

# بررسی مؤلفه‌های زمانی غلظت آلاینده‌ی منوکسیدکربن و پارامترهای هواشناسی در شهر تهران

مریم زارع شهنه\* (کارشناس ارشد)

محمد ارحامی (استادیار)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

آلاینده‌ی منوکسیدکربن (CO) به‌عنوان یکی از آلاینده‌های معیار، یکی از بحرانی‌ترین آلاینده‌ها به لحاظ شاخص سلامت هوا در تهران بوده است. در این پژوهش به بررسی بخش‌های زمانی آلاینده و نحوه‌ی ارتباط آن‌ها با پارامترهای هواشناسی توسط فیلتر KZ پرداخته شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد در طی سال‌های مورد بررسی، غلظت منوکسیدکربن با کاهش از مقدار ۱۱ ppm به ۵ ppm روندی کاهشی و پارامترهای دمای هوا، جهت، و شدت باد روندی افزایشی داشته‌اند. علاوه بر این، مؤلفه‌ی بلندمدت با سهمی حدود کمتر از ۱٪، کمترین سهم از تغییرات سری زمانی را شامل می‌شود و از طرفی بیشترین میزان وابستگی را در داده‌های مختلف دارد. بر این اساس، غلظت منوکسیدکربن با پارامترهای جهت باد و رطوبت نسبی بیشترین میزان همبستگی را دارد. با مشخص شدن این دو پارامتر، امکان بررسی روند تغییرات انتشار منوکسیدکربن فراهم می‌شود.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، منوکسیدکربن، پارامترهای هواشناسی، فیلتر KZ، مؤلفه‌های زمانی.

## ۱. مقدمه

آلودگی هوا یکی از مشکلات زیست‌محیطی و پراهمیت در دهه‌های اخیر در شهر تهران می‌باشد. با توجه به علت آثار منفی آلاینده‌های هوا برای سلامتی انسان‌ها و محیط زیست، لازم است این نوع آلودگی‌ها در شهر تهران کنترل شود. بنابراین یکی از اولین قدم‌ها در کنترل آلاینده‌های هوا و تدوین راهبردهای مؤثر، داشتن اطلاعات کافی در مورد وضعیت آلاینده‌های هوا، نوسانات و تغییرات غلظت آن‌هاست.<sup>[۱]</sup> علی‌رغم اهمیت این موضوع، متأسفانه مطالعات و شناخت کافی در زمینه‌ی آلودگی هوا در شهر تهران وجود ندارد. لذا لزوم مطالعه‌ی به جهت بررسی نحوه‌ی تغییرات و نوسانات غلظت آلاینده‌ها در شهر تهران ضروری به نظر می‌رسد. به علت وجود ارتباط بین پارامترهای هواشناسی و آلاینده‌های هوا، افزایش یا کاهش روند بلندمدت آلاینده‌ها به خوبی قابل تفسیر نیست. از طرفی جهت سنجش کارایی برنامه‌های مدیریتی و نیز پایش تغییرات ناشی از انتشار بهتر است اثرات هواشناسی از آلاینده‌ها حذف شود.<sup>[۱]</sup> برای این کار لازم است که دامنه‌ی نسبی مؤلفه‌های بسامدی را تغییر دهیم و یا برخی مؤلفه‌های بسامدی را به‌کلی حذف و به عبارتی، فیلتر کنیم.<sup>[۲،۳]</sup> فیلترهای بسامدگزی در یک یا چند باند بسامدی، سیگنال‌ها را بدون اعوجاج می‌گذرانند و در بقیه‌ی باندهای بسامدی، سیگنال‌ها را تضعیف و یا به‌طور کلی حذف می‌کنند.<sup>[۴]</sup>

\* نویسنده مسؤل

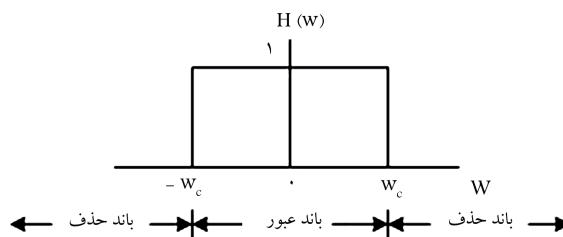
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۸، اصلاحیه: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰، پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۱۰.

فیلتر پایین‌گذر نوعی از انواع فیلترهای بسامدگزی است، که برای جدایی بخش‌های زمانی به‌کار می‌رود. این فیلتر بسامدهای بالا و به عبارتی زمان‌های کوتاه را از سری زمانی حذف می‌کند. شکل ۱، عملکرد این نوع فیلتر را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است محدوده‌ی بسامدی که فیلتر از خود عبور می‌دهد، باند عبور و محدوده‌ی بسامد حذف‌شده را باند حذف می‌نامند. بسامد  $\omega_c$ ، بسامد قطع یا جدایی نام دارد.<sup>[۵]</sup>

نخستین بار در سال ۱۹۹۴ روشی جهت حذف برخی بسامدها و در نتیجه تفکیک سری زمانی به چند بخش ابداع شد.<sup>[۱]</sup> این روش که بعدها فیلتر KZ نامیده شده است، سری زمانی را به دو مؤلفه‌ی کوتاه‌مدت و زمینه تقسیم می‌کند. این پژوهش برای دوره‌ی زمانی ۱۰ ساله‌ی داده‌های پیشینه‌ی روزانه‌ی غلظت آلاینده‌ی ازن و دما انجام شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که رابطه‌ی خطی و معنی‌دار بین غلظت روزانه‌ی ازن و دمای روزانه، با یک تأخیر زمانی وجود دارد.<sup>[۱]</sup>

فیلتر KZ، نوعی از فیلترهای پایین‌گذر ایده‌آل و مناسب برای داده‌های کیفی هوا می‌باشد. با توجه به اینکه در بیشتر داده‌های هواشناسی و آلودگی هوا، داده‌های ثبت‌نشده وجود دارد، این روش مرسوم و ساده با میانگین‌گیری متحرک از داده‌ها، برای سری‌های زمانی که برخی از اطلاعات آن‌ها ناقص است، به کار می‌رود.<sup>[۴-۲]</sup> به کمک این فیلتر، سری زمانی غلظت آلاینده و داده‌های هواشناسی به دو مؤلفه‌ی زمینه و کوتاه‌مدت، و مؤلفه‌ی زمینه نیز به دو مؤلفه‌ی بلندمدت و فصلی تقسیم می‌شود. بنابراین یک سری زمانی از جمع ۳ مؤلفه‌ی بلندمدت، کوتاه‌مدت و

ساعتی مونوکسیدکربن در ایستگاه فاطمی در فاصله‌ی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۸ بررسی شده است. جهت مطالعه‌ی اثرات هواشناسی روی غلظت مونوکسیدکربن نیز از اطلاعات ایستگاه مهرآباد، که نماینده‌ی مقادیر هواشناسی در شهر تهران است و نزدیک‌ترین داده نسبت به ایستگاه فاطمی را دارد، استفاده شده است. این تذکر لازم است که با توجه به اینکه در ایستگاه مذکور، داده‌های هواشناسی از سال ۱۹۹۴ جمع‌آوری شده است، بررسی مؤلفه‌های زمانی پارامترهای جوی مانند: دمای هوا، رطوبت نسبی، شدت، و جهت باد از سال ۱۹۹۴ الی ۲۰۰۸ صورت گرفته است. شناسایی پارامترهای مؤثر در غلظت یک آلاینده می‌تواند در ارزیابی موفقیت برنامه‌های زیست‌محیطی گذشته، اتخاذ تصمیمات مدیریتی، و راهبردهای مناسب جهت بهبود کیفی وضع هوای تهران کمک کند.



شکل ۱. پاسخ بسامدی فیلتر پایین‌گذر ایده‌آل.

فصلی مطابق رابطه‌ی ۱ تشکیل می‌شود:<sup>[۵]</sup>

$$A(t) = e(t) + S(t) + W(t) \quad (1)$$

در رابطه‌ی ۱،  $A(t)$  سری زمانی اصلی،  $e(t)$  مؤلفه‌ی روند بلندمدت،  $S(t)$  تغییرات فصلی، و  $W(t)$  مؤلفه‌ی کوتاه‌مدت است. برای پارامترهای آلودگی هوا غالباً مؤلفه‌ی کوتاه‌مدت به نوسانات کوتاه در انتشار آلاینده‌ها مانند تغییرات روزانه در ترافیک، مؤلفه‌ی فصلی به تغییرات فصلی و زاویه‌ی خورشید و مؤلفه‌ی بلندمدت به انتشار کلی آلاینده‌ها، انتقال آلودگی، آب و هوا، سیاست و اقتصاد وابسته است.<sup>[۵]</sup>

با بررسی و مقایسه بین روش‌های موجود برای تفکیک مؤلفه‌های زمانی یک سیگنال، شامل: روش فیلتر KZ، تبدیل موجک<sup>۲</sup>، خلاف قاعده<sup>۳</sup>، فیلتر بیضوی<sup>۴</sup> و تبدیل فوری به پنجره‌ی تطبیقی<sup>۵</sup> مشخص شد که دو روش فیلتر KZ و تبدیل موجک کارایی برابر و کمترین خطا را در این زمینه دارند. بررسی‌های بیشتر نیز نشان داده است که این روش، به علت کارا و قابل استفاده بودن در سری‌های زمانی با داده‌های ثبت نشده<sup>۶</sup>، جهت تفکیک اجزاء زمانی داده‌های کیفی هوا مناسب است.<sup>[۵-۲]</sup> از آن پس، فیلتر KZ به‌عنوان یک نوع فیلتر پایین‌گذر تکرارشونده با کارایی مناسب، جهت تفکیک سه مؤلفه‌ی کوتاه‌مدت، بلندمدت، و فصلی برای سیگنال آلاینده‌ها معرفی شده است.<sup>[۸-۵]</sup> با وجود برخی پژوهش‌های انجام‌شده، کماکان تحلیل طیفی و جداسازی مؤلفه‌ها با استفاده از فیلترها برای سری‌های زمانی، که داده‌های ثبت نشده‌ی قابل توجهی دارند، چالش‌های فراوان و مطالعات بیشتری نیاز دارند.<sup>[۸،۷]</sup>

علی‌رغم مشکلات موجود در زمینه‌ی آلودگی هوا در تهران، اطلاعات کافی در مورد روند تغییرات مؤلفه‌ها و اثر پارامترها در آلاینده‌ها وجود ندارد. در این پژوهش، با توجه به شرایط نامناسب سطح آلاینده‌ی مونوکسیدکربن از نظر شاخص‌های سلامت هوا، خصوصاً در فاصله‌ی سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۸، روند تغییرات این آلاینده، مؤلفه‌های آن و اثر پارامترهای هواشناسی در آن در یکی از ایستگاه‌های شهر تهران بررسی شده است.

آلاینده‌ی مونوکسیدکربن یک آلاینده‌ی اولیه است و به طور عمده به همان صورتی که از منابع خود تولید شده است، در اتمسفر وجود دارد. این آلاینده عمدتاً در ساعات مختلف روز، از منابع مختلفی همچون وسائط نقلیه، صنایع گوناگون و وسایل گرمایشی تولید می‌شود. البته این آلاینده می‌تواند در اثر فرایندهای طبیعی در جو به دی‌اکسیدکربن و ازن تبدیل شود و پس از واکنش با رادیکال هیدروکسیل و به کمک سایر آلاینده‌ها مانند دی‌اکسیدنیترژن در تولید مه دود فتوشیمیایی و ازن نقش داشته باشد. هرچند به علت عمر طولانی و فعالیت کمی که این آلاینده در جو دارد، اثر سینتیک واکنش آن در مقایسه با سایر پارامترها قابل صرف‌نظر کردن است.<sup>[۹،۱۰]</sup> با توجه به اینکه یکی از منابع عمده‌ی آلاینده‌ی مونوکسیدکربن در شهر تهران، وسائط نقلیه است، غلظت این آلاینده در طول ساعات روز برحسب تردد وسائط نقلیه و شرایط آب و هوایی مانند دمای هوا تغییر می‌کند. بنابراین جهت بررسی این آلاینده لازم است غلظت ساعتی آن مورد مطالعه واقع شود. در این پژوهش غلظت

## ۲. مواد و روش

با پیاده‌سازی فیلتر KZ روی داده‌های غلظت و پارامترهای هواشناسی، بسامدهای پایین در اثر تکرارهای متوالی در یک حرکت متوسط از فیلتر عبور کرده و حذف شده‌اند. میانگین متحرک برای این سری‌های زمانی مطابق رابطه‌ی ۲ تعریف و محاسبه می‌شود:<sup>[۱۱]</sup>

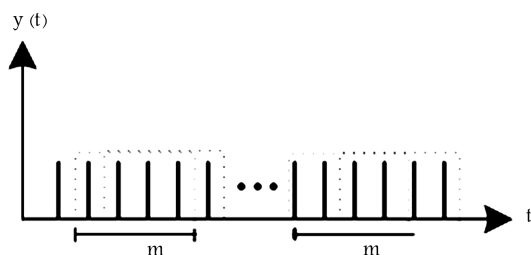
$$Y_i = \frac{1}{m} \sum_{j=-k}^k A_{i+j} \quad (2)$$

که در آن،  $k$  تعداد مقادیر در هر طرف از مقدار هدف،  $m$  طول پنجره ( $m = 2k + 1$ ) و  $A$  سری زمانی ورودی است. اولین خروجی فیلتر، به‌عنوان سری زمانی ورودی مرحله‌ی بعد محسوب می‌شود و این عمل با تعداد تکرار  $p$  اتفاق می‌افتد. با تغییر مقادیر مختلف  $m$  و  $p$ ، که دو پارامتر اساسی در طراحی این فیلتر هستند، مؤلفه‌های زمانی مختلف از سری زمانی اصلی به دست می‌آیند. شکل ۲، عملکرد این فیلتر را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، فیلتر مدنظر با میانگین‌گیری از داده‌های قرارگرفته در هر پنجره، نوسانات را هموار می‌کند و با تکرار این عمل، دقت مدنظر حاصل می‌شود.

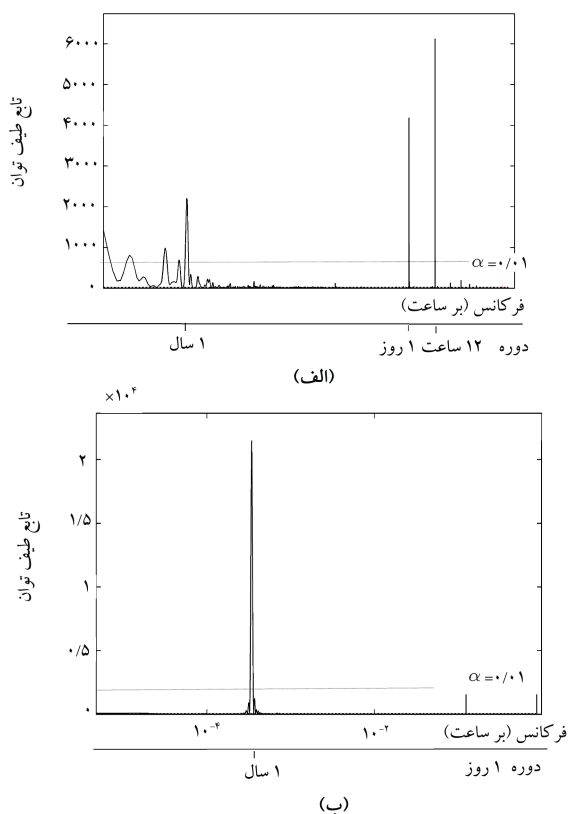
توسط این فیلتر و با حرکت‌های متوالی آن، داده‌ها از ابتدا و انتهای سری زمانی حذف و سری زمانی کوتاه می‌شود. بدیهی است که طول بیشتر فیلتر باعث حذف بیشتر داده‌ها می‌شود.<sup>[۵]</sup> یکی از پارامترهای مهم در استفاده از این روش، انتخاب دوره‌ی است، که تمایل به حذف آن داریم. برای حذف دوره‌های کمتر از  $N$  روز، رابطه‌ی ۳، طول مؤثر فیلتر را تعیین می‌کند:<sup>[۶،۱]</sup>

$$m \times p^{\frac{1}{2}} \leq N \quad (3)$$

رابطه‌ی مذکور عرض مؤثر و ساین پنجره‌ی فیلتر  $KZ(m, k)$  را جهت دستیابی به مؤلفه‌ی زمانی دلخواه به خوبی تخمین می‌زند.<sup>[۱۲]</sup> با توجه به رابطه‌ی ۳ و تعیین



شکل ۲. عملکرد فیلتر میانگین متحرک در یک تکرار.



شکل ۳. طیف منوکسیدکربن.

با استخراج مؤلفه‌های زمانی، میزان وابستگی مؤلفه‌های زمانی آلاینده‌ی منوکسیدکربن با پارامترهای هواشناسی در حوزه‌ی بسامد به‌دست آمده است. [۶] رابطه‌ی ۴، وابستگی مؤلفه‌ی ۲ سیگنال را در حوزه‌ی بسامد نشان می‌دهد:

$$C_{xy,KZ}(f) = \frac{|P_{xy,KZ}(f)|^2}{P_{xx,KZ}(f)P_{yy,KZ}(f)} \quad (۸)$$

که در آن،  $C_{xy,KZ}$  میزان وابستگی بین یکی از مؤلفه‌های زمانی سیگنال  $x$  و  $y$ ؛  $P_{xx,KZ}(f)$  و  $P_{yy,KZ}(f)$  توابع چگالی طیفی توانی مؤلفه‌ی زمانی سیگنال  $x$  و  $y$ ؛ و  $P_{xy,KZ}(f)$  چگالی طیفی متقابل بین مؤلفه‌ی زمانی سیگنال  $x$  و  $y$  است. در این پژوهش، سیگنال  $x$ ، آلاینده‌ی منوکسیدکربن و سیگنال  $y$  یکی از پارامترهای هواشناسی است.

### ۳. بررسی نتایج

نتایج پیاده‌سازی فیلتر KZ و تفکیک مؤلفه‌های مختلف برای غلظت منوکسیدکربن در ایستگاه فاطمی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که اشاره شد، این مؤلفه‌ها به کمک تغییر در اندازه و تعداد تکرار در این فیلتر از هم تفکیک می‌شوند. با توجه به مؤلفه‌ی بلندمدت در شکل ۴، آلاینده‌ی منوکسیدکربن از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۸، روند نزولی داشته است. همان‌طور که اشاره شده است، آلاینده‌ی منوکسیدکربن، یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها از نظر شاخص سلامت در ۱۰ سال گذشته بوده و وضعیت آلودگی هوای شهر تهران تا حد زیادی از نظر سالم یا غیرسالم بودن به این آلاینده وابسته است. این مطلب نشان می‌دهد با توجه به بحرانی بودن وضعیت این آلاینده در سال‌های گذشته، تصمیمات مدیریتی مطلوبی اتخاذ شده است. این

طول دوره‌هایی که باید حذف شوند، مقادیر پارامترهای طراحی مشخص شده است. در ادامه، به معرفی هر یک از مؤلفه‌های زمانی بر مبنای رابطه‌ی ۳ پرداخته شده است. [۵]

-- مؤلفه‌ی زمینه: مؤلفه‌ی زمینه حاصل جمع دو مؤلفه‌ی بلندمدت و فصلی است. با انتخاب عدد ۱۵ برای طول پنجره و تعداد تکرار ۵ برای فیلتر، دوره‌های کمتر از ۳۰ روز حذف می‌شود. با توجه به پژوهش‌های پیشین پیرامون داده‌های کیفی هوا و هواشناسی، خروجی این فیلتر معادل مؤلفه‌ی زمینه است. رابطه‌ی ۴، این مؤلفه را نشان می‌دهد:

$$\text{Baseline}(t) = KZ_{(15,5)} = e(t) + S(t) \quad (۴)$$

-- مؤلفه‌ی بلندمدت: تغییرات آرام و یکنواخت در هر سری زمانی را روند<sup>۷</sup> می‌گویند. [۱۲، ۱۳] با انتخاب اندازه‌ی مناسب در فیلتر KZ، روند سری‌های زمانی کیفی هوا به‌دست می‌آیند. با انتخاب طول پنجره‌های بزرگ‌تر نسبت به مؤلفه‌ی زمینه، دوره‌های سالانه و دوره‌های کوچک‌تر از آن حذف می‌شوند. لذا برای آگاهی از روند بلندمدت تغییرات آلاینده‌ها از  $KZ_{(365,3)}$  استفاده شده است. [۳] این فیلتر دوره‌های کمتر از ۶۳۲ روز را حذف می‌کند. رابطه‌ی ۵، روش استخراج مؤلفه‌ی بلندمدت را نشان می‌دهد:

$$\text{Longterm}(t) = KZ_{(365,3)} = e(t) \quad (۵)$$

به‌طور کلی مؤلفه‌ی بلندمدت آلاینده‌ی هوا، به روند بلندمدت انتشار کلی آلاینده، جابجایی آلاینده، آب و هوا، سیاست‌های کنترلی وابسته است. [۱۳، ۱۴]

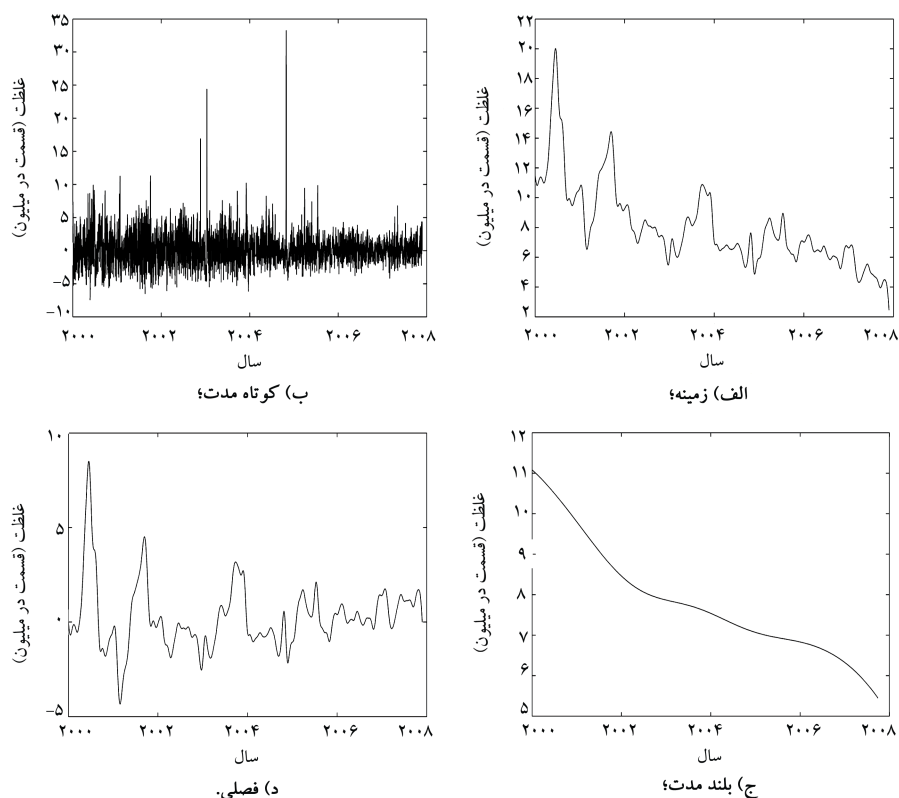
-- مؤلفه‌ی فصلی: این مؤلفه تغییرات آلاینده را در اثر تغییرات فصلی ناشی از چرخه‌ی خورشید نشان می‌دهد. این مؤلفه از تفاضل مؤلفه‌ی بلندمدت از مؤلفه‌ی زمینه‌ی سری زمانی داده‌های کیفی هوا و هواشناسی به‌دست می‌آید:

$$\text{Seasonal}(t) = KZ_{(15,5)} - KZ_{(365,3)} = S(t) \quad (۶)$$

-- مؤلفه‌ی کوتاه‌مدت: این مؤلفه، تغییرات در مقیاس روزانه یا کمتر آلاینده را به علت نوسانات روزانه‌ی دما و انتشارات مانند انتشار در اثر ترافیک نشان می‌دهد. مؤلفه‌ی کوتاه‌مدت از تفاضل مؤلفه‌ی زمینه از سری زمانی داده‌های کیفی هوا مطابق رابطه‌ی ۷ به‌دست می‌آید:

$$\text{Shortterm}(t) = A(t) - KZ_{(15,5)} = W(t) \quad (۷)$$

برای اطلاع از نحوه‌ی ارتباط سیگنال‌های غلظت منوکسیدکربن و پارامترهای هواشناسی بهتر است دوره‌های زمانی این سیگنال‌ها شناسایی شود. برای داده‌های کیفی هوا در این پژوهش از تبدیل فوریه‌ی گسسته<sup>۸</sup> و پرودگرام لامب اسکارگل<sup>۹</sup> استفاده شده است. شکل ۳، طیف سیگنال منوکسیدکربن و دمای خشک را به‌عنوان نمونه نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از طیف سیگنال‌های کیفی هوا، آلاینده‌ی منوکسیدکربن دوره‌های ۱۲ ساعته و روزانه، و پارامترهای هواشناسی دوره‌های سالانه دارند. دوره‌های کوتاه‌مدت برای آلاینده‌ی منوکسیدکربن نشان می‌دهد که این آلاینده در حوزه‌ی بسامد با پارامترهای ترافیکی وابستگی بیشتری دارد. با توجه به عدم دسترسی به داده‌های ساعتی ترافیک در شهر تهران، بررسی این دسته از عوامل در این نوشتار ممکن نیست و فقط به بررسی پارامترهای هواشناسی پرداخته شده است.



شکل ۴. مؤلفه‌های زمانی غلظت مونوکسیدکربن در ایستگاه فاطمی.

حول غلظت صفر اتفاق نمی‌افتند. با توجه به اینکه مؤلفه‌های مذکور به علت اثرات دوره‌یی ایجاد شده‌اند، روند کلی تغییرات غلظت از روی آن‌ها میسر است.

همان‌طور که در بخش ۲ اشاره شده است، مؤلفه‌ی زمينه از جمع ۲ مؤلفه‌ی فصلی و بلندمدت تشکیل شده است. این مؤلفه با حذف نوسانات شدید، بخش اعظم تغییرات پایدار یک سیگنال را نشان می‌دهد و در بیشتر برنامه‌های مطالعاتی و مدیریتی مبنای بررسی و برنامه‌ریزی است.<sup>[۷-۴]</sup>

جهت درک عمیق‌تر رفتار پارامترهای هواشناسی لازم است روند تغییرات این پارامترها در مقیاس‌های مختلف زمانی تعیین شود. پارامترهای هواشناسی مورد بررسی در این پژوهش، داده‌های دمای هوا، رطوبت نسبی، جهت و شدت باد در ایستگاه مهرآباد است. با توجه به اینکه داده‌های مذکور درگستره‌ی زمانی وسیع‌تری در دسترس هستند، برای بررسی تغییرات و روند، از اطلاعات سال‌های ۱۹۹۴ الی ۲۰۰۸ و برای میزان ارتباط این داده‌ها با غلظت مونوکسیدکربن از اطلاعات مشترک در سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۸ استفاده شده است. به‌عنوان نمونه شکل ۵، مؤلفه‌های زمانی دمای هوا را نشان می‌دهد.

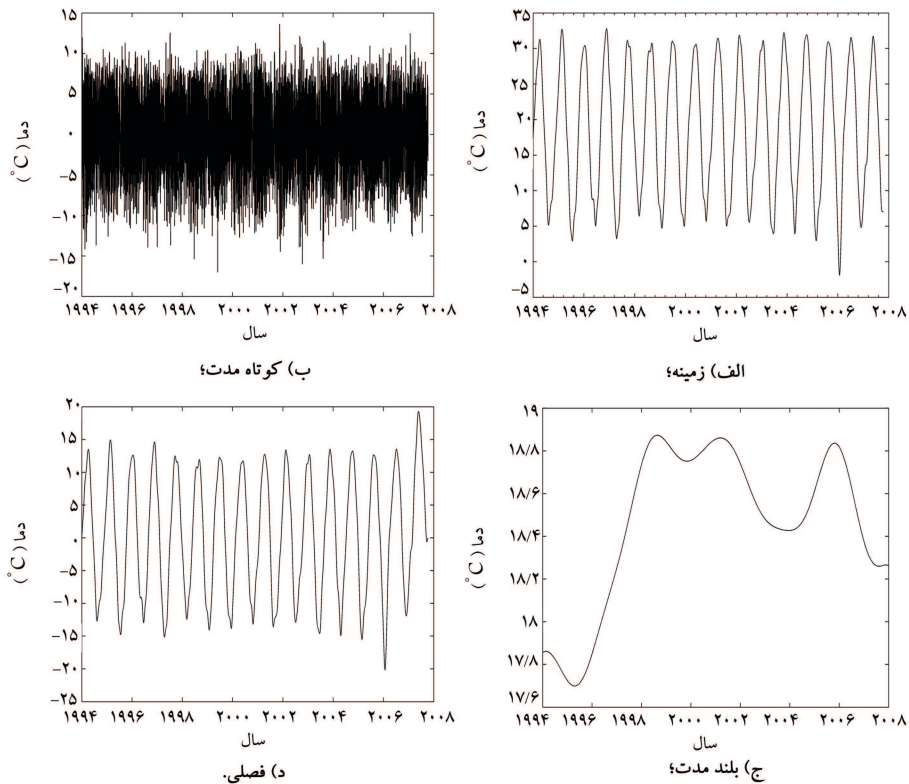
همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با توجه به بخش‌های زمانی کوتاه‌مدت، زمينه و فصلی، دمای هوا رفتاری کاملاً دوره‌یی داشته است. به طوری که تغییرات روزانه و فصلی دمای هوا بین مقادیر ۱۰ و -۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نوسان می‌کند. مطابق این شکل، دمای هوا در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۹۴ الی ۲۰۰۸ روند مشخصی نداشته است. دما از سال ۱۹۹۴ الی ۲۰۰۰ روند افزایشی و از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۴ روند کاهش‌ی داشته است. پس از سال ۲۰۰۴، تغییرات به‌صورت کاهش‌ی و سپس افزایشی بوده است.

برای بررسی تغییرات داده‌های کیفی هوا و نیز تعیین ارتباط احتمالی آن‌ها با هم، به روند تغییرات بلندمدت این پارامترها توجه شده است. بدین منظور مؤلفه‌ی

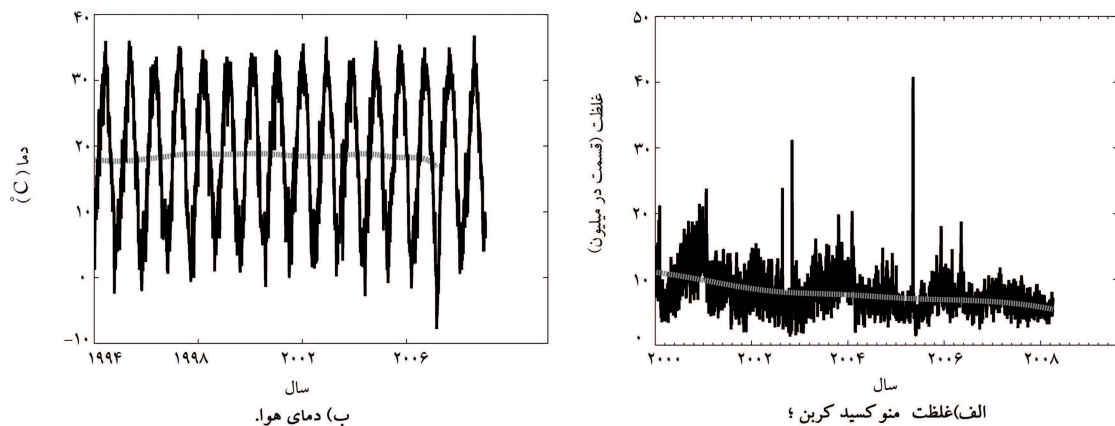
اقدامات باعث کاهش میانگین متحرک این آلایندگی از عدد ۱۱ ppm به ۵ ppm شده است. از دلایل کاهش غلظت مونوکسیدکربن می‌توان به اعمال سیاست‌هایی از قبیل: گازسوز کردن خودروها، پیشرفت تکنولوژی ماشین‌ها، طرح‌های ترافیکی، و زوج و فرد کردن خودروها، معاینه‌ی فنی خودروها، نوسازی ناوگان حمل و نقل، جای‌گزینی اتومبیل‌های فرسوده، توسعه‌ی شبکه‌ی حمل و نقلی مترو و... اشاره کرد. با توجه به شکل ۴، بخش عمده‌ی تغییرات کوتاه‌مدت، در محدوده‌ی غلظت

صفر با دامنه‌ی غلظت ۵ ppm در حال نوسان هستند. با توجه به منشأ این مؤلفه‌ی زمانی، که در بخش قبل ذکر شده است، به خوبی تغییرات ناپایدار این مؤلفه مشخص است. از طرفی هیچ‌گونه رفتار کاهش‌ی و یا افزایشی در این مؤلفه مشاهده نمی‌شود. علت این امر عدم وجود مؤلفه‌ی بلندمدت در بخش زمانی کوتاه‌مدت است. به‌عبارت دیگر، مؤلفه‌ی بلندمدت فقط حاوی روند تغییرات سری زمانی غلظت آلایندگی و مؤلفه‌ی کوتاه‌مدت نشانگر دامنه نوسانات روزانه‌ی آلایندگی است و روند مشخصی ندارد. در مؤلفه‌های زمينه و فصلی، دامنه‌ی تغییرات در حال کاهش است و نوسانات حول غلظت صفر اتفاق نمی‌افتد. با توجه به اینکه مؤلفه‌های مذکور به علت اثرات دوره‌یی ایجاد شده‌اند، روند کلی تغییرات غلظت از روی آن‌ها میسر است.

با توجه به شکل ۴، بخش عمده‌ی تغییرات کوتاه‌مدت، در محدوده‌ی غلظت صفر با دامنه‌ی غلظت ۵ ppm در حال نوسان هستند. با توجه به منشأ این مؤلفه‌ی زمانی که در بخش قبل ذکر شده است، به خوبی تغییرات ناپایدار این مؤلفه مشخص است. از طرفی هیچ‌گونه رفتار کاهش‌ی و یا افزایشی در این مؤلفه مشاهده نمی‌شود. علت این امر عدم وجود مؤلفه‌ی بلندمدت در بخش زمانی کوتاه‌مدت است. به‌عبارت دیگر، مؤلفه‌ی بلندمدت فقط حاوی روند تغییرات سری زمانی غلظت آلایندگی و مؤلفه‌ی کوتاه‌مدت نشانگر دامنه نوسانات روزانه‌ی آلایندگی است و روند مشخصی ندارد. در مؤلفه‌های زمينه و فصلی، دامنه‌ی تغییرات در حال کاهش است و نوسانات



شکل ۵. مؤلفه‌های زمانی دمای هوا در ایستگاه مهرآباد.



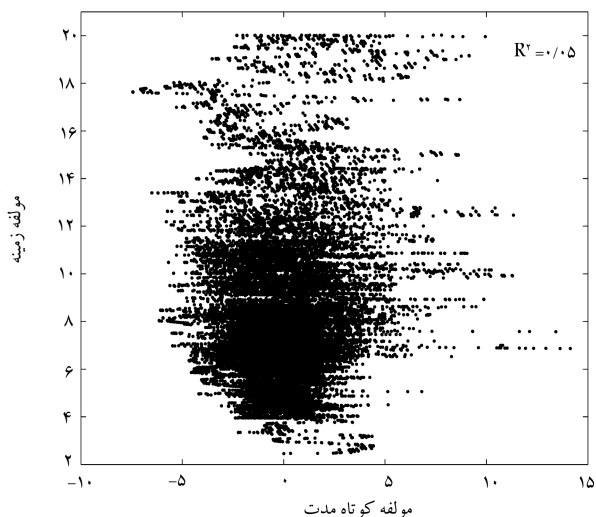
شکل ۶. سیگنال و مؤلفه‌ی بلندمدت.

جدول ۱، درصد سهم مؤلفه‌های زمانی برای هر کدام از آلاینده‌ها در ایستگاه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

نتایج به دست آمده از جدول ۱ حاکی از آن است که مؤلفه‌ی بلندمدت نسبت به دو مؤلفه‌ی دیگر، سهم بسیار کمتری از تغییرات را دارد. این امر به علت وجود تغییرات یکنواخت و هموار در مؤلفه‌ی بلندمدت است، که باعث می‌شود تغییرات در این مؤلفه تأثیر چندانی در تغییرات کلی سری زمانی نداشته باشد. تغییرات فصلی و روزانه‌ی پارامترهای هواشناسی نسبتاً مشابه‌اند، ولی برای منوکسیدکربن تغییرات روزانه بسیار بیشتر از تغییرات فصلی است، که نشان‌دهنده‌ی این است که تغییرات در سطح تولید آلاینده‌ی ناشی از منابع (غالباً منابع متحرک) در طول روز بیشتر از تغییرات ناشی از پایداری و شرایط آلودگی در طول سال است.

بلندمدت و سری زمانی غلظت منوکسیدکربن و دمای هوا در شکل ۶ نشان داده شده است.

به علت اهمیت ویژه‌ی هر کدام از مؤلفه‌های زمانی، اقدام به شناسایی سهم آن‌ها از تغییرات داده‌ها شده است. این کار با کمک تخمین واریانس‌ها امکان‌پذیر بوده است. ابتدا واریانس‌های سیگنال و هر کدام از مؤلفه‌های زمانی (بلندمدت، کوتاه‌مدت و...) را به دست آورده و با تقسیم واریانس هر کدام از مؤلفه‌ها بر واریانس سیگنال ورودی، درصد سهم هر یک از مؤلفه‌ها به دست آمده است. بدیهی است جمع درصد سهم ۳ مؤلفه‌ی بلندمدت، کوتاه‌مدت و فصلی باید ۱۰۰ شود. با توجه به اینکه واریانس سری زمانی برابر جمع واریانس مؤلفه‌ها به اضافه‌ی ۲ برابر کوواریانس<sup>[۷]</sup> متقابل آن‌هاست، حاصل جمع درصد سهم ۳ مؤلفه از عدد ۱۰۰ کمتر شده است.<sup>[۷]</sup>



شکل ۸. نمودار پراکندگی مؤلفه‌های منوکسیدکربن.

جدول ۲. وابستگی ( $R^2$ ) بین مؤلفه‌های زمانی غلظت منوکسیدکربن و پارامترهای هواشناسی.

مؤلفه‌ی زمانی/سیگنال	دمای هوا	رطوبت نسبی	شدت باد	جهت باد
سری زمانی	۰٫۲۷	۰٫۳۴	۰٫۲۹	۰٫۳۴
زمینه	۰٫۶۵	۰٫۷۳	۰٫۶۸	۰٫۷۰
کوتاه مدت	۰	۰٫۰۵	۰	۰٫۰۲
بلندمدت	۰٫۷۱	۰٫۸۲	۰٫۷۷	۰٫۷۹
فصلی	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۱۱

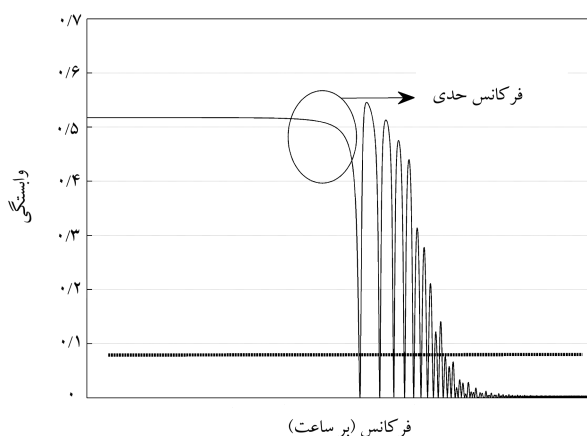
پارامتر می‌توان گفت که دو مؤلفه‌ی مذکور، با کمترین میزان همبستگی، نسبت به هم مستقل عمل می‌کنند و کاملاً مجزا از هم هستند.<sup>[۷]</sup>

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش بخش‌های زمانی غلظت آلاینده‌ی منوکسیدکربن برای سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۸ و پارامترهای هواشناسی شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد برای سال‌های ۱۹۹۴ الی ۲۰۰۸ به کمک فیلتر KZ محاسبه و تعیین شده است. به‌طور کلی این نتیجه به‌دست آمده است که فیلتر مذکور روشی کارآمد جهت تفکیک اجزاء زمانی یک سری زمانی است.

نتایج به‌دست‌آمده از روند بلندمدت سری‌های زمانی غلظت منوکسیدکربن حاکی از آن است که این آلاینده از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۰۸ روند نزولی داشته است. از دلایل کاهش غلظت منوکسیدکربن، می‌توان به اعمال سیاست‌های حمل و نقلی در شهر تهران اشاره کرد. در بین پارامترهای هواشناسی نیز، جهت و شدت باد در فاصله‌ی سال‌های ۱۹۹۴ الی ۲۰۰۸ روند صعودی داشته‌اند.<sup>[۹]</sup>

با بررسی مؤلفه‌های زمانی به‌دست‌آمده مشخص شده است که مؤلفه‌ی بلندمدت سهم کمتری از تغییرات داده‌های آلودگی هوا را شامل می‌شود. از طرفی از میان مؤلفه‌ها، مؤلفه‌های بلندمدت بیشترین میزان وابستگی را میان آلاینده‌ی منوکسیدکربن و پارامترهای هواشناسی داشته است. بررسی‌های بیشتر نشان داده است که در تمام بخش‌های زمانی، جهت باد و رطوبت نسبی بیشترین میزان وابستگی را با غلظت منوکسیدکربن در ایستگاه فاطمی داشته‌اند.



شکل ۷. میزان وابستگی غلظت بلندمدت منوکسیدکربن و مقدار بلندمدت دمای هوا.

جدول ۱. درصد سهم مؤلفه‌های زمانی.

سیگنال/مؤلفه‌ی زمانی	بلندمدت	فصلی	کوتاه مدت
منوکسیدکربن	۸	۲۳	۶۵
دمای هوا	۱۱	۳۷	۵۱
رطوبت نسبی	۱۰	۴۱	۴۵
شدت باد	۵	۴۸	۴۳
جهت باد	۲	۵۴	۴۳

پس از استخراج مؤلفه‌های زمانی، به مطالعه‌ی ارتباط و وابستگی بین غلظت آلاینده‌ها و پارامترهای هواشناسی پرداخته شده است.

شکل ۷، میزان وابستگی در حوزه‌ی بسامد برای مؤلفه‌های بلندمدت دو سری زمانی غلظت منوکسیدکربن در ایستگاه فاطمی و پارامتر دمای هوا را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مذکور، وابستگی دو سری زمانی در بسامدهای کمتر از بسامد حدی (بیشتر از زمان معادل زمان حدی)، مقداری ثابت و مشخص است. مقدار ضریب تشخیص<sup>۱۱</sup> مؤلفه‌های زمانی غلظت و پارامترهای هواشناسی در جدول ۲ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۲، وابستگی بین مؤلفه‌های بلندمدت در دامنه‌ی بسامد بیشتر از وابستگی میان سری‌های زمانی است. از طرفی در مؤلفه‌های کوتاه مدت مقدار این پارامتر بسیار کوچک است و قابل صرف نظر کردن است. علت این امر آن است که نوسانات بلندمدت آلاینده‌ها بیشتر تحت تأثیر نوسانات هواشناسی است و نوسانات کوتاه مدت بیشتر تغییرات در ترافیک را نشان می‌دهد.<sup>[۷]</sup> مطابق جدول مذکور، در تمام بخش‌های زمانی، جهت باد و رطوبت نسبی، بیشترین میزان وابستگی را با غلظت منوکسیدکربن دارند. در صورتی که در هر مؤلفه، پارامترهای متفاوت بیشترین میزان وابستگی را داشتند، اطلاعات مؤلفه‌ی زمینه را مبنای شناسایی پارامترهای مؤثر قرار می‌دهیم.<sup>[۷]</sup> جهت نمایش عدم همبستگی و استقلال دو مؤلفه‌ی زمینه و کوتاه مدت، نمودار پراکندگی<sup>۱۲</sup> این دو مؤلفه برای آلاینده‌ی منوکسیدکربن در شکل ۸ نشان داده شده است.

همان‌طور که در نمودار پراکندگی دو بخش کوتاه مدت و زمینه مشخص است، ضریب تشخیص این دو بخش زمانی برابر ۰٫۰۵ است. با توجه به مقدار ناچیز این

پانوشتها

1. Kolmogorov-Zurbenko
2. wavelets transform
3. perturbation or anomalies
4. elliptic filter
5. adaptive window fourier transform
6. missed data
7. trend
8. spectral analysis
9. Lomb-Scargle Periodogram
10. Covariance
11. coefficient of determination (R-square)
12. scatter plot

منابع (References)

1. Rao, T. and Zurbenko, S. "Detecting and tracking changes in Ozone air quality", *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, ISSN 1047-3289, **44**(9), pp. 1089-1092 (1998).
2. Hogrefe, C., Porter, P.S., Gego, E., Gilliland, A., Gilliam, R., Swall, J., Irwin, J. and Rao, S.T. "Temporal features in observed and simulated meteorology and air quality over the eastern united states", *Atmospheric Environment*, **40**(26), pp. 5041-5055 (2006).
3. Eskridge, R.E., Ku, J.Y., Rao, S.T., Porter, P.S. and Zurbenko, I.G. "Separating different time scales of motion in time series of meteorological variables", *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**(7), pp. 1473-1483 (1997).
4. Wise, E. and Comrie, A. "Extending the Kolmogorov-Zurbenko filter: Application to Ozone, particulate matter, and meteorological trends", *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, **55**(8), pp. 1208-1216 (2005).
5. Wise, K. and Comrie, C. "Meteorologically adjusted urban air quality trends in the southwestern united states", *Atmospheric Environment*, **39**(16), pp. 2969-2980 (2005).
6. Tchepel, O., Martins, H., Costa, A.M., Ferreira, J., Monteiro, A., Miranda, A.I. and Borrego, C. "Determination of background concentrations for air quality models using spectral analysis and filtering of monitoring data", *Journal of Atmospheric Environment*, **44**(1), pp. 106-114 (2010).
7. Milanchus, M.L., Rao, T. and Zurbenko, I.G. "Evaluating the effectiveness of Ozone management efforts in the presence of meteorological variability", *Journal of the Air & Waste Management Association*, **48**(3), pp. 201-215 (2011).
8. Cryer, J. and Chan, K., *Time Series Analysis with Application in R*, Springer Text in Statistics (2009).
9. Pommier, M., McLinden, C.A., Deeter, M. "Relative changes in CO emissions over megacities based on observations from space", *Geophysical Research Letters*, **40**(14), pp. 3766-3771 (2013).
10. Reeves, C.E. and et al. "Potential for photochemical Ozone formation in the troposphere over the north Atlantic as derived from aircraft observations during ACSOE", *J. Geophys. Res.*, **107**(D23), pp. 4707-4721 (2002).
11. Oppenheim, A.V., Willsky, A.S. and Young, L., *Signals and Systems*, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs (1982).
12. Oppenheim, A. and Schaffer, R.W., *Digital Signal Processin*, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 608 p. (1975).
13. Porter, P.S., Rao, S.T., Zurbenko, I.G., Dunker, A.M. and Wolf, G.T. "Ozone air quality over north America: Part II—an analysis of trend detection and attribution techniques", *Journal of the Air and Waste Management Association*, **51**(2), pp. 283-306 (2001).
14. Rao, S.T., Zurbenko, I.G., Neagu, R., Porter, P.S., Ku, J.Y. and Henry, R.F. "Space and time scales in ambient Ozone data", *Bulletin of the American Meteorological Society*, **78**(10), pp. 2153-2166 (1997).