نشریه علمی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۱۶، شماره ۱، صفحه ۶۳ تا ۸۰، شهریور ماه ۱۴۰۵ – مقاله پژوهشی

سنجش نابرابری‌های فضایی سلامت با رویکرد داده مبنا و یادگیری ماشین

رحیمه رستمی[۱]، نجمه نیسانی سامانی*[۲]، میثم ارگانی[۳]، علی درویشی بلورانی[۴]، نعمت‌اله جعفرزاده حقیقی فرد[۵]

[۱] گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
rahimeh.rostami@ut.ac.ir

[۲] گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
nneysani@ut.ac.ir

[۳] گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
argany@ut.ac.ir

[۴] گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
ali.darvishi@gmail.com

[۵] مرکز تحقیقات فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم پایه پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران
jaafarzadeh-n@ajums.ac.ir, n.jaafarzad@gmail.com

(دریافت: مرداد ۱۴۰۴، تصویب: شهریور ۱۴۰۵)

چکیده

نابرابری فضایی در دسترسی به خدمات بهداشتی یکی از چالش‌های اساسی برنامه‌ریزی شهری در مسیر توسعه پایدار است. این پژوهش شاخص مکانی سلامت (SHI) را به‌عنوان ابزاری برای سنجش تعادل میان دسترسی و نیاز به خدمات بهداشتی توسعه داده و در شهر اهواز اعتبارسنجی کرده است. SHI بر پایه تفاضل میان دسترسی واقعی به خدمات و نیاز برآوردشده هر منطقه تعریف می‌شود و میزان تطابق یا عدم‌تطابق میان عرضه و تقاضای خدمات بهداشتی را در هر واحد مکانی نشان می‌دهد. روش پژوهش مبتنی بر تلفیق تحلیل فضایی و مدل‌سازی آماری است. داده‌ها در واحدهای هگزاگونال ۸۶۶۰ مترمربعی یکپارچه شدند. دسترسی با روش حوزه نفوذ شناور دومرحله‌ای تطبیقی (A2SFCA) و نیاز با شاخص نیاز سلامت شهری (UHNI) سنجیده شد. UHNI بر پایه داده‌های سال‌های ۲۰۱۵–۲۰۱۹ و بیش از ۷۰،۰۰۰ رکورد ابتلا به بیماری بنا شده است. وزن‌دهی ۱۸ متغیر با رویکردی ترکیبی از جنگل تصادفی (۴۰٪)، تقویت گرادیان (۳۰٪) و اهمیت جایگشتی (۳۰٪) انجام شد. یافته‌ها نابرابری شدید در دسترسی را نشان داد: کلینیک‌ها (ضریب جینی ۰.۶۰۳–۰.۸۹۸)، حمل‌ونقل عمومی (۰.۸۷۸–۰.۹۰۲) با بیشترین نابرابری در میان سالمندان (۰.۹۰۲)، و مراکز بهداشتی (۰.۵۲۹–۰.۵۷۶). مناطق مرکزی دسترسی بالاتر و نواحی جنوب و غرب کمبود شدید خدمات داشتند. اعتبارسنجی خارجی با ۱۰،۰۰۰ رکورد مرگ‌ومیر، همبستگی معنادار SHI با مرگ‌ومیر را تأیید کرد؛ قوی‌ترین همبستگی با بیماری‌های قلبی–عروقی (r=-0.53) مشاهده شد. SHI با تلفیق همزمان عرضه و تقاضا در فرمول واحد و استفاده از وزن‌دهی ترکیبی یادگیری ماشین، چارچوبی نوآورانه و قابل‌تعمیم برای شناسایی اولویت‌های سرمایه‌گذاری و پایش مستمر عدالت فضایی سلامت در اختیار سیاست‌گذاران شهری قرار می‌دهد.

واژگان کلیدی: عدالت فضایی، شاخص مکانی سلامت، محاسبات تطبیقی، دسترسی ، منطقه‌بندی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

عدالت فضایی در بهره‌مندی از سلامت یکی از ارکان توسعه پایدار شهری و از اهداف کلیدی نظام‌های سلامت به شمار می‌رود. تحقق این مفهوم مستلزم آن است که تمامی گروه‌های جمعیتی، متناسب با نیازهای سلامت خود، از فرصت برابر برای دسترسی به محیط سالم و خدمات بهداشتی برخوردار باشند. با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در توسعه زیرساخت‌های سلامت، نابرابری‌های فضایی در توزیع عوامل مؤثر بر سلامت همچنان یکی از مهم‌ترین چالش‌های برنامه‌ریزی شهری است [۱]. این مسئله در شهرهایی با شرایط محیطی نامساعد، مانند اهواز، اهمیت دوچندان دارد. آلودگی شدید هوا، گردوغبار، تمرکز صنایع و تفاوت‌های اجتماعی-اقتصادی باعث شده نیاز سلامت در بخش‌های مختلف شهر متفاوت باشد. از این‌رو، ارزیابی عدالت فضایی در چنین شهرهایی نه تنها بر پایه دسترسی به خدمات سلامت، بلکه مستلزم بررسی همزمان کیفیت محیط زیستی، کالبدی و اجتماعی-اقتصادی است.

مفهوم عدالت سلامت ریشه در نظریه‌های عدالت اجتماعی دارد. رالز (۱۹۷۱) با ارائه نظریه عدالت توزیعی، توزیع منصفانه منابع را به‌عنوان یکی از اصول بنیادین عدالت معرفی کرد [۳]. وایتهد (۱۹۹۱) نابرابری‌های سلامت را تفاوت‌هایی اجتناب‌پذیر و غیرمنصفانه دانست [۵] و مارموت (۲۰۰۶) نشان داد که عوامل اجتماعی، اقتصادی و محیطی نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری این نابرابری‌ها دارند [۶]. سازمان جهانی بهداشت نیز با توسعه چارچوب شاخص سلامت شهری، ابعاد سلامت، محیط، جغرافیا، اقتصاد و ویژگی‌های اجتماعی-جمعیتی را به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی ارزیابی سلامت شهری معرفی کرد [۴]. این دیدگاه‌ها مبانی نظری ارزشمندی فراهم کرده‌اند، اما عمدتاً چارچوبی مفهومی ارائه داده و ابزارهای کمی محدودی برای سنجش همزمان ابعاد مختلف سلامت در مقیاس فضایی پیشنهاد کرده‌اند.

در دو دهه اخیر، بخش عمده‌ای از مطالعات به توسعه روش‌های ارزیابی دسترسی به خدمات سلامت اختصاص یافته است. مدل حوزه نفوذ شناور دومرحله‌ای (SFCA۲)[۱] و توسعه‌های آن از پرکاربردترین روش‌های سنجش دسترسی به شمار می‌روند. مک‌گریل و هامفریز (۲۰۱۴) با استفاده از این مدل، الگوی دسترسی به خدمات سلامت در استرالیا را تحلیل کردند، اما تفاوت نیاز گروه‌های جمعیتی در مدل آن‌ها لحاظ نشد [۲]. یین و همکاران (۲۰۱۸) نابرابری‌های منطقه‌ای دسترسی به خدمات پزشکی را در چین بررسی کردند، هرچند تحلیل آن‌ها مبتنی بر داده‌های یک مقطع زمانی بود [۹]. لارسون و همکاران (۲۰۱۶) نیز وضعیت دسترسی گروه‌های آسیب‌پذیر را مطالعه کردند، اما تحلیل آن‌ها فاقد تفکیک فضایی دقیق در مقیاس محلی بود [۸].

در مقابل، گروه دیگری از پژوهش‌ها بر ابعاد محیطی و اجتماعی سلامت تمرکز داشته‌اند. در مطالعات داخلی، طهماسبی و همکاران (۲۰۱۹)، کزازی و همکاران (۲۰۲۲) و هشترخانی و همکاران (۲۰۲۴) با بهره‌گیری از GIS و روش‌های یادگیری ماشین، جنبه‌هایی از عدالت فضایی یا دسترسی به خدمات سلامت را بررسی کرده‌اند [۱۲-۱۱-۱۰]. پژوهش‌های اخیر نیز نشان داده‌اند که تلفیق روش‌های هوشمند با تحلیل فضایی می‌تواند دقت ارزیابی‌ها را افزایش دهد [۱۳-۱۴-۱۵]. با این حال، این مطالعات عمدتاً یکی از دو مؤلفه «دسترسی» یا «وضعیت محیطی-اجتماعی» را محور تحلیل قرار داده‌اند و کمتر به تناسب و توازن میان آن‌ها پرداخته‌اند.

دسترسی مناسب به خدمات سلامت لزوماً به معنای بهره‌مندی عادلانه از سلامت نیست. منطقه‌ای ممکن است از نظر دسترسی به مراکز درمانی در وضعیت مطلوبی قرار داشته باشد، اما به دلیل آلودگی محیطی، تراکم جمعیت یا شرایط نامساعد اجتماعی-اقتصادی، نیاز سلامت ساکنان آن به مراتب بیش از ظرفیت موجود باشد. از سوی دیگر، منطقه‌ای با دسترسی محدودتر، در صورت برخورداری از نیاز سلامت پایین‌تر، ممکن است وضعیت عادلانه‌تری داشته باشد. بنابراین، ارزیابی عدالت فضایی زمانی معنا می‌یابد که تناسب میان نیاز سلامت و میزان دسترسی به خدمات سنجیده شود، نه هر یک به‌صورت مستقل. این نکته، کمبود اصلی مطالعات پیشین را آشکار می‌سازد: تمرکز بر یک بُعد به‌جای تلفیق نیاز و عرضه.

مرور مطالعات پیشین سه خلأ اصلی را نشان می‌دهد: نخست، بیشتر پژوهش‌ها بر داده‌های ایستا تکیه داشته و پویایی زمانی عوامل مؤثر بر سلامت را لحاظ نکرده‌اند؛ دوم، نیاز سلامت گروه‌های مختلف جمعیتی به‌صورت کمی و مجزا در مدل‌ها برآورد نشده است؛ و سوم، شاخص مکانی جامعی که بتواند همزمان نیاز سلامت، دسترسی به خدمات و

۱ Two-Step Floating Catchment Area

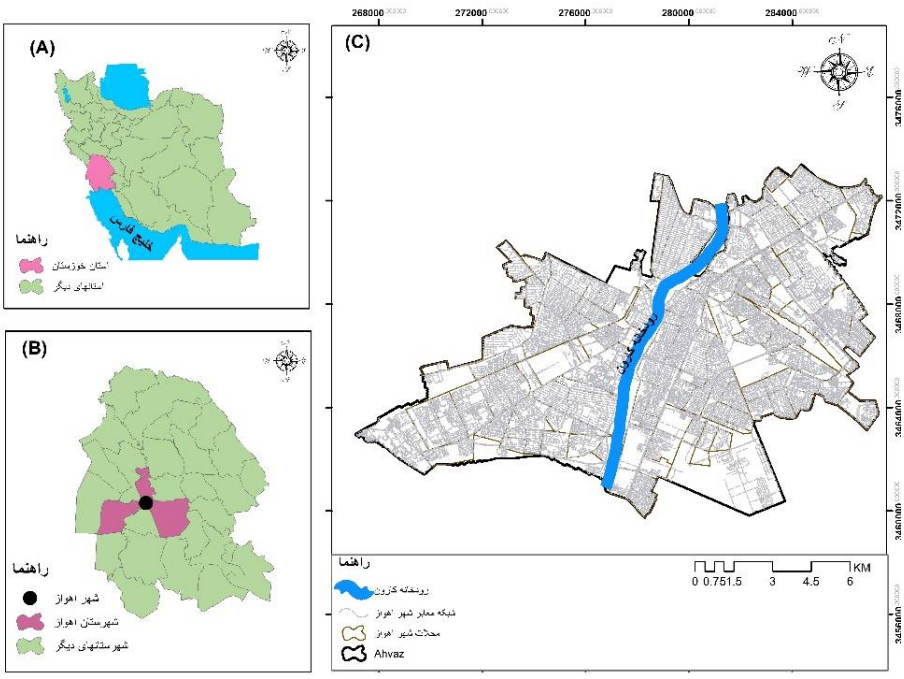
تغییرات زمانی را در قالب یک معیار واحد تلفیق کند، کمتر ارائه شده است.

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف توسعه شاخص مکانی سلامت (SHI)[۱] انجام شده است. SHI یک شاخص ترکیبی مکانی است که وضعیت نسبی هر واحد فضایی را بر اساس تعادل میان نیاز واقعی سلامت جمعیت و میزان دسترسی به خدمات بیان می‌کند؛ معیاری کمی برای ارزیابی عدالت فضایی، نه اندازه‌گیری مستقیم وضعیت سلامت افراد یا دسترسی به تنهایی. برای این منظور، شاخص دسترسی با مدل تطبیقی A2SFCA[۲] و شاخص نیاز سلامت شهری (UHNI)[۳] با رویکردی ترکیبی شامل جنگل تصادفی (۴۰٪)، تقویت گرادیان (۳۰٪) و اهمیت جایگشتی (۳۰٪) محاسبه شده و در قالب SHI تلفیق شده‌اند. این رویکرد با کاهش وابستگی به یک مدل منفرد، وزن‌دهی ۱۸ متغیر اجتماعی-زیست‌محیطی را بر پایه داده‌های طولی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ با پایداری و دقت بالاتری انجام داده است .تطبیق روش تجمیع هندسی سازمان بهداشت جهانی[۴] با داده‌های محلی از طریق وزن‌دهی مبتنی بر یادگیری ماشین، اولین کاربرد این رویکرد در مطالعات سلامت شهری ایران است.

نوآوری اصلی این پژوهش در سه محور قابل بیان است: نخست، توسعه شاخصی که تعادل میان نیاز سلامت و دسترسی به خدمات را به‌عنوان مبنای ارزیابی عدالت فضایی در نظر می‌گیرد؛ دوم، برآورد کمی نیاز سلامت شهری با رویکرد ترکیبی یادگیری ماشین به‌جای وزن‌دهی ذهنی؛ و سوم، تلفیق مدل A2SFCA و UHNI در قالب یک شاخص مکانی واحد[۵]که امکان مقایسه فضایی و پایش نابرابری‌های سلامت را در مقیاس شهری فراهم می‌کند.

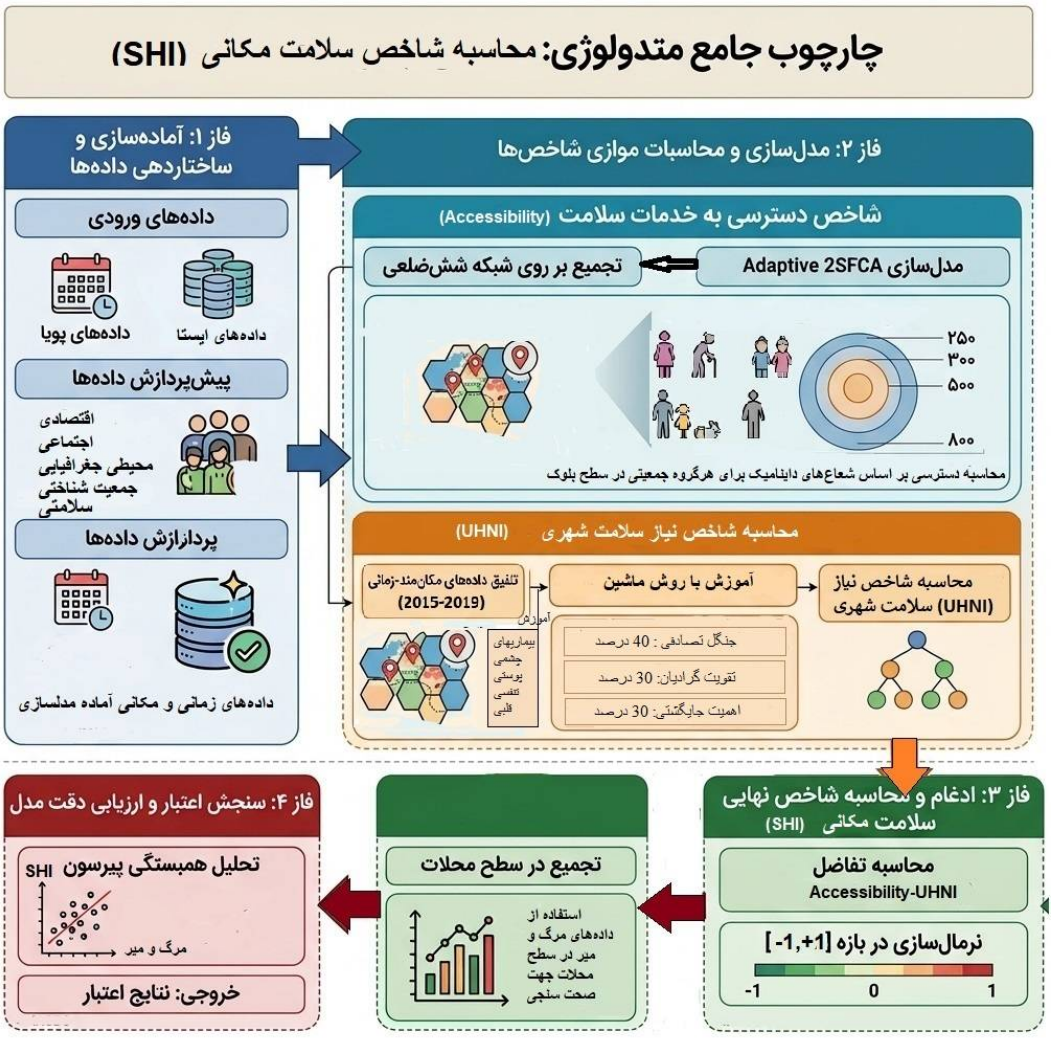
۲- محدوده مورد مطالعه

شهر اهواز، مرکز استان خوزستان، یکی از کلان‌شهرهای مهم جنوب‌غرب ایران و از مراکز عمده فعالیت‌های صنعتی کشور است. این شهر به‌دلیل تمرکز صنایع، شرایط اقلیمی خاص و بروز مکرر پدیده‌هایی مانند آلودگی هوا و گردوغبار، با چالش‌های جدی در حوزه سلامت شهری مواجه است. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که آلودگی هوا در اهواز اثر معناداری بر وضعیت سلامت ساکنان دارد و گردوغبار نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی منطقه، کیفیت زندگی و سلامت عمومی را تحت تأثیر قرار داده است [۳۶،۳۷].



شکل ۱- منطقه مطالعاتی

۱ Spatial Health Index
۲ Adaptive Two-Step Floating Catchment Area
۳ Urban Health Need Index
۴ World Health Organization



شکل ۱- فلوچارت روش پژوهش

از سوی دیگر، پژوهش‌های انجام‌شده در اهواز و استان خوزستان بیانگر وجود نابرابری‌های فضایی در توزیع خدمات شهری و خدمات بهداشتی-درمانی است [۳۸]. این وضعیت نشان می‌دهد که میزان برخورداری از امکانات و خدمات سلامت در سطح فضاهای شهری یکسان نیست و برخی نواحی در مقایسه با سایر بخش‌ها از شرایط نامطلوب‌تری برخوردارند. بر این اساس، اهواز به‌دلیل هم‌زمانی چالش‌های محیطی و نابرابری در دسترسی به خدمات، نمونه‌ای مناسب برای بررسی عدالت فضایی سلامت به‌شمار می‌رود. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۳- مراحل انجام پژوهش

چارچوب متدولوژیک این پژوهش بر پایه یک فرآیند سیستماتیک چهارمرحله‌ای استوار است که هدف نهایی آن، سنجش توازن میان نیاز واقعی به سلامت و میزان دسترسی به خدمات به‌منظور محاسبه شاخص سلامت مکانی (SHI) در سطح کلان‌شهر اهواز است (شکل ۲). این مطالعه بر این فرض بنیادی استوار است که نابرابری سلامت، حاصل شکاف ساختاری میان دسترسی به خدمات و نیاز واقعی جمعیت است. در این راستا، نیاز سلامت از طریق ترکیب شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی، محیطی و سلامت با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی مدل‌سازی شده و میزان دسترسی نیز بر اساس توزیع فضایی مراکز درمانی برآورد گردیده است.

در این پژوهش، به‌منظور تجمیع داده‌ها و انجام تحلیل‌های فضایی، از واحدهای هگزاگونال (شش‌ضلعی) منظم با طول ضلع تقریبی ۵۸ متر و مساحت ۸۶۶۰ متر مربع استفاده شده است. این واحدها به دلیل توزیع هندسی یکنواخت، فاصله یکسان از مرکز تا رئوس، و کاهش خطاهای

مرزی و اثر لبه، بر روش‌های مرسوم نظیر بلوک‌های آماری مستطیلی یا مرزهای اداری ارجحیت دارند.

علاوه بر مزایای هندسی، انتخاب این ابعاد با هدف کاهش اثر خطای ناشی از فرآیند ژئوکدینگ داده‌های نقطه‌ای (مانند موارد بیماری، مرگ‌ومیر و کیفیت آب) صورت گرفت. این داده‌ها در سطح خرد (کوچه و خیابان) ثبت شده‌اند و در فرآیند مکان‌یابی، عموماً در محور مرکزی یا میانه معابر قرار می‌گیرند که می‌تواند منجر به جای‌دهی نادرست و تجمیع مصنوعی داده‌ها در سطح بلوک‌های کوچک شود. استفاده از واحدهای تحلیلی هگزاگونال با مساحت حدود ۰.۸۷ هکتار، اثر این خطای مکانی را در سطح هر واحد کاهش داده و امکان تجمیع پایدارتر و معتبرتر داده‌ها را فراهم کرده است.

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، این چارچوب شامل چهار فاز اصلی است:

فاز ۱: آماده‌سازی و ساختاردهی داده‌ها، شامل پیش‌پردازش داده‌های پویا و ایستا در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، محیط جغرافیایی، جمعیت‌شناختی و سلامت؛

فاز ۲: مدل‌سازی و محاسبات موازی شاخص‌ها، که در آن دسترسی به خدمات سلامت بر اساس مدل Adaptive 2SFCA با شعاع‌های پویا محاسبه می‌شود و شاخص نیاز سلامت شهری (UHNI) از طریق رگرسیون جنگل تصادفی با ترکیب داده‌های زمانی-مکانی بیماری‌های چشمی، پوستی، تنفسی، قلبی و سرطانها برآورد می‌گردد؛

فاز ۳: ادغام و محاسبه نهایی شاخص سلامت مکانی (SHI) از تفاضل دسترسی و UHNI و نرمال‌سازی آن در بازه [−۱،+۱]؛ و

فاز ۴: سنجش اعتبار و ارزیابی دقت مدل با تحلیل همبستگی پیرسون میان SHI و داده‌های مرگ‌ومیر در سطح محلات.

در بخش‌های بعدی، هر یک از این فازها و مراحل محاسباتی آن‌ها به تفصیل تشریح خواهد شد.

۳-۱- مرحله اول: آماده سازی داده‌ها

در مرحله اول این پژوهش، داده‌های مورد نیاز برای تحلیل نابرابری‌های سلامت با در نظر گرفتن عوامل محیطی، اجتماعی، اقتصادی و عملکردی جمع‌آوری و پردازش شدند. مبنای انتخاب و دسته‌بندی این شاخص‌ها، چارچوب عوامل تعیین‌کننده اجتماعی سلامت سازمان جهانی بهداشت [۴] و دستورالعمل‌های شاخص‌های وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران [۱۶] بوده است. با توجه به این‌که سلامت شهری ماهیتاً پدیده‌ای بوم‌محور و وابسته به زمینه است و هر شهر بر اساس شرایط بومی خود تحت تأثیر عوامل متفاوتی قرار می‌گیرد، از میان شاخص‌های پیشنهادی این دو چارچوب، آن دسته انتخاب شدند که نخست با شرایط محیطی و جمعیتی کلان‌شهر اهواز تناسب داشتند، دوم داده‌های آن‌ها با رزولوشن مکانی و زمانی مناسب در دسترس بود، و سوم از نظر کیفیت و اعتبار قابل اتکا بودند. به همین دلیل، برخی شاخص‌ها با وجود اهمیت بالقوه، مانند شاخص‌های آلودگی هوا، به دلیل عدم دسترسی به داده‌های با رزولوشن مکانی-زمانی مناسب و محدودیت در بازه زمانی پایش، از مدل کنار گذاشته شدند.

داده‌های تحقیق در دو دسته اصلی ساختاردهی شدند:

داده‌های پویا: شامل اطلاعات روزانه کیفیت آب (هدایت الکتریکی[۱]، اسیدیته[۲]، کدورت[۳]، کلر جامدات محلول[۴] و کلر باقی‌مانده[۵])، شیوع بیماری‌های چشمی، پوستی، تنفسی و قلبی-عروقی، و آمار مرگ‌ومیر (نوزادان، کودکان زیر ۵ سال، و ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی) که به مقادیر ماهانه تجمیع شدند.

داده‌های ایستا: شامل شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی (تراکم بیکاران، بی‌سوادان، کودکان کار)، جمعیت‌شناختی (تراکم جمعیت، زنان، کودکان و سالمندان)، و عوامل زیرساختی-محیطی (دسترسی به فضای سبز، استحکام بنا، فاصله از فاضلاب و مراکز صنعتی، دسترسی به مراکز ورزشی و حمل‌ونقل عمومی).

پس از انجام فرآیندهای پیش‌پردازش؛ شامل ژئوکدینگ، پاک‌سازی داده‌ها، حذف نقاط پرت و نویز، و تبدیل داده‌های نقطه‌ای به سطحی تمامی اطلاعات در قالب واحدهای هگزاگونال ۵۸ متری یکپارچه‌سازی شدند (جدول ۱). این واحدها به‌عنوان مبنای تجمیع و تحلیل‌های فضایی در کل پژوهش استفاده گردیدند.

۱ Electrical Conductivity (EC)
۲ Potential of Hydrogen (PH)
۳ Turbidity
۴ Total Dissolved Solids(TDS)
۵ Residual Chlorine

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده

معیارهای ارزیابی	دامنه	شاخص‌ها	ایستا / سری زمانی	منبع	منابع داده
سلامتی	بیماری‌ها	بیماری‌های قلبی، تنفسی، چشمی، پوستی، سرطانها	سری زمانی	[۴,۱۶]	مرکز بهداشت اهواز
	دسترسی به خدمات بهداشتی	کلینیک و پاراکلینیک، پزشک، داروخانه، مراکز بهداشتی، بیمارستان	ایستا	[۴,۱۶]	مرکز بهداشت اهواز
محیطی–جغرافیایی	حمل‌ونقل	حمل‌ونقل عمومی، دسترسی به راه	ایستا	[۴,۱۶]	شهرداری اهواز
	کیفیت آب	pH ،EC، کدورت، کل جامدات محلول، کلر	سری زمانی	[۴,۱۶]	مرکز بهداشت اهواز
	زیرساخت‌ها	فضای سبز، استحکام بنا، مراکز ورزشی، فاصله از مراکز صنعتی	ایستا	[۴,۱۶]	شهرداری اهواز
	آلودگی	فاصله از فاضلاب صنعتی، فاصله از فاضلاب شهری	ایستا	[۴,۱۶]	شهرداری اهواز
اجتماعی–جمعیت‌شناختی	جمعیت، جنسیت، آموزش، سن	تراکم جمعیت، تراکم زنان، تراکم بی‌سوادان، تراکم سالمندان، تراکم کودکان	ایستا	[۴,۱۶]	مرکز آمار ایران
	مرگ‌ومیر	مرگ‌ومیر کودکان زیر ۵ سال، نوزادان، ناشی از بیماری‌های قلبی و عروقی	سری زمانی	[۴,۱۶]	مرکز بهداشت اهواز
اقتصادی	بیکاری، الگوی کار	تراکم بیکاران، تراکم کودکان کار	ایستا	[۴,۱۶]	مرکز آمار ایران

۳-۲- مرحله دوم: ساخت مدل

۳-۲-۱- شاخص نیاز سلامت شهری

شاخص نیاز سلامت شهری[۱] به‌منظور برآورد کمی بار بیماری در سطح فضایی و زمانی طراحی شده است. این شاخص از چارچوب شاخص محرومیت چندبعدی[۲] و شاخص محرومیت منطقه‌ای[۳] الهام گرفته که در آن‌ها نیاز سلامت به‌عنوان ترکیبی وزن‌دار از شرایط اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی تعریف می‌شود [۷]. برخلاف رویکردهای سنتی که وزن‌دهی به عوامل مؤثر بر سلامت را بر پایه قضاوت کارشناسی انجام می‌دهند، در این پژوهش از یک رویکرد ترکیبی یادگیری ماشین استفاده شده است تا سوگیری ذهنی به حداقل برسد و وزن‌های تجربی بر اساس داده‌های واقعی محاسبه شوند. متغیرهای پیش‌بین در دو دسته سازماندهی شدند :متغیرهای پویا ؛۶ شاخص کیفیت آب شامل آلودگی کلیفرم، هدایت الکتریکی[۴]، اسیدیته[۵]، کلر باقی‌مانده، مواد جامد محلول[۶]، و کدورت آب—به همراه عامل زمانی (ماه و سال) و متغیرهای ایستای اجتماعی-زیست‌محیطی، ۱۰ شاخص شامل تراکم سالمندان، کودکان، زنان و جمعیت کل؛ کودکان کار؛ بیکاری؛ ساختمان‌های فرسوده؛ مجاورت به مراکز صنعتی؛ فاصله از فاضلاب صنعتی و شهری). متغیر هدف، بار ترکیبی پنج گروه بیماری حساس به شرایط محیطی در اهواز بود :سرطان، بیماری‌های پوستی، قلبی-عروقی، چشمی و تنفسی .داده‌ها شامل بیش از ۷۰۰۰۰ رکورد ابتلا با موقعیت مکانی دقیق بودند که پس از ژئوکدینگ، تجمیع ماهانه و نرمال‌سازی، در قالب یک مجموعه فضایی-زمانی ماهانه برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ روی شبکه هگزاگونال ۵۸ متری ساختاردهی شدند.

برای وزن‌دهی متغیرها از اهمیت متغیر (feature importance) استفاده شد، زیرا هدف، تعیین سهم نسبی هر عامل در بار بیماری است. برای اینکه نتیجه به یک الگوریتم خاص وابسته نباشد، سه روش مکمل به‌کار رفت:

۱ Urban Health Need Index (UHNI)
۲ Index of Multiple Deprivation (IMD)
۳ Area Deprivation Index (ADI)
۴ Electrical Conductivity (E)
۵ pH
۶ Total Dissolved Solids (TDS)

در رگرسیون جنگل تصادفی، اهمیت هر متغیر از میانگین کاهش ناخالصی در درخت‌ها به‌دست می‌آید و به‌دلیل میانگین‌گیری از درخت‌های مستقل، پایدار و تکرارپذیر است. تقویت گرادیانی با ساخت متوالی درخت‌ها، روابط غیرخطی و تعامل متغیرها را بهتر نشان می‌دهد. اهمیت جایگشت با تصادفی‌کردن مقادیر هر متغیر در داده آزمون و سنجش افت عملکرد، مستقل از ساختار مدل است و سوگیری اهمیت مبتنی بر ناخالصی را جبران می‌کند. وزن هر روش جداگانه نرمال و طبق فرمول (۱) با نسبت ۳۰/۳۰/۴۰ ترکیب شد؛ بیشترین وزن به جنگل تصادفی به‌دلیل پایداری آن داده شد.

مدل اول- جنگل تصادفی[۱]:

با پارامترهای n_estimators=180، max_depth=16، min_samples_leaf=3، max_features=0.8. عملکرد روی داده‌های تست:$R^2 = 0.96$.

مدل دوم- تقویت گرادیانی[۲]:

با پارامترهای n_estimators=150، max_depth=8، learning_rate=0.05، min_samples_leaf=3.

مدل سوم - اهمیت جایگشت[۳]:

با اجرای ۱۰ تکرار تصادفی روی داده‌های تست، مستقل از ساختار داخلی مدل.

وزن نهایی هر متغیر از ترکیب وزنی سه منبع طبق فرمول (۱) به‌دست آمد:

$$w_i = 0.4.w_i^{RF} + 0.3.w_i^{GB} + 0.3w_i^{PI} \qquad (۱)$$

که در آن w_i^{PI}، w_i^{GB} و w_i^{RF} وزن‌های نرمال‌شده هر متغیر از سه روش هستند و مجموع wiها برابر یک است. نسبت ۳۰/۳۰/۴۰ بر اساس پایداری بیشتر RF در برابر نویز داده انتخاب شد همچنین وزنهای حاصل از این روش تکرارپذیری بالاتری را نشان می‌دهد لذا وزن آن نصبت به دو روش دیگر غالب است، و این در حالیست که GB با وزن ۳۰ درصد اهمیت غیرخطی و تعاملات پیچیده بین متغیرها را بهتر شناسایی می‌کند و بعنوان مکمل رویکرد RF است و نهایتاً روش PI با وزن ۳۰ درصد رویکردی مستقل از مدل و مبتنی بر کاهش عملکرد ارائه می‌دهد که تعادل بین رویکردهای مبتنی بر مدل و غیروابسته به مدل را تضمین می‌کند. این نسبت‌بندی بر اساس اصول نظری و تجربه روش‌شناختی انتخاب شده است. تحلیل حساسیت نسبت‌های مختلف و بهینه‌سازی تجربی آن‌ها می‌تواند در مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

مدل با استفاده از اعتبارسنجی متقاطع ۵ قسمتی روی داده‌های آموزش (۸۰٪ داده‌ها) ارزیابی شد تا پایداری و تعمیم‌پذیری آن تأیید شود.

شاخص‌های شاخص نیاز سلامت شهری با استفاده از "روش تجمیع هندسی توسعه‌یافته از چارچوب شاخص سلامت شهری سازمان بهداشت جهانی" طبق فرمول (۲) ترکیب شدند:

$$UHNI = (\prod_{i=1}^{n} X_i^{w_i}) \qquad (۲)$$

که در آن w_i: وزن اختصاص داده شده به شاخص iام، بر اساس خروجی مدل تجمیعی، x_i مقدار استاندارد شده شاخص i ام، n تعداد کل شاخصهای مورد بررسی است.مجموع وزنهای استخراج شده برابر با یک تنظیم شده نرمالسازی نتایج تضمین گردد.

۳-۲-۲- شاخص دسترسی

شاخص دسترسی فضایی در این پژوهش بر این اصل استوار است که دسترسی، تابعی پویا از نوع خدمت و محدودیت‌های جابجایی گروه‌های مختلف جمعیتی است [۱۸]. بدین منظور، چهار گروه جمعیتی شامل جمعیت کل شهری به‌عنوان خط مبنا و سه گروه آسیب‌پذیر شامل زنان، سالمندان و کودکان که مواجه با محدودیت‌های حرکتی متفاوتی هستند، مبنای تحلیل قرار گرفتند [۲]. محاسبات این شاخص با توسعه روش حوزه نفوذ شناور دو مرحله‌ای تطبیقی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و طی سه گام اصلی انجام شده است. رویکرد "تطبیقی"[۴] به این معناست که آستانه دسترسی (d_{max,G,S}) برای هر گروه جمعیتی (G) و هر نوع خدمت (S) به‌صورت جداگانه تعریف شده است، بر خلاف روش‌های سنتی SFCA۲ که از یک آستانه ثابت برای تمام جمعیت استفاده می‌کنند.

۱ Random Forest(RF)
۲ Gradient Boosting(GB)
۳ Permutation Importance(PI)
۴ Adaptive

جدول ۲- نیازمندی‌ها و استانداردهای گروه‌های جمعیتی

ردیف	گروه‌های جمعیتی	نیازها	حداکثر فاصله دسترسی dmax,G (مترمربع)	منبع
۱	تمامی جمعیت	حمل و نقل عمومی	۴۰۰-۸۰	[۲۱]
		کلینیک و مطب	۵۰۰۰	[۲۰،۳۰]
		پاراکلینیک	۵۰۰۰	[۲۰،۳۰]
		بیمارستان	۵۰۰۰	[۲۰،۳۰]
		مراکز بهداشت و خانه بهداشت	۵۰۰۰	[۲۰،۳۰]
		داروخانه	۸۰۰۰-۱۶۰۰۰	[۲۴]
		پارک و فضای سبز	۳۰۰	[۲۵]
		مراکز ورزشی	۵۰۰-۱۰۰۰	[۲۶]
۲	سالمندان	حمل و نقل عمومی	۵۷۰	[۲۲]
		کلینیک و مطب	۳۰۰-۵۰۰-۸۰۰	[۱۹]
		پاراکلینیک	۸۰۰	[۱۹]
		بیمارستان	۱۸۰۰	[۲۷]
		مراکز بهداشت و خانه بهداشت	۵۰۰-۱۰۰۰	[۲۸]
		داروخانه	۵۷۰-۸۵۵	[۲۸]
		پارک و فضای سبز	۳۰۰	[۲۵]
		مراکز ورزشی	۸۵۵	[۲۹]
۳	زنان	مراکز بهداشتی	۵۰۰۰	[۲۳]
		بیمارستان	۵۰۰۰	[۲۳]
		پارک و فضای سبز	۲۵۰	[۳۰]
		مراکز ورزشی	۵۰۰-۱۰۰۰	[۲۶]
۴	کودکان	پارک	۸۰۰	[۲۳]
		مراکز بهداشتی	۴۱۶۶	[۳۱]
		حمل و نقل	۲۴۱۴	[۱۷]

گام اول) محاسبه نسبت عرضه به تقاضا (Rj) برای هر مرکز خدمات j مطابق با فرمول ۳:

$$R_j = \frac{1}{\sum_{k\in\{d_{kj}\le d_{max,G)}} P_k} \qquad (۳)$$

که در آن، d_{kj} نشان‌دهنده فاصله شبکه معابر میان مکان عرضه j و واحد تقاضای k، و d{max,G} حداکثر شعاع دسترسی استاندارد تعریف‌شده برای گروه جمعیتی G (مطابق استانداردهای جدول ۲) است. Pk نیز بیانگر جمعیت کل واحد هگزاگونالk است؛ چرا که فرض می‌شود هر مرکز به تمامی افراد واقع در حوزه نفوذ خود بدون مرزبندی دموگرافیک خدمات ارائه می‌دهد.

گام دوم: محاسبه دسترسی هر واحد مکانی i برای هر گروه G:

در این مرحله، میزان دسترسی فضایی برای یک گروه جمعیتی خاص (G) در مکان i از طریق تجمیع نسبت‌های عرضه تمام مراکزی که در شعاع جابجایی مجاز آن گروه قرار دارند، طبق فرمول ۴ برآورد می‌شود:

$$A_{ig} = \sum_{j\in\{d_{ij}\le d_{max,G}\}} R_j \qquad (۴)$$

که در آن، A_{iG} شاخص دسترسی گروه جمعیتی G در هگزاگون i است و تنها مراکز عرضه‌ای را شامل می‌شود که فاصله آن‌ها تا واحد تقاضا، از آستانه جابجایی آن گروه حساس ($d_{max,G}$) بیشتر نباشد.

گام سوم: محاسبه دسترسی[۱] کل با وزن‌دهی جمعیتی:

در نهایت، به‌منظور دستیابی به یک معیار واحد در هر واحد فضایی، شاخص کلی دسترسی در هگزاگون i از طریق ترکیب وزنی شاخص‌های دسترسی گروه‌ها بر مبنای نسبت سهم هر گروه از کل جمعیت ساکن در آن واحد، مطابق با فرمول ۵ استخراج می‌شود:

$$Accessibility_i = \sum_G \left(\frac{P_{iG}}{P_{i,Total}}\right).A_{iG} \qquad (۵)$$

۱ Accessibility

که در آن، P_{iG} جمعیت گروه حساس G در هگزاگون i و $P_{i,Total}$ کل جمعیت ساکن در همان واحد فضایی است.

در این پژوهش، برای هشت نوع خدمت سلامت شهری (حمل‌ونقل عمومی، کلینیک، پاراکلینیک، بیمارستان، مراکز بهداشت، داروخانه، پارک و مراکز ورزشی) و چهار گروه جمعیتی، آستانه‌های دسترسی ایده‌آل (dmax,G,S) به‌صورت متمایز و مبتنی بر استانداردهای بین‌المللی و منطقه‌ای تعریف شد (جدول ۲)، تا محدودیت‌های حرکتی گروه‌های آسیب‌پذیر و تنوع خدمات به‌طور دقیق‌تر در شاخص منعکس گردد. با توجه به عدم دسترسی به داده‌های دقیق ظرفیت پذیرش هر مرکز، ظرفیت عرضه تمامی مراکز به صورت استاندارد برابر با عدد ۱ لحاظ گردید تا تمرکز مدل بر سنجش ابعاد جغرافیایی و فضایی دسترسی معطوف باشد.

۳-۳- ساخت شاخص مکانی سلامت

شاخص مکانی سلامت: یک معیار ترکیبی ساختاریافته برای ارزیابی ابعاد عدالت فضایی در ساختار شهری است که بر اساس تفاضل میان لایه دسترسی فضایی تطبیقی (Accessibility) و شاخص نیاز سلامت شهری (UHNI) محاسبه می‌شود. این شاخص به‌خوبی تبیین می‌کند که خدمات و زیرساخت‌های سلامت‌محور موجود تا چه میزان نیازهای واقعی و روزمره جمعیت را در هر پهنه جغرافیایی پوشش داده‌اند. مبنای ریاضی محاسبه این شاخص در رابطه ۶ ارائه شده است:

$$\mathrm{SHI} = \sum_{\mathbf{s=1}}^{\mathbf{n}} (A_{i,s} - \mathbf{UHNI}) \qquad (۶)$$

که در آن SHIi هگزاگون، s خدمت (۱ تا ۸) و $A_{i,s}$ دسترسی هگزاگون i به خدمت s، UHNI شاخص نیاز هگزاگون، و SHI شاخص سلامت مکانی هگزاگون مورد نظر را نشان می‌دهد. به منظور امکان مقایسه استاندارد و پهنه استاندارد و پهنه بندی فضایی، مقادیر حاصل از تفاضل دو شاخص در بازه (۱+ و ۱-) نرمالسازی شده‌اند. تفسیر منطقی این شاخص به شرح زیر است:

مقادیر مثبت (نزدیک به ۱+): نشاندهنده دسترسی مطلوب و مازاد زیرساختهای خدماتی نسبت به نیاز واقعی جمعیت در آن واحد فضایی است.

مقدار صفر :بیانگر توازن کامل و انطباق دقیق میان خدمات شهری موجود و نیاز جمعیت است.

مقادیر منفی (نزدیک به ۱-) :نشان‌دهنده شکاف ساختاری، محرومیت فضاپذیر و کمبود شدید در ارائه خدمات شهری به پهنه‌های سکونتی با وجود بالا بودن نیاز واقعی جمعیت است.

این شاخص با در نظر گرفتن پیوستگی و خوشه‌بندی طبیعی پدیده‌های مرتبط با سلامت، امکان نمایش و تحلیل دقیق زون‌های شهری را بر اساس سطح تحقق عدالت فضایی فراهم می‌سازد.

۴-۳- ارزیابی صحت

به‌منظور ارزیابی اعتبار شاخص مکانی سلامت (SHI)، از ضریب همبستگی پیرسون[۱] بین مقادیر SHI محاسبه‌شده در سطح واحدهای هگزاگونال و سه شاخص مرگ‌ومیر استفاده شد:

نرخ مرگ‌ومیر نوزادان

نرخ مرگ‌ومیر کودکان زیر ۵ سال

نرخ مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی

داده‌های مرگ‌ومیر مربوط به بازه ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ از سازمان بهداشت و درمان استان خوزستان اخذ شدند. انتخاب شاخص‌های مرگ‌ومیر نوزادان و کودکان به این دلیل است که این دو متغیر به‌عنوان حساس‌ترین معیارها برای سنجش خروجی نهایی بهداشت، توسعه‌یافتگی و توزیع عادلانه خدمات در سطح شهری شناخته می‌شوند [۳۲, ۳۳]. شاخص مرگ‌ومیر قلبی-عروقی نیز به‌دلیل حساسیت آن به کیفیت و دسترسی به خدمات تخصصی و تأثیرپذیری از عوامل محیطی بلندمدت افزوده شد [۳۴, ۳۵].

وجود همبستگی منفی و معنی‌دار ($p < ۰.۰۵$) بین SHI و نرخ مرگ‌ومیر، اعتبار تحلیلی و پایداری روش‌شناسی را تأیید می‌کند.

۴- یافته‌ها و نتایج

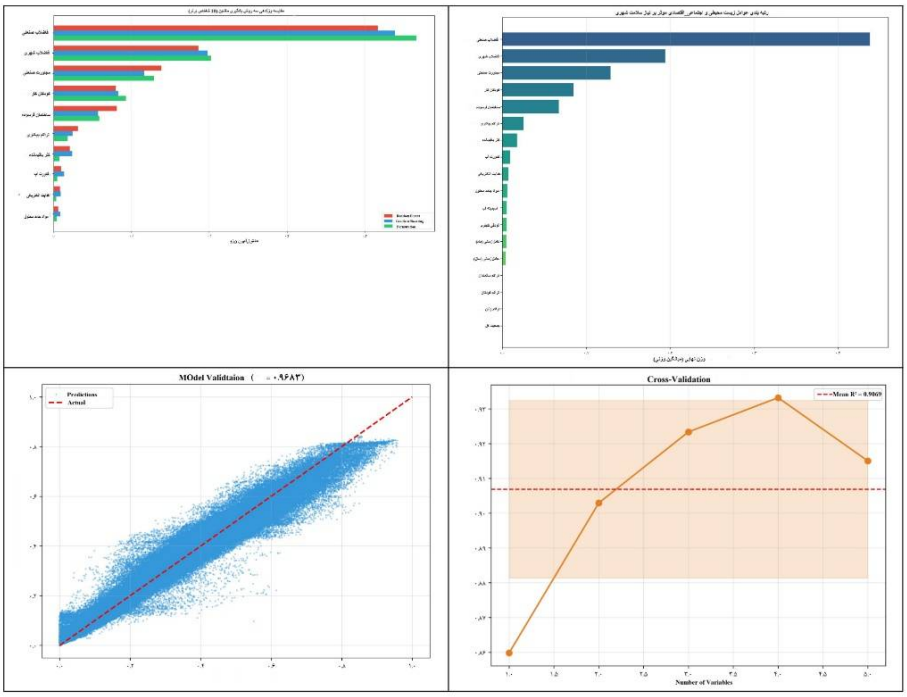
۱-۴- ارزیابی اهمیت ویژگی‌ها و تعیین وزن‌های شاخص نیاز (UHNI)

تحلیل اهمیت ویژگی‌های حاصل از سه مدل (جنگل تصادفی، تقویت گرادیانی و اهمیت بازگشت) الگوی روشنی را آشکار می‌سازد (شکل ۳) .فاضلاب صنعتی با وزن نهایی

۱ Pearson Correlation

۰.۴۴ به‌فاصله قابل‌توجهی بالاترین وزن را در میان تمام متغیرها به خود اختصاص داد و فاضلاب شهری با وزن ۰.۱۹ در رتبه دوم قرار گرفت؛ این دو متغیر به‌تنهایی بیش از ۶۰ درصد از قدرت تبیینی مدل را تشکیل می‌دهند که نشان‌دهنده نقش غالب آلودگی شبکه‌های فاضلاب در تبیین بار بیماری‌های هدف در اهواز است. مجاورت با مناطق صنعتی با وزن ۰.۱۳ در رتبه سوم قرار گرفت.

در میان متغیرهای اقتصادی-اجتماعی، کودکان کار (۰.۰۸) و ساختمان‌های فرسوده (۰.۰۷) بیشترین اهمیت را داشتند و تراکم بیکاری (۰.۰۲۵) در رتبه ششم قرار گرفت که نشان‌دهنده نقش تشدیدکننده محرومیت اقتصادی-اجتماعی در کنار عوامل زیست‌محیطی است. در مقابل، متغیرهای کیفیت آب (کدورت، هدایت الکتریکی، TDS، pH) و شاخص‌های جمعیت‌شناختی (تراکم سالمندان، کودکان، زنان) در مجموع کمتر از ۱۰ درصد از قدرت تبیینی مدل را به خود اختصاص دادند.



شکل ۲- نتایج مدل‌سازی یادگیری ماشین: ارزیابی اهمیت متغیرها، وزن‌دهی ترکیبی و اعتبارسنجی دقت مدل در تبیین نیاز سلامت شهری

۴-۲- تحلیل توزیع فضایی-زمانی شاخص نیاز سلامت شهری (UHNI)

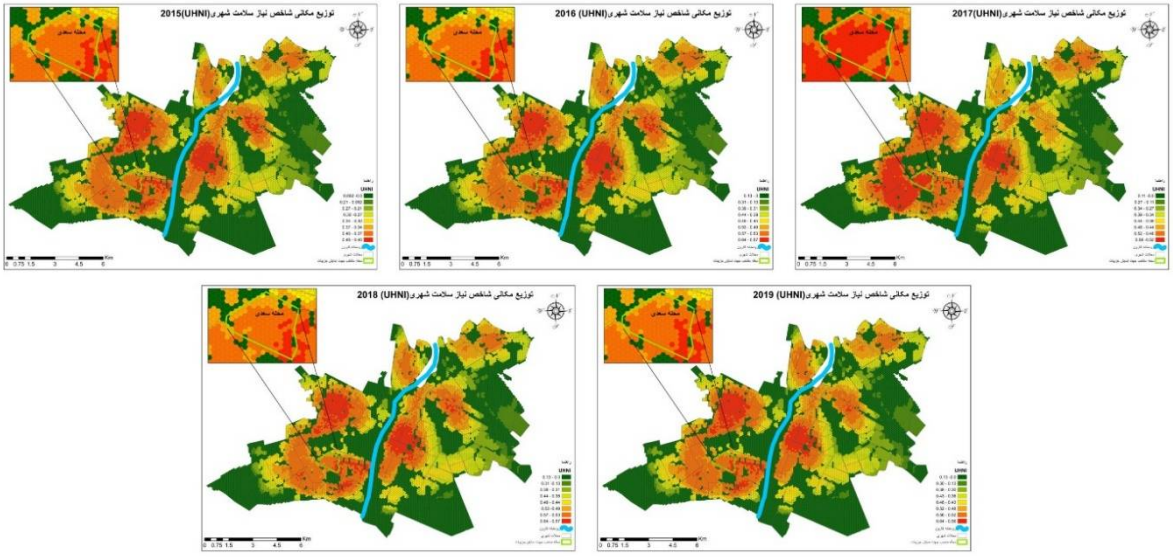
شاخص نیاز سلامت شهری (UHNI) پس از اعمال وزن‌های استخراج‌شده از مدل تجمیعی، برای دوره پنج‌ساله ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ در سطح واحدهای هگزاگونال محاسبه و پهنه‌بندی شد (شکل ۴). تحلیل سری زمانی نقشه‌های حاصل الگوهای زیر را آشکار می‌کند:

پایداری هسته‌های بحرانی و ارتباط آن با توزیع پساب صنعتی: بخش‌های مرکزی و شمال‌شرقی و قسمتهایی از غرب شهر در تمام پنج سال به‌طور پایدار بالاترین مقادیر UHNI را نشان می‌دهند. این الگو با توزیع فضایی منابع پساب صنعتی در شهر انطباق قابل‌توجهی دارد؛ مناطق بحرانی (مرکز، شمال‌شرق و بخش‌هایی از غرب شهر) عمدتاً در همجواری با کانون‌های تخلیه پساب صنعتی قرار دارند. با توجه به اینکه فاضلاب صنعتی بالاترین وزن را در مدل به خود اختصاص داده (۰.۴۴)، این انطباق فضایی تأییدکننده نقش تعیین‌کننده این عامل در شکل‌دهی به الگوی نیاز سلامت در سطح شهر است.

ثبات نسبی با تغییرات جزئی: توزیع فضایی شاخص در طول دوره مطالعه از ثبات نسبی برخوردار است و گسترش قابل‌توجهی در پهنه‌های بحرانی مشاهده نمی‌شود. با این حال تغییرات جزئی قابل ردیابی است؛ در سال ۲۰۱۷ بخش‌های مرکزی و جنوب‌غربی شاخص نیاز اندکی بالاتری نسبت به سایر سال‌ها نشان می‌دهند، هرچند این تفاوت در سطح بسیار چشمگیری نیست. پایداری این الگو در طول زمان با

ماهیت ثابت عوامل ساختاری-محیطی غالب در مدل (پساب صنعتی، مجاورت صنعتی) هم‌خوانی دارد.

وضعیت نسبتاً بهتر نواحی شرقی: بخش‌های شرقی شهر در مقایسه با مرکز و شمال‌شرق از شاخص نیاز پایین‌تری برخوردارند. یکی از عوامل مؤثر در این الگو، پوشش فضای سبز بیشتر در این نواحی است که می‌تواند در کاهش نسبی بار سلامتی این مناطق نقش داشته باشد. علاوه بر این، فاصله بیشتر این مناطق از کانون‌های اصلی پساب صنعتی نیز به احتمال زیاد در این وضعیت بهتر سهیم است. مناطق بنفش یکدست در نقشه‌ها مربوط به واحدهای هگزاگونال فاقد جمعیت یا بلوک ساختمانی است که از محاسبه شاخص خارج شده‌اند.



شکل ۳- شاخص نیاز سلامت شهری برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹

۴-۳- شاخص دسترسی

فاصله‌های شبکه‌ای بین بلوک‌های ساختمانی و مراکز ارائه خدمات با استفاده از تحلیل شبکه[۱] در محیط GIS استخراج شد. سپس، محاسبات شاخص دسترسی (Adaptive 2SFCA) بر اساس فرمول‌های (۳)، (۴) و (۵) برای هر یک از ۸ خدمت و با توجه به ترکیب گروه‌های جمعیتی در سطح بلوک‌های ساختمانی، با استفاده از زبان پایتون[۲] و کتابخانه GeoPandas انجام گردید. در مرحله بعد، نتایج حاصل به واحدهای هگزاگونال تعمیم داده شد و شاخص مکانی سلامت (SHI) مطابق فرمول (۶) محاسبه شد.

سرویس‌های ارائه‌دهنده خدماتی که موجب بهبود سلامتی می‌شوند شامل پارک‌ها، مراکز و خانه‌های بهداشت، کلینیک‌ها و مطب‌ها، حمل‌ونقل عمومی، مراکز ورزشی، بیمارستان‌ها، داروخانه‌ها و پاراکلینیک‌ها در این مطالعه استفاده شدند، و دسترسی به هر یک از این خدمات با توجه به ترکیب جمعیتی و نیاز گروه‌های مختلف جمعیت محاسبه گردید. تحلیل تفکیکی این هشت نقشه (شکل ۵) یک الگوی فضایی نظام‌مند را آشکار می‌کند که محور اصلی آن رودخانه کارون است؛ به‌طوری‌که نیمه غربی شهر در اکثر خدمات از وضعیت مطلوب‌تری نسبت به نیمه شرقی برخوردار است.

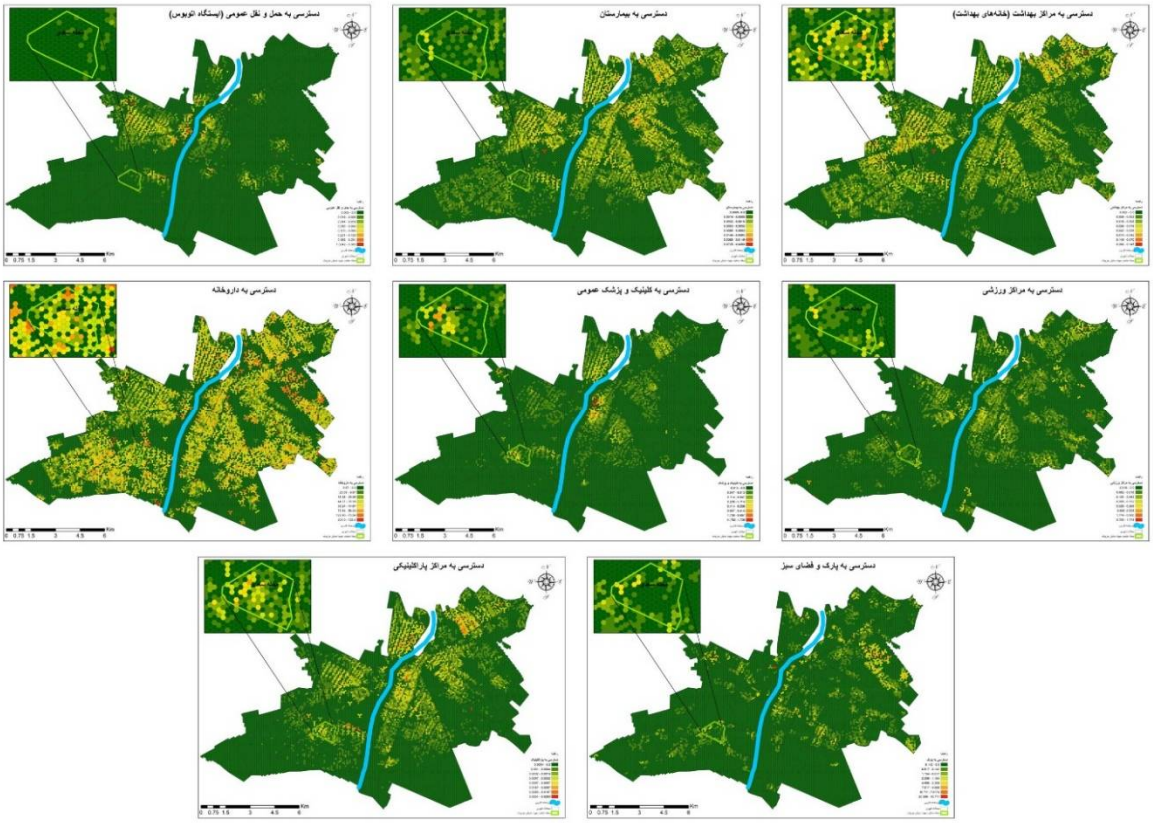
در میان خدمات بررسی‌شده، داروخانه‌ها پیوسته‌ترین و مقاوم‌ترین پوشش فضایی را در سطح شهر دارند و کمتر تحت تأثیر مرز رودخانه قرار گرفته‌اند؛ این موضوع احتمالاً ناشی از تراکم بالای این مراکز در شبکه‌های تجاری خرد محلی است که نسبت به مراکز درمانی بزرگ، توزیع یکنواخت‌تری در سطح شهر دارند. در مقابل، بیمارستان‌ها، پاراکلینیک‌ها و مراکز بهداشتی تخصصی در نیمه غربی شهر متمرکز شده‌اند و این امر سطح دسترسی محلات واقع در شرق رودخانه را کاهش داده است.

دسترسی به فضای سبز شهری نیز الگوی پراکنده و ناهمگنی دارد؛ در حالی‌که برخی بافت‌های شهری از نسبت عرضه‌به‌تقاضای نسبتاً مطلوبی برخوردارند، اکثر بلوک‌های پرتراکم مسکونی شهر، به‌ویژه در حاشیه‌ها، عملاً دسترسی

۱ Network Analysis

۲ Python

نزدیک به صفر به پارک دارند. این نابرابری در حوزه حمل‌ونقل عمومی نیز تشدید می‌شود: دسترسی متوسط رو به بالا تنها در هسته مرکزی و تجاری شهر[1] مشاهده می‌شود، در حالی‌که مناطق پیرامونی ویژگی‌های یک «کویر حمل‌ونقلی» را نشان می‌دهند که در آن، ساکنان عملاً امکان دسترسی پیاده یا با وسیله نقلیه عمومی به خدمات سلامت را ندارند.



شکل ۴- توزیع فضایی میزان دسترسی به زیرساخت‌های بهداشتی، درمانی و رفاهی مؤثر بر سلامت در کلان‌شهر اهواز

۴-۴- شاخص مکانی سلامت

از ترکیب شاخص نیاز سلامت شهری و شاخص دسترسی به خدمات ، شاخصی با عنوان شاخص مکانی سلامت محاسبه گردید. .این شاخص پس از نرمالیزه کردن ارزشی بین -۱ تا +۱ را در برمی‌گیرد. کمترین مقدار نشان دهنده کیفیت پایین سلامت و نبود هیچ امکاناتی است و بیشترین مقدار نشان دهنده بالا بودن کیفیت سلامت و دسترسی به تمامی امکانات در نزدیکی گروههای جمعیتی و واحد مطالعاتی است. در شکل ۶ میانیگن سالانه این شاخص نشان داده شده است.

شکل [۶] توزیع فضایی شاخص مکانی سلامت (SHI) در شهر اهواز را برای سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. مقادیر SHI در بازه [−۱,+۱] نرمال‌سازی شده‌اند؛ مقادیر مثبت نشان‌دهنده تعادل مطلوب بین دسترسی و نیاز (یا برتری دسترسی) و مقادیر منفی بیانگر محرومیت نسبی (نیاز بیشتر از دسترسی) است.

یافته‌های کلیدی:

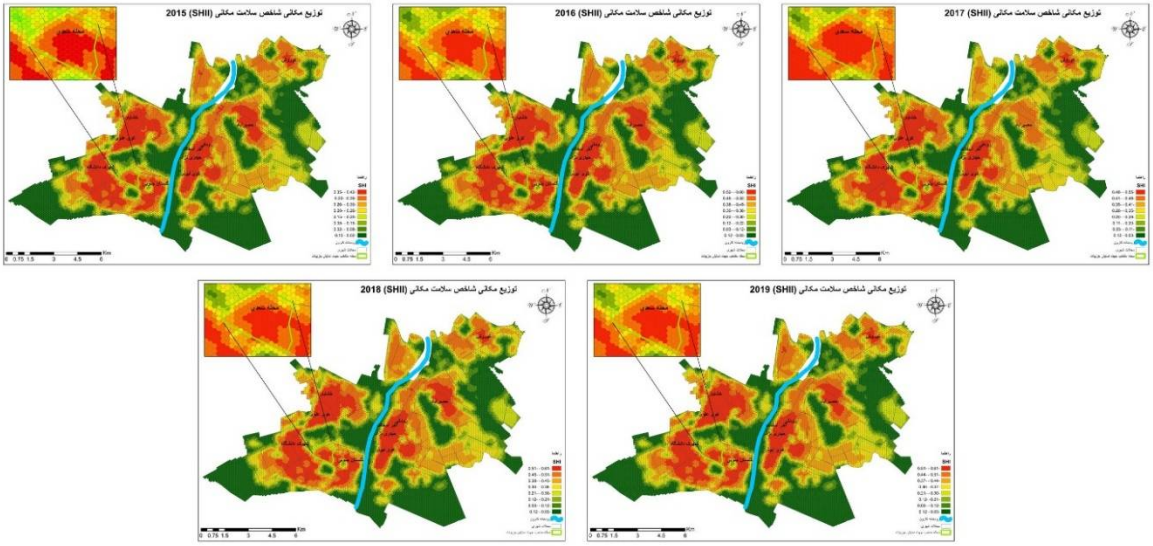
مناطق دارای تعادل (SHI تقریبا صفر): قسمت‌های سبز رنگ عمدتاً در مرکز شهر و برخی نواحی شرقی قرار دارند و بیانگر تعادل نسبی بین دسترسی به خدمات بهداشتی و نیاز سلامت هستند. بخشی از این مناطق فاقد جمعیت بوده و به همین دلیل SHI برای آن‌ها محاسبه نشده است.

مناطق با دسترسی پایین (SHI<۰/۲-): بخش‌های وسیعی از مرکز (محلات رودکی، حیدری‌نژاد، کوی ابوذر و آخر آسفالت)، غرب (کوی علوی) و قسمت‌هایی از جنوبغرب (شهرک دانشگاه) شهر را پوشش می‌دهند و نشان‌دهنده محرومیت فضایی شدید هستند که با رنگ زرد تا قرمز بر

۱ CBD

روی مشخص شده است. این مناطق دارای نیاز سلامت بالا و دسترسی ضعیف به مراکز درمانی هستند و باید در اولویت برنامه‌ریزی توسعه خدمات بهداشتی قرار گیرند.

مناطق با دسترسی بالا (SHI>۰/۱+): تقریباً وجود ندارند، که نشان‌دهنده فقدان نواحی با دسترسی برتر در شهر است. در مجموع، توزیع فضایی SHI بیانگر یک ناهم‌خوانی نظام‌مند است؛ از یک‌سو، گروه‌های جمعیتی آسیب‌پذیر در نواحی شرقی و حاشیه‌ای شهر به دلیل فواصل طولانی و کمبود خدمات، در وضعیت نامطلوب دسترسی فیزیکی قرار دارند. از سوی دیگر، بخش‌هایی از هسته مرکزی شهر نیز با وجود تراکم خدمات، به دلیل افت کیفیت محیطی و تراکم نیاز سلامت، نمرات مطلوبی کسب نکرده‌اند. این دوگانگی نشان می‌دهد تحقق عدالت فضایی، نیازمند توسعه هم‌زمان زیرساخت‌ها در پیرامون و ارتقای کیفیت محیط شهری در مرکز است.



شکل ۵- شاخص سلامت مکانی برای سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹

۴-۵- تحلیل زمانی شاخص سلامت مکانی

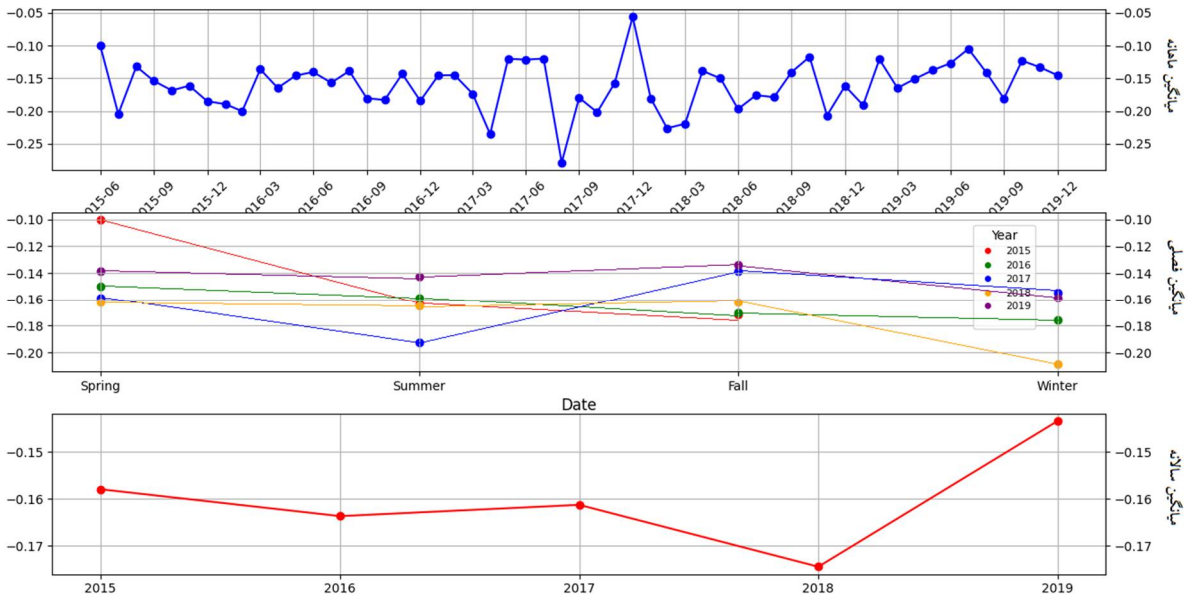
بر اساس تحلیل زمانی SHI در اهواز (۲۰۱۵-۲۰۱۹) مطابق شکل ۷، نوسانات فصلی منظمی مشاهده می‌شود که در تابستان و پاییز به دلیل افزایش آلودگی هوا و گرمای شدید، محرومیت تشدید می‌شود و در زمستان بهبود نسبی رخ می‌دهد. روند سالانه نشان‌دهنده کاهش تدریجی SHI تا ۲۰۱۸ (تشدید نابرابری) و بهبود چشمگیر در ۲۰۱۹ است که احتمالاً ناشی از کاهش آلودگی یا توسعه زیرساخت‌های بهداشتی بوده است. این الگو بر نقش کلیدی عوامل محیطی و فصلی در شکل‌گیری نابرابری فضایی سلامت تأکید می‌کند.

۴-۶- بررسی توزیع فضایی دسترسی در میان گروه‌های آسیب‌پذیر

بر اساس نتایج ضریب جینی، نابرابری فضایی شدیدی در توزیع دسترسی به خدمات سلامت در اهواز مشاهده شد. بالاترین میزان نابرابری در سطح کل جمعیت مربوط به ایستگاه‌های اتوبوس (جینی ۰.۸۷۸) و کلینیک‌ها (جینی ۰.۶۰۳) بود؛ در حالی که مراکز بهداشتی عادلانه‌ترین توزیع (در بازه ۰.۵۲۹ تا ۰.۵۷۶ برای گروه‌های مختلف) را داشتند. سالمندان آسیب‌پذیرترین گروه با ضریب جینی ۰.۸۹۸ برای دسترسی به کلینیک‌ها و ۰.۹۰۲ برای دسترسی به حمل‌ونقل عمومی (ایستگاه‌های اتوبوس) شناسایی شدند؛ موضوعی که نشان‌دهنده تمرکز شدید خدمات تخصصی و زیرساخت حمل‌ونقل در مرکز شهر و تشدید محرومیت برای این گروه در محلات حاشیه‌ای است.

۴-۷- ارزیابی صحت

برای اعتبارسنجی خارجی SHI، همبستگی آن با شاخص‌های مرگ‌ومیر واقعی در سطح محلات اهواز بررسی شد. نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد؛ (شکل ۸) نمودار همبستگی بین شاخص مکانی سلامت (SHI) و سه



شکل ۶- روند سالانه، فصلی و ماهانه شاخص مکانی سلامت

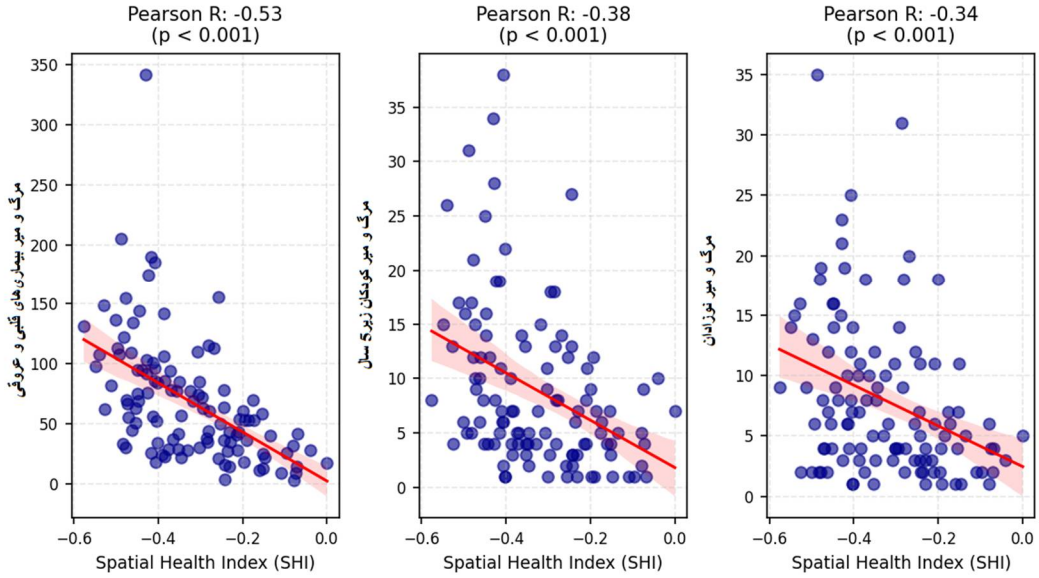
جدول ۳- مقایسه ضرایب جینی توزیع فضایی خدمات بهداشتی، درمانی و رفاهی برای جمعیت کل و گروه‌های آسیب‌پذیر (سالمندان، کودکان و زنان)

نوع خدمت	جمعیت کل (جینی)	سالمندان (جینی)	کودکان (جینی)	زنان (جینی)
بیمارستان‌ها	۰.۵۴۹	۰.۷۸۶	۰.۵۳۷	۰.۵۳۶
کلینیک‌ها	۰.۶۰۳	۰.۸۹۸	۰.۵۸	۰.۵۸۹
مطب‌ها	۰.۶۸۳	۰.۷۲۶	۰.۶۷۱	۰.۶۹۲
مراکز بهداشتی	۰.۵۴۱	۰.۵۷۶	۰.۵۳۵	۰.۵۲۹
داروخانه‌ها	۰.۵۹۳	۰.۵۹	۰.۵۴۹	۰.۵۸۶
پاراکلینیک‌ها	۰.۶۱۲	۰.۸۵۴	۰.۵۹۸	۰.۶۰۹
ایستگاه‌های اتوبوس	۰.۸۷۸	۰.۹۰۲	۰.۷۳	۰.۸۷۴
پارک / فضای سبز	۰.۶۶۴	۰.۶۲۹	۰.۵۲	۰.۶۹۴
مراکز ورزشی	۰.۶۸۲	۰.۶۲۸	۰.۶۶	۰.۶۶۱

شاخص مرگ‌ومیر: بیماری‌های قلبی-عروقی، کودکان زیر ۵ سال و نوزادان در محلات کلان‌شهر اهواز.

برای اعتبارسنجی خارجی SHI، همبستگی آن با شاخص‌های مرگ‌ومیر واقعی در سطح محلات بررسی شد. نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که قوی‌ترین همبستگی منفی مربوط به مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی ($r=-0.53$ ، $p<0.001$) است، که نشان می‌دهد SHI در شناسایی مناطق با آسیب‌پذیری بهداشتی بزرگسالان بسیار کارآمد است. همبستگی معنادار با مرگ‌ومیر کودکان زیر ۵ سال ($r=-0.38$) و نوزادان ($r=-0.34$) نیز اعتبار شاخص را در حوزه سلامت مادر و کودک تأیید می‌کند.

تمامی همبستگی‌ها در سطح $p<0.001$ معنادار بوده معنادار بوده‌اند، که نشان‌دهنده اعتبار بالای SHI در پیش‌بینی وضعیت سلامت در سطح محلات است.



شکل ۷- نمودار همبستگی بین شاخص مکانی سلامت و مرگ و میر ناشی از بیماریهای قلبی عروقی، مرگ و میر کودکان زیر ۵ سال و مرگ و میر نوزادان

۵- بحث

نتایج اعتبارسنجی نشان داد که SHI با هر سه شاخص مرگ‌ومیر رابطه منفی معنی‌دار دارد (p<۰.۰۰۱). قوی‌ترین همبستگی با مرگ‌ومیرناشی از بیماری‌های قلبی—عروقی (r=-۰/۵۳) و پس از آن با مرگ‌ومیر کودکان زیر پنج سال (r=-۰/۳۸) و مرگ‌ومیر نوزادان (r=-۰/۳۴) به‌دست آمد. این الگو نشان می‌دهد که هگزاگون‌هایی با SHI پایین‌تر -یعنی نیاز بالا و دسترسی پایین- با پیامدهای سلامت بدتر همراه‌اند. جهت و معنی‌داری همبستگی‌ها با انتظار نظری شاخص انطباق دارد و اعتبار سازه‌ای آن را تأیید می‌کند. قوی‌تر بودن همبستگی در مرگ‌ومیر قلبی-عروقی در مقایسه با مرگ‌ومیر نوزادان و کودکان قابل تأمل است. این یافته احتمالاً بازتاب آن است که دسترسی به خدمات تخصصی و کیفیت محیط زیست شهری -که هر دو از مؤلفه‌های SHI هستند- ارتباط مستقیم‌تری با بار بیماری‌های مزمن دارند تا با مرگ‌ومیر نوزادان که عوامل زیست‌شناختی و خدمات دوران بارداری نیز در آن سهیم‌اند.

مقایسه یافته‌های این پژوهش با مطالعات پیشین نشان‌دهنده هم‌خوانی روش‌شناختی و هم‌زمان پیشرفت در چارچوب تحلیل است. ام‌سی‌گریل[۱] و هومفیز (۲۰۱۴) با استفاده از محدوده‌های تجمیع پویا به‌جای شعاع ثابت نشان دادند که دقت سنجش دسترسی فضایی به خدمات بهداشت اولیه بهبود می‌یابد. پژوهش حاضر این منطق را در قالب Adaptive 2SFCA به‌کار می‌گیرد و علاوه بر آن، تحلیل شبکه‌ای را جایگزین فاصله اقلیدسی می‌کند تا دسترسی واقعی در بافت شهری اهواز بهتر منعکس شود. طهماسبی و همکاران (۲۰۱۹) باارزیابی توزیع فضایی تسهیلات عمومی شهری از منظر برابری دسترسی نشان دادند که رویکردهای چندوجهی نتایج دقیق‌تری از رویکردهای تک‌مدیارائه می‌دهند. در مطالعه حاضر نیز هشت نوع خدمت سلامت‌محور در یک چارچوب یکپارچه ارزیابی شده‌اند که امکان مقایسه الگوهای توزیع بین خدمات مختلف را فراهم می‌کند. کزازی و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل ترکیبی برای سنجش دسترسی فضایی به خدمات بهداشتی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین پیشنهاد دادند. مطالعه حاضر از این رویکرد پیشی می‌گیرد: نه‌فقط وزن‌دهی مبتنی بر یادگیری ماشین (Random Forest و Gradient Boosting) برای ساختUHNI به‌کار رفته، بلکه این شاخص نیاز در یک رابطه تفاضلی با دسترسی ترکیب شده و شاخص مکانی سلامت(SHI) را شکل داده است. یین[۲] و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای در چین نشان دادند که نابرابری در دسترسی فضایی به خدمات پزشکی با نابرابری در سلامت عمومی همبسته است. یافته‌های پژوهش حاضر این نتیجه را در زمینه یک کلان‌شهر کشور درحال‌توسعه تأیید می‌کند: در اهواز، شکاف فضایی شرق—غرب رودخانه کارون نه‌فقط در

۱ McGrail

۲ Yin

دسترسی، بلکه در پیامدهای سلامت نیز قابل ردیابی است. هشترخانی و همکاران (۲۰۲۴) بر ضرورت ابزارهای پردازش جغرافیایی برای تحلیل دسترسی و برابری تأکید کردند. رویکرد پژوهش حاضر با ادغام تحلیل شبکه GIS، محاسبات پایتون، و ساختار هگزاگونی ضمن دنبال کردن همین مسیر، گامی فراتر برداشته و شاخص نیاز را نیز در فرمول‌بندی نهایی وارد کرده است.

با وجود تنوع مطالعات اخیر در حوزه دسترسی فضایی و عدالت سلامت، اغلب آن‌ها یکی از دو بُعد را در نظر می‌گیرند: یا تمرکز بر عرضه خدمات یا بر نیاز و آسیب‌پذیری جمعیت. SHI با تعریف صریح رابطه هر دو بُعد را در یک چارچوب فضایی واحد ادغام می‌کند. اینترکیب به‌ویژه برای تشخیص مناطقی که نیاز بالا با دسترسی پایین هم‌زمان وجود دارد - که همان اولویت‌های مداخله سیاستی هستند- اهمیت عملی دارد.

یافته‌های فضایی الگوی نابرابری نظام‌مند در توزیع خدمات سلامت را آشکار می‌سازند. مناطق مرکزی و بخش‌هایی از جنوب‌غربی کمترین SHI را نشان می‌دهند - ترکیبی از تراکم جمعیت بالا، محرومیت اجتماعی-اقتصادی و دسترسی ضعیف به خدمات تخصصی نظیر بیمارستان و پاراکلینیک. نوآوری اصلی پژوهش در ترکیب همزمان بُعد عرضه و نیاز در یک شاخص واحد با وزن‌دهی ترکیبی (۴۰%RF، ۳۰%GB، ۳۰%PI) و استفاده از ساختار هگزاگونی با مساحت ۸۶۶۰ مترمربع برای افزایش دقت فضایی است.

محدودیت‌های این مطالعه شامل ناقص بودن احتمالی داده‌های مرگ‌ومیر در مناطق حاشیه‌ای، عدم لحاظ رفتارهای بهداشتی فردی و کیفیت مراقبت‌ها در UHNI، محدودیت مدل به دسترسی فیزیکی بدون لحاظ ابعاد مالی و فرهنگی و عدم دسترسی به ظرفیت واقعی مراکز بهداشتی درمانی است.

۶- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر شاخص مکانی سلامت (SHI) را به‌عنوان ابزاری عملیاتی برای ارزیابی عدالت فضایی در دسترسی به خدمات بهداشتی و درمانی معرفی کرد. این شاخص با ترکیب همزمان سه بُعد دسترسی فضایی به خدمات (عرضه)، نیاز سلامت جمعیت (تقاضا) و محرومیت اجتماعی-اقتصادی در یک فرمول واحد، توانست نابرابری‌های پیچیده فضایی را در سطح شهر اهواز شناسایی کند.

نتایج اعتبارسنجی خارجی نشان داد که SHI با شاخص‌های واقعی مرگ‌ومیر در سطح محله‌ها همبستگی معناداری دارد؛ مناطقی با SHI پایین‌تر (نیاز بالا و دسترسی ضعیف) پیامدهای نامطلوب‌تر سلامت را تجربه می‌کنند. قوی‌ترین همبستگی با مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های قلبی-عروقی (r=-0.53) مشاهده شد که بیانگر حساسیت بالای شاخص در شناسایی مناطق با آسیب‌پذیری شدید سلامت است.

تحلیل فضایی نشان داد که توزیع خدمات سلامت در اهواز از یک الگوی نامتوازن مرکز-حاشیه پیروی می‌کند. اگرچه نواحی مرکزی از تمرکز بالای خدمات و دسترسی فیزیکی بهتری برخوردارند، اما به دلیل افت کیفیت محیطی و تراکم بالای تقاضا، همچنان با چالش‌های سلامت مواجه‌اند؛ در مقابل، محلات حاشیه‌ای از فقر شدید زیرساخت‌ها رنج می‌برند. بررسی‌ها نشان داد که نابرابری در توزیع خدمات تخصصی (کلینیک‌ها با ضریب جینی ۰.۶۰۳ در کل جمعیت) و حمل‌ونقل عمومی (۰.۸۷۸) بسیار بالاست. سالمندان به‌عنوان آسیب‌پذیرترین گروه، بیشترین نابرابری را در دسترسی به کلینیک‌ها (ضریب جینی ۰.۸۹۸) و ایستگاه‌های اتوبوس (ضریب جینی ۰.۹۰۲) تجربه می‌کنند. در مقابل، مراکز بهداشتی با توزیع نسبتاً عادلانه‌تری (ضریب جینی در بازه ۰.۵۲۹ تا ۰.۵۷۶ برای گروه‌های مختلف) گام مثبتی در جهت دسترسی همگانی محسوب می‌شوند.

نوآوری اصلی این مطالعه در دو سطح است: نخست، تلفیق همزمان دو بُعد عرضه (دسترسی به خدمات) و تقاضا (نیاز سلامت) در یک فرمول واحد (SHI) که امکان شناسایی مناطق با عدم تعادل شدید میان نیاز و منابع را فراهم می‌کند. دوم، به‌کارگیری وزن‌دهی ترکیبی یادگیری ماشین برای تعیین اهمیت نسبی متغیرهای نیاز و استفاده از واحدهای هگزاگونی منظم (مساحت تقریبی ۸۶۶۰ مترمربع) به‌منظور کاهش خطای ژئوکدینگ و افزایش دقت تحلیل فضایی. این رویکرد چارچوبی قابل‌تعمیم برای سایر شهرها و مناطق فراهم می‌کند.

برای کاهش نابرابری‌های شناسایی‌شده، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران به بازتوزیع عادلانه خدمات تخصصی، ارتقای کیفیت محیطی در هسته مرکزی شهر،

توسعه حمل‌ونقل عمومی در مناطق محروم حاشیه‌ای و اولویت‌بندی مداخلات در مناطقی با SHI پایین و جمعیت آسیب‌پذیر بالا (کودکان، سالمندان و زنان) توجه ویژه داشته باشند. مطالعات آتی می‌توانند با ادغام داده‌های کیفیت خدمات و متغیرهای رفتاری و فرهنگی، دقت و کاربردپذیری SHI را افزایش دهند.

منابع

۱ Flacke, J., & Köckler, H. (2015). “Spatial urban health equity indicators – A framework-based approach supporting spatial decision making.” *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 193, 365–376. https://doi:10.2495/SDP150311

۲ McGrail, M. R., & Humphreys, J. S. (2014). “Measuring spatial accessibility to primary health care services: Utilising dynamic catchment sizes.” *Applied Geography*, 54, 182-188. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.08.005

۳ Kawachi, I., & Berkman, L. F. (Eds.). (2003). Neighborhoods and health. Oxford University Press.

۴ World Health Organization. (2014). *The Urban Health Index: A handbook for its calculation and use.* Geneva: World Health Organization. Available at: https://www.who.int/publications/i/item/9789241507806

۵ Whitehead, M. (1992). “The concepts and principles of equity and health.” *International Journal of Health Services*, 22(3), 429–445. https://doi.org/10.2190/986L-LHQ6-2VTE-YRRN

۶ Marmot, M. G., & Davey Smith, G. (1997). “Socio-economic differentials in health.” *Journal of Health Psychology*, 2(3), 283–296. https://doi.org/10.1177/135910539700200302

۷ Kind, A. J. H., & Buckingham, W. R. (2018). Making neighborhood-disadvantage metrics accessible — The neighborhood atlas. *New England Journal of Medicine*, *378*(26), 2456–2458. https://doi.org/10.1056/NEJMp1802313

۸ Larson, K., Cull, W. L., Racine, A. D., & Olson, L. M. (2016). “Trends in Access to Health Care Services for US Children: 2000-2014.” *Pediatrics*, 138(6), DOI: 10.1542/peds.2016-2176

۹ Yin, C., He, Q., Liu, Y., Chen, W., & Gao, Y. (2018). “Inequality of public health and its role in spatial accessibility to medical facilities in China.” *Applied Geography*, 92, 50-62. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.01.011

۱۰ Tahmasbi, B., Mansourianfar, M. H., Haghshenas, H., & Kim, I. (2019). “Multimodal accessibility-based equity assessment of urban public facilities distribution.” *Sustainable Cities and Society*, 49, 101633. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101633

۱۱ Kazazi, A. K., Amiri, F., Rahmani, Y., Samouei, R., & Rabiei-Dastjerdi, H. (2022). “A new hybrid model for mapping spatial accessibility to healthcare services using machine learning methods.” *Sustainability*, 14(21), 14106. https://doi.org/10.3390/su142114106

۱۲ Hashtarkhani, S., Schwartz, D. L., & Shaban-Nejad, A. (2024). Enhancing health care accessibility and equity through a geoprocessing toolbox for spatial accessibility analysis: Development and case study. JMIR Formative Research, 8, e51727. https://doi.org/10.2196/51727

۱۳ Khairat, S., Haithcoat, T., Liu, S., Zaman, T., Edson, B., Gianforcaro, R., & Shyu, C.-R. (2019). “Advancing health equity and access using telemedicine: A geospatial assessment.” *Journal of the American Medical Informatics Association*, 26(8-9), 796-805. https://doi.org/10.1093/jamia/ocz108

۱۴ Ni, J., Wang, Z., Li, H., Chen, J., & Long, Q. (2024). “Spatial accessibility and equity of community healthcare: Unraveling the impact of varying time and transport mode.” *Frontiers in Public Health*, 12. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.01

۱۵ Jamili, A., Imani Shamloo, J., & Dargahi, F. (2024). “Spatial analysis and integrated multi-criteria decision making methods; a model to evaluate justice in the distribution of urban services in Tehran.” *International Journal of Urban Sciences*. https://doi.org/10.1080/12265934.2024.243818

۱۶ Khosravi, A., Najafi, F., Rahbar, M. R., Motlagh, M. E., & Kabir, M. J. (Eds.). (2009). *Indicators of the health profile in the Islamic Republic of Iran*. Ministry of Health, Treatment, and Medical Education.

۱۷ Breiman, L. (2001). “Random forests.” *Machine Learning*, 45(1), 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

۱۸ Luo, W., & Wang, F. (2003). Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: Synthesis and a case study in the Chicago region. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *30*(6), 865–884. https://doi.org/10.1068/b29120

۱۹ Xu, Z., Shang, Z., Zhong, Y., Han, L., Li, M., & Yu, Y. (2024). “Evaluating 15-minute walkable life circles for the senior: A case study of Jiande, China.” *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 23(2), 105-118. https://doi.org/10.1080/13467581.2024.1878746

۲۰ Ashiagbor, G., Ofori-Asenso, R., Forkuo, E. K., & Agyei-Frimpong, S. (2020). “Measures of geographic accessibility to health care in the Ashanti Region of Ghana.” *Scientific African*, 9, e00453. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00453

۲۱ Daniels, R., & Mulley, C. (2013). “Explaining walking distance to public transport: The dominance of public transport supply.” *The Journal of Transport and Land Use*, 6(2), 5-20. https://doi.org/10.5198/jtlu.v6i2.308

۲۲ Hess, D. B. (2009). “Access to public transit and its influence on ridership for older adults in two U.S. cities.” *Journal of Transport and Land Use*, 2(1), 3-27. https://doi.org/10.5198/jtlu.v2i1.49

۲۳ Tanou, M., Kishida, T., & Kamiya, Y. (2021). “The effects of geographical accessibility to health facilities on antenatal care and delivery services utilization in Benin: A cross-sectional study.” *Reproductive Health*, 18(205). https://doi.org/10.1186/s12978-021-01249-x

۲۴ Berenbrok, L. A., Tang, S., Gabriel, N., Guo, J., Sharareh, N., Patel, N., Dickson, S., & Hernandez, I. (2022). “Access to community pharmacies: A nationwide geographic information systems cross-sectional analysis.” *Research in Social and Administrative Pharmacy*, 18(5), 1841-1849. https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2022.02.004

۲۵ World Health Organization. (2021). “Vulnerability and vulnerable populations.” Retrieved from https://wkc.who.int/our-work/health-emergencies/knowledge-hub/community-disaster-risk-management/vulnerability-and-vulnerable-populations

۲۶ Raza, A., Pulakka, A., Magnusson Hanson, L. L., Westerlund, H., & Halonen, J. I. (2020). “Distance to sports facilities and low frequency of exercise and obesity: A cross-sectional study.” *BMC Public Health*, 20, 2036. https://doi.org/10.1186/s12889-022-14444-7

۲۷ Cheng, L., Yang, M., De Vos, J., & Witlox, F. (2020). “Examining geographical accessibility to multi-tier hospital care services for the elderly: A focus on spatial equity.” *Journal of Transport & Health*, 19, 100926. https://doi.org/10.1016/j.jth.2020.100926

۲۸ Padeiro, M. (2022). “Geographical accessibility to community pharmacies by the elderly in metropolitan Lisbon.” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 91. https://doi.org/10.3390/ijerph19010091

۲۹ Machón, M., Vrotsou, K., Larrañaga, I., & Vergara, I. (2020). “Proximity to facilities and its association with the health-related habits of functionally independent older adults.” *Journal of Aging and Health*, 32(3), 387-398. https://doi.org/10.1177/0898264320919269

۳۰ James, P., Hart, J. E., Banay, R. F., & Laden, F. (2016). “Exposure to greenness and mortality in a nationwide prospective cohort study of women.” *Environmental Health Perspectives*, 124(10), 1460-1466. https://doi.org/10.1289/ehp.1510038

۳۱ Mudd AE, Michael YL, Diez-Roux AV, Maltenfort M, Moore K, Melly S, Lê-Scherban F, Forrest CB. Primary care accessibility effects on health care utilization among urban children. Acad Pediatr. 2020;20:871–878. https://doi: 10.1016/j.acap.2020.05.014

۳۲ socioeconomic status affects birth and death rates in rural Kerala, India: Results of a health study.” *Journal of Health Services*, 23(4), 373–386.

۳۳ Shabnam Pour, S., & H., A. (2004). “Socio-economic inequality in under-five child mortality in Iran.” *Iranian Journal of Public Health*, 2(1), 19-29. (In Persian)

۳۴ Arntzen, A., Samuelsen, S. V., Bakketeig, L. S., & Stoltenberg, C. (2004). “Socioeconomic status and risk of under-five child death: A population-based study of trends in Norway, 1967–1998.” *International Journal of Epidemiology*, 33(2), 279–288. https://doi.org/10.1093/ije/dyh003

۳۵ Lewis, K. W., & Bosque, E. M. (1995). “Deficient hypoxia awakening response in infants of smoking mothers: Possible relationship to sudden infant death syndrome.” The Journal of Pediatrics, 127(5), 691–699. https://doi.org/10.1016/S0022-3476(95)70155-9

۳۶ Mirzaei, M., Sadeghi, R., Jafarzadeh Haghighifard, N & ,.Sadeghi, H. (2020). The effect of air pollution on health disorders in Ahvaz city in 2016 .[تأثیر آلودگی هوا بر اختلال در سلامتی شهر اهواز در سال ۱۳۹۵] *Nameh Anjoman Jamiyatshenasi Iran (Journal of Population Association of Iran)* .۹۴–۶۱ ,(۲۹)۱۵ ,https://doi.org/10.22034/jpai.2020.243918

۳۷ Lahijanzadeh, A., Jafarzadeh Haghighifard, N., Khaksar, A & ,.Karimi, S. (2015). Dust in Khuzestan Province: Challenges and solutions .[گرد و غبار در استان خوزستان، چالش‌ها و راهکارها] In *Proceedings of the First International Dust Conference.*

۳۸ Amanpour, S & ,.Hassanpour, S. (2017). Levels of access to health care services in the counties of Khuzestan Province using the Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP) [سطوح برخورداری از خدمات بهداشت و درمان در شهرستان‌های استان خوزستان با بهره‌گیری از تکنیک فرایند سلسله مراتبی فازی]. *Amayesh-e Mohit Quarterly*.(۳۷)۱۰ ,