

ORIGINAL ARTICLE

Revealing the Physical Expansion and changes of heat islands in Minab City based on the contribution of Population factors and horizontal dispersion

Mohamad Kazemi^{1*}, Fariborz Mohammadi^{1,2}, Alireza Nafarzadegan³

¹ Assistant Professor, Hormoz Studies and Research Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

² Assistant Professor, Department of Water Sciences; Engineering, Minab higher education Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

³ Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Correspondence

Mohamad Kazemi

Email:

mohamad.kazemi86@gmail.com

How to cite

Kazemi M., Mohammadi, F. & Nafarzadegan A. (2023). Revealing the Physical Expansion and changes of heat islands in Minab City based on the contribution of Population factors and horizontal dispersion. *Urban Ecological Research*, 14(1), 65-82.

ABSTRACT

The purpose of this study is to reveal the physical expansion and spatial changes of heat islands in Minab city during three time periods (1975-1988, 1988-2000, and 2000-2014). For this purpose, TM and OLI images of Landsat satellite were used. The physical changes of the city were obtained by analyzing the values extracted from the two indices of normalized difference built (NDBI) and normalized difference vegetation (NDVI). To find heat islands of the city, single-channel and separate-window algorithms and to investigate the contribution of population growth and urban horizontal growth on changes in heat islands, Shannon and Holdren entropy models were used. The results showed that the maximum amount of physical expansion of the city happened 901.61 hectares, in the years 1988 to 2000 of which 55.6 percent was based on population growth and 44.4 percent was based on the increase of land per capita. The area of the heat islands was estimated to be 112.96 hectares, indicating the north-south and east-west trend, which has grown more than 4 times compared to the previous period. The share of population factor in this growth was 62.8 hectares and the share of urban sprawl was 50.16 hectares. The Shannon's entropy value was 0.3, indicating an unrestricted growth in the considered period. In general, in the 39-year period, a 5 fold increase in the size, a 6.34 fold increase in the population and a 5.7 fold increase in the heat islands area were observed in the Minab city. Since no documentary report has been presented regarding the investigation of heat islands in Minab city, the results of the present research can be used to manage the concentration of the city points.

KEYWORDS

Urban Heat Island, Separate window, Horizontal Urban Expansion, Spatial Trend, Minab.

نشریه علمی

پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری

«مقاله پژوهشی»

آشکارسازی گسترش فیزیکی و تغییرات جزایر حرارتی شهر میناب براساس سهم عوامل جمعیت و پراکندگی افقی

محمد کاظمی^{۱*}، فریبرز محمدی^{۱،۲}، علیرضا نفرزادگان^۳

چکیده

هدف از پژوهش حاضر آشکارسازی گسترش فیزیکی و تغییرات مکانی جزایر حرارتی شهر میناب طی سه بازه زمانی (سال‌های ۱۹۷۵-۱۹۸۸، ۱۹۸۸-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۰۱۴) می‌باشد. بدین منظور از تصاویر TM و OLI ماهواره لندست استفاده شده است. تغییرات فیزیکی شهر از طریق تحلیل مقادیر مستخرج از دو شاخص تفاضل نرمال شده ساخت‌وساز (NDBI) و تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) به دست آمد. برای پیدا کردن جزایر حرارتی از الگوریتم‌های تک کاناله و پنجره مجزا و جهت بررسی سهم رشد جمعیت و رشد افقی ناموزون شهری بر تغییرات جزایر حرارتی از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان گسترش فیزیکی شهر در سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۴، به میزان ۹۰/۱۶۱ هکتار اتفاق افتاده که ۵۵/۶ درصد آن براساس رشد جمعیت و ۴۴/۴ درصد براساس افزایش سرانه زمین بوده است. مساحت جزایر حرارتی ۱۱۲/۹۶ هکتار برآورد گردید و روند شمالی- جنوبی و شرقی- غربی را نشان می‌داد که نسبت به دوره ماقبل خود بیش از ۴ برابر رشد داشته است. سهم عامل جمعیت در این رشد ۶۲/۸ هکتار و سهم رشد بی‌قواره شهری ۵۰/۱۶ هکتار بوده است. همچنین مقدار آنتروپی شانون ۰/۳ بود که حکایت از رشدی غیرمتراکم در دوره مذکور دارد. در کل، در بازه ۳۹ ساله مورد بررسی در شهر میناب، افزایش ۵ برابری وسعت شهر، افزایش ۶/۳۴ برابری جمعیت و افزایش ۵/۷ برابری سطح جزایر حرارتی شهری مشاهده شده است. از آنجایی که تاکنون گزارش مستندی در خصوص بررسی جزایر حرارتی شهر میناب ارائه نشده است، نتایج پژوهش حاضر می‌تواند برای مدیریت تمرکز نقاط شهر مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی

جزیره حرارتی شهری، پنجره مجزا، گسترش افقی بی‌قواره شهری، روند مکانی، میناب.

^۱ استادیار، مرکز مطالعات و تحقیقات هرمز، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
^۲ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.
^۳ استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

نویسنده مسئول:

محمد کاظمی

رایانامه:

mohamad.kazemi86@gmail.com

استناد به این مقاله:

کاظمی، محمد، محمدی، فریبرز و نفرزادگان، علیرضا (۱۴۰۲). آشکارسازی گسترش فیزیکی و تغییرات جزایر حرارتی شهر میناب براساس سهم عوامل جمعیت و پراکندگی افقی.

فصلنامه علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، ۱۴(۱)، ۶۵-۸۲.

مقدمه

عامل مهمی برای مطالعه آب و هوای شهری محسوب می‌شود (Khandelwal et al., 2018). بنابراین، در دهه‌های اخیر با توسعه بیش‌تر جوامع و شتاب یافتن فرایند شهرنشینی، پدیده جزایر حرارتی شهری اهمیت بیش‌تری یافته است (Chow et al., 2012). در این میان، میناب یکی از شهرهای شرقی استان هرمزگان و آغازگر منطقه مکران در این استان است. این شهر طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ شاهد تغییرات سریع جمعیتی و مهاجرتی بوده و دست‌خوش تغییرات کاربری اراضی و ساخت‌وسازهای انسانی بسیاری شده است.

در حال حاضر با افزایش اهمیت نحوه گسترش شهر از یک طرف و راه‌های توسعه آبی شهر از طرف دیگر، لزوم بررسی الگوی توسعه کالبدی- فضایی ساخت‌وسازهای انسانی و تغییرات کاربری شهر میناب ضرورت پیدا کرده است. از طرفی، توسعه و تغییرات سریع و ناهماهنگ کاربری‌های اراضی این شهر در سال‌های اخیر، نتایج نامناسب اقتصادی، اجتماعی و کالبدی را به دنبال داشته است. همچنین یکی از مهم‌ترین معضلات مغفول (با توجه به موقعیت گرمسیری و حاره منطقه)، عدم توجه به پراکنش جزایر حرارتی در سطح شهر و انجام ساخت‌وسازها در این نواحی می‌باشد. به‌عنوان نمونه، با توجه به مصرف بالای انرژی الکتریسیته جهت خنک کردن محیط زندگی در شهر میناب، لزوم بررسی تغییرات جزایر حرارتی و الگوی آن جهت ممانعت از هدر رفت بیش‌تر انرژی بیش از پیش احساس می‌شود و تعیین جهت توسعه‌ی آبی شهر با در نظرگیری جزایر حرارتی و روند تغییرات مکانی آن، ضرورت بررسی موضوع را نشان می‌دهد. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف آشکارسازی گسترش فیزیکی و تغییرات جزایر حرارتی شهر میناب براساس سهم عوامل جمعیت و پراکندگی افقی انجام شده است. از آنجایی که تاکنون پژوهش مستندی مرتبط با جزایر حرارتی این شهر انجام نشده است پژوهش حاضر به‌عنوان پژوهش پیشگام در این منطقه است. نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌تواند برای مدیریت بهتر توسعه شهری در دستور کار مدیران مرتبط قرار گیرد. بنابر آنچه مطرح گردید، سوال اصلی تحقیق این‌گونه مطرح می‌شود که گسترش فیزیکی و تغییرات جزایر حرارتی شهر میناب براساس سهم عوامل جمعیت و پراکندگی افقی چگونه بوده است؟

گسترش فیزیکی شهر عبارت است از توسعه کمی و کیفی فضاهای کالبدی آن در ابعاد افقی و عمودی که در گذر زمان انجام می‌گیرد (زنگی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۸). اگر این فرآیند سریع و بدون برنامه صورت بگیرد باعث بروز آثار منفی زیست‌محیطی خواهد شد (Jaeger et al., 2010).

در دهه‌های اخیر افزایش سریع جمعیت مشخصه اصلی اغلب شهرهای بزرگ به ویژه کلان‌شهرها بوده است. از مهم‌ترین دلایل رشد سریع اینگونه شهرها، تمرکز خدمات، صنایع و تسهیلات در آن‌ها بوده که منجر به مهاجرت‌پذیری شدید شده است. افزایش جمعیت به نوبه خود باعث توسعه فیزیکی و کالبدی بدون برنامه و لجام‌گسیخته کلان‌شهرها و شهرهای بزرگ می‌شود (کرم و محمدی، ۱۳۸۸). در اثر رشد فزاینده شهرها، گسترش فیزیکی شهر به مناطق پیرامون و همچنین افزایش تراکم و انباشتگی در درون شهرها اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (پناهی و زیاری، ۱۳۸۸). با توسعه شهرنشینی مقادیر زیادی از مساحت مناطق کشاورزی و جنگلی جای خود را به مناطق شهری، مناطق صنعتی و دیگر زیرساخت‌ها داده‌اند. در همین راستا با افزایش جمعیت، افزایش آلودگی ناشی از صنایع و افزایش تردد اتومبیل‌ها موجب افزایش دمای برخی مناطق شهری نسبت به دیگر مناطق می‌شود، بنابراین در مناطق شهری بسته به پوشش زمین، مناطقی با درجه حرارت بیش‌تر از سایر نواحی به وجود می‌آید که این پدیده به نام جزیره حرارتی شهری نامگذاری شده است (متکان، ۱۳۹۳). از این رو، گسترش سریع شهرها تأثیرات منفی بر کیفیت محیط زیست جهانی داشته است؛ از جمله کیفیت هوا، افزایش دما و تغییرات چشم‌انداز و همچنین تبدیل زمین‌های کشاورزی و پوشش طبیعی که منجر به از بین رفتن تنوع زیستی می‌شود (Abutaleb et al., 2015). در این راستا دمای سطح زمین پارامتر مهمی است که می‌تواند نشان دهنده تغییرات در سطح زمین باشد که اخیراً در بسیاری از مطالعات منطقه‌ای همچون بررسی‌های تغییر جهانی آب و هوا، فرآیندهای هیدرولوژیکی، کشاورزی، کاربری و پوشش زمین شهری و رطوبت خاک به‌عنوان یک عامل مهم مطرح شده است (Rozenstein et al., 2014).

دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی در کنترل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در پروسه‌های بوم‌شناسی و

حرارتی در مناطق مختلف شهرها شده است. در این میان اثرات مخرب تغییرات آب و هوایی نظیر گرم شدن دمای هوا در کره زمین، ذوب یخ‌ها و بالا آمدن آب دریاها و همچنین شدت گرفتن رخدادهای جوی باید مورد توجه معماران، برنامه‌ریزان و شهرسازان قرار گیرد (بخشی و همکاران، ۱۴۰۱).

کیفیت شهری

کیفیت شهری سنجشی است برای ارزیابی شرایطی از محیط مسکونی که برای زندگی شهری حداقل مطلوبیت را به همراه دارد و از عوامل مؤثر بر آن می‌توان از میزان و نحوه خدمات‌رسانی اجتماعی، چگونگی سلسله‌مراتب در کاربردهای عمومی و خدماتی شهر، امنیت اجتماعی در فضاهای شهری، نحوه دسترسی به فضاهای شهری، قرارگیری کاربری‌ها و فضاهای اصلی شهر در بستر شهر، محیط‌زیست شهری، عملکرد بخش‌های مختلف شهری، فعالیت‌های در جریان در محیط شهری، توجه به هویت و فرهنگ بومی ساکنان و غیره را نام برد (ثروتی، ۱۴۰۰).

پیشینه تحقیق

آخوندزاده و سراجیان (۱۳۸۶)، کاربرد تصاویر ماهواره‌ای ترآ-آستر^۱ در نمایش جزایر حرارتی در مناطق شهری را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق نقشه دمایی سطح زمین و ضریب گسیل منطقه شهری تهران با الگوریتم دمای درخشندگی و ضریب گسیل‌مندی^۲ تهیه گردید. نتایج تحقیق نشان داد که تصاویر چند طیفی آستر می‌توانند به‌عنوان ابزار مفیدی جهت تجزیه و تحلیل منابع و اثرات انرژی در محیط‌های شهری در ایران به کار روند.

جعفری و همکاران (۱۳۹۰)، با استفاده از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست به آشکارسازی تغییرات پوشش زمین در بخش مرکزی بویراحمند پرداختند و اعلام نمودند که شاخص تفاضل نرمال شده ساخت‌وساز^۳ با کسر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی^۴ و شاخص تفاضل نرمال شده آب^۵ نتایج تقریباً قابل قبولی از ساخت‌وسازهای انسانی و تحلیل دمای سطح زمین روی آن ارائه می‌کند.

مبانی نظری

چارچوب نظری

جزایر حرارتی شهری مدتی است که مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این خصوص، در رابطه با مبانی نظری پژوهشی جزایر حرارتی تعاریف نظریه‌های زیر مدنظر قرار گرفته است:

الگوی اسپرال

این‌که الگوی رشد فیزیکی شهر متراکم یا پراکنده باشد بر تغییرات و توسعه جزایر حرارتی شهر مرتبط خواهد بود. گسترش افقی شهری به صورت پراکنده و کم‌بازده (غیر مؤثر) را الگوی اسپرال می‌خوانند (Hasse; Lathrop, 2003). این الگو ابتدا در کشورهای توسعه یافته و اکنون در بسیاری از هسته‌های شهری کشورهای در حال توسعه دیده می‌شود و سطح بیش‌تر زمین را می‌پوشاند (Salingeros, 2006).

با توجه به این‌که ارزیابی روند گسترده‌ی شهری و آگاهی از الگوهای تغییرات کاربری اراضی و به‌کارگیری نتایج آن در برنامه‌ریزی‌های آینده شهر ضروری می‌باشد، بنابراین ارزیابی اصولی را در این زمینه می‌طلبند (مشکینی و تیموری، ۱۳۹۵). به علاوه لازم است بررسی فرم سیمای شهری و نوع رشد آن در رابطه با رشد شهرنشینی مطالعه شود. این رشد شهری مشکلات جدی و بی‌شماری در پی خواهد داشت که یکی از آن‌ها آلودگی حرارتی و پدیده جزایر حرارتی برای ساکنان شهری جدید است. مناطقی از جمله زمین‌های بایر، آسفالت، مصالح ساختمانی و بتنی (مناطق که گسترش فیزیکی پیدا کرده‌اند و شاخص ساخت‌وسازهای انسانی در آن‌ها بیش‌تر دیده می‌شود) به دلیل ظرفیت گرمایی کم‌تر و هدایت حرارتی بیش‌تر، باعث افزایش دمای محیطی نسبت به مناطق اطراف می‌شوند. پدیده افزایش دمای هوا در اینگونه نقاط را جزایر حرارتی می‌نامند (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶).

توسعه پراکنده شهر و خطرات زیست‌محیطی

در سال‌های اخیر رشد روزافزون شهرنشینی باعث افزایش تغییرات شرایط آب و هوایی شده و چالش‌هایی را برای جهان به همراه داشته است. این تغییرات نتیجه نیروهایی است که بشر هدایت‌گر آن‌ها بوده است؛ همچون مصرف بی‌اندازه انرژی و تغییرات برنامه‌ریزی‌نشده در کاربری اراضی و تبدیل بسیاری از محیط‌های طبیعی به مناطق ساخته‌شده به دست بشر که سبب افزایش جزایر

1. Terra-ASTER

2. Temperature and Emissivity Separation

3. Normalized Difference Built-up Index (NDBI)

4. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

5. Normalized Difference Water Index (NDWI)

شهری در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ تولید کردند. تحلیل‌ها نشان داد که یک رابطه خطی قوی بین دمای سطح زمین و نسبت پوشش زمین وجود دارد، در حالی که رابطه بین دمای سطح زمین و تراکم حجم ساخت‌وسازها مستقیم نیست.

مطالعات نشان می‌دهد که نقش سنجش از دور حرارتی برای مطالعه اثرات جزایر حرارتی شهری بسیار حائز اهمیت است (Liu, 2011). داده‌های سنجش از دور حرارتی امکان نظارت و ارزیابی جزایر حرارتی شهری را به صورت پویا فراهم کرده است. مطالعات بسیاری در مورد تغییرات کاربری اراضی و تغییرات جزایر حرارتی در سطح شهرها انجام گرفته است، اما در آن‌ها بررسی تغییرات ساخت‌وسازهای انسانی با شاخص‌های مربوطه در سنجش از دور و بررسی اثر جمعیت، فرم شهری و نیز تحلیل روند مکانی جزایر حرارتی در دوره‌های مختلف کم‌تر دیده شده است. بنابراین در تحقیق حاضر با استفاده از تصاویر مختلف سنجنده‌های TM و OLI لندست علاوه بر پایش تغییرات ساخت‌وسازهای انسانی، تغییرات جزایر حرارتی و نقش همزمان عوامل جمعیتی و فیزیکی بر آن تبیین شد. قابل ذکر است که جهت بررسی دقیق تغییرات حرارتی در شهر میناب از تحلیل‌های روند مکانی در ArcGIS10.3 استفاده شد.

در پژوهش حاضر، اثر فرم شهری (فشرده‌گی یا پراکنش) (رهنما و عباس‌زاده، ۱۳۸۵) و نیز نوع رشد روی پراکنش جزایر حرارتی شهر میناب در طول سه دوره زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به‌گونه‌ای که اثرات فرم شهری در ایجاد جزایر حرارتی و روند مکانی آن‌ها با استفاده از داده‌های چندزمانه ماهواره لندست ارزیابی گردید. به‌علاوه، سهم رشد جمعیت و گسترش افقی ناموزون شهری بر تغییرات جزایر حرارتی با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن مورد بررسی قرار گرفت. به‌طوری‌که گسترش فیزیکی شهر میناب از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۴ با شاخص تفاضل نرمال شده ساخت‌وساز برآورد گردید. همچنین رشد افقی ناموزون شهر و رشد جمعیت آن در طی بازه زمانی مذکور محاسبه شد. در ادامه تغییرات مکانی جزایر حرارتی و روند مکانی آن‌ها در سطح شهر برای هر دوره زمانی محاسبه و سپس سهم عوامل جمعیتی و رشد افقی نامتوازن به‌روی تغییرات جزایر حرارتی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بررسی سهم عوامل جمعیتی و نیز توسعه نامتوازن افقی (با توجه به برآوردهای شاخص ساخت‌وساز انسانی) بر روی تغییرات جزایر حرارتی شهری از جنبه‌های نوآوری پژوهش حاضر می‌باشد.

ایلاقی حسینی و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از دو مدل هلدرن^۱ و آنتروپی شانون^۲ به تحلیل گسترش کالبدی-فضایی شهر کرمان و مسائل ایجاد شده در این زمینه پرداختند و دریافتند که جمعیت این شهر در یک بازه ۵۵ ساله، ۵۵ برابر شده در حالی که فضای شهری گسترش ۶۵ برابری داشته است.

ولی‌زاده کامران و همکاران (۱۳۹۶)، در مطالعه‌ای با عنوان «بازیابی دمای سطح زمین با استفاده از سنجنده TIRS^۳ لندست ۸ در مقایسه‌ای بین الگوریتم سبال^۴ و الگوریتم پنجره مجزا^۵»، وارونگی دمای سطح شهر تهران را بررسی و اعلام کردند که روش پنجره مجزا دارای دقت بالاتری نسبت به روش سبال می‌باشد.

آزادخانی و همکاران (۱۳۹۷)، الگوی توسعه کالبدی-فضایی شهر ایلام را با مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن مورد بررسی قرار دادند. تحلیل براساس مدل آنتروپی شانون نشان داد که در یک بازه ۲۰ ساله رشد شهر به صورت افقی بی‌قواره (پراکنده) بوده و نتایج مدل هلدرن حاکی از رشد مثبت جمعیت و رشد فیزیکی منفی بوده است. در نهایت برای رهایی از بی‌قوارگی و رشد افقی شهر ایلام، الگوی توسعه میان‌افزا (توسعه درونی) پیشنهاد شده است.

نانوموراء و همکاران (۲۰۰۹)، اثر جزایر حرارتی منطقه تاکاماتسو^۶ در ارتباط با پوشش گیاهی و افزایش جمعیت انسانی را بررسی کردند. نتیجه این مطالعه نشان داد که در مناطقی که پوشش گیاهی افزایش یافته، جزایر حرارتی کاهش یافته و یا جمعیت انسانی افزایش داشته و روند گرما و ایجاد جزایر حرارتی نیز افزایش یافته است.

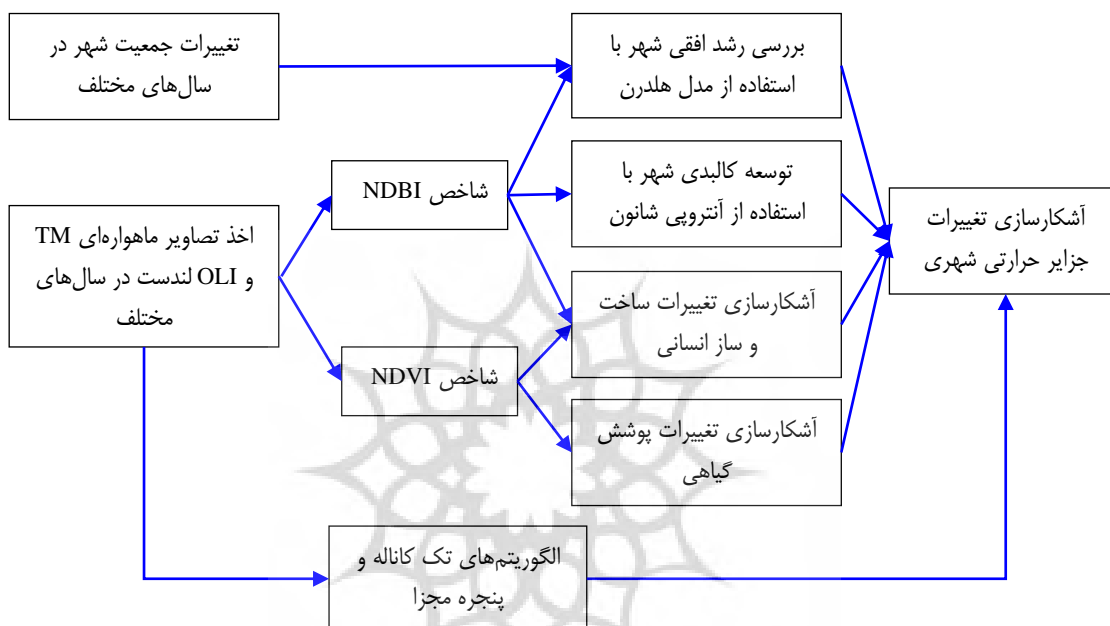
ژان^۸ و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای با هدف بررسی و مقایسه روابط بین دمای سطح زمین شهری، نسبت پوشش زمین و تراکم حجم ساخت‌وساز^۹؛ ا داده‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ سنجنده ETM+ لندست ۷ برای برآورد دمای سطح زمین در منطقه شهری ووهان^{۱۰} چین و نقشه‌های پوشش زمین و تراکم ساخت‌وسازها را با استفاده از داده‌های ساخت‌وساز

1. Holdren
2. Shannon's entropy
3. Thermal Infrared Sensor
4. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)
5. Split-window
6. Nonomura
7. Takamatsu
8. Zhan
9. Building Volume Density
10. Wuhan

روند تغییرات شاخص‌های یادشده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 استفاده شد. رشد افقی و توسعه کالبدی شهر میناب از دو روش هلدن و آنتروپی شانون محاسبه و سپس با در نظر گرفتن نتایج این روش‌ها سهم عوامل جمعیتی و فیزیکی بر تغییرات جزایر حرارتی طی بازه زمانی مذکور آشکارسازی شد. در ادامه به توضیح هرکدام از روش‌ها و شاخص‌ها پرداخته شده است.

روش انجام پژوهش

طبق اطلاعات شکل ۱، در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در دوره‌های زمانی یاد شده، شاخص‌های تفاضل نرمال شده ساخت‌وساز (NDBI)، تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و جزایر حرارتی با استفاده از دو الگوریتم تک‌کاناله و پنجره مجزا استخراج شدند. جهت تحلیل مکانی



شکل ۱. نمودار جریان‌ی مراحل انجام تحقیق

تصاویر سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفت، براساس دمای روشنایی سنجنده ماهواره‌ای بود. محاسبه دمای روشنایی در دو مرحله انجام شد؛ تبدیل ارزش رقومی باند ۶ به رادیانس طیفی با استفاده از رابطه ۲ و تبدیل رادیانس طیفی به دمای روشنایی سنجنده بر حسب کلوین.

$$L_{sat} = (DN - 1) \times UCC \quad (2)$$

که در آن، L_{sat} انرژی تشعشعی سنجنده، DN ارزش عددی هر پیکسل در تصویر اصلی، UCC ضریب تبدیل واحد است که به ضریب کالیبراسیون (یا Gain) سنجنده بستگی دارد و برای تعیین میزان آن از فراداده هر تصویر استفاده شد. بعد از محاسبه انرژی تشعشعی، دمای سطح زمین با استفاده از معکوس‌سازی رابطه ۳ به‌دست آمد.

شاخص تفاضلی ساخت‌وساز انسانی

برای جداسازی عوارض ساخته دست بشر مانند مناطق مسکونی، زمانی که سایر عوامل مشکل‌زا (مانند عوارض مربوط به کشاورزی) از تصویر ماهواره‌ای حذف شدند، می‌توان از بافت تصویر استفاده کرد. از این رو از رابطه زیر جهت آشکارسازی ساخت‌وسازها استفاده شده است.

$$NDBI = (MIR - NIR) / (MIR + NIR) \quad (1)$$

که در آن، MIR مقادیر باند مادون قرمز میانی و NIR مقادیر باند مادون قرمز نزدیک هستند. برای بالا بردن دقت شاخص NDBI، مقادیر پوشش گیاهی (شاخص NDVI) از تصویر کسر شد. همچنین برای تهیه تصویر حرارتی از داده‌های حرارتی باندهای ۶ سنجنده TM و باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده OLI استفاده شد. الگوریتمی که برای استخراج دمای سطح زمین از

برآورد قابلیت انتشار سطح زمین (LSE)^۳ نیز به صورت جداگانه در هر دو باند حرارتی ماهواره لندست ۸ با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه شده است.

$$LSE = E^s(1 - FVC) + E^v \times FVC \quad (10)$$

که در آن، E^s و E^v به ترتیب انتشار خاک و گیاه برای باندهای حرارتی (مطابق با جدول ۱) است.

جدول ۱. میزان انتشار خاک و گیاه برای باندهای حرارتی لندست

| باند حرارتی | باند ۱۰ | باند ۱۱ |
|-------------|---------|---------|
| انتشار خاک | ۰/۹۷۱ | ۰/۹۷۷ |
| انتشار گیاه | ۰/۹۸۷ | ۰/۹۸۹ |

بعد از محاسبه قابلیت انتشار سطح زمین برای هر یک از باندهای حرارتی، اختلاف و میانگین آن‌ها نیز محاسبه شد. سپس برای بدست آوردن رادیانس باندهای حرارتی تصویر لندست ۸ از رابطه ۱۱ استفاده شد.

$$Radiance = M^l \times Q^{cal} + A^{l\lambda} \quad (11)$$

که در آن Q^{cal} باند ۱۰ و ۱۱ و M^l جمع باندهای ۱۰ و ۱۱ و $A^{l\lambda}$ اختلاف باندهای ۱۰ و ۱۱ و $L\lambda$ درخشندگی جو بالا می‌باشد. در مرحله بعد لازم بود تا دمای روشنایی^۴ ماهواره محاسبه شود. بدین منظور از رابطه ۱۲ استفاده شد. از طرفی، ستون بخار آب (CWV) نیز با استفاده از ۱۲ محاسبه شده است.

$$CWV = C_0 + C_1 \times \left(\frac{T_j}{T_i}\right) + C_2 \times \left(\frac{T_j}{T_i}\right)^2 \quad (12)$$

که در آن، $\left(\frac{T_j}{T_i}\right)$ میانگین دمای روشنایی، C_0 برابر با $-۹/۶۷۴$ ، C_1 برابر با $۰/۶۵۳$ و C_2 برابر با $۹/۰۸۷$ می‌باشد. در نهایت دمای سطح زمین (LST) با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا^۵ مطابق با رابطه ۱۳ محاسبه شد (Kamran et al., 2015).

$$(13)$$

$$LST = \frac{C_1(TB_{10} - TB_{11}) + C_2(TB_{10} - TB_{11})^2}{C_0 + (C_3 + C_4W)(I - \varepsilon) + (C_5 + C_6W)\Delta\varepsilon}$$

$$B_{\lambda}T = \frac{C_1}{\lambda^5 \times (e^{\lambda T} - 1)} \quad (3)$$

که در آن، C_1 و C_2 از روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند.

$$C_1 = 1.19104 \times 10^{-6} (Wm^{-2}) \quad (4)$$

$$C_2 = 1.43879 \times 10^{-2} (mk) \quad (5)$$

بنابراین رابطه اصلی به شکل رابطه ۶ اصلاح می‌شود.

$$T = \frac{C_2}{\lambda \ln \left[\frac{C_1}{\lambda^5 B_{\lambda}(T)} + 1 \right]} \quad (6)$$

که در آن T درجه حرارت سطح زمین براساس کلوین است که باید به درجه سانتیگراد تبدیل شود، L درخشندگی طیفی و λ ثابت عددی ($۸/۲۹۱ \times 10^{-6}$ m)، K_1 ثابت تابش اول (موجود در فراداده تصویر) و K_2 ثابت تابش دوم (موجود در فراداده تصویر) می‌باشد.

برای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنده OLI لندست ۸ از روش پنجره مجزا، برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی از شاخص NDVI و برای برآورد این شاخص از باندهای ۴ (قرمز) و ۵ (مادون قرمز) مطابق با رابطه ۷ استفاده شد.

$$NDVI = (Band5 - Band4) / (Band5 + Band4) \quad (7)$$

برآورد کسر پوشش گیاهی^۱ و قابلیت انتشار^۲

برآورد کسر پوشش گیاهی از طریق رابطه ۸ قابل محاسبه است.

$$FVC = \frac{(NDVI - NDVI_{Min})}{(NDVI_{Max} - NDVI_{Min})} \quad (8)$$

که در آن، NDVI شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی، $NDVI_{Max}$ حداکثر ارزش پیکسل در شاخص پوشش گیاهی و $NDVI_{Min}$ حداقل ارزش پیکسل در شاخص پوشش گیاهی می‌باشد.

همچنین برای محاسبه قابلیت انتشار اجسام (E) از رابطه ۹ استفاده شد.

$$E = 0.004FVC + 0.986 \quad (9)$$

3. Land Surface Emissivity
4. Brightness Temperature
5. Split-window

1. Fraction of Vegetation Cover
2. Emissivity

آب، $\Delta\epsilon$ اختلاف قابلیت انتشار سطح زمین و ϵ میانگین قابلیت انتشار سطح زمین می‌باشد.

در این رابطه $TB_{10} - TB_{11}$ دمای روشنایی باندهای ۱۰ و ۱۱، C_0 تا C_6 ضرایب الگوریتم (طبق جدول ۲)، W ستون بخار

جدول ۲. ضرایب الگوریتم پنجره مجزا

| ضرایب ثابت | C_0 | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 |
|------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| ارزش‌ها | -۰/۲۶۸ | ۱/۳۷۸ | ۰/۱۸۳ | ۵۴/۳ | -۲/۲۳۸ | -۱۲/۲ | ۱۶/۴ |

در این رابطه، P جمعیت پایان دوره، W جمعیت شروع دوره، e سرانه ناخالص پایان دوره، r سرانه ناخالص شروع دوره، Y وسعت شهر در پایان دوره و S وسعت شهر در شروع دوره می‌باشد.

جهت ارزیابی دمای سطحی استخراج شده، از آمار روزانه ایستگاه هواشناسی میناب در تاریخ‌های اخذ تصاویر (۱۹۸۸/۰۷/۰۶، ۲۰۰۰/۰۸/۱۹، ۲۰۰۸/۰۷/۱۳، ۲۰۱۴/۰۸/۲۶) استفاده شد.

محدوده مورد مطالعه

شهر میناب در شمال شرقی تنگه هرمز قرار دارد و مرکز شهرستان میناب است و از ۰۵° تا ۱۰° طول شرقی و ۰۸° تا ۲۱° عرض شمالی در مسیر آسفالت بندرعباس به جاسک قرار دارد. میناب، بزرگترین شهر غیربندری و شروع منطقه مکران در استان هرمزگان می‌باشد و شیب گستره شهری جهت شرق به غرب و شمال شرقی به جنوب غربی دارد. بارندگی متوسط سالیانه آن ۲۸۶ میلی‌متر است. این شهر بر روی آبرفت‌های کوترنری و واحد ساختمانی مکران از دوره سوم زمین‌شناسی بنا شده است. میانگین دمای ماهانه هوا در ماه دریافت تصاویر در ایستگاه هواشناسی میناب طی سه بازه زمانی سال‌های ۱۹۷۵-۱۹۸۸، ۱۹۸۸-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۰۱۴ به ترتیب برابر با $۳۵/۸$ ، $۳۵/۷$ و $۳۵/۹$ درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین بررسی دمای سطحی روز طی دوره مطالعاتی یاد شده نشان داد بیش‌ترین دما با $۵۲/۱$ درجه سانتی‌گراد در ماه می سال ۲۰۰۹ رخ داده است. شکل ۲ محدوده و جایگاه شهر میناب را در ایران و استان هرمزگان نشان می‌دهد.

بررسی توسعه کالبدی شهر با استفاده از آنتروپی شانون

برای تجزیه و تحلیل و تعیین مقدار پدیده رشد شهری از رابطه آنتروپی شانون طبق رابطه ۱۴ استفاده شده است.

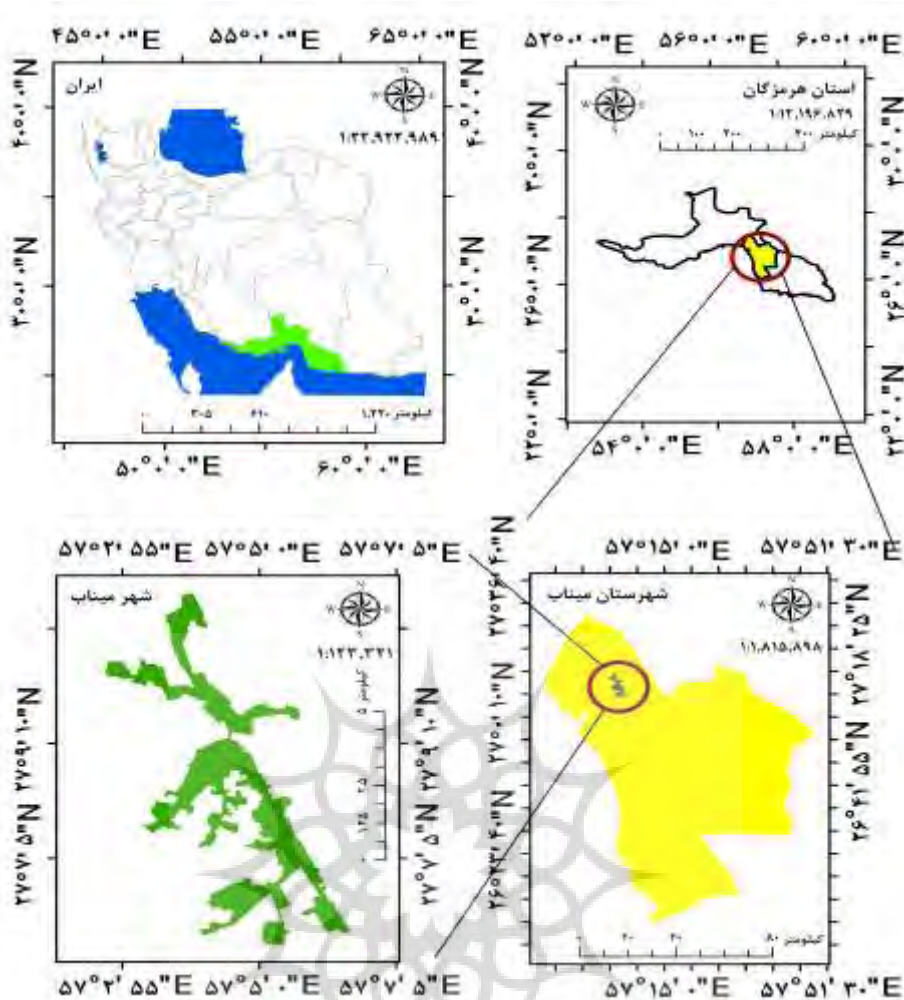
$$H = \sum_{i=1}^n P_i \times \ln(P_i) \quad (14)$$

که در آن، H مقدار آنتروپی شانون، P_i نسبت مساحت منطقه ساخته شده i به کل مساحت ساخته شده و n مجموع مناطق می‌باشد. ارزش مقدار آنتروپی شانون از صفر تا $\ln(n)$ است. صفر بیانگر گسترش فیزیکی خیلی متراکم شهر و $\ln(n)$ بیانگر گسترش فیزیکی پراکنده شهر است. زمانیکه ارزش آنتروپی از مقدار $\ln(n)$ بیش‌تر باشد، رشد بی‌قواره شهری (اسپرال) اتفاق افتاده است. با این روش، مقدار ساخت‌وسازها در سه دوره زمانی یاد شده و چگونگی رشد فیزیکی شهر میناب مشخص خواهد شد.

بررسی اندازه گسترش شهر با روش هلدرن

از روش هلدرن مطابق با رابطه ۱۵، برای مشخص نمودن رشد بدقواره شهری استفاده شد.

$$\ln\left(\frac{Y}{S}\right) = \ln\left(\frac{P}{W}\right) + \ln\left(\frac{e}{r}\right) \quad (15)$$



شکل ۲. موقعیت شهر میناب در کشور، استان و شهرستان

شده از مقدار $\ln(n)$ بیش‌تر است، رشد اسپرال یا پراکنده در این دوره اتفاق افتاده و شهر رشد مترکم نداشته است.

در دوره دوم با توجه به گسترش $90.1/61$ هکتاری، مقدار Pi برابر 0.06 و \ln آن معادل -0.51 بدست آمد. همچنین حداکثر گشتاور 0 محاسبه شد و مقدار آنتروپی شانون 0.3 بود. با توجه به این‌که مقدار آنتروپی محاسبه شده از مقدار $\ln(n)$ بیش‌تر است، رشدی غیرمترکم در این دوره اتفاق افتاده است.

در دوره سوم نیز با توجه به گسترش فیزیکی $122/22$ هکتاری، مقدار Pi برابر 0.082 و \ln آن معادل $-2/5$ بدست آمد. همچنین حداکثر گشتاور 0 محاسبه شد و مقدار آنتروپی شانون 0.2 بود. با توجه به این‌که مقدار آنتروپی محاسبه شده از مقدار $\ln(n)$ بیش‌تر است، رشد پراکنده در این دوره اتفاق افتاده است.

یافته‌ها

مساحت شهر میناب در سال ۱۹۷۵ معادل $328/55$ هکتار بوده است. مساحت ساخت‌وسازها از سال ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۸ برابر $258/02$ هکتار و از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۰۰ معادل $90.1/61$ هکتار بوده که بیش‌ترین میزان رشد و گسترش فیزیکی شهر میناب در این دوره اتفاق افتاده است. همچنین میزان گسترش فیزیکی شهر میناب از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۴ معادل $122/22$ هکتار بوده که نرخ رشد آن نسبت به دوره‌های قبلی کم‌تر بوده است. در کل مجموع گسترش فیزیکی شهر میناب از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۴ معادل $1610/38$ هکتار بوده است.

در دوره اول با توجه به گسترش فیزیکی $258/02$ هکتاری ساخت‌وسازها مطابق با رابطه آنتروپی شانون مقدار Pi معادل 0.44 و حداکثر گشتاور معادل 0 محاسبه شد. مقدار آنتروپی شانون برای این دوره -0.36 و با توجه به این‌که آنتروپی محاسبه

همچنین با استفاده از شاخص هلدن برای شهر میناب در دوره سوم (۲۰۱۴-۲۰۰۰) نتایج زیر حاصل شد: جمعیت شهر در شروع دوره برابر ۴۴۸۱۷ نفر و وسعت آن برابر ۱۴۸۸/۱۸ هکتار بوده است. جمعیت در پایان دوره ۶۳۲۲۹ نفر بوده است. بر این اساس سرانه ناخالص براساس مترمربع در شروع دوره ۳۳۲/۰۵ مترمربع و در پایان دوره ۲۵۴/۶ مترمربع بوده است. براساس محاسبات زیر:

$$\begin{aligned} \ln(63229/44817)+\ln(254.6/332.05)&=\ln(1610.4/1488.18) \\ 0.3441-0.2655&=0.0789 \\ 4.36-3.36&=1 \end{aligned}$$

۱۰۰ درصد رشد فیزیکی شهر میناب مربوط به عامل جمعیت و صفر درصد مربوط به رشد بی‌قواره شهری بوده است. بنابراین شاهد افزایش تراکم سرانه ناخالص جمعیت و کاهش سرانه ناخالص زمین شهری بوده‌ایم. علت منفی شدن اثر رشد بی‌قواره شهری در توسعه فیزیکی شهر میناب افزایش قابل توجه جمعیت این شهر در طول دوره‌های اول و سوم مطالعه می‌باشد که باعث خنثی‌شدن اثر عامل رشد بی‌قواره شهر در رشد فیزیکی شده است.

مساحت جزایر حرارتی شهر میناب در دوره اول (۱۹۷۵-۱۹۸۸) ۲۴/۲۳ هکتار معادل ۹/۳۹ درصد از مساحت ساخت‌وسازها بوده است. این دامنه دمایی برای جزایر حرارتی شهر نسبت به دیگر دوره‌ها مقدار پایین‌تری را نشان می‌دهد. بیش‌ترین سطح از طبقات دمایی در ساخت‌وسازهای این دوره مربوط به طبقه دمایی ۳۳/۴۸-۳۴/۷۲ (درجه سانتیگراد) براساس طبقه‌بندی چارک‌ها می‌باشد. همان‌گونه که شکل ۳، نشان می‌دهد بیش‌ترین پراکنش نقاط حرارتی در این دوره در نواحی جنوب، جنوب‌غرب و شمال‌غربی شهر میناب می‌باشند.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد رشد شهر میناب غیرمتراکم است، بنابراین احتمال بالایی وجود دارد که شاهد جزایر حرارتی به شکل پراکنده و غیرمتراکم در نقاط مختلف شهر باشیم.

همچنین با استفاده از شاخص هلدن برای شهر میناب در دوره اول (۱۹۷۵-۱۹۸۸) نتایج زیر حاصل شد: جمعیت شهر در شروع دوره برابر ۹۹۶۹ نفر و وسعت آن برابر ۳۲۸/۵۵ هکتار بوده است. بر این اساس سرانه ناخالص براساس متر مربع در شروع دوره ۳۲۹/۵۲ متر مربع و در پایان دوره ۲۱۹/۶۴ مترمربع بوده است. براساس محاسبات زیر

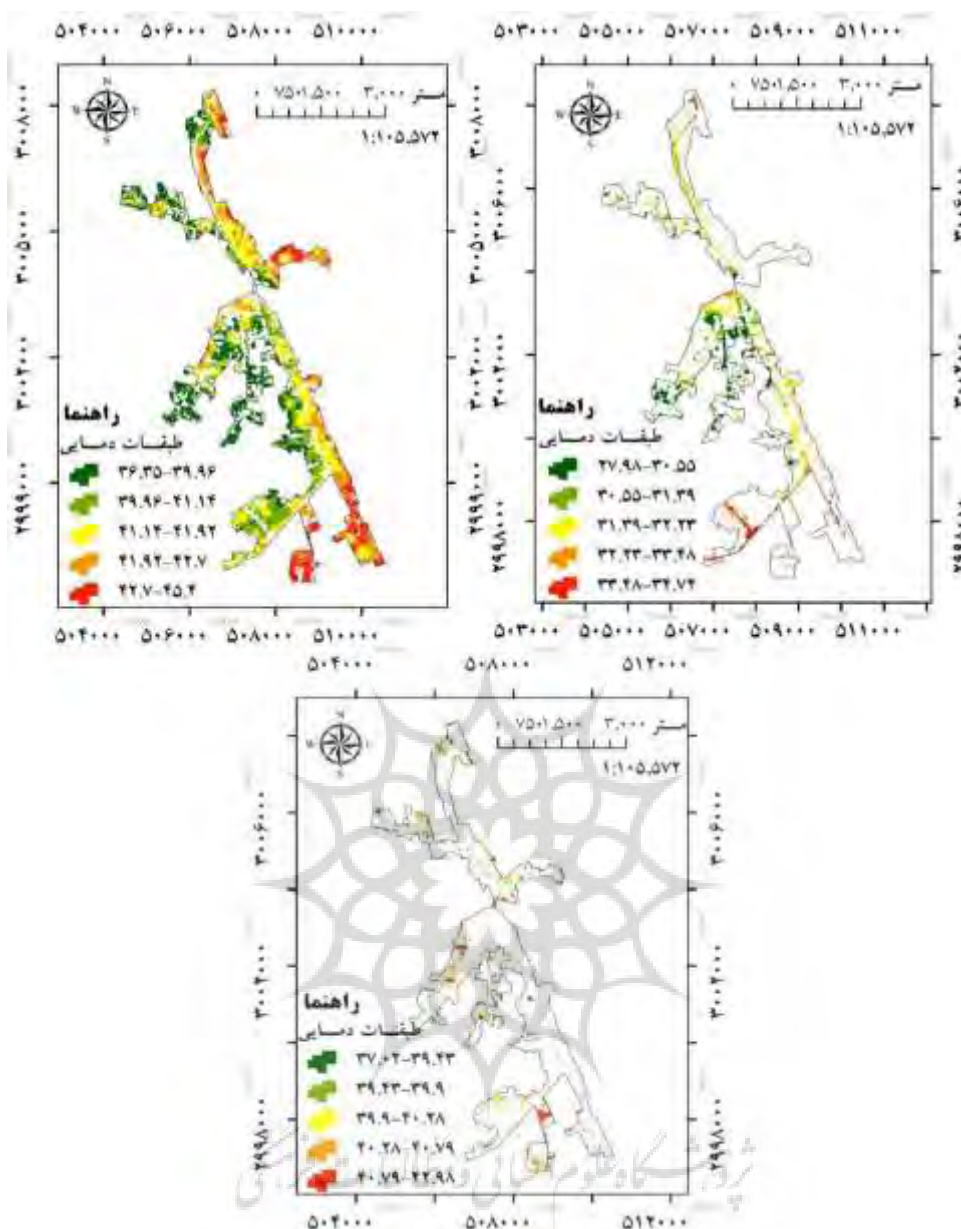
$$\begin{aligned} \ln(26705/9969)+\ln(219.64/329.52)&=\ln(586.57/328.55) \\ 0.9854-0/405&=0.5798 \\ 1.7-0.7&=1 \end{aligned}$$

۱۰۰ درصد رشد فیزیکی شهر میناب مربوط به عامل جمعیت و صفر درصد مربوط به رشد بی‌قواره شهری بوده است. بنابراین شاهد افزایش تراکم جمعیت و کاهش سرانه ناخالص زمین شهری بوده‌ایم.

همچنین با استفاده از شاخص هلدن برای شهر میناب در دوره دوم (۱۹۸۸-۲۰۰۰) نتایج زیر حاصل شد: جمعیت شهر در شروع دوره برابر ۲۶۷۰۵ نفر و وسعت آن برابر ۵۸۶/۵۷ هکتار بوده است. بر این اساس سرانه ناخالص براساس متر مربع در شروع دوره ۲۱۹/۶۴ مترمربع و در پایان دوره ۳۳۲/۰۵ مترمربع بوده است. براساس محاسبات زیر

$$\begin{aligned} \ln(44817/26705)+\ln(332.05/219.64)&=\ln(1488.18/586.57) \\ 0.5177-0.4132&=0.9310 \\ 0.556+0.4439&=1 \end{aligned}$$

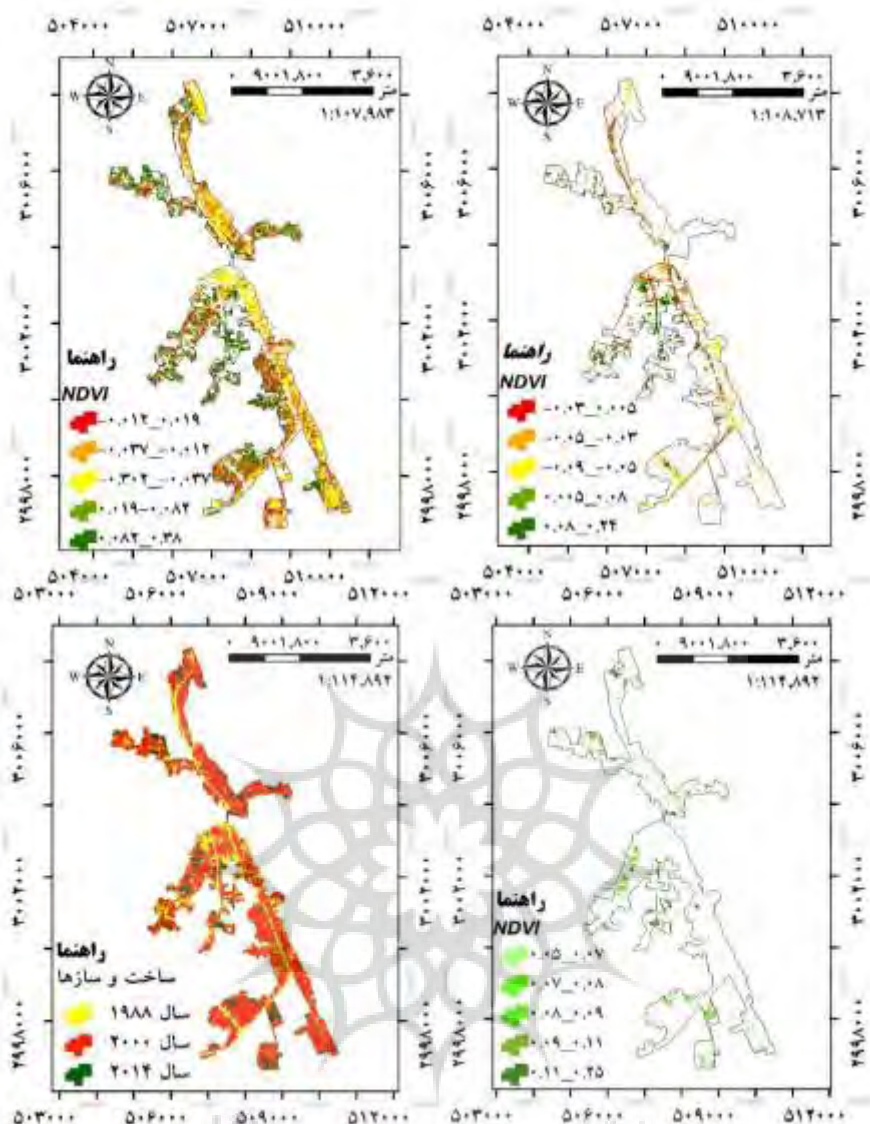
رشد شهری ۵۵/۶ درصد براساس رشد جمعیت و ۴۴/۴ درصد سرانه ناخالص زمین بوده است. بنابراین نسبت به دوره قبل شاهد کاهش تراکم سرانه ناخالص جمعیت و افزایش سرانه ناخالص زمین شهری بوده‌ایم. در این دوره شاهد رشد افقی شهر میناب هستیم.



شکل ۳. طبقات مختلف دمای سطح زمین در دوره‌های ساخت‌وساز اول تا سوم شهر میناب

در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ طبقه دمایی ۴۲/۹۸-۴۰/۷۹ با مساحت ۲۵/۷۹ هکتار بیش‌ترین سطح را نسبت به دیگر طبقات دمایی در مجموع ساخت‌وسازهای انجام شده به خود اختصاص داده است. در این دوره پراکنش جزایر حرارتی در تمام جهات می‌باشد و حتی در نواحی غربی شهر میناب که قبلاً جزایر حرارتی مشاهده نشده بود این پراکنش اتفاق افتاده است. قابل ذکر است که ۲۱/۱ درصد ساخت‌وسازها در جزایر حرارتی انجام شده است. شکل ۴ تغییرات پوشش گیاهی و ساخت‌وسازها را در دوره‌های مختلف مورد بررسی در شهر میناب نشان می‌دهد.

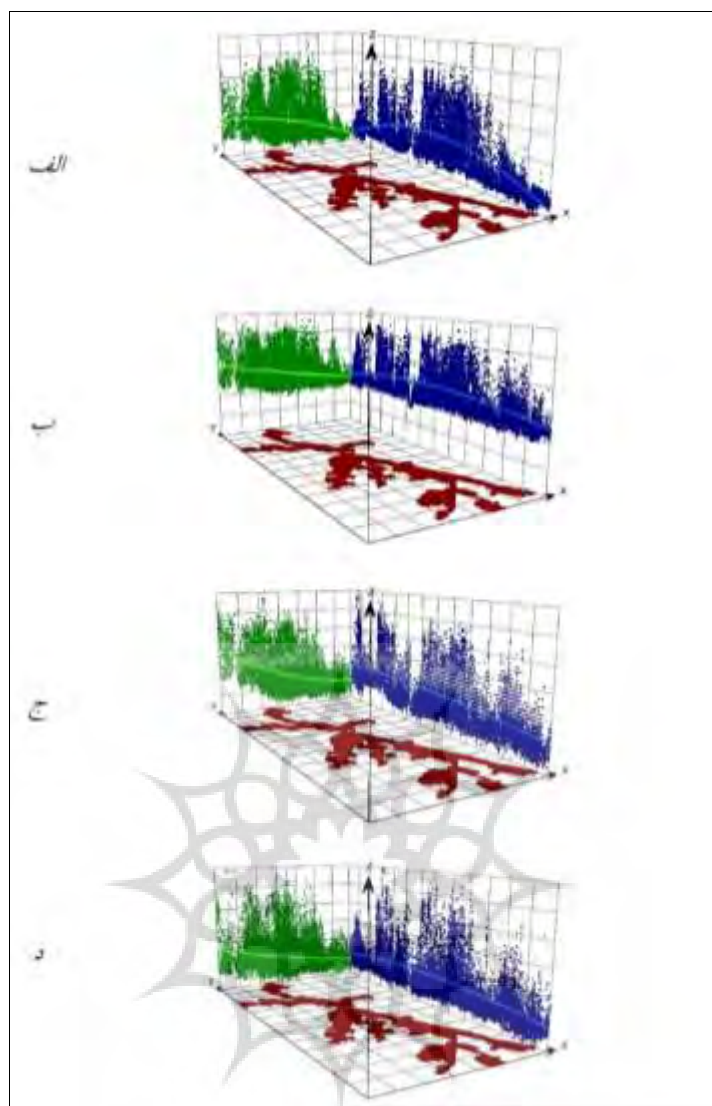
در دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ مساحت جزایر حرارتی ۱۱۲/۹۶ هکتار محاسبه شد که دامنه دمایی ۴۵/۴-۴۲/۷ درجه سانتیگراد را به خود اختصاص داده است. مساحت جزایر حرارتی ۱۲/۵۲ درصد از مجموع ساخت‌وسازهایی بوده که در این دوره صورت گرفته است. همچنین طبقه دمایی ۳۹/۹۶-۳۶/۳۵ (درجه سانتیگراد) با ۲۱۸/۳۶ هکتار بیش‌ترین سطح از مجموع ساخت‌وسازهای این دوره را به خود اختصاص داده است. پراکنش جزایر حرارتی در این دوره در نواحی جنوبی، جنوب‌غربی، غرب و شمال‌غربی شهر میناب بوده است.



شکل ۴. شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و ساخت و سازهای دوره‌های اول تا سوم شهر میناب

میزان پوشش گیاهی بالای صفر درصد در جزایر حرارتی سال ۲۰۰۰ برابر ۲۳/۷۵ درصد بود که نشان می‌دهد، علیرغم وجود پوشش گیاهی در این مناطق همچنان به‌عنوان جزایر حرارتی شناخته می‌شوند و عوامل دیگری بجز پوشش گیاهی بر حرارت بیش‌تر این نقاط تأثیرگذار است. در سال ۲۰۱۴، ۱۰۰ درصد جزایر حرارتی دارای پوشش گیاهی بالای صفر بودند و بعضاً تا ۱۶/۵ درصد این پوشش دیده شد. این نشان می‌دهد رابطه معنادار و قوی بین جزایر حرارتی و پوشش گیاهی نمی‌توان پیدا کرد. کما این‌که ضریب همبستگی‌ها نیز این مورد را تأیید می‌کرد (پوشش گیاهی تابستانه رابطه معناداری با جزایر حرارتی نداشت). همچنین نتایج مکانی پوشش گیاهی سال ۲۰۱۴ نیز از جنوب به شمال شهر روند خاصی را نشان نمی‌دهد (شکل ۵).

همچنین نتایج بررسی پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI در مناطقی که گسترش فیزیکی پیدا کرده‌اند نشان داد مقادیر ضریب همبستگی و دمای سطحی برای دوره‌های یاد شده به ترتیب ۰/۵۷، ۰/۴۶، ۰/۴۸ و ۰/۷۵ می‌باشد. این همبستگی روند کاهشی را نشان می‌دهد. ساخت‌وسازهای جدید در مناطقی انجام شده که پوشش گیاهی بالاتری داشته است. همان‌گونه که نقشه‌های پوشش گیاهی نشان می‌دهد در مناطق گسترش فیزیکی جدید میزان پوشش گیاهی بیش‌تری دیده شده است (شکل ۴). در سال ۱۹۸۸ تمام جزایر حرارتی دارای پوشش گیاهی صفر درصد بودند و پوشش گیاهی در این مناطق مشاهده نشد. در نقشه جزایر حرارتی سال ۲۰۰۰ برخلاف سال ۱۹۸۸، جزایر حرارتی پوشش گیاهی مشاهده شده که بعضاً تا ۱۵/۲۹ درصد پوشش گیاهی موجود بوده است.



شکل ۵. روند مکانی تغییرات پوشش گیاهی شهر میناب در سال‌های ۱۹۸۸ (الف)، ۲۰۰۰ (ب)، ۲۰۰۸ (ج) و ۲۰۱۴ (د)

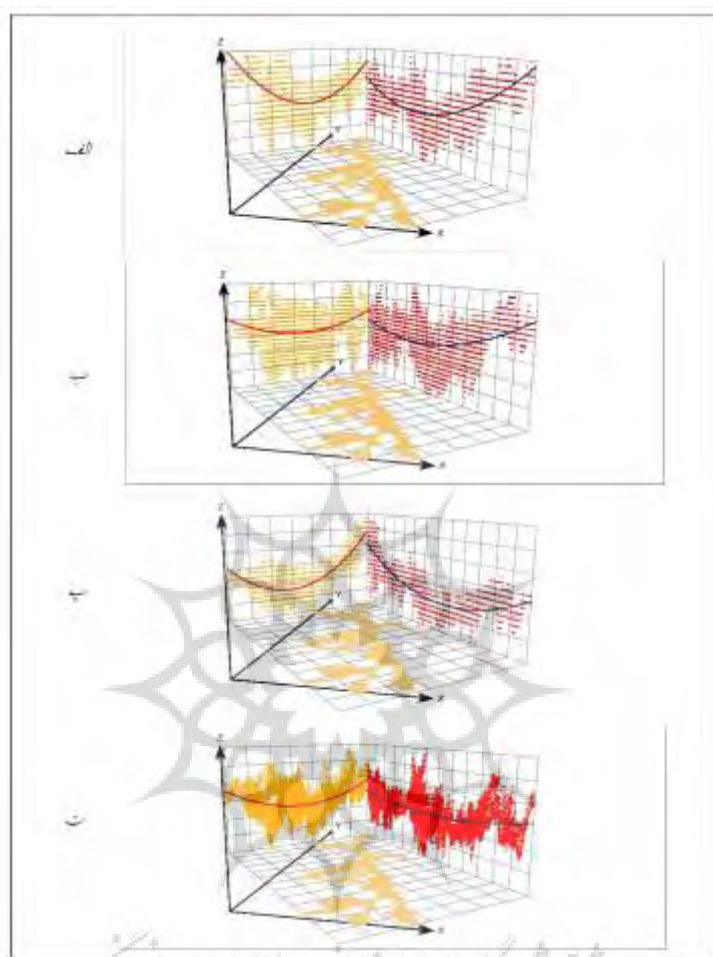
همان‌گونه که در شکل ۶ الف دیده می‌شود در سال ۱۹۸۸ روند شمالی و جنوبی برای دمای سطح زمین دیده می‌شود و در قسمت‌های شمالی، جنوبی، شرقی و غربی دما بیش‌تر است و هرچه به سمت مرکز ثقل شهر پیش برویم از هر دو جهت دمای سطح زمین کاسته می‌شود. شکل ۶ ب دمای سطحی قسمت‌های مرکزی (ثقل) رشد را نشان می‌دهد و روند مکانی دمای سطحی همچنان مثل سال ۱۹۸۸ است.

در شکل ۶ پ با گسترش ساخت‌وسازها در قسمت جنوبی شهر به دلیل خنثی‌شدن اثر شوره‌زارها و خاک‌های لخت از دمای سطح زمین کاسته شده است. همچنین قسمت‌های غربی شهر به دلیل گسترش افقی به سمت کوه‌های شرقی شهر افزایش دمای سطحی بیش‌تری را نشان می‌دهد. در شکل

هسته مرکزی شهر میناب در سال ۱۹۷۵ مساحت ۳۲۸/۵۵ هکتار را به خود اختصاص داده و فضای کالبدی شهر روند مرکزی شمالی را نشان داده است. در دوره اول این گسترش فیزیکی به سمت مناطق شمالی و جنوبی در امتداد محورهای مواصلاتی شهر شکل گرفته است. در دوره دوم از ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰، روند گسترش شرقی-غربی بوده و در این رشد همچنان با محوریت راه‌های مواصلاتی شهر و به شکل وسیع شدن در تمامی جهات صورت گرفته است. در دوره سوم یعنی از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ توسعه کالبدی شهر به شکل لکه‌های پراکنده در نقاط مختلف سطح شهر صورت گرفته است. در دوره‌های اول و سوم ۱۰۰ درصد رشد شهری ناشی از عامل جمعیت و در دوره دوم ۵۵/۶ درصد عامل جمعیت و ۴۴/۴ درصد عامل رشد بی‌قواره شهری بوده است.

راستا نشان می‌دهد و برای ساخت‌وسازهای جدید روند شرقی غربی متعادل شده و به سمت شرق یا غرب شهر متمایل نشده است.

۶ ت روند مکانی دمای سطحی در محور شمالی جنوبی به یک خط صاف متمایل شده (پراکنش یکنواخت در سطح شهر) و تغییرات دمایی کم‌تری را در مقایسه با سال‌های قبل در این



شکل ۶. بررسی روند مکانی تغییرات دمای سطح زمین شهر میناب در سال‌های ۱۹۸۸ (الف)، ۲۰۰۰ (ب)، ۲۰۰۸ (پ) و ۲۰۱۴ (ت)

جزایر حرارتی بوده است با تخریب باغات و گسترش اراضی بایر، جزایر حرارتی دیده شده است (تطابق الگوی رشد شهری و الگوی پراکنش جزایر حرارتی). قابل ذکر است که در دوره اول ۹/۳۹ درصد، در دوره دوم ۱۲/۵۲ درصد و در دوره سوم ۲۱/۱ درصد از ساخت‌وسازها روی جزایر حرارتی رخ داده است که حکایت از رشد صعودی و عدم توجه به این معضل دارد. همچنین یادآور می‌شود در دوره اول رشد بی‌قواره شهری رخ نداده و ۱۰۰ درصد گسترش فیزیکی ناشی از عامل جمعیت بوده است و کم‌ترین سرانه زمین با مقدار ۲۱۹/۶۴ در این دوره مطالعاتی مشاهده شد. در دوره زمانی دوم رشد افقی شهر اتفاق افتاده و رشد شهری صرفاً براساس عامل جمعیت نبوده و سرانه زمین در دسترس شهری رشد نشان داده است. لذا تغییرات جزایر حرارتی در

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر نوع رشد شهر طی سه دوره زمانی یاد شده، به ترتیب الگوی متراکم برای دوره اول و الگوی غیرمتراکم و پراکنده را برای دوره‌های زمانی دوم و سوم نشان داد. میزان گسترش فیزیکی شهر در این سه دوره براساس شاخص ساخت‌وساز انسانی ۲۵۸/۰۲، ۹۶۰/۶۱ و ۱۲۲/۲۲ هکتار بوده است. الگوی جزایر حرارتی منطبق با این سه دوره نیز انطباق با الگوی رشد شهری را نشان داد. به عبارتی دیگر در دوره اول جزایر حرارتی به شکل متراکم در نواحی شمال‌غربی و جنوب‌غربی شهر بیش‌تر پراکنش داشته‌اند و در دوره‌های بعدی با رشد افقی و پراکنده شهر، این جزایر نیز در دیگر نقاط و مناطق مختلف شهر پراکنده شده‌اند. به طوری که در نواحی غربی شهر که فاقد هرگونه

در نواحی ساخت‌وساز شده است. این امر بر افزایش مصرف آب، الکتریسیته، تغییر اقلیم شهری، گرمایش و ... تأثیر می‌گذارد. به‌وجود آمدن بیش‌تر این جزایر حرارتی بر اثر رشد عامل جمعیت طی بازه‌های زمانی یاد شده است. به‌طوری‌که ۱۰۰ درصد از رشد مساحت شهر در سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۸ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ و ۵۶/۶ درصد از رشد مساحت شهر در دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰، با رشد جمعیت هماهنگ بوده و تنها ۴۴/۴ درصد رشد افقی ناموزون و پراکنده (اسپرال) شهر میناب در دوره دوم (۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰) در گسترش جزایر حرارتی نقش داشته است.

براساس نتایج تحقیق مشخص شد بیش‌ترین مقادیر دمایی شهر میناب به شکل متمرکز مربوط به اراضی بایر جنوبی غربی و شمالی غربی شهر در سال ۱۹۸۸ بوده که این مناطق با گذر زمان و انجام ساخت‌وسازهای انسانی (گسترش فیزیکی شهر) تحلیل رفته و تا سال ۲۰۱۴ به شکل نقاط پراکنده در سطح شهر پراکنش یافته‌اند. رشد شهر، الگویی غیرمترکم را نشان داد و هم‌زمان با این رشد جزایر حرارتی نیز از حالت تراکمی خارج شده و رشد پراکنده‌ای در سطح شهر داشته‌اند. روند شمالی- جنوبی شهر در الگوی توزیع جزایر حرارتی در سال ۱۹۸۸ به روندهای شمالی- جنوبی و شرقی- غربی در سال ۲۰۱۴ تبدیل شده و تنها یک روند را نشان نمی‌دهد. قابل ذکر است ساخت‌وسازهای انسانی صرفاً موجب افزایش دما نیست. بلکه نتایج تحقیق نشان داد ساخت‌وسازها در شمال و جنوب شهر میناب باعث تقلیل جزایر حرارتی در این نواحی از شهر شده است. خاک زمین‌های بایر و شورزار به‌علت داشتن ظرفیت گرمایی کم‌تر و هدایت حرارتی بیش‌تر، انرژی تابشی بیش‌تری را از خورشید جذب نموده و باعث افزایش دمای محیطی در این نواحی نسبت به محیط اطراف می‌شوند. بیش‌ترین میزان رشد فیزیکی شهر در دوره زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ اتفاق افتاده که ۵۵/۶ درصد آن ناشی از رشد جمعیتی و ۴۴/۴ درصد ناشی از رشد بی‌قواره شهری بوده است. بیش‌ترین میزان ساخت‌وسازهای انسانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ با وسعت ۲۱/۲ درصد در محدوده جزایر حرارتی انجام شده که نسبت به سال‌های قبل رشد بیش‌تری را نشان می‌دهد و این عدم آگاهی از پراکنش جزایر حرارتی و انجام ساخت‌وسازها در این نواحی باعث ائتلاف انرژی و هزینه خواهد بود و مدیریت گسترش فیزیکی این مناطق را الزامی می‌نماید.

نتایج نشان داد به‌طور کلی در یک بازه ۳۹ ساله وسعت شهر میناب ۵ برابر و جمعیت ۶/۳۴ برابر شده است. جزایر حرارتی رشدی معادل ۵/۷ برابر را نشان می‌دهند که حکایت از عدم رشد

دوره‌های زمانی اول و سوم براساس تراکم جمعیت و در دوره دوم صرفاً براساس عامل جمعیت نبوده است.

در این تحقیق نواحی خارج از محدوده شهر میناب از جمله ارتفاعات سنگی و لُخت لبه شرقی شهر به‌عنوان یکی از کانون‌های حرارتی عمل کرده و باعث به‌وجود آمدن جزایر حرارتی در داخل محدوده شهری شده است. در این راستا، احمدی و همکاران (۱۳۹۴) اعلام کردند بیش‌ترین دمای سطحی در محدوده شهر اردبیل، به نواحی بیرون از این محدوده مربوط می‌شوند و علت آن را مکان‌های دارای پوشش گیاهی کم و خاک سطحی اعلام برشمردند. بر این اساس پژوهش حاضر با نتایج تحقیق یاد شده همخوانی دارد. همان‌طور که در نقشه‌های دمای سطحی زمین دیده می‌شود، جزایر حرارتی در حاشیه شرقی شهر دیده می‌شوند. همچنین با توجه به زمان تصاویر (مرداد ماه)، خشک بودن قسمت اعظم پوشش گیاهی سبب تبخیر و تعرق کم در این برحه زمانی شده و لذا خنک شدن این محدوده‌ها اتفاق نمی‌افتد. بدین دلیل رابطه معنادار قوی بین پوشش گیاهی و جزایر حرارتی مشاهده نشد. البته لازم به یادآوری است که در بسیاری از مطالعات رابطه منفی بین شاخص‌های پوشش گیاهی و دمای سطح زمین مشاهده شده است، اما جهت تدقیق در کشف این رابطه پوشش گیاهی بهاره توصیه شده است. همچنین شورزارها و خاک‌های لخت جنوب، شمال غربی و مرکز شهر (نزدیک بستر رودخانه میناب) از دیگر عوامل به‌وجود آورنده جزایر حرارتی هستند که در گذر زمان تبدیل به مناطق ساخت‌وساز شهری شده و در نتیجه گاه‌آثر جزایر حرارتی در این محدوده‌ها خنثی شده است. این مطلب به وضوح در نقشه‌های جزایر حرارتی در جنوب شهر دیده می‌شود. نتایج مطالعه احمدی و همکاران (۱۳۹۴) موارد فوق را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد، گاه‌آثر ساخت و سازهای انسانی تعدیل شده که محو شدن جزایر حرارتی را در پی دارد. در ضمن روش تک-کاناله که برای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنده TM استفاده شد، جزء روش‌های با دقت می‌باشد که نتایج بررسی ابراهیمی هروی و همکاران (۱۳۹۴) آن را تأیید می‌نماید.

برای محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنده س از روش پنجره مجزا استفاده شد که این روش نیز مطابق با نتایج اعلام شده از دقت مناسب برخوردار می‌باشد. تحلیل تغییرات جزایر حرارتی حاکی از گسترش آن‌ها بود. مدل‌های آنروپی و هلدن نشان دادند، رشد پراکنده و غیرمترکم شهر میناب باعث گسترش جزایر حرارتی و عدم توجه به این مهم

حسنلو (۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر لندست ۸ برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ شهر کرمان به این نتیجه رسیدند که بین جزایر حرارتی و کاربری‌های بایر و ساختمانی ارتباط مستقیم وجود دارد. در تحقیق حاضر نیز با کاهش سطح اراضی بایر شمال و جنوب شهر میناب در اثر افزایش شاخص توسعه ساخت‌وسازهای انسانی، از سطح جزایر حرارتی کاسته شده و از حالت متراکم در دوره اول به حالت غیر متراکم در دوره سوم تغییر رویه داده‌اند.

راهکارها

براساس نتایج پژوهش راهکارهای زیر در مدیریت جزایر حرارتی در شهر میناب پیشنهاد می‌شود:

✓ توسعه آبی بر مبنای آمایش فضایی به دلیل خارج شدن جزایر حرارتی از حالت متراکم به حالت غیرمتراکم و سهم بیشتر عوامل جمعیتی در این پراکنش و رشد؛

✓ برنامه‌ریزی توسعه آبی شهر با توجه به آشکارسازی تغییرات جزایر حرارتی و مشخص شدن سهم هر کدام از عوامل انسانی یا جمعیتی و سهم رشد غیرمتراکم شهری بر پراکنش جزایر حرارتی؛

✓ یافتن ارتباط مناسب بین دو متغیر پوشش گیاهی و جزایر حرارتی در منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌های فصل بهار به دلیل کفایت رشد پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق.

برابر جمعیت و گسترش مکانی شهر دارد. همچنین سهم عوامل جمعیتی در رشد جزایر حرارتی بیش از رشد غیرمتراکم شهری است. ایلاقی حسینی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از دو مدل هلدرن و آنتروپی شانون به تحلیل گسترش کالبدی-فضایی شهر کرمان و مسائل ایجاد شده در این زمینه پرداختند و دریافتند که جمعیت این شهر در یک بازه ۵۵ ساله، ۵۵ برابر شده در حالی که فضای شهری گسترش ۶۵ برابری داشته است. در تحقیق یادشده نسبت گسترش فضایی به جمعیت در بازه زمانی مشابه ۰/۸۳ و در تحقیق حاضر ۱/۲۶ است و این مهم حکایت از نرخ گسترش فضایی بیش‌تری نسبت به منطقه مطالعاتی نامبردگان دارد. آزادخانی و همکاران (۱۳۹۷) الگوی توسعه کالبدی-فضایی شهر ایلام را با مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن مورد بررسی قرار داده و اعلام نمودند که در یک بازه ۲۰ ساله، رشد شهر به صورت افقی بی‌قواره (اسپرال) بوده و نتایج مدل هلدرن نیز حاکی از رشد مثبت جمعیت و رشد فیزیکی منفی بوده است. در نهایت برای رهایی از بی‌قوارگی و رشد افقی شهر ایلام، الگوی توسعه میان افزا (توسعه درونی) پیشنهاد شده است.

در تحقیق حاضر نتایج نشان داد رشد بی‌قواره شهری میناب علیرغم رشد مثبت جمعیت اتفاق نیفتاده و برخلاف نتایج تحقیق آزادخانی و همکاران (۱۳۹۷) توسعه میان‌افزا پیشنهاد نمی‌گردد. اما باید توجه داشت که مکان‌گزینی توسعه در حال حاضر باید با توجه به الگوی پراکنش جزایر حرارتی صورت گیرد. مشروطه و

References

- Abutaleb, K., Ngie, A., Darwish, A., Ahmed, M., Arafat, S., & Ahmed, F. (2015), Assessment of urban heat island using remotely sensed imagery over Greater Cairo, Egypt, *Advances in Remote Sensing*, 4: 35-47.
- Ahmadi, B., Ghorbani, A., Safarrad, T., & Sobhani, B. (2015). Evaluation of surface temperature in relation to land use/cover using remote sensing data. *journal of RS and GIS for natural resources*, 6(1), 61-77. (In persian)
- Akhundzadeh, M., & Sarajian, M. (2016), *The use of Terra-ASTER satellite images in showing heat islands in urban areas, Proceedings of the second conference on dealing with natural disasters*. Tehran: Technical Faculty of Tehran University. (In persian)
- Azadkhani, P., Soleimani, S., & Omidi, M. (2017), Investigating the physical-spatial development pattern of Ilam city with Shannon and Helder's entropy model, *Urban Civil Studies*. 2(4), 4-25. (In persian)
- Bakhshi, A., Rasouli, S.H., & Rahimi, N. (2022). Investigating the role of urban growth pattern in creating thermal islands in cities Case study: Sari. *Urban environmental planning and development*. 2(6), 77-94. (In persian)
- Chow, W. T., Brennan, D., & Brazel, A. J. (2012). Urban heat island research in Phoenix, Arizona: Theoretical contributions and policy applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 517-530.
- Ebrahimi Heravi, B., Rangzan, K., Riahi Bakhtiari, H., & Taghizadeh, A. (2015). Determination of urban surface temperature using landSat images (Case study: Karaj). *journal of RS and GIS for natural resources*. 6(2), 19-32. (In persian)
- Elaghi H., Nouhi, M., Mahimi, R., Mahim, A. (2014). Investigating the process of physical-spatial expansion of Kerman city using Shannon and Helder's entropy models. *geography and urban planning of Zagros landscape*. 7(23), 52-35. (In persian)

- Hasse, J. E., & Lathrop, R. G. (2003). Land resource impact indicators of urban sprawl. *Applied Geography*, 23(2-3), 159-175.
- Hekmat-Nia, H., Mousavi, M. (2016). *Model application in geography with emphasis on urban and regional planning*. Tehran: Azadpima Publications. (In persian)
- Jaeger, J. A., Bertiller, R., Schwick, C., & Kienast, F. (2010). Suitability criteria for measures of urban sprawl. *Ecological Indicators*, 10(2), 397-406.
- Jafari, H., Hamzeh, M., Nasiri, H., & Rafiei, Y. (2013). Development of a conceptual model based on Decision Tree algorithm and data mining in order to reveal land cover changes using TM sensor images and auxiliary data (study) Case study: Central part of Boyer Ahmad city). *environmental sciences*, 8, 1-19. (In persian)
- Johnson, B., Tateishi, R., & Kobayashi, T. (2012). Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sensing*, 4(9), 2619-2634.
- Kamran, K. V. Pirnazar, M.; Bansouleh, V. F. (2015). *Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS: comparison between split window algorithm and SEBAL method*, In Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015) (Vol. 9535: 953503). International Society for Optics and Photonics.
- Karam, A., Mohammadi, A. (2008). Evaluation and zoning of land suitability for the physical development of Karaj city and surrounding lands based on natural factors and Analytical Hierarchy Process (AHP) method. *Natural Geography*, 1(4), 74-59. (In persian)
- Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N., & Mathew, A. (2018). 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), 87-94.
- Khosravi, Y., Heydari, M.A., Tavakoli, A., & Zamani, A.A. (2016). Analysis of the temporal relationship between land surface temperature and the spatial pattern of land use changes (a case study of Zanjan city). *Journal of Space Planning and Planning*, 21(3), 119-144. (In persian)
- Kong, T. M., Marsh, S. E., van Rooyen, A. F., Kellner, K., & Orr, B. J. (2015). Assessing rangeland condition in the Kalahari Duneveld through local ecological knowledge of livestock farmers and remotely sensed data. *Journal of Arid Environments*, 113, 77-86.
- Liu, L. & Zhang, Y. (2011) Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), 1535-1552.
- Mashrote, H., & Hasanlou, M. (2013). *Studying the relationship between land use/cover and thermal islands*. Proceedings of the First Geospatial Information Technology Engineering Conference, Tehran: Technical and Engineering Faculty of Khwaja Nasiruddin Tousei University. (In persian)
- Meshkini, A., & Teimori, A. (2015). measuring urban expansion and its effect on land use changes using RS and GIS, case example: Karaj city during the period 1363-1391. *Armanshahr architecture and urban planning*, 17, 387-375. (In persian)
- Metkan, A.A., Nohegar, A., Mirbagheri, B., & TurkChin, N. (2013). Analysis of the role of land use in the formation of thermal islands using multi-temporal ASTER sensor data (case study: Bandar Abbas). *measurement From distance and geographic information system in natural resource sciences*, 5(4), 1-14. (In persian)
- Nonomura, A. Kitahara, M., Masuda, T. (2009). Impact of land use and land cover changes on the ambient temperature in a middle scale city. Takamatsu, in Southwest Japan, *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3297-3304.
- Panahi, R., Ziyari, K. (2008). Investigating the impact of agricultural and industrial activities on the development of the new city of Parsabad. *Human geography researches* (geographic researches), 41(70), 1-14. (In persian)
- Rahnama, M.R., Abbaszadeh, Gh. (2006). Comparative study of measuring the degree of dispersion/compaction in Sydney and Mashhad metropolises. *Geography and Regional Development*, 3(6), 101-128. (In persian)
- Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., & Karnieli, A. (2014). Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*. 14(4) 5768-5780.
- Salingaros, N. A. (2006). *Compact city replaces sprawl*, Chapter in: *Crossover: Architecture, Urbanism, Technology*. Edited by Arie Graafland; Leslie Kavanaugh (010 Publishers, Rotterdam, Holland), 100-115.
- Sankey, J. B. Wallace, C. S., & Ravi, S. (2013). Phenology-based, remote sensing of post-burn disturbance windows in rangelands. *Ecological Indicators*, 30, 35-44.
- Sarvati, Z., Latifi, G., Soltani, A., & Sanyeeiyan, H. (2021). Spatial distribution pattern of thermal islands in the context of social and economic characteristics (case study of Tehran). *Quarterly journals of urban and regional development*

planning, 6(16), 1-23. (In persian)
 Taqvai, M., & Saraei, M.H. (2006), Horizontal expansion of cities and existing capacities of the earth (case: Yazd city). *geographical researches*, 73, 210-187. (In persian)
 Valizadeh-Kamran, Kh., Gholamniya, Kh., Ainali, G., & Mousavi, S.M. (2016). Earth surface temperature estimation and extraction of thermal islands using separate window algorithm and multivariate regression analysis (case study of Zanjan city). *Research and urban planning*, 8(30), 50-35. (In persian)

Zangi-Abadi, A., Nastern, M., & Kamali Baghbrahi, E. (2014). Analysis of the process and physical-physical development of Kerman city since its inception until now. *Studies of urban areas*, 2(4), 42-23. (In persian)
 Zhan, Q., Meng, F., & Xiao, Y. (2015). *Exploring the relationships of between land surface temperature, ground coverage ratio and building volume density in an urbanized environment*. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(7), 255-260.

منابع

به منظور آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده TM و داده‌های کمکی (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان بویراحمد). *علوم محیطی*، ۸، ۱۹-۱.

حکمت‌نیا، حسن و موسوی، میرنجف (۱۳۹۶). کاربرد مدل در جغرافیا با تاکید بر برنامه‌ریزی شهری و ناحیه‌ای، تهران: انتشارات آزادپیم.

خسروی، یونس؛ حیدری، محمدعلی؛ توکلی، آزاده و زمانی، عباسعلی (۱۳۹۶). تحلیل رابطه زمانی دمای سطح زمین و الگوی فضایی تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی شهر زنجان). *مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۳(۲۱)، ۱۴۴-۱۱۹.

رهنما، محمدرحیم و عباس‌زاده، غلامرضا (۱۳۸۵). مطالعه تطبیقی سنجنش درجه پراکنش / فشرده‌گی در کلان شهرهای سیدنی و مشهد. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۳(۶)، ۱۲۸-۱۰۱.

زنگی‌آبادی، علی؛ نسترن، مهین و کمالی باغراهی، اسماعیل (۱۳۹۴). تحلیل روند و نحوه توسعه فیزیکی-کالبدی شهر کرمان از پیدایش تاکنون. *مطالعات نواحی شهری*، ۲(۴)، ۴۲-۲۳.

کرم، امیر و محمدی، اعظم (۱۳۸۸). ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامونی بر پایه فاکتورهای طبیعی و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). *جغرافیای طبیعی*، ۱(۴)، ۷۴-۵۹.

متکان، علی‌اکبر؛ نوحه‌گر، احمد؛ میرباقری، بابک و ترک‌چین، ناهید (۱۳۹۳). تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده‌های چندزمانه سنجنده ASTER (مطالعه موردی: بندرعباس). *سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در علوم منابع طبیعی*، ۵(۴)، ۱۴-۱.

مشروطه، حمید و حسنلو، مهدی (۱۳۹۳). بررسی رابطه کاربری/پوشش زمین و جزایر حرارتی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، تهران: دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

مشکینی، ابوالفضل و تیموری، اصغر (۱۳۹۵). سنجنش گستردگی شهری و تأثیر آن بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از RS و GIS، نمونه موردی: شهر کرج طی دوره ۱۳۶۳-۱۳۹۱. *معماری و شهرسازی آرمان‌شهر*، ۱۷، ۳۸۷-۳۷۵.

ولیزاده‌کامران، خلیل؛ غلام‌نیا، خلیل؛ عنالی، گلزار و موسوی، سید محمد (۱۳۹۶). برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی شهر زنجان). *پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۱۸(۳۰)، ۵۰-۳۵.

ابراهیمی هروی، بهروز؛ رنگزن، کاظم؛ ریاحی بختیاری، حمیدرضا و تقی‌زاده، ایوب (۱۳۹۴). تعیین درجه حرارت اراضی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: کرج). *سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۶(۲)، ۳۲-۱۹.

احمدی، بهروز؛ قربانی، اردوان؛ صفرزاده، طاهر و سبحانی، بهروز (۱۳۹۴). بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش اراضی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱)، ۷۷-۶۱.

آخوندزاده، مهدی و سراجیان، محمدرضا (۱۳۸۶). کاربرد تصاویر ماهواره‌ای Terra-ASTER در نمایش جزایر حرارتی در مناطق شهری، مجموعه مقالات دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، تهران: دانشکده فنی دانشگاه تهران.

آزادخانی، پاکزاد؛ سلیمانی، سمیه و امید، مهدی (۱۳۹۷). بررسی الگوی توسعه کالبدی-فضایی شهر ایلام با مدل آنتروپی شانون و هلدرن، *مطالعات عمران شهری*، ۲(۴)، ۲۵-۴.

ایلاقی حسینی، محسن؛ نوحی، رامین و مهیمی، امیر مهیم (۱۳۹۴). بررسی روند گسترش کالبدی-فضایی شهر کرمان با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و هلدرن. *جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس*، ۷(۲۳)، ۵۲-۳۵.

بخشی، امیر؛ رسولی، سیدحسن و رحیمی، نیما (۱۴۰۱). بررسی نقش الگوی رشد شهری در ایجاد جزایر حرارتی در شهرها (نمونه موردی: شهر ساری). *برنامه‌ریزی و توسعه محیط شهری*، ۲(۶)، ۹۴-۷۷.

پناهی، رجب و زیاری، کرامت‌اله (۱۳۸۸). بررسی تأثیر فعالیت‌های کشت و صنعت بر توسعه شهر نوبنیاد پارس آباد. *پژوهش‌های جغرافیایی انسانی (پژوهش‌های جغرافیایی)*، ۴۱(۷۰)، ۱۴-۱.

تقوایی، مسعود و سرایی، محمدحسین (۱۳۸۶). گسترش افقی شهرها و ظرفیت‌های موجود زمین (مورد: شهر یزد). *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۷۳، ۲۱۰-۱۸۷.

ثروتی، زهرا؛ لطیفی، غلامرضا؛ سلطانی، علی و صنایعیان، هانیه (۱۴۰۰). الگوی توزیع فضایی جزایر حرارتی در بستر ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی (مورد کاوی شهر تهران). *برنامه‌ریزی توسعه شهری ومنطقه‌ای*، ۱(۱۶)، ۳۳-۱.

جعفری، حمیدرض؛ حمزه، محمد؛ نصیری، حسین و رفیعی، یوسف (۱۳۹۰). توسعه مدل مفهومی مبتنی بر الگوریتم Decision Tree و داده کاوی