

# ارائه مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از حمل و نقل در ایران

نوید عطائی (مسئول مکاتبات)، دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ایران

امین فتاحی، دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ایران

مجید اسدی، دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه ریزی حمل و نقل، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ایران

**E-mail: Navid.ataee@aut.ac.ir**

## چکیده

دی اکسید کربن یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده گازهای گلخانه‌ای است که اثرات مخربی بر محیط زیست دارد. عوامل متعددی در میزان انتشار این گاز تأثیرگذار است که با توجه به نقش اساسی حمل و نقل در تولید آلاینده‌های مختلف و سهم ۲۷ درصدی آن در تولید گاز دی اکسید کربن، لزوم بررسی عوامل مرتبط با این صنعت را ایجاب می‌کند. بنابراین در این پژوهش علاوه بر متغیرهای اقتصادی اجتماعی، به بررسی تأثیر متغیرهای حمل و نقلی بر انتشار گاز دی اکسید کربن پرداخته شده است. برای این منظور داده‌های مذکور از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۴ جمع‌آوری شده و با استفاده از آن‌ها مدلی به روش رگرسیون خطی چند متغیره ساخته شده است که نتایج به دست آمده نشان دهنده تأثیر معنادار متغیرهای تعداد مسافر جابجا شده جاده‌ای، مقدار کالای جابجا شده ریلی، طول خطوط راه آهن و تعداد خودرو اسقاطی بر انتشار این گاز است که طول خطوط راه آهن با ضریب استاندارد شده ۰.۶۶۱ بیشترین سهم را در این بین دارد و همچنین با افزایش میزان اسقاط خودرو از انتشار گاز دی اکسید کربن کاسته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انتشار گاز دی اکسید کربن، حمل و نقل، رگرسیون خطی چند متغیره، گازهای گلخانه‌ای

## ۱. مقدمه

نیازهای اصلی به شمار می‌آید. سیستم‌های حمل‌ونقلی موجود با وجود کارایی لازم، خروجی‌هایی را به دنبال دارند که مصرف سوخت‌های فسیلی، اتلاف وقت و آلودگی هوا از جمله این موارد هستند. مطابق با مطالعه انجام شده توسط انجمن حمل‌ونقل فدرال آمریکا، صنعت حمل‌ونقل به تنهایی عامل انتشار ۲۹ درصد گازهای گلخانه‌ای است.

به این ترتیب ارزیابی عوامل تاثیرگذار بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در صنعت حمل‌ونقل یکی از مسائل مهمی است که باید مورد مطالعه قرار گیرد. با شناسایی این عوامل، امکان ارائه راهکارهایی در جهت بهبود وضع آلودگی هوا و نیز بهینه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقلی فراهم می‌گردد.

## ۲. مطالعات پیشین

در سطح بین‌المللی و داخلی مطالعات زیادی در حوزه آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام شده و عوامل موثر بر انتشار این گازها به خصوص گاز دی‌اکسید کربن مورد بررسی قرار گرفته است.

شی<sup>۱</sup> (۲۰۰۱) اثر رشد جمعیت بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را مورد ارزیابی قرار داد و در این مطالعه از داده‌های جمع‌آوری شده از ۹۳ کشور استفاده کرد که نتیجه این بررسی، اثرگذاری رشد جمعیت به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن بود. صالح و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی اثرگذاری تولید ناخالص داخلی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن پرداختند و به همبستگی زیاد بین این دو متغیر دست یافتند. جواد رضانی و همکاران (۱۳۹۶) سه عامل جمعیت، تولید ناخالص داخلی و نرخ شهرنشینی را به عنوان عوامل اثرگذار بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در نظر گرفتند و به این نتیجه رسیدند که این سه عامل در کنار هم، به طور کامل می‌توانند انتشار این گاز را تبیین کنند.

فیروز فلاحی و صمد حکمتی فرید (۱۳۹۲) به بررسی تاثیر متغیرهای شدت انرژی، درآمد سرانه واقعی، جمعیت و نرخ شهرنشینی به عنوان مهم‌ترین عوامل اقتصادی و اجتماعی اثرگذار فصلنامه مهندسی ترافیک/ سال بیستم/ شماره ۸۰ / بهار ۱۳۹۹

توجه به توسعه پایدار شهری، لزوم حفاظت از محیط زیست و اثرات نامطلوب آلاینده‌ها بر کیفیت زندگی سبب شده است که حفظ محیط زیست به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های سیاست‌گذاران تبدیل شود. به همین دلیل در طول چند دهه اخیر راه‌های بهبود کیفیت محیط زیست و عوامل تاثیرگذار بر آن، مطالعات نظری و تجربی گسترده‌ای را به خود اختصاص داده و در کانون توجه تحلیلگران حوزه‌های مختلف قرار گرفته است.

گازهای گلخانه‌ای یکی از منابع اصلی اثرگذار بر محیط زیست است. اثر این گازها لزوماً پدیده نامطلوبی برای کره زمین و محیط زیست به شمار نمی‌آید، چرا که بخشی از گرمای تابیده شده از خورشید توسط این گازها در جو زمین محبوس شده و از آن خارج نمی‌شود. در صورت عدم وجود این پدیده، دمای کره زمین که هم‌اکنون حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد است به ۶- درجه سانتی‌گراد می‌رسد و امکان زندگی را از بشر سلب می‌کند اما نتایج نامطلوب این پدیده نیز کم نیست. به عنوان مثال افزایش بیش از حد دمای کره زمین، ذوب شدن یخچال‌ها، خشکسالی و به تبع آن کاهش محصولات غذایی و افزایش قیمت آن‌ها، کاهش سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها و آلودگی هوا از اثرات نامطلوب این گازها می‌باشند.

گازهای گلخانه‌ای اجزای مختلفی دارند که گاز دی‌اکسیدکربن یکی از اصلی‌ترین اجزاء این مجموعه به شمار می‌آید. عمده آلودگی هوای کره زمین ناشی از این گاز گلخانه‌ای است به طوری که فقط در صنعت حمل‌ونقل ۹۵ درصد خروجی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، گاز دی‌اکسیدکربن است. این امر اهمیت بررسی عوامل موثر بر انتشار این گاز و ارائه راهکارهایی به منظور کاهش آن را نشان می‌دهد.

تقاضای حمل‌ونقل ناشی از گسترش شهرنشینی، تنوع کاربری‌های زمین، استفاده از انواع کالاها و امور خدماتی در محیط‌های شهری و بین شهری است. به عبارتی این تقاضا به خودی خود نیاز بشر نیست و یک نیاز جانبی در جهت رفع

## ارائه مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از حمل‌ونقل در ایران

در ضمن آن به دو نتیجه مهم دست یافتند. این که کشورهای در حال توسعه سهم بیشتری در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن نسبت به کشورهای توسعه یافته دارند و خودروهایی سنگین بیشتر از خودروهایی سبک بر انتشار این گاز اثرگذارند. مطابق با مطالعه انجام شده توسط انجمن حمل‌ونقل فدرال آمریکا (۲۰۱۰)، ۲۹ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل شناخته شد که گاز دی‌اکسیدکربن به تنهایی ۹۵ درصد از خروجی حاصل از این صنعت رو به رشد را تشکیل می‌داد. در این مطالعه خودروهایی سواری، کامیون و وسایل نقلیه عمومی به عنوان عوامل اثرگذار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شدند. علی‌اکبر ناجی میدانی و آزاده داودی (۱۳۹۴) رشد اقتصادی، رشد جمعیت، شدت انرژی، انواع شیوه‌های حمل‌ونقلی و قیمت آن‌ها را از عوامل اثرگذار بر انتشار انواع ترکیبات کربن (دی‌اکسید کربن و مونوکسید کربن) تشخیص داده و در نهایت رشد اقتصادی و شیوه‌های حمل‌ونقلی بیشترین تأثیر را بر انتشار این گازها داشتند. در یکی از جدیدترین یافته‌های بین‌المللی که طی مطالعاتی در کشورهای حوزه اسکانديناوی انجام شده است، کتاب «کاهش گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از حمل‌کالاها» (۲۰۱۹)، تعداد مسافران جابجا شده و نیز میزان کالای حمل شده جاده‌ای را از عوامل مؤثر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن معرفی کرده است. مطابق با مطالعات مختلف انجام شده در سطح بین‌المللی و داخلی، رشد جمعیت و تولید ناخالص داخلی از عوامل اثرگذار دائمی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن شناخته شده‌اند. مصرف انرژی و به طور خاص سوخت‌های فسیلی نیز نقش مهمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته است. در سال‌های اخیر محققان به این سمت پیش رفتند که اثر حمل‌ونقل را بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مورد بررسی قرار دهند و به نتایجی هم دست یافتند. به دلیل نوپا بودن صنعت حمل‌ونقل بررسی این عامل در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن بسیار محدود بوده است به طوری که در حوزه بین‌المللی از سال ۲۰۰۷ شروع به بررسی این موضوع کرده‌اند. اما در حوزه داخلی توفیق چندانی در این زمینه حاصل

بر آلودگی محیط زیست و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن پرداختند و به این ترتیب شدت انرژی را نیز یک عامل مهم و مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای معرفی کردند. عالم و همکاران (۲۰۰۷) به این نتیجه دست یافتند که افزایش تولید ناخالص داخلی و استفاده از انرژی باعث افزایش آلودگی محیط زیست و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌شود. شرزهای و حقانی (۱۳۸۸) نیز مطالعه‌ای مشابه با کار عالم و همکاران انجام دادند و با تأیید یافته‌های این پژوهش، مصرف انرژی را علاوه بر تولید ناخالص داخلی، مؤثر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن دانستند. اوه و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف انرژی در اقتصاد کره جنوبی را مورد بررسی قرار دادند و در این مطالعه به نقش تعیین کننده رشد اقتصادی در تغییرات مربوط به انتشار این گاز دست یافتند.

برخی مطالعات در این زمینه فقط تأثیر مصرف انرژی بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. پرویز محمدزاده و اکرم اکبری (۱۳۹۳) گرمایش خانه‌ها با استفاده از گاز طبیعی، مصرف برق خانوارها و مصرف بنزین ناشی از حمل‌ونقل را از عوامل مؤثر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در شهرهای مختلف ایران تشخیص دادند و رابطه‌ای معنی‌دار بین این متغیرها یافتند. تول و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) در ایالات متحده آمریکا و نیز علیرضا مختار و مریم درودی (۱۳۹۴) در ایران مطالعات مشابهی در این حوزه داشتند و مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده را عاملی اثرگذار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای به خصوص گاز دی‌اکسیدکربن ارزیابی کردند.

در طی سال‌های اخیر با توجه به گسترش صنعت حمل‌ونقل مطالعاتی در حوزه آلودگی هوا با در نظرگیری عوامل حمل‌ونقلی انجام شده است. بردلی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۷) علاوه بر مصرف انرژی، انواع شیوه‌های حمل‌ونقلی و استفاده از آن‌ها را مؤثر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن تشخیص دادند. شپیر و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) تأثیر بخش حمل‌ونقل بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در کشورهای در حال توسعه آسیایی را مورد بررسی قرار دادند و

### ۲-۳ آماده‌سازی داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌ها نیاز به بررسی و پالایش متغیرها است. برای این منظور داده‌ها باید از لحاظ وجود داده‌های گمشده<sup>۷</sup> و پرت<sup>۸</sup> بررسی و تصحیح شوند. مقادیر مربوط به داده‌های گمشده به دو روش تصحیح شده که در روش اول در صورت وجود روند خاص در متغیر مذکور، مقادیر گمشده توسط درون‌یابی جایگزین شده است. در روش دوم با توجه به توزیع داده‌ها از مقادیر میانه و میانگین استفاده شده است. با توجه به ماهیت مسأله و داده‌ها، داده‌های پرت حذف نگردیده و در مدل آورده شده است.

### ۳-۳ تست‌های نرمال بودن داده‌ها

با توجه به تعدد آزمون‌های مربوطه در مدل‌سازی، متفاوت بودن ویژگی هر کدام از آن‌ها و نوع داده‌های پژوهش، بررسی نرمال بودن مجموعه داده‌ها امری ضروری است. بر همین اساس برای بررسی این موضوع از آزمون‌های چولگی و کشیدگی، شاپیرو-ویک و نمودار  $Q-Q$ <sup>۹</sup> استفاده گردید. در نهایت داده‌های استفاده شده در این پژوهش نرمال بوده و برای تحلیل باید از آزمون‌های مربوط به داده‌های نرمال استفاده شود.

### ۴-۳ مدل‌سازی

قبل از ساخت مدل باید همبستگی بین متغیرها در دو سطح همبستگی بین متغیرهای مستقل با وابسته و همبستگی بین متغیرهای مستقل با مستقل بررسی گردد که حالت مطلوب در سطح اول وجود همبستگی و در سطح دوم عدم وجود همبستگی می‌باشد.

به این منظور با توجه به نرمال بودن داده‌های استفاده شده در این پژوهش از آزمون همبستگی پیرسون<sup>۱۰</sup> استفاده شده است. براساس نتایج به دست آمده از این آزمون، همبستگی تعدادی از متغیرها معنادار نشده و از مدل حذف می‌شوند که عبارتند از طول راه‌های جاده‌ای، تعداد اتوبوس، مینی بوس و موتورسیکلت‌های پلاک شده، سن مینی بوس و کامیون.

نشده است و جای کار بسیار فراوان است. به این ترتیب هدف از این پژوهش پرکردن این خلاء اساسی و در نظرگیری مجموعه‌ای از عوامل حمل‌ونقلی علاوه بر متغیرهای اصلی گفته شده به عنوان شاخص‌های اثرگذار بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در ایران است.

### ۳. روش تحقیق

یکی از روش‌های بررسی تأثیر عوامل مختلف بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، استفاده از مدل رگرسیون خطی است. همانگونه که در پیشینه تحقیق اشاره شده است، مهمترین فاکتورهای استفاده شده برای پیش‌بینی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن، جمعیت و تولید ناخالص داخلی<sup>۶</sup> است. ولی با توجه به موضوع مورد مطالعه در این پژوهش، متغیرهای مختلف حمل و نقلی به مدل مذکور اضافه شده و بهترین مدل ممکن برای پیش‌بینی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به واسطه متغیرهای حمل و نقلی ارائه گردید.

### ۳-۱ داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش از سالنامه آماری کشور در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵، ترازنامه‌های انرژی وزارت نیرو در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴، اطلاعات حمل و انرژی کشور در سال‌های ۱۳۸۵، ۸۶ و ۸۹ و داده‌های موجود در سایت بانک جهانی اطلاعات استخراج شده است. این داده‌ها در ۱۹ ردیف از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۴ و در ۱۴ متغیر جمع‌آوری شده است که عبارتند از میزان انتشار دی‌اکسیدکربن (تن)، تولید ناخالص داخلی (دلار)، جمعیت، طول جاده‌های موجود، تعداد خودروهای پلاک شده در هر سال به تفکیک نوع آن‌ها، میانگین سن وسایل نقلیه، مصرف فرآورده نفتی به واسطه حمل و نقل (برحسب میلیون بشکه نفت خام)، تعداد خودروهای اسقاطی، طول خطوط راه‌آهن، تعداد مسافر جابجا شده ریلی (هزار نفر)، مقدار کالای جابجا شده ریلی (هزار تن)، تعداد مسافر جابجا شده جاده‌ای (هزار نفر) و مقدار کالای جابجا شده جاده‌ای (هزار تن).

## ارائه مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از حمل و نقل در ایران

X1 = تعداد خودرو اسقاطی

X2 = طول خطوط راه‌آهن

X3 = تعداد مسافر جابجا شده جاده‌ای

X4 = مقدار کالای جابجا شده ریلی

Y = انتشار گاز دی‌اکسید کربن

### ۴. نتایج مدل و تحلیل آن

پس از ساخت مدل رگرسیون خطی چند متغیره و به دست آوردن ضرایب مربوط به هر متغیر، ابتدا آزمون مربوط به ضرایب<sup>۱۶</sup> و آزمون اعتبارسنجی کل مدل<sup>۱۷</sup> انجام می‌گیرد و پس از تأیید معنادار بودن ضرایب در سطح اطمینان مورد نظر، فرضیات کلی رگرسیون خطی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مدل نهایی که در (جدول ۱) آورده شده علامت ضرایب به دست آمده به صورت کلی با شهود مطابقت دارند، بدین صورت که علامت ضریب متغیرهای تعداد مسافر جابجا شده جاده‌ای، مقدار کالای جابجا شده ریلی و طول خطوط راه‌آهن مثبت بوده و با افزایش هر کدام میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن نیز افزایش می‌یابد. همچنین علامت ضریب متغیر تعداد خودرو اسقاطی منفی به دست آمده که نشان می‌دهد با افزایش آن از میزان انتشار آلاینده دی‌اکسید کربن کاسته خواهد شد.

ضریب تعیین<sup>۱۸</sup> برای مدل به دست آمده برابر ۰,۹۸۷ است که نشان می‌دهد ۹۸,۷ درصد از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای موجود در مدل قابل توضیح است. بر اساس ضرایب استاندارد شده (جدول ۱) که اهمیت نسبی متغیرها در توضیح متغیر وابسته را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که متغیر طول خطوط راه‌آهن با ضریب ۰,۶۶۱ بیشترین تأثیر را بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن دارد و متغیرهای کالای جابجا شده ریلی، اسقاط خودرو و مسافر جابجا شده جاده‌ای به ترتیب در رده‌های بعد قرار دارند.

### ۴-۱ آزمون‌های مدل

نتایج به دست آمده از بررسی همبستگی متغیرهای مستقل با هم نشان دهنده وجود همبستگی بین برخی متغیرها است که با توجه به عدم نقض فرضیات رگرسیون، این متغیرها از مدل حذف نمی‌شوند.

داده‌های جمع‌آوری شده توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ تجزیه و تحلیل و برای تعیین مدل نیز از رگرسیون خطی چند متغیره استفاده شد. به این منظور مطابق (رابطه ۱) میزان انتشار دی‌اکسید کربن به عنوان متغیر وابسته (Y) و سایر متغیرهای مذکور، به عنوان متغیرهای مستقل (Xi) در نظر گرفته شد.

$$Y = A + B_i X_i \quad (1)$$

سپس با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی<sup>۱۱</sup> مقادیر ضرایب مربوط به هر کدام از متغیرهای مستقل به دست آمده است و در نهایت با استفاده از آزمون‌های آماری رگرسیون چند متغیره در نرم‌افزار SPSS تحلیل‌های آماری مربوطه انجام گرفت. در نهایت بهترین مدل برای تبیین متغیر وابسته ارائه شد تا بر مبنای آن بتوان نسبت به پیش‌بینی میزان انتشار دی‌اکسید کربن و سیاست‌گذاری‌های مربوطه در ایران اقدام نمود.

به این منظور در نرم‌افزار SPSS با سه روش حذف رو به عقب متغیرها<sup>۱۲</sup>، انتخاب روبه جلو متغیرها<sup>۱۳</sup>، روش گام به گام<sup>۱۴</sup> و روش وارد کردن هم‌زمان<sup>۱۵</sup>، مدل ایجاد گردید که بهترین مدل به دست آمده شامل متغیرهای مستقل جمعیت و تولید ناخالص داخلی است. ولی با توجه هدف پژوهش که بررسی عوامل مربوط به حمل و نقل در انتشار گاز دی‌اکسید کربن است، متغیرهای حمل و نقلی با استفاده از روش وارد کردن هم‌زمان، با سعی و خطا و بررسی تست‌های مربوطه وارد مدل شده و بهترین مدل به دست آمده شامل متغیرهای مستقل تعداد مسافر جابجا شده جاده‌ای، مقدار کالای جابجا شده ریلی، طول خطوط راه‌آهن و تعداد خودرو اسقاطی است. مدل نهایی به دست آمده به شرح (رابطه ۲) می‌باشد:

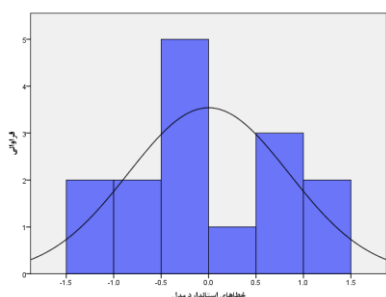
$$Y = -1.44E10 - 6917.59X_1 + 1136435.63X_2 + 27710.81X_3 + 230920.78X_4 \quad (2)$$

همان‌طور که در قسمت ۲-۳ بیان شد مدل نهایی شامل ۴ متغیر مستقل است که ضرایب هر یک از متغیرها در جدول (۱) آورده شده است. با توجه به این جدول تمامی ضرایب دارای آماره  $t$  بزرگ‌تر از مقدار بحرانی آن هستند و در سطح اهمیت ۵ درصد از نظر آماری معنادار شده‌اند.

جدول ۱. ضرایب مدل نهایی

سطح اهمیت	آماره $t$	ضرایب		مدل
		استاندارد شده	ضرایب استاندارد نشده	
		ضریب متغیر	خطای استاندارد	ضریب متغیر
۰,۰۰۰	-۷,۵۱۸		۱۹۱۲۳۳۷,۰۳۴,۱۷۵	-۱۴۳۷۶۱۰,۴۶۴۴,۷۴۹
۰,۰۱۲	-۳,۰۶۳	-۰,۱۸۰	۲۲۵۸,۵۲۳	-۶۹۱۷,۵۸۸
۰,۰۱۷	۲,۸۷۴	۰,۱۷۲	۹۶۴۲,۰۱۸	۲۷۷۱۰,۸۰۶
۰,۰۰۱	۴,۳۶۸	۰,۳۵۴	۵۲۸۶۲,۳۶۳	۲۳۰۹۲۰,۷۸۲
۰,۰۰۰	۸,۲۸۱	۰,۶۶۱	۱۳۷۲۴۱,۲۵۰	۱۱۳۶۴۳۵,۶۳۰

است که خطاهای مدل از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس محدود تبعیت کنند. برای این منظور نمودار فراوانی خطاها در (شکل ۱) رسم شده که نشان دهنده عدم رد این فرض در مدل ساخته شده است.



شکل ۱. نمودار فراوانی خطاهای مدل

نمودار خطا بر حسب هر یک از متغیرها در این مرحله رسم می‌شود تا مشاهده شود الگوی خاصی برای نوسان خطاها وجود ندارد. وجود الگو در این نمودارها می‌تواند نشان‌دهنده ناهمگونی واریانس‌ها یا غیر خطی بودن تاثیر یک متغیر باشد. در (شکل ۲) نمودار خطا در برابر هر یک از ۴ متغیر مستقل و متغیر وابسته رسم شده و الگوی خاصی در هیچ یک از آنها مشاهده نشده است.

آزمون بعدی که اعتبار کل مدل و ضرایب آن را بررسی می‌کند آزمون تحلیل واریانس‌ها<sup>۱۹</sup> است. مقدار آماره  $F$  برابر ۲۵۹,۸ و بسیار بزرگ‌تر از مقدار بحرانی آن است. بنابراین مدل معتبر است و ضرایب به دست آمده قابلیت مناسبی برای پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته دارند.

لازم به ذکر است بر اساس وجود همبستگی بین متغیرهای مستقل، بالا بودن مقدار ضریب تعیین مدل، نزدیک بودن آماره  $t$  به مقدار بحرانی خود و همچنین سری زمانی بودن داده‌ها، بین متغیرهای مستقل مدل پدیده هم‌خطی<sup>۲۰</sup> وجود دارد که این موضوع ناقض فرضیات رگرسیون خطی نیست.

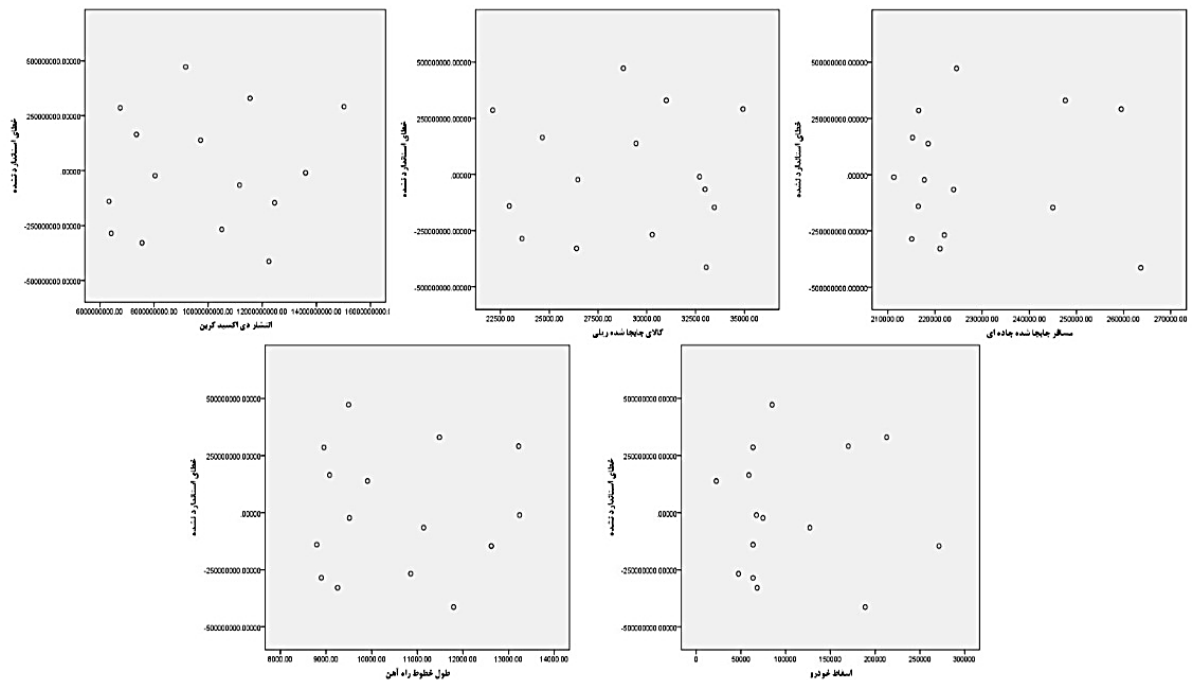
#### ۴-۲ فرضیات رگرسیون خطی

بعد از ساخت مدل و انجام آزمون‌های مربوط به ضرایب، باید بررسی گردد که آیا مدل ساخته شده فرضیات ایجاد مدل به روش حداقل مربعات خطای معمولی را نقض می‌کند یا خیر. این فرضیات در ۳ دسته تحلیل خطای مدل، خود همبستگی<sup>۲۱</sup> متغیرها و ناهمگونی واریانس‌ها<sup>۲۲</sup> مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

#### ۴-۳ تحلیل خطا

خطای مدل برابر اختلاف مقدار مشاهده شده و مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل است. یکی از فرضیات اصلی رگرسیون این

## ارائه مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از حمل و نقل در ایران

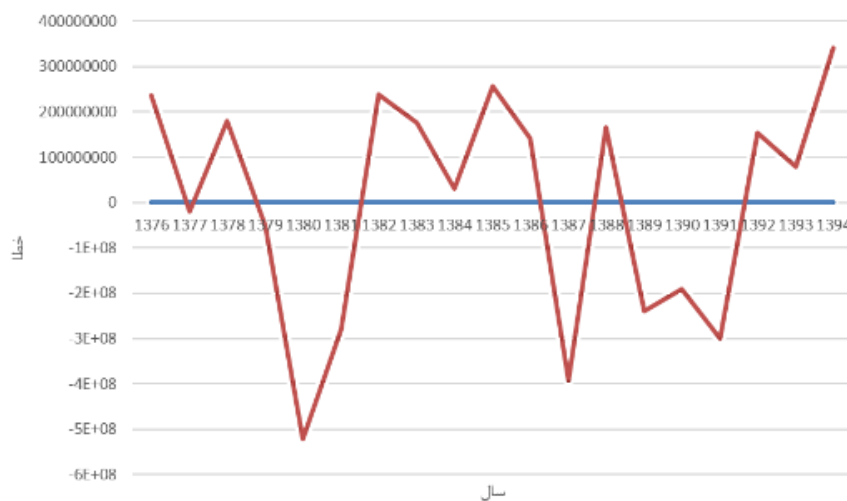


شکل ۱. نمودار خطی غیر استاندارد برحسب متغیرهای مدل

خطا در مقابل زمان رسم می‌شود و خطاها نباید در طول زمان از روند خاصی مانند روند افزایشی یا کاهشی پیروی کنند. (شکل ۳) نمودار سری زمانی خطاهای موجود در مدل نهایی را نشان می‌دهد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود این مقادیر تنها در اطراف صفر در حال نوسان هستند و دارای روند کلی صعودی یا نزولی نیستند.

### ۴-۴ خود همبستگی متغیرها

خود همبستگی در یک متغیر بدین معنی است که مقدار آن در یک مرحله مکانی یا زمانی، به مقدار آن متغیر در مرحله قبل وابسته باشد و متغیرها نباید دارای خود همبستگی باشند. بررسی خود همبستگی متغیرها در مدل ساخته شده در این پژوهش با دو رویکرد انجام گرفته است. در رویکرد نخست، نمودار مقدار



شکل ۲. نمودار سری زمانی خطاهای مدل

یکی از عوامل آلودگی هوا گازهای گلخانه‌ای است و پیامدهای مخربی بر محیط زیست دارد. از طرفی ۲۹ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل و نقل است که گاز دی‌اکسید کربن ۹۵ درصد آن را تشکیل می‌دهد. بر این اساس مطالعات و پژوهش‌های متعددی در زمینه عوامل مؤثر بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن انجام شده است تا بتوان با پیش‌بینی مقدار انتشار این گاز و عوامل ایجاد کننده آن، سیاست‌هایی در جهت کاهش سهم این گاز در آلودگی محیط زیست اتخاذ نمود. بررسی این موضوع در ایران بیشتر با در نظر گیری عوامل غیر حمل و نقلی نظیر جمعیت، تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی صورت گرفته و ارزیابی عوامل مرتبط با حمل و نقل ضروری به نظر می‌رسد. از این جهت در این پژوهش داده‌های مربوط به حمل و نقل نیز در کنار متغیرهای اقتصادی و اجتماعی جمع‌آوری و برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت.

در ادامه با استفاده از روش رگرسیون خطی چند متغیره، مدلی برای پیش‌بینی میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن به واسطه متغیرهای مذکور ساخته شد. در نهایت متغیرهای تعداد مسافر جابجا شده جاده‌ای، مقدار کالای جابجا شده ریلی، طول خطوط راه‌آهن و تعداد خودرو اسقاطی به عنوان عوامل تأثیرگذار بر انتشار این گاز شناخته شد. ضریب تعیین مدل نهایی برابر ۰,۹۸۷ به دست آمد که نشان دهنده تبیین مناسب میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن توسط متغیرهای موجود است. پس از ساخت مدل، آزمون‌های مربوط به فرضیات اصلی رگرسیون خطی انجام شد و صحت تمامی فرضیات مورد تأیید قرار گرفت. ضرایب استاندارد شده مدل برای قضاوت در مورد اهمیت نسبی متغیرها نشان می‌دهد متغیر طول خطوط راه‌آهن با ضریب استاندارد ۰,۶۶۱ بیشترین تأثیر را در انتشار این گاز دارد.

طبق ارزیابی انجام شده، مدل به دست آمده با میانگین خطای ۳,۱۴۳ درصد می‌تواند مقادیر انتشار را پیش‌بینی کند.

## ۶. پی‌نوشت‌ها

1. Shi
2. Oh et al

در رویکرد دوم از آماره دوربین-واتسون<sup>۳۳</sup> استفاده شده است که برای تشخیص خود همبستگی در خطاها به کار می‌رود. مقدار این آماره همواره بین ۰ تا ۴ تغییر می‌کند و مقادیر بین ۱,۵ تا ۲,۵ به معنی عدم وجود خود همبستگی است. مقدار این آماره برای مدل نهایی ارائه شده در این پژوهش برابر ۲,۲۶ به دست آمده و نشان‌دهنده عدم وجود خود همبستگی بین خطاها است.

## ۴-۵ ناهمگونی واریانس‌ها

این فرضیه بیانگر ثابت بودن واریانس متغیرهای مستقل موجود در مدل، در سطوح مختلف است. برای بررسی وجود یا عدم وجود ناهمگونی واریانس‌ها آزمون‌های بسیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد که برخی تنها برای داده‌های نرمال و برخی بدون محدودیت توزیع داده‌ها به کار می‌روند. در این پژوهش از دو آزمون گلدفلد-کانت<sup>۳۴</sup> و بروژ-پیگن<sup>۳۵</sup> استفاده شده است. لازم به ذکر است که فرضیه صفر هر دو آزمون همگونی واریانس‌ها است.

مقدار آماره آزمون گلدفلد-کانت حاصل برابر ۱,۹۵ خواهد بود که بسیار کوچک‌تر از مقدار بحرانی آن یعنی ۶۴۷ است و در نتیجه فرضیه صفر رد نشده و فرض همگونی واریانس‌ها در رگرسیون برقرار است.

آزمون بروژ-پیگن نیز بر اساس آماره‌ای با توزیع مجذور کای<sup>۳۶</sup> انجام می‌گیرد که مقدار آماره  $p$  در این آزمون برابر ۰,۸۸۸ به دست آمده و بنابراین فرضیه صفر رد نمی‌شود و فرض اصلی رگرسیون برقرار است.

## ۴-۶ ارزیابی مدل

از ۱۹ ردیف داده جمع‌آوری شده، ۱۵ ردیف داده به صورت تصادفی برای ساخت مدل انتخاب شد و ۴ ردیف باقی‌مانده برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. میانگین اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده برای ۴ ردیف داده برابر ۳,۱۴۳ درصد به دست آمده که مقدار قابل قبولی برای پیش‌بینی میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از حمل و نقل است.

## ۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

## ارائه مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از حمل‌ونقل در ایران

های تابلویی»، اقتصاد انرژی ایران (اقتصاد محیط زیست و انرژی) دوره ۲ شماره ۶: ۱۲۹-۱۵۰، ۱۳۹۲.

- غ. شرزهی، م. حقانی. «بررسی رابطه علیت میان انتشار کربن و درآمد داخلی با تاکید بر نقش مصرف انرژی»، مجله تحقیقات اقتصادی، ۶۸، ۷۵-۹۰، سال ۱۳۸۸.

- پ. محمدزاده و ا. اکبری. «بررسی عوامل تعیین کننده انتشار دی‌اکسیدکربن توسط خانوارهای شهری: کاربرد مدل‌های همگن» ۵۹-۸۲.

- ع. مختار و م. درودی، «بررسی همبستگی بین میزان مصرف سوخت های فسیلی بخش های مختلف مصرف کننده انرژی با میزان انتشار گازهای گلخانه ای»، سومین کنفرانس بین المللی مدیریت و مهندسی صنایع، تهران، دانشگاه مقدس اردبیلی، ۱۳۹۴.

- ع. ناجی میدانی و آ. داودی. «تحلیل تجزیه ای شاخص انتشار ترکیبات کربن (دی اکسیدکربن و منوکسید کربن) در بخش های حمل و نقل و زیربخشهای آن در ایران طی سالهای (۹۰-۱۳۷۸)» پژوهش ها و سیاست های اقتصادی ۲۳، ۱۳۹۴.

- Lashof, D. A., & Ahuja, D. R. (1990), "Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming". *Nature*, 344(6266), 529.

- Hodges, T (2010), "Public Transportation's Role in Responding to Climate Change", U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration.

- Shi, A. (2001); "Population growth and global carbon dioxide emissions", Paper to be presented at IUSSP Conference in Brazil/sessions09, pp. 1-39.

3. Tol et al
4. Bradley et al
5. Schipper et al
6. Gross domestic product (GDP)
7. Missing values
8. Outliers
9. Q-Q plot
10. Pearson correlation coefficient
11. Ordinary least square(OLS)
12. Backward
13. Forward
14. Stepwise
15. Enter
16. T-test
17. F-test
18. R square
19. Analysis of Variances (ANOVA)
20. Multicollinearity
21. Autocorrelation
22. Heteroscedasticity
23. Durbin Watson statistic
24. Goldfeld Quandt test
25. Breusch-Pagan
26. Chi square

## ۷. مراجع

- س. بهرامی، ج. رضائی، ح. حیدرزاده و ف. پوراصغر سنگاچین. «بررسی رابطه همبستگی میزان انتشار دی اکسید کربن با جمعیت، نرخ شهرنشینی و تولید ناخالص داخلی در ایران با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره»، فصلنامه مطالعات محیط زیست جلد ۱، ۱۳۹۶.

- الف. صالح، ز. شعبانی، ح. سادات باریکانی و س. یزدانی. «بررسی رابطه علیت بین تولید ناخالص داخلی و حجم گازهای گلخانه ای در ایران (مطالعه موردی گاز دی اکسیدکربن)»، اقتصاد کشاورزی و توسعه. شماره ۶۶ صفحه ۱۹-۴۱، ۱۳۸۸.

- ف. فلاحی و ص. حکمتی فرید. «بررسی عوامل موثر بر میزان انتشار گاز دی اکسیدکربن در استان های کشور (رهیافت داده

- Bradley MJ. (2007), "Comparison of energy use & CO2 emissions from different transportation modes", Report to American Bus Association.
- Schipper, L., Fabian, H., & Leather, J. (2009); "Transport and Carbon Dioxide Emissions: Forecasts, Options Analysis and Evaluation", ADB Sustainable Development, Working paper series, pp. 1-41.
- Pinchasik, D. R., Hovi, I. B., Vierth, I., Mellin, A. (2019), "Reducing CO2 emissions from freight." Copenhagen: Nordic Council of Ministers.
- Shaista, A., Ambreen F. & Butt, M. (2007), "sustainable development in pakistan in the context of energy consumption demand and environmental degradation", Journal of Asian Economics, vol 18, pp. 825- 837.
- Oh, I., Wehrmeyerb, W., & Mulugetta, Y. (2010); "Decomposition analysis and mitigation strategies of CO2 emissions from energy consumption in South Korea", Energy Policy, 38, 364-377.
- Tol, S., Richard, J., Pacala, W., Socolow, S. (2006), "Understanding long-term energy use and carbon dioxide emissions in the USA", Humborg University.