



فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷

۷۹-۱۰۰

تاثیر تغییرپذیری‌های کاربری و پوشش سرزمین بر کیفیت هوای شهر تهران

ابوطالب صبر، مظاهر معین‌الدینی* و حسین آذرنیوند

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۷

صبر، ا.، م. معین‌الدینی و ح. آذرنیوند. ۱۳۹۷. تاثیر تغییرپذیری‌های کاربری و پوشش سرزمین بر کیفیت هوای شهر تهران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۳): ۷۹-۹۸.

سابقه و هدف: تغییر در کیفیت هوا و خطرهای آن با رشد سریع مناطق شهری و صنعتی و تغییر در سایر کاربری‌ها در دهه‌های اخیر در رابطه است. یکی از مهم‌ترین تاثیرها، تغییرپذیری‌های کاربری سرزمین فرسایش بادی و در نتیجه افزایش ذرات معلق، در مناطق مسکونی است. به این دلیل، تاثیر تغییرپذیری‌های کاربری سرزمین، بر افزایش غلظت ذرات معلق در هوای شهرها بخصوص تهران دارای اهمیت است.

مواد و روش‌ها: تغییرپذیری‌های کاربری سرزمین و متریک‌های سیمای سرزمین در سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ بررسی شد. سپس رابطه بین تغییر در کاربری سرزمین با غلظت ذرات معلق در شهر تهران با استفاده از روش‌های تحلیل روند مورد ارزیابی قرار گرفت. برای تعیین مهم‌ترین جهت‌های باد و تغییر در کاربری سرزمین که بر کیفیت هوای شهر تهران تأثیر گذاشته از شاخص‌های تابع احتمال شرطی (CPF^۱) و شدت نسبی جهتی (DRS^۲) استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که مساحت کاربری کشاورزی در دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ دارای روند افزایشی بوده در حالی که این روند در ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ وارونه بوده است. تغییر در مساحت زمین‌های بایر روندی معکوس نسبت به کاربری کشاورزی در دو دوره زمانی ذکر شده داشت. همچنین کاربری شهری در کل دوره، روند افزایشی داشته است. نتایج متریک‌های سرزمین، به وجود آمدن لکه‌های کوچک‌تر و سیمای سرزمین لکه لکه شده را نشان داد. نتایج تحلیل روند بیان کرد که غلظت ذرات معلق در کل روند افزایشی داشته اما در سال ۲۰۰۷ یک افزایش ناگهانی در غلظت ذرات معلق دیده شد. مقایسه بین غلظت ذرات معلق قبل و بعد از سال ۲۰۰۷ گویای این بود که بین این دو دوره اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین نتایج CPF و DRS قبل از سال ۲۰۰۷ نشان داد که جهت خاصی برای منبع‌های انتشار ذرات معلق وجود ندارد. اما برای سال‌های بعد از ۲۰۰۷، ارزش نمودار CPF و DRS در جهت‌های خاصی مانند جنوب تا غرب افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری: نتایج، نشان‌دهنده این است که جهت‌های خاصی بر افزایش غلظت PM_{۱۰} در شهر تهران مؤثرند که با جهت بیشترین تغییرپذیری‌ها در کاربری سرزمین مطابقت دارد. در نتیجه تغییرپذیری‌ها کاربری سرزمین از عوامل مؤثر در افزایش میزان ذرات معلق شهر تهران به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، تغییرپذیری کاربری سرزمین، ذرات معلق، تحلیل روند، تهران.

* Corresponding Author. E-mail Address: moeinaddini@ut.ac.ir

مقدمه

بر هم زدن تعادل انرژی در جو، تغییر در بارش و نیز آسیب زدن به آثار و بناهای تاریخی است (Pantavou *et al.*, 2017).

سازمان هواشناسی جهانی (WMO^۴)، طوفان‌های گردوغباری را چنین تعریف می‌کند: طوفان‌های گردوغبار به‌عنوان نوعی از رویدادهای غباری، که در بیش‌تر موارد نتیجه بادهای متلاطم، شامل بادهای قوی همرفتی هستند که ذرات زیادی از گردوغبار را از سطح‌های بیابانی بالابرده و با گسترش آن‌ها در ناحیه‌های گسترده، قدرت دید را به کمتر از یک کیلومتر کاهش می‌دهند (Goudie and Middleton, 2006). در رویدادهای شدید، غلظت گردوغبار به بیش از $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌رسد (Goudie, 2009). این رویداد طبیعی به‌عنوان یکی از ویژگی‌های منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شود و زمانی در این منطقه‌ها رخ می‌دهد که بادهایی با سرعت بیش از آستانه فرسایش بوزد. در این حالت ذره‌های خاک با اندازه‌های مختلف از بستر خود جدا شده و به‌صورت معلق به حرکت درآمده و به نقاط پایین دست جهت باد حمل می‌شوند بنابراین بروز این پدیده در منطقه‌های برداشت ایجاد فرسایش خاک و در نقطه‌های دیگر متناسب با قدرت و سرعت باد سبب انباشت یا رسوب کردن ذره‌ها می‌گردد (Jalali, 2012).

از عوامل اصلی و مؤثر در رخداد پدیده گردوغبار، موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی منطقه‌های انتشار گردوغبار است. خشکسالی‌ها و از طرف دیگر استفاده نامطلوب از محیط‌زیست توسط انسان در ایران و کشورهای همسایه سبب شدت یافتن پدیده گردوغبار شده است (Bahraei *et al.*, 2012). این امر در شرایط خشکسالی و برخی عوامل انسانی از جمله تغییر کاربری زمین در چند سال اخیر شدت گرفته که برای ساکنان این منطقه‌ها دشواری‌های زیادی از جنبه‌های

گسترش روزافزون و بی‌رویه شهرها، به همراه پیشرفت سریع اقتصادی و در نتیجه آن، افزایش مصرف انرژی باعث ایجاد دشواری‌های متعدد محیط‌زیستی برای ساکنان آن‌ها شده است. آلودگی هوای شهرها یکی از مهم‌ترین این دشواری‌ها بوده که همواره تهدیدی پیوسته و جدی برای سلامت و بهداشت جامعه و همچنین محیط‌زیست به شمار می‌رود (Waked *et al.*, 2014). بر اساس گزارش برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد، ذرات معلق (PM_{10})، مهم‌ترین آلاینده هوا در شهرهای بزرگ جهان است (Khan *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011). ذرات معلق، به ذراتی اطلاق می‌شود که به صورت پراکنده (مایع یا جامد) در واسطه‌گازی قرار گرفته‌اند. این ذرات دارای منشأ انسانی و طبیعی هستند. منبع‌های انتشار انسانی آن‌ها عبارت است از وسایل نقلیه (سوختی و غیرسوختی)، استفاده از سوخت‌های فسیلی و گردوغبار ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند معدن‌های شن و ماسه، محل‌های دپوی نخاله‌های ساختمانی و تغییر پذیری‌های کاربری و از سوی دیگر منبع‌های انتشار طبیعی این ذرات، شامل گردوغبار بیابانی، خاکستر حاصل از آتشفشان‌ها و اسپری ذرات به‌وسیله‌ی موج‌هایی از پیکره‌های آبی است (Superczynski and Christopher, 2011).

طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی، به ازای کاهش غلظت ذرات معلق از ۷۰ به ۲۰ میکروگرم بر مترمکعب، میزان مرگومیر مربوط به آلودگی هوا را می‌توان ۱۵ درصد کاهش داد (WHO, 2016). در حالی که در کشورمان رویداد طوفان گردوغبار و گذر آن از سکونت‌گاه‌های انسانی باعث بالا رفتن غلظت ذرات معلق شده که سلامت جامعه را به خطر انداخته و سبب بروز بیماری‌هایی نظیر سینوزیت، برونشیت، آسم و بیماری‌های قلبی عروقی و مرگ زودرس می‌شود. همچنین ذرات معلق تاثیر نامطلوبی روی محیط‌زیست دارد که شامل جذب، انعکاس و پراکندگی نور و در مجموع

روزهای سال، سطح بالایی از غلظت ذرات معلق وجود دارد. بنابراین، اضافه شدن تاثیر طوفان‌های گردوغبار سبب می‌شود که غلظت ذرات بالاتر رفته و شرایط حاد در روزهای گردوغباری در شهر ایجاد شود (Givchchi *et al.*, 2013).

با در نظر گرفتن تاثیرهای منفی طوفان‌های گردوغبار و لزوم تعیین منبع‌های انتشار آن‌ها، و کمک به یافتن بهترین و عملی‌ترین راه‌ها برای حل این مشکل، انجام این تحقیق برای شهر تهران ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به مطالب بیان شده، هدف‌های این تحقیق شامل بررسی تغییرپذیری کاربری سرزمین و تخریب آن با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین و ارزیابی رابطه تغییرپذیری‌ها بر میزان غلظت ذرات معلق در هوای شهر تهران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

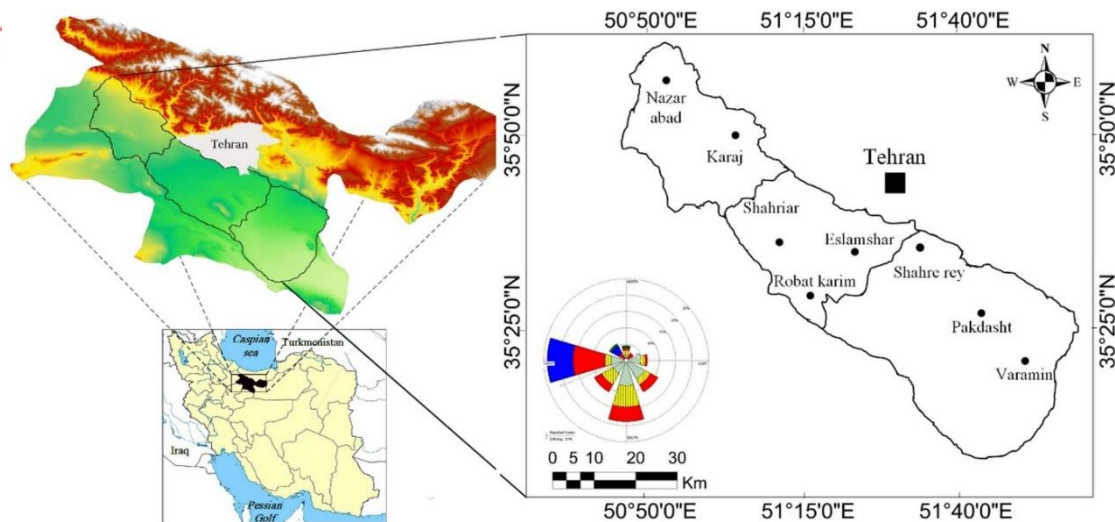
مشخصات جغرافیایی محدوده مورد پژوهش

شهر تهران با جمعیتی حدود ۱۰ میلیون نفر و مساحت حدود ۸۰۰ کیلومترمربع در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز قرار دارد. دشت تهران که در جنوب ارتفاعات البرز در ارتفاعی میان ۹۰۰ تا ۱۵۰۰ متر قرار دارد و از سمت جنوب به دشت‌های باز و وسیع کشاورزی و همچنین دشت قزوین منتهی می‌شود، از محل‌های اصلی تجمع و فعالیت‌های انسانی در استان تهران است (Safavi and Alijani, 2007). در شکل ۱ منطقه مورد نظر نشان داده شده است. در این محدوده، کاربری کشاورزی و پوشش سرزمین در دهه‌های اخیر دستخوش تغییرپذیری‌های زیادی شده است. با توجه به گستردگی منطقه مورد پژوهش و به منظور تسهیل در تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، منطقه مورد بررسی به سه زون تقسیم‌بندی شد. زون A: کرج و نظرآباد. زون B: اسلامشهر، شهریار و رباط‌کریم و زون C: پاکدشت، ورامین و شهرری.

محیط‌زیستی، بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی و برای سیاستمداران، مشکلات سیاسی و نارضایتی‌های عمومی را ایجاد کرده است. در نتیجه، آشنایی با نحوه ایجاد و شکل‌گیری این پدیده در کاهش زیان‌های ناشی از آن می‌تواند مؤثر باشد.

پژوهش‌های متعددی در زمینه پدیده گردوغبار از عوامل مؤثر بر وقوع تا تعیین منطقه‌های انتشار آن انجام شده است. در برخی از این پژوهش‌ها با بررسی ارتباط بین عوامل اقلیمی، پوشش گیاهی و طوفان‌های گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بیان شده که ویژگی‌های سطح زمین مانند تغییر در پوشش گیاهی می‌تواند در رخداد طوفان‌های گردوغبار مؤثر باشد (Zou and Zhai, 2004; Jalali *et al.*, 2012) and Superczynski Christopher, 2011). همچنین از روش‌های مختلفی مانند سنجش از دور و GIS برای شناسایی کانون‌های برداشت و تأثیر تغییر پذیری‌های پوشش گیاهی در بروز طوفان‌های گردوغبار استفاده شده و منطقه‌های مستعد انتشار گردوغبار شناسایی شده‌اند. در رابطه با اهمیت تغییر پذیری‌ها از نظر مساحت و دست‌خوردگی سرزمین که در پژوهش‌های مختلف اشاره شد، بایستی عنوان شود که فقط بیان تغییر در مساحت شاخص کاملی برای ارزیابی تخریب و دست‌خوردگی سرزمین نیست و برای بیان کامل‌تر و کمی نمودن آن، از متریک‌های سیمای سرزمین استفاده می‌شود (Vrahnakis, 2009) and Schindler *et al.*, 2009; Chouvardas *et al.*, 2008).

شهر تهران از آلوده‌ترین شهرهای جهان به شمار می‌رود و ذرات معلق، از مهم‌ترین آلاینده‌های آن محسوب می‌شود. افزایش طوفان‌های گردوغبار، به ویژه در سال‌های اخیر سبب افزایش سطح بالایی از ذرات معلق شده است. با توجه به وجود منبع‌های زیاد انسانی انتشار ذرات معلق، (به‌ویژه حمل‌ونقل) به طور کلی در بیشتر



شکل ۱- منطقه مورد پژوهش
Fig. 1- Study area

از سوی دیگر داده‌های غلظت ذرات معلق با قطر آئروپدینامیکی کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) و مونواکسید کربن (CO) برای یک دوره ۱۵ ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴) از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان تهران و شرکت کنترل کیفیت هوای تهران دریافت شد. همچنین داده‌های هواشناسی مربوط به همین دوره آماری از ایستگاه هواشناسی مهرآباد از سازمان هواشناسی گرفته شد.

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در این بخش از تحقیق، تصحیح هندسی تصاویر در سه مرحله انجام شد. در مرحله اول، تصاویر TM مربوط به سال ۱۹۸۵ با استفاده از نقاط کنترل زمینی، زمین مرجع شدند. در مرحله بعد این تصاویر به عنوان رفرنس انتخاب و بقیه تصاویر با توجه به این تصاویر زمین مرجع گردیدند (Johnson, 2015). سپس تصحیح اتمسفری با استفاده از الگوریتم DOS^5 انجام پذیرفت (Gilmore et al., 2015). همچنین، عامل شاخص بهینه OIF^6 به منظور انتخاب بهترین ترکیب باندی به کار گرفته شد. با توجه به این شاخص، ترکیب باندی ۲،۳ و ۴ برای سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۰۰ و ۳،۴ و ۵ برای سال ۲۰۱۴ انتخاب شدند.

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش را می‌توان به دو نوع عمده تقسیم نمود: داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های کیفیت هوای شهر تهران. داده‌های ماهواره‌ای شامل تصاویر ماهواره لندست، برای بررسی تغییرپذیری‌ها در کاربری و پوشش سرزمین در منطقه مورد پژوهش در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴) استفاده شد. بدین منظور، مجموعه‌ای از تصاویر مربوط به لندست ۵ (TM) در ماه می سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۰۰ و تصاویر مربوط به سال ۲۰۱۴ از لندست ۸ (OLI) به منظور بررسی تغییرپذیری کاربری در منطقه مورد نظر از سایت EROS گرفته شد. به دلیل گستردگی منطقه مورد پژوهش، سه سین از تصاویر ماهواره لندست مربوط به هر سال دریافت شد. علاوه بر این ۱۵۰ نقطه کنترل زمینی با استفاده از دستگاه GPS از منطقه مورد بررسی جمع‌آوری شدند. در سال‌های اخیر همچنین، تصاویر Google earth با توجه به میزان صحت مکانی آن‌ها به عنوان ابزاری برای مشاهده کاربری و پوشش سرزمین، بسیار مورد استفاده قرار گرفت (Yu and Gong, 2012). از این رو در این پژوهش به منظور ارزیابی نقاط کنترل زمینی، از Google earth استفاده شد (Elkhrachy, 2015).

تغییرپذیری‌های کاربری سرزمین تاثیرهای گسترده‌ای را بر سیمای سرزمین دارد؛ بنابراین با توجه به آثار منفی ناشی از استفاده نامناسب از سرزمین، شناخت تغییرپذیری سیمای سرزمین در طی زمان برای ارزیابی تاثیرهای محیط زیستی ناشی از توسعه، پیش‌بینی تغییر سیمای سرزمین به منظور طرح‌ریزی و مدیریت پایدار سرزمین ضروری است (Matsushita et al., 2006). کمی‌سازی ساختار سیمای سرزمین با استفاده از شاخص‌های فضایی سیمای سرزمین یا متریک‌ها صورت می‌گیرد. متریک‌ها، ساختارهای فضایی سیمای سرزمین را در یک لحظه از زمان تشریح کرده و ابزارهایی برای تعیین وضعیت هندسی و فضایی یک لکه یا موزاییکی از لکه‌ها هستند. در این تحقیق از پنج نوع متریک ذکر شده در جدول ۲ برای تحلیل الگوی سیمای سرزمین استفاده شد.

جدول ۲- متریک‌های سیمای سرزمین
(Matsushita et al., 2006)

Table 2. Landscape metrics

متریک‌ها Landscape metrics	
Patch Density(PD)	تراکم تکه‌ها
Edge Density(ED)	تراکم حاشیه
Mean patch size(MPS)	میانگین اندازه لکه
Mean shape index(MSI)	میانگین شاخص شکل
Interspersion and Juxtaposition Index (IJI)	در هم فرورفتگی لکه‌ها

تحلیل سری‌های زمانی آلاینده‌های هوا

برای پی بردن به تغییرپذیری زمانی در غلظت آلاینده‌های PM_{10} و CO، از تحلیل سری‌های زمانی استفاده شد که به بررسی وجود یا فقدان روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری می‌پردازد. تاکنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه شده‌اند. این آزمون، در آغاز توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت. این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود.

طبقه‌بندی تصاویر و تعیین میزان تغییرپذیری‌ها

کلاس‌های کاربری سرزمین را می‌توان به صورت‌های مختلفی تعریف کرد. به همین دلیل، به منظور استخراج کلاس‌های کاربری از تصاویر ماهواره‌ای نیز سیستم‌هایی تعریف شده که سیستم طبقه‌بندی اندرسون (Anderson et al., 1976) از معروف‌ترین آن‌هاست و به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این رو، سه کلاس منطقه‌های شهری، کاربری کشاورزی و زمین-های بایر به منظور طبقه‌بندی تصاویر انتخاب شدند (جدول ۱). نتایج مربوط به طبقه‌بندی و پس پردازش تصاویر ماهواره‌ای و متریک‌های سیمای سرزمین در دو بازه زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۵ (دوره اول) و ۲۰۱۴-۲۰۰۰ (دوره دوم) به دست آمد.

جدول ۱- کلاس‌های کاربری و پوشش سرزمین

(Anderson et al., 1976)

Table 1- Land use/ cover classes (Anderson et al., 1976)

کلاس کاربری و پوشش سرزمین Land use/ cover subclass	کلاس کاربری و پوشش سرزمین Land use/ cover class
مسکونی Residential	
تجاری، صنعتی و خدمات Commercial, Industrial and Services	کاربری شهری Built-up
حمل و نقل، ارتباطات Transportation and Communications	
مجتمع‌های صنعتی و تجاری Industrial and Commercial Complexes	
زمین‌های زراعی و مراتع Cropland and Pasture	کاربری کشاورزی Agricultural Land
کاربری باغی و درختی Orchards, Groves, and Ornamental Horticultural Areas	
رخنمون‌های سنگی Sandy Areas Bare Exposed Rock	
معادن شن و ماسه Strip Mines Quarries, and Gravel Pits	اراضی بایر Barren Land
زمین بایر مخلوط Transitional Areas	
اراضی بایر و رها شده barren land	

با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر (فقدان روند) در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد:

$$|Z| < Z_{\alpha/2}$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α برای سطح‌های اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

برای تشخیص زمان آغاز تغییر روند، جهت و نوع آن، از روش من-کندال ترتیبی^۷ استفاده می‌شود. برای این کار میزان‌های $U(t)$ و $U'(t)$ از سری داده‌ها به دست آمد. در اینجا $U(t)$ دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است؛ بنابراین رفتار توالی آن به صورت نوسانی حول صفر خواهد بود. $U(t)$ همانند میزان Z از آغاز سری زمانی به سمت انتهای آن محاسبه می‌شود. این آزمون میزان‌های نسبی همه داده‌های سری زمانی (x_1, x_2, \dots, x_n) را مد نظر قرار می‌دهد. گام‌های زیر برای محاسبه $U(t)$ انجام می‌گیرد.

۱- میزان x_j به ازای $(j=1, \dots, n)$ با میزان x_k به ازای $(k=1, \dots, j-1)$ مقایسه می‌شوند. در هر مقایسه تعداد مواردی که $x_j > x_k$ می‌شود، شمرده شد و با n_j نشان داده شد.

۲- آماره t از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$t_j = \sum_i^j n_j \quad (5)$$

۳- میانگین و واریانس آماره از طریق زیر محاسبه می‌شود (روابط ۶ و ۷).

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (6)$$

$$Var(t_j) = \frac{[j(j-1)(2j+5)]}{72} \quad (7)$$

در این آزمون هر مقدار در سری زمانی به صورت پیوسته و پشت سر هم با بقیه مقادیر سری مقایسه شدند. مراحل محاسبه آماره S به عنوان مجموع همه شمارش‌ها و واریانس آن در ذیل توضیح داده شده است.

در این روش ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهده-ها با تمام شواهد پس از آن، محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه (۱) به دست می‌آید (Mann, 1945; Kendall, 1975):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. تابع علامت sgn نیز به صورت زیر قابل محاسبه است (رابطه ۲).

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_j - x_k) &= +1 & \text{for } (x_j - x_k) > 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= 0 & \text{for } (x_j - x_k) = 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= -1 & \text{for } (x_j - x_k) < 0 \end{aligned} \quad (2)$$

در مرحله بعد محاسبه واریانس S توسط رابطه شماره ۳ محاسبه شد:

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(i-1)(2t+5)}{18} \quad \text{for } n > 10 \quad (3)$$

که n و m معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گره‌ها) است. در نهایت نیز آماره Z به کمک یکی از رابطه ۴ به دست می‌آید.

$$\begin{aligned} z &= \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{for } S > 0 \\ z &= 0 & \text{for } S = 0 \\ z &= \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{for } S < 0 \end{aligned} \quad (4)$$

برخوردار است، از شاخص‌های تابع احتمال شرطی (CPF) و شدت نسبی جهتی (DRS) استفاده گردید. CPF با توجه به رابطه ۹ به دست می‌آید (Moeinaddini *et al.*, 2014).

$$CPF_{kl} = m_{kl}/n_l \quad (9)$$

که در آن CPF_{kl} تابع احتمال شرطی غلظت آلاینده k در جهت باد l ، m_{kl} تعداد ساعاتی که غلظت آلاینده k از جهت l از حد آستانه که در این تحقیق صدک ۷۵ از توزیع داده‌های غلظت PM_{10} در نظر گرفته شده است و nl که مجموع تعداد ساعاتی است که باد از جهت l می‌وزد

همچنین DRS با توجه به رابطه (۱۰) که توسط Lau *et al.* (2010) و Chan *et al.* (2011) ارائه شد، محاسبه می‌شود:

$$E_{kl} = \sum_{i=1}^{16} (C_{ki}P_{il}) / \sum_{i=1}^{16} C_{ki} \quad \text{and} \quad DRS = E_{kl}/P_l \quad (10)$$

که در آن E_{kl} فراوانی (وزن دهی شده به وسیله فراوانی جهت باد) غلظت آلاینده k در جهت l ، C_{ki} غلظت آلاینده k در نمونه i ، P_{il} فراوانی باد در جهت l در طی نمونه‌برداری از نمونه i ، P_l فراوانی تجمعی باد در جهت l و DRS_{kl} قدرت نسبی وابسته به جهت آلاینده k در جهت l .

نتایج و بحث

با توجه به تقسیم‌بندی منطقه مورد بررسی به سه زون، نتایج به تفکیک زون‌ها بیان شده است. زون A کرج و نظرآباد، زون B اسلامشهر، شهریار و رباط‌کریم و زون C شهرری، پاکدشت و ورامین را شامل می‌شوند.

نتایج محاسبه شاخص‌های صحت و کاپا نشان داد نتایج طبقه‌بندی تصویرهای ماهواره‌ای برای تعیین

۴- میزان متوالی آماره $U(t)$ از رابطه ۸ محاسبه می‌شود (Zare, 2012).

$$U(t) = [t_i - E(t)] / \sqrt{\text{Var}(t_j)} \quad (8)$$

به طور مشابه، میزان $U'(t)$ به صورت پس‌رو، یعنی شروع محاسبات از انتهای سری زمانی انجام شد. این روش می‌تواند به‌طور مؤثر برای تعیین سال‌های آغاز روند بکار رود. محل تقاطع دو خط U و U' زمان آغاز تغییر روند است. اگر خطوط مذکور در داخل محدوده بحرانی ۱/۹۶ همدیگر را قطع کنند، نشانه زمان آغاز تغییر و در صورت که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند، نمایانگر وجود روند معنی‌دار در سری‌های زمانی است.

در مرحله بعد، رابطه بین تغییرپذیری‌های کاربری سرزمین و انتشار گردوغبار بررسی شد. چنانچه پیشتر ذکر شد، ذرات معلق هم می‌توانند منشأ طبیعی و هم انسانی داشته باشد. با توجه به این نکته که منبع‌های انسانی انتشار آلودگی، آلاینده‌های متنوعی مانند CO و SO_2 و PM_{10} و $PM_{2.5}$ منتشر می‌کنند، به منظور مشخص نمودن نقش منبع‌های انتشار ذرات معلق خارج از شهر مانند رخدادهای گردوغباری در افزایش مقدار غلظت ذرات معلق، از مونواکسیدکربن به عنوان آلاینده مهم شهری نیز استفاده شد (Halek, 2010). به گونه‌ای که زمان‌هایی که غلظت PM_{10} و CO دارای روند افزایشی و کاهشی مشابهی بودند، فرض بر این شد که این دو آلاینده از منابع درون شهر منتشر شده‌اند. از طرف دیگر چنانچه این دو آلاینده دارای روند یکسانی نباشند (به‌گونه‌ای که روند PM_{10} افزایشی و روند CO ثابت یا کاهشی باشد) فرض بر این شد که PM_{10} از منبع‌های انتشار خارج از شهر تهران بوده است.

تعیین منشأ جهتی ذرات معلق

به منظور تشخیص و تعیین اینکه کدام جهت‌ها در انتقال گردوغبار ورودی به شهر تهران از اهمیت بیشتری

قابل توجهی را نشان نمی‌دهند. در ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰، زمین‌های کشاورزی در زون A افزایش (۶۸ کیلومترمربع)، اما در سال‌های بین ۲۰۰۰-۲۰۱۴ (جدول ۴) کاهش (۱۲۵ کیلومترمربع) یافته است. در مقابل، زمین‌های بایر در ۲۰۰۰-۱۹۸۵ با کاهش ۱۰۸ کیلومترمربعی و در ۲۰۱۴-۲۰۰۰ با افزایش ۳۶ کیلومترمربعی روبه‌رو شده است. این روند واژگون نشان می‌دهد تبدیل زمین‌های بایر به زمین‌های کشاورزی (جدول ۵) در ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ و به عکس در ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، شاید ناشی از کمبود آب (Jahani and Reyhani, 2006) و عوامل اقتصادی (مانند افزایش قیمت زمین برای توسعه شهر و صنعت) باشد. در زون B در کل دوره، تغییر در مساحت زمین‌های کشاورزی و همچنین تغییر در مساحت‌ها در دو دوره زمانی اول و دوم طرح همسانی با زون A دارد. این موضوع بدین معنی است که در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ در مساحت کاربری کشاورزی، افزایش صورت گرفته و در ۲۰۰۰-۲۰۱۴ عکس این موضوع در زون B رخ داده است.

نقشه‌های موضوعی کاربری و پوشش سرزمین، قابل اعتماد و مناسب است (جدول ۳). نتایج تغییرپذیری‌ها در دو دوره زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۵ (دوره اول) و ۲۰۱۴-۲۰۰۰ (دوره دوم) نشان داده شده است (شکل ۲).

جدول ۳- نتایج محاسبه شاخص‌های صحت و کاپا برای سالهای ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴

Table 3. The results of overall accuracy (%) and kappa coefficient (%) in 1985, 2000 and 2014

کاپای کلی Overall kappa	صحت کلی Overall accuracy	سال Year
82.3	80.8	1985
85.2	87	2000
88	87	2014

همچنین با توجه به جدول ۴، نتایج به دست آمده از تغییرپذیری‌های کاربری نشان می‌دهد که در سال ۱۹۸۵، ۴/۶ درصد از مساحت زون A (کرج، نظرآباد) به توسعه کاربری شهری اختصاص یافته است. از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۰۰، کاربری شهری در این منطقه ۶۰ کیلومترمربع افزایش مساحت داشته و از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴، این افزایش، ۸۹ کیلومترمربع بوده است. در زون A، زمین‌های کشاورزی و بایر در دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ تغییری

جدول ۴- میزان (Km2) و درصد (%) کاربری/پوشش سرزمین در سالهای ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴
Table 4. Absolute (Km2) and relative (%) areas for each land cover in 1985, 2000 and 2014

تغییر Change 2000-2014	تغییر Change 1985-2000	2014	2000	1985	
km2 (%)	km2 (%)	km2 (%)	km2 (%)	km2 (%)	
زون A					
-125(-15) a	68(8)	286(33)	411(47)	343(39)	Agricultural land کشاورزی
89(10)	60(7)	189(21)	100(11)	40(4)	build-up شهری
36(4)	-108(-12)	397(45)	361(41)	489(56)	Barren land اراضی بایر
زون B					
-99(-9)	30(3)	431(42)	530(52)	500(49)	Agricultural land کشاورزی
140(13)	70(7)	230(22)	90(9)	20(2)	build-up شهری
-41(-4)	-100(-10)	345(34)	386(38)	486(48)	Barren land اراضی بایر
زون C					
-102(-4)	419(15)	1170(42)	1272(46)	853(31)	Agricultural land کشاورزی
68(2)	39(1)	137(5)	69(2)	30(1)	build-up شهری
34(1)	-485(-17)	1442(52)	1408(51)	1866(67)	Barren land اراضی بایر

a: Negative sign shows decreasing trend

: علامت منفی نشان دهنده روند کاهشی است. a.

تصفیه‌خانه شهر تهران برای آبیاری و در نتیجه تبدیل زمین‌های بایر به زمین‌های کشاورزی در این منطقه باشد (جدول ۵). نتایج این بخش از تحقیق با بررسی انجام گرفته توسط ساعی فر و محمد نیا و همچنین با نتایج بررسی رجب زاده در رابطه با نوع و میزان تغییرات کاربری شهر تهران هم‌خوانی دارد; (Saeifar and Mohammadnia., 2015; Rajabzadeh, 2016)

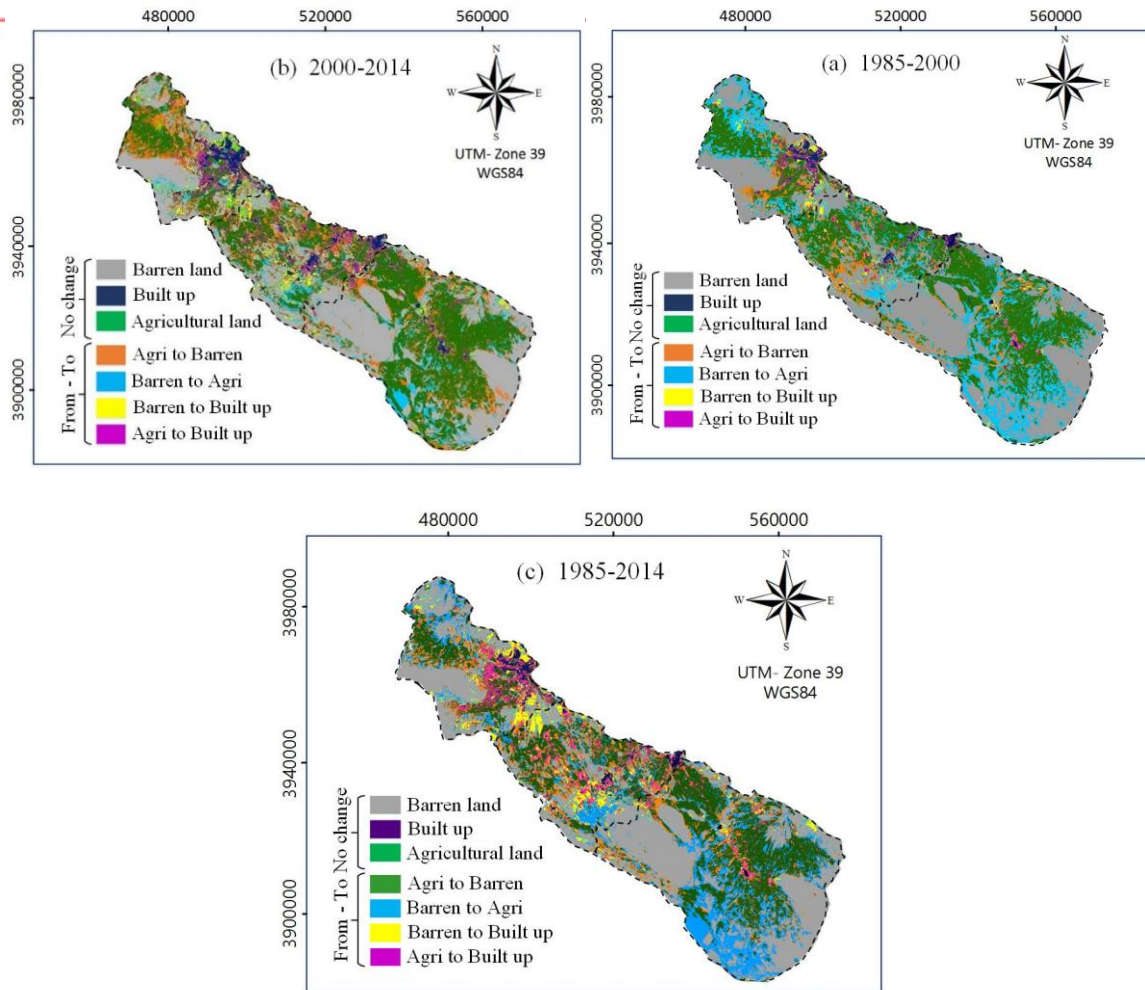
در شکل ۲ میزان و چگونگی تغییرپذیری در دو دوره زمانی مورد بررسی (۱۹۸۵-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۰۱۴) نشان داده شده است.

در زون C در مقایسه با دو زون مورد بررسی دیگر، افزایش چشمگیری در رابطه با کاربری شهری مشاهده نمی‌شود. از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۰۰، مشابه این روند رخ داده است. در زون‌های A و B، زمین‌های بایر کاهش یافته (۴۸۵ کیلومترمربع)، درحالی‌که کاربری کشاورزی افزایش یافته است (۴۱۹ کیلومترمربع). تغییر در مساحت کاربری کشاورزی و زمین‌های بایر از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۴، مانند زون‌های A و B بود. باین‌حال، مناطق کشاورزی در کل دوره مورد بررسی با افزایشی ۳۷ درصدی روبه‌رو شده است. این افزایش ممکن است به دلیل استفاده از پساب

جدول ۵ - میزان تغییرپذیری‌های خالص هر کاربری/پوشش سرزمین بین سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰، ۲۰۱۴

Table 5. Land use/cover net change between 1985, 2000 and 2014

مساحت % Area%			
1985-2014	2000-2014	1985-2000	
زون A			
64.9	78	53.2	Barren To Barren - بایر به بایر
22.1	12.3	37.6	Barren To Agriculture - بایر به کشاورزی
13	9.7	9.2	Barren To Built- Up - بایر به شهر
58.1	57	61.4	Agriculture To Agriculture - کشاورزی به کشاورزی
22.2	11.3	18.5	Agriculture To Built- Up - کشاورزی به شهر
19.7	31.7	20.1	Agriculture To Barren - کشاورزی به بایر
زون B			
53.1	61	61.2	Barren To Barren - بایر به بایر
19.6	19.3	30.7	Barren To Agriculture - بایر به کشاورزی
27.3	19.7	7.1	Barren To Built- Up - بایر به شهر
60.1	67.2	80.1	Agriculture To Agriculture - کشاورزی به کشاورزی
24.7	15.5	5.1	Agriculture To Built- Up - کشاورزی به شهر
15.2	17.3	14.8	Agriculture To Barren - کشاورزی به بایر
زون C			
69	80.7	60.9	Barren To Barren - بایر به بایر
30.5	16.7	32.7	Barren To Agriculture - بایر به کشاورزی
1.5	2.6	6.4	Barren To Built- Up - بایر به شهر
72.9	77.3	81.3	Agriculture To Agriculture - کشاورزی به کشاورزی
10	4	5.4	Agriculture To Built- Up - کشاورزی به شهر
16.1	18.7	13.3	Agriculture To Barren - کشاورزی به بایر



شکل ۲- تغییر پذیری بین کاربری های سرزمین: الف) دوره زمانی اول (۱۹۸۵-۲۰۰۰)،

ب) دوره زمانی دوم (۲۰۰۰-۲۰۱۴)، پ) کل دوره مورد بررسی (۱۹۸۵-۲۰۱۴)

Fig. 2- Transition between land cover classes from (a) 1985 to 2000, (b) 2000 to 2014 and (c) 1985 to 2014

کشاورزی به زمین های بایر و شهری شده است (Saemian, 2013; Jahani and Reyhani., 2006).

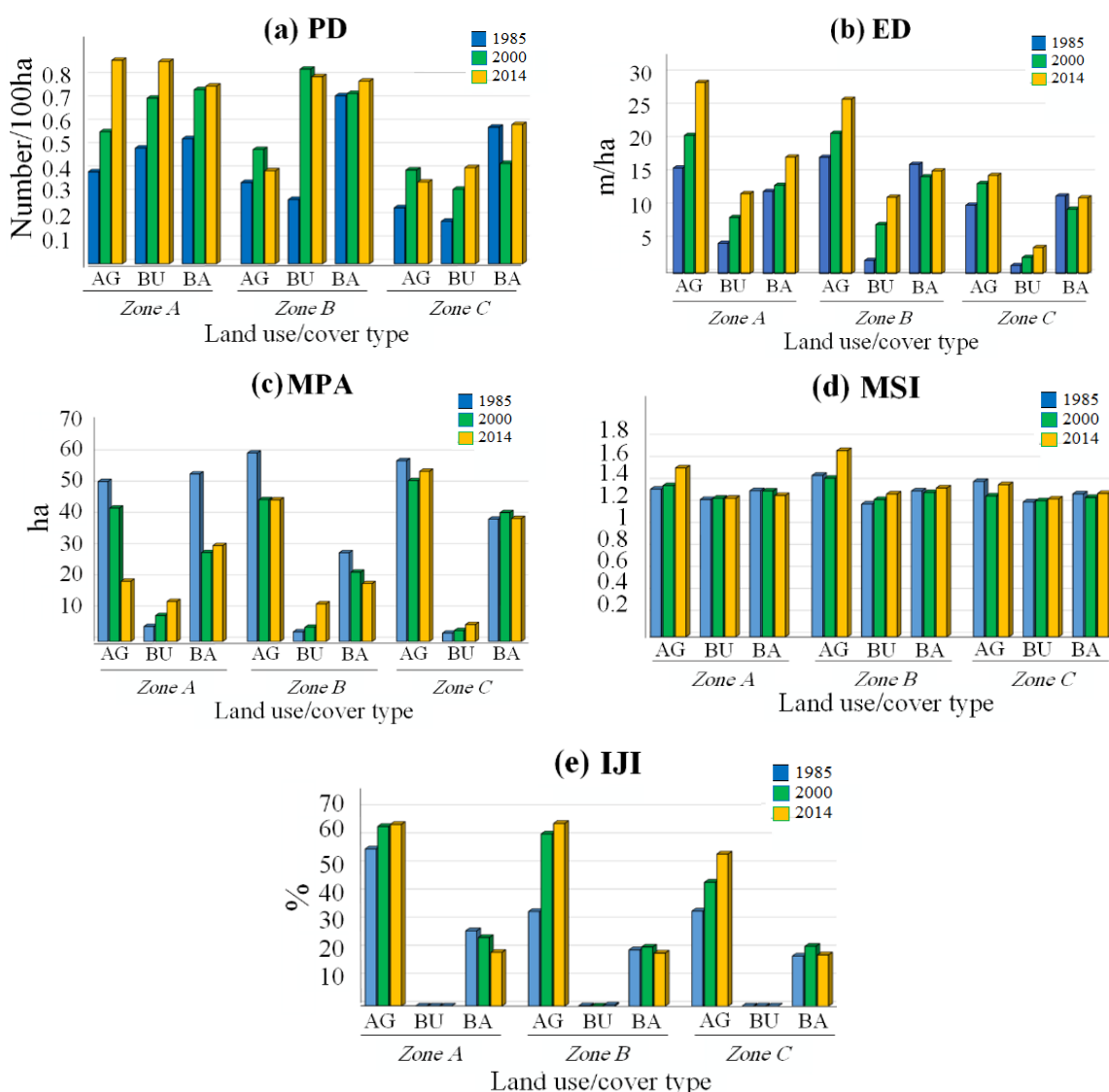
نتایج تجزیه و تحلیل متریک های سیمای سرزمین

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل متریک های سیمای سرزمین در شکل ۳ (الف- ث) آورده شده است. در زون A، تراکم لکه ها (PD) برای همه کاربری ها و پوشش سرزمین در طول دوره مورد بررسی ۱۹۸۵-۲۰۱۴ افزایش یافته است (شکل ۳ الف). زمین های کشاورزی افزایش شدیدتری را بین سال های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ از نظر PD (از

به طور کلی، در همه ی منطقه ها به ویژه در حومه شهر تهران، جمعیت افزایش یافته است، بنابراین، بسیاری از منطقه های روستایی به شهر تبدیل شده اند. از سوی دیگر، به هم پیوستن روستاهای همجوار سبب به وجود آمدن شهرهای کوچک با نرخ رشد بالا، در طول سال های ۱۹۸۵-۲۰۱۴ شده است. از این رو پاسخگویی به نیازهای شهری در حال رشد، مانند تأمین آب آشامیدنی، سهم آب برای کاربری کشاورزی در بیشتر منطقه های حومه شهر تهران به طور شایانی محدود شده است. در نتیجه، طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۴ در هر سه منطقه، کمبود آب و مسائل اقتصادی، تشدید شده که منجر به تبدیل زمین های

تکه‌تکه‌شدگی، به‌طور قابل‌توجهی در زون A رخ داده است. در زون B، PD زمین‌های کشاورزی و کاربری شهری تغییرپذیری‌های متفاوتی را نسبت به منطقه A در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ (شکل ۳ الف) نشان می‌دهد. برای این دو کاربری، پس از افزایش PD در طی دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰، این مؤلفه در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ با کاهش روبه‌رو شده است. نکته بارز این است که، در تکه‌های ایزوله شده از کاربری‌های شهری و زمین‌های کشاورزی (شکل ۳ الف)، PD افزایش یافته است.

۰/۳۹ (تعداد در ۱۰۰ هکتار) در سال ۱۹۸۵ به ۰/۸۷ در سال ۲۰۱۴ (شکل ۳ الف) نسبت به سایر کاربری‌ها نشان می‌دهد. نتایج برای (ED) مشابه با PD بودند به‌گونه‌ای که برای تمام کاربری/پوشش‌ها در دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ روند افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۳ ب). از سوی دیگر، نتایج به‌دست آمده از سنجش MPA در کاربری کشاورزی بیان می‌کند که این مقدار از ۵۰/۵۷ هکتار به ۱۹/۲۷ هکتار در سال ۲۰۱۴ تغییر یافته است (شکل ۳ پ). افزایش PD و ED و کاهش MPA، از سال ۱۹۸۵ نشان می‌دهد که



شکل ۳ - متریک‌های سیمای سرزمین - الف) PD، ب) ED، پ) MPA، ت) MSI، ث) IJI

Fig. 3- Landscape metrics. A: PD, patch density. B: ED, edge density. C: MPA, mean patch area. D: MSI, mean shape index. E: IJI, interspersion and juxtaposition index

در زون C، PD و MPA زمین‌های کشاورزی و بایر روند وارونه‌ای را بین سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-

تغییرپذیری‌های روند غلظت ذرات معلق و CO در هوای شهر تهران

در این بخش روند تغییرپذیری ذرات معلق (PM₁₀) و مونواکسید کربن (CO) بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ بررسی شد و نتایج آن در جداول ۶ و ۷ و شکل ۴، (الف و ب) نشان داده شده است.

جدول ۶- میانگین غلظت سالانه ذرات معلق (PM₁₀) و

مونواکسید کربن (CO) بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴

Table 6. The annual average concentration of particulate matter (PM₁₀) and carbon monoxide (CO) between 2000 and 2014

سال Year	مونواکسید کربن (CO)	ذرات معلق (PM ₁₀)
2000	10.3	39.25
2001	8.11	47.7
2002	9.3	38.16
2003	6.48	78.33
2004	6.15	92.51
2005	6.23	64.61
2006	7.13	65.54
2007	5.55	55.54
2008	4.41	98.26
2009	6.12	75.64
2010	6.2	91.45
2011	4.11	102.69
2012	2.28	69.74
2013	4.11	79.02
2014	4.07	88.61

در جدول ۷ نتایج آزمون من-کندال (Z) برای مقادیر سالیانه آورده شده است.

جدول ۷- مقادیر سالیانه آماره آزمون‌های من-کندال (Z) برای PM₁₀ و CO

Table 7. Annual Mann-Kendall results for PM₁₀ and CO

سطح معنی‌داری Significant level	آزمون Z Test Z	N	دوره زمانی Time period	آلاینده Pollutant
**	-3.17	15	2000-2014	CO
*	2.01	15	2000-2014	PM ₁₀

*: معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد **: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد.

با توجه به جدول ۷، مشاهده می‌شود که روند تغییر در غلظت PM₁₀ طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ در سطح

۲۰۱۴ نشان می‌دهد (شکل ۳ الف و پ). این موضوع می‌تواند به دلیل استفاده از پساب فاضلاب برای آبیاری و توسعه کمتر شهری پس از سال ۲۰۰۰ باشد (Saemian, 2013). ED زمین‌های کشاورزی در بین ۱۹۸۵-۲۰۱۴ افزایش و ED زمین‌های بایر در بین سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۸۵ کاهش و از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ افزایش یافته است. ED، PD و MPA کاربری شهری روند افزایشی را بین سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۴ داشته است که نشان می‌دهد این روند بین سه منطقه نزدیک به مشابه بوده است.

(MSI) برای همه کاربری‌ها در تمام منطقه‌ها بیشتر از ۱ بوده که نشان می‌دهد به‌طور متوسط شکل لکه‌ها در تمام مجموعه‌ها نامنظم بوده است (شکل ۳ ت). ارزش بالای MSI برای زمین‌های کشاورزی در همه‌ی منطقه‌ها دیده شده که نشان می‌دهد زمین‌های کشاورزی دچار تکه‌تکه شدن شدگی بالا در همه‌ی منطقه‌ها و در طول دوره، ارزیابی شده‌اند. در نهایت، شاخص پراکنده و مجاورت (IJI) الگوهای یکسانی را برای همه کاربری‌ها نشان می‌دهد. طیف میزان IJI در همه منطقه‌ها، از نزدیک به صفر تا ۶۵ درصد را نشان می‌دهد. در همه‌ی آن‌ها ارزش IJI برای زمین‌های کشاورزی به دست آمده بیش از ۳۰ بود. که این موضوع نیز تأکید می‌کند که زمین‌های کشاورزی بسیار پراکنده هستند (شکل ۳ ث). افزایش مساحت کاربری شهری و در نتیجه کاهش منطقه‌های طبیعی و مصنوعی (به‌عنوان مثال، کشاورزی) با نرخ فعالیت‌های انسانی در ارتباط است. با توجه به نتایج به دست آمده، رشد منطقه‌های شهری و افزایش لکه‌ها، در همه‌ی منطقه‌ها رخ داده و تهدیدی برای استفاده از زمین‌های واقع در همسایگی آن‌ها است؛ بنابراین، انتظار تغییر بیشتر سرزمین می‌رود. در نتیجه این دگرگونی‌ها، زمین‌های بایر و رها شده مستعد، ایجاد تاثیرهای منفی مانند فرسایش بادی خواهد بود که کیفیت هوا به‌ویژه در شهرهای تهران و کرج را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

ترافیکی و زوج و فرد کردن خودروها، معاینه فنی آن‌ها، جایگزینی خودروهای فرسوده و گسترش شبکه حمل‌ونقلی مترو به میزان مناسبی توانسته است سبب کنترل و کاهش غلظت CO هوای شهر تهران گردد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که انتشار CO و PM₁₀ همزمان کاهش یابد. پس می‌توان دلیل روند افزایشی غلظت ذرات معلق را منشأ خارجی دانست که می‌توان به انتشار گردوغبار خارج از محدوده شهر اشاره کرد.

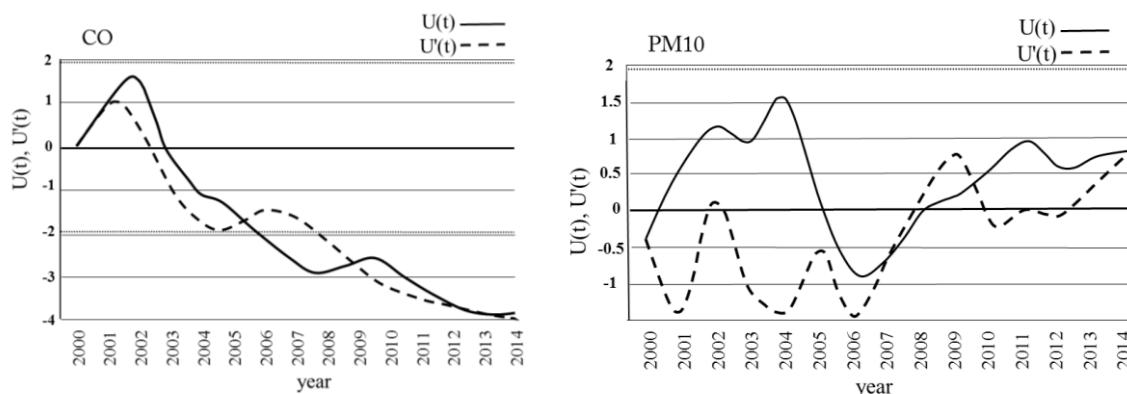
نتایج آزمون نموداری من کندال

شکل ۴ (الف) که نمودارهای U و U' مربوط به ذرات معلق را نشان می‌دهند، در داخل محدوده بحرانی $\pm 1/96$ همدیگر را در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ قطع کرده‌اند. این حالت، نشانگر آغاز یک تغییر ناگهانی در داده‌های PM₁₀ است. به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۷ ذرات معلق روند افزایشی پیدا کرده این روند تا سال ۲۰۱۴ ادامه داشته است.

چنانچه در شکل ۴ (ب) مشاهده می‌شود در سال ۲۰۰۵ دو نمودار U و U' همدیگر را در محدوده اطمینان قطع کرده‌اند که نشانگر یک تغییر در روند تغییرپذیری غلظت CO می‌باشد که روند نزولی آن تا سال ۲۰۱۴ نیز ادامه دارد.

۹۵ درصد معنی‌دار است. نتیجه تحلیل من کندال (Z) برابر ۲/۰۱ است که نشانگر روند مثبت در میزان ذرات معلق می‌باشد. اما نتایج مربوط به غلظت مونواکسید کربن نشان می‌دهد که این متغیر روند کاهشی را در طی دوره مورد بررسی داشته است. به‌طوری‌که سطح معنی‌داری را در سطح یک درصد نشان می‌دهد. همچنین نتایج بیان می‌کند که بیشترین میزان کاهش در این متغیر در فصول بهار و تابستان و کمترین نرخ کاهش در فصول سرد سال یعنی پاییز و زمستان رخ داده است. از عمده‌ترین دلایل معنی‌دار نبودن روند در فصول سرد سال می‌توان به استفاده از وسایل گرمایشی که از عوامل تولید مونواکسیدکربن هستند، اشاره کرد. همچنین احتمال وجود پدیده وارونگی هوا در فصول سرد سال می‌تواند باعث تجمع این آلاینده در فصول سرد سال باشد. نتایج این بخش از تحقیق، بررسی‌های صورت گرفته توسط شرعی پور و بیدختی و همچنین نتایج تحقیق منصورى را تایید می‌کند (Mansouri *et al.*, 2011; Shariepour (and Aliakbari Bidokhti., 2011).

با توجه به روند کاهشی مشاهده شده در غلظت مونواکسیدکربن در هوای شهر تهران طی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۴ (جدول ۷) به نظر می‌رسد، به‌کاربردن سیاست‌هایی از قبیل گازسوز کردن خودروها، طرح‌های



شکل ۴ - نتایج آنالیز من کندال ترتیبی الف) PM10 ب) CO
Fig. 4- Sequential Mann-Kendall results a) PM10, b) CO

وزش باد در غلظت ذرات معلق، با توجه به شکل ۵، متوسط سرعت باد فصلی و درصد باد آرام انشان داده شده است. گل باد فصلی در منطقه نشان می‌دهد که به جز در تابستان، باد غالب از سمت غرب می‌وزد؛ اما در تابستان باد غالب، باد جنوبی و جنوب شرقی است. با توجه به اینکه بادهای غالب ایستگاه مهرآباد تهران، غربی هستند، می‌تواند مؤید این نکته باشد که این بادهای توانایی حمل گردوغبارهای حاصل به‌دست آمده از تغییرپذیری‌های کاربری سرزمین حاشیه شهر تهران را با خود به داخل شهر را دارا هستند.

پژوهش‌های زیادی در رابطه با تأثیر پوشش گیاهی بر میزان انتشار گردوغبار صورت گرفته که می‌توانند نتایج این بخش از پژوهش را تایید نمایند. از جمله این تحقیقات می‌توان به (Engelstaedter *et al.*, 2003) و (Zou and Zhai, 2004) اشاره کرد.

با توجه به اینکه در سال ۲۰۰۷، نقطه تغییر در روند ذرات معلق دیده شد، از این رو نمودارهای فصلی DRS و CPF ادو دوره مورد بررسی (۲۰۰۷-۲۰۰۰ و ۲۰۱۴-۲۰۰۷) نیز، به طور جداگانه رسم شدند. شکل ۶ (الف) نمایانگر نمودار DRS در طول ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ و شکل ۶ (ب) نمایانگر نمودار DRS در طول دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ است.

در بین سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۰ جهت منبع‌های انتشار PM_{10} به جز فصل تابستان، بیشتر به سمت‌های جنوب، جنوب شرقی تا شمال غرب و غرب متمایل هستند. علاوه بر این موضوع، تشخیص جهتی مشخص در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ کمابیش مشکل است؛ اما نمودارهای مربوط به فصل تابستان نشان می‌دهد که نمودار DRS متمایل به دو جهت غرب و جنوب شرقی است. در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۷، ارزش نمودار DRS در جهت‌های خاص افزایش یافته که نشان‌دهنده منبع‌های انتشار ذرات معلق در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۷ بوده و اینکه در جهت‌های خاصی میزان انتشار PM_{10}

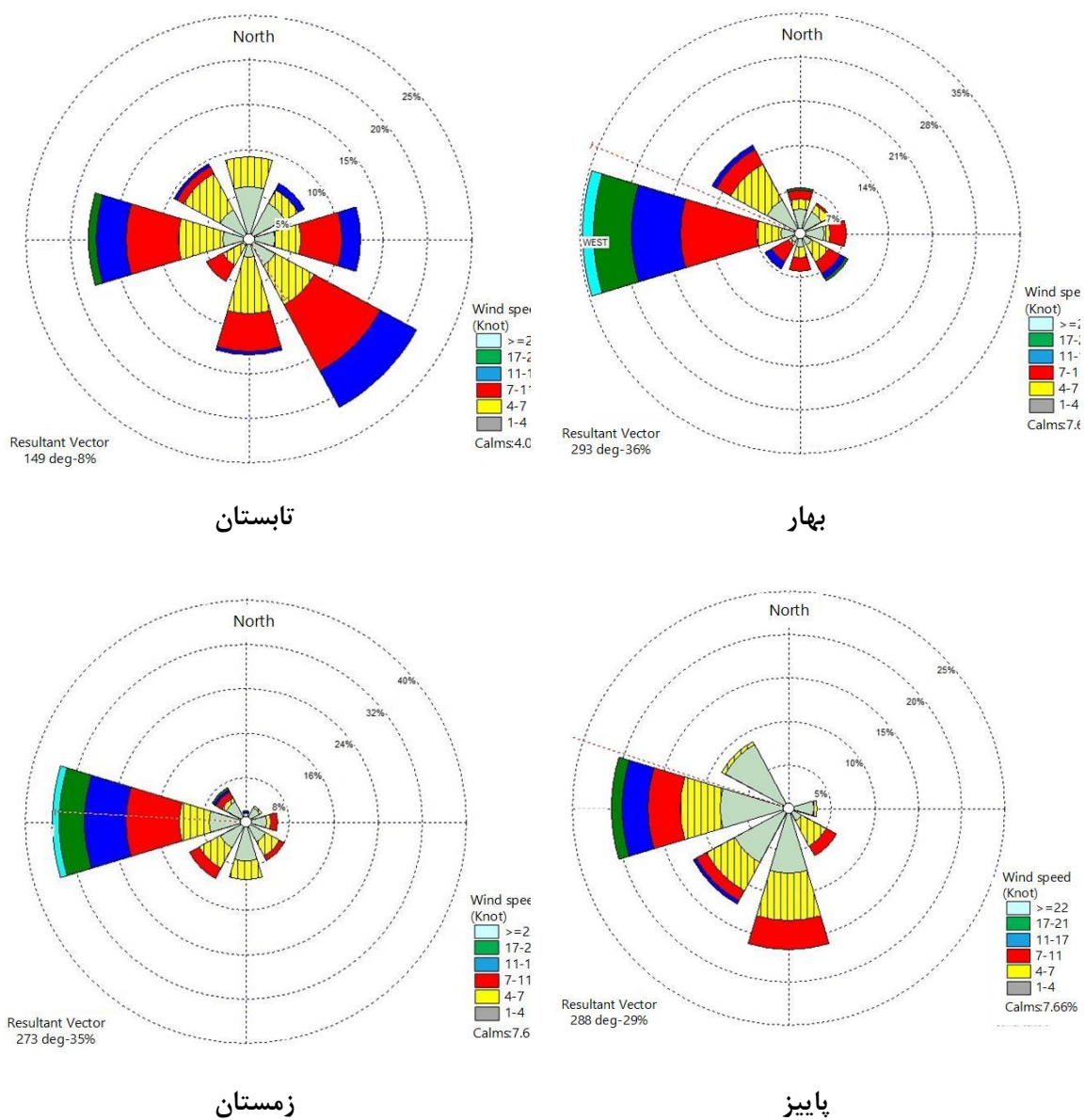
چنانچه ذکر شد در سال ۲۰۰۷ یک تغییر ناگهانی در داده‌های PM_{10} رخ داده و ذرات معلق روند افزایشی به خود گرفت. با توجه به این نکته، به منظور مقایسه روند تغییرپذیری‌های ذرات معلق قبل و بعد از سال ۲۰۰۷، از مقایسه روند این غلظت ذرات با غلظت CO استفاده شد. به‌گونه‌ای که فرض بر این شد که دوره‌های زمانی که PM_{10} و CO روند افزایشی و کاهشی همسانی داشته باشند، سرچشمه‌ی این دو آلاینده نیز مشابه و همسان در نظر گرفته شود و دوره‌های زمانی که روند این دو آلاینده به صورت وارونه نسبت به یکدیگر حرکت کنند (PM_{10} افزایشی و CO کاهشی) منشأ ذرات معلق، جدا از منبع انتشار CO خواهد بود. به همین منظور، دوره زمانی ۱۴ ساله مورد بررسی، به دو دوره قبل و بعد از سال ۲۰۰۷ تقسیم شد. در هر دوره، تعداد روزهایی که روند PM_{10} افزایشی و CO کاهش و یا ثابت بود جدا شدند. در مرحله بعد، در هر دوره، تعداد روزهایی که PM_{10} افزایشی و CO کاهشی و یا ثابت بود با تعداد روزهایی که روند هر دو آلاینده با یکدیگر همسان بود، با استفاده از آزمون مقایسه میانگین‌ها مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج این آزمون نشان داد که بین روزهایی که PM_{10} روند افزایشی و کاهشی مشابهی با CO داشت با روزهایی که روند آنها با یکدیگر همسان نبود اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۹٪ وجود دارد. همچنین این تحلیل اختلاف معنی‌دار بین همین روزها در بین دو دوره قبل و بعد از سال ۲۰۰۷ را نشان داد. این اختلاف نشان می‌دهد که افزایش رخداد‌های گردوغبار با منبع خارج از شهر، در افزایش مقدار غلظت ذرات معلق شهر تهران مؤثر بوده است. در ضمن بایستی به این موضوع اشاره شود که بین تغییر در کاربری و افزایش مقدار ذرات معلق یک دیرکرد زمانی وجود دارد.

تعیین منشأ جهتی ذرات معلق

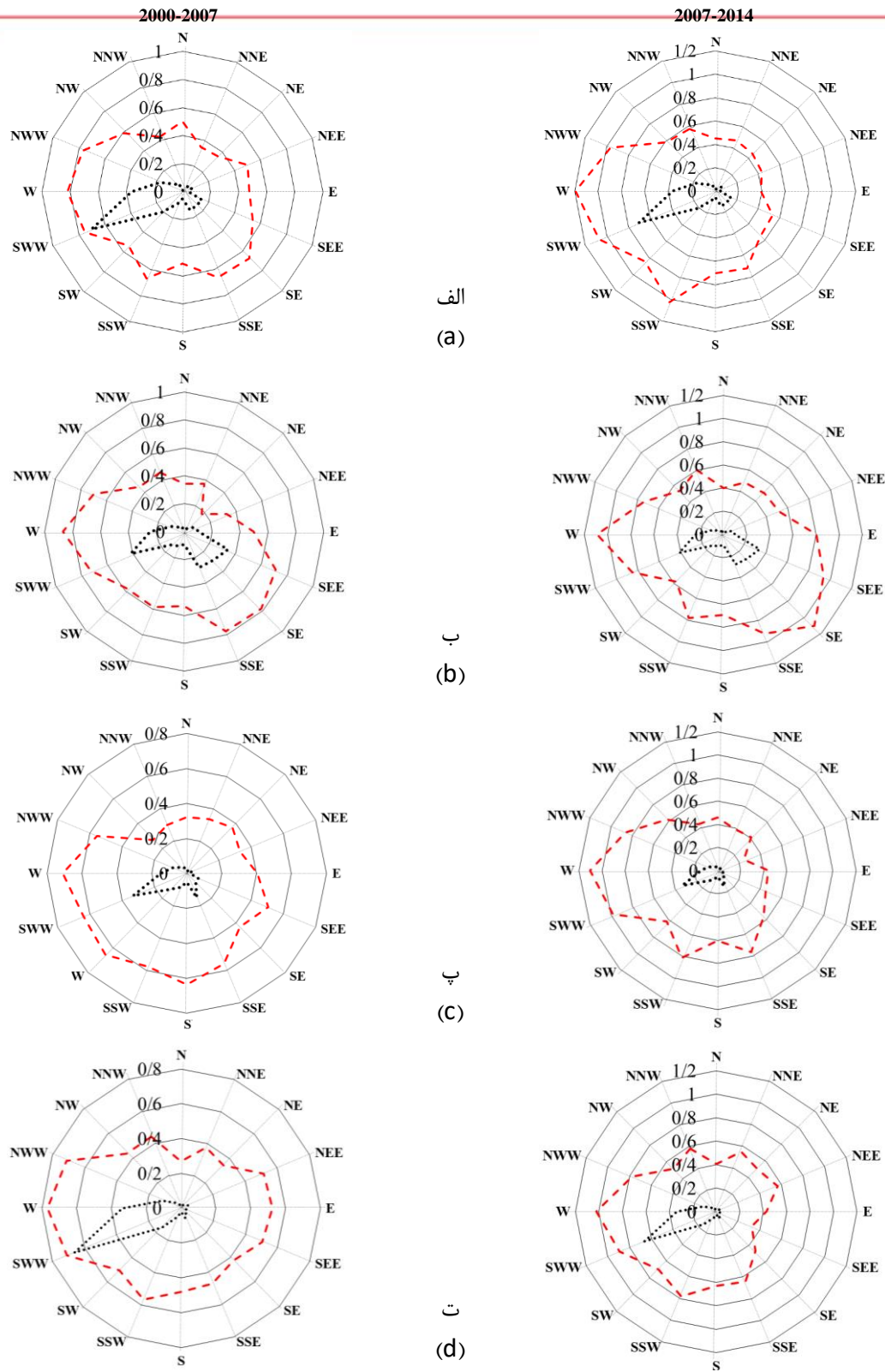
برای بهتر نشان دادن و همچنین بررسی تأثیر جهت

رهاشدگی زمین‌های قابل کشت و تبدیل آن‌ها به زمین-های بایر بوده که شاید از منابع‌های محتمل انتشار ذرات معلق باشد. از سوی دیگر، نتایج DRS نشان داد جهت شمال غربی تا شرق به دلیل نبود توسعه شهر تهران و فرکانس کم باد از این جهت در خلاف جهت بادهای غالب، باد تأثیر قابل توجهی بر میزان غلظت ذرات معلق ندارد.

افزایش یافته است. این مطلب نشان می‌دهد که در طول هفت سال دوم، شدت انتشار از منابع‌های خارج از شهر بیشتر در جهت غرب افزایش یافته است. منبع‌ها با شدیدترین تغییرپذیری‌ها در غرب وجود دارد که به احتمال زیاد به سبب گسترش سریع شهرهای اقماری اطراف شهر تهران در محدوده جنوب تا غرب است. این امر می‌تواند نتیجه تغییرپذیری کاربری سرزمین و



شکل ۵- گلبادهای فصلی ایستگاه مهرآباد
 Fig. 5- Seasonal wind-rose in Mehrabad station



CPF ----- DRS - - -

شکل ۶- نمودارهای فصلی CPF و DRS برای دوره های زمانی اول (۲۰۰۰-۲۰۰۷) و دوم (۲۰۰۷-۲۰۱۴)

(الف بهار ب تابستان، پ پاییز، ت زمستان)

Fig. 6- Seasonal DRS and CPF charts from 2000 to 2007 and 2007 to 2014. a) spring, b) summer, c) fall, d) winter

نتیجه گیری

۲۰۰۷ دارای یک جهش بوده که پس از آن غلظت ذرات معلق به صورت معنی داری در حال افزایش است. به همین دلیل غلظت ذرات معلق قبل از سال ۲۰۰۷ و بعد از آن با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که بین غلظت ذرات معلق قبل و بعد از سال ۲۰۰۷ اختلاف معنی داری وجود دارد. همچنین با توجه به نمودارهای DRS و CPF مشخص شد که نمودار DRS بین سالهای ۲۰۰۰-۲۰۰۷ جهت خاصی را از نظر انتقال ذرات معلق نشان نمی دهد در حالی که برای ۲۰۱۴-۲۰۰۷، ارزش نمودار DRS در جهت های خاصی افزایش یافته است که نشان دهنده این موضوع است که منبع های انتشار برای سال های ۲۰۱۴-۲۰۰۷، در جهت های خاصی افزایش میزان PM_{10} را تجربه کرده است. این مطلب نشانی-دهد که در طول سال های ۲۰۱۴-۲۰۰۷، شدت انتشار از منبع های خارج از شهر بیشتر در جهت غرب افزایش یافته است. با توجه به اینکه جهت غالب باد از سمت غرب و جنوب غرب است و چنانچه بیان شد بیشترین میزان تغییر پذیری کاربری سرزمین نیز در این قسمت از منطقه مورد تحقیق رخ داده است، می توان چنین نتیجه گیری کرد که تغییر پذیری کاربری سرزمین یکی از محتمل ترین دلایل افزایش ذرات معلق در هوای کلان شهر تهران است.

پی نوشت ها

- 1 CPF: Conditional Probability Function
- 2 DRS: Directional Relative Strength
- 3 PM: Particulate matter
- 4 WMO: World Meteorological Organization
- 5 DOS: Dark Object Subtraction
- 6 OIF: Optimum Index Factor
- 7 Sequential Mann-Kendall
- 8 SQ-MK

هدف اصلی این تحقیق بررسی نقش تغییر پذیری های کاربری کشاورزی جنوب تهران به روی ریزگردهای این شهر بود. نتایج به دست آمده نشان داد که تصویرهای ماهواره ای و علم سنجش از دور ابزار بسیار مناسبی برای پایش و تحلیل تغییر پذیری کاربری ها و پوشش سطح زمین به شمار می آید. همچنین گویای این بود که دوره ۳۰ ساله مورد بررسی (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴) را می توان به دو دوره تقسیم بندی نمود: دوره اول (۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰) که در این دوره کاربری های کشاورزی و شهری با افزایش مساحت روبه رو بوده است. در حالی که مساحت زمین های بایر کاهش داشته است. در دوره دوم (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴) روند تغییر پذیری کاربری شهری همچنان افزایشی بود در حالی که کاربری کشاورزی و بایر روندی وارونه نسبت به دوره اول داشتند. به گونه ای که کاربری کشاورزی در مساحت خود کاهش و زمین های بایر افزایش داشته اند. همچنین نتایج تحلیل متریک های سرزمین نیز نشان داد که رشد منطقه های شهری و افزایش لکه ها در همه منطقه ها رخ داده است. در زون A، PD و ED برای همه کاربری ها و پوشش سرزمین در طول دوره مورد مطالعه ۲۰۱۴-۱۹۸۵ افزایش یافته و MPA کاهش داشته است که می تواند نشان دهنده افزایش تکه تکه شدگی باشد. با توجه به اینکه یکی از مهم ترین آثار تغییر و تبدیل کاربری زمین ها، تغییر در کیفیت هوا می باشد، پارامترهای کیفیت هوا نیز مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تحلیل روند پارامترهای کیفیت هوا (PM_{10} و CO) در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ نشان داد که روند تغییر در غلظت مونوکسید کربن و PM_{10} به ترتیب به صورت کاهشی و افزایشی بوده است. از جمله دلایل روند کاهشی CO می توان به گازسوز کردن خودروها و سیاست های اجرایی جهت کاهش این آلاینده اشاره نمود. با توجه به روند غلظت ذرات معلق، مشاهده شد که این روند در سال

- Anderson, J., Hardy, E., Roach, J. and Witmer, R., 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Professional Papers-US Geological Survey (USA). 964, 1-41.
- Bahiraei, H., Ayazi, S. M.H., Rajaei M.A. and Ahmadi, H., 2012. SYNOPTIC analysis of dust storm in Ahwaz city, IRAN. *Journal of Human Geography*. 4(1), 47-67.
- Chan, Y.C., Hawas, O., Hawker, D., Vowles, P., Cohen, D.D., Stelcer, E., Simpson, R., Golding, G. and Christensen, E., 2011. Using multiple type composition data and wind data in PMF analysis to apportion and locate sources of air pollutants. *Atmospheric Environment*. 45(2), 439-449.
- Chouvardas, D. and Vrahnakis, M., 2009. A semi-empirical model for the near future evolution of the Lake Koronia landscape. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 10, 867-886.
- Engelstaedter, S., Kohfeld, K., Tegen, I. and Harrison, S., 2003. Controls of dust emissions by vegetation and topographic depressions: an evaluation using dust storm frequency data. *Geophysical Research Letters*. 30(6), 123-131
- Elkhrachy, I. 2015. Land use change detection using satellite images for Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). *The World Cadastre Summit, Istanbul Turkey*.
- Gilmore, S., Saleem, A. and Dewan, A., 2015. Effectiveness of DOS (dark-object subtraction) method and water index techniques to map wetlands in a rapidly urbanizing megacity with Landsat 8 data. *Conference Research@ Locate'15, Brisbane, Australia*.
- Givehchi, R., Arhami, M. and Tajrishy, M., 2013. Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM₁₀ levels in urban receptors: case study of Tehran, Iran. *Atmospheric Environment*. 75, 287-295.
- Goudie, A. and Middleton, N.J., 2006. *Desert dust in the global system: Springer Science and Business Media*. 287.
- Goudie, A., 2009. Dust storms: recent developments. *Journal of Environmental Management*. 90(1), 89-94.
- Halek, F., Kianpour-Rad, M. and Kavousirahim, A., 2010. Seasonal variation in ambient PM mass and number concentrations (case study: Tehran, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*. 169, 501-507.
- Jahani, H.R. and Reyhani, M., 2006. Role of groundwater in Tehran water crisis mitigation. *International workshop on groundwater for emergency situations. Tehran: regional center on urban water management/UNESCO-IHP*.
- Jalali, M., Bahrami, H. and Darvishi bolurani, A., 2012. Investigation of the relationship between climatic and terrestrial factors with the occurrence of dust storms using MODIS satellite images (Case study: Khuzestan province). *The first national desert conrerance. Tehran, Center for International Research of the University of Tehran*.
- Johnson, B., 2015. Remote sensing image fusion at the segment level using a spatially-weighted approach: applications for land cover spectral analysis and mapping. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 4(1), 172-184.
- Khan, M.F., Hirano, K. and Masunaga, S., 2010. Quantifying the sources of hazardous elements of suspended particulate matter aerosol collected in Yokohama, Japan. *Atmospheric Environment*. 44,

2646–2657.

Kendall, M.G., 1975. Rank correlation methods, Charles Griffin, London.

Kim, N.K., Kim, Y.P. and Kang, C.H., 2011. Long-term Trend of aerosol composition and direct radiative forcing due to aerosols over Gosan: TSP, PM10, and PM2.5 Data between 1992 and 2008. *Atmospheric Environment*.45, 6107–6115.

Lau, A.K.H., Yuan, Z., Yu, J.Z. and Louie, P.K., 2010. Source apportionment of ambient volatile organic compounds in Hong Kong. *Science of the Total Environment*. 408(19), 4138-4149.

Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica*. 13, 245-259.

Mansouri, B., Hoshyari, E. and Mansouri, A., 2011. Study on ambient concentrations of air quality parameters (O₃, SO₂, CO and PM₁₀) in different months in Shiraz city, Iran. *International Journal of Environmental Sciences*. 1(7), 1439-1447.

Matsushita, B., Xu, M. and Fukushima, T., 2006. Characterizing changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset. *Journal of Landscape and Urban Planning*. 78(3), 241-250.

Mitchell, M.G., Suarez-Castro, A.F., Martinez-Harms, M., Maron, M., McAlpine, C., Gaston, K.J., Johansen, K. and Rhodes, J.R., 2015. Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services. *Trends in Ecology and Evolution*. 30(4), 190–198.

Moeinaddini, M., Sari, A.E., Chan, A.Y.C., Taghavi, S.M., Hawker, D. and Connell, D., 2014. Source apportionment of PAHs and n-alkanes in respirable particles in Tehran, Iran by wind sector and vertical profile. *Environmental Science and Pollution Research*. 21(12), 7757-7772.

Pantavou, K., Lykoudis, S. and Psiloglou, B., 2017. Air quality perception of pedestrians in an urban outdoor Mediterranean environment: A field survey approach. *Science of the Total Environment*. 574, 663-670.

Rajabzadeh, F., 2016. Land use change in southwest of tehran using remote sensing and markov chain. *Protection of water and soil resources*. 6(2), 59-71.(in persian with English abstract).

Saeifar, M.H. and Mohammadnia, M., 2015. Land use/land cover change detection in Tehran city using Landsat satellite images. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*. 5(12), 199-207.

Saemian, S., 2013. Adaptation strategies to impacts of climate change and variability on Tehran water supply in 2021: an application of a decision support system (DSS) to compare adaptation strategies. Uppsala Universitet.

Safavi, S.R. and Alijani, B., 2007. Study geographical factors in Tehran air pollution. *Research in Geography*. 58, 99-112.

Schindler, S., Poirazidis, K. and Wrбка, T., 2008. Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: case study from Dardia National Park, Greece. *Ecological Indicators*. 8, 502–514.

Shariepour, Z. and Aliakbari Bidokhti, A., 2011. Investigation of spatial distribution of air pollutants in Tehran during the cold months of 2013-2011. *Environmental Science and Technology*.16 (1),149-166.

Superczynski, S.D. and Christopher, S.A., 2011. Exploring land use and land cover effects on air quality in Central Alabama using GIS and remote sensing. *Remote Sensing*. 3(12), 2552-2567.

Waked, A., Favez, O., Alleman, L.Y., Piot, C., Petit,

J.E., Delaunay, T. and Leoz-Garziandia, E., 2014. Source apportionment of PM₁₀ in a north-western Europe regional urban background site (Lens, France) using positive matrix factorization and including primary biogenic emissions. Atmospheric Chemistry and Physics. 14(7), 3325-3346.

World health organization (WHO), 2016. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.

Yu, L. and Gong, P., 2012. Google Earth as a virtual globe tool for earth science applications at the global scale: progress and perspectives. International Journal of Remote Sensing. 12(33), 3966-3986.

Zare, A.H., Bayat, V.M. and Maroufi, S., 2012. Investigating Water Table Depth Fluctuations in the Malayer Plain. Soil and water science, 22(2), 102-112

Zou, X.K. and Zhai, P.M., 2004. Relationship between vegetation coverage and spring dust storms over northern China. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 109(D3), 1-9





Environmental Sciences Vol.16 / No.3 / Autumn 2018

79-100

Effects of land use/cover changes on Tehran's air quality

Abutaleb Sabr, Mazaher Moeinaddini* and Hossein Azarnivand

Department of environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 2017.10.28

Accepted: 2018.10.09

Sabr, A., Moeinaddini, M. and Azarnivand, H., 2018. Effects of land use/cover changes on Tehran's air quality. *Environmental Sciences*. 16 (3), 79-98.

Introduction: In recent decades, air quality change and its risks are correlated with the expansion of urban and industrial areas and other land-use changes. One of the important effects of land use/cover changes (LUCC) is wind erosion and as a result, an increase in particulate matter (PM) concentration in residential areas. For this reason, the effects of LUCC on PM concentration in Tehran's airshed was studied.

Material and methods: Data on LUCC and landscape metrics were studied in the years 1985, 2000 and 2014. Then, the relationship between LUCC and PM concentration in Tehran was investigated by trend analysis methods. To find the most important wind directions with strong effects on Tehran's air quality, conditional probability function (CPF) and directional relative strength (DRS) were used.

Results and discussion: LUCC results showed that the area of agricultural land-use has been expanded from 1985 to 2000, yet decreased from 2000 to 2014. The trend was vice versa for barren lands during the mentioned time periods. In addition, the urban area has increased in the whole period. The landscape metric results showed that landscape patches became smaller and the landscape has been fragmented. The results of the PM₁₀ concentration trend analysis revealed that it has been increased dramatically since 2007. Comparison of the average concentration of PM₁₀ before and after 2007 showed a significant difference. The results of CPF and DRS illustrated that no specific wind direction was detected before 2007, but afterwards both increased in specific directions (south to west), which is compatible with most LUCC and fragmented areas in these directions.

Conclusion: Our results showed that specific wind directions may lead to an increase in the PM₁₀ concentration which is compatible with LUCC directions. Therefore, LUCC could be a significant reason for the increase in PM₁₀ concentration in Tehran.

Keywords: Remote sensing, Land/Use cover change (LUCC), Particulate matter (PM), Trends analysis, Tehran.

* Corresponding Author. *E-mail Address:* moeinaddini@ut.ac.ir

