

## A study on the diurnal and seasonal formaldehyde's concentration variations in ambient air of Enghelab Square region in Tehran, 2014-2015

### ABSTRACT

**Background & objective:** Formaldehyde is one of the most important aldehydes in ambient air which originates from vehicles and photochemical processes. Because of the importance of this pollutant in public health, in this study, we addressed the concentration level in coupled with daily and cross sectional variation of formaldehyde in the high traffic area of Enghelab Square in Tehran. Also the effect of meteorological parameters on variation of formaldehyde concentration was determined.

**Materials & Methods:** This cross-sectional study was done in Enghelab Square placed in the district 6 of Tehran in December, January and February (period 1) and April, May and June (period 2) in 2014-2015. To measure the concentration of formaldehyde, the chromotropic acid method was used. Samples were analyzed by spectrophotometer Perkin Elmer UV-Vis LAMBDA 25 at wavelength 580nm.

**Results:** The results show that there is a significant difference between the formaldehyde concentration on Fridays and that in other days during a week (T-test,  $p < 0.05$ ). The average concentration of formaldehyde in the period 2 of sampling was higher than that in the period 1 by 6.5 ppb. A significant positive correlation was found between temperature and humidity parameters and formaldehyde's concentration with correlation coefficients of 0.457 and 0.338 respectively, and also pressure parameter with correlation coefficient of 0.1 showed no significant correlation between formaldehyde concentration variations. Furthermore, formaldehyde concentrations were increased under inversion conditions.

**Conclusion:** The formaldehyde concentration on Fridays in comparison with other days is lower. This can be due to the low traffic volume on Fridays. Moreover, increasing formaldehyde concentration in the period 2 in comparison to period 1 is the result of intensifying photochemical processes in the warm months. Also the effect of temperature, humidity and inversion condition on increasing the concentration of formaldehyde show the importance of meteorological conditions in formaldehyde concentration variations.

**Keywords:** Formaldehyde, Photochemical processes, Chromotropic acid, Tehran city

► **Citation:** Salari M, Nazmara SH, Naddafi K, Dehghani M.H. A study on the diurnal and seasonal formaldehyde's concentration variations in ambient air of Enghelab Square region in Tehran, 2014-2015. *IraNiaN Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2016;2 (1) : 20-28.

#### Mehdi Salari

M.Sc. student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

#### Shahrokh Nazmara

Instructor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

#### Kazem Naddafi

Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

#### Mohammad Hadi Dehghani

\*Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. (Corresponding Author)  
hdehghani@tums.as.ir

Received: 13 January 2016

Accepted: 9 April 2016

## بررسی تغییرات روزانه و فصلی غلظت فرمالدئید در هوای آزاد منطقه میدان انقلاب شهر تهران در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳

### چکیده

**زمینه و هدف:** فرمالدئید یکی از آلدئیدهای مهم در هوای آزاد به شمار می‌رود که از وسایل نقلیه و فرآیندهای فتوشیمیایی منشأ می‌گیرد. به دلیل اهمیت این آلاینده از نظر بهداشتی، مطالعه حاضر با هدف بررسی سطوح و تغییرات روزانه و مقطعی این آلاینده در منطقه پرتراфик میدان انقلاب واقع در شهر تهران و تأثیر پارامترهای هواشناسی بر تغییرات غلظت این آلاینده انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه توصیفی-مقطعی در ماه‌های دی و بهمن سال ۱۳۹۳ (دوره ۱) و ماه‌های اردیبهشت و خرداد سال ۱۳۹۴ (دوره ۲) در منطقه میدان انقلاب واقع در منطقه ۶ شهر تهران انجام گرفت. برای سنجش غلظت فرمالدئید از روش کورموتروپیک اسید استفاده شد و نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتری PerkinElmer LAMBDA مدل ۲۵ UV/Vis در طیف موجی ۵۸۰ Nm تعیین غلظت شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای SPSS (آزمون‌های T-test و کورولیشن) و Excel (رسم نمودار) انجام گردید.

**یافته‌ها:** غلظت فرمالدئید در روزهای جمعه در مقایسه با سایر روزهای هفته اختلاف معناداری داشت ( $p < 0/05$ ). آزمون تی مستقل). میانگین غلظت فرمالدئید در دوره ۲ از نمونه‌برداری به میزان ۶/ppb بیشتر از دوره ۱ بود ( $p < 0/05$ ). آزمون تی جفت شده). پارامترهای دما و رطوبت با ضریب کورولیشن‌های ۰/۴۵۷ و ۰/۳۳۸ دارای ارتباط معنادار و پارامتر فشار با ضریب کورولیشن ۰/۱ بدون ارتباط با تغییرات غلظت فرمالدئید بودند. همچنین غلظت فرمالدئید در شرایط اینورژن افزایش یافت.

**نتیجه‌گیری:** غلظت فرمالدئید در روزهای جمعه نسبت به سایر روزهای هفته دارای مقادیر کمتری می‌باشد که می‌تواند به دلیل کاهش حجم ترافیک در روزهای جمعه باشد. همچنین افزایش غلظت فرمالدئید در دوره ۲ (ماه‌های اردیبهشت و خرداد) نسبت به دوره ۱ (ماه‌های دی و بهمن) از نمونه‌برداری به دلیل تشدید فرآیندهای شیمیایی در ماه‌های گرم سال می‌باشد. همچنین تأثیر دما، رطوبت و شرایط وارونگی دما بر افزایش غلظت فرمالدئید، اهمیت شرایط هواشناسی بر تغییرات غلظت فرمالدئید را نشان می‌دهد.

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**کلیدواژه‌ها:** فرمالدئید، فرآیندهای فتوشیمیایی، کورموتروپیک اسید، شهر تهران

### مهدی سالاری

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

### شاهرخ نظم‌آرا

مربی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

### کاظم ندافی

استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

### محمدهادی دهقانی

\*استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.  
(نویسنده مسئول) hdeghaNi@tums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۲۱

◀ **استناد:** سالاری م، نظم‌آرا ش، ندافی ک، دهقانی م ه. بررسی تغییرات روزانه و فصلی غلظت فرمالدئید در هوای آزاد منطقه میدان انقلاب شهر تهران در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۳۹۵؛ ۲(۱): ۲۰-۲۸.

## مقدمه

امروزه آلودگی هوا در محیط‌های بیرونی به عنوان یکی از مسائل مهم زیست محیطی به شمار می‌رود که از اهمیت بالایی برخوردار است. درک بشر به طور روزافزون در ارتباط با اثرات بهداشتی آلودگی هوا بر سلامت بشر و خطرات آن افزایش یافته است (۱). آلودگی فرمالدئید در محیط زیست به دلیل اثرات سوء بهداشتی بر انسان توجه زیادی را به خود جلب کرده است (۲). فرمالدئید به عنوان یکی از مهم‌ترین زیرمجموعه‌های خانواده آلدئیدها می‌باشد که در اتمسفر محیط‌های داخلی و بیرونی وجود دارد. این ترکیب به منظور بررسی و تعیین ظرفیت اکسیداسیون اتمسفری در نظر گرفته می‌شود که بسیار سمی، محرک و اشتعال‌پذیر می‌باشد (۴، ۳). وسایل نقلیه مهم‌ترین منبع تولید ترکیبات کربونیل از جمله فرمالدئید در مناطق شهری می‌باشند که با توجه به فرمولاسیون سوخت، میزان اکسیژن مورد نیاز احتراق، مقدار اتانول و متانول موجود در سوخت، میزان فرمالدئید متفاوتی را تولید خواهند کرد (۵، ۶). در میان دسته‌بندی‌های ترکیبات آلی که در آلودگی فتوشیمیایی هوا نقش دارند، آلدئیدها از مهم‌ترین ترکیبات آلی می‌باشند که از اکسیداسیون بالقوه هیدروکربن‌ها و ترکیبات آلی فرار تولید شده، و به عنوان یکی از منابع مهم رادیکال‌های آزاد به شمار می‌آیند (۷). فرآیندهای فتوشیمیایی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع ثانویه تولید و حذف این گاز از اتمسفر محسوب می‌شوند (۸). فرمالدئید باعث عوارضی از جمله تحریک چشم، تحریک دستگاه تنفسی، پوست و لایه موکوزی چشم می‌شود و در صورت مواجهه مداوم با این گاز، احتمال ایجاد سرطان در انسان وجود دارد (۹، ۴). سازمان سم‌شناسی ملی آمریکا و آژانس بین‌المللی تحقیقاتی سرطان بر اساس مطالعات اپیدمیولوژیکی که در خصوص اثرات بهداشتی فرمالدئید انجام شده است، این گاز را به عنوان یکی از عوامل ایجاد کننده سرطان خون معرفی کرده‌اند (۱۰). غلظت فرمالدئید در هوای آزاد بدون منابع تولید کننده این گاز کمتر از ۱ ppb می‌باشد، درحالی‌که غلظت این گاز در محیط‌های شهری در محدوده ۲۵-۱ ppb گزارش شده

است (۱۱، ۱۲). غلظت این گاز در ترافیک‌های سنگین و یا در شرایط وارونگی دمایی می‌تواند تا  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  افزایش یابد (۱۳). غلظت  $0.3 \text{ mg}/\text{m}^3$  فرمالدئید، بعنوان حداکثر میزان مواجهه مجاز در هوای آزاد گزارش شده است (۱۴). در مطالعه کرون- برتون و همکاران (۲۰۱۵) که به بررسی تغییرات فصلی و روزانه ترکیبات کربونیل و آلاینده‌های معیار هوا در موتتری مکزیک پرداختند، غلظت فرمالدئید در فصل بهار و زمستان به ترتیب  $35/74$  و  $33/67 \text{ ppb}$  گزارش شد (۱۵). همچنین در مطالعه گرانبی و همکاران (۱۹۹۷) که در کپنهاگ کشور دانمارک انجام شد، غلظت فرمالدئید در فصل زمستان  $2/6 \pm 0/7 \text{ ppb}$  گزارش شد (۸). تاکنون مطالعه‌ای در کلان شهر تهران در ارتباط با مقادیر غلظت فرمالدئید در هوای آزاد این شهر انجام نشده است. انتظار می‌رود که غلظت فرمالدئید در هوای آزاد شهر مورد مطالعه به دلیل بار ترافیکی بالای وسایل نقلیه دارای مقادیر قابل توجهی باشد. از آنجایی‌که این ترکیب می‌تواند اثرات زیان‌باری بر سلامت انسان به همراه داشته باشد، اهمیت سنجش و آگاهی از غلظت‌های مواجهه با این آلاینده در هوای آزاد این شهر ضرورت پیدا می‌کند، لذا مطالعه حاضر با هدف اندازه‌گیری غلظت فرمالدئید در منطقه مرکز شهر تهران (محدوده میدان انقلاب) در ماه‌های دی و بهمن برای فصل زمستان (دوره ۱) و ماه‌های اردیبهشت و خرداد برای فصل بهار (دوره ۲) و بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی (دما، رطوبت و فشار) بر تغییرات غلظت فرمالدئید انجام شد.

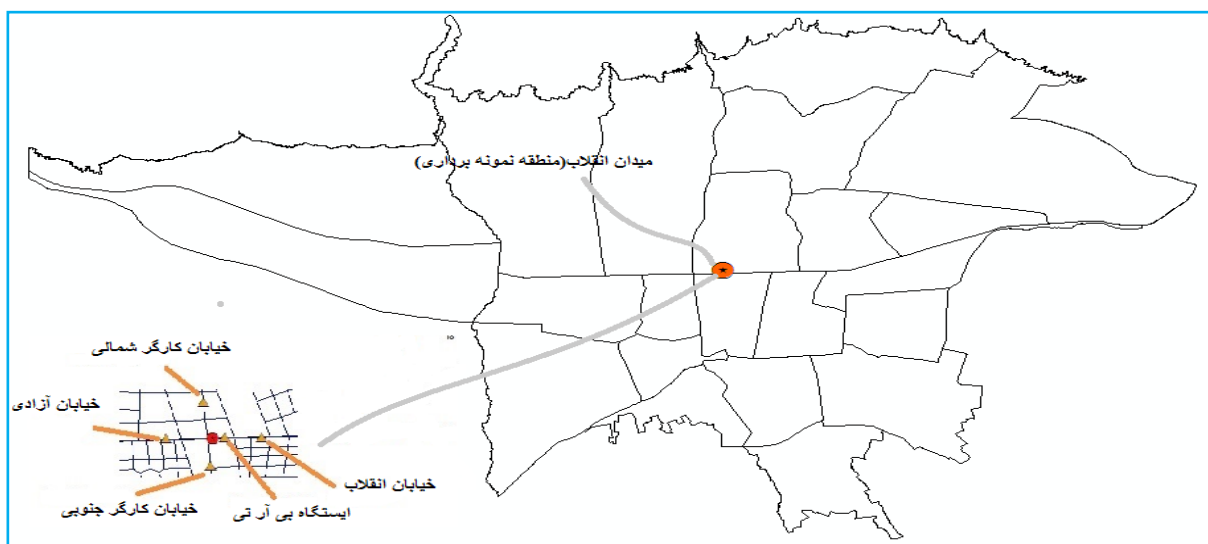
## مواد و روش‌ها

این مطالعه توصیفی- مقطعی در ماه‌های دی و بهمن سال ۱۳۹۳ و اردیبهشت و خرداد سال ۱۳۹۴ در منطقه میدان انقلاب شهر تهران که دارای عرض و طول جغرافیایی به ترتیب  $35^{\circ}42'$  و  $51^{\circ}23'$  می‌باشد، انجام گرفت. تعداد نمونه گرفته شده در مجموع دو فصل ۲۰ نمونه با فواصل نمونه‌برداری ۶ روزه بود. همچنین پارامترهای دما، رطوبت و فشار برای هر بار نمونه‌برداری در منطقه مورد

مطالعه با استفاده از دستگاه LotroNHumidity/Barometer/Temp. Meter مدل PHB۳۱۸ اندازه‌گیری شد (جدول ۱). منطقه نمونه‌برداری به همراه بخش‌هایی که دارای حجم ترافیک بالای وسایل نقلیه می‌باشند، در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. میانگین دما، رطوبت و فشار در دوره ۱ و ۲ از زمان نمونه برداری

| منطقه نمونه‌برداری | فصل                       | دما (C°) | رطوبت (%RH) | فشار (atm)  |
|--------------------|---------------------------|----------|-------------|-------------|
| میدان انقلاب       | دوره ۱ (دی و بهمن)        | ۹/۱±۲/۰۷ | ۳۳±۰/۰۷     | ۰/۸۶۶±۰/۰۰۱ |
|                    | دوره ۲ (اردیبهشت و خرداد) | ۲۴/۲±۳/۷ | ۱۹±۰/۰۷۱    | ۰/۸۶۵±۰/۰۰۲ |



شکل ۱. موقعیت منطقه نمونه برداری از هوا جهت تعیین غلظت فرمالدئید به همراه خیابان‌های پر ترافیک منتهی به مکان نمونه برداری

بی‌سولفیت سدیم در ورودی ایمپینجر که جریان هوا ابتدا از آن عبور می‌کند، تعبیه شد. پس از اتمام نمونه‌گیری، نمونه‌ها به ظروف پلی‌اتیلن ریخته و به آزمایشگاه انتقال یافت. از هر ظرف به مقدار ۴ ml نمونه برداشته و به ارلن ۲۵ ml انتقال داده شد. سپس از معرف اسید کورموتوروپیک ۱ درصد به مقدار ۰/۱ ml به نمونه اضافه و کاملاً هم زده شد. در مرحله بعد مقدار ۶ ml اسیدسولفوریک ۹۷ درصد در زیر هود به ارلن اضافه و به آرامی هم زده شد و برای مدت زمان ۱۵ دقیقه در حمام بخار به دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. سپس نمونه در مجاورت هوای محیطی قرار داده شد تا کاملاً سرد و به دمای محیط برسد که به مدت ۲ ساعت به طول انجامید. برای سنجش غلظت فرمالدئید از اسپکتروفتومتر PerkinElmer UV/Vis مدل LAMBDA

مواد مورد مصرف در این مطالعه شامل بی‌سولفیت سدیم ۳۹ درصد، فرمالین ۳۷ درصد، اسید کورموتوروپیک، اسیدسولفوریک ۹۷-۹۵ درصد و فیلترهای Polytetrafluoroethylene PTFE با پر سایز ۰/۳ میکرون بود که از شرکت مرک خریداری شد.

### روش نمونه‌گیری و آنالیز

برای نمونه‌برداری از پمپ نمونه‌برداری SKC-DELUXE, USA، کالیبره شده توسط دستگاه حباب صابون با دبی ۱ L/min برای حجم نمونه ۱۸۰ لیتر استفاده شد. به منظور جذب فرمالدئید به‌طور کامل و مؤثر از دو ایمپینجر به صورت سری استفاده شد که مقدار ۲۰ ml محلول بی‌سولفیت سدیم ۱ درصد به هر ایمپینجر اضافه شد. فیلتر PTFE به منظور جلوگیری از ورود ذرات به درون جاذب

پارامترهای هواشناسی بر تغییرات غلظت فرمالدئید از آزمون اسپیرمن - کورولیشن استفاده شد.

### یافته‌ها

#### الف: تغییرات غلظت فرمالدئید در روزهای نمونه‌برداری

در بررسی غلظت فرمالدئید در روزهای نمونه‌برداری، غلظت این آلاینده در روزهای جمعه نسبت به سایر روزهای هفته اختلاف معناداری داشت ( $p < 0.05$ )؛ به طوری که غلظت فرمالدئید در روزهای جمعه به طور میانگین به میزان  $13/ppb$  نسبت به سایر روزهای هفته کاهش داشت (جدول ۲). همانطور که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، کمترین غلظت‌های فرمالدئید در روزهای جمعه (۱۹ دی و ۲۵ اردیبهشت) با مقادیر ۹ و ۱۰  $ppb$  و بیشترین غلظت فرمالدئید در روزهای ۷ بهمن و ۱۲ خرداد به ترتیب با مقادیر ۳۰ و ۳۲  $ppb$  سنجیده شد.

۲۵ در طول موج  $580\text{ Nm}$  با کویوت  $1\text{ cm}$  استفاده شد. نمونه های بلانک در هر بار نمونه‌برداری به همراه سایر وسایل به منطقه نمونه‌برداری انتقال داده شد و تحت شرایط نمونه‌گیری قرار گرفت تا میزان اختلاف آن از نمونه‌های اصلی کم شود و غلظت واقعی فرمالدئید موجود در هوا به دست آید. به منظور سنجش غلظت فرمالدئید از فرمول ۱ استفاده شد. نمادهای  $M_f$ ،  $M_b$ ،  $M_B$  و  $V$  به ترتیب نشان‌دهنده مقدار میکروگرم غلظت فرمالدئید موجود در ایمپینجر جلو، پشت، بلانک و حجم هوا نمونه‌گیری شده برحسب لیتر می‌باشد (۱۶).

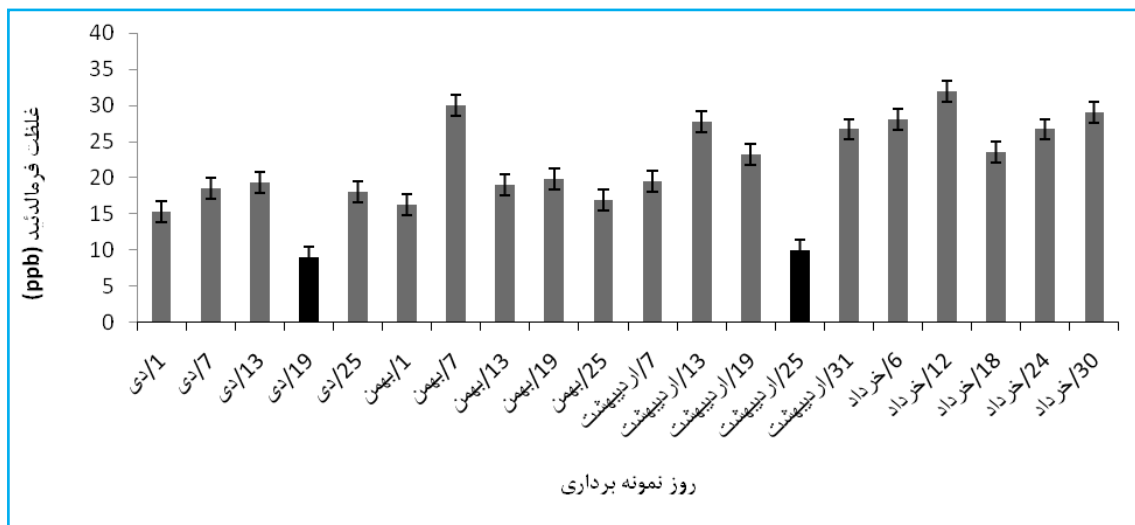
$$C \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} \right) = \frac{M_f + M_b - 2M_B}{V} \quad (1)$$

به منظور مقایسه غلظت فرمالدئید در روزهای جمعه نسبت به سایر روزهای هفته از آزمون تی تست مستقل، جهت مقایسه غلظت فرمالدئید در دوره ۱ و دوره ۲ از زمان‌های نمونه‌برداری از آزمون تی تست نمونه‌های جفت شده و جهت بررسی تأثیر

جدول ۲. مقایسه میانگین غلظت فرمالدئید در روزهای جمعه نسبت به سایر روزهای هفته

| سطح معنی‌داری* | حدود اطمینان ۹۵٪ |          | اختلاف میانگین | سایر روزها                 | جمعه          |
|----------------|------------------|----------|----------------|----------------------------|---------------|
|                | حد بالا          | حد پایین |                | میانگین $\pm$ انحراف معیار |               |
| $< 0.05$       | ۲۱/۳۳            | ۵/۵۷     | ۱۳/۱           | $22/6 \pm 5$               | $9/5 \pm 0/6$ |

\*آزمون تی مستقل



نمودار ۱. تغییرات روزانه غلظت فرمالدئید در منطقه نمونه‌برداری

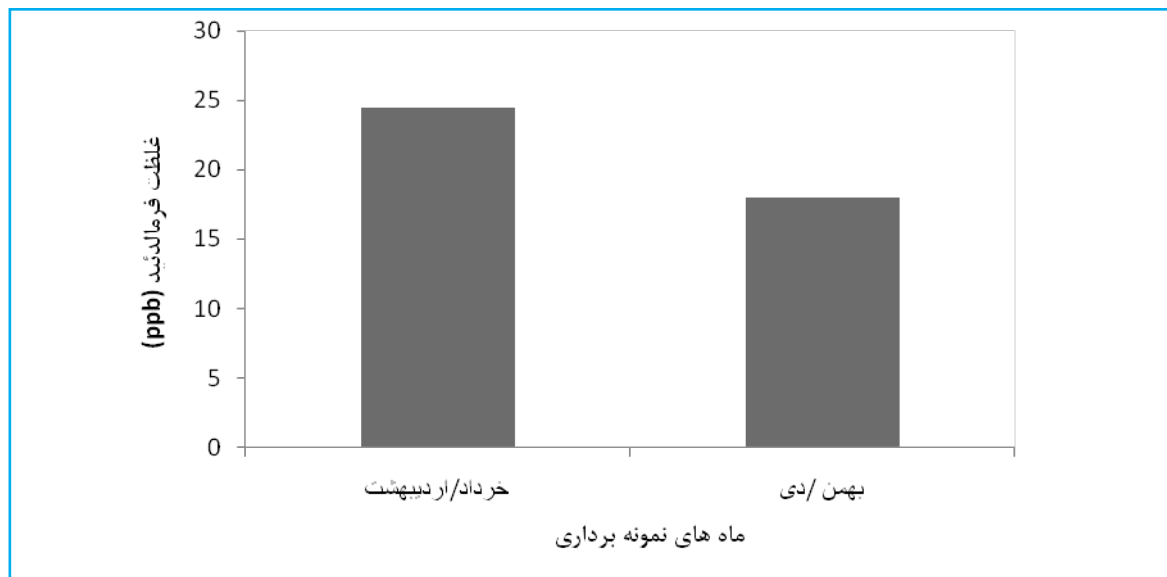
حدود اطمینان  $-۳/۵$ ،  $-۹/۱۳$ ). غلظت فرمالدئید در دوره ۲ از زمان نمونه‌برداری به‌طور متوسط  $۶/۵$  ppb بیشتر از غلظت فرمالدئید در دوره ۱ بود که این تفاوت در نمودار ۲ کاملاً مشهود است و این نتایج، شانسی بودن اختلاف غلظت فرمالدئید در این دو دوره از زمان نمونه‌برداری را رد می‌کند (جدول ۳).

**ب: تغییرات غلظت فرمالدئید در ماه‌های دی و بهمن نسبت به ماه‌های اردیبهشت و خرداد**  
میانگین غلظت فرمالدئید در دو ماه دی و بهمن، مقدار  $۱۸$  ppb و در دو ماه اردیبهشت و خرداد، مقدار  $۲۴$  ppb به‌دست آمد که اختلاف معناداری در غلظت فرمالدئید در دوره ۱ از زمان نمونه‌برداری نسبت به دوره ۲ مشاهده شد. ( $p < ۰/۰۵$ )

جدول ۳. مقایسه میانگین غلظت فرمالدئید در دوره ۱ و دوره ۲ از زمان نمونه‌برداری

| سطح<br>معنی‌داری* | ضریب<br>کوریولیشن | حدود اطمینان ۹۵٪ |          | اختلاف میانگین | بهار                       | زمستان     |
|-------------------|-------------------|------------------|----------|----------------|----------------------------|------------|
|                   |                   | حد بالا          | حد پایین |                | میانگین $\pm$ انحراف معیار |            |
| $< ۰/۰۵$          | $۰/۷۷۵$           | $-۳/۵$           | $-۹/۱$   | $-۶/۵$         | $۲۴/۵ \pm ۶$               | $۱۸ \pm ۵$ |

\* آزمون تی جفت شده



نمودار ۲. مقایسه میانگین غلظت فرمالدئید در دوره ۱ و دوره ۲ از زمان نمونه‌برداری

جدول ۴. ارتباط بین پارامترهای هواشناسی (دما، فشار و رطوبت) با تغییرات غلظت فرمالدئید

| متغیر         | دما ( $^{\circ}C$ ) | رطوبت (%RH) | فشار (atm)  |
|---------------|---------------------|-------------|-------------|
| کوریولیشن     | $۰/۴۵۷$             | $۰/۳۳۸$     | $۰/۱$       |
| سطح معنی‌داری | $p < ۰/۰۵$          | $p < ۰/۰۵$  | $p = ۰/۶۷۵$ |

**ج: ارتباط بین شرایط هواشناسی و تغییرات غلظت فرمالدئید**  
به منظور بررسی ارتباط پارامترهای جوی در تغییرات غلظت فرمالدئید از آزمون کوریولیشن استفاده شد. بر اساس نتایج این آزمون در جدول ۴، پارامتر دما و رطوبت ارتباط معناداری با تغییرات غلظت فرمالدئید داشتند؛ به‌طوری‌که ضریب همبستگی این ارتباط برای دما  $۰/۴۵۷$  و برای رطوبت  $۰/۳۳۸$  به‌دست آمد. این در حالی است که ارتباط معناداری بین تغییرات فشار و غلظت فرمالدئید مشاهده نشد.

### بحث

منابع تولید فرمالدئید در محیط‌های بیرونی به دو دسته انتشار

مستقیم (که در اثر احتراق ناقص سوخت‌های بنزینی، دیزلی و بیومس تولید می‌شود) و انتشارات ثانویه (که مربوط به فرآیندهای فتوشیمیایی و اکسیداسیون ترکیبات آلی فرار در اتمسفر می‌باشند)، تقسیم می‌شوند (۱۷). در مطالعه حاضر در روزهای جمعه به دلیل تعطیلی، یک کاهش حجم ترافیکی برای زمان نمونه‌برداری نسبت به سایر روزهای هفته مشاهده شد. با توجه به کاهش معنادار غلظت فرمالدئید در روزهای جمعه نسبت به سایر روزهای هفته، می‌توان این کاهش غلظت را به دلیل کاهش حجم ترافیک وسایل نقلیه در روزهای جمعه دانست. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، نمونه‌گیری در منطقه میدان انقلاب و در مجاورت خیابان‌ها و ایستگاه BRT انجام شد که دارای حجم بالایی از خودروهای شخصی و عمومی می‌باشد و با تغییر در حجم ترافیکی برای روزهای نمونه‌برداری، تغییر در غلظت فرمالدئید مشاهده شد. در مطالعه آندرینی و همکاران (۲۰۰۰) غلظت فرمالدئید در انتهای هفته نسبت به سایر روزهای هفته دارای غلظت پایین‌تری بود (۱۸). همچنین ویسکاری و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه خود تفاوت زیادی در غلظت فرمالدئید در مجاورت بزرگراه نسبت به منطقه زمینه مشاهده کردند که علت این تفاوت غلظت را ناشی از تردد خودروها در بزرگراه به عنوان منبع انتشار مستقیم فرمالدئید ذکر کردند (۱۹). بنابراین می‌توان یکی از منابع مهم انتشار فرمالدئید در هوای آزاد شهر تهران را به انتشارات مستقیم از وسایل نقلیه ارتباط داد. حضور ترکیبات آلی در اتمسفر شهر تهران به دلیل ترافیک سنگین وسایل نقلیه دارای غلظت‌های بالایی می‌باشد که زمینه را برای تولید فرمالدئید طی فرآیندهای فتوشیمیایی در هوا فراهم می‌کند (۲۰). در مطالعه حاضر تفاوت معناداری بین غلظت فرمالدئید در دو دوره از زمان نمونه‌برداری وجود داشت که این تفاوت می‌تواند به دلیل افزایش شدت فرآیندهای فتوشیمیایی در فصل بهار نسبت به فصل زمستان باشد که باعث افزایش غلظت فرمالدئید در دوره ۲ نسبت به دوره ۱ از زمان نمونه‌برداری شده بود. بنابراین این نتایج تأییدی بر این موضوع است که فرآیندهای فتوشیمیایی را

می‌توان به‌عنوان یکی از عوامل مهم تولید فرمالدئید در هوای آزاد شهر تهران برای ماه‌های گرم سال به‌شمار آورد. ویسکاری و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه خود غلظت فرمالدئید را در ماه‌های می، ژانویه و جولای مورد بررسی قرار دادند که غلظت فرمالدئید در ماه‌های گرم سال نسبت به ماه‌های سرد سال دارای مقادیر بیشتری بود (۱۹). همچنین در مطالعه پوسانزینی و همکاران (۲۰۰۲) تفاوت زیادی در غلظت فرمالدئید در دو فصل تابستان و زمستان مشاهده شد که سهم زیادی از غلظت فرمالدئید موجود در اتمسفر برای فصل تابستان را به فرآیندهای فتوشیمیایی ارتباط دادند (۲۱). در مطالعه سین و همکاران (۲۰۰۱) بیشترین غلظت فرمالدئید در فصل تابستان سنجیده شد (۲۲). در مطالعه حاضر در بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی بر تغییرات غلظت فرمالدئید، افزایش دما ارتباط مستقیم و معنادار و رطوبت ارتباط مستقیم نسبتاً ضعیفی با تغییرات غلظت فرمالدئید داشت. این در حالی است که ارتباطی بین تغییرات فشار و تغییرات غلظت فرمالدئید مشاهده نشد. اثر هرکدام از این متغیرها پس از مستقل‌سازی از یکدیگر بر روی تغییرات غلظت فرمالدئید مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر دما و رطوبت بر تغییرات غلظت فرمالدئید می‌تواند به دلیل تأثیر این پارامترها بر افزایش شدت واکنش‌های فتوشیمیایی در تولید فرمالدئید باشد. از طرف دیگر در نمونه‌برداری ۷ بهمن، دمای محیطی به  $1/5$  درجه سانتی‌گراد کاهش یافت و شرایط وارونگی دما در زمان نمونه‌برداری ایجاد شد و ماکزیمم غلظت فرمالدئید در فصل زمستان در این روز مشاهده شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر اینکه افزایش دما با تشدید فرآیندهای فتوشیمیایی باعث افزایش غلظت فرمالدئید می‌شود، در مقابل با کاهش شدید دما و ایجاد حالت وارونگی دمایی می‌تواند باعث حبس آلودگی هوا و افزایش غلظت فرمالدئید در هوای آزاد شود. آندرینی و همکاران (۲۰۰۰) در مطالعه خود تأثیر پارامترهای هواشناسی از جمله دما و رطوبت را بر تغییرات غلظت فرمالدئید مشاهده کردند (۱۸). همچنین پوسانزینی و همکاران (۲۰۰۲) ضریب کورولیشن  $0/58$  را در ارتباط با افزایش غلظت

### نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان می‌دهد که غلظت فرمالدئید با توجه به تغییرات ترافیک و فصول نمونه برداری دارای نوسان می‌باشد. خطر مواجهه با غلظت‌های بالای این آلاینده هم در فصول گرم بعثت تشدید فرآیندهای فتوشیمیایی و همچنین در فصول سرد بدلیل شرایط وارونگی دما وجود دارد. بنابراین این نیاز احساس می‌شود که باید نسبت به کنترل غلظت این آلاینده در هوا در اثر انتشارات مستقیم از آگزوز خودرو (کاهش عوامل افزوده شده به سوخت برای بهبود احتراق از جمله اتانول، متانول، متیل‌ترت-بوتیل‌اتر و استفاده از کاتالیزورها) و کاهش تولید فرمالدئید در اثر فرآیندهای فتوشیمیایی (کنترل پیش‌سازهای تولید این آلاینده در هوا در اثر فرآیندهای فتوشیمیایی) اقدامات لازم انجام گردد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از همکاری کارشناسان محترم آزمایشگاه آلودگی هوا گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

فرمالدئید و افزایش دما به دست آوردند (۲۳). پانگ و مو (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای که بر روی تغییرات غلظت ترکیبات کربونیل در اتمسفر شهر انجام دادند، ارتباط مثبت و معناداری را بین دما و تغییرات غلظت فرمالدئید با ضریب کورولیشن‌های ۰/۳۴، ۰/۵۱ و ۰/۵۴ و ارتباط نامشخصی بین تغییرات رطوبت و فرمالدئید با ضریب کورولیشن‌های ۰/۰۶، ۰/۲۸ و ۰/۳۴ در مناطق مورد مطالعه مشاهده کردند (۲۴). اثر شرایط وارونگی دما بر افزایش غلظت فرمالدئید در مطالعات متعددی مشاهده شده است. از جمله در مطالعه ویسکاری و همکاران (۲۰۰۰) که غلظت فرمالدئید در ماه ژانویه در روزهایی از سال که دما بسیار پایین می‌آید و شرایط وارونگی دما اتفاق می‌افتد، افزایش یافت (۱۹). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که شرایط هواشناسی بر تغییرات غلظت فرمالدئید در هوای آزاد نقش مؤثری را ایفا می‌کنند.

با توجه به غلظت‌های مشاهده شده در این مطالعه، بهبود در کیفیت سوخت از نظر عوامل تولید کننده فرمالدئید، گسترش سیستم‌های حمل و نقل عمومی و استفاده از کاتالیزورها در آگزوز خودروها به منظور کاهش غلظت این آلاینده ضرورت پیدا می‌کند.

### ReferenCce:

- Kim J. Ambient air pollution: health hazards to children. *Pediatrics*. 2004;114(6):1699-707.
- Yang X, Wang Y, Liu W, Zhang Y, Zheng F, Wang S, et al. A portable system for on-site quantification of formaldehyde in air based on G-quadruplex halves coupled with a smartphone reader. *Biosensors and Bioelectronics*. 2016;75:48-54.
- Onyije F, Avwioro O. Exciting effect of formaldehyde exposure to students in gross anatomy dissection laboratory. *The International journal of occupational and environmental medicine*. 2012;3(2 April).
- Hak C, Pundt I, Trick S, Kern C, Platt U, Dommen J, et al. Intercomparison of four different in-situ techniques for ambient formaldehyde measurements in urban air. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2005;5(11):2881-900.
- Grosjean D. Ambient levels of formaldehyde, acetaldehyde and formic acid in southern California: results of a one-year baseline study. *Environmental science & technology*. 1991;25(4):710-5.
- Hoekman SK. Speciated measurements and calculated reactivities of vehicle exhaust emissions from conventional and reformulated gasoline. *Environmental science & technology*. 1992;26(6):1206-16.
- Grosjean E, Williams EL, Grosjean D. Ambient levels of formaldehyde and acetaldehyde in Atlanta, Georgia. *Air & Waste*. 1993;43(4):496-74.
- Grahnby K, Christensen CS, Lohse C. Urban and semi-rural observations of carboxylic acids and carbonyls. *Atmospheric Environment*. 1997;31(10):1403-15.
- Wang L, Sakurai M, Kameyama H. Study of catalytic decomposition of formaldehyde on NiO/TiO<sub>2</sub> alumina catalyst at ambient temperature. *Journal of hazardous materials*. 2009;167(1):399-405.
- Zhang Y, Liu X, McHale C, Li R, Zhang L, Wu Y, et al. Bone marrow injury induced via oxidative stress in mice by inhalation exposure to formaldehyde. *PLoS one*. 2013;8(9):e74974.
- Ayers G, Gillett R, Grahek H, De Serves C, Cox R. Formaldehyde production in clean marine air. *Geophysical research letters*. 1997;24(4):401-4.
- Müller K. Determination of aldehydes and ketones in the atmosphere—a comparative long time study at an urban



- aNd a rural site iN EasterN GermaNy. *Chemosphere*. 1997;35(9):2093-106.
13. OrgaNizatioN WHO. Chapter 5.8 Formaldehyde. *Air Quality GuideliNes*. 2001;2.
  14. Zhou K, Ji X, ZhaNg N, ZhaNg X. ON-liNe moNitoriNg of formaldehyde iN air by catalumiNesceNce-based gas seNsor. *SeNsors aNd Actuators B: Chemical*. 2006;119(2):392-7.
  15. CeróN-BretóN J, CeróN-BretóN R, Kahl J, Ramírez-Lara E, GuarNaccia C, Aguilar-UcáN C, et al. DiurNal aNd seasoNal variatioN of BTEX iN the air of MoNterrey, Mexico: prelimiNary study of sources aNd pHotocHeMical ozoNe pollutioN. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2015;8(5):469-82.
  16. Eller PM. NIOSH maNual of aNalytical methods: DIANE PublishiNg; 1994.
  17. Li M, Shao M, Li L-Y, Lu S-H, CheN W-T, WaNg C. QuaNtifiyiNg the ambieNt formaldehyde sources utiliziNg tracers. *ChiNese Chemical Letters*. 2014;25(11):1489-91.
  18. ANdreiNi BP, BaroNi R, Galimberti E, SesaNa G. Aldehydes iN the atmospHeric eNviroNmeNt: evaluatioN of humaN exposure iN the North-west area of MilaN. *Microchemical JourNal*. 2000;67(1):11-9.
  19. Viskari E-L, VartiaineN M, PasaNeN P. SeasoNal aNd diurNal variatioN iN formaldehyde aNd acetaldehyde coNceNtratioNs aloNg a highway iN EasterN FiNlaNd. *Atmospheric ENviroNmeNt*. 2000;34(6):917-23.
  20. Bahrami AR. DistributioN of volatile orgaNic compouNds iN ambieNt air of TehraN. *Archives of ENviroNmeNtal Health: AN InterNatioNal JourNal*. 2001;56(4):380-3.
  21. PossaNziNi M, Di Palo V, CECiNato A. Sources aNd pHotodECompositioN of formaldehyde aNd acetaldehyde iN Rome ambieNt air. *Atmospheric ENviroNmeNt*. 2002;36(19):3195-201.
  22. SiN DW, WoNg Y-C, Louie PK. TreNds of ambieNt carboNyl compouNds iN the urbaN eNviroNmeNt of HoNg KoNg. *Atmospheric ENviroNmeNt*. 2001;35(34):5961-9.
  23. PossaNziNi M, Tagliacozzo G, CECiNato A. AmbieNt levels aNd sources of lower carboNyls at MoNtelibretti, Rome (Italy). *Water, air, aNd soil pollutioN*. 2007;183(1-4):447-54.
  24. PaNg X, Mu Y. SeasoNal aNd diurNal variatioNs of carboNyl compouNds iN BeijiNg ambieNt air. *Atmospheric ENviroNmeNt*. 2006;40(33):6313-20.