

# مدل سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در جی آی اس و مقایسه این غلظت آلاینده ها با پروداکت سنتینل - ۵ در سامانه گوگل ارث انجین منطقه مورد مطالعه: شهر تهران

ابوالفضل قنبری<sup>۱</sup>

وحید عیسی زاده<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۱۶

\*\*\*\*\*

## چکیده

ازن سطح زمین (O3) و اکسید نیتروژن به عنوان یکی از آلاینده های بسیار خطرناک و دارای اثرات قابل توجهی بر سلامت ساکنان مناطق شهری می باشد. هدف از این پژوهش، مدل سازی تغییرات مکانی و زمانی غلظت آلاینده ازن و نیتروژن در کلان شهر تهران می باشد. در این پژوهش از دو روش برای اندازه گیری غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن به صورت مکانی استفاده شده است. یکی از این روش ها وزن دهی معکوس فاصله (IDW) و روش Sentinel-5P NRTI O3: Near Real Time می باشد. برای پیاده سازی روش اول از داده های سال ۱۳۸۷ به صورت سالانه و ۱۳۸۸ و ۱۳۹۷ به صورت سالانه استفاده شد. آنالیز زمانی غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن نشان می دهد که بهترین عملکرد مدل برای سال ۱۳۸۷ ( $R2 = 0/9188$ ) و سال ۱۳۸۸ میزان این عملکرد ( $R2 = 0/9134$ ) در حالی که کمترین عملکرد مدل از نظر آنالیز زمانی مربوط به سال ۱۳۹۷ ( $0/476$ ) است.

نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد؛ غلظت آلاینده ازن در ایستگاه ها برای سه دوره فوق متفاوت بوده است. مدل سازی مکانی میزان پراکنش آلاینده ازن سه دوره بیشتر بر روی قسمت شمال شرقی تهران بوده است. در روش دوم مدل سازی غلظت آلاینده ازن بر اساس پروداکت ستون چگالی ازن که میانگین سالانه تغییرات ازن را نشان می دهد. بنابراین، نتایج نشان داد ایستگاه اقدسیه در نهم مارس ۲۰۱۹ دارای بیشترین میزان ازن و اکسید نیتروژن اتمسفر بوده که این میزان عدد  $0/186$  درصد را نشان داد. در حالی که ایستگاه های شهرداری - منطقه ۱۶، ۱۹ و ۲۰ و ایستگاه مسعودیه دارای کمترین غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن بوده و میزان غلظت این چهار ایستگاه بنابر تغییرات سالانه  $0/133$  درصد بوده است. در نهایت نتایج، نشان داد که مدل سازی مکانی آلاینده ازن و اکسید نیتروژن با سنتینل - ۵ در گوگل ارث انجین نتایج مطلوبی را به وجود آورده است.

واژه های کلیدی: آلاینده ازن و اکسید نیتروژن، وزن دهی معکوس فاصله، گوگل ارث انجین، سنتینل - ۵، تهران

\*\*\*\*\*

۱- دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول) a\_ghanbari@tabrizu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دانشگاه تهران، تهران، ایران vahid.isazade@ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

زمین به دلیل انتشار گاز نیتریک اکساید (NO)، تغییرات پارامترهای اقلیمی (هایدی جی و دیگران، ۲۰۰۰: ۲۰۰) و در شهرهای بزرگ که در مسیر باد هستند تغییرات چرخه‌ای نامنظم دارند (کلیم و دیگران، ۲۰۱۳: ۱۰۷).

از این رو افزایش غلظت آلاینده‌ها به یک چالش بزرگ برای مدیریت کلان‌شهرهایی مانند تهران تبدیل شده است. در بین انواع آلاینده‌های گازی هوا NO<sub>2</sub> جزء گازهایی است که در بیشتر حوادث جهانی مرتبط با آلودگی هوا نقش داشته‌اند. اکسید نیتروژن به طور عمده حاصل فرآیند احتراق با دمای بالا مانند سوختن سوخت در موتور وسایط نقلیه و نیروگاه‌ها می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که هوای داخل نیز مانند هوای بیرون می‌تواند حاوی غلظت‌های بالای اکسید نیتروژن باشد چرا که بخاری‌های بدون تهویه و اجاق گازها مقادیر قابل توجهی از این آلاینده را منتشر می‌کنند (کلی و همکاران، ۱۹۹۶).

اطلاع از وضعیت پراکنندگی مکانی آلودگی آلاینده‌ها در سطح شهر این امکان را به مدیران کلان‌شهرها می‌دهد تا با در نظر گرفتن اقداماتی مناسب میزان خطرات را برای مناطق و افراد ریسک‌پذیر کاهش دهند. از طرفی اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌ها هزینه‌بر بوده و دو برابر شده است (کالینز و دیگران، ۲۰۰۰: ۲۵۵). همچنین، قرار گرفتن در معرض آن برای سلامتی انسان بسیار مضر است. در سال‌های اخیر با توسعه روش‌های آماری و مدل زمین آمار، مدل‌های درون‌یابی مکانی متعددی در دسترس محققان قرار گرفته است. روش‌های درون‌یابی از نقاطی با مقادیر معلوم در اطراف نقاط با مقادیر مجهول استفاده کرده و مقادیر آن‌ها را تخمین می‌زنند (تویبر و دیگران، ۱۹۷۰: ۲۴۰).

با وجود این‌که قوانین و مقرراتی برای کنترل کیفیت هوا در برخی کشورها به وجود آمده است اما بیشتر شهرها به خصوص تهران به طور مداوم در حال آلوده شدن می‌باشند. مهاجرت از نواحی روستایی به شهرها، افزایش کنترل نشده تعداد وسایط نقلیه، رشد صنعتی و فقدان سیاست‌های کارآمد برای کنترل کیفیت هوا باعث آلودگی بیشتر در شهر

آلودگی هوا از معضلات مهم شهرهای بزرگ صنعتی است و زندگی انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (سهیل اردکانی و دیگران، ۱۳۸۵: ۳۸). شهر تهران به دلیل رشد جمعیت، افزایش زیاد وسایل نقلیه و همچنین تمرکز و تجمع شدید صنایع با بحران آلودگی هوا مواجه است. براساس تحقیقات انجام شده در هر سال از سه روز آن یک روز توسط آلاینده‌های هوا آلوده است (صفوی و دیگران، ۱۳۸۵: ۱۱۲).

ازن سطحی در اثر واکنش‌های فتوشیمیایی بین هیدروکربن‌های خروجی از آگزوز ماشین‌ها و اکسیدهای نیتروژن در اتمسفر به وجود می‌آید. این آلاینده اساساً توسط منبعی به محیط منتشر نمی‌شود بلکه به وسیله واکنش‌های موجود بین آلاینده‌های اتمسفر تولید می‌شود و به همین علت، این آلاینده از نوع ثانویه می‌باشد (هاشمی، ۱۳۹۰). یکی از آلاینده‌های مهم ازن تروپوسفری است که تحت تأثیر پارامترهای مختلف است (ایبار و دیگران، ۲۰۰۸: ۲۳۷).

ازن در سال ۱۸۳۹م (۱۲۱۸) توسط شونباین (به نقل از سالبد، ۲۰۰۳) دانشمند آلمانی کشف شد، از گازهای جزئی موجود در جو است که ۰/۰۰۰۰۰۰۶ درصد حجمی هوا را تشکیل می‌دهد. در میان تمامی آلاینده‌های جو، غلظت آلاینده ازن سطح زمین که در نتیجه فرآیند فتوشیمیایی تولید می‌شود، در طول دو قرن اخیر برای انسان بسیار مضر بوده و به شدت به ریه‌ها آسیب می‌رساند و برای افرادی که در فضای باز ورزش می‌کنند خطرناک است (دولین و دیگران، ۲۰۱۲: ۱۰۴). همچنین این گازها باعث کاهش تولید محصولات (هلاوی ام جی و دیگران، ۲۰۱۲: ۲۷۱) اثرات گسترده بر اکوسیستم‌های زمینی (فررجی و دیگران، ۲۰۱۶: ۹۹). در نهایت سبب شدت یافتن اثر گلخانه‌ای و افزایش دمای کره زمین می‌شود.

مقدار غلظت ازن دارای تغییرات زمانی و مکانی است (لی ایکس و دیگران، ۲۰۱۴: ۳۶۳). در نتیجه تغییر عرض‌های جغرافیایی، ارتفاع و میزان فعالیت‌های انسانی متغیر است (وینگازان آر و دیگران، ۲۰۰۴: ۳۴۳). آلاینده فتوشیمی ازن سطح

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۸)

مدل سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در ... / ۲۴۹

نموده‌اند که دو روش اول تنها از متغیر اولیه به‌عنوان داده استفاده می‌کنند. ولی در روش سوم از داده‌های دیگر نیز استفاده می‌شود.

مطالعات Schurmann و دیگران (۲۰۰۹)، نشان داد که پراکنش ازن در جو به‌صورت ناهمگن است، به‌طوری که ۱۰ درصد آن در ورد سپهر و ۹۰ درصد آن در آرام سپهر وجود دارد.

Xiao و دیگران (۲۰۱۶)، در تحقیقی به بررسی ازن سطحی و اکسیدهای نیتروژن جوئی در سایت‌های شهری، حومه‌ای و روستایی در نینگبو، چین پرداختند. نتایج نشان داد تغییرات حداکثر روزانه ازن سطحی بعد از ظهر و اکسید نیتروژن در صبح رخ می‌دهد و ازن سطحی با دما ارتباط مثبت دارد اما با رطوبت نسبی و اکسیدهای نیتروژن جوئی همبستگی منفی را نشان داد.

اکبری و دیگران (۱۳۹۳)، از مدل‌های شبیه‌سازی نزدیک به سطح محلی از جمله مدل Hysplit و مدل TAPM در محدوده شهر تهران استفاده کردند.

Fernando و دیگران (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای از شبکه عصبی برای طراحی سیستم هشدار آلودگی هوا استفاده کرده‌اند. در این سیستم، غلظت آلاینده PM10، با استفاده از داده‌های هواشناسی و مقادیر PM10 در روزهای گذشته پیش‌بینی و نتایج آن نشان داد که شبکه عصبی عملکرد بهتری در مدل‌سازی غلظت PM10 را بیان می‌کند.

Mishra و دیگران (۲۰۱۶)، برای مدل‌سازی آلاینده NO2 موجود در جو دهلی (هند) از مدل هوش مصنوعی مبتنی بر شبکه عصبی - فازی استفاده کردند نتایج آن با مقادیر مشاهده شده نشان داد مدل عصبی - فازی در مقایسه با مدل رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی به خوبی عمل می‌کند.

Stamenkovic و دیگران (۲۰۱۶)، در تحقیقی انتشار گاز نیتروژن اکسید را با مدل شبکه عصبی برای کشورهای اروپایی، ایالات متحده آمریکا، چین، ژاپن، روسیه و هند را برای سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ بررسی کردند. نتایج نشان داد که

تهران شده است (افندی‌زاده و دیگران، ۲۰۰۸: ۵۶). تمرکز بیش از حد صنایع و کارخانجات در محدوده‌ی جغرافیایی شهر تهران، همراه با عوامل جغرافیایی، توپوگرافی و اقلیم خاص منطقه، تهران را به یکی از هفت شهر آلوده جهان تبدیل نموده است (رحیمی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۲۴).

بنابراین آلودگی هوا امروزه به یکی از معضلات محیطی در این شهر مبدل شده است. بر این اساس، تحقیقات درباره‌ی مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های هوا می‌تواند اطلاعات مفیدی برای کاربست راهبردهای آتی کنترل آلودگی هوا فراهم کند (صفوی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۱۲). این که این آلودگی از کجا ناشی شده است و چه عواملی در به‌وجود آمدن آن مؤثر بوده‌اند همواره مورد توجه، متخصصان قرار داشته است (قنبری و همکاران، ۲۰۰۳). در ایران به‌دلیل ارزان بودن انرژی، استفاده از ماشین‌آلات مستعمل، پایین بودن سطح فناوری‌ها، افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی، میزان مصرف انرژی و به تبع آن تولید آلاینده‌های حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی افزایش یافته است به همین دلیل آثار و پیامدهای آن به‌صورت انواع آلودگی‌ها به‌ویژه آلودگی هوا مخصوصاً در کلان‌شهر تهران آشکار شده است. علاوه بر این هوای تهران به علت موقعیت جغرافیایی شهری یعنی احاطه شهر از سمت شمال توسط کوه‌ها، پایین بودن سرعت وزش باد از لحاظ محیطی نیز قابلیت زیادی برای شکل‌گیری آلودگی هوا دارد (زمیر و دیگران، ۲۰۰۱) در سال‌های اخیر مطالعات متعددی در زمینه پهنه‌بندی در ایران و کشورهای جهان صورت گرفته است.

کاووسی و همکاران (۲۰۱۳) به منظور پهنه‌بندی آلاینده‌های PM10 و CO بر روی شهر تهران و شناسایی مکان‌های آسیب‌پذیر برای سال ۱۳۹۰ از روش کریجینگ استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که خروجی‌های حاصل از مدل در مرکز شهر دارای دقت بالاتری می‌باشند.

Robinson و دیگران (۲۰۱۳) برای پهنه‌بندی آلاینده NO2 از سه روش Simple Kriging، Ordinary Kriging و کریجینگ ساده همراه با میانگین متغیرهای محلی استفاده

مدل شبکه عصبی می‌تواند در انتشار NOX عملکرد خوبی داشته باشد. لی و دیگران (۲۰۰۲)، در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی NOx، NO2، RSP در هوای شهر هوانگ کونگ از مدل‌های شبکه عصبی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل ترکیبی آنالیز اجزای اصلی و تابع پایه‌ای شعاعی در پیش‌بینی آلاینده هوا عملکرد بهتری دارند.

شاگر خطیبی و دیگران (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای به تحلیل ارتباط بین ازن سطحی و اکسید نیتروژن در هوای شهر تبریز پرداختند. هدف از این مطالعه، تحلیل تغییرات غلظت ازن سطحی و ارتباط آن با تغییرات غلظت اکسید نیتروژن در هوای شهر تبریز با استفاده از داده‌های روزانه غلظت ازن سطحی و اکسید نیتروژن جوئی در سه ایستگاه راه‌آهن، میدان نماز و آبرسان انجام شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد؛ تغییرات روزانه ازن سطحی و اکسید نیتروژن تحت تأثیر شدید تغییرات فصلی و موقعیت ایستگاه بوده و در تمامی فصول بالاترین غلظت ازن سطحی و اکسید نیتروژن جوئی در ساعات ۱۲ تا ۱۹ و در ساعات ۱۸ تا ۲۲ بوده است.

بررسی پیشینه‌ی تحقیق نشان می‌دهد که مدل‌سازی و تراکم غلظت آلاینده‌ها در شهر تهران به کرات مورد مطالعه محققان قرار گرفته است و هر کدام ابعادی از این موضوع را روشن کرده‌اند. با این حال نیاز به بررسی بیشتر این پدیده‌ها در منطقه احساس می‌شود. از این رو در پژوهش حاضر سعی شده است ضمن مدل‌سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در محیط جی‌آی‌اس و مقایسه غلظت این آلاینده‌ها با پروداکت سنتینل - ۵ در محیط سامانه گوگل ارث انجین برای شهر تهران ارزیابی شود. مطالعات مختلف حاکی از توان بالای مدل‌های متفاوت در پیش‌بینی و مدل‌سازی تراکم غلظت آلاینده‌های مختلف می‌باشد.

از این رو با توجه به توان بالای مدل مذکور در امر پیش‌بینی و با عنایت به این که پروداکت سنتینل - ۵ در تراکم و مدل‌سازی غلظت آلاینده‌های هوا استفاده نشده است، بنابراین پروداکت سنتینل - ۵ در سامانه گوگل ارث انجین برای پایش غلظت آلاینده ازن و نیتروژن شهر تهران در این مطالعه ارزیابی شده است.

مدل شبکه عصبی می‌تواند در انتشار NOX عملکرد خوبی داشته باشد.

لی و دیگران (۲۰۰۲)، در مطالعه‌ای به منظور پیش‌بینی NOx، NO2، RSP در هوای شهر هوانگ کونگ از مدل‌های شبکه عصبی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل ترکیبی آنالیز اجزای اصلی و تابع پایه‌ای شعاعی در پیش‌بینی آلاینده هوا عملکرد بهتری دارند.

Sun و دیگران (۲۰۱۳)، با استفاده از یک مدل مخفی مارکوف (HMM) با توزیع غیرگوسی غلظت PM2.5 را در منطقه‌ی شمال کالیفرنیا پیش‌بینی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد توزیع غیرگوسی خطای کمتری نسبت به مدل گوسی دارد. کاووسی و دیگران (۲۰۱۳)، به منظور پهنه‌بندی غلظت آلاینده CO و تهیه نقشه احتمال رخداد آلودگی هوا برای آلاینده، از سه مدل اتولجستیک، اتولجستیک مرکزی شده و روش کریجینگ برای شهر تهران استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که مناطق شمالی، شرقی و مرکزی شهر تهران از سایر نواحی آلوده‌تر است.

شرعی‌پور (۱۳۹۶)، در تحقیقی به بررسی غلظت آلاینده ازن سطحی و اکسید نیتروژن جوئی و دمای هوا پرداخت. در این تحقیق، غلظت‌های ساعتی آلاینده ازن سطحی ایستگاه پونک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اوج ازن سطحی در ساعات (۱۵ تا ۱۷) بعد از ظهر رخ می‌دهد و پیک ازن سطحی به هنگام کمتر شدن باعث تشکیل اکسید نیتروژن جوئی می‌شود و همبستگی قوی بین ازن سطحی و اکسید نیتروژن جوی دارد و مقدار ضریب این همبستگی حدود ۰/۵۶ درصد برآورد شد.

رفیعی‌پور و دیگران (۱۳۹۲)، در پژوهشی به منظور مدل‌سازی مکانی آلاینده منوکسیدکربن، از سیستم اطلاعات مکانی رگرسیون چند متغیره و شبکه‌های عصبی استفاده کردند. برای نیل به این منظور آن‌ها از ۱۸ ایستگاه سنجش کیفیت هوا و داده‌های موقعیت، ارتفاع و فاصله از خیابان اصلی جهت ورود به مدل استفاده نموده‌اند. آن‌ها برای مدل‌سازی از رگرسیون چندمتغیره و سه شبکه عصبی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۰)

مدل سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در ... / ۲۵۱

بی‌رنگ و بی‌بو در حالی که NO<sub>2</sub> گازی است قرمز متمایل به نارنجی نزدیک به قهوه‌ای، سمی، دارای نقطه جوش ۲۱/۲ درجه سانتی‌گراد و فشار جزئی کم که آنرا در حالت گازی نگه می‌دارد. این گاز خورنده، اکسیدان قوی و از نظر فیزیولوژیکی محرک مجاری تنفسی است. منابع عمده برای این آلاینده در خلال احتراق سوخت‌های فسیلی است.

(Dabiri, 2008)

اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی ازن

ازن یک ماده قوی با قابلیت واکنشی زیاد بوده و فعالیت شیمیایی بالای ازن باعث بروز مشکلاتی از قبیل از بین رفتن بافت ریه و کاهش عملکرد آن می‌باشد. از جمله اثرات مضر این آلاینده بر سلامتی انسان، سوزش چشم و ریه‌ها می‌باشد. آمارها نشان می‌دهد که حملات آسم در روزهایی که غلظت بالایی از این آلاینده مشاهده شده به‌طور مشخصی افزایش یافته است. ازن موجود در هوا آسیب‌های شدیدی به کودکان، افراد سالخورده و افراد دارای ناراحتی تنفسی وارد می‌کند. قرار گرفتن در معرض غلظت پایین ازن به مدت ۶-۷ ساعت متوالی باعث کاهش توان ریه‌ها توأم با عواضی مانند درد قفسه سینه و سرفه می‌شود. ازن در هنگام تنفس، حتی در صورت وجود مقادیر اندک در هوا می‌تواند باعث مشکلات حاد تنفسی، التهاب بافت ریه، تخریب سیستم ایمنی و دفاعی بدن و مستعد شدن بدن افراد برای ابتلا به بیماری‌های تنفسی نظیر برونشیت و ذات‌الریه شود (شفیع‌پور و دیگران، ۱۳۸۰).

مدل‌های زمین آمار

مدل‌های زمین آمار برای متغیرهایی که دارای ساختارهای مکانی هستند کارایی مناسب دارند. به‌عبارت دیگر زمین آمار را می‌توان کاربرد روش‌های مبتنی بر آمار در مورد متغیرهای ناحیه‌ای تعریف کرد، که می‌تواند به بررسی عدم قطعیت‌ها در محیط پردازد. کاربرد این مدل‌ها را می‌توان در هواشناسی، منابع آب، محیط زیست، کشاورزی و علوم

۲- مبانی نظری

عوامل مؤثر بر آلودگی هوا

خصوصیات هواشناسی، شکل توپوگرافی، خصوصیات آلاینده‌ها و روش انتشار آلاینده‌ها، عوامل مؤثر بر آلودگی هوا می‌باشند (شفیع‌پور و دیگران، ۱۳۸۰).

آلاینده‌های هوا

پنج نوع از آلاینده‌های هوا به‌عنوان آلاینده‌های شاخص هوا شناخته شده‌اند که باعث به‌وجود آمدن بیش از ۹۰٪ از موارد آلودگی هوا می‌شوند. این پنج مورد عبارتند از (فیونی، ۱۳۸۵):

۱- کربن مونوکسید (CO) - ۲- اکسیدهای نیتروژن (NO<sub>x</sub>) - ۳- ازن (O<sub>3</sub>) - ۴- اکسیدهای سولفور (SO<sub>x</sub>) - ۵- ذرات معلق (PM).

ازن (O<sub>3</sub>)

ازن گازی است که هر مولکول آن از ۳ اتم اکسیژن تشکیل شده است و این گاز به رنگ آبی کم‌رنگ می‌باشد. همچنین جز اصلی مه دود فتوشیمیایی می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان یک گاز گلخانه‌ای عمل کند. در استراتوسفر که ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر بالاتر از سطح زمین قرار دارد لایه‌ای از هوای رقیق وجود دارد که حاوی ۳۰۰ تا ۵۰۰ قسمت در بیلیون ازن می‌باشد. ازن توانایی قابل توجهی در جذب برخی از فرکانس‌های اشعه فرابنفش دارد که به‌عنوان سپر مؤثر در مقابل تابش ماورای بنفش عمل می‌کند. مولکول ازن ناپایدار است. شکسته شدن مولکول اتمی ازن توسط اشعه ماوراء بنفش انجام می‌گیرد. نور فرابنفش مولکول اوزن را به یک O<sub>2</sub> و یک O<sub>1</sub> تبدیل می‌کند. مجدداً اتم O<sub>1</sub> با O<sub>2</sub> ترکیب شده و اوزون ایجاد می‌شود. این فرآیند مداوم واکنش زنجیره‌ای ازن اکسیژن نام دارد. به این ترتیب است که لایه ازن در استراتوسفر به‌وجود می‌آید (Hosoi et al., 2011).

اکسید نیتروژن (NO<sub>2</sub>)

از بین اکسیدهای مختلف نیتروژن آنچه در آلودگی هوا اهمیت دارد NO و NO<sub>2</sub> می‌باشد. NO گازی است

پذیرفته است. متوسط بارندگی این منطقه ۳۳۳ میلی‌متر در سال است. موقعیت کشوری و استانی شهر تهران در نگاره (۱) نشان داده است.

#### ۴- روش تحقیق

این پژوهش از نوع توصیفی مقطعی بوده و در آن به تحلیل فضایی آلاینده (O3) ازن و نیتروژن اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر تهران برای بازه زمانی ۱۳۸۷، ۱۳۸۸، ۱۳۹۷ پرداخته شده است. داده‌های سال ۱۳۸۷ به صورت سالانه اخذ شد. در حالی که برای سال ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ داده‌ها به صورت سالانه از سایت شرکت کنترل کیفیت آلودگی هوا شهر تهران اخذ شد. برای تحلیل فضایی از نرم‌افزار Arc GIS 10.5 منتشر شده توسط کمپانی ESRI و برای رسم نمودار و سایر تحلیل‌ها روی داده، از نرم‌افزار Excel 2013 استفاده شد. به منظور تحلیل فضایی وضعیت آلاینده‌های ازن و اکسید نیتروژن کلان‌شهر تهران برای هر سه دوره از مدل وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) استفاده شد. نهایتاً با مقایسه صورت گرفته بین این سه دوره آلوده‌ترین دوره با استفاده از مدل IDW+ مورد پهنه‌بندی قرار گرفتند. در روش دوم از سامانه گوگل ارث انجین برای مدل‌سازی مکانی غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن استفاده شده است.

در این روش برای مدل‌سازی آلاینده ازن و اکسید نیتروژن از پروداکت Sentinel-5p NRTI O3: Near Real Time Ozen به صورت سالانه (۲۰۱۸/۱۱/۰۱ و ۲۰۲۰/۰۳/۲۸) استفاده شد. چون پایش سنتینل برای ازن و اکسید نیتروژن از همین بازه شروع شده و تاکنون ادامه دارد و مهم‌ترین پروداکت موجود برای اندازه‌گیری میانگین تغییرات که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، باند ستون تغییرات ازن و اکسید نیتروژن در داخل اتمسفر (ستون چگالی ازن) است و نتایج حاصل از میانگین سالانه آلاینده ازن و اکسید نیتروژن شهر تهران با پروداکت سنتینل - ۵ در سامانه گوگل ارث انجین مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت.

خاک پیدا کرد. در این پژوهش تعدادی مدل‌های زمین آمار ارائه شده است که عبارتند از:

**مدل OK:** عبارت است از یک روش برآورد زمین آماری که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد. به طوری که می‌توان گفت بهترین برآوردکننده خطی ناریب می‌باشد. برآوردکننده به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود (Dai F et al., 2014).

$$Z^*(Xi) = \sum_{i=1}^n \gamma_i Z(X_i) \quad (1)$$

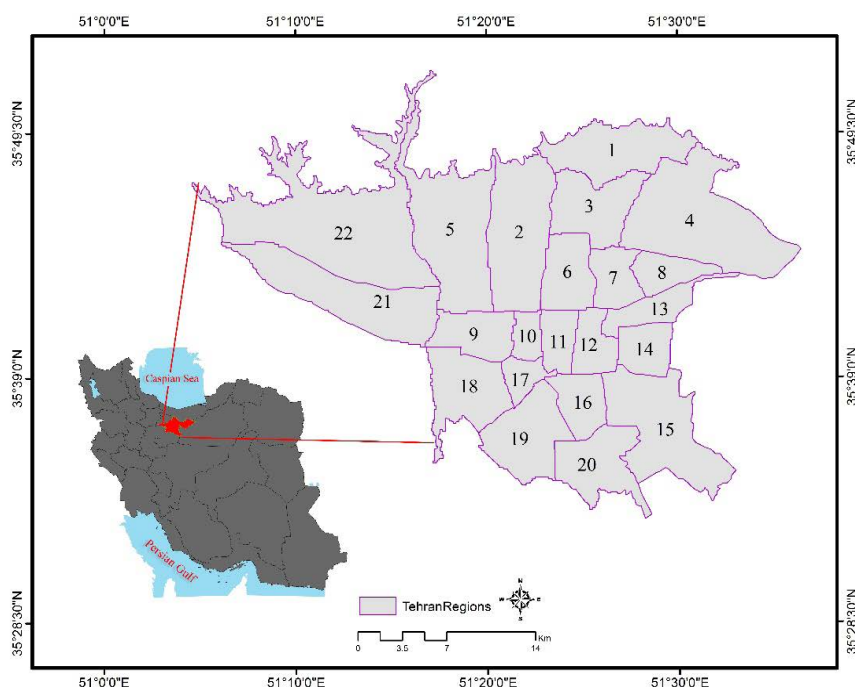
که در این رابطه  $Z^*(Xi)$  عیار برآوردی،  $\lambda I$  وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه  $\lambda m$  و  $Z(x_i)$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ غیرخطی می‌نامند.

**مدل (IDW):** روش IDW برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی براساس فاصله بیت آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود. به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. البته این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد. یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند دارای وزن یکسانی می‌باشند. مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد (Gong G et al., 2015).

#### ۳- محدوده مورد مطالعه

شهر تهران در ۵۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۶۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۸۳ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این شهر در فلات مرکزی در دامنه جنوبی کوه‌های البرز با جهت شیب کلی از شمال به جنوب و در دشتی نسبتاً هموار واقع شده است و مساحتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع و جمعیتی معادل سیزده میلیون و دویست هزار نفر دارد. شهر تهران دارای اقلیمی نیمه‌خشک است و بیشتر از ارتفاعات البرز مرکزی تأثیر





نگاره ۱: محدوده مورد مطالعه

اما در ادامه با استفاده از ضریب تعیین یا ضریب تشخیص ( $R^2$ ) میزان دقت مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. در حالی که میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن برای سال ۱۳۸۷ برای تمامی ایستگاه‌های کنترل کیفیت هوا و تعیین همبستگی میان مقادیر اندازه‌گیری شد. بنابراین، معادله کلی ضریب تعیین از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$R^2 = \frac{[\sum_i(Q_{mj}-Q_m)(Q_{sj}-Q_s)]^2}{\sum_i(Q_{mj}-Q_m)^2 \sum_i(Q_{sj}-Q_s)^2} \quad (2)$$

در رابطه (۲) ضریب تعیین  $n$  حجم نمونه،  $P_i$  غلظت ازن و اکسید نیتروژن،  $O_i$  غلظت ازن مشاهده شده است.  $P$  بار میانگین غلظت ازن و اکسید نیتروژن است.

$Spred$  انحراف معیار غلظت ازن و اکسید نیتروژن و  $sobs$  انحراف استاندارد غلظت ازن و اکسید نیتروژن بین مقادیر ورودی و خروجی، بنابراین میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن برای سال ۱۳۸۷ در تمامی ایستگاه‌های پایش در آن‌ها وجود داشته است که عدد  $ppb$  ۱۰/۱ را نشان داده است.

## ۵- یافته‌ها

### توصیف آماری داده‌ها برای پیاده‌سازی مدل وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)

توصیف آماری داده‌های مورد استفاده برای روش وزن‌دهی معکوس فاصله در این مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

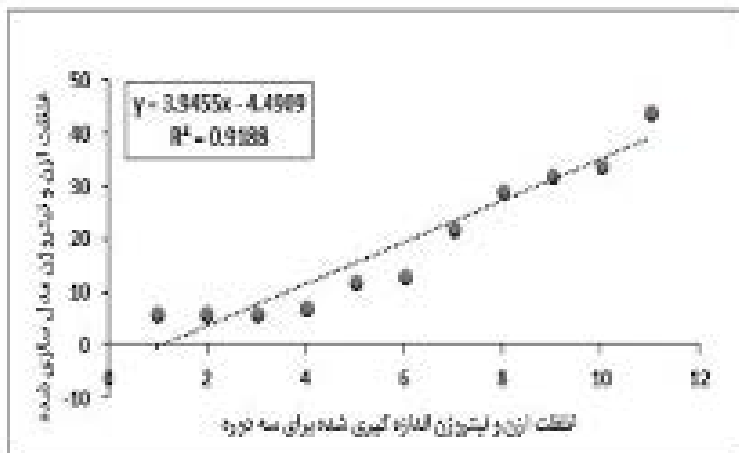
میانگین سالانه غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن برای سال ۱۳۹۷ برای ایستگاه‌هایی که میزان آلاینده‌های (ازن و اکسید نیتروژن) اندازه‌گیری شد عدد  $ppb$  ۱۲/۷ را نشان داد.

جدول ۱: توصیف آماری پارامترهای مستقل و وابسته مورد استفاده در مدل‌سازی وزن‌دهی معکوس فاصله

سال	حداقل	حداکثر	میانگین
۱۳۸۷	۶/۱	۴۴	۲۰
۱۳۸۸	۵/۶	۲۳/۷	۱۲/۷
۱۳۹۷	۶	۲۲	۱۰/۱

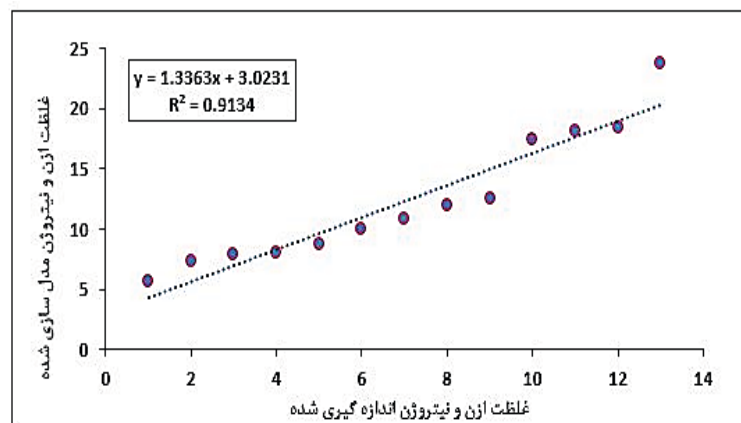
در نظر گرفت این است که همه ایستگاه مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند چون غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن بعضی از ایستگاه‌های پایش کیفیت هوا صفر بوده است. به همین دلیل از محاسبه غلظت آلاینده این ایستگاه‌ها صرف نظر شده و تنها ایستگاه‌های (اقدسیه، صدر، شهرداری منطقه ۲، پونک، شهرداری منطقه ۴، ستاد بحران، تربیت مدرس، پیروزی، شریف، شهرداری منطقه ۱۰، میدان فتح، شهرداری منطقه ۱۱، شاد آباد، اتوبان محلاتی، مسعودیه و شهر ری) که دارای میزان این آلاینده‌ها بوده‌اند در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. می‌توان گفت بیشترین میزان R2 مربوط به میانگین ۱۳۸۷ است که عدد ۰/۹۱۸۸٪ را نشان داد. در حالی که کمترین میزان R2 مربوط به میانگین سالانه ۱۳۹۷ و عدد ۰/۴۷۶٪ می‌باشد. لازم به ذکر است که تعداد کل داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی دقت مدل‌سازی

عملکرد مدل توسعه داده شده بر اساس روش اول نتایج مربوط به عملکرد فرآیند مدل‌سازی به صورت زمانی و مکانی در نگاره‌های (۲، ۳ و ۴) نشان داده شده است تمامی متغیرهای مستقل که در این مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند دارای سطح معنی‌داری قابل قبولی هستند (P. < ۰.۰۰۱) بدین معنی که تمامی پارامترهای مورد استفاده در این مدل‌سازی به بهبود عملکرد مدل برای تخمین غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در سطح زمین کمک خواهند کرد. مدل توسعه داده شده و میزان R2 برای میانگین ماهانه سال ۱۳۸۷، ۰/۹۱۸۸ درصد را نشان است. در حالی که میزان ضریب تعیین غلظت آلاینده ازن و نیتروژن برای سال ۱۳۸۸، ۰/۹۱۳۴ درصد بوده اما میزان R2 برای میانگین سالانه ۱۳۹۷ بسیار پایین‌تر از دو مورد فوق بوده است و عدد ۰/۴۷۶ درصد را نشان می‌دهد. نکته‌ای که باید



نگاره ۲: نمودار مقایسه غلظت ازن و اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی شده سال ۱۳۸۷

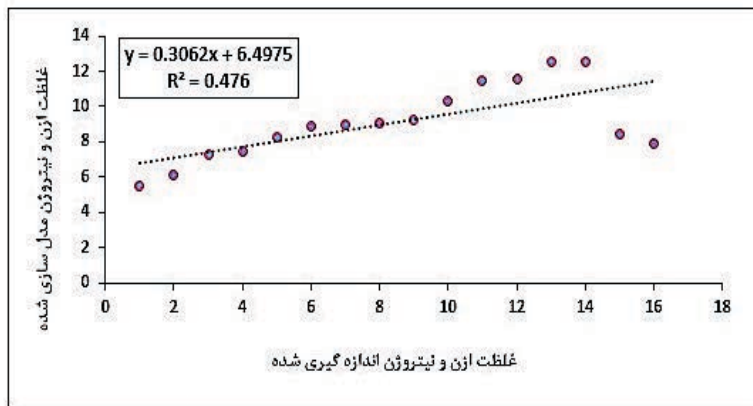
نگاره ۳: نمودار مقایسه غلظت ازن و اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی شده سال ۱۳۸۸





فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )

مدل‌سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در ... / ۲۵۵

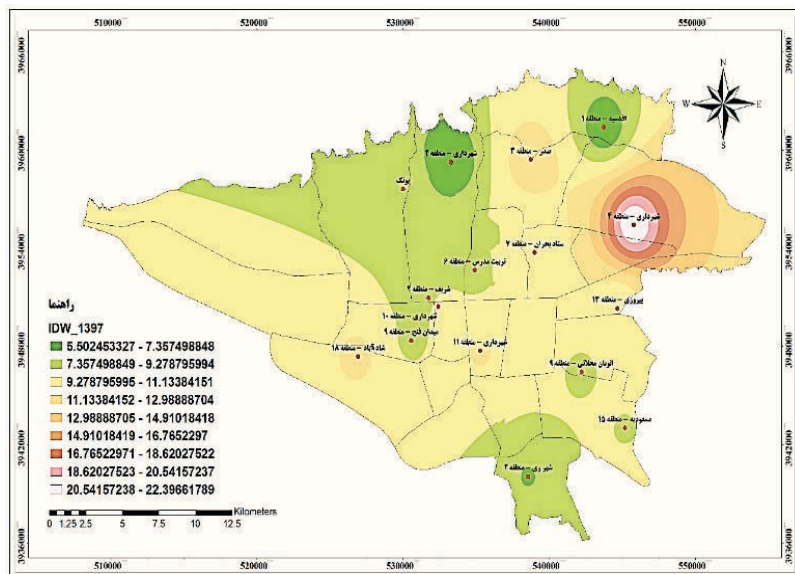


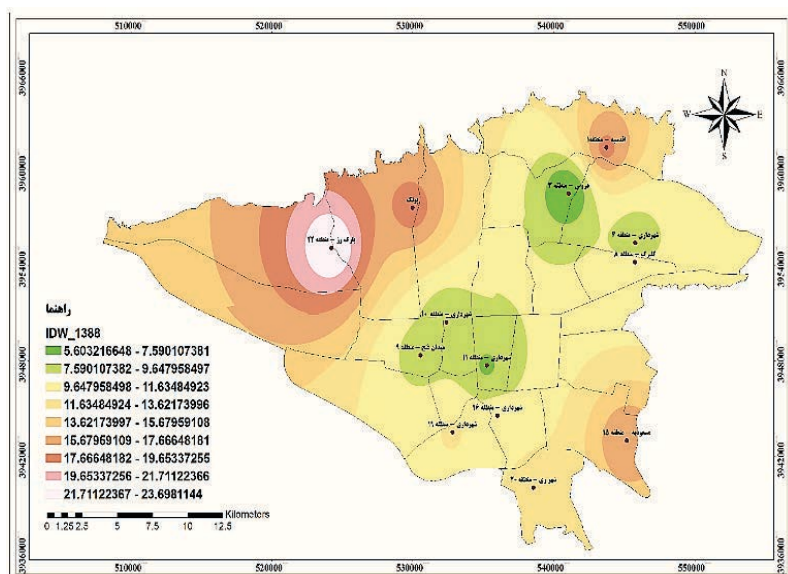
نگاره ۴: نمودار مقایسه غلظت ازن و اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده و مدل‌سازی شده سال ۱۳۹۷

مدل‌سازی شده برای سه دوره در سطح قابل قبولی نسبت به سایر مطالعات بوده است و یافته‌های این تحقیق و ضریب تعیین بالای پیش‌بینی بیانگر سطح قابل قبول این مدل‌سازی است. اگرچه مطالعات گوناگونی در رابطه با پیش‌بینی جامع و به گونه‌ای که تمامی پارامترهای هواشناسی و غلظت آلاینده‌های مؤثر را مد نظر قرار دهد انجام نگرفته است. بنابراین مدل توسعه داده شده در این پژوهش با ضریب تعیین بالا برای میانگین سالانه، سال ۱۳۸۷ ( $R^2 = 0.9188$ ) و همچنین کمترین ضریب تعیین برای میانگین سالانه سال ۱۳۹۷ ( $R^2 = 0.476$ ) از توانایی قابل قبولی در مدل‌سازی غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن برخوردار است. بررسی تغییرات زمانی و مکانی غلظت آلاینده ازن و نیتروژن پیش‌بینی شده نشان می‌دهد که این مدل از توانایی بالایی

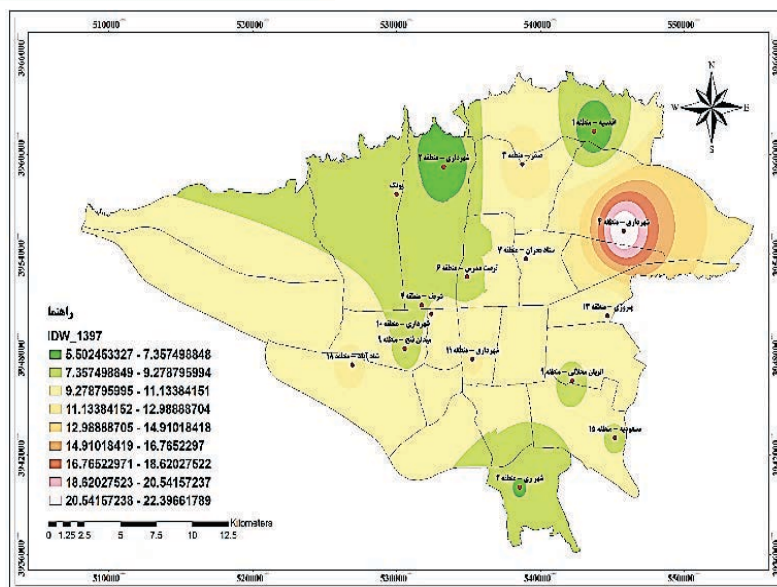
مکانی متفاوت بوده است. چرا که بعضی از ایستگاه‌ها بدون پارامتر بوده به همین دلیل از آن‌ها صرف‌نظر شده و ایستگاه‌هایی که دارای پارامتر بوده‌اند، در مدل‌سازی مکانی به کار گرفته شدند. طوری که برای سال ۱۳۸۷ حدود ۱۲ ایستگاه دارای پارامتر بوده و برای سال ۱۳۸۸، ۱۳ ایستگاه دارای پارامتر بوده‌اند. در این بین سال ۱۳۹۷ که ۱۶ ایستگاه آن دارای پارامتر بوده است. توزیع مکانی غلظت آلاینده ازن اندازه‌گیری و مدل‌سازی شده برای یک دوره ماهانه در نگاره (۵) نشان داده شده است. نگاره‌های (۶-۷) توزیع مکانی غلظت آلاینده‌ها را برای یک دوره یک ساله نشان می‌دهند. مقایسه پژوهش انجام گرفته با نتایج سایر مطالعات پیشین بیانگر این موضوع است که نتایج این پژوهش و ضرایب تعیین میان مقادیر اندازه‌گیری شده و

نگاره ۵: توزیع مکانی سالانه غلظت ازن و اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده سال ۱۳۸۷ با استفاده از مدل IDW





نگاره ۶: توزیع مکانی سالانه غلظت ازن و نیتروژن اندازه گیری شده سال ۱۳۸۸ با استفاده از مدل IDW



نگاره ۷: توزیع مکانی سالانه غلظت ازن و نیتروژن اندازه گیری شده سال ۱۳۹۷ با استفاده از مدل IDW

و این ایستگاه را نسبت به ۱۵ ایستگاه دیگر از نظر غلظت آلاینده ازن و نیتروژن مدل سازی کند.

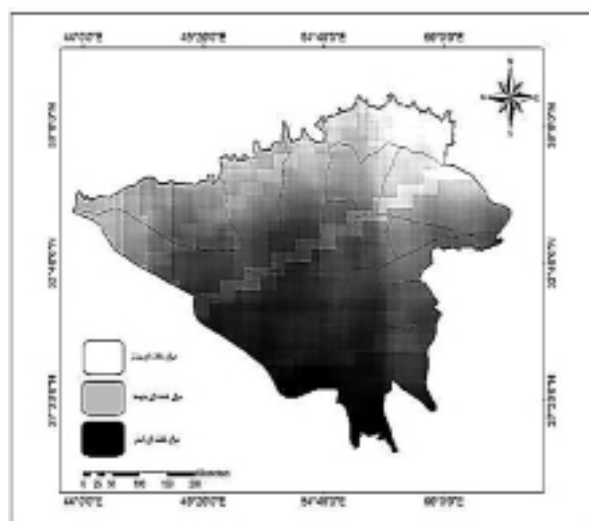
توصیف آماری داده ها برای مدل سازی مکانی آلاینده ازن و نیتروژن با استفاده از پروداکت سنتینل - ۵ در سامانه گوگل ارث انجین

برای اندازه گیری غلظت آلاینده ازن و نیتروژن در سامانه گوگل ارث انجین از پروداکت های Sentinel-5p NRTI O3: Near Real Time Ozen, Sentinel-5p NRTI O3: Near Real

برای مدل سازی و تخمین غلظت ازن و نیتروژن سطح زمین کلان شهر تهران برخوردار بوده است. مدل توانسته میزان غلظت ازن و نیتروژن را در سال ۱۳۸۷ به طور ماهیانه برای ایستگاه اقدسیه، مسعودیه و پونک به طور مطلوبی مدل سازی کند. در حالی که مدل فوق میزان غلظت ازن و نیتروژن را در سال ۱۳۸۸ برای ایستگاه های پارک رز، اقدسیه و مسعودیه با دقت بالاتری مدل سازی کرده است. اما مدل در سال ۱۳۹۷ تنها توانسته بالاترین میزان غلظت ازن و نیتروژن برای ایستگاه شهرداری - منطقه ۴ شهر تهران ارزیابی کند

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )

مدل‌سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در ... / ۲۵۷



نگاره ۸: میزان تغییرات سالانه آلاینده ازن تمامی ایستگاه‌ها با استفاده از پروداکت O3\_Column\_number\_Density سنتینل - ۵ در سامانه گوگل ارث انجین

دارای یک سری باندها و ویژگی‌ها برای پایش غلظت آلاینده ازن و نیتروژن با استفاده از پروداکت سنتینل - ۵ می‌باشد. مهم‌ترین ویژگی این پروداکت‌ها و باندها در جداول (۲ و ۳) نشان داده شده است. نگاره ۸ میزان تغییرات سال (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷) آلاینده ازن را برای تمامی ایستگاه‌های پایش کیفیت هوای شهر تهران نشان می‌دهد. درباره نتایج به دست آمده با توجه به نگاره ۸ می‌توان گفت مناطقی که به صورت روشن دیده می‌شوند مناطق بزرگ شهری هستند و میزان آلاینده ازن در این مناطق بسیار زیادتر از دو منطقه دیگر است. ایستگاه اقدسیه - منطقه ۱ دارای بیشترین میزان آلاینده فوق می‌باشد. بنابراین شمال شرق ایستگاه شهرداری - منطقه ۴ دارای آلاینده ازن بیشتری نسبت به مناطق جنوبی و شمال غربی این ایستگاه است.

جدول ۲: توصیف آماری پارامترهای مستقل و وابسته مورد استفاده در مدل‌سازی غلظت آلاینده ازن در گوگل ارث انجین

نام	واحد ها	حداقل	حداکثر	شرح
O3_Column_number_Density	mol / m ^ 2	۰/۰۰۴۷	۰/۲۷۲	میانگین ازن در ستون های اتمسفر
O3_Column_number_Density_Amf	mol / m ^ 2	۱/۹۲	۸۳/۶	میانگین وزن توده هوا
O3_slant_column_number_density	mol / m ^ 2	۰/۰۱۴	۱/۴۰۲	میزان شیب حلقه ازن
O3_effective_temperature	-----	-۵۹۶۲	۹۳۶	سطح مقطع ازن درجه حرارت مؤثر
cloud fraction	Discount	۰	۱	کسر ابر
sensor_azimuth_angle	degree	-۱۸۰	۱۸۰	زاویه آزیموت در محل پیکسل زمین
sensor_zenith_angle	degree	۰/۰۹۸	۶۶/۴۴	زاویه زینت ماهواره در محل پیکسل زمین

جدول ۳: توصیف آماری پارامترهای مستقل و وابسته مورد استفاده در مدل‌سازی غلظت آلاینده نیتروژن در گوگل ارث انجین

نام	واحد ها	حداقل	حداکثر	شرح
NO2_column_number_density	mol / m ^ 2	- ۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۹۶	میانگین ازن در ستون های اتمسفر
tropospheric_NO2_column_number_density	mol / m ^ 2	- ۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۹۶	میانگین وزن توده هوا
stratospheric_NO2_column_number_density	mol / m ^ 2	۰۶-۸/۷	۰/۰۰۰۱	میزان شیب حلقه ازن
NO2_slant_column_number_density	Pa	۱/۴-۰۰۵	۰/۰۰۳۹۰	سطح مقطع ازن درجه حرارت مؤثر
tropopause pressure	Dimensionless	- ۰/۰۰۰۶۴۴	۰/۰۰۹۶۱۴	کسر ابر
absorbing_aerosol_index	fraction	- ۱۴/۴۳	۱۰/۶۷	زاویه آزیموت در محل پیکسل زمین
cloud fraction	m	۰	۱	زاویه زینت ماهواره در محل پیکسل زمین

درباره نتایج به دست آمده با توجه به نگاره ۹ می توان گفت مناطقی که به صورت روشن دیده می شوند مناطق بزرگ شهری هستند و میزان آلاینده اکسید نیتروژن در این مناطق بسیار زیادتر از دو منطقه دیگر است.

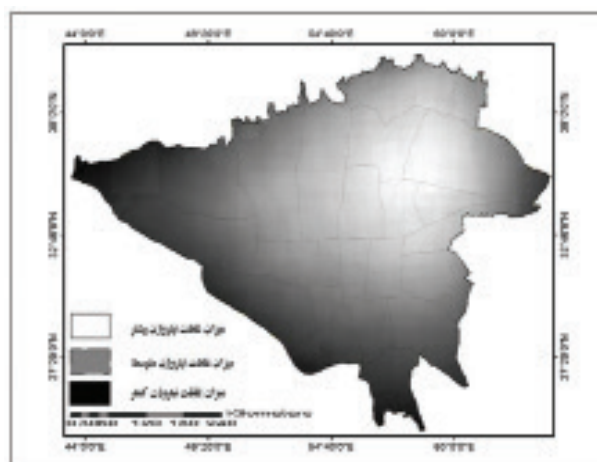
ایستگاه شهرداری - منطقه ۴، ستاد بحران و صدر - منطقه ۳ دارای بیشترین میزان آلاینده فوق می باشد. بنابراین شمال شرق ایستگاه شهرداری - منطقه ۴ دارای آلاینده اکسید نیتروژن بیشتری نسبت به مناطق جنوبی و شمال غربی این ایستگاه است. ایستگاه پونک از نظر غلظت و پراکنش این آلاینده در حالت متوسطی قرار دارد و همچنین اتمسفر ایستگاه پارک رز - منطقه ۲۲ دارای آلاینده اکسید نیتروژن متوسط است. در حالی که ایستگاه های شهرداری منطقه ۹ و ۱۰ و ایستگاه میدان فتح منطقه ۹ دارای اکسید نیتروژن کمتر و میزان اکسید نیتروژن این سه ایستگاه پایش کیفیت هوا به هم نزدیک است. با توجه به نگاره ۹ می توان گفت ایستگاه های شهرداری منطقه ۱۶، ۱۹ و ۲۰ و همچنین ایستگاه مسعودیه منطقه ۱۵ به عنوان ایستگاه هایی هستند که دارای کمترین میزان آلاینده سالانه اکسید نیتروژن با توجه به پروداکت سنتینل - ۵ در نظر گرفته شده اند. باید این نکته را در نظر گرفت که پروداکت NO2\_column\_number\_ density یکی از باندها و پروداکت های مهم سنتینل - ۵ برای پایش آلاینده ازن و تغییرات سالانه آن در نظر گرفته می شود و این آلاینده را به صورت پیکسل به پیکسل برای ایستگاه های پایش کیفیت هوای شهر تهران در نظر می گیرد. نگاره ۹ میزان تغییرات سالانه اکسید نیتروژن را برای تمامی ایستگاه های پایش کیفیت هوای شهر تهران نشان می دهد.

## ۶- نتیجه گیری

همان طور که اشاره شده روش های مختلفی برای مدل سازی غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن ارائه شده و هر کدام از این مدل ها نتایج مختلفی داشته اند. در این پژوهش برای سه دوره ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۷ از مدل وزن دهی معکوس فاصله (IDW) استفاده شد و همچنین با استفاده از متغیرهای مربوط به ایستگاه های سنجش آلاینده های جوی مقدار غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن

ایستگاه پونک از نظر غلظت و پراکنش این آلاینده در حالت متوسطی قرار دارد. و همچنین اتمسفر ایستگاه پارک رز - منطقه ۲۲ دارای آلاینده ازن متوسط است. در حالی که ایستگاه های شهرداری منطقه ۹ و ۱۰ و ایستگاه میدان فتح منطقه ۹ دارای آلاینده ازن متوسط و میزان ازن این سه ایستگاه پایش کیفیت هوا به هم نزدیک است.

با توجه به نگاره ۸ می توان گفت ایستگاه های شهرداری منطقه ۱۶، ۱۹ و ۲۰ و همچنین ایستگاه مسعودیه منطقه ۱۵ به عنوان ایستگاه هایی هستند که دارای کمترین میزان آلاینده سالانه ازن با توجه به پروداکت سنتینل - ۵ در نظر گرفته شده اند. باید این نکته را در نظر گرفت که پروداکت O3\_Column\_number\_Density یکی از باندها و پروداکت های مهم سنتینل - ۵ برای پایش آلاینده ازن و تغییرات سالانه آن در نظر گرفته می شود و این آلاینده را به صورت پیکسل به پیکسل برای ایستگاه های پایش کیفیت هوای شهر تهران در نظر می گیرد. نگاره ۹ میزان تغییرات سالانه اکسید نیتروژن را برای تمامی ایستگاه های پایش کیفیت هوای شهر تهران نشان می دهد.



نگاره ۹: میزان تغییرات سالانه آلاینده اکسید نیتروژن تمامی ایستگاه ها با استفاده از پروداکت No2\_Column\_number\_density سنتینل - ۵ در سامانه



فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۵)

مدلسازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در ... / ۲۵۹

ایستگاه‌های پایش کنترل کیفیت هوای شهر تهران به‌وجود آورده است. این نتایج نشان داد که بیشترین میزان آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در نهم مارس ۲۰۱۹ دارای ۰/۱۸۶٪ مربوط به ایستگاه اقدسیه - منطقه ۱ بوده است. در حالی که ایستگاه پارک رز - منطقه ۲۲ شهر تهران در ژوئن، اگوست و اکتبر ۲۰۱۹ دارای ازن متوسط ۰/۳۴٪ بوده است. اما ایستگاه‌های شهرداری منطقه ۱۶، ۱۹ و ۲۰ ایستگاه مسعودیه - منطقه ۱۵ دارای کمترین میزان آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در این قسمت‌های شهر تهران به‌صورت سالانه بوده است. می‌توان گفت که مدلسازی مکانی با استفاده از پروداکت سنتینل - ۵ به نحوه مطلوبی توانسته آلاینده ازن و اکسید نیتروژن را برای شهر تهران به‌صورت پیکسل به پیکسل برای تمامی ایستگاه‌ها مدلسازی کند. در مطالعه Liu و بعضی مطالعات دیگر (Liu, 2009) بین مقادیر اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق همبستگی معنی‌داری دیده شد. خوشبختانه در مدل سری زمانی نیازی به فرض استقلال آلاینده نیست و می‌توان از آن برای پیشگویی و تراکم غلظت آلاینده‌هایی که همبستگی دارند نیز استفاده کرد (Liu, 2009).

منابع و مآخذ

- ۱- اردکانی، چراغی، قاسم‌پوری؛ سهیل، علی، محمد (۱۳۸۵). "تعیین کیفیت بهداشتی هوای تهران در سال ۱۳۸۳ با استفاده از شاخص کیفیت هوا." علم و تکنولوژی محیط زیست (۸۴): ۳۳ - ۳۸.
- ۲- افندی‌زاده، رحیمی، علی (۱۳۸۷). ارزیابی اثرات آلودگی هوا ناشی از سیستم حمل و نقل در تهران. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران ۳۵۱ ص ۵۶ - ۴۷.
- ۳- اکبری، فرح‌بخشی؛ محمد. (۱۳۹۳). تحلیل و ردیابی خطر گرد و غبار در سال‌های اخیر در استان کرمانشاه. مجله بین‌المللی تحقیقات محیطی، ۹ (۲): ۶۷۳-۶۸۲.
- ۴- رحیمی، رحیمی، جلیل، سعید. (۲۰۱۰). بررسی تأثیرات توسعه فضایی شهری بر آلودگی هوای کلان‌شهر تهران.

مدلسازی گردید. ازن مدلسازی شده با روش وزن‌دهی معکوس فاصله با میانگین تغییرات سالانه ازن با سنتینل - ۵ در سامانه گوگل ارث انجین مورد مقایسه قرار گرفت. و نتایج حاصل از داده‌های ازن و اکسید نیتروژن برای سه دوره از طریق ضریب تشخیص مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد ضریب تعیین غلظت ازن برای سه دوره ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ به‌ترتیب ۰/۹۱۸۸٪ و ۰/۹۱۳۴٪ بوده است. در حالی که کمترین ضریب تعیین غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن برای سال ۱۳۸۹ عدد ۰/۴۷۶٪ را نشان داد. بیشترین توزیع مکانی غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن برای سال ۱۳۸۷ به‌ترتیب مربوط به ایستگاه مسعودیه، پونک، پارک رز و اقدسیه می‌باشد و برای غلظت آلاینده اکسید نیتروژن شهرداری - منطقه ۴، ستاد بحران و صدر منطقه ۳ دارای بیشترین میزان غلظت اکسید نیتروژن بوده است. اما این توزیع برای سال ۱۳۸۸ پارک رز - منطقه ۲۲ دارای بیشترین میزان غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در این ایستگاه می‌باشد. نتایج حاصل از مدل وزن‌دهی معکوس فاصله نشان داد که توزیع مکانی غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن برای سال ۱۳۹۷ متفاوت از دو دوره دیگر می‌باشد. در این دوره ایستگاه شهرداری - منطقه ۴ دارای بیشترین دریافت غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن به‌صورت سالانه می‌باشد و شمال‌شرقی تهران به‌عنوان آلوده‌ترین منطقه از نظر آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در نظر گرفته شده است. به‌عبارت دیگر با مقایسه نقشه غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن اندازه‌گیری شده در سطح ایستگاه‌ها و غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن مدلسازی شده می‌توان نتیجه گرفت که مدل IDW به خوبی نتوانسته است تغییرات مکانی غلظت ازن را برای سه دوره فوق در شهر تهران مدلسازی کند. اما مدلسازی مکانی غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن با پروداکت O3\_Column\_number\_Density.O3\_Col mn\_number\_Density برای اندازه‌گیری تغییرات سالانه میزان آلاینده ازن و اکسید نیتروژن با استفاده از تصاویر سنتینل - ۵ نتایج بسیار مطلوبی را برای

- چهارمین کنفرانس زمین شناسی فنی زمین شناسی تهران، ص ۱۲۴-۱۱۵.
- ۵- رفیعی پور، محمد (۲۰۱۳). "مقایسه کارایی شبکه‌های مختلف عصبی در پیش‌بینی مکانی - زمانی آلودگی هوای تهران". پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
- ۶- شاکر خطیبی، محمدی، ظروفچی بنیس، شاکری، فاتحی‌فر، محمودیان؛ محمد، ناهیده، خالد، مسعود، اسماعیل، امیر (۱۳۹۴). تحلیل ارتباط بین ازن سطحی و اکسید نیتروژن جوی در هوای شهر تبریز. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۹ (۱): ۱۰۷ - ۱۱۴.
- ۷- شرعی پور، زهرا. (۱۳۹۶). بررسی غلظت آلاینده ازن سطحی و ارتباط آن با اکسید نیتروژن جوی و دمای هوا. ششمین همایش ملی مدیریت آلودگی هوا و صدا تهران، ص ۱۲-۳۵.
- ۸- شفیعی پور، مهدی (۱۳۸۰). الگوی تهیه اقدام اطلاعاتی پایه برای مطالعه آلودگی هوا شهرها، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جوی.
- ۹- صفوی، علیجانی؛ یحیی، بهلول (۱۳۸۵). بررسی عوامل جغرافیایی در آلودگی هوای تهران. تحقیقات جغرافیایی، ۵۸: ۹۹ - ۱۱۲.
- ۱۰- قنبری، حیدر (۲۰۰۳). نقش عوامل طبیعی در آلودگی هوای تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- ۱۱- کاووسی، سفیدکار، علوی مجد، رشیدی؛ امیر، ریحانه حمید، یوسف (۲۰۱۳). "تجزیه و تحلیل فضایی آلاینده‌های CO و PM10 در شهر تهران" مجله علوم پیراپزشکی. ۴. صص ۴۱-۵۰.
- ۱۲- کاووسی، سفیدکار، علوی مجد، ایمان‌زاد، نورمادی؛ امیر، ریحانه، حمید، معصومه، حشمت‌اله (۲۰۱۳). "تجزیه و تحلیل مکانی آلودگی هوا در تهران با استفاده از رگرسیون اتولوژیستی، رگرسیون خودمترکز و کریجینگ اشاره‌گر، مجله پژوهشی دانشگاه پزشکی ایلام، ۲۱ (۷): صص ۲۰۶-۲۱۴.
- ۱۳- هاشمی، فرهاد. (۱۳۹۰). بررسی و ارزیابی الگوریتم‌های مونت کارلو و شبکه عصبی برای پیش‌بینی آلودگی هوا در
- محیط یک سیستم اطلاعات مکانی زمانمند. کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصرالدین طوسی رشته نقشه‌برداری سیستم اطلاعات مکانی.
- 14- Collins WJ, Stevenson DS, Johnson CE, Derwent RG. (2015). The European regional ozone distribution and its links with the global scale for the years 1992 and Atmospheric Environment. 2000; 34(2):255-67.
- 15- Dabiri M. (2008). Pollution of the air. Tehran: Union p. 399. (In Persian).
- 16- Dai F, Zhou Q, Lv Z, Wang X, Liu G. (2014). Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau. Ecol Indicators; 45(0):184-94.
- 17- Devlin RB, Duncan KE, Jardim M, Schmitt MT, Rappold AG, Diaz-Sanchez D. (2012). Controlled exposure of healthy young volunteers to ozone causes cardiovascular effects. Circulation.; 126(1):104-11.
- 18- Fernando, H.J., Mammarella, M., Grandoni, G. Fedele, P., Di Marco, R., Dimitrova, R. & Hyde, P., (2012). Forecasting PM 10 in Metropolitan Areas: Efficacy of Neural Networks, Environmental Pollution 163, and PP 67-62.
- 19- Fuhrer J, Val Martin M, Mills G, Heald CL, Harmens H, Hayes F, et al. (2016). Current and future ozone risks to global terrestrial biodiversity and ecosystem processes. Ecology and Evolution; 6(24):87-99.
- 20- Gong G, Mattevada S, O'Bryant SE. (2014). Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas. Environ Res; 130(0):59-69.
- 21- Hidy G. (2000). Ozone process insights from field experiments-part I: overview. Atmospheric Environment; 34(12):200-22.
- 22- Hollaway MJ, Arnold SR, Challinor AJ, Emberson LD. (2012). Intercontinental trans-boundary contributions to ozone-induced crop yield losses in the Northern Hemisphere. Biogeosciences; 9(1):271-92.
- 23- Hosoi, S., Yoshikado, H., Gaidajis, G., Sakamoto, K. (2011). Study of the relationship between elevated concentration of photochemical oxidants and prevailing meteorological conditions in the North Kanto area, Japan,



فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( SID )

مدل سازی تراکم غلظت آلاینده ازن و اکسید نیتروژن در ... / ۲۶۱

- 33- Stamenković, L.J., Perić -Grujić, A.A., Pocajt, V.V., Ristić, M.D. and Antanasijević, D.Z. (2016). Prediction of nitrogen oxides emissions at the national level based on optimized artificial neural network model. *Air Quality Atmosphere and Health*, 10 (1): 15-23. DOI: 10.1007/s11869-016-0403-6.
- 34- Sun, W., Zhang, H., Palazoglu, A., Singh, A., Zhang, W., Liu, S. (2013). Prediction of 24-hour-average PM<sub>2.5</sub> concentrations using a hidden Markov model with different emission distributions in Northern California, *Science of the Total Environment*, 443, (pp. 93–103).
- 35- Tobler, W.R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography* VOL. 46. Pp.234-240.
- 36- World Health Organization. (2006). *Air Quality Guidelines: Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide*. World Health Organization.
- 37- Xiao, H, Lei, T, Hulihing, Z, Jie Yu, Mengment, H, Nengbin, X, Jingjing, Z, Feizhong, Q, Jiayong, F (2016). Characteristics of surface ozone and nitrogen oxides at urban, suburban and rural sites in Ningbo, China, *Journal Atmospheric Research*, 34, PP 236-269.
- 38- Zamir, R., Iikani, M. (2001). Pollution of Tehran Third Iranian National Energy Conference. Tehran's. 26-18. (In Persian).
- Water, Air, & Soil Pollution, 215, 105-116.
- 24- Ibarra – Berastegi, G., A. Elias, A. Barona, J. Saenz, A. Ezcurra and j. Diaz de Argandona (2008). "From diagnosis to prognosis for forecasting air Pollution using neural networks: Air pollution monitoring in Bilbao." *Environmental Modelling & Software* 23 (5): 622 – 637.
- 25- Kelly. 14 nitrogen to humans of exposure following fluid lavage lung in kinetics: DOI. 5-1700):1 Pt 6(154; 1996. *Med Care Crit Respir J Am. dioxide* 8970358.
- 26- Klein PM, Hu X-M, Xue M. (2013). Impacts of Mixing Processes in Nocturnal Atmospheric Boundary Layer on Urban Ozone Concentrations. *Boundary-Layer Meteorology*; 150(1):107-30.
- 27- Liu, P.G., Simulation of the daily average PM<sub>10</sub> concentrations at Ta-Liao with Box– Jenkins time series models and Sharma, P., Chandra, A. and Kaushik, S.C. (2009). Forecasts using Box–Jenkins models for the ambient air quality data of Delhi City. *Environ Monit Assess*, 157, pp. 105–112.
- 28- Liu S, An N, Yang J, Dong S, Wang C, Yin Y. (2015). Prediction of soil organic matter variability associated with different land use types in mountainous landscape in southwestern Yunnan province, China. *CATENA*; 133(0):137-44.
- 29- Li X, Rappenglück B. (2014). A WRF–CMAQ study on spring time vertical ozone structure in Southeast Texas. *Atmospheric Environment*; 97:363-85.
- 30- Mishra, D. and Goyal, P. (2016). Neuro-Fuzzy Approach to Forecast NO<sub>2</sub> Pollutants Addressed to Air Quality Dispersion Model over Delhi, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 16: 166–174.
- 31- Robinson, D.P., Lloyd, C.D., McKinley, J.M. (2013). Increasing the accuracy of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) pollution mapping using geographically weighted regression (GWR) and geostatistics. *International Journal of A applied Earth Observation and Geoinformation*. VOL. 21. pp. 374–383.
- 32- Schurmann. G.J, Algieri, A, Hedgecock, I.M., Manna. Pirrone. G, N, Sprovieri. F. (2009). Modelling local and synoptic scale influences on ozone concentrations in a topographically complex region of Southern Italy, *Atmospheric Environment* 35, pp 4424–4434.

