

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۱ (۶۰-۴۵)

## سنجه های سیمای سرزمین؛ ابزاری جهت بررسی ارتباط میان الگوهای سیمای سرزمین و دمای سطح زمین در مقیاس مناسب (مطالعه موردی: شهر تهران)

فاطمه عفتی\*

[fatemeeffati@alumni.ut.ac.ir](mailto:fatemeeffati@alumni.ut.ac.ir)

عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۲</sup>

فاطمه شفیعی خورشیدی<sup>۳</sup>

سعید کریمی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۱۵

### چکیده

**زمینه و هدف:** شهر تهران در دهه‌های گذشته رشد گسترده جمعیت را تجربه کرده و منجر به سرعت بالای توسعه شهری شده است. از این رو الگوهای استفاده از زمین/پوشش زمین (LULC) به طرز چشمگیری به سطوح غیرمجاز تغییر یافته است که منجر به تغییر در شرایط حرارتی و تشکیل جزایر گرمائی در این شهر شده است. بر این اساس این پژوهش درصدد است رابطه بین الگوهای سیمای سرزمین و دمای سطح زمین را با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در مقیاس مناسب در شهر تهران را بررسی نماید.

**روش بررسی:** در این پژوهش، تصویر  $ETM^+$  ماهواره‌ی لندست شهر تهران مربوط به ۲۸ فوریه ۲۰۱۳ انتخاب و از طریق آنالیز ترکیب طیفی و الگوریتم بیشترین شباهت، نقشه‌ی کاربری/پوشش اراضی با پنج کلاس تهیه گردید. همچنین، نقشه‌ی دمای سطح زمین (LST) در چهار پهنه با توجه به روش‌های موجود، از باند حرارتی ماهواره یاد شده تهیه شد. ارتباط بین دمای سطح زمین و کاربری/پوشش اراضی با استفاده از ۷ سنجه سیمای سرزمین (نظیر MPS, PAFRAC, COHESION) مورد تجربه و تحلیل قرار گرفت.

**یافته‌ها:** کاربری/پوشش اراضی مربوط به سطوح نفوذناپذیر بالاترین درصد کلاس و میانگین اندازه‌ی لکه، پیوستگی و تراکم را داشت و نتایج آن، مشابهت‌های زیادی با پهنه‌ی دوم حرارتی دارد که در آن سطوح نفوذناپذیر غالب است. همچنین اندازه پیکسل ۳۰ متر به عنوان مناسب‌ترین مقیاس جهت بررسی الگوهای کاربری/پوشش اراضی و رابطه آن با دمای سطح زمین در این تصویر برای شهر تهران مشخص شد.

۱ - دانش آموخته برنامه ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران. \* (مسئول مکاتبات)

۲ - استاد گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳ - دانش آموخته سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس

۴ - استادیار مدیریت، برنامه ریزی و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

**بحث و نتیجه گیری :** نتایج به دست آمده نشان از موفقیت آمیز بودن روش بررسی ارتباط بین دمای سطح زمین و کاربری/ پوشش اراضی با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین دارند. نتایج این تحقیق می‌تواند برای برنامه‌ریزان شهری و مدیران محیط‌زیستی در زمینه مهار نسبی حرارت شهری ناشی از شهرنشینی مفید باشد.

**واژه های کلیدی:** سنج‌های سیمای سرزمین، کاربری/پوشش اراضی، دمای سطح زمین، مقیاس، شهر تهران.

## **Landscape Metrics as Tool for Investigating the Relationship between Landscape Patterns and Land Surface Temperature in suitable scale (Case Study: Tehran City)**

**Fatemeh Effati**<sup>1 \*</sup>

[fatemeeffati@alumni.ut.ac.ir](mailto:fatemeeffati@alumni.ut.ac.ir)

**Abdolrassoul Salmanmahiny**<sup>2</sup>

**Fatemeh SHafie Khorshidi**<sup>3</sup>

**Saeed Karimi**<sup>4</sup>

Admission Date: September 15, 2020

Date Received: May 5, 2019

### **Abstract**

**Background and Objective:** Tehran has experienced extensive population growth in the last decades, leading to a high rate of urban expansion. Land use/land cover (LULC) patterns have noticeably been changed to impervious surfaces that led to the changes in the thermal condition and forming heat islands in this city. So this study wants to evaluate the landscape and the Land surface temperature patterns via using the landscape metrics on a proper scale in Tehran.

**Material and Methodology:** In this study, a combination of remote sensing, GIS and landscape ecology approach is used to explain the relationship between land use/cover patterns and land surface temperature in Tehran's urban area. We used ETM + Landsat satellite images of February 28, 2013 to create a five class LULC map of the area through Linear Spectral Mixture Analysis and the maximum algorithm methods.

Also, Land Surface Temperature map were prepared according to the available methods for thermal band of the sensor and were presented in four zones. Then, the relationship between LST and land use/cover was investigated using 7 landscape metrics (e.g MPS, PAFRAC, COHESION).

**Findings:** We found that impervious surface has the highest percentage of class and mean patch size, cohesion and aggregation, and landscape metrics very well described the LST zone II with impervious surface dominance. Also, the results showed that the 30 m pixel size is good enough for assessing the spatial and ecological characteristics of LULC patterns and their relationships with LST in Tehran

**Discussion and Conclusion:** The results showed the possibility of assessing the relationship between LST and LULC based on the landscape metrics. The findings can be useful for urban planners and environmental managers to decrease urban heat pollution during urban sprawl and development.

**Key words:** Landscape Metrics, Land use/ Land over, Land Surface Temperature, scale, Tehran city.

---

1- M.Sc., student, Graduate, Environmental Planning, Management and education, Faculty of Environment, University of Tehran. (*Corresponding Author*)

2- Professor, Department of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3- M.Sc., student, Graduate Faculty of Humanities Geography Information System & Remote sensing, Tarbiat Modares University

4- Assist. Prof., Graduate Faculty of Environment, University of Tehran.

## مقدمه

حرارت سطح زمین جهت شناسایی تعامل الگوی سیمای سرزمین، تاثیر بر LULC و فرایندهای اکولوژیک مورد بررسی و تایید قرار گرفته است (۱۸-۱۲، ۵).

سنجه‌های سیمای سرزمین همانند ساختار آن دارای ۲ مولفه اساسی ترکیب<sup>۶</sup> (فراوانی و تنوع کلاس‌های پوشش زمین) و توزیع<sup>۷</sup> (آرایش فضایی کلاس‌های پوشش سرزمین/توزیع فضایی کلاس‌ها و چیدمان نسبت به یکدیگر) می‌باشند (۹-۷).

طی سالیان گذشته، افزایش جمعیت منجر به توسعه و طراحی شهری ناپایدار در شهر تهران شده است و همین امر ترکیب و توزیع نامتناسب کاربری/پوشش و همچنین تغییرات گسترده در ساختار سیمای سرزمین (نظیر کاهش شدید مناطق سبز و افزایش سطوح نفوذناپذیر) را در پی داشته است که منجر به افت عملکردهای اکولوژیکی و کاهش کیفیت و سلامت محیط زیست گردیده است. نمونه بارز این تغییرات افزایش دمای سطح زمین است که به عنوان یکی از انواع پدیده جزایر حرارتی در نظر گرفته می‌شود (۱۹). در همین راستا، این پژوهش درصدد است رابطه بین الگوهای سیمای سرزمین و دمای سطح زمین را با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در شهر تهران را بررسی نماید. همچنین از آنجا که، تغییر مقیاس (قدرت تفکیک مکانی) بر شناخت ویژگی‌ها و خصوصیات فضایی و اکولوژیکی الگوهای سیمای سرزمین و دمای سطح زمین اثر گذار هستند، انتخاب مقیاس مناسب در این بررسی، از دیگر اهداف پژوهش می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

## محدوده مطالعاتی

تهران؛ دارای وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع و جمعیت آن در حدود ۱۴ میلیون نفر می‌باشد (۲۰). طی سالیان گذشته رشد جمعیت در این شهر، گسترش فیزیکی شهر را در پی داشته است و شهری که تا اوایل دهه ۱۳۰۰ درون حصار به وسعت ۲۴

کاربری/پوشش زمین (LULC)؛ فاکتور مهم تعیین‌کننده در عملکرد اکوسیستم است که به عنوان الگوهای سیمای سرزمین و همچنین متغیرهای محیطی در هر منطقه نیز در نظر گرفته می‌شوند (۲-۱). این عامل بر کیفیت زندگی انسان و اکوسیستم-های شهری اثر زیادی دارد. طی دهه‌های گذشته افزایش جمعیت سبب توسعه و گسترش بدون برنامه و ناپایدار شهرها گردیده که علاوه بر ایجاد استرس انسانی بی‌سابقه، تغییرات گسترده و فراوانی را به لحاظ ساختاری و عملکردی در سطح شهرها به وجود آورده است (۳). یکی از این پیامدهای منفی ساختاری، تغییرات الگوی کاربری/پوشش اراضی است که منجر به گسستگی میان پوشش‌های طبیعی بستر سیمای سرزمین شده است (۴) از بین رفتن پوشش‌های طبیعی و جایگزینی آن با سطوح نفوذناپذیر، مانند آسفالت، سیمان و نظایر آن که ظرفیت گرمایی بالایی دارند، سبب بالا رفتن دمای سطح زمین (LST) در این مناطق شده (۵) و منجر به تغییر شرایط اقلیم محلی گردیده که شکل‌گیری جزایر حرارتی (UHI) از جمله پیامدهای آن است.

افزایش دما یا تب کردن زمین، که یکی از پیامدهای جزایر حرارتی می‌باشد، علامت بیماری سرزمین می‌تواند در نظر گرفت که به عنوان شاخص یا عامل مرتبط با کیفیت محیط زیست شهری است (۶) و همین مقوله سبب گردیده است طی سالیان گذشته، اکولوژیست‌ها در مطالعات خود بدان توجه داشته باشند، چراکه نقش کلیدی در تعادل انرژی شهر بر عهده دارد.

سنجه‌های سیمای سرزمین<sup>۸</sup> ابزاری مناسب برای کمی کردن و نیز تعیین ویژگی‌های هندسی و مشخصات کالبدی و فضایی یک لکه همگون یا موزائیکی از لکه‌ها در اکولوژی سیمای سرزمین جهت شناخت ساختار به شمار می‌روند (۷-۹). در دهه‌های گذشته این ابزار جهت مطالعه الگوهای ساختار سیمای سرزمین و مقایسه اکولوژیک کیفیت محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۰، ۱۱) و کارآمدی آن در بررسی مطالعات درجه

5- Landscape Metrics  
6- Composition  
7- Configuration

1- Land Use Land Cover  
2- Land Surface Temperature  
3- Urban Heat Islands  
4- Sign

الگوریتم بیشترین شباهت به دست آمد که در نهایت ۵ نوع طبقه زمین بایر، پوشش گیاهی، سطوح نفوذناپذیر (مناطق مسکونی)، آب و مناطق صنعتی-کارگاهی معرفی گردید (شکل ۱). با توجه به این که، جدا کردن انواع سطوح نفوذناپذیر با استفاده از تصاویر لند ست (ETM) امکان پذیر نمی باشد، لذا در این پژوهش، تفکیک میان طبقه‌های صنعتی و کارگاهی با سایر سطوح نفوذناپذیر از لایه‌های وکتوری موجود در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. پس از انجام عملیات طبقه‌بندی، ارزیابی دقت تصویر، با استفاده از ماتریس خطا صورت پذیرفت. ارزیابی دقت با استفاده از طرح نمونه‌گیری تصادفی اجرا و سپس دقت کلی (۹۱/۱۴) و شاخص کاپا<sup>۸</sup> (۰/۸۶) محاسبه گردید.

کیلومتر مربع قرار داشت، امروزه تبدیل به کلانشهری با هسته-های متعدد مسکونی و صنعتی شده و همین امر موجب بروز مشکلات محیط‌زیستی نظیر افزایش دمای سطح زمین در این کلانشهر گردیده است. حداکثر دمای ثبت شده در ایستگاه مهرآباد ۴۴ و حداقل آن ۱۴/۸ و متوسط سالیانه آن ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و میانگین بارش سالیانه در حدود ۲۵۰ میلی‌متر است (۲۱).

### روش کار بر روی داده‌ها

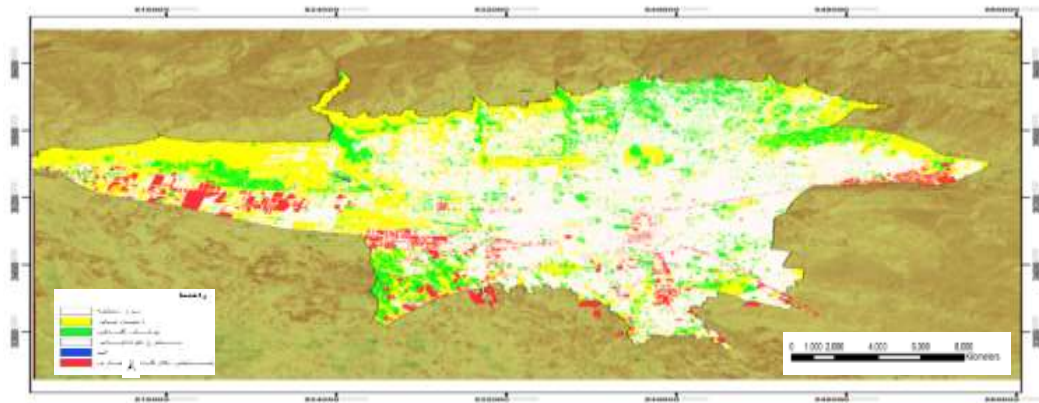
در این پژوهش، تصویر لندست ۷، ETM<sup>+</sup> مربوط به تاریخ ۲۸ فوریه ۲۰۱۳ مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به فقدان داده در بخش‌هایی از تصویر منتخب، از مقایسه تصویر خطادار و یک تصویر صحیح، با استفاده از نرم افزار ENVI اطلاعات از دست رفته بازسازی گردید. این مرحله پس از رفع خطاهای رادیومتریک و اتمسفری صورت پذیرفت تا بتوان به صورت اتوماتیک مقادیر تابش<sup>۱</sup> و بازتاب<sup>۲</sup> را محاسبه نمود. این تصویر با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی سازمان جغرافیایی ارتش با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، به عنوان نقشه‌ی پایه و همچنین از طریق الگوریتم نزدیکترین همسایه با اندازه‌ی پیکسل ۳۰×۳۰ برای تمامی باندها و با استفاده از تابع چند جمله‌ای درجه اول<sup>۳</sup> بازنویسی گردید. کلیه تصاویر در سیستم مختصات UTM انطباق داده شد و در تصحیح تمام تصاویر خطای RMSE کمتر از ۰/۵ به دست آمد.

### نقشه سازی کاربری/پوشش اراضی

مدل آنالیز ترکیب طیفی خطی<sup>۴</sup> پراستفاده‌ترین روش استخراج اطلاعات ترکیبی از تصاویر ماهواره‌ای حاوی پیکسل‌های مختلط است. در این روش، فرآیند جدا سازی ترکیب طیفی سه مرحله کلی (۱) کاهش ابعاد طیفی (۲) شناسایی اجزای تشکیل دهنده (۳) فرآیند معکوس سازی برای تعیین سهم اجزا را، در بر می‌گیرد (۲۲-۲۴). جهت استخراج اجزاء، مدل VIS<sup>۵</sup> مورد استفاده قرار گرفت. نقشه کاربری/پوشش اراضی، با استفاده از تصاویر به دست آمده از مدل آنالیز ترکیب طیفی خطی و نیز

5- VIS(Vegetation-Impervious surface-Soil)  
6- Error Matrix  
7- Overall Accuracy  
8- Kappa Index

1- Radiance  
2- Reflectance  
3- Polynomial  
4- Linear Spectral Mixture Analysis



شکل ۱- نقشه کاربری / پوشش اراضی (LULC) شهر تهران (۱۳۹۱)

Figure 1. Land Use Land Cover (LULC) map in Tehran (2013)

### بازیابی دمای سطح زمین

لازم به ذکر است درجه حرارت به دست آمده در منابع ذکر شده بر حسب کلوین می‌باشد، که با کسر از  $273/15$  به درجه‌ی سانتی‌گراد تبدیل گردید. شکل ۲، توزیع طبقات دمای سطح زمین در پهنه‌های شهری تهران را با میانگین درجه حرارت  $43/85$ ، حداکثر  $51/42$  و حداقل  $14/01$  سانتی‌گراد و انحراف استاندارد  $3/15$ ، نشان می‌دهد. با توجه به این که روش‌های چارک و انحراف معیار در توزیع داده‌ها به عنوان موثرترین روش‌ها شناسایی شده‌اند (۲۹، ۲۸) پهنه‌بندی دمای سطح زمین بر این مبنا صورت پذیرفت. بر همین اساس دمای سطح به چهار پهنه بر اساس میانگین و انحراف معیار تقسیم بندی شد (شکل ۲، جدول ۱). پهنه ۱: مقادیر کوچکتر از میانگین منهای انحراف معیار؛ پهنه ۲: میانگین منهای انحراف معیار تا میانگین؛ پهنه ۳: میانگین تا میانگین به علاوه انحراف معیار؛ پهنه ۴: مقادیر بزرگتر از میانگین به علاوه انحراف معیار (جدول ۱). همچنین، جدول ۱ سهم نسبی مساحت هر پهنه‌های حرارتی را در هر یک از بازه‌های دمایی نمایش می‌دهد.

محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از باند حرارتی تصویر ETM و انجام تصحیحات هندسی رادیومتری صورت پذیرفت. با توجه به این که قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی تصویر لندست ۷ مورد استفاده ۶۰ متر می‌باشد، تصحیح هندسی با استفاده از داده‌های زمینی و با وارد کردن آن در مجموعه داده‌های انعکاسی و به همراه آن صورت گرفت. به منظور بازیابی دمای سطح زمین از تصویر با گین بالا<sup>۲</sup> و همچنین روش توسعه داده شده توسط Artis & Carnahan در سال ۱۹۸۲ (۲۵) استفاده گردید. کالیبراسیون رادیوسنج برای باند  $6H$  در سنجنده‌ی  $ETM^+$  در سه مرحله صورت پذیرفت.

۱) تبدیل عدد رقومی (DN) به تابش طیفی<sup>۳</sup>، ۲) تبدیل تابش طیفی به درجه حرارت جسم سیاه، ۳) بازیابی دمای سطح زمین پس از تصحیح توان تشعشعی با استفاده از فرمول ۱ (۲۵، ۲۶)

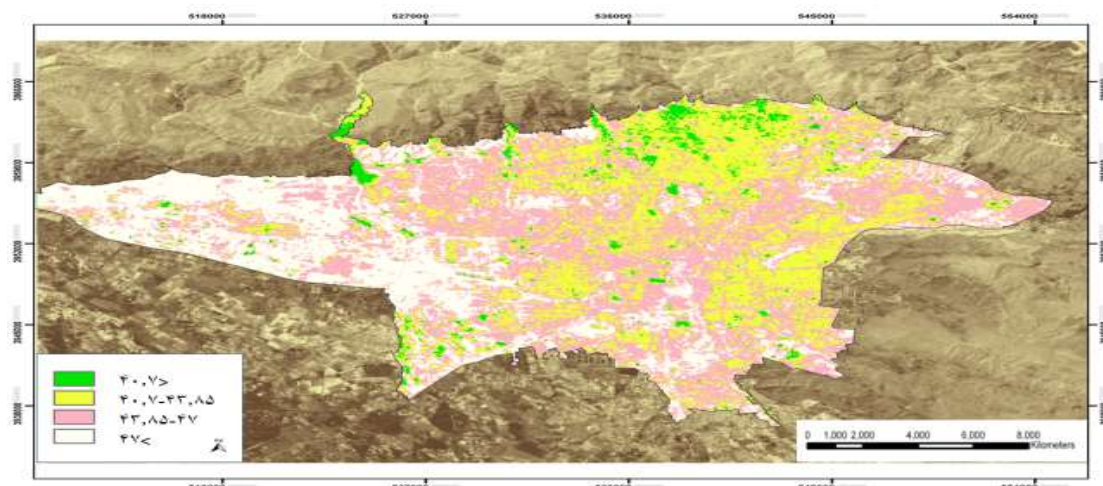
$$LST = T_B / 1 + (\lambda T_B / \alpha) \ln \varepsilon \quad (1)$$

اجزای فرمول ۱ به ترتیب تابش طیفی به درجه حرارت جسم سیاه ( $T_B$ )،  $\lambda$  طول موج تابشی ساطع شده معادل ( $\mu m$ ) ۱۱.۴۵۷ و  $\alpha = 1.438 \times 10^{-2}$  و  $\varepsilon$  توان تشعشعی سطوح زمین می‌باشد که بر اساس آن دمای سطح زمین محاسبه شد (۲۷).

جدول ۱- توزیع طبقات دمای سطح زمین در شهر تهران (۱۳۹۱)

Table 1. distribution of the land surface temperature zones in Tehran (2013)

پهنه‌ها	دامنه دمایی (°C)	مساحت (درصد)
پهنه ۱	$40.7 >$	۸/۸۷٪
پهنه ۲	$40.7-43.85$	۳۱/۵۸٪
پهنه ۳	$43.85-47$	۳۴/۰۳٪
پهنه ۴	$47 <$	۲۵/۵۲٪



شکل ۲- توزیع دمای سطح زمین (LST) در سطح شهر تهران (۱۳۹۱)

Figure 2. spatial distribution of land surface temperature zones in Tehran (2013)

#### محاسبه سنجه های سیمای سرزمین

را نمایش می‌دهد. این سنجه‌ها عبارتند از درصد هر کلاس (PLAND)، میانگین اندازه‌ی لکه (MPS)، تراکم لکه (AI)، پیوستگی یا انسجام لکه‌ها (COHESION)، چین خوردگی محیط-مساحت (FRAC) شاخص شانون (SHDI)، سرایت (CONTAG). این سنجه‌ها در مطالعات Weng *et al.*, 2007 و Madanian *et al.*, 2018 (۱۰، ۱۲، ۱۶) نیز مورد استفاده و تحلیل قرار گرفته است.

بررسی ارتباط بین توزیع درجه حرارت سطح زمین در هر طبقه با پراکندگی کاربری/پوشش زمین شهری با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین انجام شد. در این مطالعه ۵ سنجه در سطح کلاس ۲ و سنجه در سطح سیمای سرزمین با استفاده از نسخه رستری نرم افزار FRAGSTAT مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (۷). لازم به ذکر است این نرم افزار با استفاده از زبان آرک ماکرو طراحی و جهت تحلیل الگوهای سیمای سرزمین استفاده می‌شود (۱۱). جدول ۲ لیست سنجه‌های مورد استفاده در این پژوهش به همراه تعاریف و فرمول‌های استفاده شده در محاسبه

جدول ۲- توضیحات و معادلات سنجه‌های سیمای سرزمین مورد استفاده در پژوهش (۷،۳۰)

Table 2. Selected landscape metrics, descriptions, and equations

معادله مربوط	توضیحات	سنجه (علامت اختصاری)
$PLAND = p_i = \left( 100 \times \sum_{j=1}^n a_{ij} \right) / A$ <p><math>P_i</math> = نسبت سیمای سرزمین اشغال شده توسط کلاس <math>i</math></p> <p><math>a_{ij}</math> = مساحت لکه‌های <math>ij</math> (<math>m^2</math>)</p> <p><math>A</math> = مجموع مساحت سیمای سرزمین (<math>m^2</math>)</p>	سنجه فراوانی نسبی هر طبقه را در کل سیمای سرزمین بیان می‌دارد و آن را می‌توان شاخصی از ترکیب سیمای سرزمین در نظر گرفت. مقادیر این سنجه بین صفر تا ۱۰۰ می‌باشد.	درصد هر کلاس (PLAND) (سطح کلاس)
$MPS = \sum_{j=1}^n X_{ij} / n_i$ <p><math>X_{ij}</math> = مساحت لکه‌ها در یک کلاس</p> <p><math>n</math> = تعداد لکه‌های هر کلاس</p>	تعداد لکه‌های هر طبقه را در هر ۱۰۰ هکتار، بیان می‌دارد. مقادیر این سنجه بزرگتر از صفر است. زمانی که هر سلول تصویر به یک طبقه جدا اختصاص داده شود، این سنجه بالاترین درصد تراکم را خواهد داشت.	میانگین اندازه‌ی لکه (MPS) (سطح کلاس)
$AI = (g_{ij} / \max - g_{ij}) \times 100$ <p><math>g_{ij}</math> = تعداد اتصالات مشابه بین پیکسل‌ها از کلاس <math>i</math></p> <p><math>\max - g_{ij}</math> = ماکزیمم تعداد اتصالات مشابه بین پیکسل‌ها از کلاس <math>i</math></p>	سطح تراکم را در سیمای سرزمین تحلیل می‌کند. دامنه‌ی مقادیر این سنجه بین صفر تا ۱۰۰ نوسان دارد.	تراکم (AI) سطح کلاس
$PAFRAC = \left\{ 2 / \left[ \left( N \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (L_n P_{ij} \times L_n a_{ij}) \right) \right] \right\} - \left[ \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L_n P_{ij} \right) \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L_n a_{ij} \right) \right] / \left[ \left( n_i \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L_n (P_{ij})^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L_n P_{ij} \right)^2 \right]$ <p><math>a_{ij}</math> = مساحت لکه <math>ij</math> (<math>m^2</math>)</p> <p><math>p_{ij}</math> = محیط لکه <math>ij</math> (<math>m</math>)</p> <p><math>n_i</math> = مجموع تعداد لکه‌ها در سیمای سرزمین</p>	سنجه بعد چین خوردگی محیط-مساحت معیاری برای پیچیدگی شکل در سیمای سرزمین می‌باشد و پیچیدگی شکل در هر طبقه را نمایش می‌دهد.	ابعاد چین خوردگی محیط به مساحت (FRAC) (سطح کلاس)
$COHSION = \left[ 1 - \left( \sum_{j=1}^n P_{ij} \right) / \sum_{j=1}^n (P_{ij} \times \sqrt{a_{ij}}) \right] (1 - 1/\sqrt{A})^{-1} \times 100$ <p><math>P_{ij}</math> = محیط لکه <math>ij</math> به جای تعداد کلاس سطوح سلول</p> <p><math>a_{ij}</math> = مساحت لکه‌های <math>ij</math> به جای تعداد سلول‌های کل</p> <p><math>A</math> = تعداد سلولها در سیمای سرزمین</p>	اتصالات فیزیکی انواع لکه‌های مشابه را اندازه‌گیری می‌کند. این سنجه در ارتباط نزدیک با گسیختگی لکه‌ها است. بزرگی مقادیر این سنجه نشان دهنده انسجام لکه برای طبقاتی است که تراکم و اتصالات فیزیکی بالا را دارا باشند.	پیوستگی لکه (COHESION) (سطح کلاس)
$CONTAG = \frac{1 + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ P_i \times \left( G_k / \sum_{i=1}^m G_k \right) \right] \times 100 \times \left( L_n P_i \left( G_k / \sum_{i=1}^m G_k \right) \right)}{2Lnm}$ <p><math>P_i</math> = نسبت سیمای سرزمین اشغال شده توسط کلاس‌ها</p> <p><math>g_{ik}</math> = تعداد مجاورت (نزدیکی) بین پیکسل‌های کلاس <math>i</math> و <math>k</math> بر اساس روش شمارش دوگانه (the double-count method)</p> <p><math>m</math> = تعداد کلاس‌ها که در سیمای سرزمین حضور دارند.</p>	درجه‌ی تراکم را نشان می‌دهد. یعنی میزان تجمع لکه‌های متعلق به طبقات مختلف را در سیمای سرزمین اندازه می‌گیرد و بالا بودن آن پتانسیلی برای گسترش تنوع و اختلال در هر طبقه می‌باشد.	سرایت (CONTAG) (سطح سیمای سرزمین)
$SHDI = - \sum_{j=1}^n (P_i \times L_n P_i)$ <p><math>P_i</math> = درصد سیمای سرزمین اشغال شده توسط کلاس</p>	معرف تنوع زیستی در اجتماعات اکولوژی می‌باشد، این سنجه بیشتر توصیف کننده‌ی غنا می‌باشد تا یکنواختی. غنا به تعداد لکه‌ها و یکنواختی به توزیع مساحت میان انواع مختلف از لکه‌ها اشاره دارد. شاخص تنوع شانون زمانی صفر	شاخص تنوع شانون (SHDI) سطح سیمای سرزمین

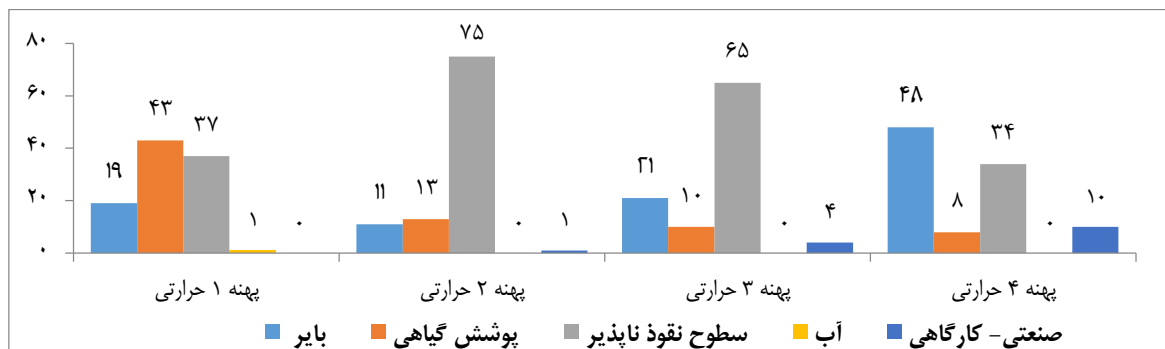


است که همه‌ی سیمای سرزمین فقط یک لکه را در بر گیرد و توزیع نسبی مساحت میان لکه‌ها مساوی باشد.
---

### نتایج

**توزیع کاربری پوشش اراضی در هر یک از پهنه‌های حرارتی**  
 ترکیب و توزیع هر یک از کاربری/پوشش اراضی، در هر یک از چهار پهنه حرارتی در شکل ۳ نمایش داده شده است. کاربری/پوشش اراضی غالب در پهنه ۱ حرارتی، متعلق به پوشش گیاهی (۴۳٪) است که این کاربری نقش مهمی در خنک بودن این پهنه‌ی حرارتی دارد. از سوی دیگر، این پهنه تنها پهنه‌ای است که دربرگیرنده‌ی گروه آبی (۱٪) می‌باشد. گروه آب تنها ۱٪ سطح پهنه ۱ را به خود اختصاص داده و سهم اراضی شهری (سطوح نفوذناپذیر) در آن بیشتر است، با این وجود نتایج به دست آمده اثر این طبقه را بر شکل‌گیری جزایر خنک دمایی در منطقه نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توان استنباط کرد پوشش گیاهی و آب، طبقه بندی مهم این پهنه حرارتی است.

کاربری غالب در پهنه‌ی ۲ و ۳ حرارتی سطوح نفوذناپذیر می‌باشد، با این تفاوت که اراضی بایر و صنعتی-کارگاهی در پهنه‌ی ۳ حرارتی نسبت به پهنه‌ی ۲ به ترتیب افزایش و پوشش گیاهی کاهش داشته است. در پهنه‌ی ۴ حرارتی، طبقه‌ی اراضی بایر بالاترین درصد (۴۸٪) را به خود اختصاص داده است. در این پهنه، طبقه‌ی صنعتی-کارگاهی بالاترین درصد و پوشش گیاهی پایین‌ترین درصد را نسبت به سایر پهنه‌ها دارا می‌باشند(شکل ۳). با توجه به توضیحات ارائه شده، انتظار می‌رود کاربری غالب در پهنه‌ی ۴ مناطق صنعتی-کارگاهی باشد حال آن‌که کاربری بایر با ۴۸٪، طبقه‌ی غالب این پهنه حرارتی مشخص شده است که علت آن را می‌توان به پایین بودن مساحت طبقه صنعتی-کارگاهی در پهنه‌های شهری تهران نسبت داد.



شکل ۳- ترکیب و توزیع کاربری/پوشش اراضی در پهنه‌های حرارتی

Figure 3. Composition and distribution of land use/land cover in LST zones

پهنه بالا (۹۶/۱۹) است (جدول ۳). پهنه‌ی ۲ بالاترین سنجه چین‌خوردگی را نیز دارد که ارزش آن برابر با ۱/۴۸۵ می‌باشد. پهنه‌ی ۳ حرارتی ۱۱/۱۰ درصد سیمای سرزمین را در بر گرفته است و میانگین اندازه‌ی لکه متوسط و سنجه چین‌خوردگی بالایی دارد. در پهنه‌ی ۴ که بعد از پهنه‌ی ۲ حرارتی بالاترین درصد را به خود اختصاص داده است. بالاترین درصد تراکم در میان پهنه‌های حرارتی مربوط به این پهنه بوده و همچنین مقادیر سنجه مربوط به پیوستگی مانند پهنه ۲ حرارتی بالا و معادل ۹۹/۲۵ است (جدول ۳).

**تجزیه و تحلیل سنجه‌ها در پهنه‌های حرارتی سطح شهر و طبقات کاربری/پوشش اراضی**  
 خصوصیات فضایی و اکولوژیکی، درجه حرارت سطح زمین و کاربری/پوشش اراضی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین بر روی نقشه‌های تهیه شده، بررسی شد (جدول ۳). بر این اساس پهنه‌ی ۱ حرارتی، پایین‌ترین درصد سیمای سرزمین و میانگین اندازه‌ی لکه را دارا می‌باشد، همچنین در میان پهنه‌های حرارتی، سنجه چین‌خوردگی بالایی را (۱/۴۸۴) به خود اختصاص داده است. در این پهنه، سنجه تراکم نسبتاً پایین و انسجام لکه در این

این طبقه (سطوح نفوذناپذیر) مشابهت‌های زیادی با پهنه‌ی حرارتی ۲ دارد. بالا بودن میانگین اندازه‌ی لکه‌ی سطوح نفوذناپذیر، بر بالا بودن مقادیر میانگین اندازه‌ی لکه در پهنه‌ی ۲ حرارتی تاثیر گذار بوده است. همچنین سنجه پیوستگی این کاربری مقادیر بالا را نمایش می‌دهد. پوشش گیاهی در پهنه‌های شهری تهران ۶/۲۲ درصد از سیمای سرزمین شهری را به خود اختصاص داده‌اند. این طبقه میانگین اندازه‌ی لکه و توزیع (تراکم) فضایی (۷۶/۴۳) نسبتاً پایین در مقایسه با سایر طبقات دارد. از نظر پیچیدگی شکل یا همان سنجه چین خوردگی، عددی بسیار مشابه با اراضی بایر، با پیچیدگی شکل نسبتاً بالا (۱/۳۶۵) را دارد و همچنین پیوستگی بالایی (۹۴/۹۳) را نشان می‌دهد، در حالی که در این طبقه سنجه AI مقادیر پایینی دارد (جدول ۳).

کاربری/پوشش اراضی سطوح نفوذناپذیر در این پژوهش به عنوان مناطق شهرنشینی در نظر گرفته شده است. این طبقه بالاترین درصد کلاس، میانگین اندازه‌ی لکه، پیوستگی، تراکم را بین سایر کاربری/پوشش اراضی به خود اختصاص داده است. انتظار می‌رفت به دلیل فرایند گسستگی که در شهر وجود دارد، این طبقه میانگین اندازه‌ی لکه‌ی نسبتاً پایین را نمایش دهد اما با توجه به جدول ۳ عکس این مطلب مشاهده می‌گردد.

شهرنشینی منجر به پیچیدگی شکل سیمای سرزمین شده است. این امر موید این مطلب کاربری غالب پهنه‌های شهری تهران، پیچیدگی شکل بالایی دارند. همان طور که در جدول مشخص شده است، این طبقه بعد از آب، سنجه چین خوردگی بالایی نشان می‌دهد که تاییدی بر صحت موضوع می‌باشد. مشخصات

### جدول ۳- نتایج به دست آمده از محاسبه‌ی سنجه‌ها بر روی پهنه‌های حرارتی و کاربری / پوشش اراضی

Table 3. Statistics of metrics in LULC types and LST zones

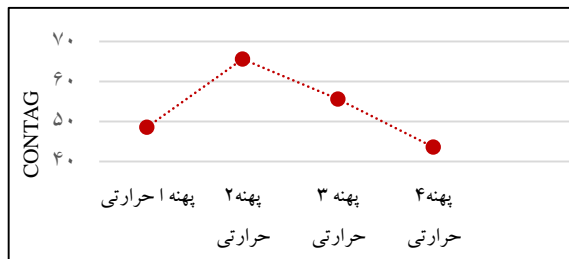
COHESION	AI	PAFRAC	MPS	PLAND	
۹۹/۹۲	۹۲/۶۹	۱/۳۹	۱۰/۱۶	۲۹/۰۲۸	سطوح نفوذناپذیر
۹۲/۳۵	۸۳/۱۴	۱/۳۰	۲/۱۵	۲/۱	صنعتی-کارگاهی
۹۴/۹۳	۷۶/۴۳	۱/۳۶۵	۱/۵۱	۶/۲۲	پوشش گیاهی
۹۸/۴۱	۸۷/۰۲	۱/۳۶۱	۱/۰۷	۱۲/۱۴	اراضی بایر
۳۷/۱۱	۲۱/۷۱	۱/۴۱۵	۰/۱۴۵	۰/۱۰	آب
۹۶/۱۹	۷۴/۵۶	۱/۴۸۴	۲/۷۸	۳/۶۶	پهنه ۱ حرارتی
۹۹/۶۹	۸۶/۰۶	۱/۴۸۵	۹/۵۰	۱۸/۵۲	پهنه ۲ حرارتی
۹۶/۳۶	۷۳/۱۷	۱/۴۱۸	۳/۰۸	۱۱/۱۰	پهنه ۳ حرارتی
۹۹/۲۵	۸۸/۸۳	۱/۳۶۵	۸/۹۰	۱۳/۸۰	پهنه ۴ حرارتی

طبقات مربوط به اراضی بایر بعد از سطوح نفوذناپذیر (مناطق شهری)، بالاترین درصد (۱۲/۱۴) را در بر گرفته‌اند. میانگین اندازه‌ی لکه نسبتاً بالا و پیچیدگی شکل متوسط دارند. همچنین پیوستگی بسیار بالا و تراکم فضایی (AI) نسبتاً خوبی را دارا می‌باشد. لکه‌های بایر، بیشتر در شمال غرب، همچنین تپه‌های درون شهری (که از شرق به غرب کشیده شده‌اند) و نیز مقادیر پراکنده در جنوب و سطح شهر، اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت از منطقه‌ی مطالعاتی را در بر گرفته‌اند. در پهنه ۴ کاربری غالب، اراضی بایر می‌باشد. از این رو این طبقه با پهنه ۴ حرارتی

خصوصیات ترکیبی طبقات آب و پوشش گیاهی مشابهت‌های بسیار با پهنه‌ی ۱ حرارتی دارد. پوشش گیاهی کاربری غالب در این پهنه می‌باشد که بر خنک بودن دمای سطح زمین تاثیر گذار بوده است. در این پهنه کلاس آب حضور دارد و تنها ۱٪ پهنه را به خود اختصاص داده است، با وجود این، این طبقه اثر خود را بر روی جزایر خنک دمایی در این پهنه گذاشته است. پهنه‌ی یک پیچیدگی شکل بالایی دارد، که علت آن را می‌توان به وجود طبقات آب و پوشش گیاهی نسبت داد.

چین خوردگی) در منطقه را دارد(جدول ۳). کاربری صنعتی- کارگاهی نقش مهمی در تعیین ویژگی‌های سیمای سرزمین در پهنه‌ی ۴ حرارتی ایفا می‌کند، اگر چه این کاربری درصد محدودی از منطقه را پوشش داده است. بر اساس نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل‌های فوق می‌توان عنوان کرد که ترکیب و توزیع کاربری/پوشش اراضی در کلیه پهنه‌های حرارتی کاملاً نامناسب بوده و تاثیر منفی بر کیفیت محیط زیست گذاشته است.

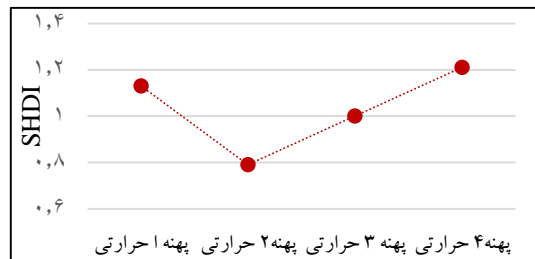
ب) (b)



مشابهت‌های بسیاری را در مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهد.

در مورد کاربری صنعتی-کارگاهی، که از سایر سطوح نفوذناپذیر تفکیک شده، بعد از آب کمترین درصد سیمای سرزمین شهری را به خود اختصاص داده است، در صورتیکه اتصالات فیزیکی و تراکم فضایی مقادیر نسبتاً بالایی دارد. میانگین اندازه‌ی لکه در این طبقه ۲/۱۵، همچنین پایین‌ترین پیچیدگی شکل (سنجه

الف) (a)



شکل ۴ - نمودار الف- وضعیت شاخص شانون ، ب- وضعیت سنجه سرایت کاربری / پوشش اراضی در پهنه های حرارتی

Figure 4. (a) Shannon Index (b) CONTAG Index in each LST zone

شاخص شانون مربوط به پهنه ۴ حرارتی است که اراضی بایر در آن کاربری غالب است.

دومین پهنه حرارتی که مقادیر بالایی از شاخص شانون را به خود اختصاص داده است، مربوط به پهنه یک با کاربری غالب پوشش گیاهی می‌باشد، باید در نظر داشت این پهنه در مقایسه با سایر پهنه ها کمتر مورد تخریب انسانی قرار گرفته است.

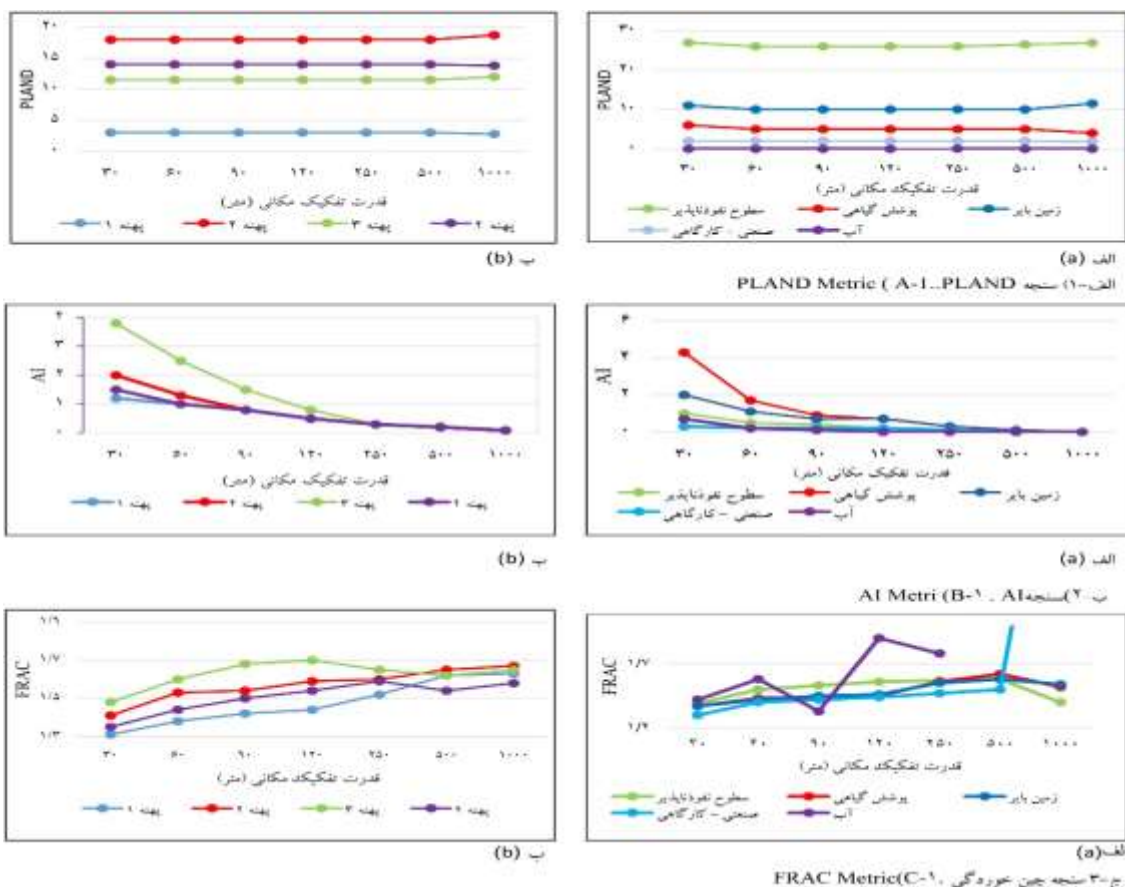
#### انتخاب بهترین مقیاس با استفاده از سنجه‌های سیمای

#### سرزمین

پس از آن که مشخص گردید سنجه‌های سیمای سرزمین ابزاری مناسب جهت بررسی ارتباط کاربری/ پوشش اراضی با دمای سطح هستند، در گام بعدی به بررسی این ارتباط با استفاده از سنجه های سیمای سرزمین در مقیاس‌های (قدرت تفکیک مکانی) مختلف ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ (متر) پرداخته شد. در این مرحله از سنجه‌هایی نظیر AI، PLAND، FRAC استفاده شد (شکل ۵).

جهت بررسی تنوع کاربری/پوشش اراضی و نیز اندازه‌گیری تجمع لکه‌های متعلق به طبقات مختلف کاربری/پوشش اراضی در پهنه- های حرارتی به ترتیب سنجه های شانون (SHDI) و سرایت (CONTAG) مورد استفاده قرار گرفت. همان طور که در شکل ۴-الف دیده می‌شود، بالاترین تنوع کاربری مربوط به پهنه- ی چهار (۱/۲۱) و پایین ترین تنوع مربوط به پهنه‌ی دو (۰/۸) می‌باشد. این در حالی است که بالاترین درصد سرایت مربوط به پهنه حرارتی دو با (۶۵/۲) و پایین‌ترین درصد مربوط به پهنه چهار حرارتی با ۴۳ می‌باشد (شکل ۴-ب).

همان طور که قبلاً اشاره شد، بیشترین درصد فراوانی مربوط به سطوح نفوذناپذیر در پهنه دو می باشد که همین امر حاکی از این است که در این پهنه حداکثر اختلال به واسطه دخالت انسان صورت پذیرفته است و منجر به کاهش تنوع زیستی در این پهنه شده است. از سوی دیگر پایین‌ترین درصد سرایت و بالاترین



شکل ۵- سنجه‌های سیمای سرزمین بر روی نقشه‌ی کاربری/پوشش اراضی (LULC) و دمای سطح زمین (LST). محور X مقیاس‌های (قدرت تفکیک مکانی) مختلف و محور Y مقادیر (ارزش‌ها) سنجه را نمایش می‌دهد. الف) نقشه‌ی دمای سطح زمین (LST)، ب) نقشه کاربری/پوشش اراضی (LULC)

الف-۱) سنجه PLAND (ب-۲) سنجه تراکم (AI) (ج-۳) سنجه چین خوردگی (FRAC)

Figure 5. Metrics on Land Use / Land Cover map (LULC) and Land Surface Temperature (LST). The X-axis of the different Scales (spatial resolution) and the Y-axis represents the values of the metrics. A) Land Surface Temperature map (LST), b) Land Use / Land Cover map (LULC) PLAND Metric (1-A), AI Metric (1-B), FRAC Metric (1-C)

اثر تغییر مقیاس بر سنجه (AI) حاکی از آن است که تراکم طبقات کاربری/پوشش اراضی و پهنه‌های حرارتی با افزایش قدرت تفکیک مکانی، کاهش یافته‌اند. مقادیر به دست آمده برای تراکم کلاس‌های مختلف نقشه‌ی کاربری/پوشش اراضی و همچنین نقشه‌ی دمای سطح زمین، در مقیاس بزرگتر از ۲۵۰ متر نتایج قابل قبولی نیستند، زیرا در هر دو نقشه، تمامی طبقات در مقیاس‌های بزرگتر از ۲۵۰ متر مقادیر یکسان جهت سنجه تراکم لکه برای انواع طبقات را نمایش می‌دهد.

در مقیاس‌های کوچکتر از ۲۵۰، کاربری/پوشش اراضی با درصد تراکم بالا، بسیار تحت تاثیر فرایند تغییر مقیاس قرار گرفته‌اند،

همان‌طور که در شکل ۵-الف-۱ دیده می‌شود، تغییرات مقیاس (قدرت تفکیک مکانی) بر روی سنجه PLAND در دمای سطح زمین، بسیار کم بوده اما بررسی‌ها بر روی نقشه کاربری/پوشش اراضی نشان می‌دهد که کاربری/پوشش اراضی با درصد بالای مساحت در منطقه مطالعاتی، بیشتر تحت تاثیر تغییرات مقیاس قرار گرفته‌اند. چنانچه ثابت ماندن مقادیر این سنجه برای طبقات آب و مناطق صنعتی نسبت به تغییرات مقیاس، تأییدی بر این مطلب می‌باشد. تفاوت‌هایی که با تغییر مقیاس در نقشه‌های فوق به دست آمده است نشان می‌دهد سنجه PLAND می‌تواند به عنوان پارامتر مستقل به مقیاس در نظر گرفته شود.

تغییر مقیاس، سیر صعودی خود را با شیب های مختلف ادامه داده است. (شکل ۵، ج-۳) از این رو می توان استنباط کرد که این سنجه نیز پارامتری وابسته به مقیاس است.

### بحث و نتیجه گیری

تحقیق حاضر روش شناسی مفیدی در ارزیابی ارتباط میان دمای سطح زمین و کاربری/پوشش اراضی شهری را فراهم آورده است. در این تحقیق از سنجه های سیمای سرزمین در تحلیل ارتباط بین دمای سطح و کاربری/پوشش اراضی استفاده شد و بر اساس تحلیل های صورت گرفته مقادیر به دست آمده از سنجه ها در هر یک از پهنه های حرارتی، با مقادیر آن در هر یک از انواع کاربری/پوشش اراضی غالب در هر پهنه ارتباط داشته، که نشان دهنده توزیع فضایی پهنه های حرارتی خاص در ارتباط با توزیع فضایی نوع کاربری/پوشش اراضی غالب در آن پهنه است. بر این اساس، می توان سنجه های سیمای سرزمین را ابزار مفیدی در بیان کمی و تحلیل ارتباط میان دمای سطح زمین و کاربری/پوشش اراضی دانست. نتایج بدست آمده این بخش از تحقیق با نتایج تحقیقات Weng, Liu و همکاران، و Asgarian و همکاران، Madanian و همکاران، Liu و همکاران (۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۳۱) مشابه و تاییدی در جهت یافته های تحقیقات آنها می باشد.

انتخاب مقیاس مناسب در هر مطالعه ارتباط مستقیم با هدف پژوهش دارد که در مطالعات باید بدان توجه گردد. بررسی های به عمل آمده حاکی از آن بود تغییر مقیاس (قدرت تفکیک مکانی)، بر ویژگی ها و خصوصیات فضایی و اکولوژیکی کاربری/پوشش اراضی و دمای سطح زمین با استفاده از سنجه های سیمای سرزمین تاثیر گذار است و نتایج مختلف از آن قابل استنتاج است. از این رو قدرت تفکیک مکانی متعددی به عنوان مقیاس حساس و مهم در بررسی ارتباط الگوهای دمای سطح زمین و کاربری/پوشش اراضی با استفاده از سنجه های سیمای سرزمین شناخته شده اند. هر چند جهت تعیین مقیاس مناسب باید تصاویر متفاوت در فصول مختلف مورد بررسی قرار گیرد (۲۹، ۳۱)، اما با تمرکز بر تصویر مورد استفاده در این پژوهش می توان مقیاس (قدرت تفکیک) ۳۰ متر را مقیاس مناسب در بررسی

اما برای کاربری ها با درصد تراکم پایین این موضوع صادق نمی باشد. از این رو این سنجه را می توان به عنوان پارامتری وابسته به مقیاس در نظر گرفت. از آنجا که تراکم کلاس های (تعداد لکه های) پوشش گیاهی و اراضی بایر در منطقه مطالعاتی در مقیاس های ۹۰ تا ۲۵۰ متر کاهش یافته است از این رو مقیاس یاد شده را می توان مقیاسی مناسب در تجزیه و تحلیل تراکم لکه ها برای کاربری/پوشش اراضی در نظر گرفته شود. تراکم لکه بر روی نقشه های دمای سطح زمین، روندی مشابه با کاربری/پوشش اراضی را نشان می دهد. بر این اساس می توان استنباط کرد سنجه های ماهواره لندست با قدرت تفکیک بالاتر از ۲۵۰ متر برای برنامه ریزان محیط زیستی هنگامی که به مطالعه ی تراکم لکه های دمای سطح زمین و موضوعات مرتبط با آن در محیط شهری متمرکز هستند، تصاویر مناسبی نمی باشد (شکل ۵-ب-۲).

اثر تغییر مقیاس بر سنجه چین خوردگی (FRAC) اثر گذار است، انتظار می رود با کاهش تراکم از ۳۰ تا ۱۰۰۰ متر مقادیر سنجه چین خوردگی کاهش یابد. شکل ۵-ج نشان می دهد مقادیر سنجه چین خوردگی برای تمام کاربری/پوشش اراضی با بالا رفتن قدرت تفکیک مکانی افزایش داشته است، اما استثنایی در آن دیده می شود که از جمله ی آن می توان به مقادیر پوشش گیاهی (در مقیاس ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر) و سطوح نفوذناپذیر (از مقیاس ۲۵۰ متر) اشاره کرد که روند نزولی داشته است. روند تغییرات مقادیر این سنجه در بررسی پهنه های حرارتی روندی مشابه با کاربری/پوشش اراضی نشان می دهد. مقادیر این سنجه تا مقیاس ۲۵۰ متر در تمامی پهنه ها روند افزایشی داشته است. اما از مقیاس ۲۵۰ متر به بعد مقادیر این سنجه برای هر پهنه تغییر می کند. برای مثال پهنه ۳ که بالاترین مقدار برای سنجه چین خوردگی را به خود اختصاص داده است از ۲۵۰ تا ۵۰۰ روند کاهشی و بعد از آن به روند صعودی خود ادامه می دهد. این روند در پهنه ۴ حرارتی نیز مشابه است. پهنه ۲ حرارتی تا مقیاس ۵۰۰ سیر صعودی خود را داشته است، اما مقادیر این سنجه با تغییر مقیاس از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر در پهنه ی فوق کاهش یافته است. این در صورتی است که پهنه ۱ با فرایندهای

## References

1. Bain, D.J and Brush, G.S., 2004. placing the pieces: reconstructing the original property mosaic in a warrant and patent watershed. *Landscape Ecology*, 19(8), 843-856.
2. Mahamane, M., Zorrilla-Miras, P., Verweij, P., Ryan, C., Patenaude, G., Grundy, I., & Vollmer, F., 2017. Understanding Land Use, Land Cover and Woodland-Based Ecosystem Services Change, Mabalane, Mozambique. *Energy and Environment Research*, 7(1), 1.
3. Guo G, Wu Z, Xiao R, Chen Y, Liu X, Zhang X., 2015. Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135:1-10.
4. Keshtkar, H., & Voigt, W., 2016. Potential impacts of climate and landscape fragmentation changes on plant distributions: coupling multitemporal satellite imagery with GIS-based cellular automata model. *Ecological Informatics*, 32, 145–155.
5. Zhou W, Qian Y, Li X, Li W, Han L., 2014. Relationships between land cover and the surface urban heat island: seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures. *Landscape Ecology*, 29.
6. Xiao, R., Ouyang, Z., Zhang, H., Li, W., Schienke, E.W., Wang, X. 2007. Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China, *Journal of Environmental Sciences* 19, 250-256.
7. McGarigal, K., 2015. FRAGSTATE help. Amherst: Department of

ارتباط دمای سطح زمین و کاربری پوشش ارضی برای تصویر لندست معرفی نمود.

این تحقیق یک چارچوب مفهومی را برای درک پویایی محیط زیست حرارت شهر فراهم آورد و همچنین اطلاعات مفیدی در اختیار برنامه‌ریزان و طراحان شهری قرار دهد تا سیمای سرزمین شهری را مدیریت کنند و محیط زیست حرارتی شهر را به عنوان نتیجه‌ای از شهرنشینی ارزیابی کنند و سیاست‌هایی را برای کاهش اثرات حرارتی منفی اتخاذ نمایند. حرارت شهری، ارتباط مستقیم با آسایش حرارتی در طول روز و شب و همچنین خطر بیماری برای جمعیت شهری حساس از نظر دما دارد (۳۲،۳۳). نتایج تحقیق حاکی از بالا بودن درجه حرارت سطحی کاربری های صنعتی- کارگاهی نسبت به سایر کاربری‌ها نظیر مسکونی است و این مسئله اهمیت جانمایی مراکز صنعتی-کارگاهی در خارج از محیط های شهری را یادآور می‌شود. بر این اساس، یکی از کاربردهای این تحقیق را می‌توان مکان یابی بهینه صنایع آلاینده و سایر مراکز صنعتی دانست. با توجه به اینکه لکه های سبز با پیوستگی بالا خنک ترین پهنه ها در محیط شهر می باشند، از این رو کاهش دما در مناطق مختلف شهر را می‌توان با کاهش شیب زیاد دمایی از طریق کاهش وسعت (میانگین اندازه‌ی لکه) و کاهش اتصالات سطوح نفوذناپذیر و اراضی بایر به حداقل رساند. این مهم از طریق احیا و توسعه شبکه‌ی حیاتی سبز و اتصال سبز راه ها و کاشت درخت امکان پذیر می‌باشد. این موضوع، بار دیگر مسئله‌ی احیای شبکه اکولوژیکی و حضور طبیعت در شهر را یادآور می‌شود. همچنین، از این طریق می‌توان مکان یابی سیستمی برای بوستان‌ها در محیط شهری انجام داد (۳۴). چرا که می‌توان از طریق کاهش قطعه شدن لکه های فضای سبز و همچنین افزایش پیوستگی و پیچیدگی لکه های فضای سبز و سبز راه‌ها به کاهش جزایر حرارتی کمک نمود. یکی دیگر از کاربردهای تحقیق حاضر استفاده از آن در تعیین محدوده‌ی شهر است. تعاریف و نظریه‌ها در این مورد وجود دارد، اما همواره این مسئله که شهر کجا شروع می‌شود، بحث انگیز بوده است، دما می‌تواند معیار خوبی در این زمینه باشد. همچنین، دمای سطح زمین می‌تواند فاکتوری مناسبی در جهت تعیین گسترش شهر در نظر گرفته شود.

- surface temperature using landscape metrics approach. *Urban Ecosystem*, 18, 209–222.
15. Zhang, Y., Odeh, I. O. A., & Ramadanc, E., 2013. Assessment of land surface temperature in relation to landscape metrics and fractional vegetation cover in an urban/peri-urban region using Landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(1), 168–189.
  16. Madanian, M. Soffianian, A. Soltani Koupai, S. Pourmanafi, S Mehdi Momeni, M., 2018. Analyzing the effects of urban expansion on land surface temperature patterns by landscape metrics: a case study of Isfahan city, Iran. *Environ Monit Assess* 190:189.
  17. Xie, M., Wang, Y., Chang, Q., Fu, M., & Ye, M., 2013. Assessment of landscape patterns affecting land surface temperature in different biophysical gradients in Shenzhen, China. *Urban Ecosystem*, 16, 871–886.
  18. Liu, Y., Peng, J., Wang, Y., 2018. Efficiency of landscape metrics characterizing urban land surface temperature. *Landscape and Urban Planning*, 180, 36-53.
  19. Hashemi S.M, Alavipanah S.K, Dinarvandi M., 2013. Assessment of Spatial Distribution of Land Surface Temperature in Urban Environment by Remote Sensing *Journal of Environmental Studies*, 39(1):81-92. (In Persian)
  20. Statistical Center of Iran., 2016. (In Persian)
  21. Iran Meteorological Organization., 2016. (In Persian)
  22. Wu, C & Murray, A. T., 2003. Estimating impervious surface Environmental Conservation University of Massachusetts.
  8. Botequilha A.L., and Jack Ahern., 2002. applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning* .59:65-93.
  9. Forman, R.T.T., Godron, M., 1986. *Landscape Ecology*. Quinn-Woodbine, Inc., United States of America. Gergel, S. E., & Turner, M. G. (Eds.). (2017). *Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques*. Springer.
  10. Riitters, K. H., O'Neill, R. V., Hunsaker, C. T., Wickham, J. D. , Yankee, D. H. , Timmins, S. P., Jones, K. B., and Jackson, B. L., 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics, *Landscape Ecology*. 10: 23–39.
  11. McGarigal, K., Marks, B.J., 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure, General Technical Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland.
  12. Weng, Q., Liu, H., Lu, D., 2007. Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of Indianapolis, United States, *Urban Ecosystem*. 10(2).203–219.
  13. Li X, Zhou W, Ouyang Z., 2013. Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: What are the effects of spatial resolution? *Landscape and Urban Planning*, 114:1-8.
  14. Asgarian, A., Amiri, B. J., & Sakieh, Y., 2015. Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land

29. Liu, H., and Weng, Q., 2009. Scaling Effect on the Relationship between Landscape Pattern and Land Surface Temperature: A Case Study of Indianapolis, United States, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(3): 291–304.
30. McGarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C., Ene, E., 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. URL: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
31. Sobrino JA, Oltra-Carrió R, Sòria G, Jiménez- Muñoz JC, Franch B, Hidalgo V, Mattar C, Julien Y, Cuenca J, Romaguera M., 2013. Evaluation of the surface urban heat island effect in the city of sensing. *International Journal of Remote Madrid by thermal remote Sensing*, 34(9-10):3177-3192.
32. Su Y-F, Foody GM, Cheng K-S., 2012. Spatial non-stationarity in the relationships between land cover and surface temperature in an urban heat island and its impacts on thermally sensitive populations. *Landscape and Urban Planning*, 107(2):172-180.
33. Yavari, A.R., Sotoudeh, A and Parivar, P., 2007. Urban Environment Quality and Landscape Structure in Arid Mountain Environment. *International Journal of Environmental Research*.1, 325-340. (In Persian)
- distribution by spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment*, 84, pp. 493-505.
23. Tong, X., Liu, T., Singh, V. P., Duan, L., & Long, D., 2016. Development of In Situ Experiments for Evaluation of Anisotropic Reflectance Effect on Spectral Mixture Analysis for Vegetation Cover. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 13(5), 636-640.
24. Sousa, D., & Small, C., 2017. Global cross-calibration of Landsat spectral mixture models. *Remote Sensing of Environment*, 192, 139-149.
25. Artis, D.A., Carnahan, W.H., 1982. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*. 12 (4), 313–329.
26. Lu, D and Weng, Q., 2006. Use of impervious surface in urban land use classification. *Remote Sens Environ* 102(1–2):146–160.
27. Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristóbal, J., 2014. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11, 1840–1843.
28. Smith R.M., 1986. Comparing traditional methods for selecting class intervals on choropleth maps. *Prof Geog*. 38(1):62–67