

ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر آلیبدوی سطحی و دمای سطح زمین مطالعه موردی: شهرهای ساری تا چالوس

عباس ابراهیمی

دانشجوی دکتری اقلیم شهری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، ایران

ظاهر صفراد*

استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، ایران

غلامرضا جانباز قبادی

استادیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۹

چکیده

تغییر کاربری اراضی شهرها منجر به تغییر آلیبدو و دمای سطح زمین می شود. آلیبدو سطحی نقش مهمی در بودجه انرژی سطح زمین و اقلیم ایفا می کند. این مقاله تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر آلیبدو و دمای سطح زمین را بررسی می کند. بدین منظور از ۳ شکل ماهواره ای لندست استفاده شد. ویژگی های حرارتی شهری با بررسی روابط بین دمای سطح زمین (LST) و شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص تفاوت نرمال شده مناطق ساخته شده (NDBI) تجزیه و تحلیل شد. ارتباط معکوس و معنادار بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی و ارتباط مستقیم و معنادار بین دمای سطح زمین با هر یک از متغیرهای آلیبدو (Albedo) و شاخص اراضی ساخته شده نشان داده شد. طی سال های ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۷، اراضی انسان ساخت که سطوح نفوذ ناپذیر را شکل می دهند جایگزین سطوح طبیعی و نفوذپذیر شده اند به عبارت دیگر کاهش شاخص پوشش گیاهی و افزایش شاخص اراضی ساخته شده و آلیبدو در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است تغییرات رخ داده در پوشش سطح زمین به صورت افزایش دمای سطح زمین در شهرها نمود پیدا کرده است. ارتباط بین تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی و دمای سطح زمین نسبتاً ضعیف است، اما همبستگی مثبت و قوی بین آلیبدو، اراضی ساخته شده و دمای سطح زمین وجود دارد. افزایش اراضی ساخته شده با افزایش آلیبدو و افزایش دمای سطح زمین همراستا بوده است. افزایش ساخت و ساز در شهرها به واسطه افزایش سطوح نفوذناپذیر منجر به افزایش آلیبدو و متعاقب آن افزایش دمای سطحی شده است.

واژگان کلیدی: تغییر کاربری اراضی شهری، دمای سطح زمین، آلیبدو سطحی، شهرهای ساری تا چالوس.

مقدمه

در طول قرن نوزدهم، تنها ۱۰ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کردند. با این حال، جمعیت شهری در حال حاضر به ۵۵/۳ درصد رسیده است و ممکن است تا سال ۲۰۵۰ به ۶۸/۴ درصد افزایش یابد (گریم، ۲۰۰۸؛ بخش جمعیت سازمان ملل متحد، چشم‌اندازهای شهرنشینی جهان، ۲۰۲۱). آلودگی سطح زمین^۱ (LSA) به عنوان نسبت تابش خورشیدی منعکس شده در سطح زمین به کل تابش خورشیدی ورودی تعریف می‌شود (Dickinson, 1983). این یک متغیر فیزیکی حیاتی است که با کنترل بودجه انرژی تابشی سیاره و تقسیم این انرژی بین جو و سطح بر آب‌وهوای زمین تأثیر می‌گذارد. از این رو، اندازه‌گیری LSA ابزار کمی برای بررسی انتقال انرژی بین سطح زمین و جو و محدود کردن بهتر تلاش‌های مدل‌سازی آب‌وهوای منطقه‌ای و جهانی فراهم می‌کند (Shuai, et. All, 2011). آلودگی سطح زمین یک مؤلفه اساسی در تعیین آب‌وهوای زمین است که برای ارزیابی مدل‌های آب‌وهوایی جهانی و منطقه‌ای و همچنین برای محاسبه تعادل انرژی سطح ضروری است. پویایی‌های فصلی و بلندمدت پوشش گیاهی شهری که به طور قابل توجهی بر اقلیم تأثیر می‌گذارد، با تغییرات چشمگیر آلودگی منعکس می‌شود (Foody G., Curran P. J, 1994, Oleson, et. All, 2003). سطوح شهری بازتابنده خورشیدی (بام‌های سفید و روسازی‌های با رنگ روشن) می‌توانند آلودگی یک منطقه شهری را حدود ۰٫۱ افزایش دهند. افزایش آلودگی مناطق مسکونی و شهری به نوبه خود می‌تواند دمای اتمسفر را کاهش دهد و به طور بالقوه می‌تواند مقداری از افزایش دمای پیش‌بینی شده ناشی از گرم شدن کره زمین را جبران کند (Benas, N. and N. Chrysoulakis, 2014) با توجه به شهرنشینی سریع، مناطق وسیعی از سطوح طبیعی با نفوذپذیری بالا توسط سطوح مصنوعی با نفوذپذیری کم جایگزین می‌شوند؛ بنابراین، تعادل انرژی سطح تغییر می‌کند و در نهایت باعث ایجاد اثر جزیره حرارتی شهری می‌شود (ریزوان و همکاران، ۲۰۰۸؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۹). طاهها (۱۹۹۷) نشان داد که بیش از ۹۰٪ از کربن انسانی تولید گازهای گلخانه‌ای در شهرها تولید می‌شود. پاک‌سازی زمین برای ساختن شهرها و جاده‌ها و تقاضا برای کالاها و منابع، توسط ساکنان شهری، از گذشته تا به امروز، دلیل عمده اکثر تغییرات کاربری پوشش زمین، از جمله جنگل‌زدایی است که موجب کاهش مقدار رسوب کربن جهانی شده است. تغییرات سطوح زمین و اتمسفر عمیقاً با ساخت و ساز و عملکرد شهرها مرتبط هستند (ونگ، ۲۰۰۳؛ ونگ، ۲۰۰۹) اختلافات قابل توجهی در آلودگی سطح در مقایسه مدل‌های سطح زمین و اقلیم و داده‌های ماهواره‌ای یافت می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۳)، که منجر به شبیه‌سازی‌های متفاوتی از تعادل انرژی سطحی می‌شود. با توجه به غلبه بازخوردهای تشعشی در تغییرات آب‌وهوا، انجام پژوهش‌های عمیق‌تر در مورد آلودگی سطح ضروری است. سنجش‌ازدور تصاویر ماهواره‌ای یک ابزار ضروری برای تخمین آلودگی سطح زمین در وضوح‌های مختلف طیفی، مکانی، زمانی و زاویه‌ای است. در طول دهه‌های گذشته، بسیاری از محصولات آلودگی تولیدشده توسط ماهواره به دست آمده‌اند (Zoran, M., A. Dida, et al. 2015). در واقع مشاهدات چند طیفی ماهواره‌ای قادر به استخراج آلودگی طیفی هستند (Schaepman, 2006). مناطق شهری و شهرهای عمدتاً

¹ Land Surface Albedo

مترکم شده به دلیل فعالیت‌ها و فرآیندها در سطح شهر مسئول انتشار گازها و ذرات معلق هستند که مستقیماً یا از طریق فرآیندهای ثانویه (یعنی واکنش شیمیایی، تغییر فاز) به عنوان "نقاط داغ آلودگی محیطی" نامیده می‌شوند. انحلال و غیره می‌تواند بر سلامت انسان تأثیر بگذارد (Zoran, M., A. Dida, et al. 2015). آلبیدوی سطح پوشش زمین، میزان بازتاب نور خورشید است. بسته به رنگ و روشنایی آن، تغییر سطح پوشش زمین شهری می‌تواند تأثیر مثبت (سردکننده) یا منفی (گرم شدن) بر تغییرات آب‌وهوا داشته باشد (Bonan, G. B. 2008). پوشش گیاهی یکی از متغیرهای مهم وضعیت سطح زمین است که آلبیدوی سطح را تنظیم می‌کند. پوشش گیاهی کم، بیشترین دما را نسبت به طبقات با پوشش گیاهی متوسط دارد (شعبانی و همکاران ۱۳۹۸). داده‌های تجربی مزارع نشان داد که افزایش پوشش درختچه‌ای می‌تواند آلبیدوی تابستان را کاهش دهد و در نتیجه بازخورد مثبتی برای گرم شدن آب‌وهوا فراهم کند (Blok et al. 2011). جنگل‌زدایی در مناطق استوایی با افزایش آلبیدو و کاهش تبخیر تأثیر قابل‌توجهی بر اثر گرمایش محلی دارد (Achour et al., 2018; Mahmood et al., 2014; Zeng et al., 2021). مرتبط با تغییرات پوشش گیاهی می‌تواند خشک‌سالی طولانی‌ای را که در دوره ۲۰۰۲-۲۰۰۷ در جنوب شرقی استرالیا رخ داده است، تقویت کند (Evans et al., 2017). رابطه بین پوشش گیاهی و آلبیدو در فضا و همچنین در زمان پیچیده است. (بونوا و همکاران ۲۰۰۰) دریافتند که افزایش در شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده منجر به کاهش آلبیدو در عرض‌های شمالی و افزایش در مناطق استوایی شد. بررسی رابطه شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی و حرارت سطح با استفاده از تحلیل هم‌بستگی و رگرسیونی، نقش مؤثر پوشش گیاهی در تعدیل دمای سطح را نشان می‌دهد (نادی زاده شورابه و همکاران ۱۳۹۷). برخی مطالعات گزارش داده‌اند که دمای سطح‌زمین به ترکیب انواع کاربری اراضی اطراف بستگی دارد (شاکر و همکاران، ۲۰۱۹) و اندازه و ترکیب آن ممکن است منجر به اثرات متفاوتی در شهرها شود. تصاویر حرارتی به‌طور گسترده برای استخراج دمای سطح‌زمین و بررسی جزیره حرارتی شهری مورداستفاده قرار گرفته‌اند. این مطالعات بیشتر بر روی رابطه بین دمای سطح‌زمین و شاخص پوشش گیاهی، مانند شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی، برای مثال، رابطه دمای سطح‌زمین و شاخص پوشش گیاهی برای بازیابی پارامترهای بیوفیزیکی سطح، توسط کاستاس و همکاران (کندال، ۱۹۷۵) برای استخراج تغییرات حرارتی زیر پیکسل و توسط سوبرینو و همکاران (۲۰۰۰) برای تجزیه و تحلیل روند تغییرات پوشش زمین، مورداستفاده قرار گرفته است.

مالمیری و عربی علی‌آباد (۱۳۹۹) به بررسی برآورد آلبیدوی سطح زمین در کاربری‌های مختلف در دشت یزد-اردکان پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین ضریب آلبیدو مربوط به اراضی بایر با میانگین ۰/۳۱ و کمترین مقدار مربوط به اراضی کشاورزی با میانگین ۰/۲۰ است و به ترتیب از بیشترین تا کمترین ضریب آلبیدو برای کاربری‌های اراضی بایر، مناطق مسکونی، تپه ماسه‌ای، مرتع، کوهستان و کشاورزی است بررسی روند تغییرات آلبیدو در سال‌های مورد مطالعه در هر کاربری نشان داد که آلبیدو روند ثابتی داشته است و می‌توان با اطمینان زیاد از تصاویر لندست جهت تخمین ضریب آلبیدوی سطحی استفاده کرد. ساعد پناه و همکاران (۱۴۰۰) باهدف بررسی تغییر کاربری اراضی و دمای سطح زمین دریافتند

پوشش‌های گیاهی و آب در سال‌های مورد مطالعه کمترین دمای سطحی را به خود اختصاص داده‌اند. اسکندی دامنه و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که در دامنه زمانی پژوهش، مناطق مسکونی و انسان‌ساخت افزایش ۱۴/۲۰ درصدی و کاربری‌های پوشش گیاهی، اراضی بایر با پوشش گیاهی کم و اراضی شور و بدون پوشش گیاهی نیز به ترتیب کاهش ۷۶/۳، ۲۳/۸ و ۲۲/۲ درصدی داشتند. درختی و همکاران (۱۳۹۹) باهدف ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر آلبیدوی سطحی و دمای سطح زمین در حوضه آبخیز اهر چای دریافتند بیشترین تغییرات کاربری در اراضی مرتعی و پس‌از آن در زراعت دیم مشاهده شد. تبدیل مراتع به زراعت دیم باعث کاهش پوشش گیاهی و تغییر الگوی توزیع و روند افزایش دمای سطح زمین و میزان آلبیدوی سطحی شده است که این میزان برای کاربری زراعت دیم با افزایش دمای تقریباً ۸ درجه سانتی‌گراد و آلبیدوی سطحی ۰/۰۰۳ بوده است؛ بنابراین ملاحظه شد که تغییرات کاربری روی داده منجر به تغییر در دمای سطح زمین و آلبیدوی سطحی شده است. Chrysoulakis و Benas به بررسی تخمین سری‌های زمانی و روندهای آلبیدوی سطح زمین بر اساس داده‌های MODIS پرداختند نتایج نشان داد یک وابستگی شدید آلبیدو به نوع پوشش زمین وجود دارد. نتایج هم‌چنین تنوع مکانی و زمانی قابل‌توجهی را در سطح آلبیدوی سطح در منطقه مورد بررسی نشان داد که پتانسیل بالای تصاویر ماهواره‌ای - سنجش‌ازدور را در حمایت از مطالعات مرتبط با تغییرات آب‌وهوایی، در مقیاس محلی و منطقه‌ای برجسته می‌کند. Guojin و همکاران (۲۰۲۱) باهدف شناسایی تغییرات فضایی و زمانی آلبیدو سطح زمین و عوامل مؤثر بر آن در فلات تبت دریافتند که پوشش برف عامل غالب برای تغییر آلبیدو در مناطق کوهستانی بود و تغییر پوشش گیاهی بر تنوع آلبیدو در شرق، جنوب و شمال غربی تبت غالب بود. به‌طور خاص، تغییرات در پوشش برف بیشتر از پوشش گیاهی به تغییرات آلبیدوی بین سالانه در منطقه سه رودخانه Headwater کمک کرد.

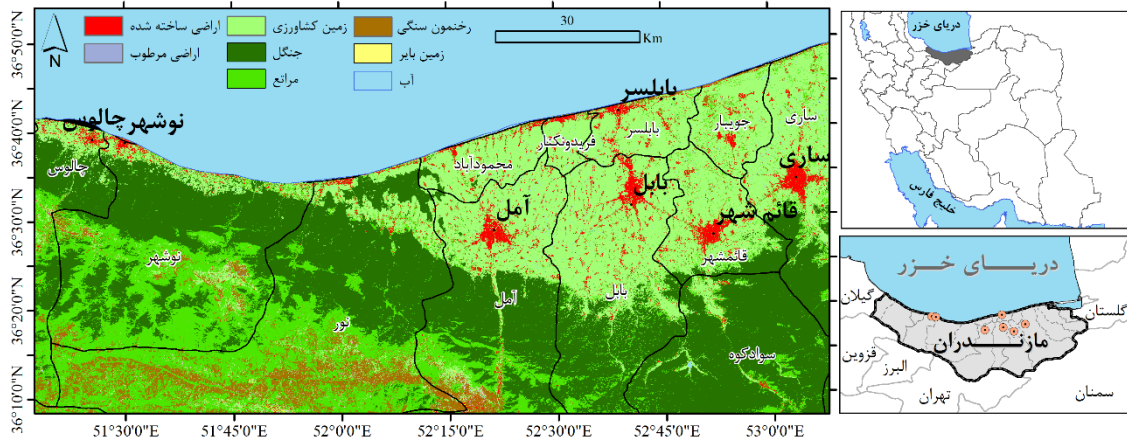
هدف از پژوهش حاضر، بررسی تغییر کاربری اراضی و تأثیر آن بر روی آلبیدوی سطح زمین و دمای سطح زمین در شهرهای (ساری، قائم‌شهر، بابل، بابلسر، آمل، نور و چالوس) در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ بوده است. قرارگیری منطقه مورد مطالعه در کرانه جنوبی دریای خزر ویژگی‌های متمایز اقلیمی را سبب شده این ویژگی‌ها جاذبه‌های فراوانی برای توسعه فیزیکی شهرها مهیا کرده که تغییرات وسیعی را در نوع پوشش زمین ایجاد کرده است تغییرات رخ داده در سطح زمین، تغییر در ویژگی‌های خرد اقلیم را باعث می‌شوند. پژوهش پیش رو سعی دارد تا این تغییرات را از منظر اقلیم شهری با تأکید بر ویژگی‌های آلبیدو و دمای سطح زمین مورد توجه قرار دهد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال ایران و یک منطقه معتدل قرار گرفته که شهرهای سواحل میانی دریای خزر، (از شهرستان ساری تا چالوس) را در برمی‌گیرد؛ که در ۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه شمال غربی تا ۵۳ درجه و ۱۸ دقیقه شمال شرقی قرار گرفته

است. این منطقه از مهم‌ترین مناطق کشور از نظر پوشش گیاهی است؛ و در جلگه مازندران قرار گرفته است. تغییر کاربری اراضی، رشد جمعیت، جنگل‌زدایی و تخریب این پوشش‌های گیاهی، ایجاد جاده‌های آسفالتی و ساخت مناطق مسکونی مورد نیاز جمعیت ساکن در منطقه، می‌تواند تغییر در عناصر خرد اقلیم را سبب شود.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، شکل پس زمینه، کاربری اراضی استخراج شده از داده‌های سنجنده سنتینل توسط Ghorbanian et al (2020) است.

منطقه مورد مطالعه توسط یک شکل ماهواره‌ای لندست پوشش داده شده است که شهرهای، ساری، بابل، بابلسر، قائمشهر، آمل، نور و چالوس را شامل می‌شود. برای شناسایی و بررسی میزان تغییر کاربری اراضی و تأثیر آن بر روی آلودگی سطحی و دمای سطح زمین سه شکل مجزا از سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ در ماه آگوست (ماه آگوست به خاطر داشتن کمترین ابرناکی در مقایسه با سایر ماه‌ها انتخاب شد در جدول ۲ شرایط هواشناسی منطقه در روزهای تصویربرداری آورده شده است) از وبسایت زمین‌شناسی آمریکا^۲ دانلود شد. به منظور افزایش دقت نتایج سعی شده تا ماه آگوست برای تمام سال‌ها و روزهای نزدیک به هم با در آن ماه انتخاب گردد. همین‌طور برای مطالعه روند تغییرات در یک دوره تقریباً ۲۰ ساله استفاده شد و با توجه به محدودیت در انتخاب تصاویر از ۳ سال ذکر شده استفاده شده است.

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده در پژوهش

زمان گذر از منطقه	تاریخ	NUMBER OF BANDS	WRS-ROW	WRS-PATH	قدرت تفکیک	ماهواره
۰۶:۴۶:۲۸ ق.ظ	۱۹۹۸/۰۸/۰۶	۷	۳۵	۱۶۴	۳۰ متر	لندست ۵
۰۶:۵۸:۲۸ ق.ظ	۲۰۱۰/۰۸/۰۷	۷	۳۵	۱۶۴	۳۰ متر	لندست ۵
۰۷:۰۸:۰۷ ق.ظ	۲۰۱۷/۰۸/۱۰	۱۱	۳۵	۱۶۴	۳۰ متر	لندست ۸

مأخذ: نگارندگان

² earthexplorer.usgs.gov

جدول ۲: شرایط جوی منطقه در روزهای اخذ تصاویر ماهواره ای.

ایستگاه	زمان	میزان بارندگی ۲۴ ساعته	حداکثر سرعت باد	جهت باد	دما	رطوبت نسبی	تبخیر
نوشهر	۱۹۹۸/۰۸/۰۶	64.84	10	310	26.9258	85.5465	158.2
نوشهر	۲۰۱۰/۰۸/۰۷	135.1	14	280	27.1194	75.1613	183.6
نوشهر	۲۰۱۷/۰۸/۱۰	0.3	11	300	28.271	72.5847	183.6
بایلسر	۱۹۹۸/۰۸/۰۶	51.11	9	280	27.8871	79.371	148.2
بایلسر	۲۰۱۰/۰۸/۰۷	29.25	8	320	28.4258	72.8387	180.9
بایلسر	۲۰۱۷/۰۸/۱۰	13.2	15	250	29.1935	73.996	187.2
ساری	۲۰۱۰/۰۸/۰۷	12.63	10	310	28.7903	65.1694	187.7
ساری	۲۰۱۷/۰۸/۱۰	1.01	11	300	29.4355	68.7984	206.7
آمل	۲۰۱۰/۰۸/۰۷	34.51	7	310	27.3581	76.1411	173.8
آمل	۲۰۱۷/۰۸/۱۰	12.0	10	270	28.629	77.0524	206.8

مأخذ: نگارندگان

روش پژوهش

در این پژوهش جهت شناسایی ویژگی‌های سطح زمین از شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی برای نشان دادن پوشش گیاهی سطح زمین، شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده برای نمایش اراضی ساخته شده و از دمای سطح زمین برای دمای سطح زمین بهره گرفته شده است همچنین آلودگی سطح زمین نیز از طریق خصوصیات طیفی پدیده‌های سطح زمین محاسبه شد که نحوه محاسبه آن‌ها در زیر آمده است. در این پژوهش برای محاسبه نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (جدول ۳) استفاده شده است و با توجه به خروجی آن مشاهده شد که اکثر متغیرها دارای توزیع نرمال نیستند و باید از آزمون‌های ناپارامتریک استفاده شود. در نتیجه با توجه به ناپارامتریک بودن داده‌های پژوهش از آزمون اسپیرمن برای تحلیل رابطه متغیرها استفاده شده است.

آلودگی سطح زمین

آلودگی سطحی به عنوان نسبت تابش بازتابی به تابش موج کوتاه ورودی تعریف می‌شود. در سبال^۳ از طریق مراحل زیر محاسبه می‌شود:

درخشندگی طیفی برای هر باند $(L\lambda)$ با (رابطه ۱) محاسبه می‌شود؛ که انرژی تابشی خروجی از باند مشاهده‌ای در بالای جو توسط ماهواره است.

$$L\lambda = \left\{ \frac{LMAX-LMIN}{QCALMAX-QCALMIN} \right\} \times (DN - QCALMIN) + LMIN \quad \text{رابطه (۱)}$$

آلودگی در بالای اتمسفر α_{toa} با (رابطه ۲) محاسبه می‌شود. آلودگی تعدیل نشده برای انتقال اتمسفر است.

$$\alpha_{toa} = \sum (\omega\lambda \times \rho\lambda) \quad \text{رابطه (۲)}$$

³ SEBAL

جایی که؛ $\rho\lambda$ بازتاب محاسبه شده در مرحله ۲ است و $\omega\lambda$ یک ضریب وزنی برای هر باند است که به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\omega\lambda = \frac{ESUN\lambda}{\sum ESUN\lambda} \quad \text{رابطه (۳)}$$

مرحله نهایی محاسبه سطح آلبیدو است (رابطه ۵). بازتاب سطح با اصلاح αtoa برای انتقال اتمسفر محاسبه می شود.

$$a = \frac{\alpha\text{toa}-\text{apath-radiance}}{tsw2} \quad \text{رابطه (۴)}$$

جایی که؛ $\alpha\text{path_radiance}$ سهم متوسط تابش خورشیدی ورودی در تمام باندها است که قبل از رسیدن به سطح زمین به ماهواره پراکنده می شود و tsw قابلیت انتقال جو است.

شاخص نرمال پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده اراضی ساخته شده:

شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده به ترتیب برای توصیف پوشش گیاهی و اراضی ساخته شده سطح زمین استفاده خواهند شد. محاسبه شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی رابطه (۵) که عموماً برای بیان تراکم پوشش گیاهی استفاده شده است (Purevdorj et al., 1998) به صورت زیر است:

$$NDVI = \frac{p4 - p3}{p4 + p3} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در آن $p3$ مقدار بازتاب باند قرمز مرئی (باند ۳) و $p4$ مقدار بازتاب باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴) برای لندست ۵ است، برای تصویر لندست ۸ $p4$ باند ۵ و $p3$ باند ۴ است. مقادیر شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی از ۱ تا -۱ متغیر است هرچقدر مقدار این شاخص بیشتر باشد تراکم پوشش گیاهی نیز بیشتر خواهد بود معمولاً اعداد بزرگ تر از $0/3$ پوشش گیاهی را نشان می دهند و اعداد کمتر از صفر نیز بیانگر سطوح آبی هستند.

یکی دیگر از شاخص های مورد استفاده در این مطالعه که به اراضی ساخته شده حساس است، شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده است (Zha et al., ۲۰۰۳) که به صورت رابطه (۶) به دست می آید.

$$NDBI = \frac{b5 - b4}{b5 + b4} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن $b5$ و $b4$ به ترتیب محدوده مادون قرمز میانی (باند ۵ در لندست ۵ و باند ۶ در لندست ۸) و باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴ در لندست ۵ و باند ۵ در لندست ۸) است. در این مطالعه هر دو شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده برای افتراق انواع تغییر کاربری- پوشش گیاهی با تنظیم مقادیر آستانه مناسب استفاده شدند. شایان ذکر است که این شاخص ها بسته به مناطق مورد مطالعه، زمان گرفتن تصویر و شرایط مختلف جو و بارش، ممکن است محدوده مقادیر متفاوتی برای انواع مختلف پوشش زمین داشته باشند.

دمای سطح زمین

دمای سطح زمین دمای تابشی سطح زمین است که نقش مهمی در فیزیک سطح زمین از طریق فرآیند تبادل انرژی و آب با جو دارد. استخراج دمای سطح زمین از داده های حرارتی ماهواره ای به چندین روش نیاز دارد: کالیبراسیون رادیومتریک

حسگر، تصحیح انتشار اتمسفر و سطح، توصیف تنوع فضایی در پوشش زمین و غیره. از آنجایی که محتوای بخار آب جوی نزدیک به سطح در طول زمان به دلیل فصلی بودن و بین آن‌ها متفاوت است. -تغییر سالیانه شرایط جوی، مقایسه مستقیم مقادیر دمایی نشان داده شده توسط دمای سطح زمین بین دوره‌های متعدد نامناسب است.

تابش (LT) با استفاده از تخمین خاص لندست منحنی پلانک (رابطه (۷)) به دمای سطح تبدیل می‌شود (چاندر و مارکهام، ۲۰۰۳):

$$LST = \frac{K_2}{\ln[(K_1/LT)+1]} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن دمای سطح زمین دما برحسب کلونین (K)، k_1 و k_2 ضرایب کالیبراسیون هستند.

بحث و یافته‌ها

در پژوهش حاضر برای بررسی ویژگی‌های سطح زمین از چهار متغیر آلبیدو، شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده و دمای سطح زمین طی سال‌های ۱۹۷۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ استفاده شده است و برای بررسی ارتباط بین آن‌ها از آزمون‌های پارامتریک و ناپارامتریک متناسب با آن‌ها بهره گرفته شده است در این راستا آزمون کلموگروف-اسمیرنوف روی داده‌های نمونه برداری شده جهت بررسی نرمال بودن توزیع آن‌ها انجام شد (جدول ۳). در ادامه نتایج حاصل از هر یک از متغیرها خواهد آمد.

جدول ۳: نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برای متغیرهای این پژوهش در منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷

		Normal Parameters a,b		Test Statistic	Sig. (2-tailed)
		میانگین	انحراف معیار		
۱۹۹۸	شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی	0.235	0.184	0.116	0.000
	شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده	0.108	0.128	0.125	0.000
	آلبیدو	0.157	0.036	0.029	0.200
	دمای سطح زمین	31.898	2.192	0.087	0.001
۲۰۱۰	شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی	0.199	0.167	0.139	0.000
	شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده	0.128	0.124	0.122	0.000
	آلبیدو	0.181	0.030	0.052	0.200
	دمای سطح زمین	36.160	2.130	0.083	0.001
۲۰۱۷	شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی	0.211	0.118	0.149	0.000
	شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده	-0.040	0.097	0.171	0.000
	آلبیدو	0.169	0.032	0.05	0.200
	دمای سطح زمین	38.199	1.695	0.047	0.200

مأخذ: نگارندگان

آلبیدوی سطح زمین

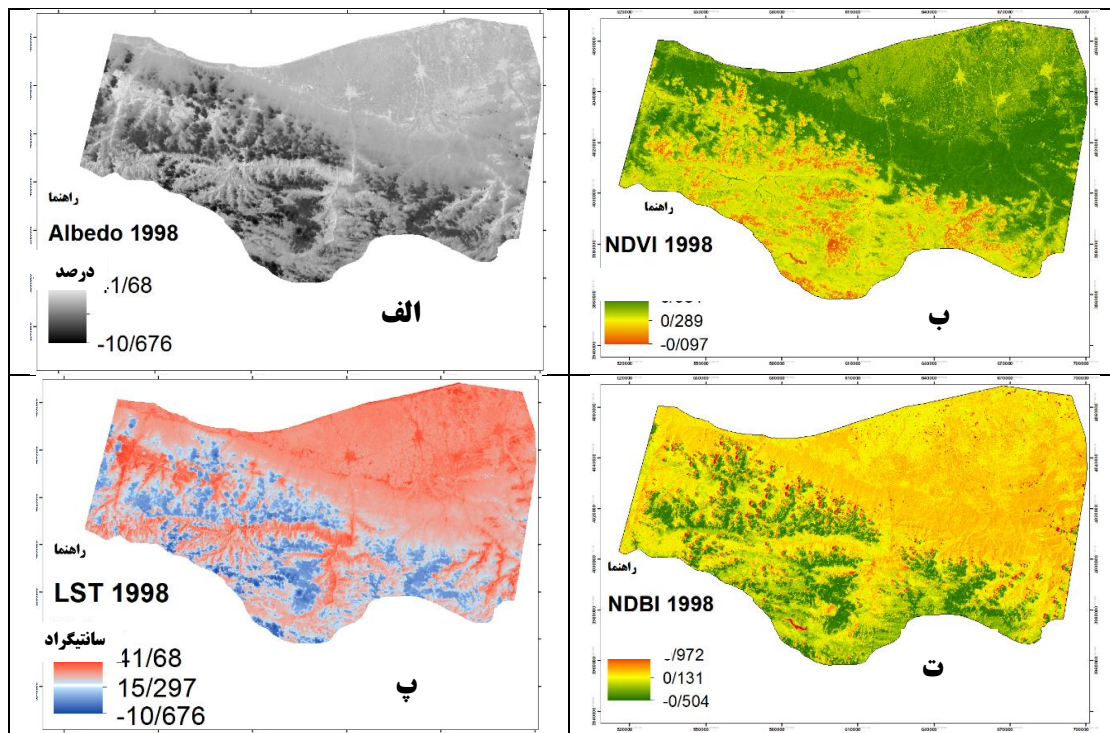
در شکل ۲ (الف)، ۳ (الف) و ۴ (الف) میزان آلبیدو در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ نمایش داده شده است. با توجه به شکل فوق‌الذکر و شکل ۷ می‌توان مشاهده نمود، کمترین میزان آلبیدو در سال ۱۹۹۸ بوده و در سال ۲۰۱۰ بیشتر از سال ۲۰۱۷ بوده است که یکی از دلایل آن کاهش پوشش گیاهی و افزایش مناطق ساخته شده نسبت به سال ۱۹۹۸ است در سال ۲۰۱۷ با کاهش شاخص نرمال شده مناطق ساخته شده و افزایش شاخص نرمال شده پوشش گیاهی میزان آلبیدو نسبت به سال ۲۰۱۰ کاهش یافته است.

شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده مناطق ساخته شده

در تشکلهای ۲، ۳ و ۴ شاخص نرمال شده مناطق ساخته شده در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ نمایش داده شده است با توجه به تصاویر یادشده و راهنمای نقشه می‌توان مشاهده نمود، برای شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده رنگ سبز کمترین و رنگ قرمز بیشترین مقدار این شاخص و برای شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی رنگ سبز کمترین و رنگ قرمز بیشترین مقدار شاخص پوشش گیاهی را در منطقه مورد مطالعه به نمایش گذاشته است. همان‌طور که از شکل ۵ قابل مشاهده است در سال ۱۹۹۸ بیشترین میزان پوشش گیاهی و کمترین میزان آلبیدو را شاهد بوده‌ایم و در سال ۲۰۱۰ با کاهش محسوس پوشش گیاهی و افزایش مناطق ساخته شده مقدار آلبیدو افزایش یافته است هم‌چنین در سال ۲۰۱۷ نسبت به سال ۲۰۱۰ برخلاف انتظار میزان پوشش گیاهی افزایش و به تبع آن مناطق ساخته شده و آلبیدو کاهش یافته است که بیانگر کاهش پوشش گیاهی و متعاقب آن افزایش مناطق ساخته شده است.

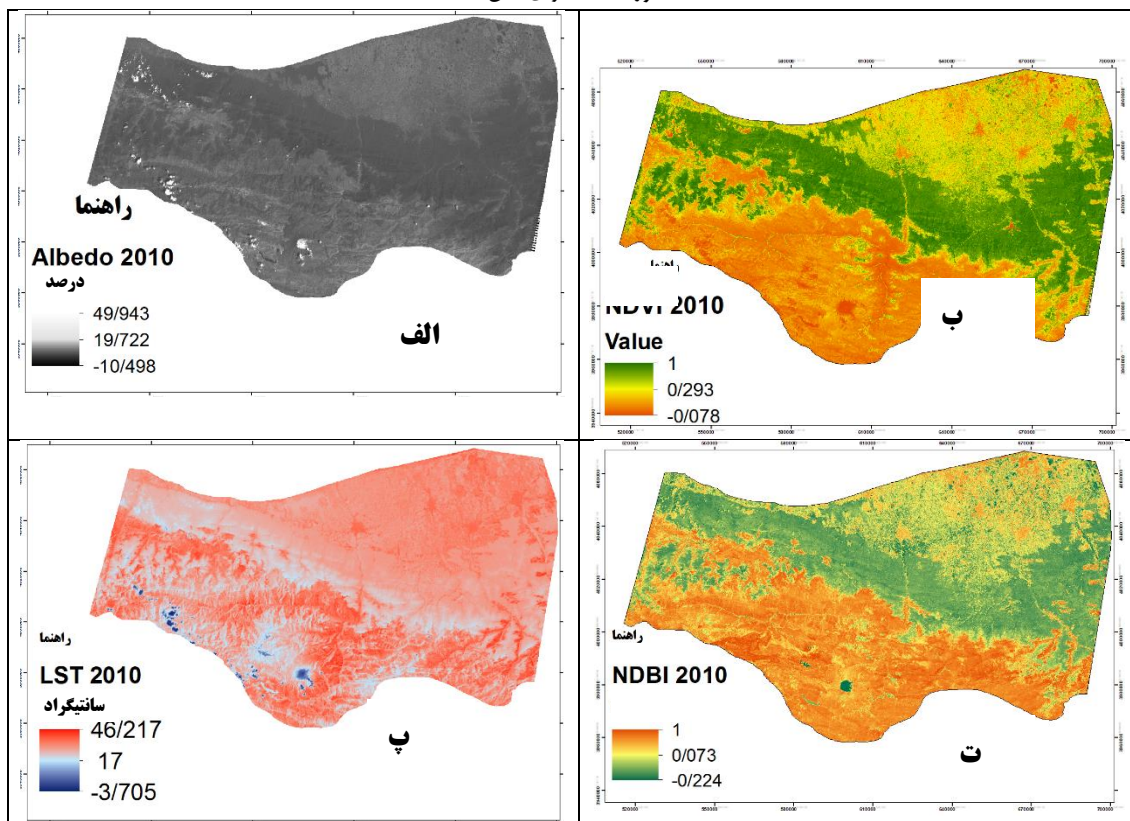
دمای سطح زمین

شکل ۲ (پ)، ۳ (پ) و ۴ (پ) مقدار دمای سطح زمین در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ نمایش داده شده است. با توجه به شکل اشاره شده و راهنمای نقشه می‌توان مشاهده کرد، رنگ قرمز نشان‌دهنده درجه حرارت‌های بیشتر و رنگ آبی مبین درجه حرارت‌های کمتر در منطقه مورد مطالعه است همان‌طور که از شکل ۲ (ب و ت)، ۳ (ب و ت) و ۴ (ب و ت) قابل ملاحظه است در مناطق جنوبی سواحل دریای خزر (جلگه‌ها و دشت‌ها) که به دلیل تغییر کاربری اراضی و گسترش شهرنشینی پوشش گیاهی کاهش و مناطق مسکونی افزایش یافته است بیشترین مقدار دمای سطح زمین قابل مشاهده است. در شکل ۵ میانگین دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه طی سال‌های مورد مطالعه نشان داده شده است که نشان می‌دهد دمای سطح زمین در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ به ترتیب ۳۱،۷۷، ۳۵،۹۵ و ۳۸،۰۵ بوده است.



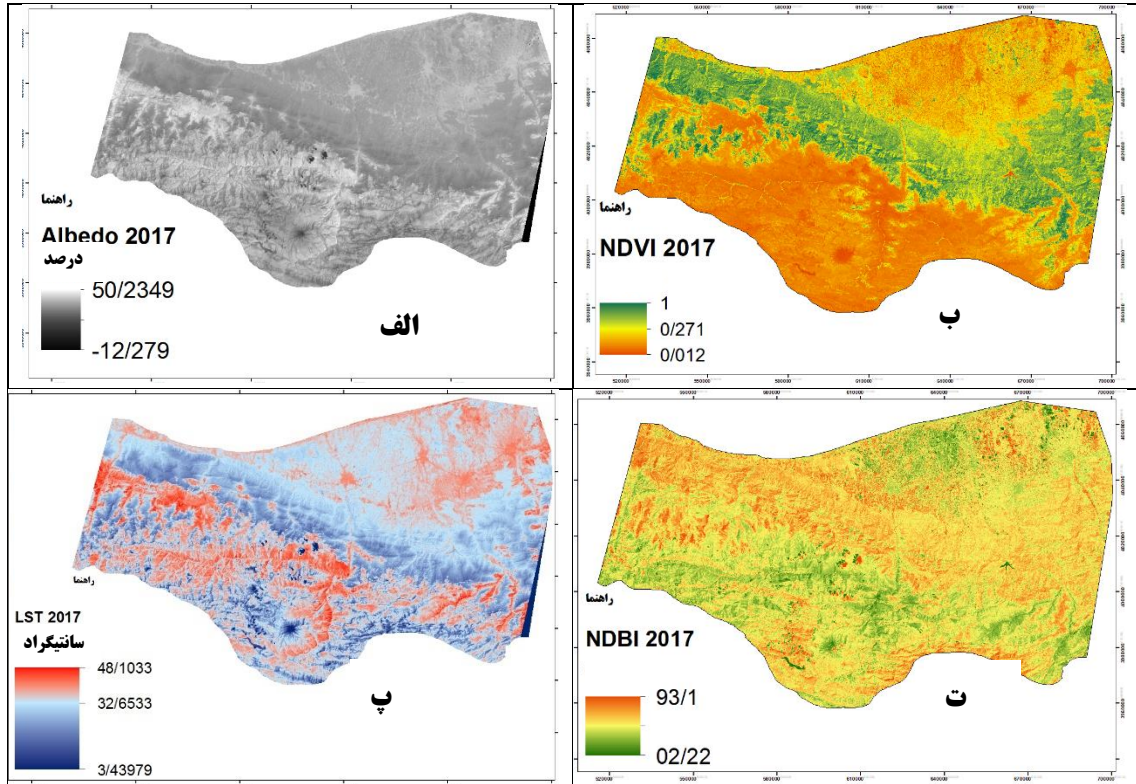
مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: مقدار آلبیدو، دمای سطح زمین به سانتی گراد، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده اماکن ساخته شده در محدوده منطقه مورد مطالعه برای سال ۱۹۹۸



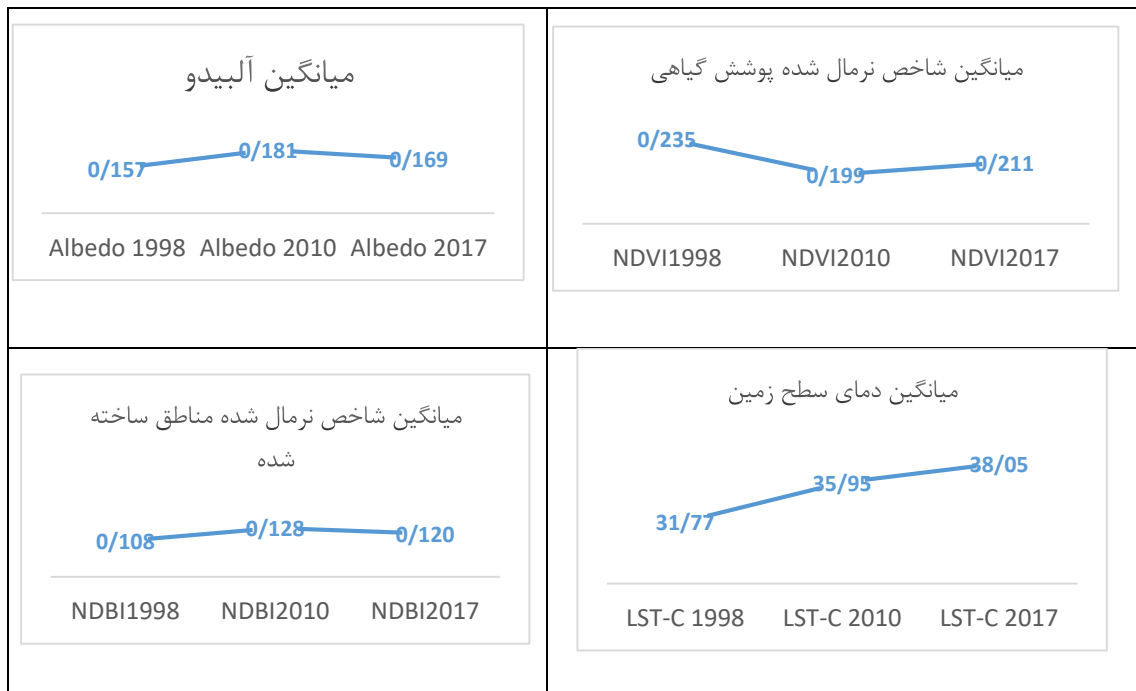
مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: مقدار آلبیدو، دمای سطح زمین به سانتی گراد، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده اماکن ساخته شده در محدوده منطقه مورد مطالعه برای سال ۲۰۱۰



مآخذ: نگارندگان

شکل ۴: مقدار آلبیدو، دمای سطح زمین به سانتی گراد، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده اماکن ساخته شده در محدوده منطقه مورد مطالعه برای سال ۲۰۱۷



مآخذ: نگارندگان

شکل ۵: میانگین آلبیدو، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی، میانگین شاخص نرمال شده مناطق ساخته شده و دمای سطح زمین برای سال های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷

بررسی ارتباط دمای سطح زمین با هر یک از شاخص‌های تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص

نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده و آلبیدو

دمای نزدیک به سطح زمین می‌تواند تحت تأثیر ماهیت پوشش سطح زمین قرار گیرد که از سطح زمین‌های بایر تا انواع پوشش گیاهی با تراکم‌های متفاوت، متغیر است. در این مطالعه از شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی برای تجزیه و تحلیل انواع پوشش زمین که از تصاویر Landsat استخراج شده برای تخمین انتشار سطح استفاده شده است (Yuan et al., 2005; Snyder et al., 1998). برای درک بهتر روابط بین شاخص‌های نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، تفاوت مناطق ساخته شده و آلبیدو با دمای سطح زمین از آزمون همبستگی استفاده شده است (جدول ۴) ماتریس همبستگی دمای سطح زمین با شاخص‌های مورد مطالعه حاکی از ارتباط معنادار و معکوس دمای سطح زمین با شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی است از طرف دیگر، ارتباط مستقیم و معنادار بین دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده و آلبیدو برقرار است البته لازم بذکر است که ارتباط بین دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده قوی تر است؛ بنابراین میتوان چنین استدلال کرد که هرگونه کاهش پوشش گیاهی، افزایش مناطق ساخته شده و افزایش آلبیدو منجر به افزایش دمای سطح زمین خواهد شد. بنابراین طی سالهای مورد مطالعه هرگونه تغییر در شاخص ذکر شده می‌تواند تغییر در دمای سطح زمین را بدنبال داشته باشد. شکل ۶ الف نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، بین شاخص نرمال شده پوشش گیاهی برای سال ۱۹۹۸ با دمای سطح زمین همبستگی منفی قوی وجود دارد این رابطه به شدت تحت تأثیر کاربری اراضی است، به خصوص که مکان‌های بدون پوشش گیاهی تغییرات گسترده‌تری را در دمای سطح زمین نسبت به مکان‌های با پوشش گیاهی متراکم تجربه می‌کنند. به منظور تجزیه و تحلیل کمی رابطه بین تراکم منطقه ساخته شده و دمای آن، از مقادیر میانگین شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده و دمای مربوطه استفاده شد. نمودارهای پراکندگی میانگین شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده و دمای سطح زمین مربوطه در شکل ۶ ب نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که یک همبستگی معنی‌دار آماری ($p=12.663$) و $r^2=0.550$) برای سال ۱۹۹۸ و برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ نیز بین شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده و دمای سطح زمین رابطه همبستگی مثبت قوی وجود دارد بنابراین برای مطالعه تأثیر منطقه ساخته شده بر دمای سطح زمین می‌توان از رابطه رگرسیون حاصل استفاده کرد و در نتیجه غیرقابل نفوذ بودن انواع کاربری‌های اراضی به ویژه مناطق مسکونی شهری و حومه شهر را به نمایش گذاشت. هم‌چنین بین دمای سطح زمین و آلبیدو نیز همبستگی مثبت وجود دارد اما این همبستگی بسیار قوی نیست. برای سال ۲۰۱۰ نیز همبستگی مثبت بین شاخص پوشش گیاهی و آلبیدو با دمای سطح زمین وجود دارد اما مقدار آن کمتر از سال ۱۹۹۸ است. در رابطه با شاخص مناطق ساخته شده با دمای سطح زمین نیز در این سال همانند سال ۱۹۹۸ همبستگی وجود دارد. برای سال ۲۰۱۷ مجدداً همبستگی منفی قوی بین دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی و همبستگی مثبت قوی با مناطق ساخته شده برقرار شده است. هم‌چنین نوع این روابط در شکل ۶ ج، ح و خ نشان داده شده است.

در ادامه نقاط نمونه از انواع کاربری اراضی (فضای سبز شهری، مناطق مسکونی شهری، فضای سبز حومه شهر و مناطق مسکونی حومه شهر) برای بررسی وجود تفاوت معنادار بین آلبیدوی کاربری‌های اراضی مشخص شده استفاده شد (جدول ۴) و مشخص شد که مقدار آلبیدو در کاربری‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری با هم دارند.

جدول ۴: ماتریس همبستگی دمای سطح زمین با آلبیدو، شاخص پوشش گیاهی و شاخص اراضی ساخته شده طی سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و

۲۰۱۷

آلبیدو	شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده	شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی
.444**	.725**	-.756**
.271**	.561**	-.625**
.366**	.609**	-.577**

** در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار است.

مأخذ: نگارندگان

جدول ۵: نتایج حاصل از آزمون توکی جهت مقایسه کاربری‌های متفاوت در ارتباط با آلبیدو

Dependent Variable	(I) code	(J) code	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Albedo	فضای سبز شهری	فضای سبز حومه شهر	-.007*	.002	.046	-.015	-.00009
		مناطق مسکونی حومه شهر	-.045*	.003	.000	-.053	-.03798
		مناطق مسکونی شهری	-.044*	.002	.000	-.051	-.03666
	مناطق مسکونی شهری	فضای سبز حومه شهر	.036*	.002	.000	.028	.04402
		مناطق مسکونی حومه شهر	-.001	.003	.951	-.009	.00614
		فضای سبز شهری	.044*	.002	.000	.036	.05171

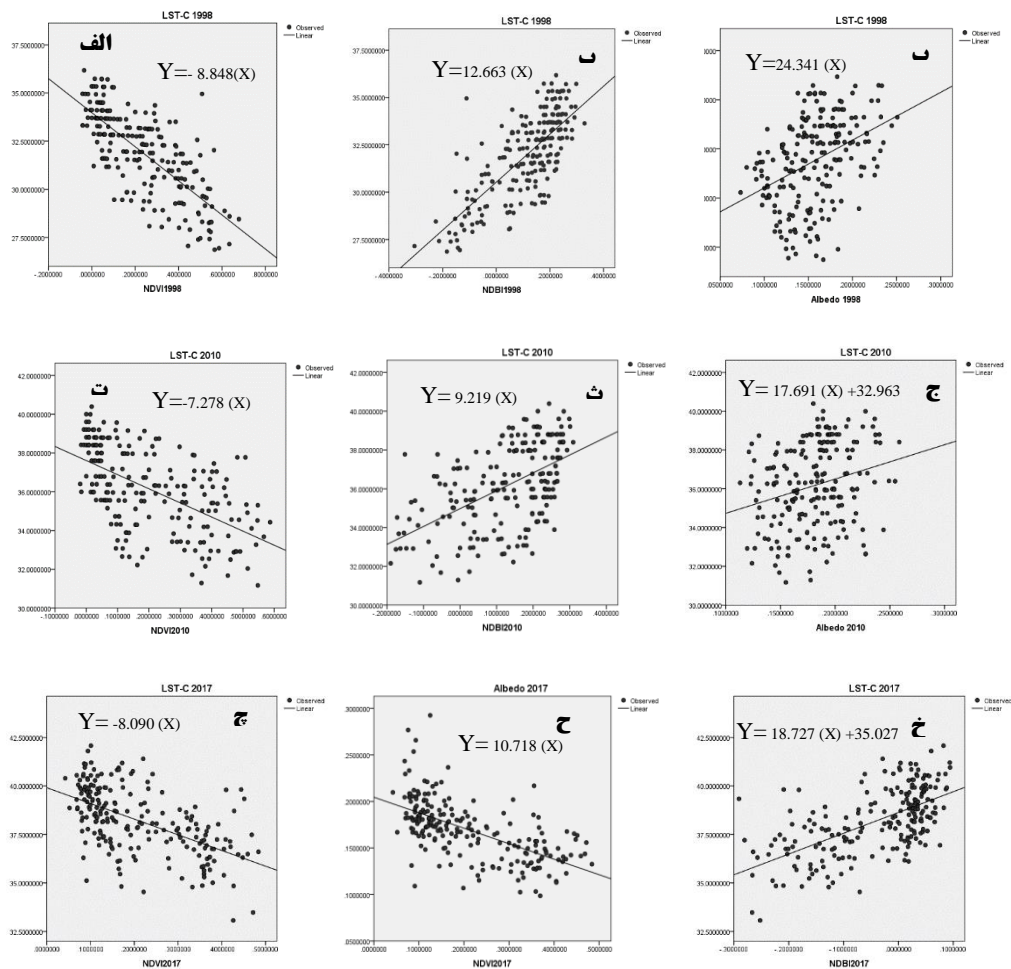
*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

مأخذ: محاسبات پژوهش حاضر

جدول ۶: ماتریس همبستگی شاخص‌ها مورد مطالعه در شهرهای منتخب طی سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷

۱۹۹۸	شاخص تفاوت نرمال شده مناطق ساخته شده	آلبیدو	دمای سطح زمین
شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی	-.911**	-.748**	-.756**
شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده		.668**	.725**
آلبیدو			.444**
۲۰۱۰	شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده	آلبیدو	دمای سطح زمین
شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی	-.921**	-.763**	-.625**
شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده		.693**	.561**
آلبیدو			.271**
۲۰۱۷	شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده	آلبیدو	دمای سطح زمین
شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی	-.869**	-.661**	-.577**
شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده		.661**	.609**
آلبیدو			.366**

مأخذ: نگارندگان



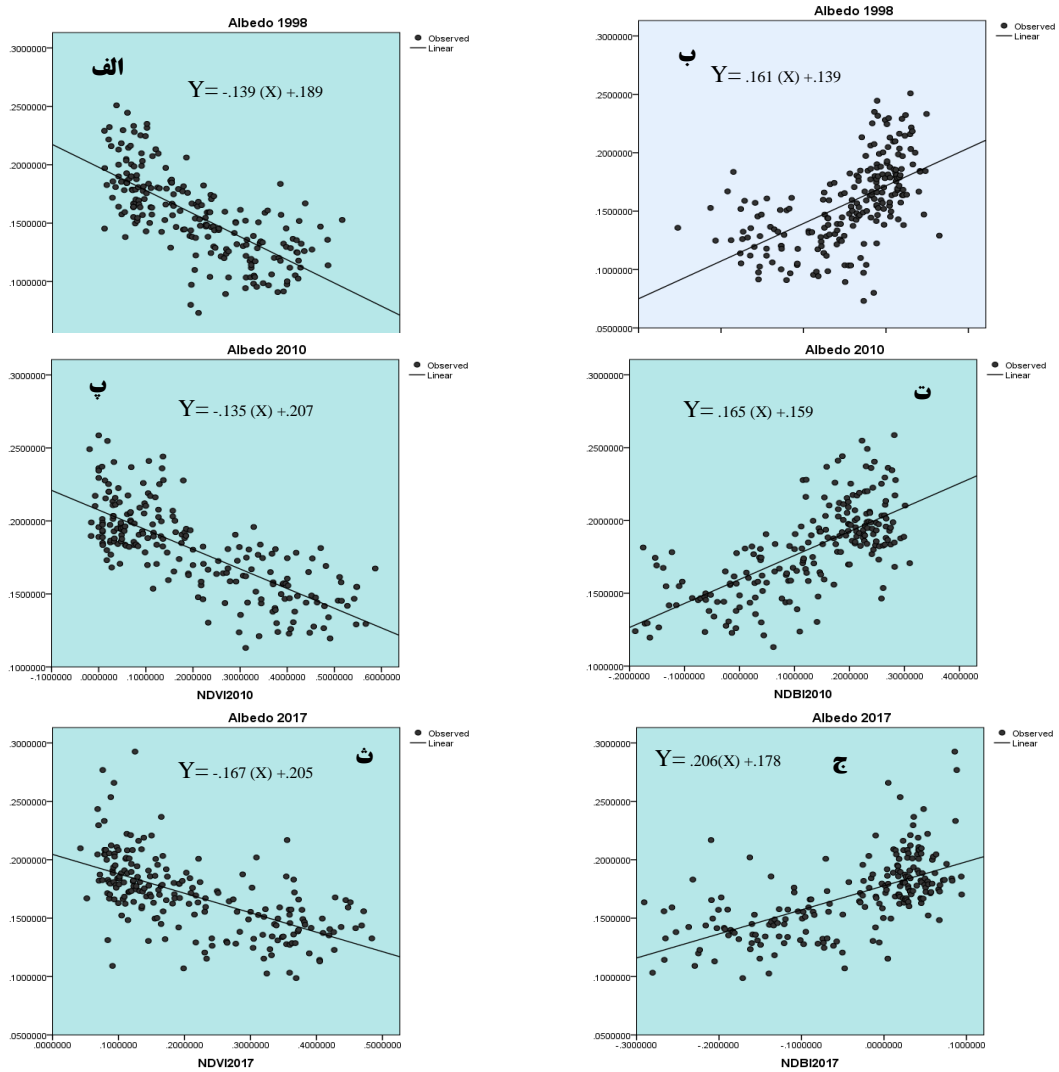
مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: نمودار همبستگی دمای سطح زمین با شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده و آلبیدو در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷

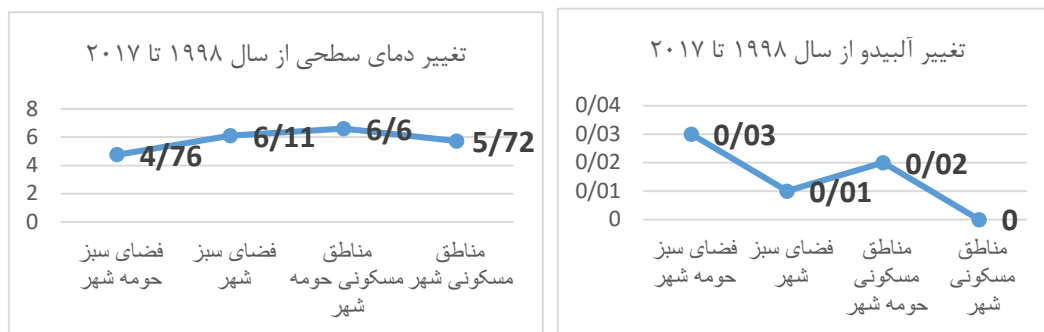
رابطه آلبیدو با هر یک از شاخص‌های شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷

به منظور بررسی رابطه شاخص‌های پوشش گیاهی، اراضی ساخته شده با آلبیدو سطح زمین نیز از آزمون همبستگی استفاده شده است با توجه به جدول ۵ و شکل‌های ۵ الف می‌توان مشاهده کرد آلبیدو در سال ۱۹۹۸ با شاخص نرمال شده پوشش گیاهی همبستگی منفی قوی دارد اما با شاخص نرمال شده مناطق ساخته شده (شکل ۷ ب) رابطه آماری معنادار ($P=0.161, R^2=0.328$) و همبستگی مثبت قوی دارد که این موضوع نشان می‌دهد هرچه از میزان پوشش گیاهی در منطقه کاسته می‌شود، سطوح نفوذناپذیر و انسان ساخت جایگزین پوشش گیاهی می‌شود که پیامد آن افزایش آلبیدو خواهد بود. از طرف دیگر، با توجه به جدول ۶ و شکل ۶ پ، ج و خ می‌توان مشاهده کرد که آلبیدو در سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ با دمای سطح زمین همبستگی مثبت دارد که بیانگر افزایش دمای سطح زمین در نتیجه افزایش سطوح نفوذناپذیر است. لازم به ذکر است که مطابق شکل ۷ پ و جدول ۵ بین شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی سال ۲۰۱۰ و آلبیدو

همبستگی منفی برقرار است که بیانگر این موضوع است که هرچه پوشش گیاهی در منطقه بیشتر باشد از آلبیدو کاسته خواهد شد. همچنین با توجه به شکل ۶ این مسئله برای سال ۲۰۱۷ نیز قابل مشاهده است؛ اما از طرفی با توجه به شکل ۶ و ج می توان ملاحظه کرد که شاخص نرمال شده تفاوت اراضی ساخته شده با آلبیدو در سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ رابطه همبستگی قوی و مثبت دارند.



شکل ۷: نمودار همبستگی آلبیدو سطح زمین با شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده در سال های ۱۹۹۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: میزان افزایش دمای سطحی و آلبیدو سطحی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷

مطابق با جدول ۴، مشاهده می‌شود که در سطح اطمینان ۹۹ درصد، ارتباط قوی و معنادار بین دمای سطح زمین و آلبیدوی سطح زمین، شاخص پوشش گیاهی و شاخص اراضی ساخته شده وجود دارد همان‌طور که نشان داده شده است دمای سطح زمین در همه سال‌ها ارتباط مستقیم و معناداری با شاخص اراضی ساخته شده و آلبیدو سطح زمین دارد و ارتباط آن با شاخص پوشش گیاهی معکوس و معنادار است. هرگونه افزایش ساخت‌وساز در منطقه مورد مطالعه با افزایش درجه حرارت سطح زمین به صورت معنادار در ارتباط خواهد بود و از طرف دیگر کاهش پوشش گیاهی و فضای سبز نیز به صورت معنادار افزایش درجه حرارت سطح زمین را در پی خواهد داشت.

ارتباط دمای سطح زمین با آلبیدو مطابق شکل ۶ نیز بیانگر یک ارتباط مستقیم و معنادار است و هرگونه افزایش آلبیدو با افزایش درجه حرارت سطح زمین در ارتباط خواهد بود. در منطقه مورد مطالعه پوشش سطح زمین غالباً پوشش گیاهی، اراضی ساخته شده و زمین‌های بایر است که پوشش گیاهی کمترین مقدار آلبیدو را دارا است.

تحلیل و واکاوی تصاویر استخراج شده طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ بیانگر کاهش پوشش گیاهی و افزایش ساخت‌وسازهای بی‌رویه در منطقه مورد مطالعه است که انتظار خواهد رفت افزایش میانگین دمای سطح زمین (شکل ۸) را در پی داشته باشد.

نتیجه گیری

موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در سواحل جنوبی دریای خزر موجب شکل‌گیری ویژگی‌های منحصربه‌فردی از لحاظ اقلیمی شده است این ویژگی‌ها جاذبه‌های متنوعی را جهت ایجاد و گسترش شهرها در جلگه مازندران مهیا کرده است. شهرهای این منطقه طی سال‌های اخیر توسعه فیزیکی قابل توجهی را ثبت کرده‌اند که این توسعه عمدتاً با تخریب پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی در اطراف شهرها هم‌زمان بوده است. نتایج این پژوهش حاکی از ارتباط معنادار و معکوس دمای سطح زمین با شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی است از طرف دیگر، ارتباط مستقیم و معنادار بین دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده و آلبیدو مشاهده شده است هرچند که ارتباط بین دمای سطح زمین و شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده قوی تر بود؛ بنابراین می‌توان چنین استدلال کرد که

هرگونه کاهش پوشش گیاهی، افزایش مناطق ساخته شده و افزایش آلبیدو منجر به افزایش دمای سطح زمین خواهد شد. بنابراین طی سالهای مورد مطالعه هرگونه تغییر در شاخص ذکر شده می تواند تغییر در دمای سطح زمین را دنبال داشته باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که طی دوره زمانی مورد مطالعه، در محدوده شهرها، اراضی انسان ساخت که سطوح نفوذناپذیر را شکل می دهند جایگزین سطوح طبیعی و نفوذپذیر شده اند همچنین نتایج این پژوهش تأیید می کند که مقدار آلبیدوی کاربری های متفاوت در داخل شهر به صورت معنادار متفاوت از هم هستند. نتایج این پژوهش افزایش آلبیدو طی دوره های زمانی مورد مطالعه را نشان می دهد و از طرف دیگر نتایج این پژوهش، ارتباط قوی و معنادار بین آلبیدو و دمای سطح زمین را هم تأیید می کند بنابراین همان طور که انتظار می رفت تغییرات رخ داده در پوشش سطح زمین به صورت تغییر دما (در اینجا عمده تاً افزایش دمای سطح زمین) در شهرها نمود پیدا کرده است بنابراین هرگونه تغییر در ویژگی های سطح زمین (شاخص های شاخص تفاوت نرمال شده پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده تفاوت مناطق ساخته شده) سبب تغییر در موازنه انرژی سطح زمین شده است که در نهایت به صورت تغییر در خرد اقلیم ظاهر خواهد شد.

همان طور که در بخش پیشین نیز بیان شد، نتایج نشان داد که در سطح اطمینان ۹۹ درصد، ارتباط قوی و معنادار بین تغییرات سطح زمین (شاخص پوشش گیاهی و شاخص اراضی ساخته شده) و ویژگی های دمای سطح زمین و آلبیدوی سطح زمین وجود دارد. در شهرهای مورد مطالعه طی بازه زمانی مطالعه شده، کاهش پوشش گیاهی در سطح شهرها هم زمان با افزایش شاخص اراضی ساخته شده رخ داده است این مسئله افزایش ساخت و ساز شهری و جایگزینی سطوح نفوذناپذیر (انسان ساخت) با سطوح نفوذپذیر (طبیعی) را بیان می کند این مسئله در شهرهای مورد مطالعه به صورت افزایش آلبیدو و هم زمان افزایش درجه حرارت سطح زمین نمود پیدا کرده است. لذا می توان بیان داشت که هرگونه تغییر در ویژگی های سطح زمین منجر به تغییر در ویژگی های خرد اقلیم شده است بنابراین جهت مدیریت و برنامه ریزی در راستای شهر سالم و پایدار، توجه به ویژگی های سطح زمین و پیامدهای آن بر خرد اقلیم گریزناپذیر است.

سایر پژوهشگران همچون sharma et all (۲۰۱۷) در پژوهشی که در هند به منظور ارزیابی پتانسیل گزینه افزایش آلبیدوی سطح شهری برای سرمایه آب و هوا بر اساس رابطه تعادل انرژی و مدل WRF انجام شده است دریافتند. با رنگ آمیزی سفید پشت بام مناطق شهری در هند (با آلبیدو ۰٫۸۰)، می توان با در نظر گرفتن ۰٪ سقف های سفید موجود، آلبیدو را ۰٫۵۲ (از ۰٫۲۸ به ۰٫۸۰) افزایش داد. که استفاده از سقف های خنک در هند می تواند گرمایش ناشی از افزایش غلظت CO₂ (از دوران پیش از صنعتی شدن تا زمان کنونی) را تا ۵٪ با در نظر گرفتن میانگین مقدار تغییر دما به دست آمده با استفاده از مدل WRF جبران کند. در مقاله ای دیگر که توسط درخشی و همکاران (۱۳۹۹) برای حوضه آبخیز اهرچای تهیه گردید، تقریباً به نتایجی مشابه دست یافتند؛ به طوری که نتایج نشان داد کاربری های حوضه اهر چای دارای تغییرات بوده که بیشترین تغییرات مربوط به کلاس مرتع درجه ۲ و زراعت دیم بود. دمای سطح زمین یک عامل مهم در کنترل فرایند های زیستی، شیمیایی و فیزیکی محسوب شد. Ian A. Smith, et, all (۲۰۲۳) در پژوهشی دیگر با ترکیب مشاهدات سنجش از دور، دمای سطح زمین، آلبیدو و رطوبت، حساسیت دمای سطح زمین به ویژگی های پوشش زمین،

مرتبط با دو استراتژی سازگار با آب و هوا، سبز کردن مناطق شهری و تغییر آلودگی (مانند بام‌های سفید) را کمی سازی کردند. مجموعه داده های پوشش زمین با وضوح در یک تحلیل رگرسیون فضایی در مقیاس بلوک سرشماری در هفت شهر ایالات متحده انجام شد. آنها دریافتند که پوشش درختی دارای تأثیر خنک‌کنندگی $K = -0,089$ به ازای هر درصد پوشش است، که تقریباً چهار برابر قوی‌تر از میانگین تأثیر خنک‌کننده پوشش چمن $K = -0,021$ در هر درصد پوشش است. تغییر در میزان تأثیرات خنک‌کننده پوشش چمن در درجه اول تابعی از رطوبت پوشش گیاهی بود، با شاخص آب سطح زمین (LSWI) ۸۹ درصد از تغییرات خنک‌کننده پوشش چمن در سراسر شهرها را توضیح دادند. تنوع در تأثیرات خنک‌کننده پوشش درخت در درجه اول تابعی از نور خورشید و رطوبت پوشش گیاهی بود، تابش خورشیدی و شاخص آب سطح زمین ۹۷ درصد از تنوع سرمایش را در شهرها نشان داد. تأثیرات خنک‌کننده آلودگی در سراسر شهرها با میانگین تأثیر سرمایش $K = -0,187$ در هر افزایش $0,01$ سازگار بود. در حالی که این مداخلات به طور گسترده در سراسر شهرها موثر هستند، معاوضه‌های منطقه‌ای مهمی بین راندمان خنک‌سازی پوشش گیاهی، نیازهای آبیاری و مدت زمان و تکامل مزایای خنک‌کننده وجود دارد. در شهرهای گرم و خشک، سطوح با ارتفاع بالا مزایای چندوجهی مانند خنک‌سازی و صرفه‌جویی در آب را ارائه می‌دهند، در حالی که شهرهای معتدل و مرطوب احتمالاً با تلاش‌های سبزشازی که محله‌های با آسفالت بسیار را هدف قرار می‌دهند از ترکیبی از استراتژی‌ها بهره می‌برند.

منابع

- ۱- اسکندری دامنه، هادی، اسکندری دامنه، حامد، چراغی، میثم، خسروی، حسن، و عادل ساردوئی، محسن. (۱۴۰۰): تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر تشکیل جزایر گرمایی با استفاده از سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: شهر کرمان). نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۴(۳)، ۶۱۴-۶۲۸. DOI: 1022059/jne.2022.327993.2258
- ۲- غفاریان المامیری، حمیدرضا، عربی علی آباد، فهیمه. (۱۳۹۹): برآورد آلودگی سطحی زمین در کاربری‌ها مختلف اراضی در دشت یزد- اردکان. مطالعات علوم محیط زیست، ۱۵(۱)، ۲۳۹۴-۲۴۰۳.
- ۳- درخشی، جعفر، سبحانی، بهروز، اصغری، صیاد. (۱۳۹۹): ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر آلودگی سطحی و دمای سطح زمین در حوضه آبخیز اهر چای. فصل‌نامه جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، ۱۰(۳۷)، ۱۲۳-۱۴۲. DOI: 10.22111/gaij.2020.5951
- ۴- شعبانی، مرتضی، درویشی، شادمان، و سلیمانی، کریم. (۱۳۹۸): بررسی آثار تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی- مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی؛ مطالعه موردی: شهرستان سقز. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۰(۱)، ۳۷-۵۴. DOI: 1022108/gep.2019.115781.1127
- ۵- ساعدپناه، مهین، امان‌اللهی، جمیل، و قربانی، فرشید. (۱۴۰۰): بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر دمای سطح زمین در مناطق سرد و نیمه خشک (مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان سنندج). نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۴(۱)، ۶۹-۸۲. DOI: 10.22.59/jne.2021.314242.2121
- ۶- نادى‌زاده شورابه، سامان، حمزه، سعید، کیاورز، مجید، و افشاری‌پور، سید کریم. (۱۳۹۷): بررسی تغییرات مکانی- زمانی کاربری اراضی، گسترش شهری و تأثیر آن بر افزایش دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست (مطالعه موردی: شهر گرگان). پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۶(۳)، ۵۴۵-۵۶۸. DOI: 1022059/jurbangeo.2018.262673.945

⁴ Land Surface Water Index

- 7- Achour, H., Toujani, A., Rzigui, T., Faiz, S., (2018): Forest Cover In Tunisia Before And After The 2011 Tunisian Revolution: A Spatial Analysis Approach. *J. Geovis. Spat. Anal.* 2, 10.
- 8- Akbari, H., H. Damon Matthews, Et Al. (2012): "The Long-Term Effect Of Increasing The Albedo Of Urban Areas." *Environmental Research Letters* 7(2): 024004.
- 9- Allen, R. G, Tasumi, M, Trezza, R, & Bastiaanssen, W. G. M. (2002): SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms For Land). *Advance Training And User's Manual–Idaho Implementation*, Version, 1, 97.
- 10- Benas, N. And N. Chrysoulakis (2014): Estimation Of Land Surface Albedo Time Series And Trends Based On MODIS Data, SPIE.
- 11- Blok, D., Schaepman-Strub, G., Bartholomeus, H., Heijmans, M.M., Maximov, T.C., Berendse, F., (2011): The Response Of Arctic Vegetation To The Summer Climate: Relation Between Shrub Cover, NDVI, Surface Albedo And Temperature. *Geophys. Res. Lett.* 6 (3), 035502.
- 12- Bonan, G. B., (2008): "Forests And Climate Change: Forcings, Feedbacks, And The Climate Benefits Of Forests," *Science* 320,1444–1449.
- 13- Bounoua, L., Collatz, G., Los, S., Sellers, P., Dazlich, D., Tucker, C., Et Al., (2000): Sensitivity Of Climate To Changes In NDVI. *J. Clim.* 13, 2277–2292.
- 14- Chander, G., Markham, B., (2003): Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures And Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing* 41 (11), 2674–2677.
- 15- Dickinson, R. E., (1983): "Land Surface Processes And Climate Surface Albedos And Energy Balance", *Adv Geophys* 25, 305353.
- 16- Evans, J.P., Meng, X., McCabe, M.F., (2017): Land Surface Albedo And Vegetation Feedbacks Enhanced The Millennium Drought In South-East Australia. *Hydrol. Earth. Syst. Sc.* 21, 409–422.
- 17- Foody G., Curran P. J., (1994): "Environmental Remote Sensing From Regional To Global Scales", Wiley, New York, 149–166.
- 18- Ghorbanian, A., Kakooei, M., Amani, M., Mahdavi, S., Mohammadzadeh, A., & Hasanlou, M. (2020): "Improved Land Cover Map Of Iran Using Sentinel Imagery Within Google Earth Engine And A Novel Automatic Workflow For Land Cover Classification Using Migrated Training Samples". *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, 167, 276-288. Doi:10.1016/J.Isprsjprs.2020.07.013
- 19- Guojin Pang, Deliang Chen, Xuejia Wang, Hui-Wen Lai,(2021): Spatiotemporal Variations Of Land Surface Albedo And Associated Influencing Factors On The Tibetan Plateau, *Science Of The Total Environment*, Volume 804, 2022, 150100, ISSN 0048 9697, <https://doi.org/10.1016/J.Scitotenv.2021.150100>.
- 20- Ian A. Smith, M. Patricia Fabian, Lucy R. Hutyrá, (2023): Urban Green Space And Albedo Impacts On Surface Temperature Across Seven United States Cities, *Science Of The Total Environment*, Volume 857, Part 3, 159663, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/J.Scitotenv.2022.159663>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722067638>)
- 21- J. Wang, W. Zhou, P. Sta, W. Yu, W. Li, (2019), A Multiscale Analysis Of Urbanization Effects On Ecosystem Services Supply In An Urban Megaregion, *Sci. Total Environ.* 662 824–833, <https://doi.org/10.1016/J.Scitotenv.2019.01.260>.
- 22- Kendall, MG. (1975): *Rank Correlation Methods*, 4th Edition, Charles Griffin, London. 410 P.
- 23- Liu, X., Jr, & Lathrop, R. G. (2002): Urban Change Detection Based On An Artificial Neural Network. *International Journal Of Remote Sensing*, 23, 2513–2518. A.M
- 24- Rizwan, L.Y. Dennis, C. Liu, (2008): A Review On The Generation, Determination And Mitigation Of Urban Heat Island, *J. Environ. Sci.* 20 120–128, [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4), 001

- 25- Mahmood, R., Pielke Sr., R. A., Hubbard, K.G., Niyogi, D., Dirmeyer, P.A., Mcalpine, C., Et Al., (2014): Land Cover Changes And Their Biogeophysical Effects On Climate. *Int. J. Climatol.* 34, 929–953.
- 26- N.B. Grimm, S.H. Faeth, N. E. Golubiewski, C. L. Redman, J. Wu, X. Bai, J. M. Briggs, (2008): Global Change And The Ecology Of Cities, *Science* 319 (5864), 756–760, <https://doi.org/10.1126/Science.1150195>.
- 27- Oleson K.W., Bonan G.B., Schaaf C., Gao F., Jin J., Strahler A., (2003): "Assessment Of Global Climate Model Land Surface Albedo Using MODIS Data," *Geophysical Research Letters* 30 (8), 1443.
- 28- Purevdorj, T.S., Tateishi, R., Ishiyama, T., Honda, Y., (1998): Relationships Between Percent Vegetation Cover And Vegetation Indices. *International Journal Of Remote Sensing* 19 (18), 3519–3535.
- 29- Schaepman-Strub, G., Schaepman, M. E., Painter, T. H., Dangel, S. And Martonchik, J. V., (2006): "Reflectance Quantities In Optical Remote Sensing-Definitions And Case Studies", *Remote Sens Environ* 103(1), 27-42.
- 30- Shuai, Y., Masek, J. G., Gao, F. And Schaaf, C. B., (2011): "An Algorithm For The Retrieval Of 30-M Snow-Free Albedo From Landsat Surface Reflectance And MODIS BRDF", *Remote Sens Environ* 115, 2204-2216
- 31- Shweta Sharma, Ajai, A.S. Kiran Kumar, (2017), Effect Of Urban Surface Albedo Enhancement In India On Regional Climate Cooling, *Remote Sensing Applications: Society And Environment*, Volume 8, 2017, Pages 193198, ISSN 23529385, <https://doi.org/10.1016/J.Rsase.2017.09.004>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938516300829>)
- 32- Sobrino J, Raissouni N. (2000): Toward Remote Sensing Methods For Land Cover Dynamic Monitoring: Application To Morocco. *International Journal Of Remote Sensing*, 21(2):353-366.
- 33- Snyder, W.C., Wan, Z., Zhang, Y., Feng, Y.Z., (1998): Classification Based Emissivity For Land Surface Temperature Measurement From Space. *International Journal Of Remote Sensing* 19, 2753–2774.
- 34- Taha H. (1997): Urban Climates And Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration, And Anthropogenic Heat, *Energy And Buildings*, 25(2):99-103.
- 35- United Nations Population Division, (2018-2019): World Urbanization Prospects 2018, 2019. <https://population.un.org/wup/download>. (Accessed 2 April 2021).
- 36- Wang, S., Trishchenko, A.P., Khlopenkov, K.V., Davidson, A., (2006): Comparison Of International Panel On Climate Change Fourth Assessment Report Climate Model Simulations Of Surface Albedo With Satellite Products Over Northern Latitudes. *J. Geophys. Res. Atmos.* 111, 1–17.
- 37- Weng Q. (2003): Fractal Analysis Of Satellitedetected Urban Heat Island Effect, *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*, 69(5):555-566.
- 38- Weng Q. (2009): Thermal Infrared Remote Sensing For Urban Climate And Environmental Studies: Methods, Applications, And Trends, *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, 64(4):335-344.
- 39- Yuan, F., Sawaya, K.E., Loeffelholz, B.C., Bauer, M.E., (2005): Land Cover Mapping And Change Analysis In The Twin Cities Metropolitan Area With Landsat Remote Sensing. *Remote Sensing Of Environment* 98 (2–3), 317–328.
- 40- Zeng, Z., Wang, D., Yang, L., Wu, J., Ziegler, A.D., Liu, M., Et Al., (2021): Deforestation-Induced Warming Over Tropical Mountain Regions Regulated By Elevation. *Nat. Geosci.* 14, 23–29.
- 41- Zha, Y., Gao, J., Ni, S., (2003): Use Of Normalized Difference Built-Up Index In Automatically Mapping Urban Areas From TM Imagery. *International Journal Of Remote Sensing* 24 (3), 583–659.

- 42- Zhou, L., Dickinson, R. E., Tian, Y., Zeng, X., Dai, Y., Yang, Z. L., Et Al., (2003): Comparison Of Seasonal And Spatial Variations Of Albedos From Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) And Common Land Model. J. Geophys. Res. Atmos. 108 (D15), 4488.
- 43- Zoran, M., A. Dida, Et Al. (2015): Impact Of Climate And Anthropogenic Changes On Urban Surface Albedo Assessed From Time-Series MODIS Satellite Data, SPIE.