



سخن از دور

GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران / سال هشتم، شماره اول، بهار ۱۳۹۵  
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.8, No. 1, Spring 2016

۹۵-۱۰۸



## استخراج پوشش گیاهی و ساخت‌وساز شهر مشهد با استفاده از چندجمله‌ای نیوتن و رابطه آنها با دمای سطح زمین

کاظم علی‌آبادی<sup>۱\*</sup>، هادی سلطانی‌فرد<sup>۲</sup>

۱. مربی مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی دانشگاه حکیم سبزواری  
۲. استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۵/۲۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۲/۳۰

### چکیده

آگاهی از توزیع زمانی و مکانی دمای سطح زمین (LST) برای تعیین بیلان انرژی، در مطالعات اقلیم‌شناسی، بررسی وضعیت پوشش گیاهی و تعیین چگونگی ساختار شهری کاربرد بسیاری دارد. در این مطالعه، مسئله اصلی استخراج LST از منطقه مورد مطالعه و بررسی رابطه آن با ساخت‌وساز شهری و پوشش گیاهی است. شرایط اقلیمی به‌ویژه باد، چگونگی ساخت‌وساز شهری و پوشش گیاهی از عوامل مهم و تأثیرگذار در LST به‌شمار می‌رود. در این مطالعه، با توجه به اهمیت جزایر حرارتی در مقیاس پیکسل و توانایی چندجمله‌ای‌های درونیاب نیوتن در این زمینه، ساخت‌وساز شهری و پوشش گیاهی با این چندجمله‌ای‌ها استخراج، و رابطه آن با LST بررسی شده است. همچنین، آن نواحی که جزایر حرارتی را تشکیل داده‌اند، شناسایی شدند. از اهداف اصلی این مقاله استفاده از تکنیک‌های ریاضی در سنجش از دور و میزان کارایی و دقت آنهاست. چندجمله‌ای‌های درونیاب نیوتن، با استفاده از DN دریافتی از دوپست نقطه از سطح تصویر که دارای پوشش گیاهی و مناطق با ساخت‌وساز شهری است، دو معادله از درجه هفت ارائه کرده که با پیاده‌سازی این معادلات بر سطح تصویر، مناطق دارای پوشش گیاهی و ساخت‌وساز شهری را جداگانه استخراج کرده است. میزان خطای حاصل از استخراج پوشش گیاهی با استفاده از چندجمله‌ای درونیاب نیوتن، در صد نقطه برداشتی در سطح منطقه مورد مطالعه، ۱۰/۱ و برای ساخت‌وساز شهری ۱۲/۰۲ محاسبه شد. شایان ذکر است که تاکنون کار مشابهی با الگوریتم دوجمله‌ای‌های نیوتن انجام نگرفته است.

**کلیدواژه‌ها:** دمای سطح زمین (LST)، درونیاب نیوتنی، ساختار شهر مشهد.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: خراسان رضوی، سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی. تلفن: ۰۵۱۴۴۰۱۳۱۲۹-۰۹۱۲۸۴۴۲۰۲۷  
Email: kazemaliabadi\_msc@yahoo.com

## ۱- مقدمه

یکی از آثار نامطلوب توسعه شهری، در یک قرن اخیر، تغییر در شکل و نوع پوشش اراضی و جایگزینی زمین‌های باز و پوشش گیاهی با سطوح سخت و نفوذناپذیر است. این فرایند، با اختلال در جریان انرژی در محیط‌های شهری، سبب افزایش دمای محیط شهرها در مقایسه با پیرامون خود می‌شود که از آن با عنوان جزیره حرارتی شهری<sup>۱</sup> یاد می‌کنند (Xiao et al., 2007). جزایر حرارتی شهری قطعات مجزایی‌اند که درجه حرارت آنها بین ۱ تا ۴ درجه به نسبت کل شهر در سطح مناطق شهری افزایش یافته است (Heidt & Neef, 2005). این پدیده افزون‌بر اینکه در سلامت ساکنان شهرها آثار زیانباری دارد، در خرداقلیم (میزان بارش، دما و جریان باد) نیز تأثیر نامطلوب می‌گذارد و سبب افزایش آلودگی‌ها و مصرف منابع آب می‌شود. از این‌رو، شناسایی و ارائه راهکار برای کاهش شدت آن ضروری است (U.S.EPA, 2007). فرایندهای چندی در بین اجزای ساختاری شهر حضور دارند که در عملکرد حرارتی شهر و تشکیل جزایر حرارتی مؤثرند و مهم‌ترین آنها عبارت است از (Xiao et al., 2007): الف) تغییر در ویژگی‌های فیزیکی سطوح (آلبدو، ظرفیت گرمایی و هدایت گرمایی)؛ ب) کاهش رطوبت سطحی مورد نیاز برای تبخیر و تعرق؛ ج) تغییرات در شار تابشی و جریان‌های نزدیک به سطح؛ د) انتشار گرمای انسان‌ساز.

آگاهی از توزیع زمانی و مکانی دمای سطح زمین (LST) برای تعیین بیلان انرژی زمین، مطالعات هواشناسی و تبخیر و تعرق، و وضعیت آلودگی هوا ضروری است (دشتی و دیگران، ۱۳۹۳، ۸). در دهه‌های اخیر، فرایند تغییر کاربری‌های شهری همواره با کاهش سطوح سبز در شهر و پیرامون همراه بوده است، به گونه‌ای که با توسعه کالبدی شهرها، بخش عمده‌ای از باغ‌ها و فضاهای سبز موجود تغییر کاربری یافته و تخریب شده‌اند. این تحولات، افزون‌بر اینکه به دگرگونی در ساختار اکولوژیک شهرها انجامیده، سبب تبدیل شهرها به کانون‌های حرارتی و تغییرات اقلیمی نیز شده

است (Li et al., 2011). تغییر در پوشش گیاهی شهرها به علت اثرگذاری در جریان‌های تابشی و جریان انرژی، نقش مهمی در تعیین درجه حرارت سطحی دارد و در نتیجه، در ایجاد جزایر حرارتی اثر می‌گذارد (Songa et al., 2014). بنابراین، یکی از مهم‌ترین کاربری‌هایی که در ارتقای کیفی محیط‌زیست شهری نقش دارد، فضای سبز شهری است، به گونه‌ای که شناخت و تحلیل الگوی توسعه و توزیع فضاهای سبز شهری چه‌بسا در تعدیل و حتی کاهش آثار جزایر حرارتی نقش داشته باشد (Tian et al., 2011). در فرایند ارزیابی و سنجش جزایر گرمایی، به‌طور سنتی، از تفاوت شاخص پوشش گیاهی (NDVI) به‌منزله شاخص فراوانی پوشش گیاهی و به‌منظور برآورد دمای سطح زمین و برقراری رابطه با پوشش گیاهی استفاده می‌شود (Weng et al., 2004). تحقیقات بسیاری مطالعات خود را به شاخص‌های محیطی و از جمله پوشش گیاهی و فضای سبز در محدوده شهرها معطوف، و رابطه آن را با جزایر حرارتی بررسی کرده‌اند. برای نمونه، لی و دیگران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) اثر ساختار اکولوژیک در جزایر حرارتی سطحی در شانگهای چین را بررسی کردند. این مطالعه با هدف بررسی چگونگی ترکیب و توزیع فضایی پوشش گیاهی در جزایر حرارتی شهر شانگهای انجام گرفت و ارتباط جزایر حرارتی با شاخص‌های پوشش گیاهی، درصد پوشش گیاهی (FV) و سطوح نفوذناپذیر (ISA) بررسی شد. نتایج نشان داد که تفاوت معناداری بین درجه حرارت سطحی و درصد پوشش گیاهی وجود دارد. همچنین، بین درجه حرارت سطحی و شاخص پوشش گیاهی رابطه خطی منفی وجود دارد. لیو و ژانگ<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) در تحقیق خود اثر جزیره حرارتی شهری را در شهر هنگ‌کنگ، با استفاده از داده‌های سنجنده TM و ASTER سال ۲۰۰۵ بررسی کردند. در این مطالعه، دو الگوریتم به کار برده شد تا درجه حرارت سطحی از این

1. Urban Heat Island  
2. Junxiang Li et al.  
3. Lin liu & Yuanzhi zhang

کاربردی‌های شهری را در ایجاد جزایر گرمایی در شهر اهواز مطالعه کرد. نتایج نشان داد که کاربری آبی و فضای سبز کم‌ترین، و کاربری‌های صنعتی و شبکه‌های معابر (خیابان‌ها و کوچه‌ها با پوشش آسفالت) و زمین‌های بایر بالاترین دمای سطحی را دارند. ملک‌پور و دیگران (۱۳۸۹) در تحقیق خود درجه حرارت سطح شهر تهران را، با استفاده از تصویر سنجنده ETM+، مربوط به سوم ژوئن ۲۰۰۱، بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌ها وابستگی شدید بین درجه حرارت سطح و مقادیر NDVI و شاخص فراکتالی پوشش (FVC)<sup>۴</sup> برای انواع پوشش-کاربری زمین را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون بین پارامترهای تعیین مقادیر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح بیانگر آن است که روش به‌کاررفته برای تخمین مقادیر گسیل‌مندی<sup>۵</sup> و درجه حرارت سطح، در مناطق شهری غیریکنواخت با دقت مناسب و پذیرفتنی، عملی است و ممکن است، به‌منظور برآورد میزان توسعه و تغییرات دمایی شهری در دوره زمانی معین، به‌کار رود. همچنین، نتایج نشان می‌دهند بین درجه حرارت سطحی و مقادیر NDVI کلاس‌های مناطق ساختمانی کم‌تراکم، پوشش گیاهی تنک و زمین‌های کشاورزی وابستگی شدیدی وجود دارد. با توجه به اهمیت و ضرورت این موضوع، ارزیابی آثار فضاهای سبز و، به‌طور کلی، پوشش گیاهی در جزایر حرارتی مسئله اصلی است که در این مقاله بدان پرداخته می‌شود. با توجه به ماهیت موضوع و مطالعات انجام شده، نقطه تمایز این مطالعه استفاده از الگوریتم‌های چندجمله‌ای‌های درونیاب نیوتنی برای محاسبه شاخص پوشش گیاهی و ارزیابی رابطه آن با جزایر حرارتی است.

داده‌ها استخراج شود. نتایج نشان داد که آثار جزایر حرارتی در شهر هنک‌کنگ، در سه منطقه به نام جزیره کاولون<sup>۱</sup>، جزیره شمالی هنک‌کنگ و فرودگاه بین‌المللی هنک‌کنگ قرار دارد. همبستگی میان NDVI، LST و NDBI نشان می‌دهد بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی همبستگی منفی وجود دارد و فضای سبز می‌تواند اثر جزیره حرارتی شهر را کاهش دهد. جیانگ و تی<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) نیز تأثیر پوشش شهری را در دمای سطحی بررسی کردند. در این تحقیق، از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده ETM+ و TM مربوط به تاریخ‌های پنجم آوریل ۱۹۹۵ و سی‌ام آوریل ۲۰۰۰ استفاده شد. رده‌های گوناگون درجه حرارت سطحی و پوشش زمین و کاربری (LULC) استخراج شدند و شاخص TVX<sup>۳</sup> استفاده شد تا تأثیر تغییرات زمین در درجه حرارت سطحی استخراج شود. نتایج نشان داد که تغییر پوشش سطحی مهم‌ترین عامل در افزایش دمای سطحی است. همچنین، تغییرات کاربری در افزایش میزان دمای سطح زمین نقش مهمی دارد، به‌صورتی که خط سیر موقتی در پیکسل‌ها، در شاخص TVX روند کاهشی را نشان می‌دهد. در پژوهش‌های داخلی نیز درمورد اثر کاربری‌های شهری در شکل‌گیری جزایر حرارتی مطالعاتی انجام شده است که از مهم‌ترین آنها می‌شود به موارد زیر اشاره کرد:

امیری و همکاران (۲۰۰۹)، با استفاده از تصاویر سنجنده ETM و TM چندزمانه شهر تبریز، تغییرپذیری فضایی-زمانی حرارت در زمینه کاربری پوشش زمین را بررسی کردند. این مطالعه، از طریق ترکیب داده‌های حرارتی با داده‌های انعکاسی، درصد پاسخگویی به پرسش‌های چندی در زمینه جزایر حرارتی شهری بوده است. نتایج نشان دادند که بین کاهش مقدار توده گیاهی و افزایش حرارت سطح ارتباط مستقیمی وجود دارد. نتایج بیان می‌کردند که گرم‌ترین کلاس پوشش در سال ۱۹۹۸ کلاس کاربری مسکونی است اما در سال ۲۰۰۱، زمین‌های بایر گرم‌ترین کلاس بودند. معروف نژاد (۱۳۹۰) اثر

1. Kowloon
2. Jiang & Ti
3. Temperature-Vegetation Index
4. Fractional Vegetation Cover
5. emissivity

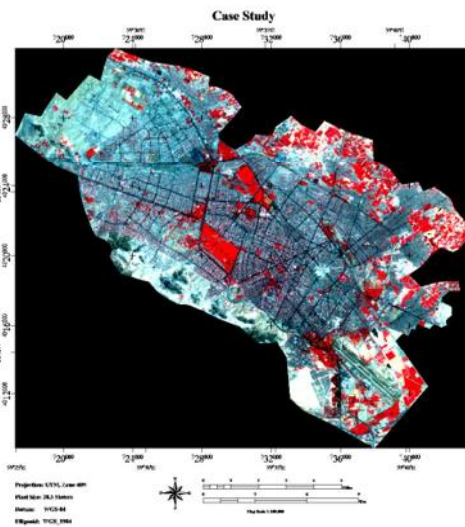
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه، داده‌های مورد استفاده تصاویر LANDSAT7 و IKONOS از سطح شهر مشهد است. براساس اهداف تحقیق، از تصویر لندست جهت پیاده‌سازی الگوریتم دوجمله‌ای نیوتن و از تصویر آیکنوس جهت بررسی کارایی مدل استفاده خواهد شد. در این مطالعه، سعی شده است از تصاویر برداشت شده در مردادماه استفاده شود که علت اصلی آن کامل شدن تاج پوشش گیاهی سطح منطقه مطالعاتی است.

### ۲-۲- منطقه مورد مطالعه

مشهد، منطقه مورد بررسی و مطالعه، در شکل زیر ملاحظه می‌شود. تصویر مورد استفاده از ماهواره لندست، سنجنده ETM در اوت ۲۰۱۰ است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

### ۲-۳- پیش‌پردازش و روند محاسبه LST

تصویر  $ETM^+$  منطقه مطالعاتی، با بیضوی مبنای WGS1984 و سیستم مختصات UTM تعریف شده است. Resampling یا نمونه‌گیری با تکنیک Cubic Convolution (یا درونیابی مکعبی) و خطای کمتر از

۲۵٪ پیکسل یا ۷.۵ متر انجام گرفت. از مهم‌ترین موارد آنالیز در این مطالعه، تبدیل ارزش‌های رقومی تصویر به تابندگی طیفی با تابع تبدیل در رابطه (۱) است (Chander and Groeneveld, 2009).

$$L_{\lambda} = \frac{(LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda})}{(Q_{Cal\ max} - Q_{Cal\ min})} \quad (1) \text{ رابطه}$$

$$* (Q_{Cal} - Q_{Cal\ min}) + LMIN_{\lambda}$$

$L_{\lambda}$ : بیان‌کننده میزان رادیانس طیفی است.

$Q_{Cal}$ : نشان‌دهنده میزان رقومی‌سازی شده DN کالیبره شده است.

$Q_{Cal\ min}$ : مینیمم مقدار  $Q_{Cal}$  متناظر با  $LMIN_{\lambda}$  را نشان می‌دهد.

$Q_{Cal\ max}$ : ماکزیمم مقدار  $Q_{Cal}$  متناظر با  $LMAX_{\lambda}$  را بیان می‌کند.

$LMAX$  و  $LMIN$ : نشان‌دهنده کمترین و بیشترین تابش طیفی‌اند که مقادیر آنها، به ترتیب، ۰ و ۲۵۵ برحسب  $(wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$  است. در تصحیحات جوی روی تصویر اصلی، معمولاً فضای اتمسفری به شکل یکنواخت در نظر گرفته می‌شود (Sony et al., 2002). بنابراین، تصحیحات اتمسفری در تحلیل‌های این مطالعه تأثیر چندانی نخواهد داشت. با پیاده‌سازی تکنیک FLAASH روی تصویر پایه، خطای اتمسفری تا حد ممکن کاهش خواهد یافت. جزایر حرارتی معمولاً به دمای سطح زمین و کاربری اراضی وابستگی بسیاری دارند. در این مطالعه، وضعیت کاربری زمین از تصویر IKONOS و نقشه ۱/۲۰۰۰ منطقه مطالعاتی استخراج شد. روند تخمین دمای سطح زمین در ادامه ارائه می‌شود. به‌طور کلی، برای تخمین دمای سطح زمین یا LST باید سه مرحله زیر انجام گیرد:

۱. تبدیل ارزش‌های رقومی تصویر به رادیانس طیفی

۲. تبدیل رادیانس طیفی به دمای روشنایی

۳. تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی

(Barsi et al., 2003; Chander and Markhan, 2003; Chander et al., 2009)

مرحله اول با رابطه (۱) صورت می‌پذیرد. با فرض اینکه زمین جسم سیاه در نظر گرفته شود، مرحله

خاک و  $p_v$  نشان دهنده نسبت پوشش گیاهی است.

$d\varepsilon$  مطابق با معادله (۵) محاسبه می شود

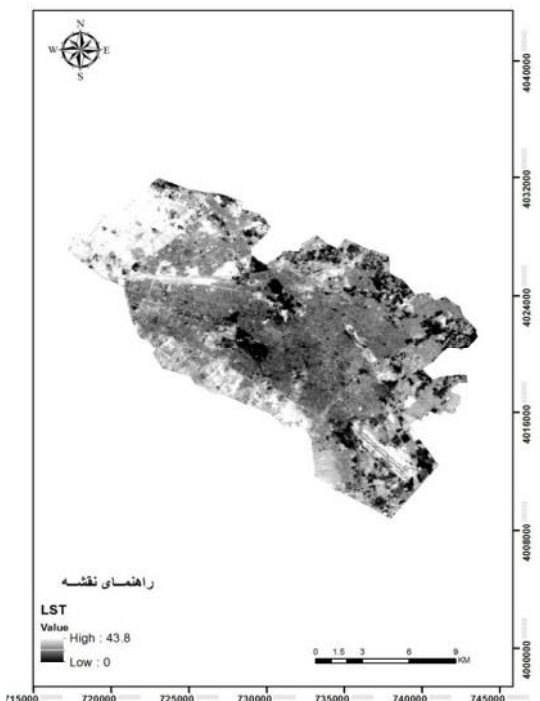
$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_s)(1 - p_v)F\varepsilon_v \quad (۵)$$

که  $F$  ضریب شکل است و مقدار آن برابر ۰.۵۵ (Sobrino et al, 1990). با توجه به مطالعات، میزان گسیل مندی پوشش گیاهی ۰.۹۹٪، خاک ۰.۹۷٪ و ساختار شهری ۰.۹۲٪ است که بر این مبنای میزان گسیل مندی برابر خواهد شد با رابطه (۶) (Li et al., 2011; Sobrino et al., 2004):

$$\varepsilon = 0.02644 p_v + 0.96356 \quad (۶)$$

با توجه به روابط (۱،۲،۳) میزان LST محاسبه و در شکل a-۱ دیده می شود.

مهم ترین تأثیرپذیری LST از چگونگی کاربری اراضی، به ویژه نواحی صنعتی و پوشش گیاهی است. شایان ذکر است که نواحی پرتراфик شهری و وضعیت تراکم در ساخت و ساز شهری نیز در میزان LST تأثیر خواهند داشت. برای ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی،



شکل a-۱. میزان LST محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه

## 1. Surface Moving Temperature

دوم با تبدیل رادیانس طیفی به دمای روشنایی و با رابطه پلانک یا رابطه (۲) انجام پذیر خواهد بود (Chander et al., 2009).

$$T_B = \frac{k_2}{Ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (۲)$$

در این رابطه،  $T_B$  دمای روشنایی برحسب کلوین،  $L_\lambda$  رادیانس طیفی برحسب  $(wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$ ،  $k_1$  و  $k_2$  ضرایب کالیبراسیون برحسب  $(wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1})$  است.

در مرحله سوم، دمای روشنایی محاسبه شده از رابطه (۲) برحسب جسم سیاه خواهد بود. نسبت بین گسیل مندی از یک جسم به گسیل مندی جسم سیاه، دمای ثابت را گسیل مندی یا تابندگی می نامند، که مقدار گسیل مندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح<sup>۱</sup> ضروری است. این بیان به این دلیل است که دمای روشنایی به دست آمده از رابطه (۲) دمایی است که جسم سیاه برای تولید رادیانس معلوم در طول موج معلوم و مشخص (۱۱.۵ میکرومتر) تولید می کند. تصحیح گسیل مندی دمای سطح زمین مطابق رابطه (۳) محاسبه می شود (Artis and Carnahan, 1982).

$$T_S = \frac{T_B}{1 + (\lambda * \frac{T_B}{\alpha}) Ln(\varepsilon)} \quad (۳)$$

$\lambda$ : طول موج رادیانس ساطع شده (۱۱.۵ میکرومتر)  
 $C = 2 / 998 * 10^8 (m / s)$  = معادل سرعت نور، یعنی  
 $h = 6 / 626 * 10^{-34} (j . sec)$  ثابت پلانک با مقدار  
 $T_B =$  دمای روشنایی

b: ثابت بولتزمن با مقدار  $1 / 38 * 10^{-23} (j / k)$

$\alpha$ : معادل است با  $1 / 438 * 10^{-2} (mk)$

با توجه به وجود اختلاط هر پیکسل در برخی از مطالعات، میزان گسیل مندی در هر پیکسل مطابق رابطه (۴) محاسبه می شود (Sobrino et al., 2004).

$$\varepsilon = \varepsilon_v p_v + \varepsilon_s (1 - p_v) + d\varepsilon \quad (۴)$$

که در رابطه بالا،  $\varepsilon_v$  نشان دهنده میزان گسیل مندی پوشش گیاهی،  $\varepsilon_s$  نشان دهنده میزان گسیل مندی

شبکه‌های عصبی، عصبی-فازی استفاده می‌کنند. چون در بیشتر موارد امکان ادغام یک پیکسل از کلاسی به کلاس دیگر وجود دارد، بررسی وضعیت جزایر حرارتی با مشکل روبه‌رو خواهد شد. برای نمونه، واضح است که کارخانه‌های صنعتی از موارد مهم ایجاد جزایر حرارتی‌اند که در منطقه قرار گرفته‌اند. این کارخانه‌ها در تصاویر لندست، در نهایت، در یک پیکسل قرار دارند که در صورت استفاده از تکنیک طبقه‌بندی برای جداسازی بخش‌های گوناگون شهری، امکان ادغام این پیکسل، که در داخل آن کارخانه صنعتی با تولید گرمای زیاد وجود دارد، به کلاسی دیگر گریزناپذیر خواهد بود و به‌یقین، از دقت پژوهش کاسته خواهد شد.

#### ۲-۴- استخراج عوارض شهری و پوشش گیاهی براساس چندجمله‌ای درونیاب نیوتن

پس با توجه به مطالب یادشده، برای استخراج جزایر حرارتی با تصاویر لندست، دقت باید در حد مقیاس پیکسل باشد. توانایی نرم‌افزار متلب<sup>۱</sup> در پردازش تصویر در حد پیکسل، امکان برآوردن این نیاز را خواهد داد. با توجه به وجود رابطه‌ای غیرخطی در میزان بازتابندگی عوارض و پدیده‌های شهری و توانایی استخراج عوارض براساس میزان بازتاب آنها، این رابطه ممکن است طبق چندجمله‌ای درونیاب نیوتن برای هریک از عوارض شهری و پوشش گیاهی محاسبه شود.

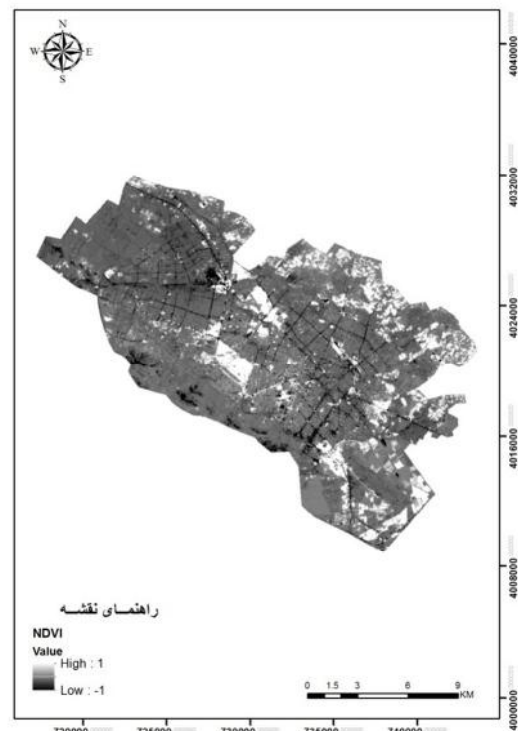
برای محاسبه و استخراج معادلات پوشش گیاهی، با استفاده از چندجمله‌ای‌های پیشرو و پسروی<sup>۲</sup> درونیاب نیوتن، به یک بازه محدودیت و اطلاع از تأثیر و روابط سه باند R, G, B در یکدیگر نیاز داریم. برای استخراج پوشش گیاهی، بازه محدودیت براساس بازتاب طیفی R، بازه (۲۵۵، ۱۸۰) با گام پرش ۵ واحدی در نظر گرفته شده است (در این بازه، پوشش گیاهی سالم و تقریباً متراکم است). همچنین، از پارامتر G که در میزان

برخی شاخص‌ها ارائه شده است. شاخص NDVI از متداول‌ترین آنها به شمار می‌آید که مطابق معادله (۷) محاسبه می‌شود:

رابطه (۷)

$$NDVI = \frac{\text{باند قرمز} + \text{باند فرسرخ}}{\text{باند قرمز} - \text{باند فرسرخ}}$$

مقدار NDVI محاسبه‌شده در تصویر a-۲ دیده می‌شود.



a-2: میزان NDVI محاسبه‌شده در منطقه مورد مطالعه

با توجه به ساختار پیچیده شهری و رابطه آن با دمای سطح زمین، استخراج برخی از پدیده‌های شهری مانند پوشش گیاهی و ساخت‌وساز شهری و بررسی رابطه آن با LST اهمیت بسیار دارد. مجموعه‌ای از روابط، همچون رابطه (۸)، جهت استخراج عوارض شهری ارائه شده است (Li et al., 2011).

$$R_b = \sum_{i=1}^m f_i R_{i,b} + e_b \quad \text{رابطه (۸)}$$

در برخی مطالعات، برای استخراج عوارض و پدیده‌های شهری، از تکنیک‌های طبقه‌بندی یا

1. MATLAB

2. forward and backward sentences

$$\begin{cases} x_i = R_i \\ 0 \leq i \leq 16 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

براساس میزان بازتاب پوشش گیاهی از تصاویر لندست، میزان R و B، به منزله بازه محدودیت، در ادامه آمده‌اند.

$$R_i = [180, 185, 190, 195, 200, 205, 210, 215, 220, 225, 230, 235, 240, 245, 250, 255]$$

$$B_i = [26, 27, 31, 21, 28, 28, 30, 15, 13, 9, 20, 0, 2, 3, 1, 0]$$

$B_i$  میانگین بازتاب‌های متناظر با  $R_i$  است.

بازه‌های محدودیت در چندجمله‌ای درونیاب نیوتن، به شکل گسسته تعریف می‌شود اما از آنجاکه تصاویر پیوسته‌اند، برای تعریف  $B_i$ ، یک بازه همسایگی از  $R_i$  در نظر گرفته شده است. برای استخراج چندجمله‌ای درونیاب نیوتن، نخست به تعیین ضرایب (پیشرو و پسرو) این معادلات نیاز است که این ضرایب، با کدنویسی در محیط نرم‌افزار متلب، استخراج و در ادامه آمده است:

$$\begin{bmatrix} 26 & 1 & 3 & -12 & 28 & -53 & 91 & -165 & 347 & -803 & 1870 & -4228 \\ 9329 & -20420 & 44769 & & & & & & & & & \\ 0 & -1 & 1 & 4 & 6 & -15 & -112 & -384 & -993 & -2196 & -4422 \\ -8443 & -15711 & -28969 & -53318 & & & & & & & & \end{bmatrix}$$

اکنون نوبت تعیین معادلات پیشرو و پسرو است. با استفاده از محیط کدنویسی نرم‌افزار متلب، معادله درونیاب پیشرو محاسبه، و در رابطه (۱۵) آورده شده است. این معادله از درجه ۷ محاسبه شده است، هرچند، با توجه به ضرایب پیشرو نیوتن، می‌شود آن را تا درجه ۱۵ محاسبه کرد. با بررسی همه درجات این معادله، خروجی حاصل از درجه ۷ دقت مناسبی دارد.

$$f(x_i) = \sum_{i=1}^7 \frac{a_i}{b_i} x^i + a_0 \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$a_i = [62768712037523, 52051394982331, -310899082139, 1002917011, -359527, 29003, -13]$$

$$b_i = [546875, 28125000, 18750000, 11250000, 1250000, 56250000, 32812500]$$

$$a_0 = 0$$

بازتاب تأثیر کمی دارد و در برخی موارد بی‌اثر است، صرف‌نظر شده است. در بسیاری از پیکسل‌های پوشش‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه بازتاب باند G صفر بوده است. چندجمله‌ای درونیاب پسرو و پیشرو با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود (Stoer et al.).

$$p_1(x) = f_0 + i \Delta f_0 + \frac{i(i-1)}{2!} \Delta^2 f_0 + \frac{i(i-1)(i-2)}{3!} \Delta^3 f_0 + \dots + \frac{i(i-1)\dots(i-n+1)}{n!} \Delta^n f_0$$

$$p_2(x) = f_n + i \nabla f_n + \frac{i(i+1)}{2!} \nabla^2 f_n + \dots + \frac{i(i+1)\dots(i+n-1)}{n!} \nabla^n f_n$$

در رابطه بالا،  $p_1(x)$  به منزله چندجمله‌ای پیشرو و  $p_2(x)$  به منزله چندجمله‌ای پسرو مطرح است.

$$\begin{cases} x_0 = 180 \\ h = 5 \\ x = x_0 + ih \\ x = 180 + 5i \rightarrow i = \frac{x-180}{5} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

در رابطه (۱۰)، مقادیر  $x, h, x_0$  معرفی شده‌اند و برای محاسبه ضرایب معادلات پیشرو، رابطه (۱۱) تعریف شده است.

$$\begin{cases} \Delta^{k+1} f_i = \Delta^k f_{i+1} - \Delta^k f_i \\ 0 \leq i \leq n-1 \\ \Delta f_i = f_{i+1} - f_i \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

برای تعیین ضرایب معادلات پسرو از رابطه (۱۲) استفاده می‌شود.

$$\begin{cases} \nabla^{k+1} f_i = \nabla^k f_i - \nabla^k f_{i-1} \\ 0 \leq i \leq n \\ \nabla f_i = f_i - f_{i-1} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

برای استخراج  $f_i(x)$ ، از رابطه (۱۳) استفاده شده است.

$$f_i(x) = \frac{\sum B_i}{m} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$B_i$  متناظر با  $R_i$  است.

$$R_i = [50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120]$$

$$B_i = [115, 120, 158, 153, 185, 153, 185, 153, 177, 158, 146, 164, 164, 155, 174, 166, 178]$$

با توجه به روابط ۱۱ و ۱۲، ضرایب پیش‌رو و پس‌رو برای استخراج سطوح شهری نیز در ادامه آمده است.  
 $[115, 5, 33, -76, 156, -337, 739, -1581, 3231, -6233, 11263, -18957, 29582, -42641, 56817]$  ضرایب پیش‌رو  
 $[178, 12, 20, 47, 102, 194, 314, 405, 339, -56, -820, -1317, 1117, 14176, 56817]$  ضرایب پس‌رو  
 با توجه به رابطه (۹)، معادلات پیش‌رو و پس‌رو برای برازش و استخراج سطوح شهری نیز در رابطه (۱۷) آمده است.

$$h(x_i) = \sum_{i=1}^7 \frac{e_i}{f_i} x^i + f_0$$

$$e_i = [-39670748328191, 3837997001209, -312257634431, 17747748433, -12613721, 5604119, -1581]$$

$$f_i = [61875000, 112500000, 309375000, 990000000, 660000000, 4950000000, 5500000000]$$

$$f_0 = 48462415858/9375$$

$$k(x_i) = \sum_{i=1}^7 \frac{v_i}{z_i} x^i + z_0 \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$v_i = [15715670101, -2317174522, 78894619, -6541271, 30197, -3493, 9]$$

$$z_i = [328125, 703125, 625000, 2250000, 750000, 11250000, 8750000]$$

$$z_0 = 186712802 / 625$$

رابطه (۱۷) معادله پیش‌رو و معادله (۱۸)، معادله پس‌رو است که برای مقادیر  $R_i \leq 70$ ، از معادله پیش‌رو و برای مقادیر  $R_i \geq 70$ ، از معادله پس‌رو استفاده شده است. خروجی حاصل از برازش این معادلات روی تصویر منطقه مورد مطالعه و استحصال ساخت‌وساز شهری و ناهمواری‌های حاشیه شهر را در شکل a-4 مشاهده می‌کنید.

همچنین، رابطه (۱۶) نشان‌دهنده معادله پس‌رو است.

$$g(x_i) = \sum_{i=1}^7 \frac{m_i}{n_i} x^i + m_0 \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

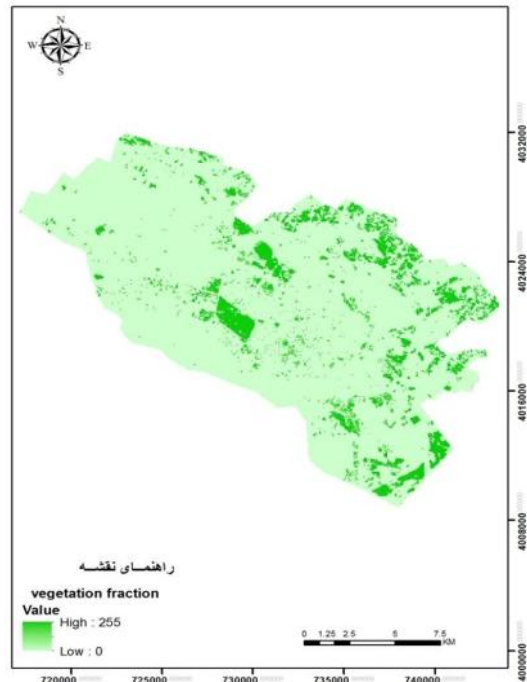
$$m_i = [-5998521840686441, 414118107270398, -4752928304017, 682810609, -5304919, 38221, -331]$$

$$n_i = [121250000, 9375000, 1875000, 625000, 18750000, 1171875, 2187500]$$

$$m_0 = 1427371698946417/15625$$

برای برازش بر تصویر، برای  $R_i \leq 215$ ، از معادله پیش‌رو و برای  $R_i \geq 215$ ، از معادله پس‌رو استفاده می‌شود. خروجی حاصل از این برازش را در شکل a-3 مشاهده می‌کنید.

رابطه (۱۷)



شکل a-3. استخراج پوشش گیاهی از منطقه مورد مطالعه

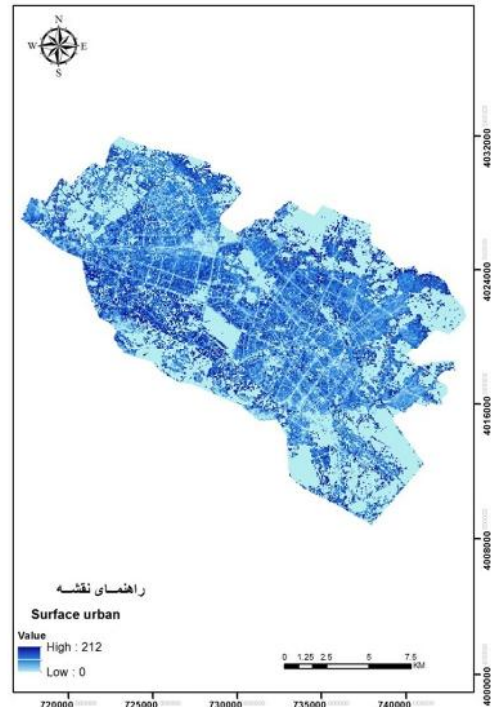
به ترتیب مشابه، بازه محدودیت برای استخراج سطوح شهری در باند R، بازه  $[120, 50]$ ، و گام پرش نیز ۵ واحد است.



چندجمله‌ای‌های نیوتن و ضرایب آن عوض خواهد شد.

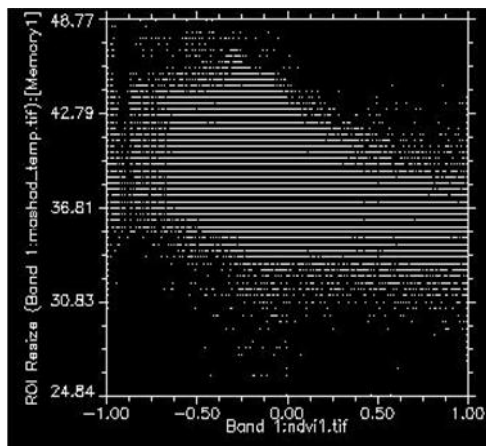
## ۲-۵- رابطه LST با NDVI و Vegetation Fraction

رابطه میان LST و NDVI را در شکل ۱-b مشاهده می‌کنید. با توجه به وضعیت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، میزان NDVI از +۱ تا -۱ متغیر است. مناطقی که میزان NDVI آنها +۱ است یا در همسایگی چپ این عدد قرار دارند، به فضای سبز شهری متراکم و سالم مربوط می‌شود که تأثیری بسزا در میزان LST دارد. با کاهش میزان NDVI به سمت صفر، پوشش گیاهی ضعیف‌تر خواهد شد. با توجه به رابطه نشان‌داده‌شده از LST و NDVI در شکل ۱-b، این رابطه از تابعی نرمال پیروی می‌کند که دارای چولگی شدید است. واضح است که این رابطه غیرخطی بین NDVI و LST، با افزایش NDVI، کاهش شدید دما یا LST را در پی خواهد داشت. همچنین، می‌شود گفت بیشینه دما به مناطقی با پوشش گیاهی ضعیف یا میزان NDVI صفر یا در همسایگی صفر مربوط است.



شکل 4-a. استخراج سطوح شهری از منطقه مورد مطالعه

استخراج پوشش گیاهی به‌گونه‌ای انجام گرفته که پوشش‌های گیاهی ضعیف، بیمار و همچنین، پوشش‌هایی که تأثیر چشمگیری در جزایر حرارتی ندارند، حذف شوند. با بررسی صد نقطه از سطح تصویر IKONOS منطقه مورد مطالعه با پوشش گیاهی استخراج‌شده، میزان RMSE ۱۰.۱ درصد محاسبه شد. تنوع در پوشش گیاهی و تفاوت‌های تاج پوشش درختان از عوامل مهم در ایجاد خطاست که بازتاب‌های متفاوتی ایجاد خواهد کرد و، درنهایت، میزان دقت را کاهش خواهد داد. در استخراج دیگر پدیده‌های شهری و توپوگرافی حاشیه شهر که هر دو نقش بسزایی در جزایر حرارتی دارند نیز، میزان RMSE محاسبه‌شده با صد نقطه کنترل زمینی ۱۲.۰۲ به‌دست آمد. نکته مهمی که باید اینجا بیان شود، این است که همه ضرایب ذکرشده در چندجمله‌ای درونیاب نیوتن و معادلات به‌دست‌آمده از آنها را فقط در این تصویر می‌شود اجرا و پیاده‌سازی کرد، به‌گونه‌ای که اگر تصویر عوض شود، همه معادلات به‌دست‌آمده از

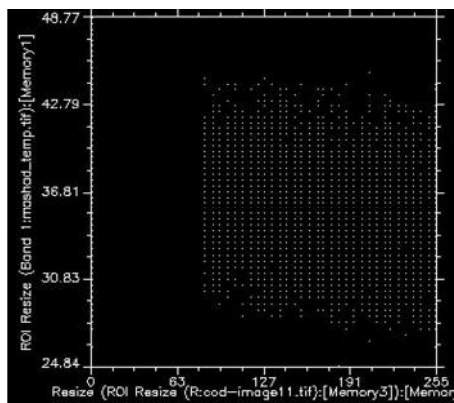


شکل 1-b. رابطه NDVI با LST

اگر محور NDVI از شکل ۱-b را به چهار بازه ۱- تا ۰.۵-، ۰.۵- تا ۰، ۰ تا ۰.۵ و ۰.۵ تا ۱ تقسیم‌بندی کنیم، هر بازه از لحاظ دمایی در مناطق خاصی قرار دارد. در بازه ۰.۵- تا -۱، وضعیت دمایی از ۳۵ درجه تا ۴۳ درجه متغیر است که این بازه بیشتر معابر

از فضای سبز متراکم و بزرگ داخل و حاشیه شهر تا کناره‌های این عوارض متغیر است.

رابطه LST با Vegetation Fraction در نمودار b-2 مشاهده می‌شود. تغییرات دمایی از حدود ۲۸ تا ۴۳ درجه متغیر است که با بررسی وضعیت LST، دماهای پایین (از حدود ۲۸ تا ۳۵ درجه) بر فضاهای سبز متراکم و سالم داخل و حاشیه شهر منطبق است.



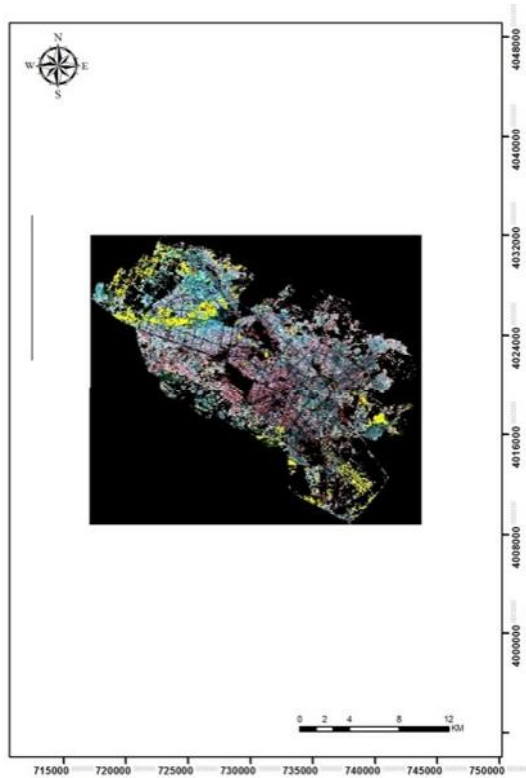
شکل b-2. رابطه LST با پوشش گیاهی استخراج‌شده

اگرچه در رابطه LST با NDVI نیز بیشتر دماهای پایین بر این مکان‌ها منطبق بود، تفاوتی اساسی بین رابطه LST با NDVI و رابطه LST با Vegetation Fraction وجود دارد؛ وجود پیکسل‌های با دمای پایین که در رابطه LST با Vegetation Fraction دیده می‌شوند ولی در رابطه LST با NDVI به چشم نمی‌آیند. این نکته به توانمندی نرم‌افزار متلب در پردازش تصویر، در مقایسه با دیگر نرم‌افزارهای پردازش تصویر در حد پیکسل، اشاره دارد. در بررسی رابطه LST با Vegetation Fraction، بیشتر مناطق با دمای بالا (از حدود ۳۶ تا ۴۳ درجه) یا جزایر حرارتی بر فضاهای باز حاشیه و داخل شهر منطبق است که جابه‌جایی جریان‌های هوایی از مناطق سرد به مناطق گرم دلیل مهم ایجاد این جزایر به‌شمار می‌رود. در این بررسی نیز باز پیکسل‌هایی پراکنده به‌شکل جزایر حرارتی ایجاد شده‌اند که در رابطه LST با NDVI دیده

درون شهری منطقه مورد مطالعه را دربر می‌گیرد. این معابر شامل بزرگراه و یا آزادراه نیست. در بازه ۰ تا ۰.۵ - از محور NDVI، میانگین دما از بازه ۲۸ تا ۴۷ متغیر است. با بررسی وضعیت دمایی و تقسیم بازه دمایی ۲۸ تا ۴۷ به سه بازه پایین، متوسط و بالا، بیشتر دماهای پایین (حدوداً از ۲۸ تا ۳۵ درجه) در این بازه از NDVI، مناطق مسکونی داخل منطقه مورد مطالعه که از نواحی پرترافیک دورند، به‌ویژه نواحی نزدیک به فضاهای سبز بزرگ داخل منطقه مورد مطالعه را دربر می‌گیرند. از دلایل مهم این اتفاق جابه‌جایی دمایی هوای سرد بیرون با هوای گرم داخل منطقه مطالعاتی است. برخی از زمین‌های حاشیه زمین‌های کشاورزی نیز جزء این محدوده دمایی به‌شمار می‌آیند که علت آن دمای سرد زمین‌های کشاورزی است. در بازه دمای متوسط (حدوداً از ۳۵ تا ۴۰) از این محدوده NDVI، نواحی نزدیک به منطقه پرترافیک و با فاصله از نواحی سبز شهری قرار دارند. در بازه دمای بالا (حدوداً از ۴۰ به بالا)، نواحی پای‌کوهی منطقه، برخی نواحی صنعتی و زمین‌های بایر شمال شرق منطقه قرار دارند. از دلایل مهم بالا بودن دما در این مناطق تولید دمای زیاد در نواحی صنعتی و جریان‌های هوایی محلی است. همه پدیده‌های مکانی در طبیعت دارای مرز فازی یا قطعی‌اند. دمای هوا نیز از این قاعده مستثنا نیست و مرز فازی دارد. از ویژگی‌های مهم مرزهای فازی تعیین نشدن مرز دقیق آنهاست که این مطالعه نیز از این قاعده مستثنا نیست.

در بازه صفر تا ۰.۵ از NDVI، میزان دما از حدود ۲۸ تا ۴۰ درجه متغیر است. بیشتر عوارضی که در دمای ۲۸ تا ۳۶ درجه قرار دارند، شامل حاشیه فضای سبز شهری و حاشیه زمین‌های کشاورزی است که دارای کشت سالم‌اند. همچنین، سکونتگاه‌های ویلایی با پوشش گیاهی سالم و متراکم نیز در این بازه قرار دارند. در بازه بین ۰.۵ تا ۱ از NDVI، دما از ۲۷ تا ۳۷ درجه، با تکیه بر رابطه‌ای غیرخطی و نزولی، به‌صورت کاهشی متغیر است. عوارض دربرگیرنده این بازه دمایی،

منطقه مورد مطالعه، فرودگاه، پمپ بنزین و گاز، و بزرگراه‌های با ترافیک بالا اشاره دارند. دمای دیگر سطوح شهری در حد متوسط است.



شکل ۱-۵. سطوح شهری با دمای بالا

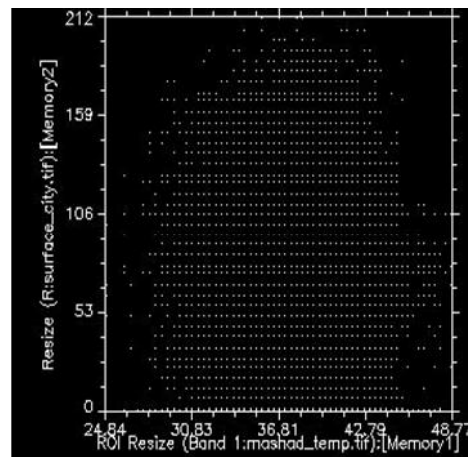
## ۲-۷- رابطه LST با باد

پس از عواملی همچون پوشش گیاهی، سطوح شهری و جنس مصالح به کاررفته در سطح شهر، باد مهم‌ترین عاملی است که در تعدیل دمای شهر نقش دارد. باد پدیده‌ای است پویا که از حرکت و جابه‌جایی هوا حاصل می‌شود و معلول فرایندهایی است که به تبع تابش خورشید پدید می‌آید. باد دو مؤلفه سمت و سرعت دارد. با بررسی‌هایی روی سمت و سرعت بادهای غالب مشهد و ترسیم گلباد در شکل ۱-۵، مشخص شد که باد غالب مشهد شرقی است. پس از آن، باد جنوب‌شرق و جنوبی بیشترین فراوانی را دارند. یکی از مهم‌ترین دلایل دمای کمتر مناطق شرق، جنوب‌شرق و جنوب منطقه

نمی‌شدند. این پیکسل نزدیک به پیکسل‌های پوشش گیاهی‌اند که معمولاً از لحاظ تراکم ضعیف‌اند.

## ۲-۶- رابطه LST با سطوح شهری<sup>۱</sup>

رابطه LST با سطوح شهری در شکل ۳-b دیده می‌شود. با تفکیک محور دمایی به سه بخش دمای پایین و متوسط و بالا، در سطوح شهری، دمای پایین بیشتر به مناطق نزدیک به نواحی کوهپایه (جنوب‌غرب منطقه مورد مطالعه) مربوط می‌شود. پارامترهای اقلیمی، مانند باد یا جابه‌جایی هوای گرم این مناطق با هوای سرد کوهپایه، در کاهش میزان دما در این نواحی تأثیر بسزایی دارند. از دیگر مناطق شهری با دمای پایین، مناطق نزدیک به باغ‌ها و فضای سبز شهری در داخل منطقه مورد مطالعه است. این مناطق، از لحاظ دور بودن از مناطق صنعتی و معابر پرترافیک شهری، در موقعیت مناسبی قرار دارند و حتی پارامترهای اقلیمی، به‌ویژه بادهای سرد جنوب‌غرب منطقه مورد مطالعه، کاهش دما را در این مناطق سبب شده است.



شکل ۳-b. رابطه LST با سطوح شهری استخراج‌شده

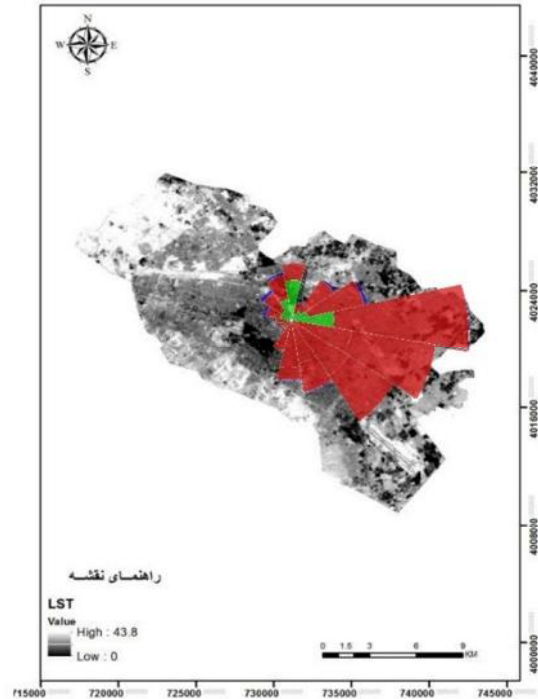
در شکل ۱-۵، مناطق مرکزی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند، دمای کمتری دارند. همچنین، مناطق زرد رنگ در شکل نشان‌دهنده سطوح شهری با دمای بالاست. سطوح شهری با دمای بالا، بیشتر به نواحی صنعتی و زمین‌های بایر دارای فضای باز در شمال‌غرب

1. surface urban

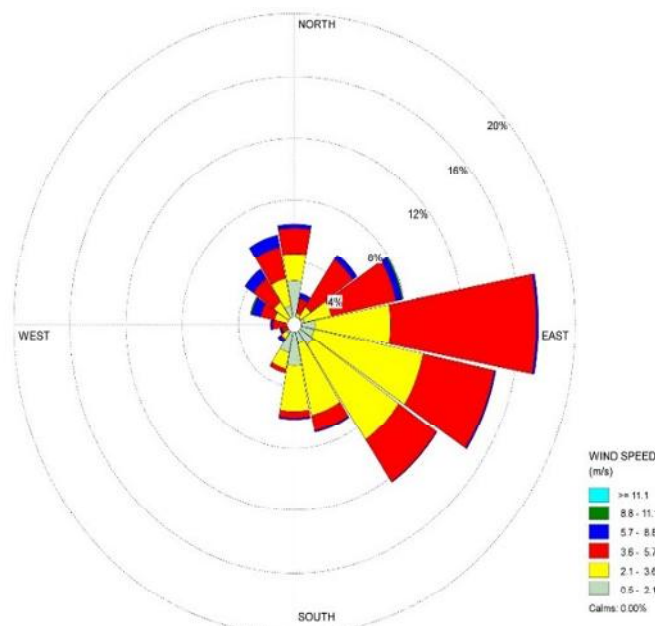
### ۳- بحث و نتیجه‌گیری

رابطه LST با NDVI، پوشش گیاهی استخراج‌شده و سطوح شهری بیانگر رابطه نزدیک این سه پارامتر با دمای سطح زمین است. در بسیاری از موارد، می‌شود از سه پارامتر NDVI، پوشش گیاهی استخراج‌شده (یا درصد پوشش گیاهی) و سطوح شهری استخراج‌شده برای برآورد دمای تقریبی زمین استفاده کرد. بررسی‌ها نشان داده که در منطقه مورد مطالعه، بین میزان سرسبزی پوشش گیاهی با دمای سطح زمین در روزهای گرم، رابطه معکوس مهمی وجود دارد. در مناطقی که با گسترش شهر همراه است، پوشش گیاهی کاهش یافته که تأثیر بسیاری در افزایش دمای سطح زمین دارد. در محدوده مناطق کوهستانی اطراف شهر، به علت جابه‌جایی‌های آب‌وهوایی، دمای گرم داخل محدوده شهری با هوای نسبتاً سرد این مناطق جابه‌جا خواهد شد. به‌طور کلی، اگر تراکم یا تعداد طبقات ساختمان‌ها بسیار باشد، با افزایش آلودگی هوا در مناطق پرتراکم و به دلیل جابه‌جا نشدن هوا، جزایر حرارتی ایجاد می‌شود. ولی در مناطقی که آلودگی هوا به دلیل تراکم پایین ساختمان‌ها جابه‌جا می‌شود، جزایر

مورد مطالعه اثر تعدیل‌کننده باد است. در شکل d-2، با پیاده‌سازی گلباد روی نقشه LST، تفهیم اثر تعدیل‌کننده باد به شکل گویاتری نمایش داده شده است.



شکل d-1. گلبادهای منطقه مورد مطالعه



شکل d-2. پیاده‌سازی گلباد روی LST

- Urban Areas**, Remote Sensing of Environment, 12(4), PP. 313–329.
- Barsi, J.A., Schott, J.R., Palluconi, F.D., Helder, D.L., Hook, S.J., Markham, B.L., Chander, G. & O'Donnell, E.M., 2003, **Landsat TM and ETM+ Thermal Band Calibration**, Canadian Journal of Remote Sensing, 29(2), PP. 141–153.
- Chander, G. & Markham, B., 2003, **Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post Calibration Dynamic Ranges**, IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 41(11), PP. 2674–2677
- Chander, G. & Groeneveld, D.P., 2009, **Intra-annual NDVI Validation of the Landsat 5 TM radiometric Calibration**, International Journal of Remote Sensing, 30(6), PP. 1621–1628.
- Chander, G., Markham, B.L. & Helder, D.L., 2009, **Summary of Current Radiometric-calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors**, Remote Sensing of Environment, 113(5), PP. 893–903.
- Heidt, V. & Neef, M., 2005, **Benefits of Urban Green Space and Urban Climate**, viewed: <http://www.regiocomun.uni-mainz.de> .
- Jiang, J. & Ti, G., 2010, **Analysis of the Impact of Land Use/Land Cover Change on Land Surface Temperature with Remote Sensing**, Proceeded Environmental Sciences, Vol. 2. PP. 571-575.
- Junxiang Li, Conghe Song, Lu Cao, Feige Zhu, Xianlei Meng & Jianguo Wu, 2011, **Impacts of Landscape Structure on Surface Urban Heat Islands**, Remote Sensing of Environment, 115(2011), PP. 3249–3263.
- Li, Junxiang, Song, Conghe, Cao, Lu, Zhu, Feige, Meng, Xianlei, Wu, Jianguo, 2011, **Impacts of Landscape Structure on Surface Urban Heat Islands: A Case Study of Shanghai, China**, Remote Sensing of Environment, (115), PP. 3249–3263.
- حرارتی در خارج از آن مناطق شکل می‌گیرد. نوع ساخت‌وساز شهری عامل دیگری است که تأثیر بسزایی در دمای سطح زمین دارد. مناطق دارای بافت فرسوده، به‌علت انعکاس نیافتن نور تابیده‌شده به آن، دمای بالاتری دارند. عکس این مسئله در مناطق دارای ساخت‌وساز مدرن صادق است. به‌طور کلی وضعیت ساخت‌وساز، پوشش گیاهی و شرایط اقلیمی، به‌ویژه باد، در LST و ایجاد جزایر حرارتی تأثیر بسیاری دارند.
- ۴- منابع**
- دشتی، سولماز، سبزیبایی، غلامرضا، هدایت‌زاده، فریبا، حسینی، فخریه، ۱۳۹۳، **کاربردهای فناوری سنجش از دور در ارزیابی و مدیریت محیط‌زیست**، اولین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، اهواز.
- معروف‌نژاد، عباس، ۱۳۹۰، **تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر اهواز)**، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۴، شماره ۱۴، صص. ۶۵-۸۳.
- ملک‌پور، پیمان، طالعی، محمد، رضایی، یوسف، خوش‌گفتار، مهدی، ۱۳۸۹، **بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده سنجنده ETM+**، مطالعه موردی شهر تهران، نشریه علمی-پژوهشی سنجش از دور و GIS ایران، شماره ۷.
- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A. & Alavipanah, S.K. 2009, **Spatial-temporal Dynamics of Land Surface Temperature in Relation to Fractional Vegetation Cover and Land Use/Cover in the Tabriz Urban Area, Iran**, Remote Sensing of Environment, Vol. 113, No. 12, PP. 2606-2617.
- Artis, D.A. & Carnahan, W.H., 1982, **Survey of Emissivity Variability in Thermography of**

- Liu, Lin, Zhang, Yuanzhi, 2011, **Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong**, Remote Sensing, (3), PP. 1535-1552, [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing)
- Liu, Lin, Zhang, Yuanzhi, 2011, **Urban Heat Island Analysis Using the Landsat TM Data and ASTER Data: A Case Study in Hong Kong**, Remote Sensing, (3), PP. 1535-1552, [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing)
- Sobrino, J.A., Caselles, V. & Becker, F., 1990 **Significance of the remotely sensed thermal infrared measurements obtained over a citrus orchard**. ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing, 44(6), 343–354.
- Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C. & Paolini, L., 2004, **Land Surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5**. Remote Sensing of Environment, 90(4), 434–440.
- Songa, Juer, Dua, Shihong, Fenga, Xin, 2014, **The Relationships between Landscape Compositions and Lan Surface Temperature: Quantifying their Resolution Sensitivity with Spatial Regression Models**, Landscape and Urban Planning 123, PP. 145–157.
- Tian G., Jiang J., Yang Z., Zhang Y., 2011, **The Urban Growth, Size Distribution and Spatio-Temporal Dynamic Pattern of the Yangtze River Delta Megalopolitan Region, China**, Ecol. Model. 2011, (222), PP. 865–878. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2010.09.036
- U.S.EPA. (2007). Basic Information about Heat Island. Available online from following website: [www.epa.gov/heat-islands](http://www.epa.gov/heat-islands)
- Weng Q., Lu D. & Schubring J., 2004, **Estimation of Land Surface Temperature-Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies**, Remote Sensing of Environment, (89), PP. 467-483.
- Xiao, R. et al., 2007, **Spatial Pattern of ImperVIOUS Surfaces and their Impacts on Land Surface Temperature in Beijing, China**, Journal of Environ. Science, (19), PP. 250- 256.