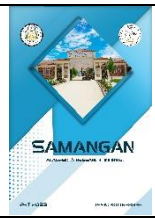
Samangan Scientific and Research Journal

https://researchsparker.edu.af/index.php/SARJ

DOI: 10.64226/sarj.v2i01.46

ISSN: 3006-8835



Analysis of Carbon Monoxide Concentration in Winter and the Use of Solar Energy to Reduce Air Pollution in Kabul

Talib-Hussain Mohammadi[1,*]

[1]*Department of Physics, Panjshir Higher Education Institute*

[*] *Corresponding Author: talibhussinmohammadi@gmail.com*

Cite this study: Mohammadi, T. (2024). Analysis of Carbon Monoxide Concentration in Winter and the Use of Solar Energy to Reduce Air Pollution in Kabul, Samangan Academic and Research Journal, 2(1), 74-89.

Keywords

Air pollution, solar energy, coal, active and passive solar systems, carbon monoxide.

Research

Received:
Revised:
Accepted:
Published:

Abstract

One of the most significant problems in large cities is air pollution, which can be harmful to human health and the environment. Kabul, the capital of Afghanistan, is one of the most polluted cities in Afghanistan and globally. Carbon monoxide (CO) is one of the key pollutants contributing to air pollution. The aim of this research is to study and analyze the concentration of CO in the open air of Kabul and compare it to air quality standards. In this research, related studies on the analysis of CO concentrations during winter and the use of solar energy to reduce air pollution in Kabul were reviewed from reputable scientific databases such as SID, Google Scholar, Science Direct, and Medline. To examine changes in air pollutants (CO), data from the website of the National Environmental Protection Agency of Afghanistan was used. Additionally, this study explores how to optimize the use of solar energy for heating by designing and constructing buildings equipped with active and passive solar systems and how these systems function to minimize air pollution in Kabul. According to the results, the concentration of carbon monoxide reached up to 23.129 mg/m^3 during the month of November. Various solutions exist to address this challenge. Given the increasing need of Kabul's residents for thermal energy in winter to heat their homes and the future need to end reliance on fossil fuels, solar energy in small-scale applications, such as in residential homes and apartments, presents an effective step towards reducing air pollution caused by coal smoke.

مجلۀ علمی-تحقیقی سمنگان
https://researchsparker.edu.af/index.php/SARJ
DOI: 10.64226/sarj.v2i01.46
ISSN: 3006-8835

تحلیل غلظت کاربن‌مونواکساید در فصل زمستان و استفاده از انرژی خورشیدی برای کاهش آلوده‌گی هوا در کابل

پوهنیار طالب‌حسین محمدی[1]*
[1]دیپارتمنت فزیک، پوهنحی تعلیم و تربیه، مؤسسۀ تحصیلات عالی پنجشیر
* نویسنده مسؤول: talibhussinmohammadi@gmail.com

مرجع‌دهی: محمدی ط. (1403). تحلیل غلظت کاربن‌مونواکساید در فصل زمستان و استفاده از انرژی خورشیدی برای کاهش آلوده‌گی هوا در کابل، ۲(۱)، 89-73.

کلمات کلیدی
آلوده‌گی هوا، انرژی خورشیدی، زغال‌سنگ، سیستم‌های فعال و غیر فعال خورشیدی، کاربن‌مونواکساید.

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات شهرهای بزرگ آلوده‌گی هوا است که می‌تواند برای سلامتی انسان‌ها و محیط زیست زیان‌آور باشد. شهر کابل، پایتخت افغانستان، نیز یکی از شهرهای آلودۀ افغانستان و جهان است. کاربن‌مونواکساید یکی از آلاینده‌های مهم آلوده‌گی هوا است. هدف این تحقیق بررسی و تحلیل غلظت CO_2 در هوای آزاد شهر کابل و مقایسۀ آن با استاندارد کیفیت هوا می‌باشد. در این تحقیق، مطالعات مرتبط با تحلیل غلظت کربن‌مونوکسید در زمستان و استفاده از انرژی خورشیدی برای کاهش آلوده‌گی هوای کابل در پایگاه‌های علمی معتبر مانند SID، Google Scholar، Science Direct و Medline بررسی شدند. به‌منظور بررسی تغییرات آلایندۀ هوا (CO_2) از داده‌هایی‌که در سایت ادارۀ ملی حفاظت محیط زیست افغانستان هست، استفاده گردید. همچنان در این مطالعه برای بهره‌گیری بیش‌تر انرژی خورشیدی جهت گرمایش، طراحی و ساختن ساختمان‌های مجهز با سیستم‌های فعال و غیر فعال خورشیدی و چگونه‌گی کارکرد آن‌ها به‌منظور به حد اقل رساندن میزان آلوده‌گی هوای شهر کابل پرداخته شده است. بر اساس نتایج این مطالعه غلظت کاربن‌مونواکساید طی ماه عقرب تا سرحد $23.129\ mg/m^3$ رسیده است. راه حل‌های مختلف برای رفع این چالش وجود دارد. با توجه به نیازهای روزافزون شهروندان کابل به انرژی حرارتی در فصل زمستان جهت تسخین خانه‌های شان و همچنان پایان‌دادن به بحران ناشی از سوخت‌های فسیلی در آیندۀ کابل وجود انرژی خورشیدی و استفادۀ آن در مقیاس‌های کوچک مانند خانه‌های مسکونی، آپارتمان‌ها و غیره است که بتواند گامی مؤثر جهت کاهش آلوده‌گی هوا ناشی از دود زغال‌سنگ باشد.

1. مقدمه

هر سال با رسیدن فصل زمستان دود زغال‌سنگ آسمان شهر کابل را تیره‌تر از ماه‌های قبل آن می‌کند. به دلیل وضع‌نشدن محدودیت بر واردات زغال به شهر کابل و استفادهٔ بیش از حد آن از سوی شهروندان شهر کابل میزان آلوده‌گی هوای این شهر را افزایش می‌دهند [۱] [۲]. کمبود برق، بلندبودن قیمت مواد نفتی و کیفیت پایین مواد نفتی به این مشکل افزوده است. از این‌که اکثر شهروندان کابل از لحاظ اقتصادی در سطح پایین قرار دارند و دست‌رسی به امکانات دیگر ندارند، برای تسخین خانه‌ها زغال دست‌رس‌ترین گزینه برای کابلی‌ها است [3]. از همین‌رو با افزایش سردی، روزبه‌روز گراف میزان آلوده‌گی هوا با سوختاندن زغال‌سنگ، انواع پلاستیک، رابر، تایرهای موتر و... بالا می‌رود که دود آن‌ها کاملاً سمی است و باعث امراض گوناگون در انسان‌ها و نهایتاً باعث مرگ شان می‌شود که در این میان کودکان و بزرگ‌سالان بیش‌تر در معرض خطرند [۳] [۴]. هوای شهر کابل در شب‌های فصل زمستان بسیار غیر صحی می‌شود و به این دلیل کابل در میان آلوده‌ترین شهرهای جهان در سال 2018 جا گرفته بود [9]. طبق آمارهای اعلان‌شده از سوی وزارت صحت عامه در سال 2020 حدودی 5000 نفر در اثر آلوده‌گی هوا از بین رفته‌اند [۴]. طبق همین آمار وزارت صحت عامه ۱۰ درصد کسانی‌که در نتیجهٔ بیماری‌های مرتبط با آلوده‌گی هوا جان داده‌اند، در کابل بوده‌اند. فکتورهای زیادی در آلوده‌ساختن هوا نقش دارد. در این مقاله کاربن‌مونواکساید که بیش‌ترین نقش در آلوده‌ساختن هوا دارد، مورد برسی قرار می‌گیرد.

شهرها میزبان 55 درصد از جمعیت جهان‌اند و پیش‌بینی می‌شود که تا سال 2050 به 70 درصد برسد. در حال حاضر آن‌ها 75 درصد از کل منابع طبیعی را مصرف می‌کنند و حدود 70 درصد از کل گازهای گلخانه‌یی را منتشر می‌کنند [۵] [۶]. در سطح جهان بخش حمل و نقل 28 درصد از انرژی مورد نیاز جهان را تشکیل می‌دهد و 23 درصد در انتشار جهان کاربن‌دای‌اکساید (CO_2) سهم دارد [۷]. یکی از راهبردهای اصلی برای ارتقای پایداری در شهرها کنترول هر چیزی است که بر محیط زیست تأثیر می‌گذارد. تاکنون ثابت شده است که مصرف بی‌رویهٔ انرژی سوخت فسیلی یکی از مخرب‌ترین عناصر برای محیط زیست و سلامتی انسان‌ها است [۸]. هوشمندسازی شهرها یکی از راهبردهای مبارزه با چالش‌های شهرنشینی است؛ اما اقتصاد ضعیف شهروندان کابل خود چالشی در برابر اجرای اکثر ویژه‌گی‌های شهر هوشمند می‌باشد [۷]. کاربرد انرژی خورشیدی شامل کاربردهای نیروگاهی و غیر نیروگاهی می‌شود. از کاربردهای غیر نیروگاهی می‌توان به استفادهٔ انسان‌های قدیمی از شکل سادهٔ انرژی که همانا غذا است، اشاره کرد. انسان‌های اولیه انرژی مورد نیاز شان را با خوردن گوشت حیوانات شکارشده، نباتات و سبزی‌ها حاصل می‌نمودند [۹]. بعداز یک مدت طولانی آتش را کشف کردند و از آن

برای پختن غذا و گرم‌نگاه‌داشتن خویش استفاده نمودند. بعد از شروع کشت زمین برای زراعت به انرژی بیش‌تر ضرورت احساس شد و از باد برای کشتی‌رانی و دوردادن آسیاب‌های بادی و به همچنان از قوۀ آبشار برای دوردادن آسیاب آبی استفاده صورت گرفت. بعد از انقلاب صنعتی (1700م) تحولات خیلی بزرگی به میان آمد و برای اولین بار انسان به استفادۀ منبع جدید انرژی زغال‌سنگ روی آورد. به مرور زمان انرژی به گونه‌های مختلف در زنده‌گی بشر مورد استفاده قرار گرفته است، تا این‌که در اواخر دهۀ 1980 اصطلاح شهر هوشمند ظهور کرد [۱۰].

در قرن 19 و 20 برای گرم‌کردن خانه‌ها و ادامۀ فعالیت‌های صنایع از سوخت زغال استفاده می‌شد. اغلب آسمان شهر لندن- پایتخت انگلیس- پوشیده از دود و غباری غلیظ بود [۱۱]. یکی از بدترین شرایط آب و هوا در این شهر به سال 1925 میلادی بر می‌گردد [۱۲] که با سردشدن هوا افراد مجبور بودند از زغال بیش‌تری که از کیفیت بالایی برخوردار نبود، استفاده کنند. در این سال دود و غبار غلیظ دید افقی را به شدت کاهش داد و در مدت چهار روز به فوت بیش از 10 هزار نفر منجر شد [۱۲] [۱۳].

در سال 1956 قانون هوای پاک در انگلیس به تصویب رسید. در این قانون دود ناشی از فعالیت‌های خانگی و صنعتی در نظر گرفته شد و در شهرها و روستاها (مناطق کنترول دود) اعمال شد که تنها استفاده از سوخت‌های بی‌دود الزامی بود. همچنین به خانواده‌ها یارانه‌یی تعلق گرفت تا به استفاده از سوخت‌های پاک‌تر رو آورند. این قانون در سال 1968 بسط پیدا کرد و در دهه‌های بعدی کیفیت هوا در لندن بهبود یافت [۱۱] [۱۲].

رشد سریع و صنعتی‌شدن چین با افزایش شدید آلوده‌گی هوا در این کشور همراه بوده است [۱۲] [۱۴]. نیروگاه‌هایی با سوخت زغال بر علاوۀ افزایش تعداد ماشین‌ها در دهۀ 1980 هوای پکن را مملو از ترکیب‌های شیمیایی خطرناک کرده بود [۱۲]. در سال 2014 آکادمی علوم اجتماعی شانگهای در گزارشی اعلام کرد که به دلیل آلوده‌گی هوا این شهر تقریباً غیر قابل سکونت است. گزارش سال 2018 سازمان ملل نشان می‌دهد که در فاصلۀ چهار سال (2013 تا 2017) سطح ذرات ریز در هوای پکن کاهش 35 درصدی داشته؛ در حالی‌که سطح این آلاینده‌ها در مناطق مجاور حدود 25 درصد کاهش یافته بود [۱۲]. این کاهش در نتیجۀ اقداماتی بود که در مدت دو دهه و از سال 1998 آغاز شد. از آن زمان دولت چین استندردهای آلاینده‌گی دقیق‌تری را اعمال و سیستم‌های پیش‌رفتۀ کنترول کیفیت هوا را ایجاد کرد و سیستم حمل و نقل عمومی را نیز گسترش داد. این شهر با پدیدۀ انتشار ذرات آلاینده‌یی که بیش‌تر با عنوان ذرات معلق کمتر از ۲.۵ میکرون شناخته شده‌اند، درگیر است. هرچند آمارهای سازمان ملل نشان‌دهندۀ اهمیت کاهش انتشار آلاینده‌های وسایل نقلیه، وجود مشوق‌های

دولت برای بنگاه‌های اقتصادی خصوصی و نیز شفافیت در ارائهٔ آمار در کاهش سطح آلوده‌گی است [۱۲].

امارات متحدهٔ عربی با انتشار گازهای کاربنی ناشی از تولید محصولات هایدروکاربن «آلوده‌گی هوای سمی» که از استفادهٔ زیاد منابع فسیلی ناشی می‌شود، گرفتار است [۱۲]. امارات برای رفع این مشکل با استفاده از سیستم‌های فوتولتائیک صفحهٔ تخت در عقرب سال 1402 بزرگ‌ترین نیروگاه خورشیدی جهان را تحت نام نیروگاه الظفره در صحرا به فاصلهٔ 30 کیلومتری جنوب پایتخت امارات (ابوظبی) با مساحت 21 کیلومتر مربع افتتاح نمود [۱۵] [۱۶]. فعالیت این نیروگاه به معنای حذف 2.5 میلیون تن گاز دی‌اکسیدکاربن است. این میزان معادل آلوده‌گی ناشی از ۴۷۰ هزار موتر است [۱۶] [۱۷]. این نیروگاه شامل چهار میلیون صفحهٔ خورشیدی دوطرفه است [۱۷]. این صفحات می‌توانند از دو سمت جلو و پشت اشعهٔ خورشید را جذب کنند [۱۷]. آن‌ها متحرک‌اند تا در ساعت‌های مختلف روز در مقابل خورشید باشند. این صفحات خورشیدی دارای تجهیزات اتوماتیک تمیزکردن و برداشتن غبار از روی صفحات استند. این نیروگاه ظرفیت تولید 2 گیگاوات برق را دارد و بزرگ‌ترین نیروگاه خورشیدی در جهان است [۱۵] [۱۶] [۱۷]. دولت افغانستان برای ساخت چنین نیروگاه‌های خورشیدی باید و حتماً بودجه در نظر بگیرند تا سرمایهٔ مردم افغانستان به جیب تاجران و خزانه‌های کشورهای خارجی نرود. ساخت چنین نیروگاه‌ها برای کاهش آلوده‌گی هوای شهرهای بزرگ کشور کمک خواهد کرد.

جهت تأمین گرمایش ساختمان آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان به کمک انرژی خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار Carrier برای بهینه‌سازی بار گرمایشی ساختمان مذکور محاسبه و از پنجره‌های دوجداره و عایق‌کردن دیوارهای خارجی استفاده شده است [۱۸]. اطلاعات مربوط به طرح چنین ساختمان از قبیل جنس در، پنجره، دیوارها و نوع سیستم انتخابی برای چنین ساختمان در این مقاله [۱۹] وارد شده است.

به‌منظور ارزیابی قابلیت پیاده‌سازی و کاربرد سیستم گرمایشی در یک ساختمان مسکونی با مشخصات حقیقی یک ساختمان در شهر تهران مورد مدل‌سازی قرار گرفته است [۲۰]. ساختمان مورد مطالعه در این مقاله، یک آپارتمان مسکونی با تعداد طبقات مجموعاً ۱۶ طبقه شامل ۴ طبقه پارکینگ، یک طبقه هم‌کف و ۱۱ طبقهٔ مسکونی در شمال شهر تهران می‌باشد.

هدف اصلی این تحقیق بهره‌وری و افزایش کارایی انرژی در شهرهای فقیر و کم‌درآمد مانند کابل که در حال توسعه می‌باشد، است.

2. روش تحقیق

عوامل مختلفی روی آلوده‌شدن هوا تأثیر می‌گذارند که مهم‌ترین آن‌ها سبک زنده‌گی و رفتار انسان‌ها با محیط زیست است. آلوده‌گی هوا علاوه بر گرم‌شدن زمین منقرض‌شدن بسیاری از گونه‌های جانداران و ایجاد مشکلات متعدد برای محیط زیست باعث آسیب‌های جسمانی در انسان می‌شود و تهدیدی برای حیات بشر است [۱۱]. در این تحقیق تلاش صورت گرفت که راهکارهایی را جهت کاهش آلوده‌گی هوای شهر کابل به رشتۀ تحریر درآورم. از آن‌جایی‌که برای همه هویدا است، هوای شهر کابل در زمستان‌ها نسبت به ماه‌های قبل آن آلوده‌تر می‌شود و استفادۀ بی‌رویۀ مردم شهر کابل از زغال‌سنگ تأثیر زیادی روی میزان آلوده‌گی هوا می‌گذارد.

در یک تحقیق، جمع‌آوری داده‌ها یکی از نیازهای بسیار مهم به‌حساب می‌آید و دست‌رسی به داده‌ها یا تولید آن‌ها یک امر لازمی و ضروری‌ست. در این تحقیق، برای شناسایی مطالعه‌های انجام‌شده در در زمینۀ تحلیل غلظت کاربن‌مونواکساید در فصل زمستان و استفاده از انرژی خورشیدی برای کاهش آلوده‌گی هوا در کابل و تحقیقات مشابه به این تحقیق در پایگاه‌های علمی SID، Google Scholar، Science direct، Medline و پایگاه‌های رسانه‌های تصویر و نوشتاری معتبر جستجوهای کامل صورت گرفت. در این جستجو به تعداد 100 مقاله به زبان‌های فارسی و انگلیسی جمع‌آوری شد. سپس عنوان همۀ مقالات جمع‌آوری‌شده مطالعه و موارد غیر مرتبط و تکراری حذف و به تعداد 55 مقالۀ مرتبط با هدف تحقیق حاضر انتخاب شد. پس از مرور عناوین، به تعداد 43 مقالۀ مرتبط شناسایی شده و در مرحلۀ بعدی چکیدۀ تمام مقالات مورد ارزیابی کیفی قرار گرفت. مقالاتی‌که دارای حجم مناسب نبود، از مطالعه بیرون شد و در نهایت 35 مقالۀ مناسب جهت پژوهش حاضر انتخاب گردید. در پایگاه‌های فوق‌الذکر واژه‌های آلوده‌گی هوا، آلوده‌کننده‌های هوا، انرژی خورشیدی، سیستم‌های فعال و غیر فعال خورشیدی، کاربن‌مونواکساید، ذخیره‌سازی انرژی حرارتی جهت تأمین گرمایش ساختمان، طراحی سیستم‌های خورشیدی ساختمان، عوامل آلوده‌گی هوا، شاخص کیفیت هوا، آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی، کاربرد انرژی خورشیدی، نیروگاه خورشیدی و کلکتورهای خورشیدی مورد جستجو قرار گرفت.

3. نتیجه

3. ۱. آلوده‌گی و آلوده‌کننده‌های هوا

موجودیت هر مواد بیگانه به‌غیر از ترکیب هوا به‌نام آلوده‌کننده‌ها یاد می‌شوند [۸] [۲۱] و هرگاه مقدار این آلوده‌کننده‌ها از حد مجاز بیش‌تر باشد و وجود آن نظر به یک زمان باعث اختلال در روند عادی زنده‌گی انسان‌ها، حیوانات و گیاهان شود و یا به اشیا و متعلقات انسان ضرر برساند، درین صورت گفته

می‌شود که هوا آلوده است [۱۲]. از سوی دیگر، هوا یکی از عناصر اساسی حیات انسان‌ها و تمام موجودات زنده به‌حساب می‌آید و در صورت تنفس هوای آلوده، انسان‌ها به امراض گوناگون مواجه می‌شوند. تأثیرگذاری آن در اشخاص دارای سنن مختلف متفاوت‌اند و درین میان کودکان، افراد مسن، زنان باردار و بیماران قلبی بیش‌تر در معرض خطر آلوده‌گی هوا قرار دارند [۸] [۱۲]. به‌صورت عموم دو منبع عمدهٔ آلوده‌گی هوا وجود دارد؛ منابع طبیعی و مصنوعی [۸]. هرگاه آلوده‌کننده‌ها بدون دخالت انسان- به‌عنوان فکتور بارز تغییردهندهٔ کیفیت هوا- وارد سیستم هوای زمین گردند، به‌نام آلوده‌کننده‌های طبیعی یاد می‌شوند. این بخش شامل گازهای آتش‌فشانی، میتان، کاربن‌مونواکساید و کاربن‌دای‌اکساید می‌باشد. این آلوده‌کننده‌ها دارای دوران کوتاه بوده و جزء دوران طبیعت می‌باشند [۸] [۱۲]. کابل از نقطه‌نظر فعالیت‌های زمین‌شناسی خیلی فعال نیست و در آن هیچ‌گونه اثر وقوع فعالیت‌های آتش‌فشانی دیده نمی‌شود. بناءً هوای این شهر از این منشأ خیلی کم آلوده می‌شود؛ اما در کنار منابع طبیعی آلوده‌گی هوا ممکن آلوده‌کننده‌ها از منابع مصنوعی نیز منشأ بگیرد. منابع مصنوعی آلوده‌گی هوا آن‌هایی‌اند که انسان‌ها به‌صورت مستقیم در تولید شان سهیم باشند [۸]. این منابع در شهر کابل با درنظرداشت حالت سکون یا متحرک به بخش‌های مختلف تقسیم می‌شوند که در ذیل می‌آیند:

آلوده‌کننده‌های مختلف (هیدروکاربن‌ها، اکسایدهای نایتروجن، دی‌اکساید گوگرد، کاربن‌مونواکساید، سرب، جیوه، مواد ذره‌یی، اوزون، مواد رادیو اکتیو و دی‌اکسایدها) می‌توانند در هوا وجود داشته باشند [۲۱]. در این پژوهش مضربودن آلوده‌کنندهٔ هوا که از دود زغال‌سنگ ناشی می‌شود، مورد بحث قرار می‌گیرد.

3. ۲. کاربن‌مونواکساید

معمولاً در اثر احتراق خوب مواد کاربن‌دار مانند چوب، گاز غیر خطرناک کاربن‌دای‌اکسید (CO_2) آزاد می‌شود؛ اما اگر احتراق کامل صورت نگیرد و آکسیجن هم کم باشد، گاز سمی کاربن‌مونواکساید (CO) تشکیل می‌گردد. کاربن‌مونواکساید از نظر خواص فزیکی یک گاز بی‌بو، بی‌رنگ، بدون مزه، غیر اشتعال و اندکی سبک‌تر از هوا است [۲۱] [۲۲]. غلظت طبیعی این گاز در هوا در حدود $0.2ppm$ است که این مقدار برای انسان مضر نیست [۸] [۲۱]. اگر غلظت این گاز از $0.2ppm$ بیش‌تر شود، سمی می‌شود و به سلامتی انسان‌ها، حیوانات و نباتات صدمه می‌زند [۲۱]. این گاز عمدتاً در نتیجهٔ احتراق مواد کیمیاوی مانند سوخت‌وساز طبیعی حیوانات در مقادیر اندک تولید می‌شود و تصور بر این است که در بعضی فعالیت‌های زیستی نقش دارد. منابع طبیعی این گاز شامل آتش‌فشان‌ها و آتش‌سوزی‌ها است. سایر منابع اصلی دیگر این گاز، اگزوز موتور ماشین‌ها و برخی از فعالیت‌های صنعتی مانند ساخت فولاد،

داش‌های آجورپزی است. دود تنباکو از منابع اصلی خانگی کاربن‌مونواکساید است [۸] [۲۱]. این گاز از جملهٔ پرگسترش‌ترین آلوده‌کنندهٔ هوا به‌حساب می‌آید [۲۱] و به دلایلی چون عدم موجودیت کافی اکسیجن در محیط، درجهٔ پایین حرارت، مدت‌زمان باقی‌ماندن گاز مخلوط در هوا و مواد سوختانده‌شده در درجهٔ حرارت بالا و نارسایی موجود در محیط احتراق تولید می‌شود [۸]. این گاز در خانه‌ها معمولاً در اثر استفادهٔ نادرست از بخاری‌های ناقص و غیر معیاری و یا کاربرد غلط آن‌ها جان انسان‌ها را به خطر می‌اندازد.

3. ۳. شاخص کیفیت هوا و مقایسهٔ کیفیت هوای شهر کابل با آن

از اقدامات مهم و مؤثر جهت کنترول و پایش کیفیت هوا تعیین میزان واقعی آلاینده‌ها و توصیف وضعیت کیفی هوا در مقایسه با شرایط استاندارد، اطلاع رسانی به موقع و صحیح به مردم و همچنین وضع اقدامات احتیاطی و پیشگیرانه هنگام بالاتر رفتن آلوده‌گی و هوای نامطلوب از حد استندرد می‌باشد. بدین‌منظور می‌توان از شاخص کیفیت هوا (AQI)[1] استفاده نمود. AQI شاخصی برای گزارش روزانهٔ کیفیت هوا می‌باشد. این شاخص برای اثرات آلاینده‌ها روی سلامت متمرکز شده است. بر اساس این شاخص کیفیت هوا به شش بخش مختلف تقسیم می‌شود [۲۳] که هر دسته نشان‌دهندهٔ میزان تأثیرگذاری آلوده‌گی هوا روی سلامت انسان‌ها می‌باشد. کیفت هوا زمانی خوب گفته می‌شود که شاخص کیفیت هوا در آن در انتروال 0 ـ 50 قرار داشته باشد [۱]. درین حالت کیفیت هوا رضایت‌بخش بوده و هوا از نقطه‌نظر آلوده‌گی بی‌خطر یا دارای خطر کم می‌باشد. هوا از نظر کیفیت به درجهٔ متوسط قرار دارد. اگر شاخص کیفیت آن در حدود 51 الی 100 باشد [۱]، کیفیت هوا در این حالت قابل قبول بوده درحالی‌که بعضی از آلوده‌کننده‌ها ممکن باعث ایجاد امراض در بعضی افراد گردد. هوا زمانی ناسالم برای گروه حساس به‌شمار می‌آید که اندازهٔ شاخص کیفیت آن بین 101 و 150 قرار داشته باشد. هوا از نظر کیفیت ناسالم گفته می‌شود اگر AQI بین 151 و 200 تغییر نماید [9]. افرادی‌که در مقابل آلوده‌گی حساس‌اند، بیش‌تر از دیگران در معرض خطرات هوای ناسالم قرار می‌گیرند. هوا زمانی خیلی ناسالم پذیرفته می‌شود که AQI در آن بین 201 تا 300 در تحول باشد. هوایی با چنین کیفیت بر سلامتی انسان‌ها هشداری است [۱] [۲۳]؛ یعنی انسان‌ها ممکن با تنفس هوای AQI در حدود 300 مبتلا به امراض گوناگون تنفسی و قلبی شوند. در این حالت بیش‌تر دولت‌ها اعلان حالت اضطرار می‌کنند؛ زیرا درین وضعیت تمام افراد جامعه تحت تأثیر آلوده‌گی هوا قرار می‌گیرند. غلظت کاربن‌مونواکساید در

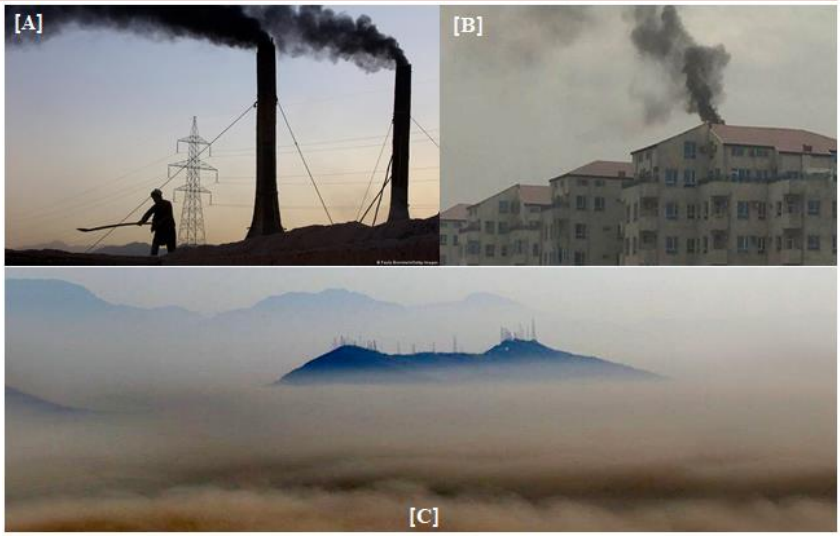
[1] **Air Quality Index**

داخل ساختمان‌ها معمولاً تحت شرایط با تهویهٔ طبیعی و میزان‌های تخلیهٔ هوای کافی به بیش از 30 ppm[2]تجاوز نمی‌کند [۲۴].

آمار دقیق از جمعیت شهر کابل در دست نیست. منابع مختلف جمعیت کابل را بین چهار تا پنج میلیون تخمین زده‌اند. در این مطالعه اگر جمعیت شهر کابل به‌طور تقریبی 5 میلیون در نظر گرفته شود و به‌طور اوسط تعداد اعضای هر خانواده 5 نفر مد نظر باشد، برای جمعیت 5 میلیونی شهر کابل یک میلیون خانهٔ مسکونی ضرورت است؛ طوری‌که دانسته می‌شود در فصل زمستان مردم شهر کابل برای گرم‌نمودن منازل مسکونی شان از زغال‌سنگ استفاده می‌کنند. هرگاه قطر هریک از نل‌های بخاری منازل مسکونی شهر کابل که در فصل زمستان از آن دود خارج می‌شود 0.1 متر یا 10 سانتی‌متر باشد، به‌صورت کل از یک نل با قطر 100 متر در جریان فصل زمستان دود به فضای شهر کابل صادر می‌شود.

جدول 1: ارتباط شاخص کیفیت هوا با سطح اهمیت بهداشتی و رنگ‌های متناظر با آن [۲۵]

شاخص کیفیت هوا	سطح اهمیت بهداشتی	رنگ‌ها
۰-۵۰	خوب (پاک)	سبز
۵۱-۱۰۰	قابل قبول	زرد
۱۰۱-۱۵۰	ناسالم برای گروه‌های حساس	نارنجی
۱۵۱-۲۰۰	ناسالم	قرمز
۲۰۱-۳۰۰	بسیار ناسالم	بنفش
بالاتر از ۳۰۰	خطرناک	خرمایی



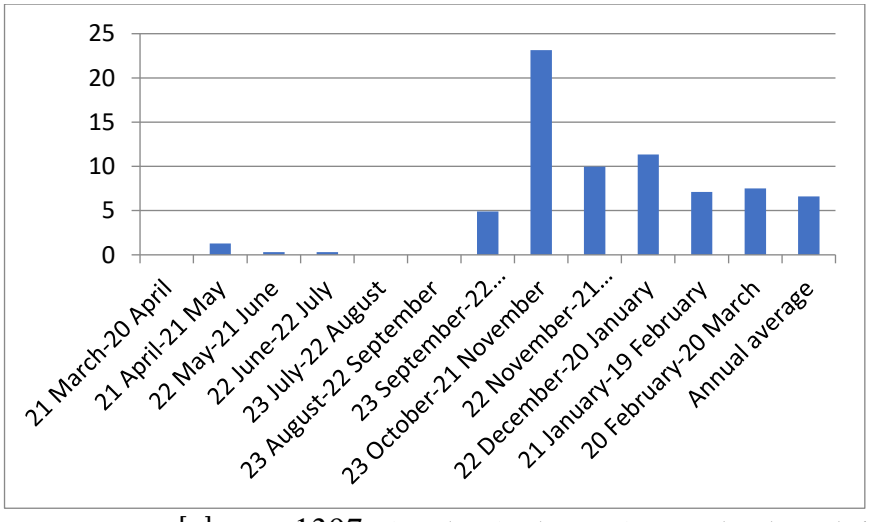
[2] Part Per Million

A: بلندشدن دود ناشی از زغال‌سنگ از یک کورۀ خشت‌پزی در کابل [1] B: بلندشدن دود ناشی از زغال‌سنگ از فعالیت مرکزگرمی یک آپارتمان در کابل [3] C: نمایی از شهر کابل [۲۶].

جدول 2. اوسط حجم ذرات کاربن‌مونواکساید (mg/m^3) در جریان دوازده ماه سال 1397 [۶]

حمل (21 March-20 April) mg/m^3	ثور (21 April-21 May) mg/m^3	جوزا (22 May-21 June) mg/m^3	سرطان (22 June-22 July) mg/m^3	اسد (23 July-22 August) mg/m^3	سنبله (23 August-22 September) mg/m^3
0	0.3	0.31	0.31		
میزان (23 September-22 October) mg/m^3	عقرب (23 October-21 November) mg/m^3	قوس (22 November-21 December) mg/m^3	جدی (22 December-20 January) mg/m^3	دلو (21 January-19 February) mg/m^3	حوت (20 February-20 March) mg/m^3
4.9	23.129	9.981	11.34	7.113	7.49
اوسط سالانه: 6.5873					
استندرد ملی کیفیت هوای افغانستان: 30 mg/m^3 در یک ساعت					

این ارقام توسط دستگاه‌های سیار تثبیت کیفیت هوا در نقاط مختلف شهر کابل به‌طور وقفه‌یی در سال 1397 اخذ گردیده است.



گراف ۱: اوسط حجم کاربن‌مونواکساید طی سال 1397 هـ ش [۶]

با درنظرداشت ارقام ارائه‌شده در جدول فوق که نشان‌دهندۀ میزان آلوده‌گی هوا در شهر کابل می‌باشد، دیده می‌شود که میزان آلوده‌گی هوا (ذرات کاربن‌مونواکساید) از ماه عقرب 1397 به بعد در مقایسه با ارقام استندرد ملی کیفیت هوا در اوقات مختلف اکثر بالاتر از حالت استندرد بوده است [۶].

قابل ذکر است که ارقام متذکره نشان‌دهندۀ وضعیت دقیق کیفیت هوا در شهر کابل نیست؛ زیرا سیستم و تجهیزات موجود ارقام ارائه‌شده را صرف به‌شکل موقتی و مقطعی از نقاط مختلف شهر کابل اخذ نموده است. برای این‌که ارقام دقیق و مطابق استندردهای ملی و بین‌المللی را در مورد کیفیت هوا در طی هر 24 ساعت به‌طور منظم داشته باشیم، نیاز است تا دستگاه‌های ثابت (ستیشن) در نقاط مختلف شهر نصب گردد و ارقام منظم را در طول 24 ساعت و ثانیه‌وار ارائه نماید. قابل تذکر است طوری‌که مشاهده می‌گردد که در دو ماه اخیر سال میزان آلوده‌گی هوا در مقایسه به ماه‌های دیگر سال نظر به استندرد ملی کیفیت هوای کشور کاهش قابل ملاحظه داشته که این کاهش به نسبت بارنده‌گی‌های اخیر در شهر کابل می‌باشد.

با توجه به آلوده‌گی‌های هوای شهر کابل ناشی از دود زغال سنک و تقاضای مردم این شهر به انرژی جهت رفع نیازمندی‌ها به تدریج رو به افزایش است. برای برآورده‌شدن این نیازمندی‌ها بسیاری از افغان‌ها در حال حاضر به دنبال منابع جای‌گزین انرژی در کنار سوخت‌های فسیلی‌اند.

استفاده از انرژی مبتنی بر نور خورشید برای رفع نیازهای انرژی مسکونی از چند سال پیش در افغانستان از طریق برخی شرکت‌های انرژی تجدیدپذیر ترویج شده است. بعضی از شهروندان شهر کابل و سایر مردم در نقاط مختلف افغانستان از تکنولوژی‌های جدید انرژی خورشیدی مانند سولرسیستم و آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی جهت تأمین‌نمودن انرژی برقی و آب گرم منازل شان اقدام نموده‌اند؛ ولی از انرژی خورشیدی جهت تأمین گرمایش و سرمایش منازل مسکونی و آپارتمان‌ها در افغانستان مروج نگردیده است. خوب است که برای کاهش آلوده‌گی هوا در شهر کابل از طراحی‌های جدید جهت تأمین گرمایش خانه‌ها و آپارتمان‌ها استفاده شود.

3. ۴. استفاده از انرژی خورشیدی در گرمایش خانه‌ها و آپارتمان‌های مسکونی

انرژی خورشیدی از جملۀ انرژی‌های تجدیدپذیر بوده و این انرژی‌ها دارای مزایای خاص (عدم تولید گازهای مضر، زباله یا بقایای مشکل‌آفرین برای محیط زیست و همچنان پایان‌ناپذیر، قطع وابستگی و...) می‌باشد [29]. بنابراین، ساختمان‌ها می‌توانند به دو روش (فعال و غیر فعال) انرژی خورشیدی را دریافت کنند [30] [31].

در روش فعال باید از کلکتورهای صفحهٔ تخت برای جمع‌آوری انرژی حرارتی خورشیدی، انتقال و ذخیرهٔ آن جهت تهیهٔ آب گرم به داخل ساختمان استفاده کرد [28] [32]. در سیستم غیر فعال کیفیت و چگونه‌گی طراحی ساختمان به دریافت و ذخیرهٔ انرژی خورشیدی بسته‌گی دارد. در این سیستم گرم‌کردن ساختمان به‌طور طبیعی از خورشید صورت می‌گیرد؛ یعنی بدون نیاز به سوخت‌های فسیلی [31] [32].

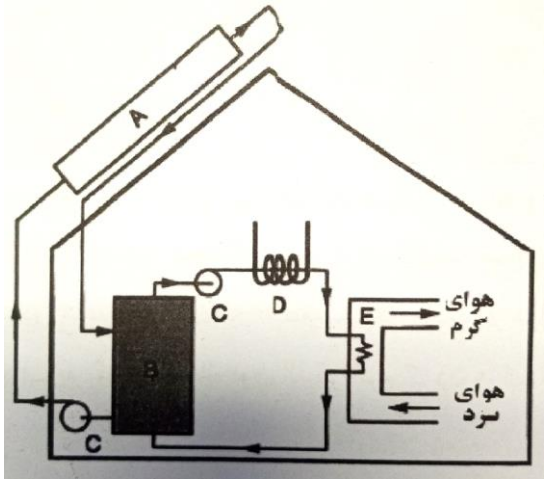
3. ۵. طراحی ساختمان با سیستم‌های فعال و غیر فعال خورشیدی

با استفاده از این سیستم‌ها نه‌تنها هزینه‌های مربوط به تأمین گرمایش در خانه کاهش پیدا می‌کند؛ بلکه حس آرامش، جذابیت، پایداری و هماهنگی با محیط زیست نیز به ساکنین منتقل می‌شود [30] [31]. سیستم‌های فعال خورشیدی متشکل از کلکتورهای انرژی خورشیدی‌اند که به میزان قابل توجه منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی خواهند شد. از جملهٔ این سیستم‌ها می‌توان به آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی و سیستم برق فتوولتائیک اشاره نمود [31]. آب‌گرم‌کن خورشیدی با جذب انرژی خورشیدی آب گرم مورد نیاز ساکنین را فراهم می‌کند. در این آب‌گرم‌کن‌ها انتقال انرژی حرارتی توسط مبدل‌های حرارتی از یک سیال به سیالی دیگر صورت می‌پذیرد [28] [31]. این تجهیزات با توجه به تعداد ساکنین با کیفیت و راندمان بالا تولید می‌شوند و نیاز آن‌ها را رفع می‌کنند. لازم به ذکر است که در آن‌ها از دو نوع سیستم گرمایشی (هوا و سیال) استفاده می‌شود [26]. کلکتورها وظیفهٔ ذخیره‌سازی انرژی گرمایشی را به عهده دارند [32]. در سیستم هوایی حرارت از طریق هوای درون کلکتورها منتقل می‌شود؛ اما در سیستم سیال یک سیال ضد یخ درون کلکتورها جریان دارد. هنگامی‌که این سیستم با تأسیسات و معماری ساختمان تلفیق پیدا می‌کند، تجهیزات اصلی باقی مانده و تجهیزات دیگر با وسایل مشابه ادغام می‌گردند [31]. از این‌رو، با ایجاد شرایط بهینه و اقتصادی می‌توان از این سیستم به بهترین شکل برای تأمین انرژی استفاده نمود. گرمایش خانه‌ها و ساختمان‌ها از کف نیز می‌تواند جهت استفادهٔ بهینه از انرژی حرارتی برای گرمایش خانه کاربرد قابل توجهی داشته باشد و سیستم گرمایش از کف از جملهٔ موارد استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین گرمایش ساختمان است [26]. از این‌رو، می‌توان به‌جای مصرف سوخت‌های فسیلی از پنل‌های خورشیدی استفاده نمود و به میزان قابل توجه از میزان آلوده‌گی‌های ناشی از احتراق کم کرد [27].

اصولاً دریافت انرژی خورشیدی با سیستم غیر فعال به‌صورت مستقیم، غیر مستقیم و ایزوله (عایق‌بندی حرارتی) صورت می‌گیرد [30] [31]. دریافت مستقیم همان تابش مستقیم نور خورشید و نفوذ آن به فضاهای داخلی است؛ اما دریافت غیر مستقیم با استفاده از مصالح ذخیرهٔ حرارتی صورت می‌گیرد. در

این روش نور خورشید از طریق مصالح جمع‌آوری، ذخیره و به واسطهٔ هدایت یا همرفت پخش و منتقل می‌شود [26] [31]. در سیستم‌های دریافت ایزوله نیز انرژی از طریق تابش در محفظه‌یی‌که به فضاهای باز یا بسته راه دارند اندوخته می‌شود [26] [31].

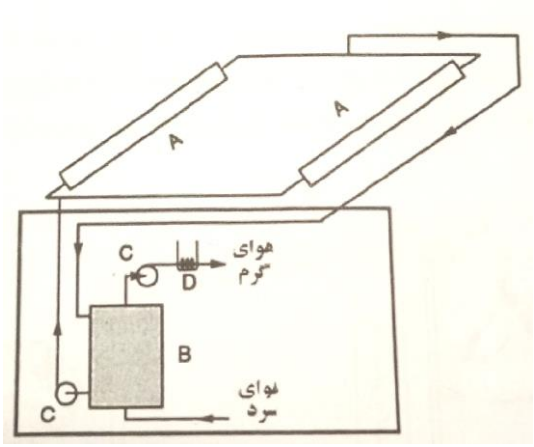
در شکل (1) یک گرم‌کنندهٔ هوا نمایش داده شده است. آب در کلکتور (A) حرارت گرفته و در تانکی (B) ذخیره می‌شود. هوای خانه انرژی خود را از تماس با آب گرم موجود در مبادله‌کننده‌های حرارت (E) که در خود خانه قرار دارد، حاصل می‌کند [9] [33]. دو عدد پمپ (C) دوران اجباری را بین کلکتور و تانک (بین تانک مبادله‌کننده‌های حرارتی) تولید می‌کند [۹] [30].



شکل1: رسم شیماتیکی خانه‌گرم‌کردن با استفاده از کلکتور هموار مایع‌دار [33]

هواگرم‌کن دیگر در شکل (2) نشان داده شده است. این هواگرم‌کن هوا را به‌صورت مستقیم در کلکتور گرم می‌کند و بعداً حرارت در محوطه‌یی‌که در آن‌جا از جَغَله و ریگ مملو است، ذخیره می‌شود [۹] [33].

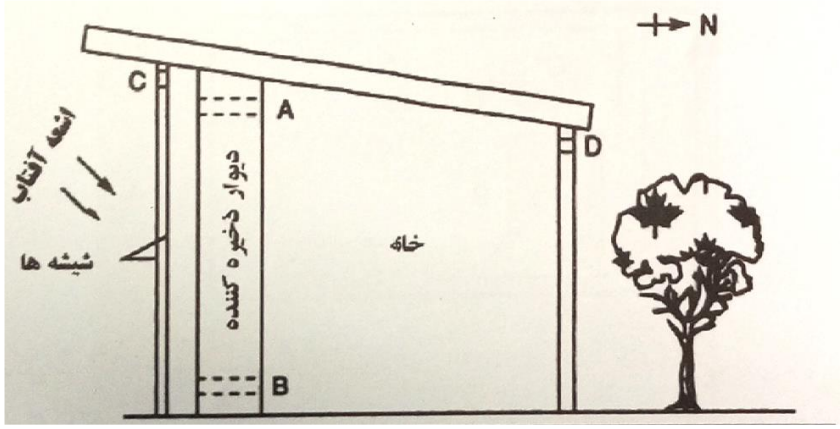
A سیستم کلکتور، B مخزن حرارتی، C پمپ، D حرارت‌دهندهٔ کمکی و E مبادله‌کنندهٔ حرارت است.



شکل 2: رسم شیماتیکی سیستم گرم‌کنندۀ هوا با استفاده از هواگرم‌کن خورشید [33]

گرم‌کردن هوا در مناطق سرد که در آن‌جا به یک مقدار حرارت بیش‌تر ضرورت است، حایز اهمیت می‌باشد. در موسم زمستان در اکثر مناطق افغانستان به‌خصوص در شهر کابل به هواگرم‌کردن ضرورت می‌شود. برخلاف، روش‌های فعال فوق‌الذکر گرم‌کردن هوا به روش غیر فعال به‌منظور بهبود بخشی هوای ماحول نیز به‌کار می‌رود [۹] [33]. روش غیر فعال عبارت از آن است که انرژی حرارتی در یک فضا بدون استفاده از بادپکه و کار میخانیکی جریان نماید [۹] [33]. شکل همچو سیستم که توسط ترومب[3] طرح شده در شکل (3) نمایش داده شده است. در این روش دیوار سمت جنوبی خانه دوشیشه‌یی ساخته می‌شود. در عقب شیشه یک دیوار کانکریتی ضخیم سیاه‌رنگ که تشعشعات آفتاب را جذب و ذخیره کند، قرار دارد. مجراهای (A و B) قابلیت بازوبسته‌شدن را دارا می‌باشد که در بالا و پایین دیوار ذخیرۀ حرارتی ساخته می‌شود. در اثنای روز دو مجرای A و B باز نگهداشته می‌شوند. هوای بین شیشۀ داخلی و دیوار گرم شده از مجرای بالایی به داخل خانه جریان پیدا می‌کند. در عین زمان هوای سرد از مجرای پایین از خانه خارج می‌شود. بدین وسیله یک دوران طبیعی به‌وجود می‌آید. یک مقدار انتقال حرارت به وسیلۀ تشعشع داخلی دیوار ذخیروی به هوای خانه صورت می‌گیرد. در اثنای شب هردو مجرا بسته شده و انتقال حرارت به روش تشعشع صورت می‌گیرد [۹] [33].

[3] Trombe



شکل 3: رسم شیماتیکی گرم‌کردن هوا به روش غیر فعال [33]

طرح ساختمان ترومب با استفاده از مجراهای C و D که در قسمت بالایی شیشه و هم در دیوار سمت شمال گذاشته می‌شود، کار هواکش را می‌تواند اجرا کند. در یک روز گرم تابستانی مجراهای B، C و D باز نگهداشته شده و مجرای A بسته می‌شود. از مجرای C هوای گرم بین شیشه و دیوار خارج شده و توسط هوای داخل خانه تعویض می‌گردد. این باعث می‌شود که تشعشع مستقیم آفتاب در موسم تابستان به شیشهٔ خانه نرسد [۹] [33].

4. مناقشه

در شهرهای مختلف دنیا عوامل مختلف روی آلوده‌گی هوا تأثیر می‌گذارند که مهم‌ترین آن‌ها سبک زنده‌گی و رفتار و فعالیت‌های انسان‌ها با محیط زیست است [۱۲]. پایداری جو و پدیدهٔ وارونه‌گی درجهٔ حرارت می‌تواند مُوجب افزایش غلظت آلاینده‌های هوا گردد که موارد حد اکثر غلظت می‌تواند ناشی از این پدیده‌ها باشد [34]؛ چون در طی یک سال، به‌خصوص در فصل زمستان، استفاده از وسایل گرمایشی بیش‌تر بوده؛ لذا انتشار کاربن‌مونواکساید از این طریق می‌تواند افزایش یابد. هم‌چنان، تواتر پایداری جو و وارونه‌گی درجهٔ حرارت در فصل سرد بیش‌تر است [35]. بنابراین، مشاهدهٔ مقادیر بالاتر حد اقل و حد اکثر غلظت در این فصل قابل انتظار است. در لندن آلوده‌گی هوا ناشی از فعالیت‌های کارخانه‌های صنعتی بود که در انجام فعالیت‌ها از زغال استفاده می‌نمودند و دولت انگلیس با تصویب قانون هوای پاک در جهت کاهش آلوده‌گی هوا گام‌های عملی برداشت [۱۱]. رشد سریع و صنعتی‌شدن چین با افزایش شدید آلوده‌گی هوا در این کشور همراه بوده است. دولت چین هم استندردهای آلاینده‌گی دقیق‌تری را اعمال و سیستم‌های پیش‌رفتهٔ کنترول کیفیت هوا را ایجاد کرد [۱۴]. به اساس یافته‌های این تحقیق هردو کشور فوق‌الذکر در اثر فعالیت‌های صنعتی به جهت رشد اقتصادی شان به مشکل آلوده‌گی هوا

دچار بودند؛ ولی در کابل برعکس، مردم به اثر ضعف اقتصادی زغال را یکی از ارزان‌ترین منبع انرژی حرارتی جهت گرم‌نمودن خانه‌ها انتخاب نموده که باعث آلوده‌گی هوا در فصل زمستان می‌شود.

راه حل‌های مختلف برای رفع آلوده‌گی هوا در کابل وجود دارد؛ اما به‌صورت کل این راه حل‌ها را می‌توان به دو بخش تقسیم‌بندی کرد: در سطح بزرگ و در سطح کوچک. راه حل در سطح بزرگ از نگاه اقتصادی هزینهٔ بیش‌تر نیاز دارد و از توان یک قریه، یک ولسوالی و حتی یک ولایت بالا است. دولت افغانستان باید برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی برای بهره‌برداری از میزان تابش انرژی خورشیدی با استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک صفحهٔ تخت در تولید برق بودجه در نظر بگیرند تا از یک طرف از طریق برق وارداتی سرمایهٔ مردم افغانستان به جیب تاجران و خزانه‌های کشورهای خارجی نرود و از سوی دیگر ساخت نیروگاه‌های خورشیدی برای کاهش آلوده‌گی هوای شهرهای بزرگ کشور مانند کابل کمک خواهد کرد. هم‌چنان در سطح کوچک برای بهره‌گیری از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر برای تأمین انرژی حرارتی و طراحی ساختمان‌های مجهز با سیستم‌های فعال و غیر فعال خورشیدی جهت گرمایش خانه‌ها و ساختمان‌های مسکونی در کابل و شهرهای دارای آلوده‌گی هوا یک ضرورت مهم پنداشته می‌شود. در غیر این دو صورت کابل را در مسیر توسعهٔ پایدار و عاری از آلوده‌گی هوا نخواهیم داشت. مطمئناً اگر دولت افغانستان و فعالان بخش انرژی از شتاب مناسب در این راستا استفاده نکنند، آیندهٔ تولید انرژی در افغانستان را بیش‌تر از هر زمان دیگری به تاجران کشورهای خارجی خود واگذار خواهند کرد.

5. نتیجه‌گیری

در مقالهٔ حاضر به بررسی میزان غلظت هوا و عوامل آلوده‌گی هوای شهر کابل و راه‌حل‌هایی برای آلاینده‌های هوا مانند کاربن‌مونواکساید پرداخته شد. این عوامل وابسته به قیمت بلند برق، کم‌بود برق، نبود انرژی حرارتی و ضعف اقتصادی مردم شهر کابل و استفادهٔ وسیع آن‌ها از زغال‌سنگ به‌عنوان ارزان‌ترین منبع انرژی حرارتی و احتراق انواع مختلف مواد مثل پلاستیک، رابر، تایر موتر و کاغذ به‌منظور تسخین خانه‌ها و آپارتمان‌ها می‌باشد. انرژی خورشید یکی از انرژی‌های زوال‌ناپذیر بوده و با کم‌ترین هزینه می‌توان از آن استفاده نمود و استفاده از آن آلوده‌گی زیست محیطی را به میان نمی‌آورد. برای کاهش آلوده‌گی هوا در شهر کابل اقدامات اساسی دولت و مردم یک امر ضروری است. دولت در اقدامات اولیهٔ خود می‌تواند نیروگاه‌های خورشیدی را طرح‌ریزی و به بهره‌برداری بسپارد و در عین زمان قیمت تعرفهٔ برق را کاهش دهد. تحت چنین شرایط برای مردم قوانین عدم استفاده از مواد آلوده‌کنندهٔ هوا مانند زغال‌سنگ وضع گردد یا قوانین طراحی و ساختن ساختمان‌های مجهز با سیستم‌های فعال و غیر فعال خورشیدی جهت گرمایش خانه‌ها و ساختمان‌های مسکونی به ساکنان کابل وضع گردد. با حرکت

به‌سوی ساختمان‌های خورشیدی گامی مهم در جهت توسعهٔ پایدار شهری و عاری از آلوده‌گی هوا برمی‌داریم و از وابسته‌گی به سوخت‌های فسیلی فاصله می‌گیریم. برعلاوه، اقدامات فوق‌الذکر توجه به سرک‌های فرعی و پخته‌کاری آن‌ها، کنترول فعالیت‌های وسایل حمل‌ونقل کهنه، ساختن نظم و دسپلین شهری برای وسایل حمل‌ونقل و نظارت بر بازار واردات تیل و گاز شود.

6. منابع

[1] جوادی، حسین‌علی. (1397). کابل؛ آلوده‌ترین شهر جهان آلاینده‌ها چیست؟ کابل: اطلاعات روز. https://www.etilaatroz.com/70046/kabul

[2] مبارز، کفایت‌الله. (1402). عوامل آلوده‌گی محیط زیست در شهر کابل. کابل: روزنامهٔ ملی انیس. https://anisdaily.com/?p=9449

[3] محمدی، امین. (1399). زمستان؛ فصل دود زغال‌سنگ. کابل: روزنامهٔ 8 صبح. https://8am.media/winter-coal-smoke-season

[4] جعفری، معصومه. (1399). آمار مرگ‌ومیر ناشی از آلوده‌گی هوا در سال 2020 در افغانستان اعلام شد. کابل: اسپوتنیک. https://sputnik.af/20210110/6246089.html

[5] آلوده‌گی هوای کابل ممکن است مرگ‌بارتر از جنگ باشد. (1398). کابل: دویچه‌وله https://www.dw.com/fa-af//a-51221716

[6] ادارهٔ ملی حفاظت از محیط زیست. (1397). آلوده‌گی هوا. https://www.nepa.gov.af/showDariPage/34

[7] ادامهٔ روند مسدودسازی منابع آلوده‌کنندهٔ هوا در شهر کابل. (1398). کابل: خبرگزاری صدای افغان (آوا). https://www.avapress.com/fa/news/200153

[8] سرشتی، حسن. (1393). شیمی تجزیه در محیط زیست. تهران: مؤسسهٔ انتشارات دانشگاه تهران.

[9] Sukhatme, S. P. (1996). Solar energy: principles of thermal collection and storage.

[10] Sabory, N. R., Senjyu, T., Danish, M. S. S., Hosham, A., Noorzada, A., Amiri, A. S., Muhammdi, Z. (2021). Applicable smart city strategies to ensure energy efficiency and renewable energy integration in poor cities: Kabul case study. Sustainability, 13(21), 11984.

[11] Eriş, Ö. F. (2021). Assessing Urban Environmental Sustainability Performance of Greater London.

[12] وکیلی، عطاؤالله. (1399). آلوده‌گی هوا و راه‌های حل آن در شهرهای بزرگ افغانستان. https://www.nepa.gov.af/nepa/public//public/uploads/pdf/644830.pdf

[13] Cavert, W. (2022). Sin and sea coal: Smoke as urban life in early modern London. In Stereotypes and stereotyping in early modern England (pp. 243-264). Manchester University Press.

[14] Xue, Y., Zhou, Z., Nie, T., Wang, K., Nie, L., Pan, T., ... & Shao, P. (2016). Trends of multiple air pollutants emissions from residential coal combustion in Beijing and its implication on improving air quality for control measures. Atmospheric environment, 142, 303-312.

[15] عصر ایران. (1402). افتتاح بزرگ‌ترین نیروگاه خورشیدی یک‌پارچهٔ جهان در امارات. https://www.asriran.com/fa/news/918547

[16] ایران انترنشنال. (1402). امارات متحدهٔ عربی یکی از بزرگ‌ترین نیروگاه‌های خورشیدی جهان را افتتاح کرد. https://www.iranintl.com/202311173383

[17] ایسنا. (1402). بزرگ‌ترین نیروگاه خورشیدی جهان در امارات آغاز به کار کرد. https://www.isna.ir/news/98041005040

[18] خالصی دوست، عبدالله و بهنام بیگانه‌طلب. (2011). کاربرد سیستم ذخیرهٔ انرژی جهت تأمین گرمایش ساختمان به کمک انرژی خورشیدی.

[19] وکیل‌الرعایا، وحید. (1387). طراحی سیستم‌های تهویهٔ مطبوع با نرم‌افزار Carrier 2007. انتشارات صانعی.

[20] اعتماد، علی‌رضا و دیگران. (2022). طراحی و امکان‌سنجی سیستم تهویهٔ مطبوع مبتنی برCHP، گرمایش خورشیدی و سیستم ذخیرهٔ انرژی یخ برای ساختمان‌های مسکونی.
[21] بیات، رضا. (1383). سهم‌بندي منابع توليد آلوده‌گي هواي شهر تهران؛ پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. تهران: دانشگاه صنعتی شریف.
[22] فضل‌زاده، رستمی. و صادق حضرتی. (2016). بررسی غلظت منواکسیدکربن در هوای آزاد شهری و هوای داخل ساختمان‌های مسکونی شهر اردبیل. مجلهٔ دانشگاه علوم پزشکی سبزوار 168-161 ,(1)23 .
[23] کرمانی مجید و دیگران. (2016). مقایسهٔ پنج سال کیفیت بهداشتی هوای کلان‌شهر تهران بر اساس شاخص کیفیت هوا .(AQI) مجلهٔ تحقیقات سلامت در جامعه 36-28 ,(1)2 .
[24] CDC. (2009). Toxicological Profile for Carbon Monoxide. In: Service USDohahsPH, editor. Atlanta, Georgia: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
[25] IAS Study Center. (2022). Air Quality Index (AQI) https://vajiramias.com/current-affairs/air-quality-index-aqi/6369dea75f9e4a05aad358e7/
[26] رائفی‌راد، مجید. (1385). طراحی سیستم‌های خورشیدی ساختمان در ایران. سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت، دانشگاه علم و صنعت.
[27] حاج سقطی، اصغر. (1385). اصول و کاربرد انرژی خورشیدی. سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت، دانشگاه علم و صنعت.
[28] حسن‌زاده، رحیم. (1386). طراحی یک سیستم مرکب جهت گرمایش، سرمایش و تهیهٔ آب گرم مصرفی با انرژی خورشیدی. گروه مکانیک دانشکدهٔ فنی دانشگاه ارومیه.
[29] شکوهیان، کشمیری. (2014). کاربرد انرژی خورشیدی به‌عنوان یک انرژی سازگار با محیط زیست در گرمایش و سرمایش ساختمان اولین همایش ملی جغرافیا. شهرسازی و توسعهٔ پایدار.
[30] زیدی جودکی هادی و دیگران. (2009). ساختمان های خورشیدی، حرکت به‌سوی محیط زیست پایدار.
[31] معماری ساختمان با سیستم‌های فعال و غیر فعال خورشیدی. ساختمان‌چی. https://www.sakhtemanchi.com
[32] خالصی دوست، عبدالله، و بهنام بیگانه‌طلب. (1389). کاربرد سیستم ذخیرهٔ انرژی جهت تأمین گرمایش ساختمان به کمک انرژی خورشیدی. SID: نشریهٔ تبدیل انرژی. https://sid.ir/paper/206902/fa.45-37,(3)1
[33] کوکبی، خواجه محمود. (1393). انرژی آفتاب اصول و جمع‌آوری و ذخیرسازی حرارتی. کابل: انتشارات سعید.
[34] Stern AC. Fundamentals of air pollution: Elsevier. 1973.
[35] De Nevers N. Air pollution control engineering. Waveland Press; 2010.

© Author(s) 2024. This work is distributed under https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/