

## بررسی نقش الگوی رشد شهری در ایجاد جزایر حرارتی در شهرها (مورد مطالعه: شهر اراک)

نوید عبدی

کارشناس ارشد برنامه ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران، تهران ایران

navidabdii@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۰

چکیده

رشد سریع شهری منجر به افزایش تراکم ساختمان‌ها، آسفالت و بتون شده که گرما را جذب و نگه‌داری می‌کنند. این امر باعث شکل‌گیری جزایر حرارتی شهری می‌شود؛ مناطقی که دمای آن‌ها نسبت به اطراف روستاها یا مناطق سبز بالاتر است. حذف فضاهاى سبز و کاهش جریان هوای طبیعی، تبخیر و خنک‌سازی طبیعی را مختل می‌کند. در نتیجه، دمای شب‌های شهری افزایش یافته و مصرف انرژی برای سرمایش و تهویه نیز بیشتر می‌شود. هدف پژوهش حاضر، بررسی نقش الگوی رشد شهری در ایجاد جزایر حرارتی در شهرها (مورد مطالعه: شهر اراک) می‌باشد. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی - نظری و از نظر روش، توصیفی - تحلیلی است. اطلاعات و داده‌های موردنیاز از طریق روش کتابخانه‌ای و میدانی جمع‌آوری شده است. در این پژوهش از روش مدل ISM استفاده شده است. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که گسترش افقی و بی‌برنامه شهر، تغییر کاربری اراضی، به‌ویژه جایگزینی مناطق سبز با سطوح نفوذناپذیر همچون آسفالت و بتن، نقش کلیدی در افزایش دمای سطح زمین دارد. همچنین تراکم بالای ساختمان‌ها و نبود تهویه طبیعی، سبب تشدید تجمع حرارت در مناطق مرکزی شهر شده است. مدل ISM با ساختار سلسله‌مراتبی خود نشان داد که متغیرهایی مانند الگوی کاربری زمین، نحوه توسعه کالبدی شهر و میزان پوشش گیاهی بیشترین تأثیر مستقیم را بر پدیده جزایر حرارتی دارند. بنابراین، مدیریت بهینه رشد شهری از طریق پایش تغییرات حرارتی، احیای فضاهاى سبز، و کنترل توسعه بی‌رویه شهری می‌تواند در کاهش اثرات «جزایر حرارتی» در شهر اراک نقشی اساسی ایفا کند.

واژگان کلیدی: الگوی رشد شهری، جزایر حرارتی شهرها، شهر اراک، مدل ISM

## مقدمه

در چند دهه گذشته پیشرفت فناوری، تغییرات گسترده در کاربری و پوشش زمین، رشد سریع صنعت، تخریب پوشش های سبز شهری و افزایش بی رویه آلاینده های زیست محیطی در نواحی شهری و بالأخص در شهرهای بزرگ موجب حبس شدن انرژی تابشی خورشید در جو منطقه شده اند. شاید بتوان گفت که آشکارترین مثال تأثیر انسان بر روی اقلیم در مقیاس محلی و منطقه ای پدیده جزیره حرارتی شهری است (نقیبی و رضانی، ۱۳۹۹: ۱۹۶). دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر بستگی دارد. این دما با استفاده از تابش مادون قرمز و معادله معکوس پلانک محاسبه می شود (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۸). افزایش دمای سطح زمین در یک ناحیه موجب بروز پدیده جزایر حرارتی می شود که این پدیده در اثر تغییرات پوشش زمین در مناطق شهری به وجود می آید و امروزه به نگرانی عمده زیست محیطی تبدیل شده است (Chen, et al 2021: 130). گسترش روز افزون محیط های شهری و روند صنعتی شدن و مهاجرت جمعیت روستایی به نواحی شهری باعث افزایش جمعیت و نیز توسعه پراکنده در شهرها شده است. اسکان این جمعیت مستلزم توسعه زیر ساخت های شهری اعم از راه ها، پل ها، ساختمان های مسکونی و ... است که منجر به تغییر الگوی کاربری و پوشش زمین در شهر خواهد شد (تحصیل دوست و همکاران، ۱۳۹۸: ۹۸). از دیگر سو و به واسطه تفاوت نوع تبادل انرژی در شهر و محیط طبیعی، اقلیم شهری نسبت به نواحی پیرامون خود و حاشیه شهرها دارای اختلاف در متغیرهای اقلیمی (دمای هوا، دمای سطح، رطوبت، سرعت و جهت باد، مقدار بارش) است. این تفاوت ها سبب شده متوسط درجه حرارت در شهرها چند درجه بیش از حومه آن باشد و این پدیده با نام جزیره حرارتی شهر شناخته می شود (Comarazamy, et al 2021: 7). امروزه بر اساس حوادث اقلیمی فراوان نظیر سیل، خشکسالی و ... ثابت شده است که تغییرات آب و هوایی زیادی در کره زمین، اتفاق افتاده و مداخله بشر در طبیعت باعث تسریع این تغییرات شده است. یکی از مهم ترین مشکلات جهانی، که بر اساس شواهد بسیار بر اثر فعالیت های انسانی ایجاد شده است، پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی می باشد (Jain, et al 2020: 68). از طرفی رشد مستمر جمعیت و شهرنشینی به نحوی است که پیش بینی می شود تا سال ۲۰۵۰، ۲/۵ میلیارد نفر به جمعیت شهری جهان اضافه شود که احتمال می رود حدود ۹۵ درصد از گسترش شهرها در سال های آینده در کشورهای در حال توسعه رخ دهد (قلندریان و همکاران، ۱۴۰۴: ۱۰۲). افزایش دما در داخل شهرها مشکلی است که همه جنبه های زندگی شهری را تحت تأثیر قرار می دهد و نادیده گرفتن آن می تواند عواقب جبران ناپذیری به همراه داشته باشد. اکثر کشورهای خاورمیانه با مسائل زیست محیطی مرتبط با اثر جزیره حرارتی شهری، انتشار گرما و آلودگی هوا مواجه هستند که می تواند منجر به مشکلات سلامت انسان شود (Elkhazindar, et al 2022: 12). موج گرمایی به عنوان تداوم غیر معمول و استثنایی هوای گرم تعریف شده است. امواج گرمایی از مهم ترین مخاطرات آب و

هوایی است که بیش از ۵ روز دوام داشته و دما ۵ درجه از حالت نرمال بیشتر باشد و نیز برای انسان و محیط زیست ایجاد بحران کند (Khandelwal,etal2023:1). هدف پژوهش حاضر، بررسی نقش الگوی رشد شهری در ایجاد جزایر حرارتی در شهرها (مورد مطالعه: شهر اراک) می باشد. شهرنشینی شتابان و رشد فیزیکی شهرها یکی از مهم ترین چالش های زیست محیطی عصر حاضر است که پیامدهای متعددی را در مقیاس محلی و منطقه ای به دنبال داشته است. در این میان، پدیده «جزایر حرارتی شهری» (UHI) به عنوان افزایش دمای مناطق پرجمعیت شهری نسبت به حومه های روستایی اطراف، یکی از بارزترین آثار سوء توسعه نامتوازن کالبدی محسوب می شود. سازوکار اصلی شکل گیری این جزایر، تغییرات شدید در الگوی کاربری زمین و جایگزینی سطوح طبیعی با مصالح مصنوعی جاذب گرما (مانند بتن و آسفالت) است که توانایی جذب، ذخیره و انتشار مجدد حرارت را افزایش می دهد و در نهایت سلامت عمومی و مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می دهد. بنابراین، بررسی دقیق نقش الگوهای رشد شهری خاص، به ویژه در شهرهای در حال توسعه مانند اراک که در معرض توسعه سریع صنعتی و کالبدی قرار دارند، برای درک عمیق تر و مدیریت مؤثر این پدیده حیاتی است. این مطالعه با تمرکز بر شهر اراک، تلاش دارد تا با استفاده از مدل های ساختاری، تأثیرگذاری ابعاد مختلف رشد شهری را بر شدت جزایر حرارتی شناسایی کرده و راهکارهای مدیریتی برای تعدیل این شرایط اقلیمی را فراهم آورد.

### پیشینه پژوهش

محمدی و عقیفی، (۱۴۰۰) پژوهشی با عنوان؛ بررسی وقوع پدیده جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره ای ASTER (منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز) به این نتیجه رسیدند که نتایج نشان داد که اثر جزیره حرارت شهری در شیراز اساساً در مناطق صنعتی غرب و مسکونی و جنوب شرق واقع شده است. همچنین همبستگی منفی بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی و آبی تفاضل نرمال شده نشان داد که زمین سبز و مناطق پوشیده از آب می تواند اثر جزیره حرارتی را تضعیف کرده، درحالی که همبستگی مثبت بین دمای سطح زمین و شاخص ساختمانی و زمین لخت تفاضل نرمال شده می تواند اثر جزیره حرارتی را در منطقه مورد مطالعه افزایش دهد.

سبحانی و همکاران، (۱۴۰۱) پژوهشی با عنوان؛ واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری مطالعه موردی: کلان شهر اهواز به این نتیجه رسیدند که یافته ها همچنین نشان دادند، اگرچه در هردو شرایط وجود و عدم موج گرمایی، در مرکز این شهر، اغلب در روز جزیره سرمایی و در شب جزیره گرمایی تشکیل یافته، ولی در شرایط موج گرمایی در روز هنگام اغلب جزیره سرمایی شدیدتر از روزهای عادی بوده است و در شب هنگام جزیره گرمایی اغلب نسبت به شرایط عادی شدت بیشتری داشته است.

عقیقی و همکاران، (۱۴۰۲) پژوهشی با عنوان؛ تجزیه و تحلیل آماری و پیش بینی تغییرات زمانی - مکانی جزایر حرارتی شهری با استفاده از داده های سنجش از دور به این نتیجه رسیدند که الگوی تغییرات جزایر حرارتی از گذشته تا به زمان حال و پیش بینی آن در آینده نشان می دهد که وابستگی بالایی با الگوی تغییرات اراضی ساخته شده دارد. در نتیجه با نظارت و کنترل مستقیم الگوی اراضی ساخته شده (همچون توسعه عمودی از طریق بام و دیوارهای سبز و مصالح ساختمانی با توان بازتابی بالا) و جلوگیری از ساخت و سازها در زمین های کشاورزی حاشیه شهر الگوی تغییرات جزایر حرارتی را کنترل نمود.

مشکینی و همکاران، (۱۴۰۳) پژوهشی با عنوان؛ فرا تحلیلی بر مطالعات جزیره گرمایی شهری در ایران به این نتیجه رسیدند که پژوهش حاضر چهار حیطه موضوعی اصلی در این زمینه را شناسایی کرد که «اندازه گیری جزایر گرمایی شهری و تأثیر عوامل مختلف بر آن» در مطالعات غالب بوده است. در نهایت، مطالعه حاضر شکاف های موجود در موضوع جزایر گرمایی شهری را استخراج کرد. یادآور می شود تاکنون دانش معقولی در زمینه سنجش جزایر گرمایی شهری تولید شده است؛ لیکن، کافی نبوده و مطالعات آینده باید به سمت ارائه راهکارها و استراتژی های کاهش و انطباق و در نتیجه افزایش تاب آوری اقلیمی شهرها در برابر این پدیده حرکت کنند.

عبدی، (۱۴۰۴)، پژوهشی با عنوان؛ تحلیل روند رشد جزایر حرارتی شهری با ترکیب تصاویر ماهواره ای حرارتی و داده های جمعیتی به این نتیجه رسیده است که پدیده جزایر حرارتی شهری به عنوان یکی از پیامدهای مستقیم افزایش چگالی شهری و تغییرات کاربری، زمین نقش کلیدی در بازآرایی تعادل حرارتی در مناطق کلان شهری ایفا می کند. گسترش سطوح غیرقابل نفوذ، حذف ساختارهای طبیعی و فشردگی جمعیتی، دینامیک گرمایی فضاها شهری را به گونه ای تغییر داده که تفاوت دمای سطح زمین میان مناطق مرکزی و پیرامونی شهرها به طرز چشمگیری افزایش یافته است.

فنج و همکاران، (۲۰۲۱) پژوهشی با عنوان؛ شبیه سازی جزیره حرارتی در شرایط سینوپتیکی هوای گرم در شهر هنگزو در چین پرداختند. آنان در پژوهش خود از مدل ترکیبی WRF/UCM استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داده است که جزیره حرارتی عمدتاً حاصل از ذخیره زیاد گرما در صنایع شهری در طول روز و انتشار این گرما در شب است.

وی و همکاران، (۲۰۲۲) پژوهشی با عنوان؛ امواج گرمایی سال ۲۰۱۱ گرینر هیستون، به بررسی تأثیر کاربری زمین بر دمای هوا پرداخته اند. طبق نتایج به دست آمده از پژوهش آنان، فاصله تا خط ساحلی و مناطق خیلی توسعه یافته، تأثیر بسیاری بر میانگین دمای روزانه داشته و آب های آزاد نیز اثر بیشتری بر حداقل دمای روزانه دارند.

دابراوالنی و کراهولا، (۲۰۲۳) پژوهشی با عنوان؛ تغییرات فضایی دمای هوا و شدت شبانه جزیره حرارتی شهر برنو، در جمهوری چک را بررسی کردند. طبق نتایج حاصل، شاخص های پوشش گیاهی (NDVI) و تراکم ساختمان ها، مهم ترین عوامل توجیه کننده افزایش ۵ درجه ای شدت جزایر حرارتی اوایل شب در تابستان بوده اند که از مرکز شهر به سمت حومه، از شدت آن کاسته شده است.

لیمونسو و همکاران، (۲۰۲۴) پژوهشی با عنوان؛ تأثیر سناریوی توسعه شهری بر جزیره گرمایی و استرس گرمایی در شهر پاریس (فرانسه) پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده، در شهرهای متراکم، با تمرکز ساکنان در مناطقی که بیشتر تحت تأثیر جزیره حرارتی هستند، آسیب پذیری کل جمعیت تشدید می شود.

## مبانی نظری

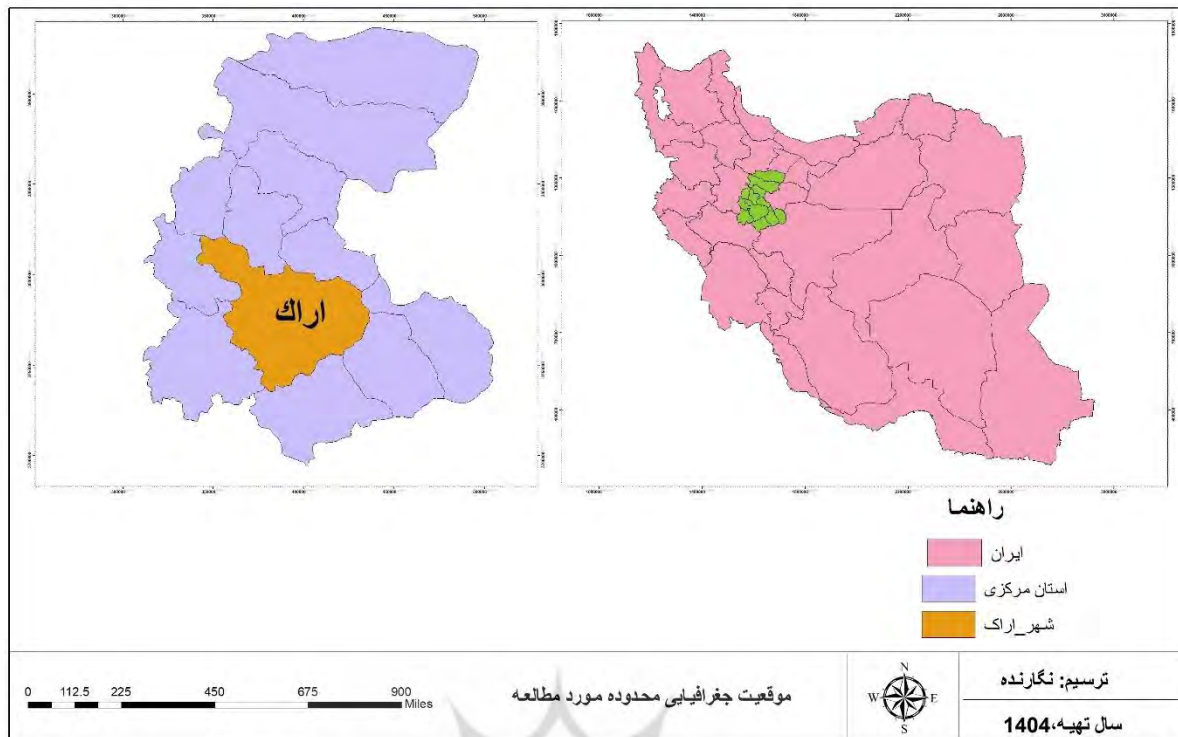
تغییرات آب و هوایی یکی از مهم ترین چالش هایی است که جهان با آن روبروست. این تغییرات نتیجه نیروهای است که بشر هدایت گر آن بوده است. مواردی از قبیل مصرف بی حد و اندازه ی انرژی و تغییرات برنامه ریزی نشده در کاربری اراضی و تبدیل بسیاری از محیط های طبیعی به مناطق ساخته شده به دست بشر که سبب شده تا این پدیده در راستای نابودی محیط زیست انسان بر روی این سیاره گام بردارد. بر همین اساس، جهان به سبب افزایش گازهای گلخانه ای که خود زاده ی زندگی شهری روبه رشد ماست، در حال گرم و گرم تر شدن است و این امر سبب تهدیدی جدی برای محیط زیست و انسان شده است (بخشی و همکاران، ۱۴۰۱: ۸۱). مطالعه جزایر حرارتی شهری طی سال های اخیر دلیل محکمی برای طیف بسیاری از مطالعات در این حوزه در سراسر جهان بوده است. پیچیدگی سطح زمین می تواند به عنوان ترکیبی از پوشش گیاهی سبز، سطوح آب، مواد غیر قابل نفوذ در خاک ها باشد. طی دهه های اخیر، افزایش جمعیت، صنعتی شدن، افزایش و آلودگی هوا در ترازهای پایین هوا سپهر و آثار جزیره گرمایی، سبب تغییرات چشمگیری در شرایط خرد اقلیم شهرهای بزرگ شده است (احمدی، ۱۴۰۲: ۲۵). آزاد شدن انرژی گرمایی زیاد، افزایش گازهای گلخانه ای و همچنین کاربری زمین از عوامل اصلی تغییر اقلیم محلی در شهرهاست. واداشت های سطحی از قبیل انتقال گرما، گسیل آلاینده ها، کشال مالشی تبخیر و تعرق و عوارض زمینی نقش تعیین کننده ای در تعیین دمای سطحی دارند (Katzsuhner,etal2021:22). توسعه مناطق شهری علاوه بر تغییرات دما، بر بارش رطوبت و کیفیت هوا نقش شایان توجهی داشته و در طولانی مدت سبب دگرگونی آب و هوای محلی می شود. شهرنشینی بر تبادل انرژی بین سطح زمین هوا و سپهر در مقیاس محلی تأثیر می گذارد (Heusinkveld,etal2023:679). اثر محیط های شهری روی هوا سپهر و لایه مرزی مناطق شهری بیشتر به شکل جزیره حرارتی ظاهر می شود. جزیره حرارتی شهری (SUHI) نخستین بار توسط (Manley ۱۹۵۸) مورد استفاده قرار گرفت. این پدیده، در یک تعریف پذیرفته شده جهانی بیانگر گرمای بیش از حد مناطق شهری نسبت به مناطق

مجاور غیر شهری است ( Ten,etal2020:16 ). جزیره حرارتی، به پدیده ای گفته می شود که در آن دمای منطقه شهری گرم تر از مناطق پیرامونی خود است. علت شیوع این پدیده می تواند در ارتباط با شهرنشینی فزاینده و اثرات آن بر روی پارامترهای هواشناسی و ویژگی های سطح زمین باشد (تیموری و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۸۴). جزیره حرارتی لایه تاج پوشش و جزیره حرارتی لایه مرزی به افزایش دمای هوا منجر می شود و جزیره حرارتی لایه سطح می تواند مربوط به گرمای نسبی سطح زمین و زیر سطح هم باشد ( Jate-Espino,2019:1 ). به واسطه پدیده شهرنشینی، انواع پوشش های سطح زمین در نواحی شهری تغییر نموده که نهایتاً منجر به شکل گیری آب و هوای متمایز می شود. در این میان جزایر حرارتی شهری از بارزترین پدیده هایی هستند که در آن پاره ای از مناطق شهری و به ویژه مراکز شهرها دمایی چند درجه گرم تر از حومه های اطرافشان خواهند داشت (خسروی و همکاران، ۱۴۰۱: ۱). گرم شدن سطح زمین و جزایر حرارتی نمونه ای از تغییرات اقلیمی ناخواسته متأثر از تغییرات سطح و اتمسفر زمین ناشی از فرایند شهرنشینی می باشد. ارتباط بین مورفولوژی شهری و دما از دهه چهارم آخر قرن بیستم مورد مطالعه قرار گرفته است (آرمین و همکاران، ۱۴۰۱: ۴۴). جزیره حرارتی شهری پدیده ای است که به موجب آن محیط های شهری دمای بالاتری از محیط های روستایی اطراف خود دارند. در سال ۱۸۳۳، لوک هاوارد برای اولین بار مفهوم جزیره گرمایی شهری را تعریف کرد. از اواسط قرن بیستم، پدیده جزایر حرارتی به طور چشمگیری در شهرهای بزرگ و در نتیجه شهرنشینی رشد کرده است (عقیقی و همکاران، ۱۴۰۲: ۹۱).

### قلمروشناسی پژوهش

شهر اراک مرکز استان مرکزی بر روی نصف النهار ۴۹/۱۶ تا ۵۰/۱۹ و بر روی مدار ۳۳/۳۲ تا ۳۴/۴۵ قرار گرفته است. این شهر ۴۱۲۹/۰۱۸۸ کیلومتر مربع مساحت دارد. اراک دارای ۵ منطقه شهرداری است و در سال ۱۳۹۵ دارای ۵۲۰۹۹۴ نفر جمعیت بوده که نسبت به سرشماری سال ۱۳۹۰ کاهش جمعیت داشته است (رشد ۰/۶- درصد)، شهر اراک از نظر ژئومورفولوژی و زمین شناسی در دره ای واقع شده که سه طرف آن را کوه احاطه کرده و یک طرف دیگر نیز به کویر میقان منتهی می شود؛ از این رو گسترش شهر با محدودیت های طبیعی مواجه است (سرائی و همکاران، ۱۳۹۹: ۷۲).

شکل ۱: محدوده مورد مطالعه



## روش شناسی پژوهش

تحقیق حاضر به لحاظ هدف، نظری - کاربردی و از نظر ماهیت و روش، توصیفی - تحلیلی می باشد. در تنظیم اطلاعات و محاسبات در این پژوهش از ابزارها و تکنیک های جغرافیایی، نرم افزار GIS و مدل ISM فازی استفاده شده است. اطلاعات و داده های مورد نیاز از طریق روش کتابخانه ای و میدانی جمع آوری شده است. در شیوه کتابخانه ای ابتدا به منظور بررسی سوابق و پیشینه موضوع و تبیین چارچوب نظری - مفهومی پژوهش، کتب مقالات و پایان نامه های موجود مورد مطالعه قرار گرفته است. در مطالعات میدانی نیز با استفاده از مشاهده داده های مورد نیاز تحقیق جمع آوری می شود.

## رویکرد مدل سازی ساختاری تفسیری

رویکرد مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) رویکرد مدل سازی ساختاری تفسیری، روشی است که در این پژوهش برای بررسی روابط درونی توانمندسازها و تأثیر هریک بر سایر توانمندسازها به کار گرفته شده است. رویکرد ISM، روشی مبتنی بر نظر خبرگان است. رویکرد ISM روشی مؤثر و کارا برای موضوعاتی است که در آن متغیرهای کیفی، در سطوح متفاوت اهمیت، بر یکدیگر آثار متقابل دارند؛ با به کارگیری این فن، ارتباطات و وابستگی های بین متغیرهای کیفی مسئله را می توان یافت (رمضانیان و همکاران، ۱۳۹۴). این روش به برقراری نظم در روابط پیچیده میان عناصر یک نظام کمک زیادی می کند. همچنین، ISM می تواند عناصر یک نظام را تعیین سطح

و اولویت بندی کند؛ این امر به مدیران، برای اجرای بهتر مدل طراحی شده، کمک شایانی می کند. این روش، ترتیب و جهت روابط پیچیده میان عناصر یک سیستم را بررسی می کند. به بیان دیگر، ابزاری است که گروه می تواند به وسیله آن بر پیچیدگی بین عناصر غلبه کند (آذر و بیات، ۱۳۸۷). از جمله ویژگی های این روش، به قابل درک بودن آن برای طیف وسیعی از کاربران، یکپارچگی آن در ترکیب نظرهای خبرگان و قابلیت کاربرد آن در مطالعه سیستم های پیچیده و دارای اجزای متعدد می توان اشاره کرد. رویکرد ISM، روش های گوناگونی را برای تعیین روابط مفهومی بین هر جفت از متغیرها معرفی می کند. در پژوهش حاضر، برای تعیین روابط مفهومی میان شاخص ها از نظر خبرگان استفاده شد. رابطه منطقی، زیربنای نظریه های خبرگان درباره ارتباطات مفهومی بین شاخص ها قرار گرفت.

### گام های مدل سازی ساختاری تفسیری

۱. تشکیل ماتریس خود تعاملی ساختاری (SSIM): توانمندسازهای شناسایی شده وارد ماتریس خود تعاملی ساختاری می شوند. این ماتریس از ابعاد توانمندسازها و مقایسه آنها تشکیل شده است. برای تعیین نوع رابطه میان توانمندسازها در این ماتریس، از روابط  $V$ ،  $X$ ،  $O$  و  $A$  استفاده می شود.
۲. تشکیل ماتریس دست یابی اولیه (RM): این ماتریس نمادهای روابط ماتریس SSIM را به اعداد صفر و یک تبدیل می کند (قواعد آن در جدول ۱ بیان شده است).

جدول ۱: نحوه تبدیل روابط مفهومی به اعداد (تاکار و همکاران، ۲۰۰۷)

| نماد مفهومی | $i$ به $j$ | $j$ به $i$ |
|-------------|------------|------------|
| $V$         | ۱          | ۰          |
| $A$         | ۰          | ۱          |
| $X$         | ۱          | ۱          |
| $O$         | ۰          | ۰          |

۳. تشکیل ماتریس دستیابی نهایی: این ماتریس با اعمال روابط تعدی موجود در بین متغیرها تشکیل می شود. در این ماتریس روابط ثانویه بین ابعاد شاخص ها کنترل می شود. رابطه ثانویه به صورتی است که اگر بعد  $I$  به بعد  $J$  بعد  $J$  به بعد  $K$  منجر شود، پس بعد  $I$  به بعد  $K$  منجر خواهد شد و اگر در ماتریس دست یابی این حالت برقرار نبود، باید ماتریس اصلاح و روابطی که از قلم افتاده جایگزین شود. بدین ترتیب برخی از عناصر صفر تبدیل به یک خواهد

<sup>۱</sup> اگر شاخص سطر  $i$  منجر به شاخص ستون  $j$  شود (شاخص سطر  $i$  بر روی شاخص ستون  $j$  تاثیر بگذارد).

<sup>۲</sup> اگر رابطه بین شاخص سطر  $i$  و ستون  $j$  دو طرفه باشد (هر دو روی هم تاثیر بگذارند).

<sup>۳</sup> اگر بین شاخص سطر  $i$  و ستون  $j$  رابطه ای نباشد (هیچکدام بر روی هم تاثیر نگذارند).

<sup>۴</sup> اگر شاخص ستون  $j$  منجر به شاخص سطر  $i$  شود (شاخص ستون  $j$  بر روی شاخص سطر  $i$  تاثیر بگذارد).

شد که به صورت <sup>1\*</sup> نشان داده می شود. با شناسایی روابط ثانویه و اصلاح ماتریس دریافتی، ماتریس نهایی به دست می آید.

۴. تعیین سطح و اولویت متغیرها: پس از تعیین مجموعه دست یابی و مجموعه پیش نیاز برای هر عنصر و تعیین مجموعه مشترک، سطح بندی متغیرها انجام می شود. مجموعه دست یابی برای هر عنصر، مجموعه ای است که در آن سطریهای ماتریس دست یابی نهایی به صورت ۱ ظاهر شده باشند و مجموعه پیش نیاز، مجموعه ای است که در آن ستون ها به صورت ۱ ظاهر شده باشند. با به دست آوردن اشتراک این دو مجموعه، مجموعه مشترک به دست خواهد آمد. عناصری که در آنها مجموعه مشترک با مجموعه دست یابی یکسان است، سطح اول اولویت را به خود اختصاص می دهند. با حذف این عناصر و تکرار این مرحله برای سایر عناصر، سطح تمام عناصر تعیین می شود.

۵. ترسیم مدل ساختاری تفسیری: این مدل براساس ماتریس دست یابی نهایی و سطوح تعیین شده ترسیم می شود.

۶. تجزیه و تحلیل قدرت نفوذ و وابستگی (روش میک مک): جمع سطری مقادیر در ماتریس دست یابی نهایی برای هر عنصر، بیانگر میزان نفوذ و جمع ستونی، نشان دهنده میزان وابستگی خواهد بود. براساس این دو عامل، چهار گروه از عناصر قابل شناسایی خواهد بود: عوامل خود مختار، وابسته، متصل و مستقل. گروه اول عوامل خود مختارند که قدرت نفوذ و وابستگی ضعیفی دارند و تا حدودی از سایر عوامل مجزا هستند. گروه دوم عوامل وابسته اند که قدرت نفوذ ضعیف، اما وابستگی بالایی دارند. گروه سوم شامل عوامل متصل اند که قدرت نفوذ و وابستگی بالایی دارند؛ در واقع، هرگونه عملی روی این عوامل موجب تغییر سایر عوامل می شود. گروه چهارم عوامل مستقل اند که از قدرت نفوذ بالا و وابستگی پایینی برخوردارند و در اصطلاح عوامل کلیدی خوانده می شوند. عوامل کلیدی در یکی از دو گروه مستقل یا متصل قرار می گیرند.

### یافته های پژوهش

در این بخش از روش بهترین بدترین فازی جهت وزن دهی و اولویت بندی به عوامل پژوهش استفاده می شود. ابتدا عوامل پژوهش معرفی می شوند که شامل ۱۷ معیار می باشد که در زیر آورده شده است:

#### جدول ۲: معرفی عوامل پژوهش

| ردیف | معرفی عوامل پژوهش     |
|------|-----------------------|
| ۱    | تراکم ساختمانی (C1)   |
| ۲    | مساحت مناطق سبز (C2)  |
| ۳    | تنوع پوشش گیاهی (C3)  |
| ۴    | نسبت سطح آب آزاد (C4) |

<sup>1</sup> MICMAC

|    |                                   |
|----|-----------------------------------|
| ۵  | مساحت اراضی بایر ( C5 )           |
| ۶  | الگوی رشد شعاعی/خطی ( C6 )        |
| ۷  | ضریب شکاف شهری ( C7 )             |
| ۸  | نفوذ پذیری شهری ( C8 )            |
| ۹  | مساحت نواحی صنعتی ( C9 )          |
| ۱۰ | قدمت مناطق توسعه یافته ( C10 )    |
| ۱۱ | فاصله تا مرکز شهر ( C11 )         |
| ۱۲ | میزان فضای باز عمومی ( C12 )      |
| ۱۳ | دسترسی به حمل و نقل عمومی ( C13 ) |
| ۱۴ | فاصله تا منابع آب ( C14 )         |
| ۱۵ | دمای شبانه ( C15 )                |
| ۱۶ | شاخص آسایش حرارتی ( C16 )         |
| ۱۷ | مصرف انرژی سرمایشی ( C17 )        |

منبع: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴

در این پژوهش، ابتدا ماتریس خود تعاملی ایجاد می شود. در ماتریس خود تعاملی از نمادهایی استفاده می شود که در گام ۱ شرح داده شد. برای استخراج این ماتریس از نظر خبرگان استفاده شده که در جدول ۳ ملاحظه می شود. سپس بر اساس جدول ۳ ماتریس دستیابی اولیه بر اساس اعداد صفر و یک تشکیل می شوند و سپس روابط تعدی ایجاد شده و ماتریس دستیابی نهایی تشکیل می شود که در جدول ۴ آورده شده است. تمام درایه هایی که در این جدول  $1^*$  هستند در ماتریس اولیه مقدار صفر داشته اند. سپس از روی ماتریس دستیابی نهایی، بر اساس گام چهارم، مجموعه دستیابی و پیش نیاز استخراج شده و معیارها سطح بندی می شوند که در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۳: ماتریس خود تعاملی ساختاری (SSIM)

|     | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 | C16 | C17 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| C1  |    | A  | O  | A  | A  | A  | O  | A  | A  | O   | O   | O   | V   | O   | A   | O   | O   |
| C2  |    |    | O  | V  | V  | V  | O  | V  | V  | V   | O   | V   | V   | V   | V   | V   | V   |
| C3  |    |    |    | O  | O  | A  | O  | A  | O  | O   | V   | A   | O   | A   | O   | O   | A   |
| C4  |    |    |    |    | X  | X  | O  | X  | V  | V   | O   | X   | V   | O   | V   | O   | O   |
| C5  |    |    |    |    |    | X  | O  | O  | O  | O   | O   | V   | O   | O   | V   | O   | O   |
| C6  |    |    |    |    |    |    | O  | X  | V  | O   | O   | V   | V   | V   | V   | O   | V   |
| C7  |    |    |    |    |    |    |    | X  | X  | V   | O   | V   | V   | O   | O   | V   | O   |
| C8  |    |    |    |    |    |    |    |    | V  | V   | X   | V   | V   | V   | X   | V   | O   |
| C9  |    |    |    |    |    |    |    |    |    | X   | X   | X   | X   | A   | X   | V   | A   |
| C10 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     | A   | A   | A   | A   | A   | A   | A   |
| C11 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     | V   | O   | V   | O   | O   | A   |
| C12 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     | X   | X   | X   | O   | V   |
| C13 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     | A   | X   | O   | A   |
| C14 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     | V   | O   | O   |

|     |  |   |   |
|-----|--|---|---|
| C15 |  | X | V |
| C16 |  |   | A |
| C17 |  |   |   |

جدول ۴: ماتریس دستیابی نهایی

|               | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 | C16 | C17 | قدرت نفوذ |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| C1            | ۱  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱* | ۱*  | ۰   | ۱*  | ۱   | ۰   | ۱*  | ۰   | ۰   | ۶         |
| C2            | ۱  | ۱  | ۱* | ۱  | ۱  | ۱  | ۱* | ۱  | ۱  | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱۷        |
| C3            | ۰  | ۰  | ۱  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱* | ۱* | ۱*  | ۱   | ۱*  | ۰   | ۱*  | ۰   | ۰   | ۰   | ۷         |
| C4            | ۱  | ۰  | ۱* | ۱  | ۱  | ۱  | ۱* | ۱  | ۱  | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱*  | ۱*  | ۱۶        |
| C5            | ۱  | ۰  | ۱* | ۱  | ۱  | ۱  | ۰  | ۱* | ۱* | ۱*  | ۰   | ۱   | ۱*  | ۱*  | ۱   | ۱*  | ۱*  | ۱۴        |
| C6            | ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱* | ۱  | ۱  | ۱*  | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱۶        |
| C7            | ۱* | ۰  | ۱* | ۱* | ۰  | ۱* | ۱  | ۱  | ۱  | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱*  | ۱   | ۱*  | ۱۵        |
| C8            | ۱  | ۰  | ۱  | ۱  | ۱* | ۱  | ۱  | ۱  | ۱  | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱۶        |
| C9            | ۱  | ۰  | ۱* | ۱* | ۰  | ۰  | ۱  | ۱* | ۱  | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱۴        |
| C10           | ۱* | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱* | ۰  | ۱  | ۱   | ۱*  | ۱*  | ۱*  | ۰   | ۱*  | ۱*  | ۰   | ۹         |
| C11           | ۱* | ۰  | ۱* | ۱* | ۰  | ۱* | ۱* | ۱  | ۱  | ۱   | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱*  | ۱*  | ۱*  | ۱۵        |
| C12           | ۱* | ۰  | ۱  | ۱  | ۱* | ۱* | ۱* | ۱* | ۱  | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱۶        |
| C13           | ۱* | ۰  | ۱* | ۱* | ۰  | ۰  | ۱* | ۱* | ۱  | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱*  | ۱*  | ۱۴        |
| C14           | ۱* | ۰  | ۱  | ۱* | ۰  | ۰  | ۱* | ۱* | ۱  | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱*  | ۱۴        |
| C15           | ۱  | ۰  | ۱* | ۱* | ۰  | ۱* | ۱* | ۱  | ۱  | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱   | ۱۵        |
| C16           | ۱* | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱* | ۱* | ۱   | ۰   | ۱*  | ۱*  | ۰   | ۱   | ۱   | ۱*  | ۹         |
| C17           | ۱* | ۰  | ۱  | ۰  | ۰  | ۰  | ۱* | ۱* | ۱  | ۱   | ۱   | ۱*  | ۱   | ۱*  | ۱*  | ۱   | ۱   | ۱۳        |
| میزان وابستگی | ۱۶ | ۱  | ۱۴ | ۱۲ | ۶  | ۹  | ۱۳ | ۱۵ | ۱۷ | ۱۷  | ۱۴  | ۱۷  | ۱۶  | ۱۴  | ۱۶  | ۱۵  | ۱۴  |           |

جدول ۵: تعیین سطوح شاخص‌ها

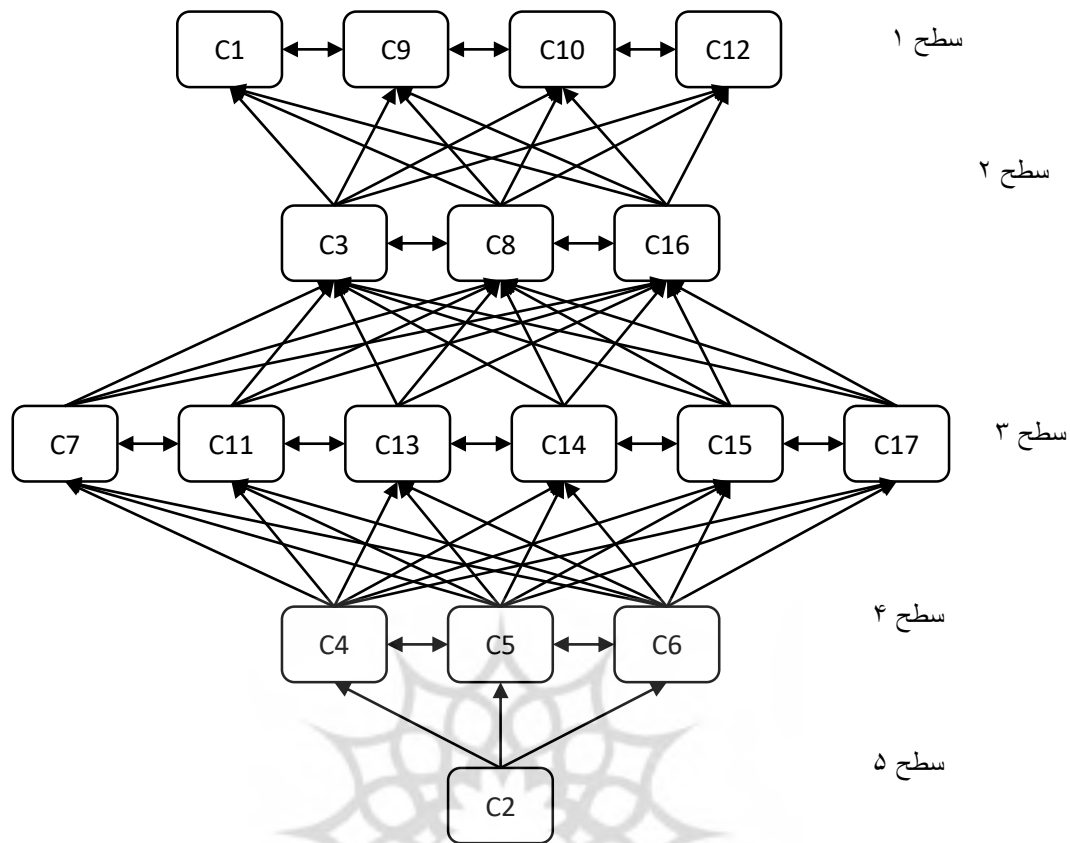
|    | مجموعه دستیابی                                             | مجموعه پیش‌نیاز                                         | مجموعه اشتراک                         | سطح |
|----|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----|
| C1 | C1-C9-C10-C12-C13-C15                                      | C1-C2-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17 | C1-C9-C10-C12-C13-C15                 | ۱   |
| C2 | C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17 | C2                                                      | C2                                    | ۵   |
| C3 | C3-C8-C9-C10-C11-C12-C14                                   | C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C14-C15-C17         | C3-C8-C9-C11-C12-C14                  | ۲   |
| C4 | C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17    | C2-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C14-C15                | C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C14-C15 | ۴   |
| C5 | C1-C3-C4-C5-C6-C8-C9-C10-C12-C13-C14-C15-C16-C17           | C2-C4-C5-C6-C8-C12                                      | C4-C5-C6-C8-C12                       | ۴   |

|            |                                                         |                                                            |                                                         |   |
|------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---|
| <b>C6</b>  | C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17 | C2-C4-C5-C6-C7-C8-C11-C12-C15                              | C4-C5-C6-C7-C8-C11-C12-C15                              | ۴ |
| <b>C7</b>  | C1-C3-C4-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17    | C2-C4-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C17              | C4-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C17              | ۳ |
| <b>C8</b>  | C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17 | C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17        | C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17        | ۲ |
| <b>C9</b>  | C1-C3-C4-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17       | C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17 | C1-C3-C4-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17       | ۱ |
| <b>C10</b> | C1-C7-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16                        | C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17 | C1-C7-C9-C10-C11-C12-C13-C15-C16-                       | ۱ |
| <b>C11</b> | C1-C3-C4-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17    | C2-C3-C4-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C17           | C3-C4-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C17           | ۳ |
| <b>C12</b> | C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17 | C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17 | C1-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17 | ۱ |
| <b>C13</b> | C1-C3-C4-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17       | C1-C2-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17    | C1-C4-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17          | ۳ |
| <b>C14</b> | C1-C3-C4-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17       | C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C14-C15-C17            | C3-C4-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C14-C15-C17                  | ۳ |
| <b>C15</b> | C1-C3-C4-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17    | C1-C2-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17    | C1-C4-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17       | ۳ |
| <b>C16</b> | C1-C8-C9-C10-C12-C13-C15-C16-C17                        | C2-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17       | C8-C9-C10-C12-C13-C15-C16-C17                           | ۲ |
| <b>C17</b> | C1-C3-C7-C8-C9-C10-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17          | C2-C4-C5-C6-C7-C8-C9-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17           | C7-C8-C9-C11-C12-C13-C14-C15-C16-C17                    | ۳ |

### تشکیل مدل ساختاری تفسیری

پس از مشخص شدن سطوح هریک از شاخص‌ها و با در نظر گرفتن ماتریس دست‌یابی نهایی، مدل ساختاری تفسیری ترسیم می‌شود. مدل نهایی در شکل ۲ مشاهده می‌شود. این مدل از ۵ سطح تشکیل شده است. که شاخص مساحت مناطق سبز (C2) موجود در سطح پنجم تاثیرگذارترین سطح می‌باشد که به صورت مستقیم بر روی معیارهای سطح ۴ تاثیر می‌گذارد. ۴ معیار موجود در سطح اول تاثیرپذیرترین سطح می‌باشند.

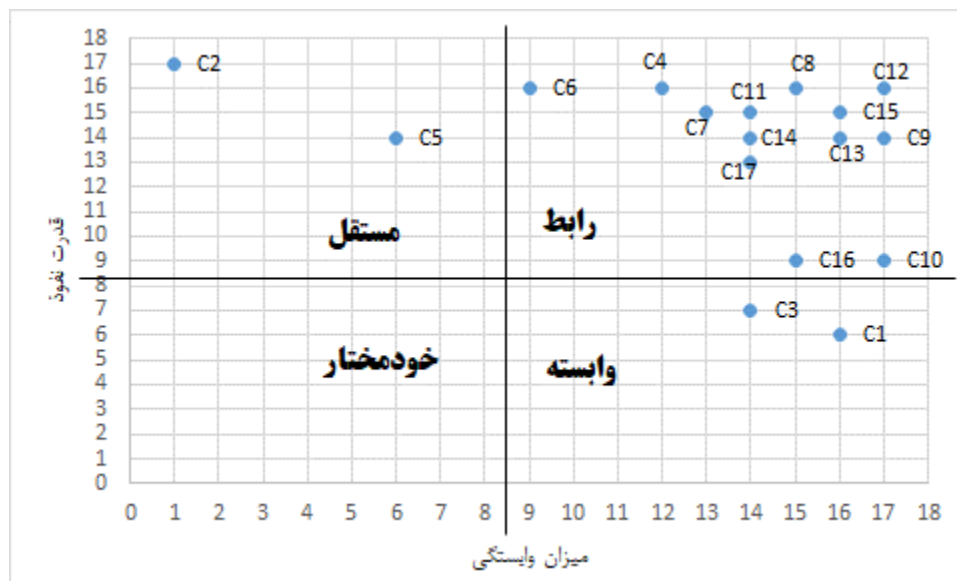
شکل ۲: مدل سطح بندی شاخص‌ها



### تحلیل شدت نفوذ و وابستگی (MICMAC)

با استفاده از شدت نفوذ و وابستگی هریک از شاخص‌ها (جدول ۲)، می‌توان به گروه بندی شاخص‌ها با استفاده از روش تحلیل میک مک پرداخت (شکل ۳). بر این اساس معیارهای مساحت مناطق سبز (C2) و مساحت اراضی بایر (C5) از نوع متغیرهای مستقل هستند. این متغیرها دارای وابستگی کم و هدایت بالا می‌باشند به عبارتی دیگر تاثیرگذاری بالا و تاثیرپذیری کم از ویژگی‌های این متغیرها است. معیارهای تراکم ساختمانی (C1) و تنوع پوشش گیاهی (C3) از نوع وابسته است این متغیرها دارای وابستگی قوی و هدایت ضعیف هستند این متغیر اصولاً تاثیرپذیری بالا و تاثیرگذاری کمی روی سیستم دارند. مابقی معیارها از نوع رابط هستند این متغیرها از وابستگی بالا و قدرت هدایت بالا برخوردارند به عبارتی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری این معیارها بسیار بالاست و هر تغییر کوچکی بر روی این متغیرها باعث تغییرات اساسی در سیستم می‌شود.

شکل ۳: نمودار قدرت نفوذ و وابستگی



## نتیجه گیری

نتیجه‌گیری درباره نقش رشد شهری در ایجاد جزایر حرارتی نشان می‌دهد که توسعه شتاب‌زده و بدون برنامه‌ریزی شهری، تأثیر قابل توجهی بر افزایش دما و تغییرات اقلیمی محلی دارد. گسترش ساخت‌وساز، خیابان‌های آسفالت، برج‌ها و کاهش فضاهای سبز باعث می‌شود سطح زمین نتواند گرما را به صورت طبیعی منعکس یا جذب کند. این سطوح مصنوعی مانند بتون و آسفالت، انرژی خورشید را ذخیره کرده و در ساعات شب به محیط باز می‌تابانند، در نتیجه دمای شهرها حتی پس از غروب آفتاب نیز بالا باقی می‌ماند. از سوی دیگر، تراکم بالای ساختمان‌ها جریان طبیعی باد را محدود می‌کند و تهویه طبیعی هوا از میان می‌رود، در حالی که استفاده گسترده از وسایل الکتریکی، خودروها و دستگاه‌های تهویه مطبوع گرمای بیشتری وارد جو شهری می‌کند. نبود فضای سبز و درختان، که می‌توانند از طریق تبخیر و تعرق دمای محیط را کاهش دهند، یکی از عوامل اصلی تشدید جزایر حرارتی است. این موضوع نه تنها بر راحتی و سلامت ساکنان شهری تأثیر می‌گذارد بلکه باعث افزایش مصرف انرژی و آلودگی هوا نیز می‌شود. نتیجه نهایی آن است که رشد شهری اگر همراه با مدیریت محیطی پایدار نباشد، می‌تواند اثرات منفی بلندمدتی بر اقلیم و کیفیت زندگی انسان‌ها داشته باشد. استفاده از طرح‌های شهر سبز، توسعه پارک‌ها و بام‌های سبز، مصالح بازتابنده نور و طراحی شهری مبتنی بر تهویه طبیعی، راهکارهایی هستند که می‌توانند شدت جزایر حرارتی را کاهش دهند. در واقع، کنترل این پدیده نیازمند برنامه‌ریزی هوشمندانه و همکاری میان نهادهای شهری، زیست‌محیطی و شهروندان است تا شهرها در مسیر توسعه پایدار و سازگار با اقلیم حرکت کنند. هدف پژوهش حاضر، بررسی نقش الگوی رشد شهری در ایجاد جزایر حرارتی در شهرها (مورد مطالعه: شهر اراک) می‌باشد. این پژوهش از نظر هدف، کاربردی - نظری و از نظر روش، توصیفی - تحلیلی است. اطلاعات و داده‌های موردنیاز از طریق روش کتابخانه‌ای و میدانی جمع‌آوری شده است. در این پژوهش از روش مدل ISM استفاده شده است. بررسی جامع نقش الگوی

رشد شهری در ایجاد جزایر حرارتی شهر اراک با استفاده از مدل تفسیری ساختاری (ISM)، نتایج کلیدی و سلسله مراتبی را در خصوص عوامل محرک این پدیده آشکار ساخت. مدل ISM توانست وابستگی‌ها و سطوح تأثیرگذاری متغیرها را به وضوح ترسیم کند، که این امر برای اولویت‌بندی مداخلات مدیریتی بسیار حائز اهمیت است. در سطح ریشه‌ای و تأثیرگذارترین عوامل، مشخص شد که سیاست‌های کلان توسعه کاربری زمین و نحوه کنترل توسعه افقی شهر (مستقیماً بر متغیرهایی مانند نسبت سطوح نفوذناپذیر و کاهش پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارند)، ستون فقرات ایجاد جزایر حرارتی در اراک هستند. به طور خاص، نتایج تایید می‌کنند که رشد شهر اراک پس از سال ۲۰۰۰ میلادی، با افزایش محسوس تراکم ساختمانی و کاهش چشمگیر مساحت مناطق سبز همراه بوده که این امر مستقیماً به افزایش دمای سطح زمین و تشدید پدیده UHI منجر شده است. علاوه بر این، تحلیل نشان داد که عوامل فیزیکی کالبدی مانند نسبت مساحت سطوح بتنی و آسفالتی به پوشش گیاهی، در سطح میانی مدل قرار دارند و به عنوان رابط بین سیاست‌های کلان و اثرات نهایی عمل می‌کنند. در نهایت، افزایش دمای شبانه، افزایش مصرف انرژی برای سرمایش و تشدید آلودگی‌های هوا به عنوان سطوح تأثیرپذیر و خروجی‌های منفی این فرآیند شناسایی شدند. بنابراین، نتیجه‌گیری می‌شود که رویکردهای سنتی مدیریت شهری که صرفاً بر توسعه فیزیکی تمرکز دارند، در مهار جزایر حرارتی ناکام خواهند بود. برای دستیابی به یک محیط شهری پایدار در اراک، ضروری است که رویکردی جامع و مبتنی بر اکولوژی شهری اتخاذ شود؛ این امر مستلزم تجدید نظر در طرح‌های تفصیلی شهر، الزامی کردن استفاده از مصالح با ضریب بازتاب بالا (سرد) در ساختمان‌سازی‌ها، و به‌کارگیری استراتژی‌های فعال برای افزایش و حفاظت از فضاهای سبز و کوریدورهای هوایی طبیعی برای بهبود تهویه شهر است.

## منابع

- آرمین، محسن، عظیمی، الهه، اکبری، رضا، (۱۴۰۱)، تبیین رابطه جزایر حرارتی شهری و تعدادی از عوامل مورفولوژی شهر با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهر شیراز)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و چهار.
- آذر، عادل و بیات، کریم (۱۳۸۷). طراحی مدل فرایند محوری کسب و کار با رویکرد مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM)، نشریه مدیریت فناوری اطلاعات، دوره ۱، شماره ۱، صص ۱۸۳.
- بخشی، امیر، رسولی، سید حسن، رحیمی، نیما، (۱۴۰۱)، بررسی نقش الگوی رشد شهری در ایجاد جزایر حرارتی در شهرها، فصلنامه برنامه ریزی و توسعه محیط شهری، دوره ۲، شماره ۲.
- احمدی، محمود، (۱۴۰۲)، تحلیل فضایی و استخراج روند جزایر حرارتی شهری کلان شهرهای عمده ایران در فصل تابستان، فصلنامه علمی علوم محیطی نوین، دوره ۲۱، شماره ۴.

تیموری، ایرج، اصغری زمانی، اکبر، محرم پور، عرفان، (۱۴۰۲)، بررسی اثر مورفولوژی شهری بر شدت جزایر حرارتی مطالعه موردی: شهر تبریز، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۳۲، شماره ۱۲۶.

تحصیل دوست، محمد، پوردیبهیمی، شهرام، عامری، پوریا، (۱۳۹۸)، تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش شدت جزایر حرارتی شهری: نمونه موردی کلان شهر تهران، نشریه علمی پژوهش های سیاست گذاری و برنامه ریزی انرژی، سال پنجم، شماره ۱۶.

محمودی، مجتبی، عفیفی، محمد ابراهیم، (۱۴۰۰)، بررسی وقوع پدیده جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره ای ASTER (منطقه مورد مطالعه: شهر شیراز)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دهم، شماره سی و هفت.

خسروی، یونس، روان بخش، فاطمه، پری زنگنه، عبدالحسین، (۱۴۰۱)، تحلیل فضایی جزایر حرارتی شهر قم به عنوان نمایه ای از محیط زیست شهری، فصلنامه کاوشهای جغرافیایی مناطق بیابانی، سال دهم، شماره دوم.

رمضانیان، محمدرحیم، مرادی، محمود و سلطانی، فاطمه (۱۳۹۴). تحلیل موانع تعامل پذیری فرهنگی در زنجیره تأمین صنعت خودرو با به کارگیری رویکرد مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM)، مدیریت فرهنگ سازمانی، دوره ۱۳، شماره ۲، صص ۳۶۹-۳۹۱.

سلیمانی، کریم، شعبانی، مرتضی، درویشی، شادمان، (۱۳۹۸)، بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی - مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی؛ مطالعه موردی: شهرستان سقز، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۳۰، شماره ۱.

سبحانی، بهروز، ملکی مرشت، رقیه، مرادی، مسعود، (۱۴۰۱)، واکاوی رابطه امواج گرمایی و جزایر حرارتی شهری مطالعه موردی: کلان شهر اهواز، مجله جغرافیا و توسعه، سال بیستم، شماره ۶۷.

سرائی، محمد حسین، اسمعیل پور، فاطمه، اسمعیل پور، نجما، (۱۳۹۹)، تحلیل کمی الگوی رشد کالبدی - فضایی شهر اراک، فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری - منطقه ای، سال دهم، شماره ۳۵.

عقیقی، حسین، عزیزی، مند، کیوان، عاشورلو، داود، شکبیا، علیرضا، (۱۴۰۲)، تجزیه و تحلیل آماری و پیش بینی تغییرات زمانی - مکانی جزایر حرارتی شهری با استفاده از داده های سنجش از دور، فصلنامه علمی علوم محیطی نوین، دوره ۲۱، شماره ۳.

عبدی، محمد، (۱۴۰۴)، تحلیل روند رشد جزایر حرارتی شهری با ترکیب تصاویر ماهواره ای حرارتی و داده های جمعیتی، هفتمین کنفرانس بین المللی دستاوردهای خلاقانه معماری، شهرسازی، عمران و محیط زیست در توسعه پایدار خاورمیانه.

عقیقی، حسین، عزیزی، مند، کیوان، عاشورلو، داود، شکبیا، علیرضا، (۱۴۰۲)، تجزیه و تحلیل آماری و پیش بینی تغییرات زمانی - مکانی جزایر حرارتی شهری با استفاده از داده های سنجش از دور، فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۳.

قلندریان، ایمان، میرزائی، فاطمه، طلائی، مریم، (۱۴۰۴)، ارزیابی تاثیر فرم شهر بر جزایر حرارتی شهری: مطالعه تطبیقی محدوده های مسکونی مشهد، ایران، نشریه محیط شناسی، دوره ۵۱، شماره ۱.

مشکینی، ابوالفضل، مسعودی، حسن، قائد رحمتی، صفر، خاوریان گرمسیر، امیر رضا، (۱۴۰۳)، فرا تحلیلی بر مطالعات جزیره گرمایی شهری در ایران، مجله آمایش سرزمین، دوره شانزدهم، شماره دوم.

نقیبی، فریدون، رمضان، صادق، (۱۳۹۹)، واکاوی تغییرات شاخص پوشش گیاهی در شکل گیری جزایر حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر ارومیه)، فصلنامه علمی پژوهش و برنامه ریزی شهری، سال ۱۱، شماره ۴۲.

Chen, X., Zhao, H., Li, P., Yin, Z., (20<sup>۲۱</sup>). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes, *Remote Sensing of Environment*, Vol 104 (2), Pp 133-146.

Comarazamy D.E., Gonzalez J.E., Luvall J.C., Rickman D.L. and P.J. Mulero (2021). "A Land-atmospheric Interaction Study in the Coastal Tropical City of San Juan, Puerto Rico", *Earth Interact*, No. 14, pp. 1-24.

Dobrovolny P, Krahula L (2023). The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic, *Moravian Geographical Reports* 23: 8-16.

Elkhazindar, A., Kharrufa, S. N., & Arar, M. S. (2022). The Effect of Urban Form on the Heat Island Phenomenon and Human Thermal Comfort: A Comparative Study of UAE Residential Sites. *Energies*, 15(15), 5471. <https://doi.org/10.3390/en15155471>.

Feng C, Xuchao Y, Weiping Z (20<sup>۲۱</sup>). WRF simulations of urban heat island under hot-weather synoptic conditions: The case study of Hangzhou City, China. *Atmospheric Research* 138: 364-377.

Heusinkveld, B.G., Steeneveld, G.V., Van Hove, L.W.A., Jacobs, C.M.J. and Holtslag, A.A.M., 2023. Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2, 677-692.

Jain, S., Sannigrahi, S., Sen, S., Bhatt, S., Chakraborti, S., & Rahmat, S. (2020). Urban heat island intensity and its mitigation strategies in the fast-growing urban area. *Journal of Urban Management*, 9(1), 66-54. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2019.09.004>.

Jato-Espino, D. (2019). Spatiotemporal statistical analysis of the Urban Heat Island effect in a Mediterranean region. *Sustainable Cities and Society*, 46(October 2018), 101427. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101427>.

Khandelwal S, Goyal R, Kaul N, Mathew A (2023). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 21): 1-8.

Khandelwal S, Goyal R, Kaul N, Mathew A (2023). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 21): 1-8.

Katzschner, L., Maas, A. and Schneider, A., 2021. Das städtische Mikroklima: Analyse für die Stadt und Gebäudeplanung. *Bauphysik*, 31(1), pp.18- 24.

Lemonsu A, Vigié V, Daniel M, Masson V (2024). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate* 14: 586-605.

Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A.J., Li, F. and Chen, H., 2020. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*.

- Thakkar, J., Deshmukh, S., Gupta, A. and Shankar, R. (2007), "Development of a balanced scorecard: An integrated approach of Interpretive Structural Modeling (ISM) and Analytic Network Process (ANP)", International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 56 No. 1, pp. 25-59.
- Weihe Z, Shuang Ji, Tsun-Hsuan Ch, Hou Y, Zhang K (2022). The 2011 heat wave in Greater Houston: Effects of land use on temperature. Environmental Research 135: 81-87.

