



سنجش اثرگذاری توزیع فضایی جمعیت بر تغییر اقلیم شهری با تأکید بر جزایر حرارتی

(مطالعه موردی: کلان شهر مشهد)

سوسن شیروانی مقدم^۱ و ساناز سعیدی مفرد^۲

تاریخ دریافت: 97/06/02

تاریخ پذیرش: 97/10/01

چکیده: توسعه فیزیکی شهرها، فرایندی پویا و مداوم است که طی آن توسعه افقی و عمودی رخ می دهد. این روند توسعه منجر به تغییرات فراوانی در ویژگی های فیزیکی سطح زمین، انرژی آزاد شده، آلودگی هوا، دما و در نتیجه تغییر اقلیم در شهرها می شود. یکی از بزرگترین تهدیدات توسعه شهرنشینی که باعث تغییر اقلیم شهری شده، پدیده جزایر حرارتی است. این پدیده ناشی از گسترش نابودی پوشش های طبیعی سطح زمین است که جای خود را به جاده ها، ساختمان ها، کارخانه ها و سایر تأسیسات شهری می دهد. این پژوهش با هدف سنجش اثرگذاری توزیع فضایی جمعیت بر عملکرد جزایر حرارتی شهری صورت پذیرفته است. بدین منظور برای سنجش توزیع فضایی جمعیت در مناطق 13 گانه کلان شهر مشهد از ضریب آنتروپی نسبی استفاده شده و سپس حداکثر شدت جزایر حرارتی با استفاده از معادله عددی - نظری Oke محاسبه شد. پس از تحلیل خوشه ای سلسله مراتبی، نتایج حاصل نشان داد رابطه ای نسبی میان توزیع فضایی جمعیت و شدت جزایر حرارتی وجود دارد که در برخی مناطق این رابطه مستقیم و در برخی دیگر دارای رابطه معکوس است. بررسی دقیق تر با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن، نشان دهنده ارتباط مستقیم و مطلق تراکم خالص جمعیت با بیشینه شدت جزایر حرارتی شهری است.

واژگان کلیدی: توزیع فضایی جمعیت، تغییر اقلیم شهری، جزایر حرارتی، شهر مشهد.

1 کارشناس ارشد برنامه ریزی شهری، گروه شهرسازی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

2 استادیار، گروه شهرسازی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: saeedi.s@mshdiau.ac.ir

1- مقدمه

شهرها همواره تحت تأثیر نیروها و عوامل گوناگونی شکل گرفته و گسترش می‌یابند و از لحاظ کالبد بزرگتر و از لحاظ ساخت پیچیده‌تر می‌شوند. این تغییرات اثرات متفاوتی بر آب‌وهوا در مقیاس محلی و جهانی ایجاد کرده و موجبات تغییر اقلیم در شهرها را فراهم آورده است (Mi. et al, 2018). امروزه موضوع تغییر اقلیم به دلیل پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حتی سیاسی به یکی از مباحث مهم برای آشکارسازی نمودهای مختلف این پدیده تبدیل شده است. (Moghimi et al, 1396). بخشی از دلایل تغییر اقلیم ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسان و صنعتی شدن کشورهاست که منجر به افزایش دمای کره زمین و افزایش بلایای طبیعی می‌شود. فعالیت های بشر، وضعیت جوی کره زمین را تغییر می‌دهد و باعث بروز تحولات مخربی بر روی خشک‌سالی، رشد و نمو گیاهان، تنوع زیستی، خصوصیات خاک، جنگل‌ها و آب‌های زیرزمینی و در نتیجه تغییر اقلیم می‌شود (Sol Hart and Feldman, 2018).

یکی از چالش‌های اصلی شهرها در این زمینه، افزایش منابع حرارتی است که به پدیده جزایر گرمایی مشهور است. جزایر حرارتی شهر نتیجه تأثیرات پیچیده فرآیندهای شهری و جزء ریزاقلیم آن بوده است و این پدیده موجب شده شهرها را هوای گرم در برگیرد. شرایط گرمایی جدید در شهرها بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی در مقیاس کلان اثرگذار است و خسارات سنگینی را به بار می‌آورد (Swain et al, 2014). معمولا پیشرفت و توسعه شهرها مؤثرترین عامل در شدت جزیره گرمایی شناخته می‌شود و از عوامل مهمی که سبب افزایش شدت اثر جزیره گرمایی و در نتیجه تغییر اقلیم شهری شده، رشد جمعیت است (Mazidi and narengi, 1395). اخیرا بسیاری از کلان‌شهرها با توسعه بیشتر و شتاب یافتن فرآیند شهرنشینی و افزایش جمعیت، با پدیده جزایر حرارتی روبرو بوده‌اند. تحقیقات نشان داده شهر مشهد نیز با این پدیده مواجه شده است. در چند دهه اخیر در حالی که جمعیت این شهر دو برابر شده، مساحت شهر بیش از سه برابر شده است. این موضوع

نشان دهنده آن است، که تا مرحله معینی از رشد، تعادلی میان جمعیت و توسعه فیزیکی شهر وجود داشته است؛ اما از این بازه به بعد، توسعه فیزیکی شهر با شتابی بیش از جمعیت شهر رشد کرده و مناطق وسیعی از حومه شهر را در بر گرفته و در نتیجه، باعث تغییرات اقلیمی و شکل‌گیری جزایر حرارتی در بخش‌های مختلف از شهر شده است. هدف از این پژوهش، شناخت پدیده جزایر حرارتی و تأثیر جمعیت بر شدت این پدیده است. به منظور تحقق هدف پژوهش، از مدل آنترپوی شانون نسبی و معادله عددی- نظری Oke استفاده می‌شود.

1-1- پیشینه تحقیق

در بررسی پدیده جزایر حرارتی، مطالعات بسیاری صورت پذیرفته است. بخش مهمی از این مطالعات در ارتباط با اندازه‌گیری این پدیده است. اولین بار سندبرگ ارتباط شدت جزیره گرمایی را با عناصر هواشناسی نظیر ابرناکی، باد، دما و رطوبت با استفاده از مدل رگرسیونی چندگانه بررسی کرد. او نشان داد که پارامترهای ابرناکی و سرعت باد به طور منفی با شدت جزیره گرمایی سازگاری دارد (Sundborg, 1950). اوک با در نظر گرفتن جمعیت به عنوان پارامتر مشخص کننده اندازه شهر، رابطه لگاریتمی بین پیشینه تغییرات شدت جزایر گرمایی و جمعیت را به دست آورد. بر اساس نظر وی، پیشینه تغییرات شدت جزایر گرمایی با تغییرات جمعیت دارای رابطه‌ای مستقیم است (Oke, 1973). آتکینسون جزایر حرارتی را با استفاده از مدل‌سازی عددی شدت جزایر حرارتی مورد بررسی قرار داده است. بر اساس نتایج، شدت جزایر حرارتی با شار حرارتی، قابلیت تابش، ضریب دید آسمان، مقاومت سطحی برابر تبخیر و اینرسی گرمایی دارای ارتباط است (Atkinson, 2003).

بتیان و انگر با استفاده از معادلات مدل آماری و آنالیز رگرسیون خطی چندمرحله‌ای به تخمین میانگین جزیره گرمایی شهری پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده، ارتباط روشنی بین توزیع فضایی مازاد حرارتی شهری و پارامترهای عامل دید آسمان و ارتفاع ساختمان وجود دارد. بنابراین این پارامترها نقش مهمی در تکامل میدان



سرمايش در شب مي‌تواند سبب ايجاد گردش‌هاي حرارتي شود که اين گردش‌ها از افزايش پدت جزيره حرارتي جلوگيري مي‌کند (Ranjbar, Saadatabadi et al, 1385). شکري و بهنيا، تأثير پديده جزيره گرمائي بر تغيير اقليم محلي را مورد بررسي قرار دادند. بر اساس نتايج به دست آمده، رشد سريع شهرنشيني و افزايش جمعيت اهواز سبب تغييرات قابل ملاحظه‌اي در بعضي از کميت‌هاي هواشناسي شده است و از عوامل مهمي که سبب افزايش شدت اثر جزيره گرمائي و در نتيجه تغيير اقليم محلي در کلان‌شهرها شده است، رشد جمعيت است (Shokri and Behnia, 1390). احمدی و ديگران نيز تحولات کالبد شهر و بازتاب حرارتي آن را با مورد بررسي قرار دادند. نتايج نشان دهنده ارتباط خشک‌سالي و کاهش سبزينگي بر دماي سطح و هم بر دماي هواست و يکي از مهم‌ترين عوامل مؤثر بر دماي هوا سايه اندازي‌ها و ضريب آسمان قابل رؤيت بر پايه محصوريت کالبدی و فضاي سبز است (Ahmadi et al, 1395). طی مطالعه‌اي، عليچاني و ديگران به محاسبه شدت جزيره حرارتي بر اساس هندسه شهري پرداختند. بر اساس نتايج به دست آمده شبیه‌سازي و محاسبه حداکثر شدت جزيره حرارتي با بناهاي بلند مرتبه و عرض کم معابر داراي ارتباط مستقيم است (Alijani et al, 1396). با توجه به بررسي‌هاي انجام شده در پيشينه تحقيق، مشاهده مي‌شود که استفاده از روابط کمی برای سنجش جزاير حرارتي از روايي بالايي برخوردار است. در مطالعه حاضر سعی بر اين است که تغييرات بيشينه شدت جزاير حرارتي با توزيع فضايي جمعيت سنجيده شود.

1-2- مباني نظري

1-2-1- اقليم و تغيير اقليم

يکي از اساسي‌ترين عوامل ساختار زمين، اقليم است و بدون شک طبيعت، انسان و کليه مظاهر حيات در سطوح گسترده‌اي متأثر از شرايط اقليمي است. اقليم از کلمه يوناني اقليما در فرهنگ لغات آکسفورد، منطقه‌اي با شرايط مشخصي از دما، خشکي، باد، نور و غيره معني شده است. تعريف علمي‌تر از اقليم چنين است: ترکيب زماني وضعيت فزيکي محيط جوي، که ويژگي يک محل جغرافيايي مشخص است. مطالعه گذشته زمين نشان

شدت جزاير حرارتي ايجاد مي‌کنند (Bottyan and Unger, 2003). واينتر و همکاران با استفاده از رابطه لگاريتمي و شاخص‌هاي جمعيت، شرايط آب هوايي شامل سرعت باد و پوشش ابر به ارزيابي جزاير حرارتي پرداختند. نتايج نشان دهنده اثر مستقيم جمعيت بر جزاير حرارتي و اثر معکوس سرعت باد و پوشش ابر بر اين پديده است (Wienert et al, 2013). چن و همکاران طی مطالعه‌اي به بررسي اثرات شهرنشيني و جزيره گرمائي شهري پرداختند. اين تحقيق با استفاده از داده‌هاي سنجش از دور و تحليل همبستگي و تحليل رگرسيون انجام شد. نتايج نشان دهنده رابطه مستقيم جمعيت و اقتصاد با داده‌هاي سنجش از دور بود (Chen et al, 2016). خان و چاترجي با استفاده از يک مدل خطي ساده شده و دماي هوا به بررسي شدت جزاير حرارتي در مناطق شهري و حومه‌اي کلکته پرداختند. نتايج نشان داد مدل خطي ساده شده با شبیه‌سازي تغييرات دماي هوا داراي رابطه مستقيم است. به صورتی که شرايط جزاير حرارتي داراي رابطه با دماي سطح و کمترین دماي روزانه محيط در مدل خطي است (Khan and Chatterjee, 2017).

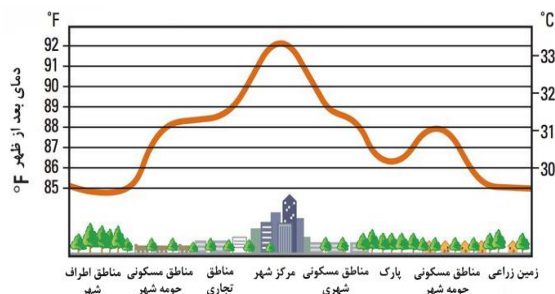
لی و همکاران روشی جدید را برای تعیین کمیت شدت جزیره حرارتي شهري مورد استفاده قرار دادند. اين روش، با استفاده از رابطه بين دماي سطح زمين و سطوح غير قابل نفوذ به تعيين شدت جزيره حرارتي شهري مي‌پردازد. برای ارزيابي سطوح غير قابل نفوذ از داده‌هاي سنجش از دور و روش تراکم هسته‌اي استفاده شد. نتايج نشان داد، تابع خطي دماي سطح زمين با سطوح غير قابل نفوذ مطابقت داشته است و بين دماي سطح زمين و تراکم هسته‌اي همبستگي مثبت وجود دارد (Li et al, 2018). رنجبر، سعادت آبادی و ديگران، به مطالعه جزاير حرارتي تهران و شبیه‌سازي عددي آن پرداختند. نتايج حاصل از شبیه‌سازي نشان مي‌دهد که در زمان استقرار توده هوای سرد، جزيره گرمائي به خوبي در نيمه شمالي تهران تشكيل مي‌شود و از شدت بيشتري برخوردار است. در حالي که در زمان استقرار توده هوای گرم، امکان تشكيل و توسعه جزاير گرمائي در ساعات شب به خوبي فراهم نمي‌شود و در نتيجه جزاير گرمائي از شدت ضعيفي برخوردار است. همچنين تغيير آهنگ‌هاي

می‌دهد که شرایط آب‌وهوا، همراه با سایر تحولات درونی و بیرونی کره زمین، پیوسته دست‌خوش تغییر شده است و دوره‌های سرد و گرم یا خشک و مرطوب، مکرر جای یکدیگر را گرفته و باعث تغییر اقلیم شده‌اند (Alijani et al, 15:1389). هیأت داوران درون دولتی تغییر اقلیم، تغییر اقلیم را این‌گونه تعریف می‌کنند: تغییر در وضعیت شرایط اقلیمی که می‌تواند توسط تغییرات در میانگین و یا مشخصه‌های مختلف آن و باقی ماندن برای یک دوره زمانی وسیع، به طور خاص برای دهه‌های متمادی و یا بیشتر تعریف شود. تغییر آب‌وهوا ممکن است به خاطر فرآیندهای طبیعی داخلی یا نیروهای خارجی، یا تغییرات انسانی مداوم در ساخت اتمسفر یا در کاربری زمین باشد (IPCC, 2014:15). یکی از بیشترین تأثیرات تغییر اقلیم بر شهرهاست. تغییرات اقلیمی ایجاد شده در شهرها سطوح زیادی را در بر می‌گیرد. مهمترین تأثیر تغییر اقلیم بر شهر، بالا رفتن دمای درون شهرها و پدید آمدن جزایر حرارتی است (Rahmati et al, 1395).

1-2-2- مفهوم جزایر حرارتی شهری

جزیره حرارتی شهری به افزایش دمای شهرها در برابر نواحی روستایی و حومه گفته می‌شود. برخلاف تفاوت‌های منطقه‌ای اقلیم، شهرهای جهان دارای یک ویژگی خاص به نام جزیره حرارتی شهر است. در واقع مناطق شهری از دمای بالاتری نسبت به مناطق روستایی برخوردار است (Kuang et al, 2017). آژانس حفاظت محیط می‌گوید: در روزهای گرم تابستان هوای شهر می‌تواند 2-10 درجه فارنهایت گرمتر از حومه آن باشد. شدت جزایر حرارتی شهری بسته به فصل، تابش خورشید و ویژگی‌های شهر می‌تواند بین 0 تا 7 درجه سانتی‌گراد تغییر کند (EPA, 2014:2). بر اساس روش تشکیل، تکنیکی که برای شناسایی و اندازه‌گیری وجود دارد، اثرات آنها و روش‌هایی است که برای کاهش آنها به دست آمده. دو نوع جزایر حرارتی شهری وجود دارد، جزایر حرارتی شهری سطح زمین و جزایر حرارتی شهری اتمسفری. جزایر حرارتی شهری سطح اغلب در طول روز و شب نمایان می‌شود، اما در طول روز تابش آفتاب آن را تشدید می‌کند. بسته به فصل، همان‌طور که پوشش زمین و هوا تغییر می‌کند، شدت جزایر حرارتی شهری

سطح نیز متغیر است. گرمتر بودن هوا در برخی مناطق شهری، در مقایسه با دیگر مناطق شهری، جزایر حرارتی اتمسفری نامیده می‌شود (Chow and Roth, 2006:23).



شکل 1- نیمرخ جزایر حرارتی
Fig.1- Urban heat island profile

1-2-3- عوامل مؤثر بر جزایر حرارتی شهری

از عوامل مؤثر بر جزایر حرارتی می‌توان به تغییرات پوشش سطح زمین، آب، پوشش گیاهی، باد، جمعیت اشاره کرد. فعالیت‌های انرژی‌پویانیک باعث تغییرات در کاربری زمین و پوشش سطح زمین در قرن اخیر شده است. تغییرات پوشش سطح زمین علت اصلی تغییرات منفی زیست‌محیطی و هیدرولوژی شهری و افزایش جزایر حرارتی و تغییر اقلیم در مقیاس محلی و جهانی است (Singh et al, 2018:101).

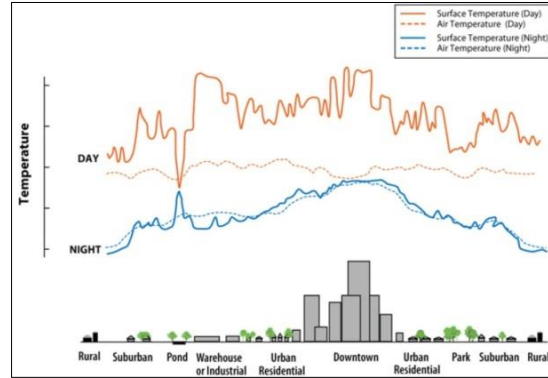
حرکت آب از لایه‌های سطحی و زیرسطحی به اتمسفر فاکتور مهمی برای کنترل جزایر حرارتی شهری است. زیرا بخشی از انرژی تابشی خورشید که توسط سطح جذب می‌شود را به گرمای نهان تبدیل می‌کند. پوشش گیاهی ارتباط مستقیمی با خصوصیات رطوبتی، حرارتی و تابشی دارد. پوشش گیاهی به نوبت از اقلیم محلی و ناحیه‌ای که متأثر از ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین است، نیز تأثیر می‌پذیرد (Haas & Troglia, 2017). جزایر حرارتی شهری منبع گردش بادهای شهری نیز است. این جریان در نتیجه گرما و فشار سطوح شیب‌دار افقی پدید می‌آید. در نتیجه هوای گرمتر در بالای شهر تشکیل شده و گردش محلی آن همراه با هوای سردتر از محیط‌های روستایی که به سمت مرکز شهر حرکت می‌کند، آغاز می‌شود (Hidalgo et al, 2010:889).

شبیه سازی‌ها، اثر وسیع جزایر حرارتی شهری را روی سلامتی و اقتصاد شهرها نشان داده‌اند. از برخی از این اثرات می‌توان به بحران‌های حرارتی، تسریع ساخت ازن، اکسید نیتروژن و مه دود فتوشیمیایی و در نتیجه آلودگی هوا، افزایش خطر سلامتی و گسترش بیماری‌هایی مانند گرمادگی، مشکلات تنفسی و حتی بیماری‌های قلبی، مصرف بیشتر انرژی برای دستگاه‌های تهویه و سرمایه گذاری افزوده در ظرفیت تولید برق اشاره کرد (Sadeghinia et al, 3:1391).

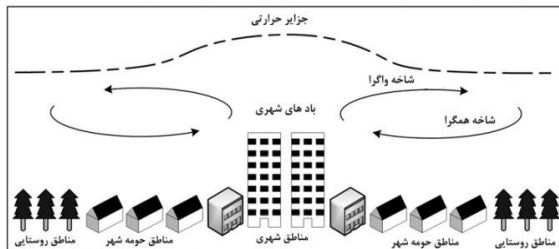
2- روش تحقیق

این تحقیق با توجه به هدف آن از نوع تحقیقات کاربردی- توسعه‌ای بوده و با توجه به روش انجام کار، از ماهیتی توصیفی- تحلیلی برخوردار است. روش تحقیق در مرحله مطالعه موردی، بر اساس تحلیل داده‌های ثانویه صورت پذیرفته است. در اندازه‌گیری توزیع فضایی جمعیت در هریک از مناطق 13 گانه شهر مشهد، از داده‌ها و اطلاعات مکانی مورد نیاز از طرح توسعه و عمران شهر مشهد که داده‌های آنها تحت سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) موجود است، استفاده می‌شود. در ادامه، به منظور بررسی میزان توزیع فضایی جمعیت در هریک از مناطق، از مدل آنتروپی شانون نسبی و برای محاسبه حداکثر شدت جزیره حرارتی از معادله عددی- نظری Oke استفاده می‌شود. آنتروپی یک معیار ناپارامتری برای نشان دادن تعادل یک سیستم در توزیع است و هرچه میزان این شاخص بیشتر شود، توزیع به سوی تعادل در حرکت است. ایده این روش آن است که هرچه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص اهمیت بیشتری دارد. با استفاده از این مدل، می‌توان به میزان تعادل فضایی استقرار جمعیت پی برد، (Zebardast, Rahmani, 152:1395).

عملکرد مدل Oke نیز بر این اساس است که شدت افزایش جزیره حرارتی با تراکم جمعیتی نسبت مستقیم دارد، به گونه‌ای که افزایش حرارت داخل شهرها به دخالت مستقیم انسان‌ها نیز مرتبط است. پس از محاسبه توزیع فضایی جمعیت و حداکثر شدت جزیره حرارتی، دسته‌بندی نتایج هریک از دو مدل بر اساس روش



شکل 2- تأثیر پوشش گیاهی و آب بر شرایط جزایر حرارتی
 Fig.2- Water and Vegetation effect on urban heat island



شکل 3- تأثیر باد بر جزایر حرارتی شهری
 Fig.3- Wind effect on urban heat island

اثرات پوشش سطح، آب، پوشش گیاهی و باد در مقیاس- های مختلف روی اتمسفر شهری، اثرات جوی و آب و هواشناسی دارد و همه این فاکتورها به رشد جمعیت و اثرات آن بستگی دارد. اما رشد جمعیت به تنهایی اثرات آب و هواشناسی محلی دارد. شدت جزایر حرارتی شهری با افزایش اندازه شهر و یا جمعیت افزایش می‌یابد و همزمان با رشد شهرها به صورت فزاینده در تغییرات اقلیمی حتی فراتر از مقیاس محلی شرکت می‌کنند (Wu and Zhang, 2017:2).

1-2-4- پیامدهای جزایر حرارتی شهری

جزایر حرارتی شهری یکی از مهمترین مسائل حیات در مناطق شهری است، که شرایط اقلیمی و بیولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. جزیره حرارتی شهر که نتیجه تراکم شهری و افزایش مصارف بشری در محیط شهر است، تبعات عمده‌ای از جمله افزایش اینورژن‌ها و همچنین افزایش میزان آلاینده‌ها، بالا رفتن میزان مصرف انرژی در شهرها و عدم راحتی انسانی را به همراه دارد (Gülten et al, 2016:412). همچنین محاسبات و

جدول 1- جمعیت و مساحت مناطق شهر مشهد در

سال 1395

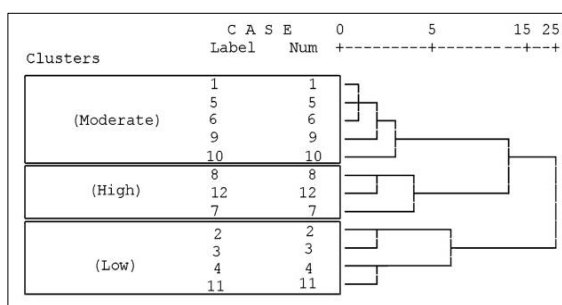
Tab.1- Population and Area of district of Mashhad city in year 1395

مناطق	جمعیت	مساحت (هکتار)
منطقه 1	167,013	1,477
منطقه 2	513,365	3,844
منطقه 3	417,950	3,307
منطقه 4	262,184	1,342
منطقه 5	175,603	1,438
منطقه 6	232,616	1,869
منطقه 7	253,236	4,742
منطقه 8	92,543	1,930
منطقه 9	327,061	4,473
منطقه 10	296,823	2,333
منطقه 11	200,161	1,534
منطقه 12	105,263	6,502
منطقه ثامن	13,861	356

رابطه 1

$$H_k = [-\sum_{i=1}^k P_i * \log_e P_i] / \log_e(k)$$

در این رابطه H_k میزان آنتروپی شانون نسبی هر منطقه، P_i نسبت میزان هر شاخص به مجموع میزان همان شاخص در هر منطقه و k تعداد شاخص هاست. به منظور دسته بندی آنتروپی نسبی هر یک از مناطق پس از انجام محاسبات، تحلیل خوشه ای سلسله مراتبی صورت پذیرفت. فرایند خوشه بندی در سه مرحله انجام گرفت. خروجی نهایی خوشه بندی آنتروپی شانون در مناطق شهر مشهد مطابق با شکل 5 است.



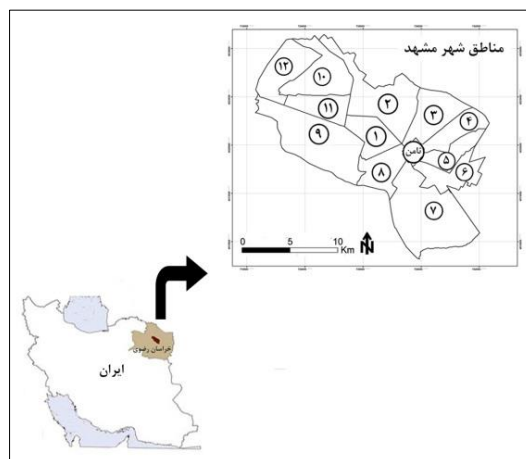
شکل 5- خوشه بندی آنتروپی نسبی در مناطق شهر مشهد

Fig.5- Shannon's entropy clustering in district of Mashhad city

خوشه بندی سلسله مراتبی و از ضریب همبستگی اسپیرمن به منظور میزان همبستگی حداکثر شدت جزایر حرارتی با هریک از شاخص های جمعیتی دخالت داده شده شامل تراکم جمعیتی، تراکم کلی مسکونی و تراکم خالص مسکونی در آنتروپی شانون با استفاده از نرم افزار SPSS 23 صورت می پذیرد.

2-1- محدوده مورد مطالعه

مشهد شهری در شمال شرقی ایران و مرکز استان خراسان رضوی است. این شهر بین عرض های 35 درجه و 43 دقیقه تا 37 درجه و 2 دقیقه شمالی و طول 59 درجه و 2 دقیقه تا 60 درجه و 38 دقیقه شرقی واقع شده است. طبق آمار سرشماری نفوس و مسکن سال 1395، شهر مشهد با جمعیت 3057679 نفر دومین کلان شهر کشور است.



شکل 4- محدوده مورد مطالعه

Fig.4- Study area

شهر مشهد دارای 13 منطقه و 43 ناحیه است. در بین مناطق، منطقه 2 بیشترین میزان جمعیت و منطقه 12 بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است.

3- نتایج و بحث

3-1- توزیع فضایی جمعیت در مناطق شهر مشهد بر

اساس مدل آنتروپی شانون نسبی

در این پژوهش، توزیع فضایی جمعیت بر اساس شاخص های تراکم جمعیتی، تراکم کلی مسکونی و تراکم خالص مسکونی و با استفاده از رابطه 1 صورت می پذیرد.

جدول 2- میزان آنترپوی شانون نسبی در مناطق شهر مشهد

Tab.2- Shannon's entropy measure in district of Mashhad city

مناطق	تراکم کلی مسکونی		تراکم خالص مسکونی		آنترپوی شانون نسبی	
	$P_i * \log_e P_i$	P_i	$P_i * \log_e P_i$	P_i	$P_i * \log_e P_i$	P_i
1	-0.21	0.09	-0.3	0.16	-0.08	0.54
2	-0.23	0.1	-0.06	0.01	-0.36	0.59
3	-0.23	0.1	-0.12	0.04	-0.3	0.59
4	-0.28	0.15	-0.14	0.04	-0.27	0.63
5	-0.22	0.09	-0.24	0.11	-0.14	0.55
6	-0.22	0.1	-0.17	0.06	-0.19	0.54
7	-0.13	0.04	-0.07	0.02	-0.21	0.37
8	-0.12	0.04	-0.2	0.08	-0.09	0.37
9	-0.16	0.06	-0.15	0.05	-0.14	0.41
10	-0.23	0.1	-0.23	0.1	-0.12	0.53
11	-0.23	0.1	-0.3	0.17	-0.1	0.57
12	-0.05	0.01	-0.12	0.04	-0.13	0.28
ثامن	0.1	0.03	-0.36	0.12	-0.05	0.47

3-2- محاسبه بیشینه شدت تغییرات جزایر حرارتی در

مناطق شهر مشهد

تا کنون تحقیقات گسترده‌ای در خصوص همبستگی بین شدت جزایر حرارتی با جمعیت انجام شده است. در این پژوهش برای محاسبه حداکثر شدت جزیره حرارتی از معادله عددی - نظری Oke استفاده می‌شود. عملکرد این مدل مبتنی بر یک رابطه لگاریتمی است.

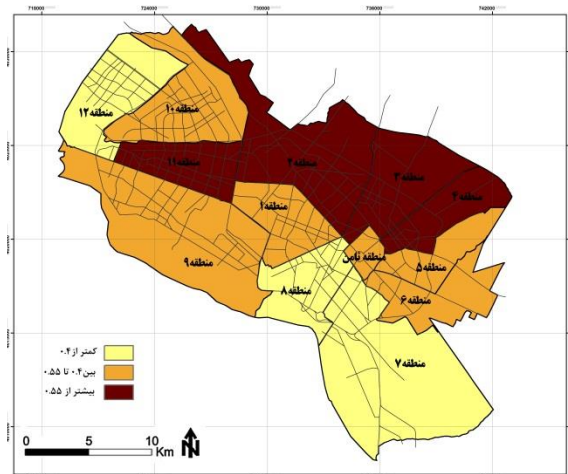
رابطه 2

$$\Delta T = -4.06 - \log p. 2.01$$

در این رابطه ΔT بیشینه شدت جزیره حرارتی و p جمعیت هر منطقه است. بیشینه شدت تغییرات جزایر حرارتی در هر یک از مناطق شهر مشهد به شرح جدول 3 است.

پس از محاسبه بیشینه شدت جزایر حرارتی و تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی، این شاخص در سه دسته کم (اعداد کمتر از 5)، متوسط (اعداد بین 5 تا 6.5) و زیاد (اعداد بیشتر از 6.5) دسته‌بندی شده و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 ترسیم می‌شوند.

پس از خوشه‌بندی نهایی، آنترپوی شانون نسبی هر منطقه در سه دسته کم (اعداد کمتر از 0.4)، متوسط (اعداد بین 0.4 تا 0.55) و زیاد (اعداد بیشتر از 0.55) دسته‌بندی و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 ترسیم می‌شوند.



شکل 6- میزان آنترپوی نسبی در مناطق شهر مشهد
Fig.6- Shannon's entropy measure in district of Mashhad city

مقایسه مناطق نشان از آن دارد که مناطق 7، 8 و 12 کمترین تعادل را در پراکنش جمعیت دارند و مناطق 2، 3، 4 و 11 از بیشترین تعادل در پراکنش فضایی جمعیت برخوردارند.

جدول 3- بیشینه شدت جزایر حرارتی در مناطق شهر مشهد

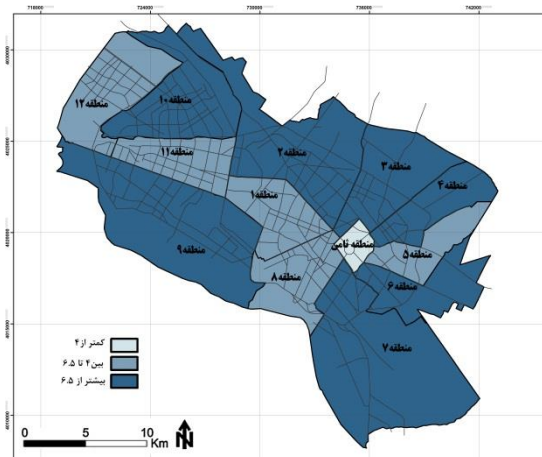
Tab.3- Maximum urban heat island intensity in district of Mashhad city

مناطق	بیشینه شدت جزیره حرارتی
منطقه 1	6.438
منطقه 2	7.418
منطقه 3	7.238
منطقه 4	6.831
منطقه 5	6.482
منطقه 6	6.727
منطقه 7	6.801
منطقه 8	5.922
منطقه 9	7.024
منطقه 10	6.94
منطقه 11	6.596
منطقه 12	6.035
منطقه ثامن	4.265

برقرار است. در مناطقی که کمترین میزان تعادل را در توزیع فضایی جمعیت داشته‌اند (مناطق 7، 8 و 12)، شدت تغییرات جزایر حرارتی نیز متوسط و زیاد بوده است و در مناطقی که توزیع فضایی جمعیت نیمه متعادل و متعادل بوده است (منطقه ثامن و منطقه 5 و 11)، شدت تغییرات جزایر حرارتی کم و متوسط بوده است. اما در برخی از مناطق (مناطق 2، 3 و 4)، با توجه به وجود تعادل در توزیع فضایی جمعیت، شدت تغییرات جزایر حرارتی در حالت بیشینه قرار داشته است. علت این امر با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن با هریک از شاخص‌های استفاده شده در توزیع فضایی جمعیت با شدت تغییرات جزایر حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده گویای این واقعیت است ارتباط مستقیم بین تراکم خالص مسکونی و شدت تغییرات جزایر حرارتی در مناطق شهر مشهد وجود دارد. هرچه میزان تراکم خالص مسکونی رو به افزایش باشد، شدت تغییرات جزایر حرارتی در مناطق شهر مشهد نیز افزایش می‌یابد و هرچه از میزان تراکم خالص مسکونی کاسته می‌شود، شدت تغییرات جزایر حرارتی رو به کاهش است.

4- نتیجه گیری

توجه به توسعه و افزایش جمعیت شهرها، یک ضرورت اساسی در برنامه‌های توسعه شهری محسوب می‌شود. در ایران رشد سریع جمعیت در قالب رشد بدون برنامه و ناموزون در راستای علل مختلف، یکی از مشکلات اساسی شهرها محسوب شده و عموماً مشکلات و پیامدهایی منفی برای شهرها در پی داشته است. از سویی دیگر شرایط آب و هوایی به موازات سایر عوامل محیطی از مهمترین عوامل مؤثر در شکل‌گیری و تکوین شهرها و تداوم حیات شهری به شمار می‌آید. در واقع عناصر شهر و عملکرد آنها علاوه بر آنکه از عناصر و عوامل آب‌وهوایی متأثر باشند، خود نیز در اوضاع اقلیمی فضای پیرامون خود تأثیر می‌گذارند. همچنین توسعه بیشتر جوامع، شتاب یافتن فرآیند شهرنشینی و افزایش جمعیت و گرم شدن هوا، باعث شکل‌گیری جزایر حرارتی شده است. در این پژوهش با استفاده از ضریب آنتروپی نسبی و معادله عددی- نظری Oke، بررسی آثار توزیع فضایی



شکل 7- بیشینه شدت جزایر حرارتی در مناطق شهر مشهد

Fig.7- Maximum urban heat island intensity in district of Mashhad city

مقایسه مناطق نشان از آن دارد که منطقه ثامن کمترین شدت جزایر حرارتی را داراست و مناطق 2، 3، 4، 6، 7، 9 و 10 دارای بیشترین شدت تغییرات جزایر حرارتی هستند.

3-3- بررسی ارتباط توزیع فضایی جمعیت و شدت تغییرات جزایر حرارتی

پس از بررسی میزان توزیع فضایی جمعیت و شدت تغییرات جزایر حرارتی، این نتیجه به دست می‌آید که ارتباط نسبی بین این دو شاخص در مناطق شهر مشهد



Alijani, B., Moayed Far, S., Sabayi Mehr, M. (2010). Yazd climate change study about urban and regional expansion, *Journal of Research and Planning*, 3(1), 13-23.

Alijani, B., Toulabi Nezhad, M., sayadi, F. (2016). Heat island intensity calculating based on urban geometry, *Journal of Spatial Analyze of Environment Risks*, 4(3), 99-112.

Atkinson, B W. (2003). Numerical modelling of urban heat-island intensity. *Journal of Boundary Layer Meteorology*, 109(3), 285-310.

Balázs, B., Unger, J., Gál, T., Sümeghy, Z., Geiger, J., Szegedi, S. (2009). Simulation of the mean urban heat island using 2 D surface parameters: Empirical modelling, verification and extension. *Journal of Meteorological Applications*, 16 (3), 275-287.

Bhargava, A., Lakmini, S., Bhargava, S. (2017). Urban Heat Island Effect: It's Relevance in Urban Planning. *Journal of Biodiversity & Endangered Species*, 1-4.

Bottyan, Z., Unger, J. (2003). A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theor. Appl. Climatol*, 75, 233-243.

Chen, W., Zhang, Y., Gao, W., Zhou, D. (2016). The Investigation of Urbanization and Urban Heat Island in Beijing Based on Remote Sensing, *Journal of Social and Behavioral Sciences* 216, 141 – 150.

Chow, W. and Roth, M. (2006). Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore, *International Journal of Climatology*, 14, 21-35.
EPA. (2014). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. *Nonpoint Source News-Notes*, 1-23.

Gülten, A., Aksoy, U., Öztö, H. F. (2016). Influence of Trees On Heat Island Potential in an Urban Canyon. *Sustainable Cities and Society*, 26, 407-418.

Haas., T, Troglia., E. Energy transect modeling and sustainable urban cells approach. (2017). *GeoSEE Institute*, No.8, 1-17.

Hidalgo., J, Masson., V, Gimeno., L. (2010). Scaling the Daytime Urban Heat Island and Urban-Breeze Circulation, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 889-901

جمعیت بر افزایش شدت جزیره حرارتی فراهم آمد. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده در مورد اندازه‌گیری جزیره حرارتی، به شرایط دمایی شهر و استفاده از روش سنجش از دور پرداخته شده است. اما در این پژوهش از روشی نوآورانه استفاده شد. سنجش جزایر حرارتی با استفاده از پارامتر جمعیت و جایگزینی آن با شرایط دمایی شهر و دمای سطح زمین وجه تمایز نتایج این پژوهش با سایر پژوهش‌های مرتبط با این پدیده است. بر اساس یافته‌های حاصل از سنجش مناطق شهر مشهد و تحلیل توزیع فضایی جمعیت و بیشینه شدت تغییرات جزایر حرارتی، این نتیجه حاصل می‌شود که ارتباط نسبی بین این دو شاخص در مناطق شهر مشهد برقرار است.

در مناطقی که کمترین میزان تعادل را در توزیع فضایی جمعیت داشته‌اند، شدت تغییرات بیشتری در جزایر حرارتی مشاهده می‌شود و در مناطقی که توزیع فضایی جمعیت نیمه متعادل و متعادل بوده است، شدت تغییرات کمتری در جزایر حرارتی مشاهده می‌شود. از سوی دیگر با توجه به نتایج ضریب همبستگی اسپیرمن می‌توان گفت مهمترین شاخصه اثرگذار در بیشینه شدت تغییرات جزایر حرارتی که ارتباطی مستقیم با این پدیده دارد، تراکم خالص مسکونی است. مناطقی در شهر مشهد که دارای بیشترین میزان شدت تغییرات جزایر حرارتی بوده‌اند، از بیشترین میزان تراکم خالص مسکونی نیز برخوردار بوده‌اند. بنابراین به کارگیری سیاست‌های مناسب از جمله تجدید نظر در نحوه بارگذاری‌های جمعیتی در انواع طرح‌های توسعه شهری و برنامه‌ریزی برای مدیریت و سامان‌دهی ساخت‌وسازهای شهری در ارتباط با شدت تغییرات جزایر حرارتی امری ضروری است که می‌تواند، مؤثر واقع شود. همچنین می‌تواند زمینه‌ای مطلوب برای هدایت تدوین سیاست‌های جمعیتی در انواع طرح‌های توسعه شهری جهت ایجاد تعادل با پایداری در شهر مشهد فراهم آورد.

منابع

Ahmadi, A., Ghafari, A., Taghbaz, M. (2015). Urban physics changes and its heat reflection (case study: Isfahan), *Journal of Art University*, 17(9), 155-171.



- Sadeghi Nia, A., Alijani, B., Ziaeiian, P. (2012). Spatial-Temporal analyze of heat island of Tehran metropolis with using remote sensing and geographical information system, *Journal of Environment Risks*, 4(1), 1-17.
- Salahi, B., Fatemi Nia, F., Hoseini, M. (2015). Isfahan province future climate changes assessment, *Journal of Dry Region Geographic*, 16(5), 55-71.
- Schatz, J., Kucharik, C.J., (2015). Urban climate effects on extreme temperatures in Madison, Wisconsin, USA. *Environ. Res. Lett.* 10 (9), 094024.
- Shokri, S., Behnia, A. (2011). The effect of heat island phenomenon on local climate changes in Ahwaz metropolis city, *Journal of Science and Engineering Irrigation*, 34(1), 35-43.
- Singh, P., Kikon, N., Verma, P. (2018). Impact of Land Use Change and Urbanization on Urban Heat Island in Lucknow City, Central India. A Remote Sensing Based Estimate, *Journal of Sustainable Cities and Society*, 32, 100-114.
- Sol Hart, P., Feldman, L. (2018). Would it be better to not talk about climate change? The impact of climate change and air pollution frames on support for regulating power plant emissions, *Journal of Environmental Psychology*, 60, 1-8.
- Sundborg, A. (1950). The local climatological studies of the temperature conditions in an urban area *Tellus*, 2, 222-232.
- Swain, S., Therivel, R., (2014). Environmental impacts of civil emergency plans and their exemption from SEA, *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 16(3), 1-16.
- Wu, L., Zhang, J. (2017). Assessing population movement impacts on urban heat island of Beijing during the Chinese New Year holiday: effects of meteorological conditions, *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 131, 1203-1210
- Zebardast, E., Rahmani, J. (2015). Analysis of Zanjan province urban level system model and presenting usable model of urban system, *Journal of Geography Prediction*, 25(2), 143-161
- IPCC. (2014). *Mitigation of Climate Change, Summary for Policymakers and Technical Summary*.
- Khan, A., Chatterjee, S. (2017) Numerical simulation of urban heat island intensity under urban-suburban surface and reference site in Kolkata, India, *Journal of Modeling Earth Systems and Environment*, 2-71.
- Kuang, W., Yang, T., Liu, A., Zhang, C., Lu, D., Chi, W., (2017). An Eco City model for regulating urban land cover structure and thermal environment: taking Beijing as an example. *Sci. China Earth Sci.* 60 (6), 1098-1109.
- Li, H., Zhou, Y., Li, X., Meng, L., Wang, X., Wu, S., Sodoudi, S. (2018). A new method to quantify surface urban heat island intensity, *Science of the Total Environment*, 624, 262-272.
- Mi, Z., Guan, D., Liu, Z., Liu, J., Vigiuié, V., Fromer, N., Wang, Y. (2018). Cities: the core of climate change mitigation, *Journal of Cleaner Production* 207, 582-589.
- Moghimi, E., mohamadi, H., Najafian, M. (2016). Heat change process, Heat island and plant covering warm day of Tehran city, *Journal of Natural Geography*, 38(10), 1-18.
- Mozayedi, A., Narengi, M. (2016). Urban expansion and land use changes effect on climate elements, *Journal of Geographic Science Applied Research*, 40(16), 132-153.
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.*, 7, 769-779.
- Rahmati, M., Heydari, Sh., Bemanian, M. (2015). The study of architecture design methods on decreasing of urban heat island, *Journal of Iran Energy*, 19(1), 91-104.
- Rangbar, A., Akbari, A., Sadeghi, A. (2006). Heat island and urbanization effect on weather condition and local climate in Tehran metropolis based on Mehrabad and Varamin input, *Journal of Environment Recognition*, 31(1), 63-78.
- Rajasekar, U., Weng, Q.H., (2009). Urban heat island monitoring and analysis using a nonparametric model: a case study of Indianapolis. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 64 (1), 86-96.