

# مدل سازی انتشار CO<sub>2</sub> از سیستم های تامین انرژی ساختمان های پیچیده

حسین یوسفی<sup>۱</sup>، محمدحسین قدوسی نژاد<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله:

۹۴/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله:

۹۵/۵/۲

## چکیده:

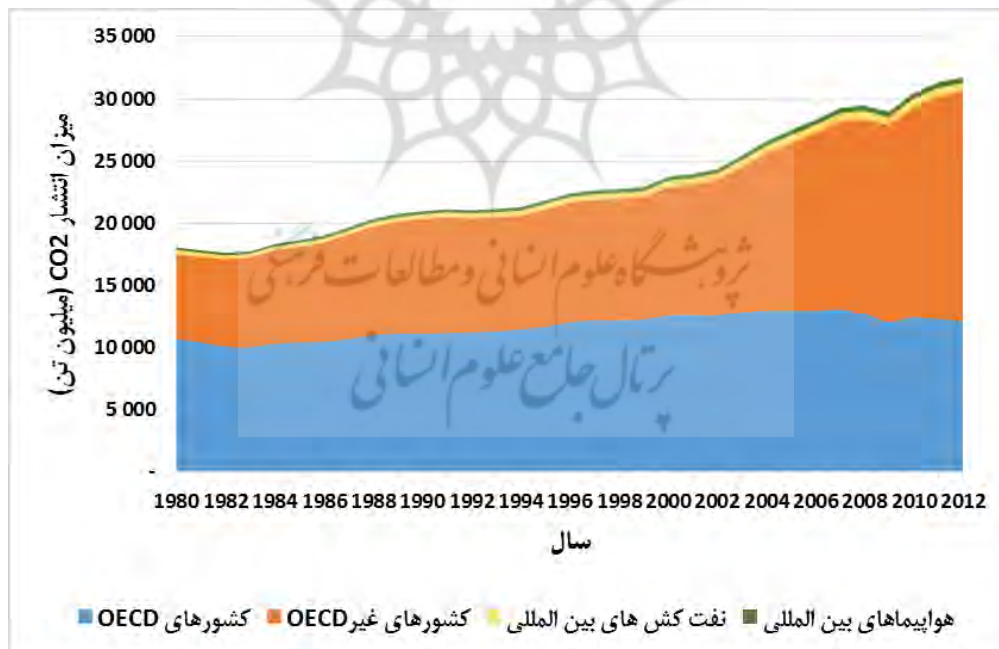
در دهه های اخیر، انتشار گازهای گلخانه ای و بخصوص CO<sub>2</sub> موجب پدید آمدن اثرات زیست محیطی ناگواری نظیر تغییرات اقلیم و گرم شدن کره زمین شده است. در این میان، علاوه بر منابع انتشار طبیعی، فعالیت های انسانی از مهم ترین منابع انتشار CO<sub>2</sub> در جو به شمار می روند. در این بین، مصرف انرژی بیشترین سهم را در انتشار CO<sub>2</sub> در جو دارد. بخش های مختلفی اعم از ساختمان ها، صنعت و حمل و نقل مصرف کننده انرژی می باشند که هر کدام نقش عمده ای در آلودگی هوا و تولید گازهای گلخانه ای دارند. طبق آمارهای رسمی، ساختمان ها بیش از یک سوم کل انرژی مصرفی دنیا را به خود اختصاص می دهند. بنابراین، نقش ساختمان های بزرگ به عنوان سیستم های انرژی بزرگ بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله، ضمن ارائه مدلی برای انتشار CO<sub>2</sub> ناشی از مصرف انرژی در یک ساختمان بزرگ، میزان CO<sub>2</sub> منتشر شده در یک نمونه عملی محاسبه شده است

## کلمات کلیدی:

انتشار CO<sub>2</sub>، گازهای گلخانه ای، ساختمان های پیچیده، مصرف انرژی، حامل های انرژی

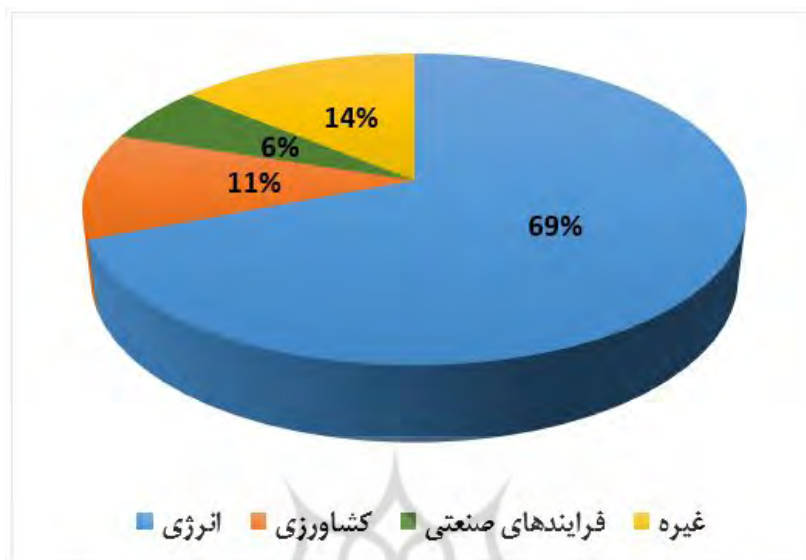
## مقدمه

گرم شدن کره زمین و تغییرات اقلیم از مهم ترین تهدیدات برای زندگی کنونی بشر و پایداری های اجتماعی و سیاسی به شمار می رود. از مهم ترین عوامل گرم شدن کره زمین، افزایش انتشار جهانی کربن است. گزارش ارزیابی چهارم سال ۲۰۰۷ (AR4) توسط هیات بین الدول تغییر اقلیم، IPCC<sup>۱</sup>، سازمان ملل بیان می دارد که بیشترین گرمای مشاهده شده در طول ۵۰ سال گذشته به دلیل انتشار روز افزون گازهای گلخانه ای ناشی از فعالیت های انسانی نظیر جنگل زدایی و مصرف سوخت های فسیلی بوده است به صورتی که در سال ۲۰۱۴ میزان غلظت CO<sub>2</sub> در جهان به بیش از ۴۰۰ ppm رسیده است [۳]. در واقع، دانشمندان بر این باورند که تغییرات آب و هوایی طبیعی نمی تواند به تنهایی این روند رشد را ایجاد کند و در نتیجه، فعالیت های انسانی نیز باید مد نظر قرار گیرد. این گرمایش نا بهنجار می تواند موجب وقوع پیامدهای ناگواری نظیر ذوب شدن یخ های قطبی، افزایش سطح آب دریاها، از بین رفتن تنوع زیستی، تغییر یا نابودی اکوسیستم ها و کاهش میزان و کیفیت محصولات کشاورزی شود [۹]. شکل (۱) میزان افزایش انتشار CO<sub>2</sub> در جهان و شکل (۲) میزان انتشار گازهای گلخانه ای به تفکیک منشاء انتشار را نشان می دهند [۱۰].



شکل (۱) میزان افزایش انتشار گاز دی اکسید کربن در جهان [۱۰]

1) Intergovernmental Panel on Climate Change



شکل ۲) میزان انتشار گازهای گلخانه ای به تفکیک منشأ انتشار [۱۰]

همان طور که در شکل (۲) مشاهده می گردد، در میان تمام فعالیت های انسانی که تولید گازهای گلخانه ای می کنند، مصرف انرژی دارای بیشترین سهم در انتشار است و سهم کمتری مربوط به سایر بخش ها نظیر کشاورزی و فرایندهای صنعتی می باشد. در بخش مصرف انرژی نیز بیشترین انتشار گازهای گلخانه ای متعلق به CO<sub>2</sub> است. [۱۰]

بخش های مختلفی در جهان مصرف کننده انرژی می باشند که هر کدام سهم جداگانه ای در انتشار گازهای گلخانه ای دارند: بخش هایی نظیر ساختمان، صنعت و حمل و نقل. در حال حاضر، در میان محققان کاملا مورد توافق است که ساختمان ها مصرف کننده بیش از یک سوم انرژی جهان بوده و در نتیجه، سهم گسترده ای در انتشار گازهای گلخانه ای دارند [۲]. ساختمان ها منشأ بخش عمده ای از انتشار آلاینده ها هستند. بعلاوه، ساختمان ها نقش عمده ای در مصرف منابع طبیعی دارند. اگر چه ساختمان ها فراهم کننده راحتی انسان بوده و ساختمان های عمومی، محل تلاقی ارتباطات انسانی هستند، اما از منظر انتشار آلاینده ها تاثیر نامطلوبی بر محیط زیست می گذارند [۸]. از ۴۰ سال گذشته تا کنون، میزان تقاضای انرژی در ساختمان ها (اعم از مسکونی و تجاری و عمومی) به طور سالانه به میزان ۱/۸ درصد رشد داشته است [۴] به طوری که بیش از یک سوم انرژی کل جهان در سال ۲۰۰۷ در ساختمان های مسکونی و تجاری مصرف شده است. بعلاوه، ساختمان ها عامل انتشار یک سوم گاز های گلخانه ای مرتبط با مصرف انرژی در جهان هستند [۸]. در سال ۲۰۱۲ بیش از ۵۳۲ میلیون تن CO<sub>2</sub> در ایران تولید شده که از این میزان تنها سهم ساختمان های مسکونی حدود ۹۵ میلیون تن بوده است. با احتساب ساختمان های تجاری و خدماتی، این میزان انتشار به بیش از ۲۳ درصد از کل

انتشار کشور می‌رسد [۳]. بنابراین، مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها در ساختمان‌ها، ظرفیت خوبی در زمینه کاهش اثرات مخرب زیست محیطی و گازهای گلخانه‌ای به دنبال دارد. از این رو، برای دست‌یابی به «ساختمان‌های با تولید کربن کمتر» باید روش‌هایی دقیق برای مدل‌سازی میزان انتشار  $CO_2$  در این بخش ایجاد و به کار گرفته شود [۶]. در ادامه این مقاله، ضمن تشریح ابعاد مختلف انتشار  $CO_2$ ، به بررسی مدلی برای انتشار آلاینده‌ها در ساختمان‌های بزرگ (ساختمان پیچیده) پرداخته خواهد شد.

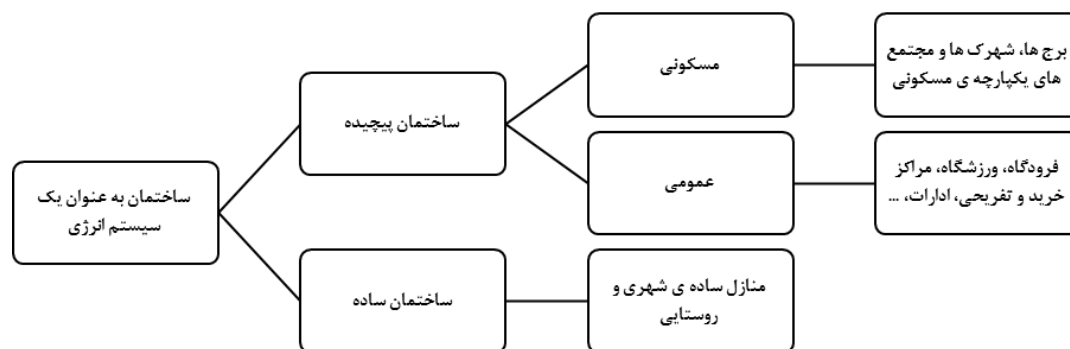
## مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها در ساختمان‌ها

### کلیات مدل‌سازی

در بحث مدل‌سازی سیستم‌های انرژی و انتشار آلاینده‌های یک ساختمان مسائل مختلفی نظیر ابعاد ساختمان، تعداد ساکنین، کاربری، انرژی الکتریکی و حرارتی مورد نیاز، منابع تامین انرژی ساختمان و غیره تاثیر گذار هستند. بنابراین، باید ساختمان‌ها را از نظر نوع سیستم انرژی دسته‌بندی نمود. به طور کلی، ساختمان‌ها از نظر سیستم انرژی به دو دسته «ساختمان‌های پیچیده» و «ساختمان‌های ساده» قابل دسته‌بندی هستند. شکل (۳) این موضوع را تبیین می‌کند. طبیعی است که مدل‌سازی و تحلیل ساختمان‌های ساده بمراتب ساده‌تر از ساختمان‌های پیچیده است. در این مقاله، به بررسی مدلی برای تحلیل انتشار آلاینده‌های یک ساختمان پیچیده به عنوان یک سیستم انرژی بزرگ پرداخته شده است.

همان‌طور که ذکر شد، ساختمان‌های پیچیده متعلق به سیستم‌های انرژی بزرگ هستند که به طور مداوم در حال توسعه سیستم‌های مصنوعی با یک ساختار سلسله‌مراتبی هستند. یکی از مشخصات سیستم‌های بزرگ انرژی، ماهیت تفکیک ناپذیر مصرف‌کننده‌های سوخت و انرژی درون ساختار سیستم انرژی است. مشخصه بعدی سیستم‌های انرژی بزرگ، تغییر و تحول و توسعه دائمی آنها می‌باشد [۱۱].

مدیریت انرژی و انتشار آلاینده‌های ساختمان‌های پیچیده مجموعه‌ای از شاخه‌های انرژی بهم متصل (فرایند‌های انرژی و تجهیزات) است که هدف آن تولید، انتقال و توزیع حامل‌های انرژی برای مصرف‌کنندگان است [۱۱]. مثال‌های متداول ساختمان‌های پیچیده، فرودگاه‌ها، بیمارستان‌ها، ورزشگاه‌ها و اماکن تفریحی، مراکز تجاری، ساختمان‌های اداری بزرگ و غیره هستند. در این گونه ساختمان‌ها، حامل‌های نهایی انرژی، الکتریسیته و حرارت می‌باشند که برای مصارف گوناگون تامین انرژی به کار می‌روند.



شکل ۳) دسته بندی ساختمان ها از نظر سیستم انرژی

### بررسی و تحلیل مدل

در این مدل، با استفاده از رویکرد پایین به بالا، تقاضای انرژی برای خدمات مختلف و نیز فناوری های مختلف به حساب آورده می شود. در واقع میزان مصرف انرژی و نیز انتشار آلاینده برای سرویس  $i$  به وسیله فناوری  $t$  و حامل انرژی  $n$  محاسبه می شود [۶].

ترکیب فناوری های مختلف برای دستیابی به تقاضای انرژی برای یک خدمت خاص از رابطه زیر به دست می آید:

$$P_i = \sum P_{t,i} \quad (1)$$

که در آن،  $P_i$  کمیت مورد تقاضا برای سرویس انرژی  $i$ ، و  $P_{t,i}$  کمیت مورد تقاضا برای سرویس  $i$  و به واسطه فناوری  $t$  است؛  $i$  نوع خدمت انرژی مورد تقاضا و  $t$  فناوری مورد استفاده برای برآورده کردن این تقاضاست.

انرژی مصرفی کل برای تمام تقاضای خدمت انرژی به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$E = \sum_i \sum_t \sum_n F_{n,t,i} \times P_{t,i} \quad (2)$$

که در آن،  $E$  نشانگر مصرف انرژی کل برای تمام بخش های تقاضای خدمت انرژی (تن استاندارد زغال سنگ) و  $F_{n,t,i}$  نشانگر مصرف انرژی حامل انرژی  $n$  در خلال برآورده کردن نیاز تقاضای خدمت انرژی است.

نهایتاً میزان انتشار در این سیستم انرژی از رابطه زیر به دست می آید:

$$CE = \sum_i \sum_t \sum_n EF_{n,t,i} \times F_{n,t,i} \times P_{t,i} \quad (3)$$

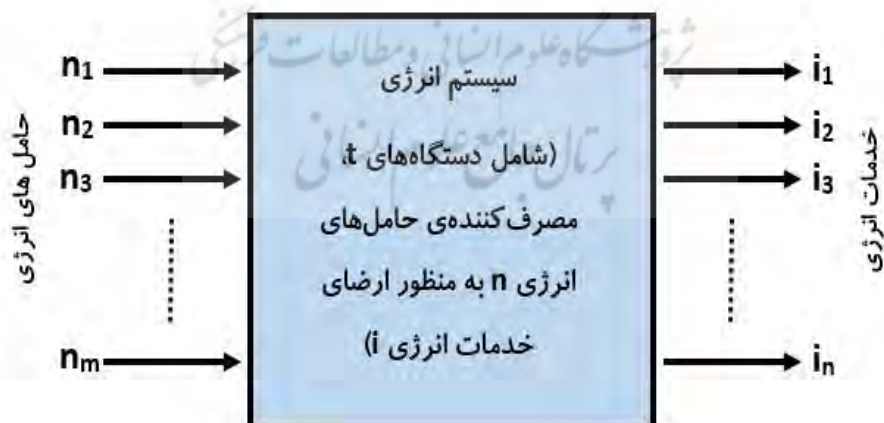
که در آن،  $CE$  نشاندهنده میزان انتشار  $CO_2$  در این بخش،  $EF_{n,t,i}$  نشاندهنده عامل انتشار حامل انرژی  $n$  در فرایند ارضای نیاز انرژی خدمت  $i$  توسط فناوری  $t$  است [۶]. شکل (۴) به طور شماتیک این سیستم انرژی مدل شده را نشان می دهد. به بیان کلی، می توان گفت که میزان انتشار کربن یک سیستم انرژی، تابعی از  $n$  و  $t$  و  $i$  می باشد:

$$CE = f(n, t, i) \quad (۴)$$

عامل انتشار  $EF$  ضریبی برای بدست آوردن میزان انتشار آلاینده های مختلف ناشی از حامل های انرژی گوناگون بوده و واحد آن به صورت جرم آلاینده بر واحد انرژی است. گروه بین المللی تغییر اقلیم، مقدار عامل انتشار حامل های مختلف را منتشر کرده است [۵]. عامل انتشار غالباً برای  $CO_2$  محاسبه می شود. زیرا این گاز بخش عمده ای از گازهای گلخانه ای را تشکیل می دهد. جدول (۱) مقدار عامل انتشار را به طور تقریبی برای چند حامل انرژی مهم نشان می دهد.

جدول (۱) عامل انتشار  $CO_2$  برای چند حامل انرژی متداول در مصارف ساختمانی [۵ و ۷]

حامل انرژی	گاز طبیعی (CNG)	مازوت	گاز مایع (LPG)	الکتریسیته
فاکتور انتشار (g CO <sub>2</sub> eq/kWh)	۲۰۲	۲۷۹	۲۲۷	۵۹۸



شکل (۴) شماتیک سیستم انرژی مدل شده

## نمونه مورد مطالعه

به منظور بررسی مدل ارائه شده، یک ساختمان که از نظر دسته بندی در دسته ساختمان های پیچیده قرار می گیرد، انتخاب شده است. نمونه مورد مطالعه، بیمارستان آیت الله طالقانی تهران می باشد که اطلاعات مربوط به مصرف انرژی آن برای مقاصد مختلف در مرجع [۱] آمده است. بخش های مصرف کننده انرژی در این ساختمان در جدول (۲) ارائه شده است.

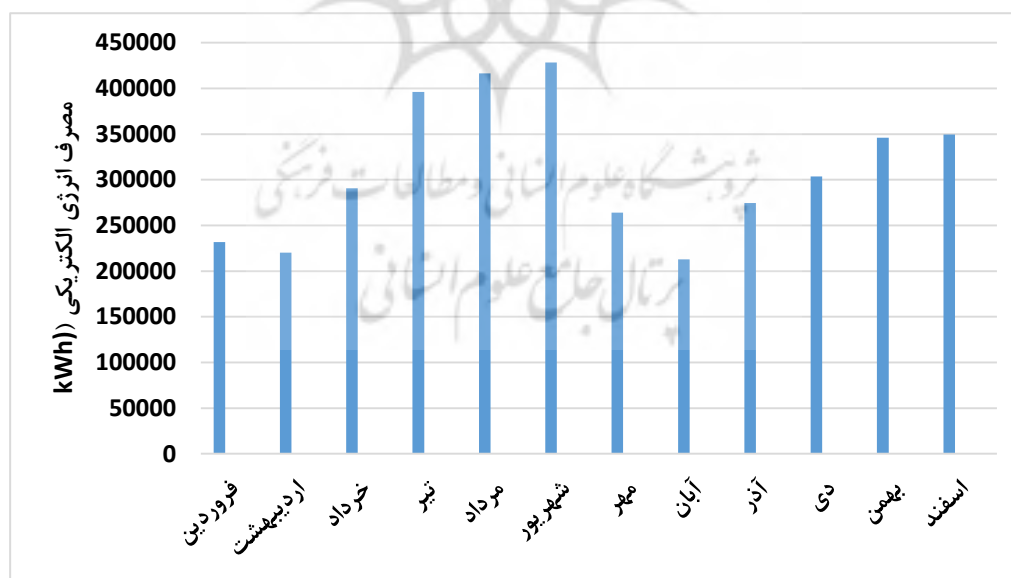
جدول (۲) خدمات نیازمند انرژی و حامل های انرژی مربوطه در نمونه مورد مطالعه [۱]

خدمات نیازمند انرژی (i)	تجهیزات مصرف کننده ی انرژی (t)	حامل انرژی (n)
روشنایی	لامپ فلورسنت، لامپ گازی، لامپ رشته ای	برق
تاسیسات و تهویه مطبوع	دیگ بخار، چیلر تراکمی، چیلر جذبی، پمپ کندانس، پمپ سیستم، کمپرسور، هواساز، آسانسور، فن های تخلیه، هواکش، کولر آبی، کولر گازی، ...	برق، مازوت
دستگاه های عمومی	تلویزیون، رایانه، آبسرد کن، یخچال، پنکه، ...	برق
آشپزخانه مرکزی	اجاق برقی، مخلوط کن، چرخ گوشت، آب گرم کن برقی، آسانسور، اجاق، ...	برق، گاز مایع
تاسیسات خدماتی	ماشین لباسشویی، خشک کن، آبگیر زمینی	برق
تاسیسات پزشکی	رادیولوژی، جراحی، استریل، ...	برق

کل انرژی مصرفی در این ساختمان به وسیله حامل های انرژی برق، مازوت و گاز مایع تامین می شود به طوری که انرژی الکتریکی و مازوت و گاز مایع انرژی حرارتی ساختمان را تشکیل می دهند. شکل های (۵) و (۶) میزان مصرف ماهانه انرژی الکتریکی و حرارتی را در طول یک سال نشان می دهد. لازم به ذکر است که قریب به اتفاق مصرف گاز مایع در این بیمارستان در بخش آشپزخانه مرکزی رخ می دهد که طبق اعلام مسئولین بیمارستان به صورت متوسط ماهانه ۱۲۰۰۰ کیلو گرم در نظر گرفته شده است. جدول (۳) مقدار مصرف ماهانه هر کدام از این حامل های انرژی را نشان می دهد.

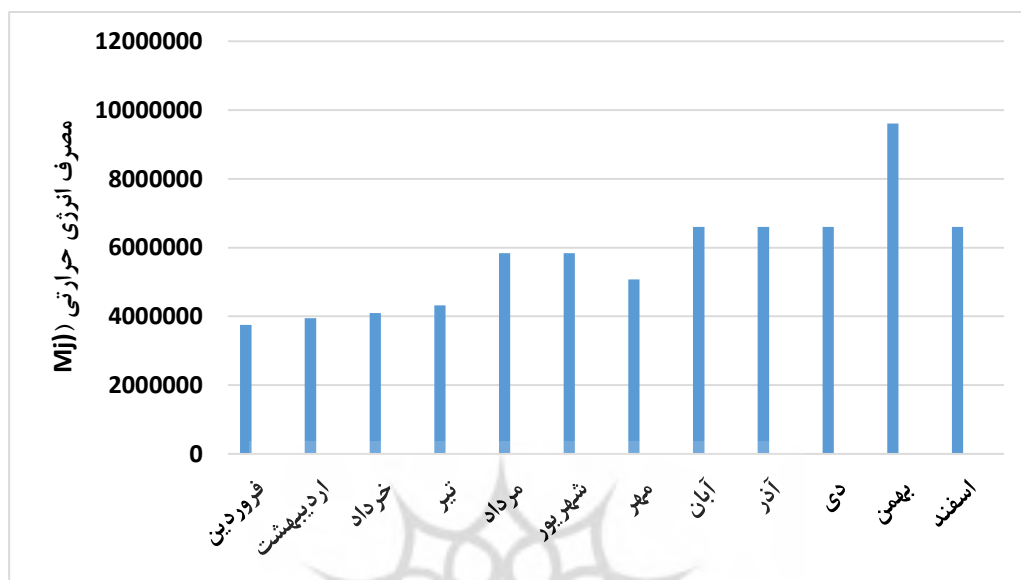
جدول ۳) میزان مصرف ماهانه حامل های انرژی [۱]

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	
۴۲۸۴۹۸	۴۱۶۳۵۱	۳۹۶۰۰۰	۲۹۰۵۵۷	۲۲۰۳۶۳	۲۳۱۶۵۲	برق (kWh)
۱۴۵۸۳۰	۱۴۵۸۳۰	۱۰۴۱۶۰	۹۷۹۲۰	۹۳۷۵۰	۸۸۵۰۰	مازوت (Lit)
۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	گاز مایع (kg)
اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۳۴۹۳۸۲	۳۴۶۰۴۶	۳۰۳۵۰۸	۲۷۴۶۶۶	۲۱۲۸۶۹	۲۶۴۰۰۰	برق (kWh)
۱۶۷۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۶۷۰۰۰	۱۶۷۰۰۰	۱۶۷۰۰۰	۱۲۵۰۰۰	مازوت (Lit)
۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰	گاز مایع (kg)



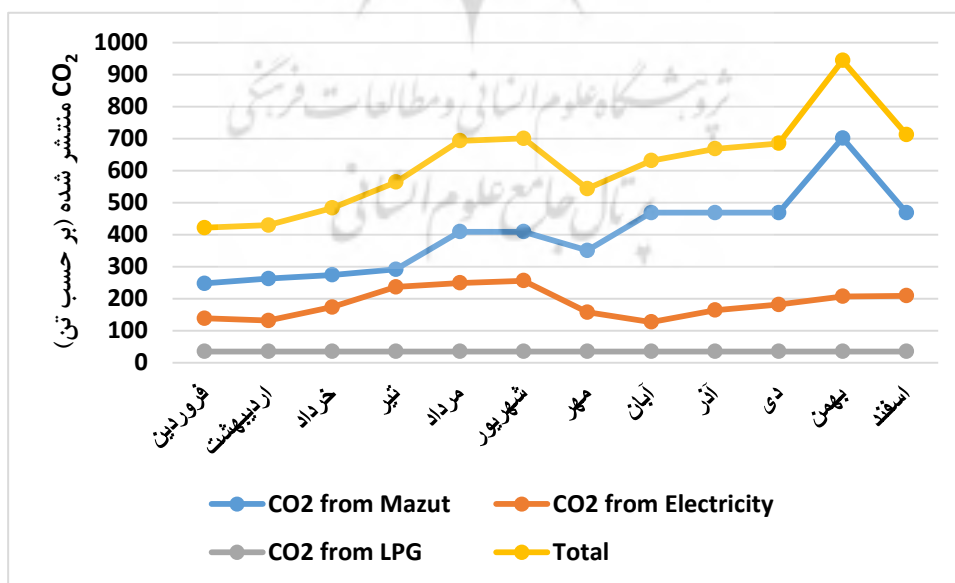
شکل ۵) میزان مصرف ماهانه انرژی الکتریکی





شکل ۶) میزان مصرف ماهانه انرژی حرارتی

با توجه به میزان مصرف انرژی ناشی از هر حامل انرژی در طول سال، میزان  $CO_2$  تولیدی ناشی از هر حامل انرژی را به کمک مدل ارائه شده و جدول (۱) به دست آورد. نتایج حاصل در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷) میزان  $CO_2$  منتشر شده از حامل های انرژی مصرفی در بیمارستان

## بحث و نتیجه گیری

همان طور که مشاهده شد، میزان  $CO_2$  منتشر شده بسته به نوع و میزان مصرف حامل های انرژی متفاوت خواهد بود. به همین ترتیب، می توان با توجه به جدول (۱) و مدل ارائه شده، میزان  $CO_2$  منتشر شده برای هر حامل انرژی و به طور مجموع برای ساختمان مد نظر را به دست آورد.

طبق شکل (۷) و رابطه (۴)، میزان  $CO_2$  منتشر شده به طور مستقیم تابع خدمت انرژی  $i$  انجام شده توسط وسیله مصرف کننده انرژی  $t$  با مصرف حامل انرژی  $n$  است. برای مثال، میزان اوج مصرف برق در میان ماه های سال بین تیر تا شهریور بوده و بنابراین میزان  $CO_2$  منتشر شده ناشی از برق در این ماهها در مقدار بیشینه قرار می گیرد به طوری که کمترین میزان  $CO_2$  تولید شده به واسطه مصرف برق، در ماه آبان و به میزان حدود ۱۲۷ تن بوده در حالی که این میزان در ماه شهریور بیشینه شده و به حدود ۲۵۶ تن رسیده است. این در حالی است که میزان مصرف مازوت که عمدتاً به منظور گرمایش و نیز تهیه آب گرم استفاده شده، در ماههای سرد بیشترین مقدار را دارد و بنابراین، میزان  $CO_2$  منتشر شده از این حامل در ماه بهمن بیشینه شده است به طوری که میزان  $CO_2$  تولید شده به دلیل مصرف مازوت در ماه فروردین با میزان حدود ۲۴۸ تن کمترین و در ماه بهمن با حدود ۷۰۲ تن بیشترین مقدار را داشته است. به طور کلی می توان گفت که هر گونه اقدام در راستای کاهش میزان انتشار می بایست در راستای تغییر در نوع، مقدار و سایر موارد مربوط به پارامترهای  $n$ ،  $i$  و  $t$  صورت پذیرد. جدول (۴)، نمونه هایی از این موارد را بیان کرده است.

جدول (۴) نمونه هایی از راهکارهای کاهش انتشار با اعمال تغییر در پارامترهای  $n$ ،  $i$  و  $t$

راهکارهای کاهش انتشار	خدمت انرژی در ساختمان (i)
کاهش بار سرمایش و گرمایش ساختمان با اقداماتی نظیر عایق کاری و غیره (i) استفاده از ادوات نوین سرمایش و گرمایش با بازده بالا (t) استفاده از روشهایی نظیر سرمایش و گرمایش خورشیدی، پمپ حرارتی زمین گرمایی (n, t)	سرمایش و گرمایش محیطی
بهبود عملکرد بویلرهای آب گرم با بازدید دوره ای و عایق کاری موتورخانه (t) استفاده از انواع آبگرمکن های خورشیدی (n, t)	آب گرم مصرفی
معماری بهینه به منظور بهره گیری حداکثری از نور خورشید (i) جایگزینی لامپ های پرمصرف با لامپ های کم مصرف (t) استفاده از انرژی های تجدیدپذیر (n)	روشنایی

به طور خلاصه می توان گفت که ساختمان فوق به عنوان نمونه مورد مطالعه قرار گرفته است تا اهمیت مصرف انرژی در ساختمان ها در انتشار گازهای گلخانه ای آشکار گردد. در این راستا، ذکر دو نکته حائز اهمیت است. نخست اینکه، به منظور کاهش انتشار CO<sub>2</sub> ناشی از مصرف انرژی در ساختمان ها، باید بهره گیری از مواد و فناوری های با کربن کمتر در ساختمان ها نظیر فناوری های صرفه جویی در مصرف انرژی، درب ها و پنجره های عایق، مصالح ساختمانی نوین و غیره افزایش یابد. دوم، نظارت ها و حمایت های دولتی گسترده ای باید در این زمینه انجام شود.

در خاتمه، به عنوان یک گزینه راهگشا، بهره گیری از انرژی های تجدیدپذیر و پاک می تواند موجب کاهش انتشار کربن گردد. سیستم های تولید پراکنده شامل انرژی های تجدیدپذیر، نه تنها باعث بهبود وضع تامین انرژی شده که میزان انتشار کربن را کاهش می دهند. از سوی دیگر، نفوذ هر چه بیشتر نیروگاه های تجدیدپذیر در شبکه برق کشور و تولید انبوه انرژی از این منابع، موجب کاهش مقدار ضریب انتشار برق کشور شده و کربن منتشر شده ناشی از مصرف برق شاهد کاهش خواهد بود.

## منابع

- [۱] موسوی خلخالی، سید محمدصادق، حاجی سقطی، ساسان. مدیریت مصرف انرژی در یک نمونه بیمارستان ۴۰۰ تختخوابی، سازمان بهره وری انرژی ایران (سایا)، بهمن ۱۳۷۹.
- [2] Bessa, Vanessa MT, and Racine TA Prado. (2015). "Reduction of carbon dioxide emissions by solar water heating systems and passive technologies in social housing." *Energy Policy* 83: 138-150.
- [3] Huisingh, Donald, (2015). "Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling." *Journal of Cleaner Production* .
- [4] IEA. (2013). Transition to sustainable buildings: strategies and opportunities to 2050. International Energy Agency (IEA).
- [5] Intergovernmental Panel On Climate Change (2006). "2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories." 2013-04-28]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- [6] Lei Wen, Ye Cao, (2015). Study on Energy Efficiency and Measurement of CO<sub>2</sub> Emissions on Buildings: A Case Study in Hebei, China. *International Journal of Sustainable and Green Energy*. Vol. 4, No. 3, pp. 85-91.
- [7] Mattinen, Maija K., (2014). "Modeling and visualization of residential sector energy consumption and greenhouse gas emissions." *Journal of Cleaner Production* 81: 70-80.

- [8] Nejat, Payam, (2015). "A global review of energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO<sub>2</sub> emitting countries)." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43: 843-862.
- [9] Sanaeepur, Saeed, (2014). "Renewable energies: climate-change mitigation and international climate policy." *International Journal of Sustainable Energy* 33.1: 203-212.
- [10] Van der Hoeven, Maria, (2014). "CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion-highlights." *IEA Statistics* .
- [11] Zi ők, Andrzej, and Krzysztof Hoinka. (2012). *Energy systems of complex buildings*. Springer Science & Business Media.

