



جغرافیا و روابط انسانی، بهار ۱۴۰۰، دوره ۳، شماره ۳، صص ۲۰۱-۲۱۳

رتبه‌بندی فصلی و سالانه محلات شهر تبریز از لحاظ میزان *PMIO* براساس

پردازش تصاویر لندست ۸

عیسی پورعنقا^۱، روح‌الله جعفری سیریزی^۲

^۱کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا دانشگاه تبریز،

Poorangha1990@gmail.com

^۲کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی، کارشناس برنامه ریزی شهرداری

شیراز،

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹

چکیده:

داشته نقشه به‌روز، صحیح، سریع و جامع از کیفیت هوا می‌تواند گره‌گشای مشکلات مردم و مدیران باشد. در این تحقیق برای پایش میزان *PMIO* محلات شهر تبریز از تصاویر لندست ۸ در سال ۱۳۹۹ استفاده شد. برای این کار؛ تصاویر در چهار فصل سال اخذ شد و پس از پیش‌پردازش‌های اولیه، از بین الگوریتم‌های موجود، الگوریتمی که بالاترین همبستگی و پایین‌ترین *RMSE* را برای برآورد میزان *PMIO* بود انتخاب گردید و بر روی تصاویر اعمال شد. نتایج بدست آمده با استفاده از تابع خطی فازی نرمال شد. نتایج نشان داد که کیفیت هوای محلات شهر تبریز در سه فصل اول سال بسیار به هم شبیه است و در فصل زمستان تفاوت بسیاری با این سه فصل دارد. دو محله پاکیزه شهر در سه فصل اول سال ولی‌امر ۲ و فرودگاه بودند و محلات لیل‌آباد ۲ و ۴متری ۱ بودند. در مجموعه میانگین سالانه اما ولی‌امر ۲ و رشديه پاكترین محلات و لیل‌آباد ۲ و ۴متری ۱ آلوده‌ترین محلات از لحاظ *PMIO* بودند.

کلیدواژه: کیفیت‌هوای فصلی، *PMIO*، تبریز، لندست ۸، ولی‌امر ۲



مقدمه:

در دهه های اخیر آلودگی هوا در بسیاری از مناطق جهان باعث افزایش نگرانی عمومی در خصوص ایجاد عوارض بهداشتی شده است (میری و همکاران، ۱۳۹۴). ذرات با قطر کمتر از ده میکرون (PM_{10}) و ذرات با قطر کمتر از $2/5$ میکرون ($PM_{2.5}$) می توانند به طور عمیقی به داخل شش ها نفوذ کرده و اثرات نامطلوبی را بر سلامتی انسان دارد (دهقان و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به اینکه بیشترین رشد جمعیت شهری آینده جهان در کشورهای در حال توسعه مداوم خواهد بود، دغدغه بیشتری برای نیل به توسعه پایدار شهری در این کشورها وجود دارد. در این بین رشد شهرنشینی، صنعتی شدن، عدم ساماندهی حمل و نقل شهری، منابع ساکن احتراق از جمله ساختمانها، فرآیندهای صنعتی، دفع مواد زاید جامد و فعالیتهای متفرقه منابع نشر آلودگی در شهرها می باشند (شکری، ۱۳۹۰). مطالعات قبلی نشان می دهد که گسترش شهر به طور کلی تأثیر قابل توجهی در آلودگی هوا دارد زیرا فعالیت های انسانی بیشتری که می توانند باعث آلودگی هوا شوند (به عنوان مثال ترافیک وسایل نقلیه) در مناطق شهری انتظار می رود (Pourahmad et al, 2007; Choung & Kim, 2019).

نقشه برداری دقیق از کیفیت هوا و تغییرات فصلی و سالانه آن برای ارزیابی مدل سازی فعلی پراکندگی هوا، مقررات کنترل آلودگی هوا و سایر تغییرات آب و هوایی محیطی مهم است (Saleh & Hasan, 2014). به طور سنتی، دو روش کلی برای نقشه برداری از آلودگی هوا را می توان شناسایی کرد: درون یابی فضایی و مدل سازی پراکندگی هوا (Elliott et al., 1996). رویکردهای قبلی با تفسیر اندازه گیری ها از ایستگاه های نمونه، مقدار غلظت آلودگی را در مکان های نمونه برداری نشده در یک منطقه مورد نظر تخمین می زنند (Alias et al., 2007). بیشتر داده های کیفیت هوا که در حال حاضر استفاده می شود از داده های جمع آوری شده از تعداد محدودی از ایستگاه های اندازه گیری مستقر در شهرها و یا تخمین زده شده توسط مدل های پراکندگی هوا عددی است (Retalis & Sifakis, 2010).

بازیابی عمق نوری آئروسول^۲ (AOD) از طریق سنسور از دور از چندین سنجنده ماهواره ای مانند طیف سنج تصویربرداری چند ضلعی ($MISR$)، طیف سنج تصویری با وضوح متوسط ($MODIS$)، طیف

¹ air dispersion modeling

² aerosol optical depth

سنج تصویری با وضوح متوسط (MERIS) و Landsat معمولاً برای تخمین PM_{10} و $PM_{2.5}$ از فضا استفاده می‌شود (Sotoudeheian and Arhami, 2014; Chitranshi et al., 2014; Beloconi et al., 2016; Zaman et al., 2017). هدف از این مطالعه بررسی تغییرات فضایی فصلی آلودگی هوای شهر تبریز با استفاده از تصاویر ماهواره لندست است.

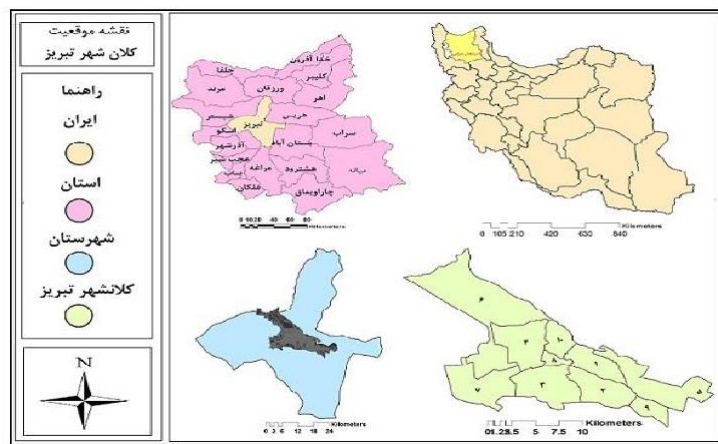
سابقه بررسی آلودگی با استفاده از تصاویر لندست به سه دهه و بیشتر نیز می‌رسد؛ بطوری که مقاله Finzi و Lechi (۱۹۹۱) در ارتباط آلودگی هوای شهر و استان میلان در ایتالیا از جمله اولین کارها در این حیطه بود. Song و Guan (۲۰۰۸) برای بازیابی AOT^1 در طول موج ۵۵۰ نانومتر در گوانگژو، چین از باند ۱ و باند ۳ Landsat استفاده کردند. الگوریتم آنها مبتنی بر محاسبه AOT در پوشش گیاهی تاریک و متراکم برای کل تصویر است، و این به میزان قابل توجهی به تعداد اهداف تاریک بستگی دارد که روش ممکن است در سطوح نیمه خشک یا روشن به درستی کار نکند. Zhong (۲۰۱۱) الگوریتمی بهبود یافته برای بازیابی AOT از تصاویر Landsat TM/ETM+ پیشنهاد کرده است، با این حال این روش باید دانش قبلی در مورد بازتاب سطح داشته باشد. Amanollahi و همکاران (۲۰۱۳) از مادون قرمز حرارتی Landsat (باند ۶) برای ایجاد مدل‌های تجربی بین داده های دما و غلظت PM_{10} استفاده کرد، و نتایج نشان داد که یک ارتباط قوی با اندازه گیری های زمین وجود دارد، با این حال، تنها یازده نمونه اعتبار در مطالعه آنها به تصویب رسید. Stone (۲۰۰۷) رابطه بین گسترش شهری و کیفیت هوا را ارزیابی کرد. Cho و Choi (۲۰۱۴) تأثیر توسعه فشرده شهری بر کیفیت هوا را بررسی کردند. Liu و همکاران (۲۰۱۸) رابطه بین آلودگی هوای شهری و شکل شهری، فصلی بودن و اندازه شهر را ارزیابی کرد.

منطقه مورد مطالعه:

شهر تبریز در داخل دره تکتونیکي بخش شرقی جلگه تبریز واقع شده است. از شمال توسط کوه‌های عون بن علی و از جنوب توسط تپه ماهورهای ارتفاعات سهند محصور شده و شکلی دره‌ای به خود گرفته است که این عامل در تشدید آلودگی و پدیده اینورژن در هوای شهر نقش اساسی دارد. شهر از

¹ aerosol optical thickness

سه جهت شمال، جنوب و شرق با محدودیت عوارض توپوگرافی و شیب تند روبرو است و از سمت غرب با وجود اینکه ظاهراً مساعد برای توسعه می‌باشد، از یک سو به علت قرار گرفتن کارخانجات صنعتی و از طرف دیگر بالا بودن سطح آبهای زیرزمینی توسعه در این جهت با محدودیت روبرو می‌باشد (اسمعیل‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). این شهر در آخرین سرشماری رسمی (۱۳۹۵) بیش از یک و نیم میلیون جمعیت داشته از این لحاظ ششمین شهر پر جمعیت ایران است. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱) نقشه منطقه مورد مطالعه (ویسی‌ناب و همکاران، ۱۳۹۸)

روش‌شناسی:

در این تحقیق برای تغییرات فضایی میزان PM_{10} فصلی شهر تبریز در سطح محله، از تصاویر لندست ۸ استفاده گردید. بدین منظور ابتدا در هر فصل یک تصویر برداشت شده اخذ شد که تاریخ آنها به ترتیب ۶ خرداد ۱۳۹۹؛ ۲۴ مرداد ۱۳۹۹؛ ۲۶ مهر ۱۳۹۹ و ۱۶ دی ۱۳۹۹ بود. تمامی تصاویر ابتدا تصحیح هندسی گردیدند. سپس تصحیحات اتمسفری انجام گرفت (معادله ۱).

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\Theta SZ)} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\Theta SE)} \quad (1)$$

$\rho\lambda =$ انعکاس سیاره ای TOA^1 با تصحیح زاویه خورشیدی

$\rho\lambda' =$ انعکاس سیاره ای TOA بدون تصحیح زاویه خورشید

$\theta SE =$ زاویه ارتفاع خورشید محلی.

$\theta SZ =$ زاویه اوج محلی خورشیدی؛ $(\theta SZ = 90^\circ - \theta SE)$

برای تبدیل تصاویر تصحیح شده به میزان $PM10$ الگوریتم‌های متعددی برای لندست ۸ وجود دارد که برخی از آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱) الگوریتم‌های استخراج $PM10$ از لندست ۸ (Saraswat et al., 2017)

شماره معادله	فرمول	همبستگی	RMSE
۲	$PM10 = RBand1(24.45) - 83.4119$	0.8627	24.5811
۳	$PM10 = RBand2(28.12) - 34.9272$	0.8829	22.8210
۴	$PM10 = RBand3(35.81) + 60.0301$	0.8648	24.4000
۵	$PM10 = RBand4(40.92) + 108.845$	0.8325	26.9231
۶	$PM10 = RBand1(-25.78) + RBand2(59.89) + 24.1226$	0.8899	22.1712
۷	$PM10 = RBand2(43.45) + RBand3(-20.12) - 84.0814$	0.88552	22.5824
۸	$PM10 = RBand3(64.39) + RBand4(-34.41) + 25.5796$	0.8728	23.7157
۹	$PM10 = RBand1(-53.69) + RBand2(134.26) + RBand3(-60.70) - 60.248$	0.9050	20.6694
۱۰	$PM10 = RBand2(42.11) + RBand3(-15.98) + RBand4(-2.90) - 82.5585$	0.8855	22.5790
۱۱	$PM10 = RBand1(-94.22) + RBand2(166.48) + RBand3(21.01) + RBand4(-78.98) - 0.8689$	0.9205	18.9891

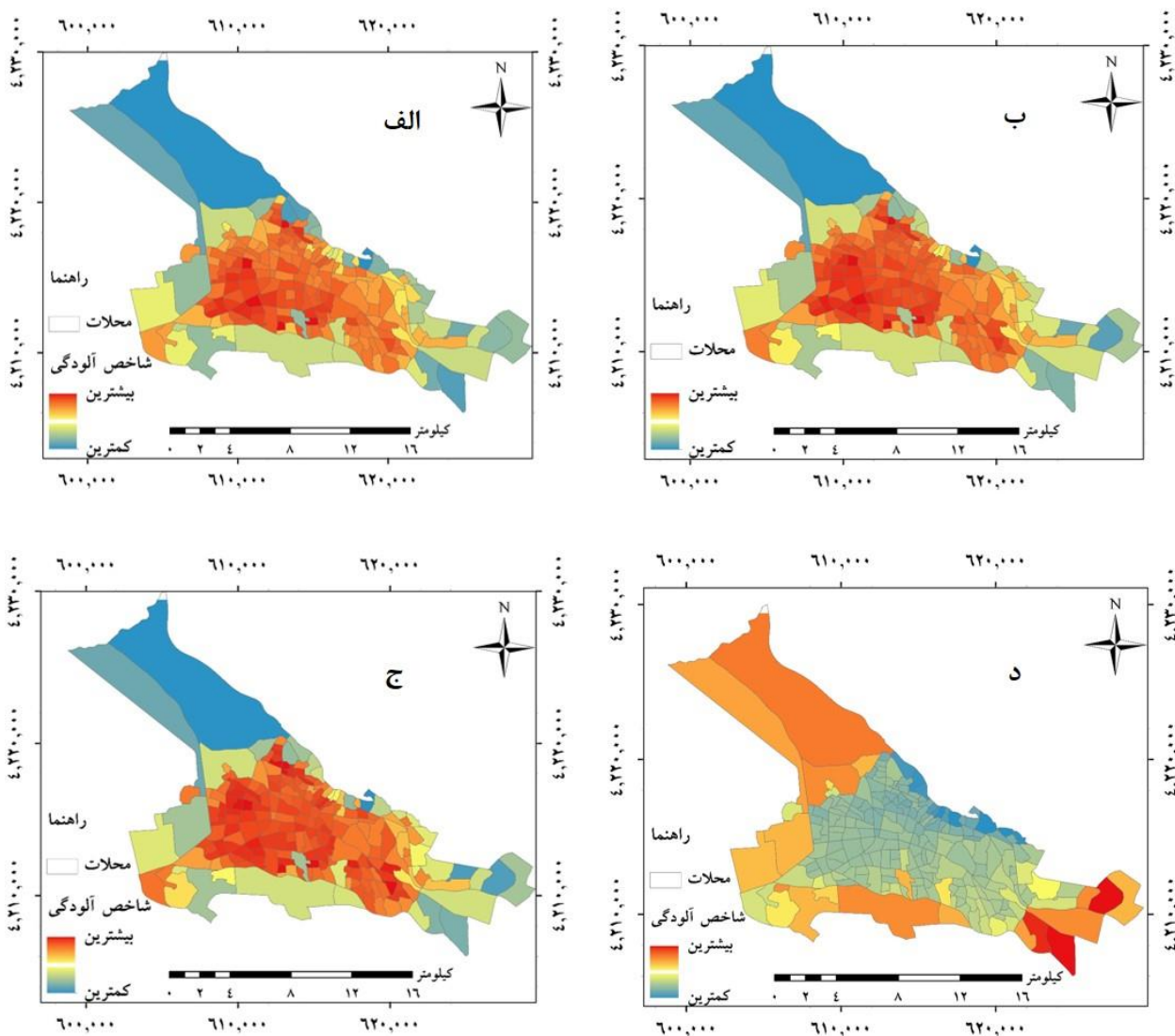
از بین الگوریتم‌های موجود ارائه شده، الگوریتم معادله ۱۱ به دلیل بالا بودن میزان همبستگی و پایین بودن میزان خطا (RMSE) برای تهیه نقشه پراکنش میزان $PM10$ شهر تبریز انتخاب و اعمال شد. الگوریتم معادله ۱۱ بر روی هر چهار تصویر (چهارفصل) اعمال شد و سپس تابع خطی فازی بر نتیجه

¹ top of atmosphere

بدست آمده اعمال گردید و میزان PM_{10} در سطح محلات رتبه‌بندی شد. در نهایت میانگین PM_{10} هر چهار فصل در سطح محلات محاسبه شد تا پاک‌ترین و آلوده‌ترین محلات مشخص گردد.

نتایج:

در این مرحله به ارائه نتایج بدست آمده از لحاظ توزیع فضایی بصورت نقشه و رتبه‌بندی پاک‌ترین و آلوده‌ترین مناطق در قالب جدول خواهیم پرداخت. شکل ۲ نقشه پراکنش فضایی PM_{10} در سطح محلات در هر یک از فصول سال است.



شکل (۲) نقشه پراکنش PM_{10} در سطح محلات تبریز (الف) بهار (ب) تابستان (ج) پاییز (د) زمستان

براساس شکل ۲، با تفاوتی اندک، نقشه میزان *PM10* محلات شهر تبریز در سه فصل اول سال یعنی، بهار، تابستان و پاییز به هم بسیار شبیه است که این میزان شباهت بین دو فصل تابستان و پاییز بسیار بیشتر است. در سه فصل مذکور، غالباً محلات مرکز شهر آلوده‌تر هستند و محلات حاشیه شهر هوای پاکیزه‌تری دارند؛ اما این مسدله برای فصل زمستان تقریباً عکس سه فصل دیگر است. در فصل زمستان بجز شمال شهر که هوای پاکیزه‌ای دارد، سه جهت شرق، غرب و جنوب آلوده‌تر از مرکز شهر هستند که شرق شهر آلوده‌ترین بخش شهر در این فصل بود. پاک بودن مرکز شهر در این فصل می‌تواند دلایل اقلیمی متفاوتی شامل بارندگی، وزش باد و... را داشته باشد.

در جدول ۲ و ۳ به ترتیب پاک‌ترین و آلوده‌ترین محلات شهر تبریز از لحاظ میزان *PM10* موجود در جو در هر ۴ فصل ارائه شده است.

جدول (۲) پاکیزه‌ترین محلات بر حسب فصل

رتبه محله	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱	ولی امر ۲	ولی امر ۲	ولی امر ۲	رشدیه
۲	فرودگاه	فرودگاه	فرودگاه	سیلاب قوشخانه ۱
۳	پارک جنگلی ارم	شهرک	نمایشگاه	الهیه ۱
۴	ارم ۲	شهید بهشتی	شهرک	کوی ش بهشتی
۵	خاوران ۲	نمایشگاه	شهید بهشتی	چوستدوزان ۲

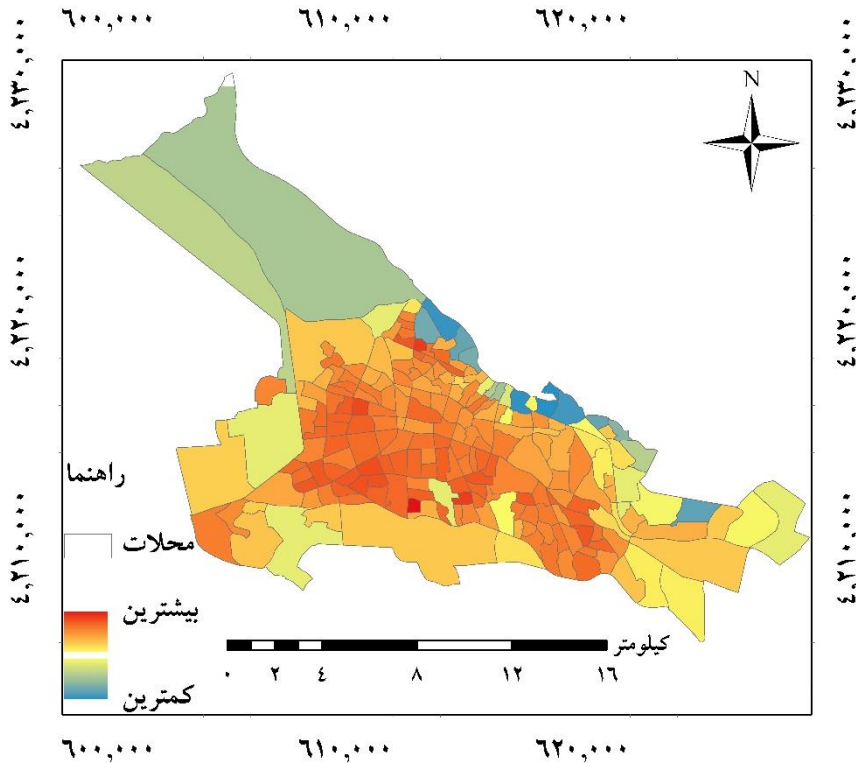
براساس جدول ۲ در سه فصل بهار، تابستان و پاییز محلات ولی امر ۲ و فرودگاه دارای پاک‌ترین هوا از لحاظ *PM10* بودند. همانطور که در تفسیر نقشه‌ها نیز ذکر شد، شباهت بسیار زیادی بین فصول پاییز و تابستان وجود دارد؛ نتایج جدول ۲ نیز به این مسئله صحنه می‌گذارد و هر ۵ محله پاک‌ترین محلات این دو فصل مشترک هستند و فقط رتبه آنها متفاوت است. اما همانطور که از نقشه شکل ۲ نیز مشخص بود، هیچکدام از محلات پاک زمستان با سایر فصول مطابقت ندارد.

جدول (۳) آلوده‌ترین محلات بر حسب فصل

زمستان	پاییز	تابستان	بهار	رتبه محله
شهرک	لیل آباد ۲	لیل آباد ۲	لیل آباد ۲	۱
خاوران ۲	۴۲ متری ۱	۴۲ متری ۱	۴۲ متری ۱	۲
خاوران ۱	رضوانشهر ۵	رضوانشهر ۳	پرواز ۲	۳
کرکج	رضوانشهر ۳	پرواز ۲	رضوانشهر ۳	۴
فرودگاه	پرواز ۲	ابوریحان	ابوریحان	۵

با توجه به جدول ۳؛ نکته جالب در خصوص آلوده‌ترین محلات در هر سه فصل اول سال این است که دو محل لیل آباد ۲ و ۴۲ متری ۱، دو محله آلوده هر سه فصل هستند. نکته دیگر که از جدول ۳ برداشت می‌شود این است که رتبه‌های ۱ تا ۵ آلوده‌ترین محلات در سه فصل اول سال تنها شش محله بودند که تنها تفاوت آنها، تغییر رتبه آنها (رتبه‌های سوم تا پنجم) در هر یک از سه فصل اول سال است. اما برای فصل زمستان، مناطق آلوده طبق معمول با سایر فصول متفاوت بود و نکته شایان ذکر در این خصوص، حضور محلات شهرک و فرودگاه در بین محلات آلوده است، درحالی‌که در سایر فصول جزء محلات پاک بودند.

شکل ۳، نقشه میانگین میزان *PM10* سالانه شهر تبریز را نشان می‌دهد. براساس این شکل، محلات شمال شهر هوای پاک‌تری دارند و محلات حاشیه جنوبی مرکزی شهر هوای آلوده‌تری دارند.



شکل (۳) نقشه میانگین میزان PM_{10} سالانه شهر تبریز

برای مشخص شدن بهتر مناسب‌ترین و نامناسب‌ترین شهر تبریز از لحاظ میزان PM_{10} سالانه، پنج محله سالم و پنج محله ناسالم براساس میانگین سالانه در جدول ۴ ارائه شد.

جدول (۴) سالم‌ترین و ناسالم‌ترین محلات شهر تبریز از لحاظ میزان PM_{10} در سال ۱۳۹۹

رتبه	سالم‌ترین	آلوده‌ترین
۱	ولی‌امر ۲	لیل‌آباد ۲
۲	کوی شهید بهشتی	۴۲ متری ۱
۳	ارم ۱	پرواز ۲
۴	رشدیه	رضوانشهر ۳
۵	نمایشگاه	ابوریحان

براساس جدول ۴، ولی‌امر ۲ دارای سالمترین هوای سالانه از لحاظ میزان PM_{10} می‌باشد و پس از آن محله کوی شهید بهشتی است. نکته جالب توجه این است که از بین محلاتی که در سه فصل اول سال دارای هوای تمیزتری بودند؛ در مجموع سالانه ولی‌امر ۲ دارای سالمترین هوا و نمایشگاه رتبه ۵

را دارد. در حالیکه محلات کوی شهید بهشتی و رشدیه که رتبه‌های دوم و چهارم را دارند، تنها در فصل زمستان جزء ۵ محله سالم بودند. این نشان می‌دهد که محلاتی که در سه فصل اول سال هوای تمیزتری داشتند، وضعیت بسیار ناسالم در فصل زمستان داشتند. اما ترتیب آلوده‌ترین محلات شهر در پنج رتبه نخست، دقیقاً مشابه فصل بهار است.

نتیجه‌گیری:

پایش سریع، ارزان، به‌روز و یکپارچه آلودگی هوا، می‌تواند از سویی یکی از نیازهای مدیران شهری برای کنترل آلودگی و بهبود کیفیت هوا و از سوی دیگر برای شهروندان برای انتخاب محله سالم جهت زندگی باشد. تصاویر ماهواره لندست ۸ این امکان را می‌دهد که با سرعت بالا و تقریباً رایگان دیدی یکپارچه از وضعیت آلودگی بدست دهد. در تحقیق به پایش فصلی و نهایتاً سالانه میزان *PM10* شهر تبریز پرداخته شد. با توجه به نتایجی که از این گوه تحقیقات بدست می‌آید، می‌توان برنامه‌ریزی‌های مختلفی را انجام داد که از جمله آن می‌توان به انتخاب سالم‌ترین مکان آب و هوایی برای احداث بیمارستان اشاره کرد.

نتایج این مقاله نشان داد که تغییرات میزان *PM10* در فضای جو شهر تبریز در فصول بهار، تابستان و پاییز بسیار به هم شبیه است. شاهد این مدعا این است که نه‌تنها دو محله آلوده اول در هر سه فصل مشترک هستند، بلکه رتبه‌های ۱ تا ۵ آلوده‌ترین محلات در سه فصل اول سال تنها شش محله بودند که تنها تفاوت آنها، تغییر رتبه آنها (رتبه‌های سوم تا پنجم). در رتبه‌بندی پاکیزه‌ترین محلات در فصول تابستان و پاییز؛ هر پنج مرحله اول مشترک هستند و تنها رتبه‌های سوم تا پنجم متفاوتند.

بجز محلات ولی‌امر ۲ و نمایشگاه، چند محله دیگر در بین رتبه‌های برتر محلات سالم در سه فصل اول سال، بقیه محلات دارای کیفیت بسیار پایین در فصل زمستان بودند بطوری که خاوران ۲ که در فصل بهار پنجمین محله پاکیزه بود، در فصل زمستان دومین محله آلوده بوده است. در پایان باید اشاره شود که محلات لیل اباد ۲ و ۴۲ متری ۱ اصلاً هوای استاندارد ندارند و بایستی مورد توجه بیشتر قرار بگیرند.

منابع:

۱. دهقانی، منصوره. کمالی، یوسف. داوودی، سهیلا و نرگس شمس‌الدین (۱۳۹۴) بررسی ارتباط بین غلظت ذرات معلق در هوای خارج و داخل بیمارستان دنا شیراز. شانزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران.
۲. شکری فیروزه‌جاه، پری (۱۳۹۰) تأثیر پراکنش فضایی کاربری‌های شهری بر آلودگی با استفاده از روش شناسی توصیفی - تحلیلی و بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای، مطالعه موردی شهر تبریز، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال دوم، شماره اول، قشم، صص ۴۴-۳۳.
۳. میری، محمد. قانعیان، محمدتقی. قلیزاده، عبدالمجید. یزدانی‌اول، محسن و علی نیکونهاد (۱۳۹۴) تحلیل و پهنه بندی آلودگی هوا شهر مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی. مجله مهندسی بهداشت محیط، سال سوم، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۴.
۴. ویسی‌ناب، برهان. بابایی‌ا قدم، فریدون. قربانی، رسول (۱۳۹۸) تحلیل عوامل اقتصادی اثرگذار بر زیست پذیری شهری (مورد مطالعه: کلان شهر تبریز)؛ فصلنامه علمی اقتصاد و مدیریت شهری، پیاپی ۲۷، صص ۵۲-۳۵.
5. Alias, M., Hamzah, Z., & Kenn, L. S. (2007). *PM10 and total suspended particulates (TSP) measurements in various power stations. The Malaysian Journal of Analytical Sciences, 11(1), 255-261.*
6. Amanollahi, J., Tzanis, C., Abdullah, A. M., Ramli, M. F., & Pirasteh, S. (2013). *Development of the models to estimate particulate matter from thermal infrared band of Landsat Enhanced Thematic Mapper. International Journal of Environmental Science and Technology, 10(6), 1245-1254.*
7. Beloconi, A., Kamarianakis, Y., & Chrysoulakis, N. (2016). *Estimating urban PM10 and PM2.5 concentrations, based on synergistic MERIS/AATSR aerosol observations, land cover and morphology data. Remote Sensing of Environment, 172, 148-164.*
8. Chitranshi, S., Sharma, S. P., & Dey, S. (2015). *Satellite-based estimates of outdoor particulate pollution (PM 10) for Agra City in northern India. Air Quality, Atmosphere & Health, 8(1), 55-65.*
9. Cho, H. S., & Choi, M. J. (2014). *Effects of compact urban development on air pollution: Empirical evidence from Korea. Sustainability, 6(9), 5968-5982.*

10. Choung, Y. J., & Kim, J. M. (2019). *Study of the Relationship between Urban Expansion and PM10 Concentration Using Multi-Temporal Spatial Datasets and the Machine Learning Technique: Case Study for Daegu, South Korea*. *Applied Sciences*, 9(6), 1098.
11. Elliott P, Cuzick J, English D, Stern R (1996) *Geographical and Environmental Epidemiology: Methods for Small-area Studies*. Oxford: Oxford University Press, UK
12. Finzi, G., & Lechi, G. M. (1991). *Landsat images of urban air pollution in stable meteorological conditions*. *IL Nuovo Cimento C*, 14(5), 433-443.
13. Liu, Y., Wu, J., Yu, D., & Ma, Q. (2018). *The relationship between urban form and air pollution depends on seasonality and city size*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 15554-15567.
14. POURAHMAD, A., BAGH, V. A., ZANGENEHE, S. S., & Givehchi, S. (2007). *The impact of urban sprawl up on air pollution*.
15. Retalis, A., & Sifakis, N. (2010). *Urban aerosol mapping over Athens using the differential textural analysis (DTA) algorithm on MERIS-ENVISAT data*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(1), 17-25.
16. Saleh, S. A. H., & Hasan, G. (2014). *Estimation of PM10 concentration using ground measurements and Landsat 8 OLI satellite image*. *J Geophys Remote Sens*, 3(120), 2169-0049.
17. Saraswat, I., Mishra, R. K., & Kumar, A. (2017). *Estimation of PM10 concentration from Landsat 8 OLI satellite imagery over Delhi, India*. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, 251-257.
18. Song, W. W., & Guan, D. S. (2008). *The distribution of aerosol optical depth retrieved by TM imagery over Guangzhou, China*. *Acta Sci. Circumst*, 8, 1638-1645.
19. Sotoudeheian, S., & Arhami, M. (2014). *Estimating ground-level PM 10 using satellite remote sensing and ground-based meteorological measurements over Tehran*. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 1-13.
20. Stone Jr, B. (2008). *Urban sprawl and air quality in large US cities*. *Journal of environmental management*, 86(4), 688-698.
21. Zaman, N. A. F. K., Kanniah, K. D., & Kaskaoutis, D. G. (2017). *Estimating particulate matter using satellite based aerosol optical*

- depth and meteorological variables in Malaysia. Atmospheric Research, 193, 142-162.*
22. Zhong, B. (2011, July). *Improved estimation of aerosol optical depth from Landsat TM/ETM+ imagery over land. In 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (pp. 3304-3307). IEEE.*