شهری با وجود معابر با عرض‌های

۱- به اصل رساله مراجعه شود.



نگاره ۱۵: نظام ارتفاعی منطقه شش

جدول ۵: هفت سناریوی برتر بر اساس RMS و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس سایر شاخص‌ها به تفکیک نوع همسایگی

Neighborhood type	Interpolation Techniques	Standard						Smooth						
		Simple						EBK						
Model		RQ	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	RQ	Expo	Pent	Tetra	Sphe	Circ	
Root-Mean-Square(RMS)	smallest	0.2780	0.2790	0.2783	0.2784	0.2786	0.2789	0.2782	0.2779	0.2789	0.2786	0.2788	0.2793	0.2807
Mean Standardized	0	0.036	0.036	0.041	0.041	0.041	0.041	0.001	0.034	0.035	0.036	0.035	0.033	0.028
Root-Mean-Square Standardized(RMSS)	1	0.061	0.070	0.020	0.018	0.016	0.015	0.042	0.062	0.069	0.024	0.023	0.024	0.034
Average Standard Error	near to RMS	0.034	0.037	0.023	0.023	0.022	0.022	0.006	0.035	0.037	0.024	0.024	0.025	0.006
Scenario		31	33	34	35	36	37	128	31	33	34	35	36	37

#### ۴- یافته‌های پژوهش

تمیزدادن و مقایسه‌ی آن‌ها نیاز است. خروجی تمامی سناریوها، کمیتی به نام ریشه دوم مربع میانگین (RMS)<sup>۲</sup> یا مقدار مؤثر را دارد که شاخص مناسبی برای ارزیابی تکنیک است.

بر این اساس هرچه RMS کمتر باشد، تکنیک مد نظر بهتر خواهد بود (Esri, 2018a). مقایسه تکنیک‌های درونیابی در جدول ۴ نشان داده شده است. مقادیری که با سبز هایلایت شده‌اند RMS کمتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته‌اند. علاوه بر این، کمیت‌هایی نظیر میانگین استاندارد شده (MS)<sup>۳</sup>، ریشه دوم مربع میانگین استاندارد شده (RMSS)<sup>۴</sup> و خطای استاندارد میانگین (ASE)<sup>۵</sup> نیز در ارزیابی استفاده شده‌اند. که این سه شاخص آخر، در روش جبری، خروجی به همراه

برای شناخت بهترین مدل درونیابی SVF، ۱۳۸ سناریو اجرا گردید (جدول ۴). این سناریوها در قالب دو روش کلی (جبری، احتمالی) بررسی شد. هر یک از این دو روش کلی به تکنیک‌هایی تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی بر مبنای افزونه‌ی تحلیلگر زمین‌آمار نرم‌افزار ArcGIS 10.6 است (نگاره ۱۰). علاوه بر این، متغیرهایی نظیر توابع کرنل<sup>۱</sup> و مدل‌های برازش نیز برای هر تکنیک جداگانه تحلیل شده است. لازم به ذکر است که در کلیه‌ی تحلیل‌ها، متغیر سمی‌واریوگرام برای محاسبات مد نظر بوده است. اگرچه امکان استفاده از متغیر کواریانس نیز فراهم بوده، اما به دلیل بالا رفتن حجم عملیات محاسباتی، در این پژوهش فقط از سمی‌واریوگرام استفاده شده است.

باتوجه به تعدد سناریوهای اجرا شده، معیارهایی برای

2- Root Mean Square

3- Mean Standardized

4- Root-Mean-Square Standardized

5- Average Standard Error

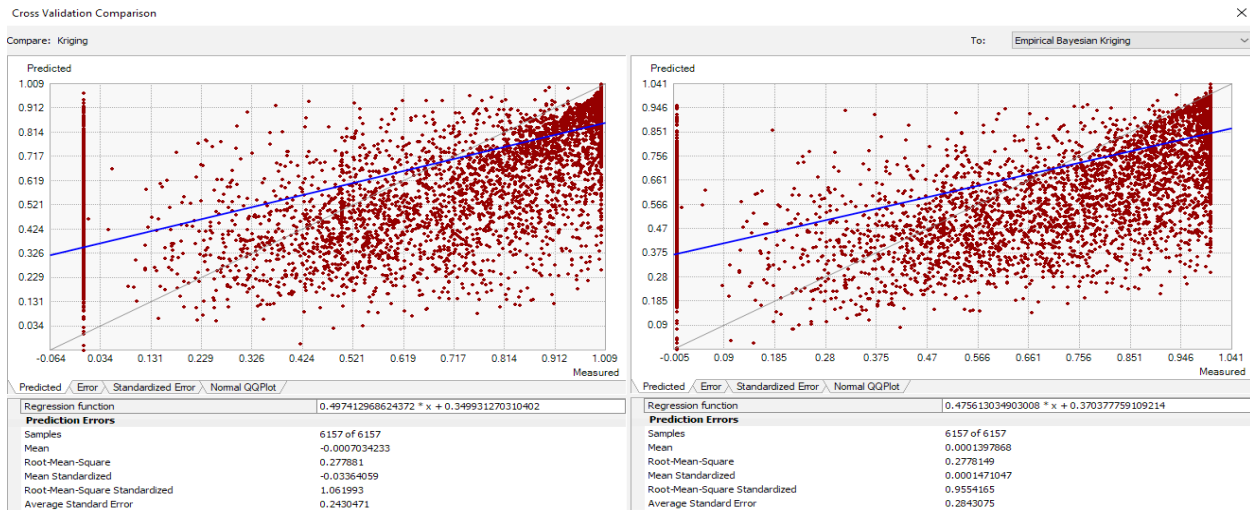
1- Kernel Function



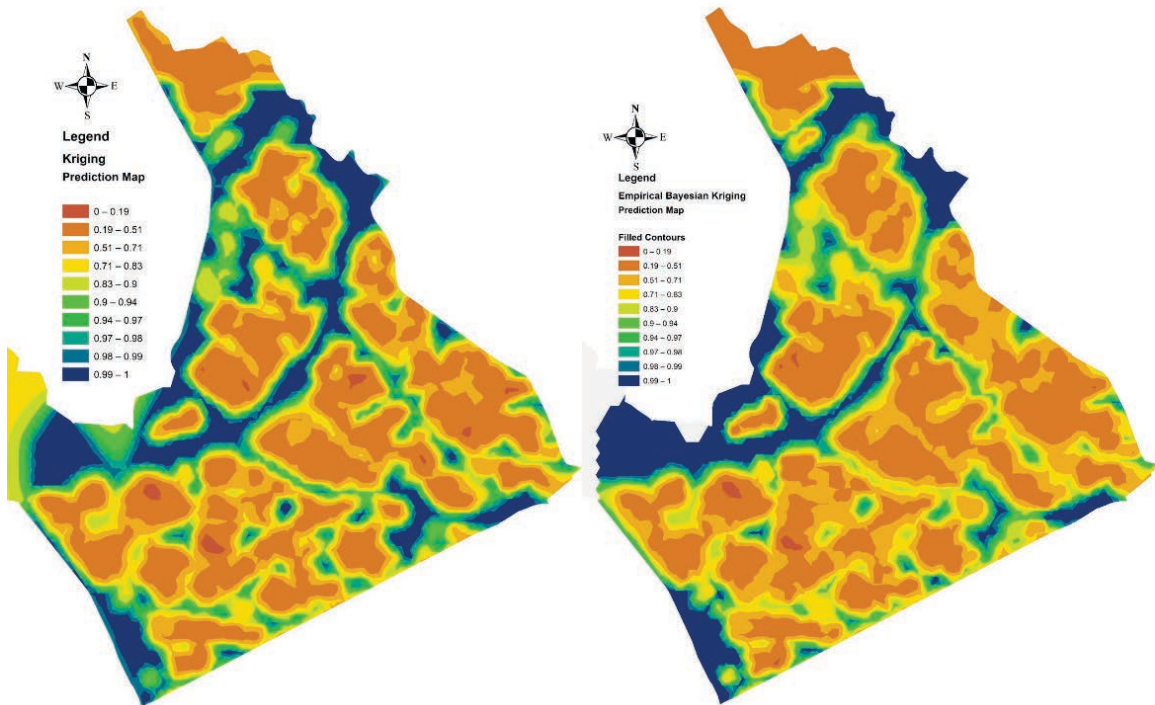
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)  
 تخمین شاخص ضریب دید به آسمان (SVF) / ... / ۱۱۳

هفت سناریویی که کمترین RMS را داشته‌اند، جداگانه و با در نظرگیری سه شاخص دیگر، مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفتند (جدول ۴). همچنین متغیر دیگری تحت عنوان

ندارد، جز در تکنیک KIB. به طور کلی، تکنیکی بهتر آن است که، علاوه بر اینکه RMS کمتری داشته باشد؛ MS آن نزدیک به صفر، RMSS نزدیک به یک و ASE نزدیکتر به RMS داشته باشد (Esri, 2018a).



نگاره ۱۶: مقایسه ارزیابی متوالی EBK (راست) با کریجینگ ساده با مدل برازش RQ (چپ)



نگاره ۱۷: مقایسه گرافیکی درون‌یابی EBK (راست) و کریجینگ ساده با مدل برازش RQ (چپ)

بررسی شده در دو مقوله‌ی مذکور، تخمینی از CSVF در محدوده‌ی مورد مطالعه (منطقه شش شهرداری شیراز) ارائه گردید. علاوه بر این مقایسه‌ای نیز بین روش‌ها و تکنیک‌های درون‌یابی انجام شد. این ارزیابی بر اساس چهار شاخص ریشه دوم مربع میانگین (RMS)، میانگین استاندارد شده (MS)، ریشه دوم مربع میانگین استاندارد شده (RMSS) و خطای استاندارد میانگین (ASE) انجام شد که نتایج پژوهش حاکی از برتری روش کریجینگ بیضی تجربی (EBK) نسبت به سایر روش‌ها است. اگرچه کریجینگ ساده با مدل برازش RQ نیز در یک شاخص برتر بوده است.

#### ۶- منابع و مآخذ

۱. بهزادفر، م. و منعم، ع. (۱۳۸۹). تأثیر ضریب دید به آسمان در آسایش حرارتی کاربران فضای باز شهری، بررسی بوستان‌های منتخب شهر تهران. آرمانشهر، ۲۳-۳۴.
۲. خسروی، ی. و عباسی، ا. (۱۳۹۵). تحلیل فضایی داده‌های محیطی با زمین آمار. زنجان: آذرکلک.
۳. سیفی، ی. و میرزایی، ر. (۱۳۹۶، بهار). مقایسه روش‌های درون‌یابی مکانی جهت پهنه بندی غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهرستان آران و بیدگل. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم (شماره یک)، ۱۳۱-۱۴۷.
۴. شمسی‌پور، ع. (۱۳۹۳). مدل‌سازی آب‌وهوایی؛ نظریه و روش. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
۵. شهرداری شیراز. (۱۳۹۳). بازنگری طرح تفصیلی شهر شیراز (فایل GIS). شیراز.
۶. شهرارز، م. (۱۳۹۶). طرح جامع فضای سبز شیراز، مطالعات کالبدی فضایی. شیراز: شهرداری شیراز.
۷. فرهاد، م. م. و شهروخانه، م. م. (الف ۱۳۹۳). طرح تفصیلی شهر شیراز، منطقه شش، جلد اول: شناخت و تحلیل وضع موجود، کلیات، اقتصادی، اجتماعی. شیراز: شهرداری شیراز.
۸. فرهاد، م. م. و شهروخانه، م. م. (ب ۱۳۹۳). طرح

نوع همسایگی در دو حالت استاندارد و ملایم، نیز به بررسی‌ها افزوده شد. یافته‌های مطالعات نشان می‌دهد که تکنیک کریجینگ ساده (Simple) و کریجینگ بیضین تجربی (EBK) نسبت به سایر مدل‌ها، نتایج بهتری را بدست آورده‌اند. همچنین در بین مدل‌های برازش شده در کریجینگ ساده، مدل RQ، نتایج بهتری را نسبت به سایر مدل‌های برازش دیگر نشان می‌دهد. جدول شماره ۵ سه رتبه‌ی برتر در ۴ شاخص مذکور را نشان می‌دهد که با هیالیت سبز مشخص شده‌اند.

اگرچه تکنیک Simple با مدل RQ، در هر دو حالت استاندارد (۰/۲۷۸۰) و ملایم (۰/۲۷۷۹) نتایج بهتری نسبت به EBK (۰/۲۷۸۲-۰/۲۷۷۸) را با توجه به شاخص RMS، ارائه می‌کنند؛ اما، مدل Simple در سایر شاخص‌ها جزء سه رتبه اول نیست<sup>۲</sup>. مقایسه‌ی ارزیابی متوالی<sup>۳</sup> و خروجی گرافیکی این دو مدل در نگاره‌های ۱۶ و ۱۷ نمایش داده شده‌اند. بر این اساس، فرضیه پژوهش را اینگونه می‌توان تحلیل کرد که:

کریجینگ بیضی تجربی (EBK) با در نظرگیری شاخص RMS، یکی از بهترین (رتبه دوم) مدل‌های درون‌یابی اتوماتیک قابل اعتماد برای تخمین ضریب دید به آسمان (SVF) است و به طور کلی از نظر سه شاخص RMS، MS، RMSS، بهترین مدل درون‌یابی اتوماتیک برای تخمین SVF است.

#### ۵- جمع بندی

این پژوهش مروری بر مبانی نظری شاخص ضریب دید به آسمان (SVF) و روش‌های درون‌یابی داشته است. تعاریف SVF، انواع آن بر اساس پراکندگی و مکان اندازه‌گیری و روش‌های گوناگون تخمین این شاخص، بررسی و تحلیل شده‌است. همچنین روش‌های درون‌یابی در دو حوزه‌ی جبری و احتمالی بررسی شدند. باتوجه به مبانی نظری

1- Smooth

۲ جز در MS حالت استاندارد

3-Cross validation

18. Chapman, L., Thornes, J., & Bradley, A. (2001). Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets. *Theoretical and applied climatology*, 69(1), 81-89.
19. Chapman, L., Thornes, J. E., & Bradley, A. V. (2002). Sky-view factor approximation using GPS receivers. *International Journal of Climatology*, 22(5), 615-621. doi:10.1002/joc.649
20. Chapman, L., Thornes, J. E., Muller, J.-P., & McMuldroch, S. (2007). Potential applications of thermal fisheye imagery in urban environments. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 4(1), 56-59.
21. Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U., & He, Z. (2012). Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology*, 32(1), 121-136. doi:10.1002/joc.2243
22. Chun, B., & Guldmann, J. M. (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and Urban Planning*, 125, 76-88. doi:10.1016/j.landurbplan.2014.01.016
23. De Souza, L. C. L., & Da Silva, A. N. R. (2006). Applying GIS tools for analysing urban thermal environment. Paper presented at the PLEA 2006-23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Conference Proceedings.
24. Debbage, N. (2013). Sky-view factor estimation: A case study of Athens, Georgia. *The Geographical Bulletin*, 54(1), 49.
25. Drezner, T. D., & Shaker, R. R. (2010). A new technique for predicting the sky-view factor for urban heat island assessment. *The Geographical Bulletin*, 51(2), 85.
26. Eliasson, I. (1992). Infrared thermography and urban temperature patterns. *International journal of remote sensing*, 13(5), 869-879.
27. Esri. (2018a). Comparing models. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/comparing-models.htm>
28. Esri. (2018b). How Diffusion Interpolation With تفصیلی شهر شیراز، منطقه شش، جلد دوم: شناخت و تحلیل وضع موجود، کالبدی-فضایی. شیراز: شهرداری شیراز.
۹. فرنهاد، م. م. و شهروخانه، م. م. (ج ۱۳۹۳). طرح تفصیلی شهر شیراز، منطقه شش، جلد سوم: تدوین طرح پیشنهادی. شیراز: شهرداری شیراز.
۱۰. قهرودی تالی، م. م. و بابایی فینی، ا. (۱۳۹۴). درآمدی بر سیستم های اطلاعات جغرافیایی (رشته جغرافیا). تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
۱۱. کلانتری، م. م. قهرمانی، ع.، خسروی، ی. و جباری، ک. (۱۳۸۸). مدیریت و تحلیل داده های بزهکاری در بخش مرکزی شهر تهران با استفاده از تکنیک های درون یابی و سامانه های اطلاعات جغرافیایی. پژوهش های مدیریت انتظامی (مطالعات مدیریت انتظامی)، ۴(۴)، ۴۸۲-۵۰۴.
۱۲. مرکز آمار ایران. (۱۳۹۷، ۴، ۲۸). سرشماری عمومی نفوس و مسکن، نتایج سرشماری، جمعیت به تفکیک تقسیمات کشوری سال ۱۳۹۵.
13. Anderson, M. C. (1964). Studies of the woodland light climate: I. The photographic computation of light conditions. *The Journal of Ecology*, 27-41.
14. Asawa, T., Hoyano, A., & Nakaohkubo, K. (2008). Thermal design tool for outdoor spaces based on heat balance simulation using a 3D-CAD system. *Building and Environment*, 43(12), 2112-2123. doi:10.1016/j.buildenv.2007.12.007
15. Barring, L., Mattsson, J. O., & Lindqvist, S. (1985). Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden. *International Journal of Climatology*, 5(4), 433-444.
16. Bottyán, Z., & Unger, J. (2003). A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theoretical and applied climatology*, 75(3), 233-243.
17. Bradley, A., Thornes, J., & Chapman, L. (2001). A method to assess the variation of urban canyon geometry from sky view factor transects. *Atmospheric Science Letters*, 2(104), 155-165.

- and applied climatology, 105(3-4), 521-527. doi:10.1007/s00704-011-0402-3
39. Holmer, B. (1992). A simple operative method for determination of sky view factors in complex urban canyons from fisheye photographs. *Meteorol. Z.*, NF, 1, 236-239.
40. Johnson, G. T., & Watson, I. D. (1984). The determination of view-factors in urban canyons. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(2), 329-335.
41. Jusuf, S. K., Ignatius, M., Wong, N. H., & Tan, E. (2017). STEVE Tool Plug-in for SketchUp: A User-Friendly Microclimatic Mapping Tool for Estate Development. In *Sustainable Building and Built Environments to Mitigate Climate Change in the Tropics* (pp. 113-130): Springer.
42. Krivoruchko, K. (2012). Empirical bayesian kriging. *ArcUser Fall*, 2012, 6-10.
43. Li, W., PUTRA, S., & Yang, P. (2004). GIS analysis for the climatic evaluation of 3D urban geometry. Paper presented at the Proceeding of seventh international seminar on GIS in developing countries (GISDECO).
44. Liang, J., Gong, J., Sun, J., Zhou, J., Li, W., Li, Y., . . . Shen, S. (2017). Automatic Sky View Factor Estimation from Street View Photographs—A Big Data Approach. *Remote Sensing*, 9(5). doi:10.3390/rs9050411
45. Lindberg, F., & Grimmond, C. S. B. (2010). Continuous sky view factor maps from high resolution urban digital elevation models. *Climate Research*, 42(3), 177-183. doi:10.3354/cr00882
46. Matuschek, O., & Matzarakis, A. (2011). A mapping tool for climatological applications. *Meteorological Applications*, 18(2), 230-237. doi:10.1002/met.233
47. Matzarakis, A., & Matuschek, O. (2011). Sky view factor as a parameter in applied climatology rapid estimation by the SkyHelios model. *Meteorologische Zeitschrift*, 20(1), 39-45. doi:10.1127/0941-2948/2011/0499
48. Matzarakis, A., Mayer, H., & Chmielewski, F.-M. (2010). *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*. Retrieved from
49. Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island Comparison of scale model and field Barriers works. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/how-diffusion-interpolation-with-barriers-works.htm>
29. Esri. (2018c). How Kernel Interpolation With Barriers works. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/how-kernel-interpolation-with-barriers-works.htm>
30. Esri. (2018d). How Kriging works. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>
31. Esri. (2018e). How local polynomial interpolation works. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/how-local-polynomial-interpolation-works.htm>
32. Esri. (2018f). How radial basis functions work. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/how-radial-basis-functions-work.htm>
33. Esri. (2018g). What is areal interpolation? Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/what-is-areal-interpolation.htm>
34. Esri. (2018h). What is Empirical Bayesian kriging? Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-.htm>
35. Gál, T., Lindberg, F., & Unger, J. (2008). Computing continuous sky view factors using 3D urban raster and vector databases: comparison and application to urban climate. *Theoretical and applied climatology*, 95(1-2), 111-123. doi:10.1007/s00704-007-0362-9
36. Gál, T. M., Rzepa, M., Gromek, B., & Unger, J. (2007). Comparison between sky view factor values computed by two different methods in an urban environment. *Acta Climatologica et Chorologica*, 40, 17-26.
37. Grimmond, C., Potter, S., Zutter, H., & Souch, C. (2001). Rapid methods to estimate sky view factors applied to urban areas. *International Journal of Climatology*, 21(7), 903-913.
38. Hämmerle, M., Gál, T., Unger, J., & Matzarakis, A. (2011). Comparison of models calculating the sky view factor used for urban climate investigations. *Theoretical*

estimation of sky view factors in urban environments. *International Journal of Climatology*, 7(2), 193-197.

62. Wong, N. H., Jusuf, S. K., & Tan, C. L. (2011). Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 386-389. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.02.012

63. Yamashita, S., Sekine, K., Shoda, M., Yamashita, K., & Hara, Y. (1986). On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama River basin, Japan. *Atmospheric Environment* (1967), 20(4), 681-686.

observations. *JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, 1, 237-254.

50. Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1-3), 103-113. doi:10.1016/0378-7788(88)90026-6

51. Ratti, C. (2001). *Urban analysis for environmental prediction*. University of Cambridge,

52. Ratti, C., & Richens, P. (1999). Urban texture analysis with image processing techniques. In *Computers in Building* (pp. 49-64): Springer.

53. Ratti, C., & Richens, P. (2004). Raster Analysis of Urban Form. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(2), 297-309. doi:10.1068/b2665

54. Souza, L. C. L., Rodrigues, D. S., & Mendes, J. F. (2003a). A 3D-gis extension for sky view factors assessment in urban environment.

55. Souza, L. C. L., Rodrigues, D. S., & Mendes, J. F. (2003b). Sky view factors estimation using a 3D-GIS extension.

56. Steyn, D. G. (1980). The calculation of view factors from fisheye lens photographs: Research note. *Atmosphere-Ocean*, 18(3), 254-258. doi:10.1080/07055900.1980.9649091

57. Svensson, M. K. (2004). Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences. *Meteorological Applications*, 11(3), 201-211. doi:10.1017/s1350482704001288

58. Unger, J. (2009). Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *International Journal of Environment and Pollution*, 36(1-3), 59-80.

59. Upmanis, H., & Chen, D. (1999). Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban-park temperature differences—a case study of summer 1995 in Göteborg, Sweden. *Climate Research*, 13(2), 125-139.

60. Vieira, H., & Vasconcelos, J. (2003). Urban morphology characterisation to include in a GIS for climatic purposes in Lisbon. Discussion of two different methods. Paper presented at the Proc 5th Int Conf on Urban Climate.

61. Watson, I., & Johnson, G. (1987). Graphical

