

بررسی رابطه تغییرات پوشش زمین و جزیره حرارتی با استفاده از الگوریتم تک پنجره و روش مفهومی درخت تصمیم (نمونه موردی: شهر اهواز)

نجمه اسماعیل پور^۱

فاطمه اسمعیل پور^۲

مجتبی یامی^۳

حسین امیرعضدی^۴

چکیده

مسئله گرمایش زمین عمده‌ترین دغدغه جهانی و محلی در دهه‌های اخیر بوده است که ذیل توسعه پایدار تعریف می‌شود. شناخت روابط بین پدیده‌های تاثیرگذار بر آن می‌تواند راهگشای کنترل و کاهش پدیده زمین‌گرمایی باشد. هدف پژوهش تعیین رابطه تغییرات پوشش زمین ناشی از توسعه شهر و تغییرات دمای سطحی آن و نیز عوامل موثر بر نحوه پراکنش جزایر گرمایی شهر اهواز است. در این بررسی از تصاویر سنجنده ماهواره لندست، و برای برآورد شاخص پوشش گیاهی از باند مادون قرمز و برای تهیه نقشه تغییرات پوشش زمین از روش مفهومی درخت تصمیم^۵ استفاده شد. بنابر یافته‌های پژوهش، اهواز در دوره ۳۲ ساله ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۰، همراه با گسترش کالبدی زیاد، تغییراتی را در پوشش‌های مختلف- بویژه در رابطه با تغییر پوشش گیاهی- در مناطق شرقی تجربه کرده است. حداکثر دما در این دوره افزایش یافته و جزیره گرمایی از مرکز به سمت حاشیه و اطراف شهر جابجا شده است. تبدیل کاربری پوشش گیاهی به سایر کاربری‌ها در این شهر افزایش ۴ درجه‌ای دمای سطح زمین از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. از نظر فضایی بیشترین افزایش حرارت، مربوط به بخش‌های شرق و جنوب‌غرب و غرب شهر است که علت آن در بخش شرقی شهر تبدیل زمین‌های کشاورزی و دارای پوشش گیاهی به کاربری صنعتی و در قسمت جنوب‌غربی و غرب شهر به دلیل ایجاد کاربری اراضی ساخته شده جدید از طریق طرح‌های آماده‌سازی است. بدین ترتیب رابطه افزایش دما با تبدیل کاربری پوشش گیاهی به اراضی ساخته شده تایید می‌شود. رابطه همبستگی شاخص NDWI و NDBI (شاخص آب تفاضلی نرمال شده) با دما نیز همین رابطه را تایید کرد. کمترین افزایش دمای حرارتی مربوط به نواحی اطراف رودخانه کارون است که به عنوان یک عنصر تعدیل‌کننده دما در شهر عمل می‌کند. به دلیل پربارانی سالهای اخیر کشور (بهار ۱۳۸۹ و ۱۳۹۹) و پر آب شدن رودخانه کارون جزیره حرارتی از مرکز شهر به اطراف هدایت شده است. نقشه حرارتی در سال ۲۰۲۰ نیز دمای اطراف رودخانه را کمترین مقدار دمایی در شهر نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: دمای سطح زمین، جزیره حرارتی، تغییر پوشش زمین، الگوریتم تک پنجره^۶، درخت تصمیم، شهر اهواز

^۱. استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)

Email : najmaesmailpoo@yazd.ac.ir-Tel: 09132747520

^۲. دکترای برنامه‌ریزی شهری، مدرس دانشگاه آزاد اسلامی اراک

^۳. دانشجو کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری دانشگاه یزد

^۴. دانشجو کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری دانشگاه یزد

مقدمه

بیشتر مناطق جهان در حال شهری شدن هستند و پایداری به یک موضوع مشترک در جامعه علمی تبدیل شده است. (Govrilidis et al, 2017:1). افزایش دمای سطح زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی در مناطقی که بدون برنامه‌ریزی قبلی به شهر یا کلانشهر تبدیل شده‌اند، یکی از مشکلات زیست محیطی اساسی است. توسعه فیزیکی شهرها موجب تغییرات وسیعی در الگوی پوشش اراضی پیرامون شهرها شده است. در کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، این نرخ رشد سریع بوده و در نتیجه منجر به تغییرات وسیعی در پوشش اراضی شده است (خاکپور و همکاران، ۱۳۸۶، ۴۶). کاهش مساحت زمین‌های زراعی حومه‌ای، تخریب پوشش گیاهی و افزایش دمای سطحی زمین در مناطق شهری پیامدهای منفی توسعه بی‌رویه شهرها هستند (عبدالهی و همکاران، ۱۳۸۵، ۱). دمای سطحی زمین نه تنها متاثر از میزان انرژی دریافتی خورشید است بلکه از شرایط محیطی مکان جغرافیایی نیز تاثیر می‌پذیرد و یکی از شاخص‌های سنجش کیفیت محیط زندگی موجودات زنده به شمار می‌آید. جزایر حرارتی در شهر نمونه‌ای از تغییرات اقلیمی ناخواسته متاثر از تغییرات سطح و اتمسفر زمین ناشی از فرایند شهرنشینی است و اصطلاحی است که برای توصیف گرمتر بودن اتمسفر و دمای بالاتر شهرها در مقایسه با پهنه‌های غیرشهری پیرامون بکار می‌رود. این پدیده شرایط زیست محیطی دشواری را برای ساکنان شهرها بوجود آورد (مزیدی و حسینی، ۱۳۹۴:۲) و موجب مشکلاتی در سلامتی انسان در آینده می‌شود (Cai et al, 2019: 19).

شهر اهواز یکی از کلان شهرهای کشور و با جمعیت فرامیلیونی است. در اولین سرشماری کشور (سال ۱۳۳۵) جمعیت آن ۱۲۰۰۹۸ نفر و در آخرین سرشماری (۱۳۹۵)، جمعیت آن ۱۳۰۲۵۹۱ نفر بوده است. شهر، در همین بازه زمانی از نظر وسعت و اندازه نیز تغییرات بسیاری را تجربه کرده است. مساحت شهر اهواز که در سال ۱۳۳۵ و یک دهه قبل از تهیه اولین طرح جامع خود تنها ۲۵۰۰ هکتار بود، در افق طرح جامع (۱۳۴۷)، به ۱۰۶۱۵ هکتار رسید و در سال ۱۳۷۵ با تغییر محدوده طرح جامع، وسعت آن به ۲۰۶۱۵ هکتار و نهایتاً در سال ۱۳۹۵ به مساحتی برابر با ۲۲۲۰۰ هکتار و هشت منطقه شهری افزایش پیدا کرد (موزرمی، سرور و شریعت‌پناهی، ۱۳۹۹: ۱۳۲۵). وجود رودخانه کارون، فقدان شیب و توپوگرافی برجسته، واگذاری اراضی دولتی پیرامون شهر در دو دهه ۶۰ و ۷۰، تنوع قومیتی و اختلاط خرده‌فرهنگ‌های متنوع که از جمله با پیدایش ۱۷ منطقه حاشیه نشین در جهات مختلف جنوب تا جنوب‌غرب و شمال - تا شمال‌شرق شهر شده‌است، بارزترین عوامل گسترش فزاینده شهر در دهه‌های اخیر بوده است (پوراحمد و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۱). هر چند پیامدها و عواقب گسترش افقی شهر از جنبه‌های مختلف قابل بررسی است، لیکن در باب موضوع پژوهش حاضر، مسائل زیر قابل طرح است:

- اولاً: گسترش شهر در پیرامون خود باعث شده روستاهای بسیاری مانند کانتکس، براویه، منبع آب، کوت عبدالله و... که در حوزه استحفاظی شهر قرار داشتند، در دورن محدوده شهر قرار گرفته و هم زمان با تخریب اراضی مرغوب کشاورزی و باغات آن به محله‌های مسکونی شهر و محل سکونت مهاجران روستا-شهری تبدیل شوند.

- رشد افقی شهر، علاوه بر تخریب و تغییر پوشش زمین‌های مرغوب کشاورزی و باغات شهر - که اغلب در بهترین و حاصلخیزترین نواحی این شهر هم واقع شده بودند - (ترکی، ۱۳۹۸: ۹۳)، موجب افزایش هزینه‌های زیرساختها و خدمات شهری، افزایش طول و فاصله سفرهای شهری، وابستگی بیشتر به استفاده از اتومبیل‌های شخصی در سفرها و بالطبع آلودگی هوا و استفاده بیشتر از انرژی در بخش حمل‌ونقل و افزایش دما شده است که این محدودیت‌ها و مشکلات مانعی در برابر دستیابی شهر به توسعه پایدار است.

استقرار مجتمع‌های صنعتی بزرگ و فعال در شهر و اراضی پیرامونی آن باعث افزایش دمای بعضی از مناطق شهر اهواز گاه به میزان ۱۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای متوسط سطح شهر شده است، گرمای این محدوده‌ها نه تنها باعث افزایش مصرف انرژی برای خنک کردن ساختمان‌ها و افزایش سرانه بار مالی به ویژه در ماه‌های گرم سال می‌شود، بلکه باعث ایجاد آلودگی در جو و افزایش تولید گاز منواکسیدکربن و ازن و ترکیبات زیانبار کربنی، گوگردی و دیگر آلاینده‌های آسیب‌رسان در سطح زمین می‌شود (معروف نژاد، ۱۳۹۰: ۶۷). شهر اهواز با رخدادهای اقلیمی امواج گرمایی نیز رو به روست که بیشترین بسامد امواج گرمایی در ابتدای زمستان و پاییز رخ می‌دهد و میانگین تعداد روزهای امواج گرمایی ۹ روز در سال است (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۳۷). در میان مسائل اقلیمی متنوع شهر اهواز، پژوهش حاضر قصد پاسخ به این سوالات را دارد:



۱ آیا میان تغییرات پوشش زمین طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ و افزایش دمای سطحی زمین در شهر اهواز رابطه وجود دارد؟

۲. پراکنش جزایر گرمایی در شهر اهواز چگونه است و به چه عواملی بستگی دارد؟

مبانی نظری

مفهوم کاربری زمین و پوشش زمین (LC/LU):^۱

دانشمندان علوم طبیعی، کاربری زمین را با فعالیت‌های انسانی همچون کشاورزی، جنگل‌کاری و ساختن ساختمان که فرآیندهای سطح زمین شامل بیوشیمی، آب‌شناسی و گوناگونی زیست محیطی را تغییر می‌دهد، تعریف می‌کنند (Ellis, 2010: 44). و یا هرگونه استفاده از زمین که منجر به تغییر خصوصیات کره زمین شود از قبیل تفکیک، فعالیت‌های سکونتی، تجاری، صنعتی، تفریحی، کشاورزی، جاده‌ها و آزادراه‌های عمومی و خصوصی، ساخت و ساز مسیله‌ها و شبکه‌های زه‌کشی و ... را کاربری زمین نامیده می‌شود. کاربری زمین را می‌توان در رابطه با هدف و عملکردی که استفاده می‌شود، تعریف کرد (Almeida, 2005:760). کاربری زمین تابعی از فرهنگ، الگوی سکونت، عوامل اقتصادی و ویژگی‌های محیطی است (سلطانی، ۱۳۹۵: ۴) اما پوشش زمین به معنی مواد فیزیکی سطح زمین است. پوشش زمین شامل چمن، آسفالت، درخت، زمین بایر، آب و غیره است. دو روش اصلی برای گرفتن اطلاعات در مورد پوشش زمین وجود دارد: بررسی میدانی و از طریق تجزیه و تحلیل تصاویر از راه دور (Comber, 2008: 188). پوشش زمین به پوشش فیزیکی و بیولوژیکی (زیستی) روی سطح زمین (Briassoulis, 2019: 11) از جمله (آب، پوشش گیاهی و ساختارهای مصنوعی) اشاره دارد (Ellis, ۲۰۱۰: 46). در مقیاس سرزمینی «زمین» یک منبع است و «کاربری زمین» به معنی «استفاده از منابع» است. در مقابل، در مقیاس شهری، به جای توصیف زمین از نظر پتانسیل تولید خاک و محتوای زیرمعدنی آن، بیشتر بر پتانسیل استفاده از سطح زمین برای مکان فعالیت‌های مختلف تأکید می‌شود (Ellis and Coppins, 2010: 17). به این ترتیب، کاربری و پوشش زمین معادل نیستند، گرچه ممکن است با هم همپوشانی داشته باشند. این تمایز در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول (۱). معرف‌های پوشش زمین و کاربری زمین

انواع پوشش زمین	انواع کاربری زمین
جنگل	جنگلهای طبیعی، مناطق تفریحی، تولید الوار، ترکیبی از تولید الوار و تفریحی
مرتع و علفزار	مناطق طبیعی، تفریحگاه، چراگاه، ترکیبی از تفریحگاه و چراگاه
زمین کشاورزی	زمین زراعی - اراضی تحت کاشت محصولات سالیانه و بیشه-باغچه - اراضی زیر کاشت محصولات چندساله (استفاده مختلط)
اراضی ساخته شده	شهر، روستا، سایت کشاورزی، منطقه صنعتی، منطقه مسکونی، منطقه توریستی، منطقه تجاری، حمل و نقل، کاربری مختلط

ماخذ: (Briassoulis, 2019: 12)

تغییرات LU/LC، دمای پوشش سطحی زمین (LST)^۲ و جزیره حرارتی شهر^۳ (UHI):

این سه مولفه، از مهمترین پارامترهای پدید آورنده تعادل/عدم تعادل در شرایط اقلیمی یک شهر هستند. «تخمین زده می‌شود که حدود ۴۵٪ از سطح زمین تحت تاثیر تغییرات در LU/LC از حالت طبیعی خود خارج شده است (Li et al, 2018: 1). مفهوم LST به طور گسترده توسط بسیاری از محققان در سراسر جهان برای مطالعات مختلف در مورد بودجه تابش و تغییرات آب و هوایی استفاده شده

^۱ - Land Use and Land Cover

^۲ - Land Surface Temperature

^۳ - Urban Heat Island

است. افزایش جمعیت شهری، صنعتی شدن سریع، تخریب پوشش درختان، پر شدن تالاب‌ها دلیل اصلی تغییرات آب و هوایی در سالهای اخیر است (Dhar et al, 2019: 332).

پس از مطرح شدن مفهوم جزیره حرارتی شهر، توسط لوک هاوارد در سال ۱۸۳۳، این موضوع مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفت. «اولین بار سندبرگ^۱ (۱۹۵۰) ارتباط شدت جزیره گرمایی را با عناصر اقلیمی نظیر ابرناکی، باد، دما و رطوبت با استفاده از مدل رگرسیونی چندگانه بررسی کرد. او نشان داد که پارامترهای ابرناکی و سرعت باد بطور منفی با شدت جزیره گرمایی سازگاری دارند.» (شکری کوچک و بهنیا، ۱۳۹۰: ۳۶) اخیراً، با توسعه بیشتر جوامع و شتاب یافتن فرآیند شهرنشینی، مطالعه نقش و اثرات پدیده UHI اهمیت بیشتری یافته است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۹). LU/LC واسط بین فعالیت‌های انسانی و محیط زیست است و نقش مهمی در آب و هوای شهری دارد زیرا تغییرات LC/LU اغلب برای پشتیبانی و اجرای سیاست‌های برنامه‌ریزی شهری و ارتقا آسایش شهروندان مورد نیاز است (Sun et al, 2017: 278).

مقایسه دو شکل مختلف شهری - جمع و جور و پراکنده^۲ - با هدف تعیین تأثیر فرم شهر بر گرمایش محیط در منطقه کلان شهر پکن نشان داد: فرم پراکنده نسبت به فرم جمع و جور دارای بار حرارتی کمتری در مرکز شهر است (Mehrotra et al, 2018: 159). در مقیاس شهری، مطالعات نشان می‌دهد که به دلیل تغییر در تراکم ساخته شده، سطح، هندسه و روند گسترش شهری، میکروکلیمای محلی متمایز بوجود می‌آید.

عوامل ایجاد UHI را می‌توان به دو دسته طبیعی و انسانی تقسیم کرد. عوامل انسانی، بوسیله فعالیت‌های انسانی ناشی از فرآیندهای مصرف انرژی به وجود می‌آید. عوامل طبیعی، ایجاد جزیره حرارتی هم شامل: باد، موقعیت جغرافیایی، زمان (روز و فصل) می‌شود (خزایی، ۱۳۹۳: ۱۱۱). پوشش گیاهی نقش مهمی در به حداقل رساندن مشکلات زیست محیطی، عمدتاً در مراکز شهری دارد و می‌تواند باعث بهبود آسایش شهری و شرایط آسایش حرارتی در اقلیم‌های کوچک شهری شود (Nasrollahi, 2017: 357). توسعه مناطق شهری بوسیله احداث ساختمان‌ها، جاده‌ها و دیگر زیرساخت‌ها با افزایش سطوح نفوذناپذیر مانند اسکلت فلزی، آسفالت-بتن و آجر-آهن باعث ایجاد بیشترین درجه حرارت در تابستان و کمترین دما در زمستان در یک ناحیه می‌شود (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۳۲۶). در این فرآیند از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و پوشش گیاهی، به تغییر الگوی بادهای محلی افزایش تعداد رعد و برق‌ها و تأثیر برق دما و بارش می‌انجامد. همچنین افزایش مصرف انرژی ناشی از توسعه شهری با مقاصد مختلف منجر به گرمایش و سرمایه‌های کیفیت هوای شهری را کاهش می‌دهد و سبب ناراحتی شهرنشینان می‌شود (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۸).

دمای شهر تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار می‌گیرد. در پدیده جزیره حرارتی، دمای شهر بطور مستقیم تحت چهار پارامتر قرار دارد:

۱- وجود سطوح ساخته شده مانند خیابانهای آسفالتی، ساختمان‌های بتنی و ... (Muster et al., 2015: 170)

۲- کاهش سطح پوشش گیاهی و سطوح نفوذپذیر باز مانند شن یا خاک که به سایه‌زنی و تبخیر و تعرق کمک می‌کند (Jedlovec et al., 2017: 4294)

۳- استفاده زیاد از متریال‌هایی با رنگ تیره در مناطق شهری و

۴- انتشار گرمای ایجاد شده از طریق فعالیت‌های انسانی (مانند اتومبیل‌ها، تهویه هوا، و غیره). این عوامل به طور مساوی در سطح شهر توزیع نمی‌شوند از این رو، مناطق خاصی از شهر UHI را تا حدی بالاتر تجربه می‌کنند. به عنوان مثال، این اثر برای مناطقی که حجم فضاهای مصنوعی و ساخته شده آنها بیشتر است و فضای سبز کمی نسبت به حومه‌های سرسبز دارند، بیشتر است. آب و هوای

¹ - Sundborg

² - Compact City and urban Sprawl



شهری خود استرس گرمایی^۱ را که طی دوره‌های دمای بالا و توسط انسانها به خصوص در طول شب ایجاد می‌شود، افزایش می‌دهد. این وضعیت دقیقاً از نظر زمانی وقتی اتفاق می‌افتد که UHI در بالاترین وضعیت خود قرار دارد (Pascal, 2005:148).

تغییرات LU و LC از عوامل اصلی ایجاد تغییرات محیطی هستند. تحقیقات در مورد رابطه بین LST و نوع LU نشان داده است که اولاً: همبستگی شدیدی بین دمای سطحی و انواع مختلف کاربری زمین وجود دارد. ثانیاً، تغییر LST از نظر مکانی با ماهیت و نوع LU/CC ارتباط دارد و نهایتاً، عامل اصلی ایجاد تغییر بسیار زیاد کاربری اراضی، افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی است (Wang et al, 2018:526). LST و تعادل انرژی می‌تواند تحت تأثیر پوشش گیاهی قرار گیرد، که بر مبادله انرژی و ماهیت آب و هوای زمین تأثیر می‌گذارد (Kumar and Shekhar, 2015:41). ژو (۲۰۱۱) ارتباط بین LST و شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI) را در یک محدوده شهری مورد مطالعه بررسی کردند. نتایج آنها وجود یک جزیره گرمایی آشکار ناشی از توسعه مناطق شهری و یک جزیره خنک عمدتاً بدلیل فراوانی آب و پوشش گیاهی را نشان داد (Ning, 2018: 445). نتایج بررسی رابطه تغییرات پوشش گیاهی و دما توسط دار و همکارانش (۲۰۱۹) در یکی از شهرهای هند نیز نشان از روند افزایشی دمای سطح زمین در شهرها، حومه‌ها و روستاها داشت اما در محدوده‌هایی که توسط استخرهای آبی پروری اشغال شده بودند، روند کاهشی دما را نشان می‌داد. در پژوهش آنها، همبستگی منفی معنادار بین NDVI و LST در سال ۱۹۹۰ و همبستگی مثبت و معناداری بین شاخص اراضی شهری (NDBI) و LST در سال ۲۰۱۶ مشاهده شد. یعنی LST با کاهش پوشش گیاهی و افزایش سطح ساخته شده افزایش می‌یابد. دار و همکارانش معتقدند: برای جلوگیری از افزایش بیشتر LST و متوقف کردن آسیب‌های زیست محیطی ناشی از آن، افزایش فعالیت‌هایی مانند جنگلداری شهری، ساخت آب نما و فواره‌ها، حفظ استخرهای آبی پروری و کاهش فعالیت‌های ساختمانی ضروری است و فعالیت‌های توسعه شهری در حوزه تالاب کلکته باید متوقف شده و وضعیت بکر آن حفظ شود (Dhar et al, 2019:346).

ضرورت تنظیم درجه حرارت شهر:

اثرات منفی گرما بر سلامت انسان، به دلیل اثر تشدید کننده UHI در شهرها بسیار قوی است. میزان آسیب پذیری سلامت انسان بر اثر تشدید گرما و LST، بستگی به تعامل پیچیده‌ای بین عوامل مختلف از جمله سن، وضعیت سلامت جسمانی و متغیرهای اقتصادی و اجتماعی مانند مسکن دارد. با این وجود، آستانه‌های درجه حرارت، درون و میان کشورهای مختلف از نظر واریانس مکانی و زمانی بسیار متفاوت بوده است (Robine et al, 2008:176). در نتیجه، تدوین استراتژیهای سازگار و مؤثر در برابر تنش‌های شدید و مکرر گرما در شهرهایی که انتظار می‌رود بواسطه تغییرات اقلیمی شاهد آن باشد، گریزناپذیر بوده و باید در اسرع وقت انجام پذیرد (Revi و همکاران ۲۰۱۴). بررسی گسترده بولر و همکاران (Bowler et al, 2010:150) در مورد شواهد تجربی تأثیر خنک‌کنندگی پهنه‌های سبز شهری^۳ نشان داد: ۱- پارک‌های شهری به طور متوسط در طول روز، حدود ۱ درجه سانتیگراد خنک‌تر از سایت‌های غیر سبز هستند و حداکثر اختلاف آن در حدود ۲ درجه سانتیگراد و گاهی بالاتر است. ۲- درختان نواری - خیابانی در سطح شهر تأثیر خنک‌کنندگی دارند، اما مقدار آن بستگی به عواملی مانند گونه‌های درختان، جهت‌گیری طول و عرض خیابان دارد. ۳- انواع دیگر عناصر UGI مانند سقف‌های سبز و دیوارهای سبز نیز می‌توانند درجه حرارت شهری را در مقیاس سایت تنظیم کنند. ۴- هرچند گسترش اثر خنک‌کنندگی فضای سبز فراتر از مرزهای قلمرو آن محتمل، اما نامشخص است، خصوصاً در مقیاس وسیع مانند شهر و کلان‌شهر.

^۱ - استرس محیط شهری وضعیتی است که سطح اضطراب ساکنان شهری را نشان می‌دهد، روبروشدن روزانه با هراس‌هایی که با زندگی آنها ناسازگار است. رفت و آمد به عنوان یکی از عوامل استرس زا، منجر به عواقبی در نحوه مداخله در فعالیت‌های خانوادگی و اوقات فراغت و افزایش غیبت از کار می‌شود. (رجوع شود به مقاله استرس محیطی و رفتاری در شهری هند نوشته: Parul Rishi و Gayatri Khuntia)

^۲ -Dhar

^۳ -UGI

پیشینه تحقیق

مطالعه پیرامون تاثیر مصنوعات انسانی و تغییر در نوع پوشش زمین بر تغییرات آب و هوایی و در نتیجه آن تغییر اقلیم از بعد مطرح شدن توسعه پایدار به عنوان موضوع مورد مطالعه پژوهشگران و در ادامه مورد توجه مدیران شهری قرار گرفت.

در پژوهش‌های مختلف نقش تغییر کاربری اراضی بر تغییر آب و هوا در موارد متعدد مشاهده گردیده است. برای سنجش این مورد معمولاً از تصاویر ماهواره لندست و تفسیر باند های حرارتی آن در بازه‌های زمانی مختلف استفاده شده و برای تحلیل آن از الگوها و الگوریتم‌های معروف مانند رگرسیون و مدل‌سازهای نوظهور مانند NVDI استفاده شده است.

عظیمی (۱۳۸۷) ضمن تعیین LST در شهر اهواز، اقدام به تهیه نقشه دمایی برای این شهر در سال ۲۰۰۲ نمود. شهر در آن زمان دارای ۵ طبقه دمایی بود و منطقه ۸ به دلیل استقرار کارخانجات عظیم فولاد بالاترین دمای سطحی (۳۹ درجه) و منطقه ۵ با بیشترین میزان فضای سبز شهری کمترین دمای سطحی (۳۲/۷ درجه) را داشت و کمترین میزان LST متعلق به کاربری فضای سبز، و بیشترین آن مربوط به اراضی تحت کاربری صنعتی است و به لحاظ نظری میان نوع کاربری و LST رابطه مستقیم وجود دارد.

نتایج پژوهش شکری کوچک و بهنیا (۱۳۹۰) هم حاکی از روند افزایشی دمای شهر اهواز در دوره ۸۴-۱۳۴۰، به میزان ۳/۳۷ درجه و میانگین سالانه ۰/۷۷ درجه بوده است.

امان‌پور و کاملی‌فر (۱۳۹۶) ضمن پهنه‌بندی دمای سطح شهر اهواز و بررسی وضعیت تغییر کاربری زمین آن (۱۹۸۵-۲۰۱۳) دریافتند: همراه با گسترش شهر ۲۳٪ از اراضی بایر و زمینهای کشاورزی کم شده و در طرف مقابل سهم اراضی ساخته شده از ۱۶/۳ به ۳۴/۵ درصد افزایش یافته و بیشترین گسترش اراضی ساخته شده مربوط به مناطق جنوبی و شرقی شهر است.

احمدی و همکاران (۱۳۹۸) ضمن استخراج جزایر حرارتی تهران و ارزیابی عوامل بیوفیزیکی بر شکل‌گیری آنها، رابطه منفی بین پوشش گیاهی و جزایر حرارتی، و رابطه مثبت قوی بین سطوح غیر قابل نفوذ با جزایر حرارتی تهران را تشخیص دادند. مهمترین کانون‌های حرارتی شهر تهران، به ترتیب در منطقه ۲۱ به جهت تمرکز شدید کارخانه‌ها، کارگاه‌های صنعتی و انبارها، منطقه ۹ بدلیل قرارگیری فرودگاه مهرآباد و پایانه‌های حمل‌ونقل مسافری، منطقه ۲۲ و شمال منطقه ۱۹ به جهت تمرکز زمینهای لم یزرع و بالاخره منطقه ۱۳ (اراضی بدون پوشش اطراف فرودگاه سابق دوشان تپه) و مناطق جنوبی شهر (بدلیل وجود کارگاه‌های آموزشی و صنعتی) تشخیص داده شد.

پوردیهیمی و همکاران (۱۳۹۸) تأثیرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی بر شیوه پراکندگی فضایی شدت انرژی بازتابشی در کلانشهر تهران را بررسی، و با محاسبه اختلاف پوشش گیاهی بهنجار و دسته‌بندی کاربری اراضی دریافتند: کاربری اراضی و پوشش سبز شهر نقش حیاتی بر شرایط اقلیمی تهران ایفا کرده است.

عزى‌مند و همکاران (۱۳۹۹)، رابطه میان سطوح نفوذناپذیر شهری با تغییرات شدت جزیره حرارتی را در شهر رشت مورد بررسی قرار دادند. از نظر آنها همبستگی مثبت و قوی در این سالها میان این دو متغیر وجود داشته و جهت تغییرات مکانی و زمانی سطوح نفوذناپذیر شهری و تغییرات شدت جزیره حرارتی نیز با یکدیگر منطبق بوده است. تحلیل روند تغییرات حاکی از رشد سطوح نفوذناپذیر و بالتبع افزایش جزیره حرارتی در شهر رشت طی بیست ساله گذشته بوده است.



ژانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۵)، در منطقه شهری ووهان چین برای سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ ابتدا اقدام به تهیه نقشه‌های نسبت پوشش زمین^۲ و تراکم حجم ساخت و ساز^۳ کرده و سپس رابطه بین این دو متغیر را با LST مورد بررسی قرار دادند که نتایج پژوهش آنها حاکی از وجود رابطه مستقیم و قوی میان این دو است.

ال هتب^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، از باند حرارتی TM/ETM+/OLI تصاویر ماهواره لندست مربوط به سه دوره ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ جهت تهیه نقشه جزایر حرارتی، تعیین دمای سطحی زمین و بررسی رابطه UHI با پوشش زمین و نرخ تغییرات آن، استفاده کردند. از نظر آنها، همراه با توسعه شهری گسترده، تنوع زمانی - مکانی LST نیز بویژه در رابطه با کاربری صنعتی که دماهای بیشتری را در محیط پدید می‌آورند، رخ داده است.

نتایج پژوهش بک^۵ و همکاران (۲۰۱۸)، در خصوص تاثیر رشد برنامه‌ریزی نشده مناطق شهری بر تشکیل جزیره حرارتی در مصر که با مقایسه تصاویر حرارتی سالهای ۲۰۱۶-۱۹۹۰ در دو منطقه سکونتگاه رسمی/برنامه ریزی شده المعادی و غیررسمی/ برنامه ریزی نشده دارالسلام اما دارای ویژگیهای حرارتی مشابه انجام شد، نشان داد مناطق غیررسمی دچار افزایش دمای ۴ تا ۱ درجه سانتی‌گراد هستند.

کاراکوس^۶ (۲۰۱۹) به بررسی رابطه بین LU/LC، NDVI و LST در مرکز شهر سیواس (ترکیه) و اطراف آن در سالهای ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۵ پرداخته و شدت UHI را نیز نشان دادند. آنها دریافتند: مساحت مناطق شهری و اراضی کشاورزی در طول دوره مطالعه افزایش یافته در حالی که مساحت اراضی بایر کاهش یافته است. اراضی شهری و بایر بیشترین میزان LST را دارند و دمای سطح ساختمان‌های شهری روند متغیر و دمای مناطق روستایی تمایل به کاهش را نشان داد. دلیل افزایش سطوح ساخته شده، افزایش شدت UHI افزایش یافته است.

خامچیانگتا و داکال^۷ (۲۰۲۰) بر اساس تصاویر ماهواره ای Landsat سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۷، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۶ به طبقه بندی LU/LC در چهار کلاس: مناطق ساخته شده، پوشش گیاهی، زمین بایر و آبهای سطحی پرداخته و سپس جزیره حرارتی را با استخراج از LST باند حرارتی را مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند: اراضی ساخته شده از ۳۰٪ در سال ۱۹۹۱ به ۵۵٪ از کل مساحت در سال ۲۰۱۶ رسیده و روند تغییر LST نیز تمایل به افزایش دارد. مقدار NDVI با تراکم پوشش گیاهی رابطه معنی‌دار داشته و در طول دوره تمایل به کاهش دارد. همبستگی منفی معنادار بین LST و NDVI حاکی از آن است که زیست توده پایین‌تر می‌تواند سبب LST بالاتر باشد. شدت UHI نیز بطور مداوم از ۱۱.۹ درجه در ۱۹۹۱ به ۱۶.۲ درجه سانتیگراد در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته که منجر به افزایش ۵ درجه‌ای دمای شهر بانکوک شده است.

تپانوسین^۸ و همکاران (۲۰۲۱) تغییرات پوشش زمین و جزیره حرارتی شهری در ایروان را با استفاده از الگوریتم ماشین‌های یادگیری، شاخص ارزیابی زیست‌محیطی و شاخص تغییرات حرارتی شهری و با اطلاعات تصاویر Landsat TM / ETM + / OLI-TIRS (در سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸) انجام دادند. مقایسه بین شاخص وسیله نقلیه بدون سرنشین (UAV) و LST نشان داد که الگوی کلی فضایی LST و UAV مطابقت دارد و مناطق سبز و ساخته شده از عوامل اصلی تأثیر بر تغییرات LST در ایروان هستند.

¹ - Zhang

² - Ground Coverage Ratio

³ - Building Volume Density

⁴ - El-Hattab

⁵ - Bek

⁶ - Karakuş

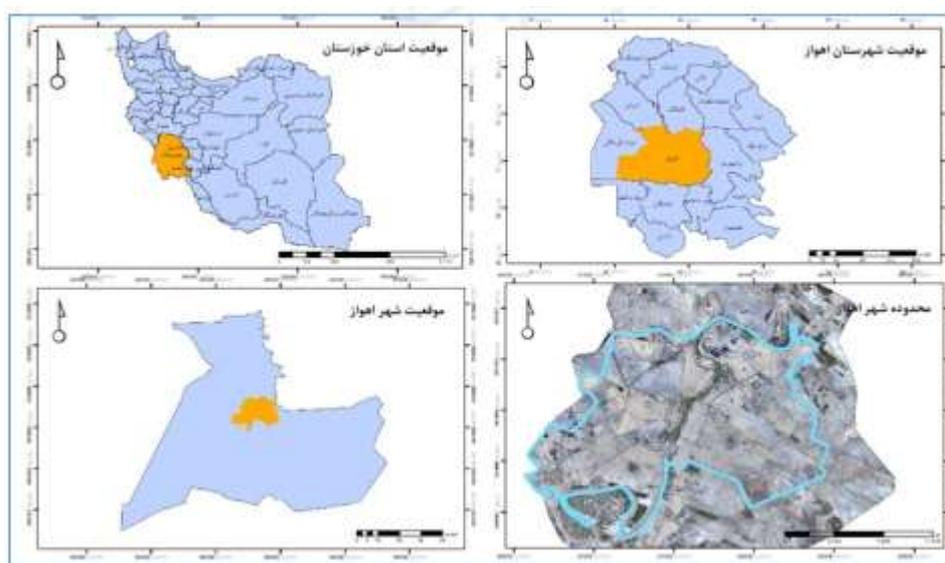
⁷ - Khamchiangta & Dhakal

⁸ - Tepanosyan

معرفی قلمرو پژوهش

شهر اهواز از جمله شهرهای کشور است که در نیم قرن گذشته رشد فزاینده جمعیتی و فیزیکی را تجربه کرده و جایگاه خود را بعنوان یک کلان‌شهر در منطقه جنوبغرب کشور تثبیت کرده است. جمعیت و مساحت آن در سال ۱۳۹۵، به ترتیب معادل ۱۳۰۲۵۹۱ نفر و ۲۲۲۰۰ هکتار و متشکل از ۸ منطقه شهری بوده است (موزرمی، سرور و شریعت‌پناهی، ۱۳۹۹: ۱۳۲۵). اهواز محور ترانزیتی بسیار مهمی است که به وسیله راههای زمینی و ریلی سایر نقاط کشور را به بنادر مهم آبادان، خرمشهر، بندر امام خمینی و ماهشهر پیوند می‌دهد (پیری و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۲). بعلاوه، در روند توسعه فیزیکی شهر در یک دوره ۳۵ ساله (۹۵-۱۳۶۰) اراضی بایر و کشاورزی اصلی ترین اراضی تغییر یافته بوده‌اند (ترکی، ۱۳۹۹: ۹۱ و امان‌پور و کاملی‌فر، ۱۳۹۶: ۱۴۷).

آب و هوای شهر اهواز در طبقه‌بندی دومارتن از نوع خشک است. میانگین دمای سالانه آن معادل ۲۵/۵ سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه آن ۲۱۲ میلی‌متر است (معاونت آمار و برنامه‌ریزی استان خوزستان، ۱۳۹۶: ۷۲ و ۷۳).



شکل (۱). محدوده قلمرو پژوهشی

ماخذ: امیریان و همکاران، ۱۳۹۹: ۳۰۳

روش پژوهش

برای استخراج دمای سطح زمین، تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست (جدول ۲) از تارنمای <http://Earthexplorer.usgs.go> دریافت شد و سپس در محیط نرم‌افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی و پردازش تصویر شامل ENVI 5.3 و SAGA GIS 6.4 و ARC GIS 10.3 مراحل انجام پژوهش و استخراج اطلاعات و تحلیل‌های مکانی انجام شد. در این راستا، ابتدا پس از آماده‌سازی تصاویر، نقشه دمای شهر با استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور و بکارگیری نرم‌افزار GIS و ENVI آماده شد و سپس جزایر حرارتی شهر استخراج گردید. طبقه‌بندی پوشش اراضی با استفاده از روش درخت تصمیم و از طریق شاخص‌های NDWI, LST, NDVI انجام و با توجه به نتایج به دست آمده و مقایسه میان آنها، تجزیه و تحلیل نهایی انجام شده است.

جدول (۲). اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

ردیف	تاریخ تصویر	ردیف و ستون	نوع سنجنده	زمان	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱	1988-2-21	۳۸-۱۶۵	Landsat- 5-tm	روز	۳۰
۲	1988-2-03	۲۰۶-۳۲	Landsat- 5-tm	شب	۳۰
۳	۲۰۲۰-۱۰-۰۴	۳۸-۱۶۵	Landsat- 8-tm	روز	۳۰
۴	2020-01-30	۲۰۶-۳۲	Landsat- 8-tm	شب	۳۰
5	۲۰۰۸	-	dem	روز	۳۰

روش تهیه نقشه حرارتی شهر:

به منظور استخراج LST، از یک باند مادون قرمز حرارتی توسعه داده شده، برای محاسبه دمای الگوریتم تک پنجره (SCA) استفاده شد. طبق الگوریتم، LST از طریق معادله 1 محاسبه می‌شود:

معادله (۱)

$$T_s = \gamma \{ \varepsilon^{-1} (\Psi_2 L_{\text{sensor}} + \Psi_2) + \Psi_3 \} + \delta$$

در این معادله، T_s مخفف LST و یا همان T_{sensor} (دمای روشنایی سنسور) است که در نرم‌افزار Envi با دستور radiometric calibration محاسبه می‌شود. L_{sensor} دمای درخشندگی یا روشنایی است که میزان آن در نرم‌افزار با دستور Brightness temperature بدست می‌آید، همان توان تشعشعاتی یا emzivity است که با دستوری به همین نام در نرم‌افزار محاسبه می‌شود. λ طول موج موثر باند مادون قرمز حرارتی مورد استفاده است (Ndossi, M. I., & Avdan, 2016:6).

پارامترهای جوی Ψ_1 ، Ψ_2 و Ψ_3 به ترتیب با استفاده از معادلات ۲ تا ۴ بدست می‌آید (Dhar, 2019:335):

$$\Psi_1 = 0.14714W^2 - 0.15583W - 1.1234 \quad \text{معادله ۲}$$

$$\Psi_2 = -1.1836W^2 - 0.3760W - 0.52894 \quad \text{معادله ۳}$$

$$\Psi_3 = -0.04554W^2 + 1.8719W - 0.39071 \quad \text{معادله ۴}$$

برای محاسبه هر کدام از پارامترهای موجود در معادله (۱) لازم است گامهای زیر طی شود:

-گام اول، محاسبه رادیانس طیفی:

این کار در نرم‌افزار Envi و با دستور radiometric calibration انجام شد. البته در حین اجرای این دستور حدود و قلمرو پژوهش نیز از روی تصویر دانلود شده برش زده شد.

-گام دوم، محاسبه دمای روشنایی سنجنده:

مقدار دمای روشنایی سنجنده برحسب کلوین و با استفاده از معادله (۵) بدست می‌آید.

$$BT = 1282.71 / \ln(666.09 / \text{radiance.pix} + 1) \quad \text{معادله ۵}$$

-گام سوم، محاسبه توان تشعشعاتی: برای محاسبه توان تشعشعاتی ابتدا باید میزان NDVI با استفاده از معادله (۶) محاسبه شود.

$$(NIR+RED) / NDVI = (NIR-RED) \quad \text{معادله ۶}$$

در این پژوهش، باند مادون قرمز (NIR) باند ۴ و باند قرمز (RED) باند ۳ در نظر گرفته شده است.

بر اساس فرمول ژانگ برای محاسبه توان تشعشعاتی (LST) شروط مندرج در جدول ۳ در دستور Band math در نرم‌افزار اعمال شد. به عبارت دیگر، مقدار LSE هر پیکسل از طریق طبقه‌بندی پیکسل‌ها بر اساس طبقه‌ای که در آن قرار می‌گیرند، تخمین زده می‌شود. بعنوان مثال اگر مقدار NDVI یک پیکسل کمتر ۰.۱۸۵ باشد، مقدار LSE آن پیکسل ۰.۹۹۵ خواهد بود. به همین ترتیب برای سایر مقادیر NDVI، مقدار عددی LSE معین می‌شود (Ibid, 2019:335).

جدول ۳: الگوریتم‌های مبتنی بر تصاویر NDVI

NDVI	LSE
NDVI < -0.185	0.995
-0.185 < NDVI < 0.157	0.985
0.157 < NDVI < 0.727	1.009 + 0.047 * ln (NDVI)
NDVI > 0.727	0.990

ماخذ: Dhar, 2019:335

-گام چهارم، محاسبه مقادیر γ و δ ، که به ترتیب با استفاده از معادله‌های ۷ و ۸ بدست می‌آید.

$$\gamma = \left\{ \frac{C2L\delta}{T_{2sensor} - C1} \left[\frac{\delta}{L_{SENSOR}} + \frac{L}{\delta} \right] \right\} \quad \text{معادله 7}$$

$$\delta = -\gamma \cdot L_{\delta} + T \quad \text{معادله 8}$$

L_{sensor} و T_{sensor} همان دمای درخشندگی و سنسور است که در گام‌های ۱ و ۲ بدست آمد. C_1 و C_2 ضریب‌های ثابتی هستند که مقادیر آن عبارتند از: $C_1 = 1.19104 \cdot 10^8$ و $C_2 = 14387.7$ (Muzaky & Jaelani, 2019:5).

گام پنجم، محاسبه پارامترهای جوی، برای محاسبه ψ_1 و ψ_2 و ψ_3 از معادلات ۳ و ۴ و ۵ استفاده می‌شود. در این معادله‌ها w همان water vapor است که برای به دست آوردن آن می‌توان از معادله (۹) استفاده کرد (Isaya Ndossi & Avdan, 2016: 41):

$$W = 0.0981 \cdot \{ 10^{0.6108} \cdot \exp \left[\frac{17.27T}{237.3+T} \right] \cdot RH \} + 0.1679 \quad \text{معادله ۹}$$

در این معادله، RH معرف رطوبت نسبی و T معرف دمای هوای نزدیک به سطح زمین است. محاسبه این دو پارامتر در سایت <https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en> انجام می‌شود. به این منظور، تاریخ اخذ تصویر وارد و اطلاعات مورد نیاز محاسبه می‌شود. پس از آن برای محاسبه ψ_1 و ψ_2 و ψ_3 و با توجه به اینکه همه پارامترهای مورد نیاز در معادله ۱ بدست آمده است، با دستور band math در نرم‌افزار، مقدار ENVI بدست می‌آید.



روش طبقه بندی و تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از درخت تصمیم :

استفاده از درخت تصمیم در سنجش از دور بوسیله متخصصین این رشته در دهه 1970 مورد ارزیابی قرار گرفت در سالهای اخیر کاربرد این روش به صورت تدریجی در علوم طبیعی وارد شده و در طبقه بندی پوشش اراضی، عملکرد موفقیت آمیزی از خود نشان داده است (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۰۰).

در اغلب روش های طبقه بندی تک مرحله ای مورد استفاده در تصاویر ماهواره ای، مانند روش حداکثر احتمال یا حداقل فاصله (MD) در مورد هر پیکسل فقط تصمیم اتخاذ می گردد و در نتیجه هر پیکسل به یکی از کلاس های موجود تعلق می گیرد. اما، در کنار این روش ها، استفاده از روش های طبقه بندی چند مرحله ای نیز امکان پذیر است. بدین ترتیب که مجموعه ای از تصمیمات اتخاذ می شوند تا پیکسل به درستی طبقه بندی شود. از معمول ترین روش های طبقه بندی چند مرحله ای، الگوریتم درخت تصمیم گیری است. یک درخت تصمیم (DT)، نمایشی از شاخه ها و گره ها است که هر گره به مجموعه ای از پاسخ های ممکن منتهی می گردد. سه امر مهم در طراحی روش DT باید در نظر گرفته شوند: (۱) یافتن ساختار بهینه برای شاخه، (۲) انتخاب زیرمجموعه مطلوب خصوصیات در هر گره و (۳) انتخاب قاعده تصمیم برای استفاده در هر گره (همان: ۱۰۰).

از آنجایی که هدف این تحقیق شناسایی و طبقه بندی انواع پوشش اراضی با دقت بالا است، با توسعه یک مدل، استخراج موثر و دقیق اطلاعات بر مبنای آن صورت گرفت. همانگونه که در شکل ۲ دیده می شود، با مبنا قرار دادن نتایج حاصل از طبقه بندی با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال به صورت شاخه ای در هر قسمت، یک پوشش خاص از اطلاعات موجود در تصویر استخراج و جدا می شود. در هر نقطه انشعابی یا گره مربوط به DT با استفاده از قواعد یا شاخص های تعریف شده، پوشش خاصی از اطلاعات تصویر شناسایی و مجزا می گردد.

نحوه کارکرد مدل به صورت شاخه ای است که از سه سطح تصمیم گیری تشکیل شده است که در نهایت به تعیین شش طبقه پوشش زمین شامل اراضی کشاورزی، مرتعی، پوشش های آبی، ارتفاعات (توپوگرافی)، زمین با پوشش گیاهی اندک و اراضی ساخته شده می انجامد. در اجرای مدل پس از اعمال پیش پردازش ها بر روی تصاویر لندست دانلود شده، ابتدا با استفاده از شاخص های NDVI و NDWI و DEM و LST تصاویر مربوطه برای طبقه بندی ایجاد شدند. با تعیین یک حد آستانه برای شاخص NDVI ($NDVI > 0.26$) پوشش گیاهی از سایر اطلاعات جداسازی شد. در شاخه تصمیم دوم، گره بعدی با استفاده از شاخص NDWI ($NDWI \leq 0$) و تعیین آستانه طبقات مرتع، زمین کشاورزی و آب جدا شدند. در شاخه تصمیم گیری سوم بر اساس آستانه های تعریف شده در شاخص های تصاویر DEM ($DEM \geq 40$) توپوگرافی مشخص شد و در سطح چهارم با استفاده از لایه تصاویر LST ($LST < 288.4$) و تعیین آستانه اراضی ساخته شده و زمین با پوشش گیاهی کم مجزا و معرفی شدند. شکل شماره ۲ سطوح تصمیم گیری در مدل و رنگ اختصاص داده شده به هر کاربری در نقشه را مشخص می کند.



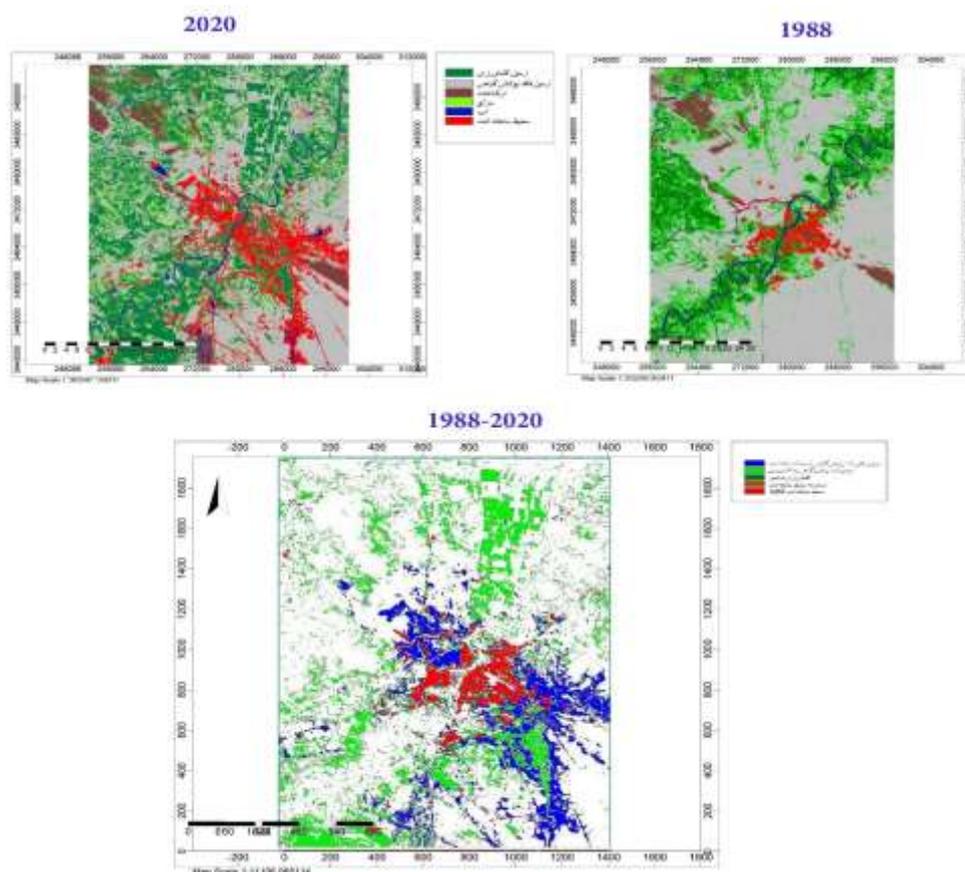
شکل (۲). روند تهیه نقشه کاربری زمین با استفاده از روش درخت تصمیم

تهیه همبستگی $ndBi$ و lst

این کار در نرم‌افزار SAGA GIS با وارد کردن لایه‌های LST و NDBI و با دستور Scatter plot انجام شد.

یافته‌ها و بحث

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای کلان‌شهر اهواز با استفاده از روش $decision\ tree$ ، نشان داد که این شهر در دوره ۳۲ ساله (۱۹۸۸-۲۰۲۰) گسترش کالبدی زیادی یافته است. به طوریکه مساحت کلاس اراضی ساخته شده از ۷/۸۶۱۱ به ۱/۳۰۹۷۱ هکتار افزایش یافته است. یعنی در این دوره حدود بیست و دو هزار هکتار به وسعت اراضی ساخته شده افزوده است. در مقابل اراضی با پوشش گیاهی اندک از ۱۴۳۲۸۶ به ۱۳۰۱۸۷ هکتار کاهش یافته است. کلاس اراضی مرتعی نیز در این دوره ۱/۲۴ درصد کاهش داشته است. هرچند مقدار اراضی کشاورزی، اراضی با کاربری ارتفاعات و آب هم در این دوره افزایش نشان می‌دهد ولی باید توجه داشت این تغییر، مربوط به افزایش محدوده مساحت شهر و به ویژه ادغام روستاهای حاشیه شهر در محدوده قانونی شهر اهواز است. بالاترین رشد مربوط به اراضی ساخته شده می‌باشد (۲۵۹۶۴ درصد). اولین تغییر کلاس پوشش اراضی با ایجاد راه‌ها به وجود آمده است. بررسی جهات توسعه فیزیکی شهر اهواز نشان داد که گسترش شهر اهواز در همه جهات صورت گرفته است. جهات اصلی رشد شهر اهواز در مسیر عمود بر رودخانه یعنی شمال‌غرب- جنوب‌شرق و منطبق بر راه اصلی بوده است. بیشترین گسترش در جهت جنوب شرق و سپس شمال غرب بوده است. جنوب غرب دارای کمترین گسترش بوده که با جهات بیشترین گسترش قرینه است. شکل ۳ کاربری اراضی کلانشهر اهواز در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸ و نیز تغییرات کاربری زمین در همین فاصله زمانی و جدول شماره ۴ معرف میزان مساحت کلاس‌های کاربری‌های شهر و نیز تغییرات کلاس‌های کاربری در همان دوره است.



شکل (۳). کاربری اراضی شهر اهواز در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۲۰ و تغییرات آن

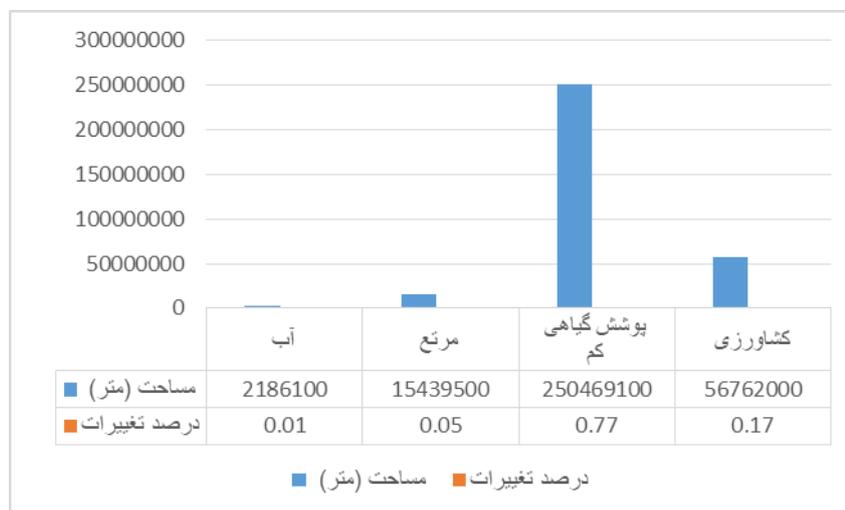
جدول (۴). میزان تغییر کاربری اراضی‌های مختلف به کاربری شهری (محیط ساخته شده) ۱۹۸۸-۲۰۲۰

کشاورزی	زمین با پوشش گیاهی اندک	ارتفاعات	مرتع	آب	محیط ساخته شده	مساحت کاربری
۴۷۷۶۵/۵	۱۴۳۲۸۶/۵	۹۱۹۶/۷	۳۴۵۷۶/۱	۳۹۴۸/۷	۸۶۱۱/۷	سال ۱۹۸۸
۹۷۳۲۳	۱۳۰۱۸۷/۱	۱۲۸۸۳/۶	۲۶۲۴۰/۸	۴۵۷۳/۹	۳۰۹۷۱/۱	سال ۲۰۲۰
۴۹۵۵۷/۵	-۱۳۰۹۹/۴	۳۶۸۶/۹	-۲۸۲۳۵	۶۲۵/۲	۲۲۳۵۹/۴	میزان رشد (مترمربع)
103.75	-9.14	40.08	-24.10	15.83	259.64	درصد رشد (درصد)

درصد	مساحت	تبدیل کاربری‌ها
0.17	۵۶۷۶/۲	محیط ساخته شده به کشاورزی
0.77	۲۵۰۴۶/۹	محیط ساخته شده به زمین با پوشش گیاهی اندک
0.05	۱۵۴۳/۹	محیط ساخته شده به مرتع
0.01	۲۱۸/۶	محیط ساخته شده به آب

ماخذ: محاسبات نگارندگان

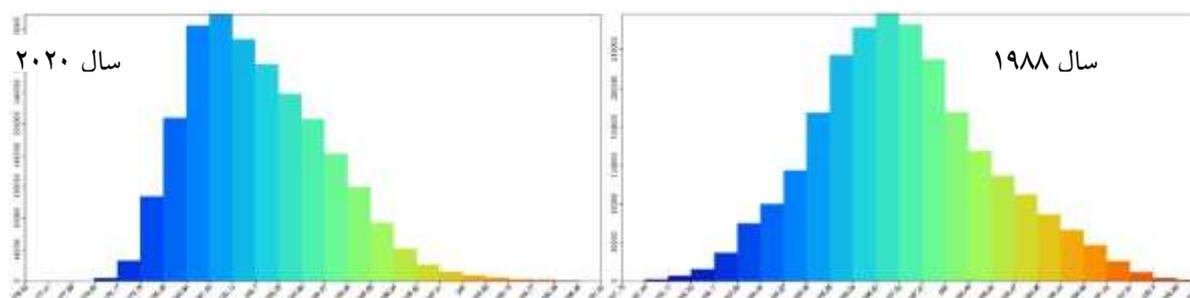
با توجه به مقادیر مندرج در جدول شماره ۴ که میزان تغییرات کاربری‌های مختلف را به کاربری شهری نشان می‌دهد، بیشترین تغییرات با ۷۷ درصد تغییر مربوط به مناطق با پوشش گیاهی اندک به کاربری محیط ساخته شده است که بیشتر این تغییرات مربوط به مناطق شرقی بدلیل رشد فیزیکی شهر به "اراضی ساخته شده" تبدیل و در شهر ادغام شده اند. کاربری دوم مربوط به زمین‌های کشاورزی میباشد که در ادامه روند توسعه شهر اراضی کشاورزی جنوب شهر و اراضی کشاورزی داخل شهر به "زمین‌های شهری و یا ساخته شده" تبدیل شده است (شکل شماره ۵ را ببینید)



شکل (۵). معرف میزان تغییر کاربری‌های غیرشهری به شهری (یا کاربری اراضی ساخته شده)

توسعه فیزیکی شهر و تغییر کاربری‌های غیرشهری به کاربری‌های شهری همواره با پیامدهای متعدد من جمله جایگزین شدن سطوح طبیعی با سطوح نفوذ ناپذیر مانند آسفالت و سیمان و از بین رفتن سیستم خنک کنندگی سطوح طبیعی و افزایش دمای سطح زمین می‌شود. دمای نرمال شده سطح زمین در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۲۰ در نرم‌افزار SAGA محاسبه شد (شکل ۶) که بر اساس آن، اولاً؛ حداکثر دما در دوره مورد مطالعه افزایش یافته است و ثانیاً؛ منحنی داده‌ها به سمت دمای بیشتر میل کرده و لذا می‌توان گفت: میانگین دما در محیط شهری افزایش پیدا کرده است. افزایش دمای سطوح نفوذناپذیر با بر هم زدن تبادل انرژی سطح، علاوه بر تداخل در اقلیم محلی، موجب افزایش رواناب و افزایش سیل در شهر اهواز در سال‌های اخیر شده است. همچنین سطح گرم جاده‌ها و سقف‌های با پوشش آسفالت، مازاد گرمای خود را به آب رواناب حاصل از بارش منتقل می‌کنند که پس از آن تخلیه رواناب به نهرها، رودخانه‌ها موجب افزایش

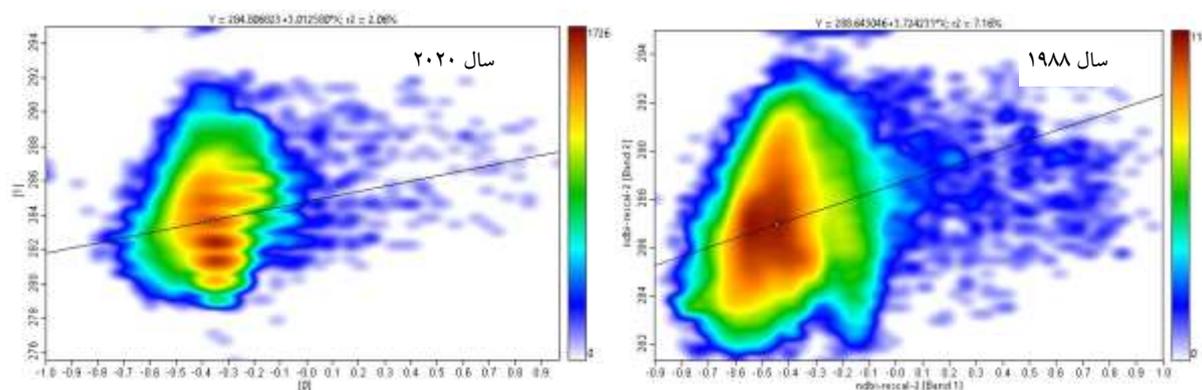
حرارت آنها شده و این امر موجب کاهش کیفیت آب و اختلال در اکوسیستم‌های آبی شده است. توسعه کالبدی شهر و افزایش سطوح نفوذ ناپذیر علاوه بر تخریب باغات و زمین‌های کشاورزی اطراف شهر، بر پوشش‌های گیاهی درون محدوده شهر نیز تأثیر داشته است.



شکل (۶). رابطه‌ی شاخص ساخت‌وساز (NDBI) و دمای سطح زمین (LST)

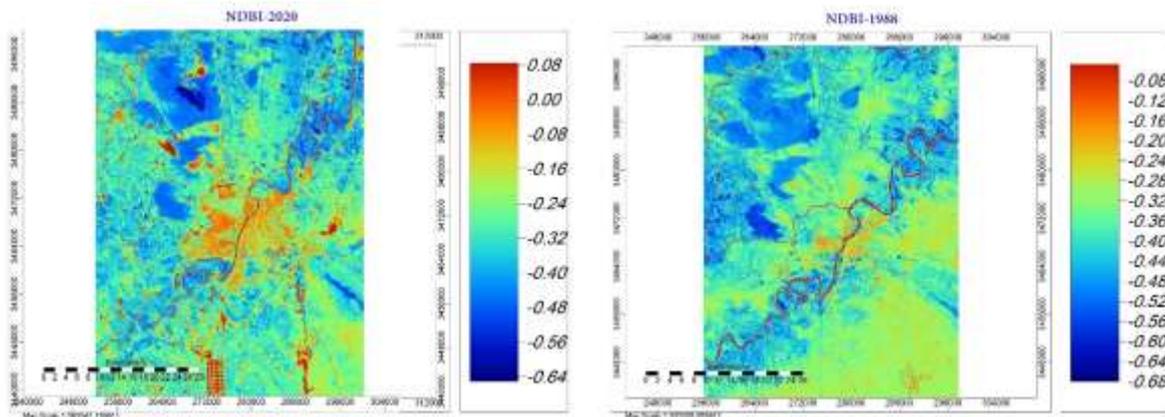
همان طور که در نمودار پراکندگی داده‌های دما (شکل ۶) مشاهده می‌شود علاوه بر افزایش میانگین دما و میل منحنی به سمت اعداد بیشتر، مساحت مناطق با دماهای بالا نیز افزایش پیدا کرده که نشان دهنده افزایش سطوح با دمای محیط شهری بالاتر نسبت به ۳۲ سال قبل است. بعبارت دیگر، در حال حاضر مناطق بیشتری از شهر، با افزایش حرارت سطحی زمین روبرو هستند.

رابطه‌ی میان دو شاخص دمای سطح زمین و میزان ساخت‌وساز استفاده از نرم‌افزار Saga و دستور Scatter plot در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ تهیه شد (شکل ۷) و نشان‌دهنده کاهش تراکم نمونه‌های با ساخت‌وساز پایین (-0.7 تا -0.1) و دمای پایین (278 k - 291) در سال 1990 است. در سال ۲۰۲۰ این نمونه‌ها پراکنده شده و به سمت ساخت‌وساز بالاتر (-0.9 تا 0) و دمای بالا (282-292) جابجا شده‌اند. بیشتر این تغییرات در مرزهای شهر، جایی که مساحت شهر در حال افزایش است به چشم می‌خورد.



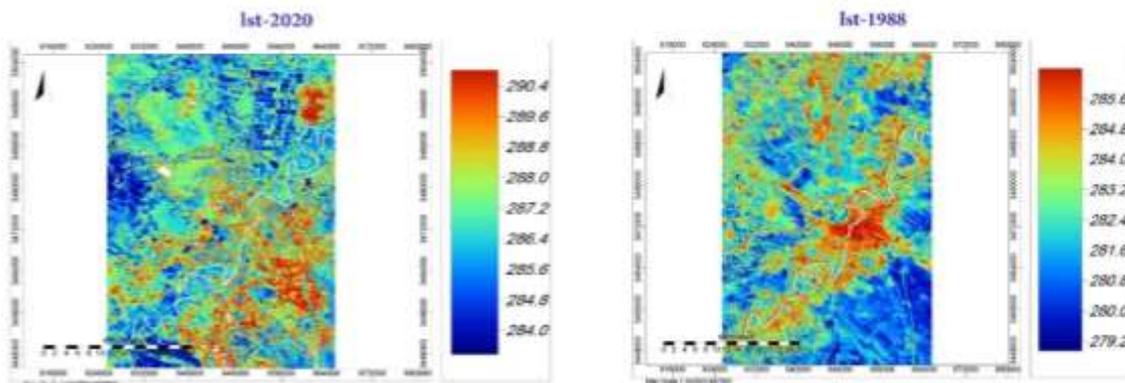
شکل (۷). رابطه رگرسیون خطی بین شاخص NDBI و LST در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۲۰

شاخص NDBI در سال‌های ۱۹۸۸-۲۰۲۰ (شکل ۸) کمترین دمای سطحی زمین را در سطوح تحت کاربری کشاورزی نشان می‌دهد. باغات شهر بواسطه سطح بالای برگ بالایی و سایه‌اندازی کمترین دما را نشان می‌دهند. شالیزارها نیز به دلیل رطوبت بالا و ظرفیت حرارتی بالای آب دیرتر گرم می‌شوند. بیشترین دما مربوط به مناطق ساخته شده و سطح خاک است. خاک بدون پوشش، نور خورشید را جذب کرده و با توجه به ظرفیت و هدایت حرارتی پایین، دمای آن به سرعت بالا می‌رود. مناطق ساخته شده بیشترین جذب نور خورشید را دارند که علت آن توان تشعشعی بالاتر مصالح شهری مانند آسفالت و سیمان است.



شکل (۸). تغییرات فضایی- مکانی شاخص NDBI در سال‌های ۱۹۸۸-۲۰۲۰

شاخص Ist در سال‌های ۱۹۸۸-۲۰۲۰ که در نرم افزار ENVI تهیه شد (شکل ۹)، گویای آن است گسترش شهر به سمت حواشی، تبدیل کاربری اراضی بایر و کشاورزی به اراضی ساخته شده را به دنبال داشته است. توسعه شهر در این بازه زمانی به صورت شعاعی و در تمام جهات صورت گرفته است.



شکل (۹). تغییرات فضایی- مکانی شاخص Ist در سال‌های ۱۹۸۸-۲۰۲۰

شدت یافتن ساخت‌وساز در این بازه باعث تغییر الگوی فضایی جزایر گرمایی در شهر شده است. با دقت در روند تغییر دما، هر چند می‌توان گفت که بطور کلی میانگین دمای شهر در مقایسه با ۳۲ سال گذشته افزایش یافته است، لیکن به دلیل پربارانی سال‌های اخیر (بهار ۱۳۹۹ و ۱۳۹۸ و سیل‌های ناشی از آن) و پر آب شدن رودخانه کارون، جزیره گرمایی از مرکز شهر به اطراف هدایت شده است. نقشه حرارتی در سال ۲۰۲۰ دمای اطراف رودخانه را کمترین مقدار دمایی در مقایسه با سایر نقاط شهر نشان می‌دهد (شکل ۹). زمینهای کشاورزی برداشت شده یا شخم زده شده (فاقد پوشش گیاهی در هنگام تصویربرداری) خارج از شهر دارای دمای زیادی هستند.

تحلیل تغییرات کاربری و افزایش ساخت‌وساز و دمای سطح زمین

سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای مناسبترین داده‌ها را برای تحلیل روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی مهیا می‌کند. بررسی آماری روند تغییرات دمای سطح زمین و نسبت تغییر سایر کاربری‌ها به کاربری شهری منطقه نشان داد که روند تغییرات میانگین ساخت‌وساز سیر صعودی و میانگین دما نیز سیر صعودی داشته و این دو روند با هم رابطه مستقیم دارد. نسبت افزایش دمای منطقه شهری نسبت به کل منطقه مورد مطالعه بیشتر بوده است (جدول ۵).

جدول (۵). میزان تغییرات کاربری، شاخص NDBI و دمای شهر و منطقه بین سالهای ۱۹۸۸ و ۲۰۲۰

سال	نسبت تغییر کاربری به شهر	شاخص NDBI	دمای شهر در فصل زمستان (برحسب درجه)	دمای منطقه در فصل زمستان (برحسب درجه)
1988	۸۶۱۱/۷	-۰/۳۶۳۹	11.96	10.74
2020	۳۰۹۷۱/۱	-۰/۲۸۰۵	15.02	16.43

نتیجه‌گیری:

استفاده از ایستگاه‌های زمینی در محاسبه و بررسی داده‌های هواشناسی علی‌رغم دقت مناسب آنها، محدودیت‌هایی به همراه دارد. از جمله، مهم‌ترین این محدودیت‌ها می‌توان به گسسته بودن این اطلاعات اشاره کرد که باعث می‌شود در محاسبه دما، خطای درون‌یابی در مورد بخش‌هایی از سطح زمین که با ایستگاه هواشناسی فاصله دارند به بیش از پنج درجه سانتیگراد برسد. به علاوه، در بخش‌های عظیمی از سطح زمین امکان ایجاد ایستگاه هواشناسی در طی دوره‌های زمانی به راحتی فراهم نیست. با توجه به مشکلات فوق، بکارگیری داده‌های سنجش از دور می‌تواند تا حدودی مشکلات مربوط به استقرار ایستگاه‌های زمینی را کاهش دهد و در بخش‌های عظیمی از سطح زمین به تخمین پارامترهای هواشناسی بپردازد. لذا این پژوهش استفاده از داده‌های سنجش از دور را برای بررسی رابطه دمای سطح زمین و پوشش آن در اولویت قرار داده است.

در این تحقیق با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور، ابتدا رابطه میان تغییرات کاربری اراضی در سالهای (۱۹۸۸ و ۲۰۲۰) و جزیره حرارتی تعیین و سپس نحوه پراکنش جزایر گرمایی در شهر کلان‌شهر اهواز و عوامل موثر بر آن معین گردید.

در برآورد دمای سطح زمین از الگوریتم تک پنجره استفاده شد. بر مبنای نتایج حاصل، دمای حرارتی زمستان شهر اهواز در بین سال‌های ۱۹۸۸ از ۱۱.۹ درجه به دمای ۱۵.۰۲ درجه سانتیگراد افزایش یافته است که رشد دو درصدی و افزایش ۴ درجه‌ای را نشان می‌دهد. از نظر فضایی بیشترین افزایش حرارت مربوط به قسمت شرق و جنوب‌شرق شهر است که در آن زمین‌های کشاورزی و زمین‌های با پوشش گیاهی اندک به شهرک صنعتی و کاربری‌های صنعتی تغییر کاربری پیدا کرده و به یک منبع تولید گرما در این کلان‌شهر تبدیل شده است. همچنین در قسمت غربی شهر بدلیل گسترش بیشتر شهر و اجرای طرح‌های آماده‌سازی مسکونی (افزایش شاخص NDBI یا توسعه شهری) افزایش دما هم اتفاق افتاده است لذا یافته‌های این پژوهش، یافته‌های علوی پناه و همکاران در شهر تهران را مبنی بر تاثیر افزایش شاخص توسعه شهری در افزایش دمای سطح زمین تایید می‌کند (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۸۴). از دیگر عوامل تاثیرگذار در تغییر فضایی حرارت در این قسمت های شهر اهواز می‌توان به وجود جاده‌های اصلی مانند بزرگراه اهواز-آبادان (قسمت جنوبی شهر)، بزرگراه اهواز-بندر امام خمینی (قسمت شرقی) اشاره نمود که علاوه بر اینکه سبب گسترش شهر در این محورها شده بدلیل پوشش آسفالتی این مسیرها و تردد بیشتر وسایل نقلیه، سبب افزایش در نقشه حرارتی منطقه شده اند. در حالی که در تحقیق معروف‌نژاد (۱۳۹۰) در سال ۲۰۰۶ سمت شرقی شهر کمترین ساخت و ساز شهری و کمترین دما را داشته (معروف‌نژاد، ۱۳۹۰: ۶۶) اما نتایج این پژوهش در سال ۲۰۲۰ رشد دمایی بالایی را به دلیل افزایش ساخت و سازها در این قسمت را نشان می‌دهد.

کمترین دمای حرارتی در سال ۲۰۲۰ نیز مربوط به نواحی اطراف رودخانه کارون است. در دو سال‌های اخیر که رودخانه کارون پرآب‌تر گردیده است، دمای سطح زمین در اراضی مجاور کارون کاهش یافته و رودخانه به عنوان یک عنصر تعدیل‌کننده دما در شهر عمل کرده است. علاوه بر تاثیر عنصر رودخانه عامل دیگری که سبب پایین بودن دمای هوا در این نقطه نسبت به سایر نقاط شهر اهواز در سال ۲۰۲۰ شده، وجود پارک دولت، دانشگاه شهید چمران با فضای سبز بسیار زیاد و بافت مسکونی با تراکم کمتر و فضای باز و سبز بیشتر نسبت به سایر نقاط شهر است. یافته‌های این قسمت منطبق با یافته‌های Dhar (۲۰۱۹) در کلکته هند است که دریافته بود: افزایش مناطق ساخته شده اثر روند افزایشی در جزیره گرمایی را نشان می‌دهند در حالی که استخرهای آبی پروری روند کاهش را در

دما نشان می‌دهند. وی برای جلوگیری از افزایش بیشتر LST و متوقف کردن آسیب‌های زیست محیطی، پیشنهادهایی برای افزایش فعالیت‌هایی مانند جنگلداری شهری، ساخت آبنما و فواره‌ها، حفظ استخرهای آبی پروری، کاهش فعالیت‌های ساختمانی و حفظ کردن حالت بکر تالاب کلکته را پیشنهاد کرده بود (Dhar, 2019:346).

تحلیل روند تغییرات جزیره حرارت شهری و افزایش ساخت‌وساز با استفاده از تصاویر سری زمانی لندست، نشان‌دهنده افزایش درجه حرارت شهری نسبت به منطقه اطراف در سال ۱۹۸۸ بود و این اختلاف در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است که دلیل آن پرآبی رودخانه، افزایش ساخت و سازها و فعالیت‌های صنعتی در حاشیه و اطراف شهر می‌باشد. لذا با توجه به خطرات زیست‌محیطی جزیره حرارتی که به طور مستقیم و غیر مستقیم بر آلودگی هوای شهری، تولید گازهای گلخانه‌ای و تأثیر بر گرمایش جهانی، بر هم زدن آسایش حرارتی، افزایش مصرف آب و انرژی الکتریسیته و تشدید بیماری‌هایی مانند آسم لازم است از تغییر کاربری کشاورزی به مناطق ساخته شده شهری جلوگیری و در داخل شهر نیز بین بافت‌های متراکم و نواحی صنعتی با ایجاد پوشش گیاهی در قالب پارک‌ها و بوستان‌ها در جلوگیری از افزایش دمای سطح زمین تلاش کرد.

منابع

- احمدی، محمود، داداشی رودباری، عباسعلی؛ اسفندیاری، ندا، (۱۳۹۸). پایش جزایر حرارتی شهری با رویکرد تکاملی فرکتال ویژه (FNEA) مطالعه موردی: کلان شهر تهران، *سنجش از دور و GIS/ایران*، سال ۱۱، شماره اول، صص ۹۵-۱۱۴
- احمدی، محمود؛ عاشورلو، داود؛ نارنگی فرد، مهدی (۱۳۹۱). تغییرات زمانی-مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده TM&ETM+، *سنجش از دور و GIS/ایران*، سال چهارم، شماره چهارم، صص ۶۸-۵۵.
- امان‌پور، سعید؛ کاملی‌فر، محمدجواد (۱۳۹۶). تحلیلی بر تغییرات کاربری اراضی در کلانشهرها با استفاده از آنالیز تصاویر ماهواره‌ای در محیط ENVI مطالعه موردی: کلانشهر اهواز»، *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، دوره ۲۶، شماره ۱۰۲، صص ۱۵۰-۱۳۹.
- امیریان سهراب، صفایی پور مسعود، حسینی امینی حسن، عبادی حسین (۱۳۹۹). پهنه‌بندی حریم ایمنی و آسیب پذیری در شهر اهواز از منظر پدافند غیرعامل، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰ (۵۶)، صص ۳۰۹-۲۹۹
- پوراحمد، احمد؛ حبیبیان، بهار؛ احمدنیا، محمدرضا (۱۳۹۵)، تحلیلی بر فضای کالبدی شهر اهواز، *باغ نظر*، شماره ۳۹، سال سیزدهم، صص ۳۸-۲۵.
- پوردیپیمی شهرام، تحصیلدوست محمد، عامری پوریا (۱۳۹۸). تأثیر پوشش گیاهی بر کاهش شدت جزایر حرارتی شهری: نمونه موردی کلان‌شهر تهران، *فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، ۵ (۳)، صص ۱۲-۹۷
- پیری، عیسی؛ حسین زاده، اکبر، مرادی مفرد، سمیرا (۱۳۹۷)، مکانیابی بهینه و ساماندهی فضایی - مکانی بیمارستان‌ها با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مورد مطالعه: شهر اهواز)، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۲۲، شماره ۶۶، صص ۵۷-۳۵
- ترکی، فرشاد (۱۳۹۸)، بررسی روند توسعه فیزیکی کلان‌شهر اهواز و الگوی گسترش آن در افق ۱۴۰۰، *جغرافیا و مطالعات محیطی*، سال هشتم، شماره ۳۰، صص ۱۰۴-۹۱.
- حسینی سیده سمیه، نادرخانی زلیخا، یزدان بخش بنت الهدی (۱۳۹۵). ارزیابی پایداری زیست‌محیطی شهر اهواز با تأکید بر آلودگی هوا (با استفاده از روش FPPSI)، *محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)*، دوره ۷۰، شماره ۲، صص ۳۱۷-۳۰۹
- خاکپور، براتعلی، ولایتی، سعدالله، کیانژاد، قاسم (۱۳۸۶). الگوی تغییر کاربری اراضی شهر بابل طی سالهای ۱۳۶۷-۱۳۷۸، *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای*، شماره نهم، صص ۴۵-۶۴
- رفیعی، یوسف؛ علوی پناه، سید کاظم؛ ملک محمدی، بهرام؛ رضانی، مهربان؛ نصیری، حسین (۱۳۹۸). تهیه نقشه‌های پوشش اراضی به کمک سنجش از دور با استفاده از خوارزمیک درخت تصمیم‌گیری (مطالعه موردی: پارک ملی و پناهگاه حیات وحش بختگان)، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۲۳، شماره ۳، صص ۹۳-۱۱۰
- سلطانی، علی (۱۳۹۵). *برنامه‌ریزی کاربری زمین شهری*، انتشارات دانشگاه شیراز، چاپ اول.
- شعبانی، مرتضی؛ درویشی، شادمان؛ سلیمانی، کریم (۱۳۹۸). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، شماره ۷۳، صص ۵۴-۳۷
- شکری کوچک، سعید، بهنیا، عبدالکریم (۱۳۹۰). تأثیر پدیده جزیره گرمایی بر تغییر اقلیم محلی، *علوم مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)*، دوره ۳۴، شماره ۱، صص ۴۳-۳۵.
- عبداللهی، جلال، رحیمیان، محمدحسن، دشتکیان، کاظم، شادان، مهدی (۱۳۸۵). بررسی اثرات زیست محیطی تغییر کاربری اراضی روی پوشش گیاهی مناطق شهری با بکارگیری تکنیک سنج از دور، *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، شماره ۲۹، صص ۶-۱
- عزیز مند، کیوان؛ عقیقی، حسین؛ متکان، علی‌اکبر (۱۳۹۹). طبقه‌بندی و پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی سطوح نفوذ ناپذیر شهری و اثرات آن بر شدت جزیره حرارتی، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، سال ۱۱، شماره ۴۱، صص ۳۴-۱۵
- عظیمی، فریده (۱۳۸۷). پهنه‌بندی دمای سطح شهر اهواز با استفاده از تصاویر حرارتی سنجنده ETM، *فصلنامه جغرافیایی سرزمی*، سال پنجم، شماره ۱۷، صص ۱۱۰-۹۷
- علوی پناه، سیدکاظم، رضایی، عبدالعلی، آزادی قطار، سعید، جدی ازغندی، حمیدرضا (۱۳۹۵). بررسی سطوح غیرقابل نفوذ و شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده به عنوان پارامترهای نمایشگر جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره ای، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۲۰، شماره ۵۵، صص ۲۰۷-۱۸۳

- کاظمی، محمد؛ نفرزادگان، علیرضا؛ محمدی، فریبرز (۱۳۹۸). بررسی تاثیر تغییرات کاربری‌های اراضی بر جزایر حرارتی شهرمیناب با استفاده از رویکردهای طبقه‌بندی جنگل تصادفی و واکاوی خود همبستگی فضایی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، شماره ۳۷، صص ۵۵-۳۸
- الماسی، فائقه؛ طاوسی، تقی، حسین‌آبادی، نسرین (۱۳۹۵). واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز، آمایش جغرافیایی فضا، سال ششم، شماره ۱۹، صص ۱۵۰-۱۳۷
- محمودزاده، حسن، پویان جم، آذر، امان زاده، فاطمه (۱۳۹۹). محاسبه دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا در شهر ارومیه، نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۲۴، شماره ۷۳، صص ۳۲۵-۳۴۸
- مزیدی، احمد، حسینی، فاطمه السادات (۱۳۹۴). تاثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجش از دور، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۸، صص ۱۲-۱.
- معاونت آمار و برنامه‌ریزی استان خوزستان (۱۳۹۶). سالنامه آماری استان خوزستان. <https://www.mpo-kz.ir>
- معروف نژاد، عباس، (۱۳۹۰)؛ تاثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی تاثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی؛ فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط، شماره ۱۴، صص ۹۰-۶۵
- موزرمی، سارا؛ سرور، رحیم؛ شریعت‌پناهی، مجید ولی (۱۳۹۹). ارزیابی توسعه پایدار شهری با تاکید بر شاخص‌های توسعه میان افزای شهری - مطالعه موردی: مناطق هشت‌گانه شهر اهواز، پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، دوره ۵۲، شماره ۴، صص ۱۳۳۷-۱۳۱۹.
- میرکتولی، جعفر، حسینی، علی، رضایی نیا، حسن، نشاط، عبدالحمید (۱۳۹۰). آشکار سازی تغییرات پوششی و کاربری اراضی با رویکرد به مجموعه‌های فازی، پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، شماره ۷۹، صص ۳۳-۵۴.
- Almeida, Cláudia & Monteiro, Antonio & Câmara, Gilberto & Cerqueira, Gustavo & Pennachin, Cássio & Batty, Michael. (2005). GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. *International Journal of Remote Sensing - INT J REMOTE SENS.* 26. 759-774.
 - Bek, M.A., Azmy, N. and Elkafrawy, S. (2018), the effect of unplanned growth of urban areas on heat island phenomena, *Ain Shams Engineering Journal*, No 9, 3169-3177.
 - Bowler DE, Buyung-Ali L, Knight TM, Pullin AS (2010) Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landsc Urban Plan* 97:147-155
 - Briassoulis, H. (2019). Analysis of land use change: theoretical and modeling approach, Regional Research Institute, West Virginia University.
 - Cai, G., Ren, H., Yang, L., Zhang, N., Du, M., & Wu, C. (2019). Detailed urban land use land cover classification at the metropolitan scale using a three-layer classification scheme. *Sensors*, 19(14), 3120.
 - Ellis, Christopher & Coppins, Brian. (2010). integrating multiple landscape-scale drivers in the lichen epiphyte response: Climatic setting, pollution regime and woodland spatial-temporal structure. *Diversity and Distributions.* 16. 43 - 52.
 - Comber, A. J., Wadsworth, R. A., & Fisher, P. F. (2008). Using semantics to clarify the conceptual confusion between land cover and land use: the example of 'forest'. *Journal of Land Use Science*, 3(2-3), 185-198
 - Dhar, R. B., Chakraborty, S., Chattopadhyay, R., & Sikdar, P. K. (2019). Impact of land-use/land-cover change on land surface temperature using satellite data: A case study of Rajarhat Block, North 24-Parganas District, West Bengal. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(2), 331-348.
 - El-Hattab, M., Amany, S. M., & Lamia, G. E. (2018). Monitoring and assessment of urban heat islands over the Southern region of Cairo Governorate, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 311-323.
 - Ellis, Christopher & Coppins, Brian. (2010). integrating multiple landscape-scale drivers in the lichen epiphyte response: Climatic setting, pollution regime and woodland spatial-temporal structure. *Diversity and Distributions.* 16. 43 - 52.

- Gavrilidis, A. A., Niță, M. R., Onose, D. A., Badiu, D. L., & Năstase, I. I. (2019). Methodological framework for urban sprawl control through sustainable planning of urban green infrastructure. *Ecological Indicators*, 96, 67-78.
- <http://Earthexplorer.usgs.gov>
- <https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en>
- Isaya Ndossi, M., & Avdan, U. (2016). Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin. *Remote sensing*, 8(5), 413.
- Jedlovec G, Crane D, Quattrochi D (2017) urban heat wave hazard and risk assessment. *ResultsPhys* 7:4294_4295.
- Karakuş, C. B. (2019). The Impact of Land Use/Land Cover (LULC) Changes on land surface temperature in Sivas city center and its surroundings and assessment of urban heat island. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 55(4), 669-684.
- Khamchiangta, D., & Dhakal, S. (2020). Time series analysis of land use and land cover changes related to urban heat island intensity: Case of Bangkok Metropolitan Area in Thailand. *Journal of Urban Management*, 9(4), 383-395.
- Kumar D, Shekhar S (2015). Statistical analysis of land surface temperature–vegetation indexes relationship through thermal remote sensing. *Ecotoxicol Environ Saf*, 121: 39–44.
- Li, Jiayang, Zheng, Xinqi ; Zhang Chunxiao and Chen Youmin, (2018), Impact of Land-Use and Land-Cover Change Meteorology in the Beijing–Tianjin–Hebei Region from 1990 to 2010, *Sustainability* 2018, 10, 176
- 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
- Mehrota, s., bardhan, r., ramamrithan, k. (2018), Urban Informal Housing and Surface Urban Heat Island Intensity: Exploring Spatial Association in the City of Mumbai, *Environment and Urbanization Asia*, 9(2), 158-177
- Mehrotra, S., Bardhan, R., & Ramamritham, K. (2018). Urban informal housing and surface urban heat island intensity: exploring spatial association in the City of Mumbai. *Environment and Urbanization ASIA*, 9(2), 158-177.
- Muster, Sina & Langer, M. & Abnizova, A. & Young, K.L. & Boike, J. (2015). Spatio-temporal sensitivity of MODIS land surface temperature anomalies indicates high potential for large-scale land cover change detection in Arctic permafrost landscapes. *Remote Sensing of Environment*. 168-179
- Muzaky, H., & Jaelani, L. M. (2019). Analysis of the impact of land cover on Surface Temperature Distribution: urban heat island studies i} n Medan and Makassar. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 389, No. 1, p. 012047). IOP Publishing.
- Nasrollahi, N., Hatami, Z., & Taleghani, M. (2017). Development of outdoor thermal comfort model for tourists in urban historical areas; a case study in Isfahan. *Building and Environment*, 125, 356-372.
- Ndossi, M. I., & Avdan, U. (2016). Inversion of land surface temperature (LST) using Terra ASTER data: a comparison of three algorithms. *Remote Sensing*, 8(12), 993.
- Ning, J., Gao, Z., Meng, R., Xu, F., & Gao, M. (2018). Analysis of relationships between land surface temperature and land use changes in the Yellow River Delta. *Frontiers of earth science*, 12(2), 444-456.
- Pascal M, Laaidi K, Ledrans M, Baffert E, Caserio-Schönemann C, Le Tertre A, Manach J, Medina
- S, Rudant J, Empereur-Bissonnet P (2005) France’s heat health watch warning system. *Int J Biometeorol* 50(3):144–153
- Rishi, Parul & Khuntia, Gayatri. (2012). Urban Environmental Stress and Behavioral Adaptation in Bhopal City of India. *Urban Studies Research*, Vol, 2012.

- Robine J-M, Cheung SLK, Le Roy S, Van Oyen H, Griffiths C, Michel J-P, Herrmann FR (2008), Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. C R Biol 331:171-178.
- Sun, S., Xu, X., Lao, Z., Liu, W., Li, Z., García, E. H., & Zhu, J. (2017). Evaluating the impact of urban green space and landscape design parameters on thermal comfort in hot summer by numerical simulation. Building and Environment, 123, 277-288.
- Tepanosyan, G., Muradyan, V., Hovsepian, A., Pinigin, G., Medvedev, A., & Asmaryan, S. (2021). Studying spatial-temporal changes and relationship of land cover and surface Urban Heat Island derived through remote sensing in Yerevan, Armenia. Building and Environment, 187, 107390.
- Wang, S., Ma Q., Ding H. Liang H. (2018), Detection of urban expansion and land surface temperature chang using multi-temporal Inadsat images, Resources, Conseration and Recycling, vol 128, 526-534.