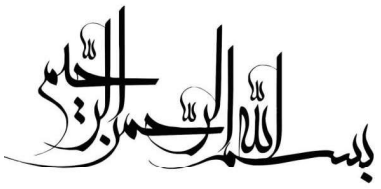

انرژی و معماری سرآمد

«درآمدی بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان»

(چاپ سوم)

نگارندگان

دکتر محمدجواد مهدوی‌نژاد

استاد دانشگاه تربیت مدرس

دکتر محمدرضا بمانیان

استاد دانشگاه تربیت مدرس

دکتر کاوان جوانرودی

فارغ التحصیل دکتری دانشگاه تربیت مدرس و پسا دکتری دانشگاه چالمرز سوئد

۱۴۰۲

سرشناسه: مهدوی‌نژاد، محمدجواد، ۱۳۵٦ -
Mahdavinejad, Mohammadjavad
عنوان و نام پدیدآور: انرژی و معماری سرآمد «درآمدی بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان»/نگارندگان محمدجواد مهدوی‌نژاد، محمدرضا بمانیان، کاوان جوانرودی.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، ۱۳۹٦.
مشخصات ظاهری: ٤۲۱ص.: مصور
شابک چاپی: ۵-٤٦-۷۵۸۹-٦۰۰-۹۷۸ **شابک الکترونیکی:** ٤-۲۱-۸۳۳۹-٦۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
موضوع: معماری و صرفه‌جویی در انرژی موضوع: Architecture and energy conservation
موضوع: ساختمان‌ها -- صرفه‌جویی در انرژی موضوع: Buildings -- Energy conservation
شناسه افزوده: بمانیان، محمدرضا، ۱۳۳۷ - شناسه افزوده: جوانرودی، کاوان، ۱۳٦۷ -
شناسه افزوده: دانشگاه تربیت مدرس. مرکز نشر آثار علمی
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹٦ ۸ الف۹م/NA۲۵٤۲/۳ رده‌بندی دیویی: ۷۲۰/٤۷۲ شماره کتابشناسی ملی: ۵۰۲۹۸۲۹

انرژی و معماری سرآمد «درآمدی بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان»
نگارندگان: دکتر محمدجواد مهدوی‌نژاد، دکتر محمدرضا بمانیان و دکتر کاوان جوانرودی
ویراستار ادبی و فنی: لیلا نجفی زمان
طراح جلد: ترنج
صفحه‌آرا: سمیه زهانی
شماره انتشار: ۲۱۷
شماره پیاپی: ۵۰۸
تاریخ انتشار: ۱٤۰۲
شمارگان: ۲۰۰
شابک چاپی: ۵-٤٦-۷۵۸۹-٦۰۰-۹۷۸ **شابک الکترونیکی:** ٤-۲۱-۸۳۳۹-٦۲۲-۹۷۸
ناشر: مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرّس
نوبت چاپ: سوم
کارشناس اجرایی: لیلا نجفی زمان
ناظر چاپ: مصطفی جانجانی
لیتوگرافی: ایران گرافیک
چاپ و صحافی: قشقایی
مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های آل‌احمد و دکتر چمران، مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرّس، صندوق پستی: ۳۱۸-۱٤۱۱۵
تلفن: ۸۲۸۸۳۰۹٦ **دورنگار:** ۸۲۸۸۳۰۳۲
آدرس اینترنتی فروش: pub.modares.ac.ir

صحت مطالب کتاب برعهدهٔ نگارندگان است.

تمام حقوق این اثر برای مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس محفوظ است و تکثیر کتاب به هر روشی بدون اجازه کتبی ناشر پیگرد قانونی دارد.

تقدیم به:

معماران ایران زمین

فهرست مطالب

پیشگفتار ..... ط
۱- مفاهیم و کلیات ۱
۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ انرژی ۳
۱-۳ منابع انرژی ۸
۱-٤ انرژی و معماری ۹
۱-۵ آسایش حرارتی در ساختمان ۱۱
نتیجه‌گیری ۱۲
۲- مصرف انرژی و معماری ۱۳
۲-۱ مقدمه ۱۳
۲-۲ سامانه‌های انرژی ۱٤
۲-۳ مصرف انرژی در ایران ۱۸
۲-٤ تجزیه و تحلیل مصرف انرژی در ایران ۱۹
۲-۵ راه‌های مصرف انرژی در ساختمان مسکونی ۲۳
۲-۵-۱ آب گرم خانگی ۲۸

۲-۵-۲ مصرف انرژی الکتریسیته (برق) ۲۹
۲-۵-۳ ساختمان‌های اداری ۳۱
۲-۵-٤ مصرف کلی برق ۳۲
۲-۵-۵ مصرف انرژی روشنایی ۳٤
۲-۵-٦ تهویه هوا ۳۷
۲-۵-۷ بار داخلی ٤۱
۲-۵-۸ بار خارجی ٤۱
نتیجه‌گیری ٤٦
۳- انرژی‌های تجدیدپذیر و معماری ٤۹
۳-۱ مقدمه ٤۹
۳-۲ انرژی باد ٤۹
۳-۲-۱ توربین محور افقی ٦۳
۳-۲-۲ توربین محور عمودی ٦۳
۳-۳ قدرت باد ٦۵
۳-٤ قدرت توربین بادی ٦۵
۳-۵ کاربرد توربین بادی ٦٦
۳-۵-۱ توربین بادی در فضای شهری ٦٦
۳-۵-۲ توربین بادی و ساختمان‌های بلند ٦۷
۳-۵-۳ تاریخچهٔ استفاده از توربین بادی در ساختمان‌های بلند ٦۸
۳-۵-٤ نمونه‌های استفاده از توربین بادی در ساختمان‌های بلند ۷۰
۳-۵-۵ بهترین ساختمان برای نصب توربین بادی ۸٤

۳-۵-٦ بهترین توربین‌های بادی برای استفاده در ایران ۹۱
۳-٦ جایگاه انرژی باد در ایران ۹۳
۳-٦-۱ انجام پتانسیل‌سنجی و تهیه اطلس باد کشور ۹۵
۳-٦-۲ احداث نیروگاه بادی ۱۰۰مگاوات منجیل ۹٦
۳-٦-۳ احداث نیروگاه بادی بینالود ۹٦
۳-۷ چشم‌انداز انرژی بادی در ایران ۹۷
۳-۸ زیست‌توده و استفاده از ضایعات ۹۹
۳-۸-۱ احتراق مستقیم ۱۰۱
۳-۸-۲ زیست گاز ۱۰۳
۳-۸-۳ سوخت مایع ۱۰٤
۳-۹ تاریخچه زیست‌توده در جهان و ایران ۱۰۵
۳-۱۰ جایگاه انرژی زیست‌توده در ایران ۱۰۸
۳-۱۱ انرژی زمین‌گرمایی ۱۰۸
۳-۱۱-۱ فناوری‌ها و پیشرفت‌های انرژی زمین‌گرمایی ۱۱۱
۳-۱۱-۲ نیروگاه‌های زمین‌گرمایی ۱۱۳
۳-۱۱-۳ کاربردهای غیرنیروگاهی ۱۱٤
۳-۱۱-٤ جایگاه انرژی زمین‌گرمایی در ایران ۱۱٦
۳-۱۲ انرژی هسته‌ای ۱۱۸
نتیجه‌گیری ۱۱۸
٤- انرژی خورشیدی و معماری ۱۱۹
٤-۱ مقدمه ۱۱۹

٤-٢ انرژی خورشیدی ١١٩
٤-٣ تاریخچه انرژی خورشیدی ١٢٢
٤-٤ انرژی خورشیدی غیرفعال ١٢٦
٤-٥ انرژی خورشیدی فعال ١٣٠
٤-٦ برق حرارتی خورشیدی ١٣٠
٤-٧ متمرکز کننده‌های بشقابی خورشیدی ١٣٢
٤-٨ فتوولتائیک ١٣٣
٤-٩ پتانسیل تابش و نقشه تابش خورشید در ایران ١٣٧
٤-١٠ گرمایش خورشیدی ١٣٩
٤-١١ عوامل اقتصادی ١٤٥
٤-١٢ ساختمان‌های خورشیدی ١٤٦
٤-١٣ آب‌گرمکن‌های ترکیبی خورشیدی-گازسوز ١٤٧
٤-١٤ گرمایش خورشیدی منطقه‌ای فعال ١٤٨
٤-١٥ سایت گرمایش خورشیدی مرکزی با انباشت فصلی ١٤٨
٤-١٦ نیروگاه حرارت خورشیدی با انباشت روزانه ١٥٣
٤-١٧ آینده نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی ١٥٤
نتیجه‌گیری ١٥٥
٥- فناوری‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر و معماری ١٥٧
٥-١ مقدمه ١٥٧
٥-٢ کوپلینگ زمینی با استفاده از هوا ١٥٧
٥-٣ سرمایش و گرمایش از طریق آب‌های زیرزمینی ١٥٨

٥-٤ سرمایش تبخیری ١٦٠
٥-٥ سرمایش با مصالح تغییر فاز دهنده ١٦٢
٥-٦ رطوبت‌زدایی و سرمایش تبخیری ١٦٤
٥-٧ رطوبت زدایی خورشیدی با تهویه هوا ١٦٦
٥-٨ تبرید ١٦٧
٥-٩ چیلر جذبی با مبرد آمونیاک ١٦٨
٥-١٠ سرمایش ترمویونیک ١٧٢
٥-١١ سرمایش شبانه ١٧٢
٥-١٢ سقف‌های سرد تأسیساتی ١٧٤
٥-١٣ بادگیر ١٧٥
٥-١٣-١ عملکرد حرارتی بادگیر ١٧٦
٥-١٣-٢ گونه‌شناسی بادگیر ١٧٩
٥-١٣-٣ تهویه طبیعی ١٨٢
٥-١٤ نمونه‌های استفاده از فناوری‌های تجدیدپذیر ١٨٧
٥-١٥ توصیف ساختمان و ایده‌های تأمین سرمایش ١٨٨
٥-١٥-١ ساختمان لامپارتر، ویلهایم ١٨٨
٥-١٥-٢ ساختمان اداری بازسازی شده در توبینگان ١٩٠
٥-١٥-٣ بارهای داخلی و سطوح دما ١٩٣
نتیجه‌گیری ١٩٤
٦- انرژی و معماری ساختمان ١٩٥
٦-١ مقدمه ١٩٥

٦–٢ اندازه و گونه ١٩٥
٦–٣ فرم و جهت‌گیری ١٩٩
٦–٤ جانمایی فضاهای بیرونی و داخلی ٢٠٨
٦–٥ دیوارها و فنداسیون ٢١٤
٦–٦ طبقات ٢٣٢
٦–٧ پنجره‌ها و درب ها ٢٣٥
٦–٨ بام ساختمان و پوشش سقف ٢٤٠
٧– کاهش مصرف انرژی و بام ساختمان ٢٤٧
٧–١ مقدمه ٢٤٧
٧–١ بررسی مصرف انرژی بام ساختمان ٢٤٨
٧–٢ سقف تخت ٢٥٣
٧–٣ سقف شیب‌دار ٤٥ درجه و ٣٠–٦٠ ..... ٢٧١
٧–٤ سقف طاقی شکل ٢٩٧
٧–٥ سقف گنبدی و طاق آهنگ ٣١٤
٧–٦ بار سرمایشی انواع بام ٣٣٣
٧–٧ جمع‌بندی نتایج شبیه‌سازی بام‌های مختلف ٣٣٦
نتیجه‌گیری ٣٣٩
٨– ساختمان‌های مبتنی بر انرژی‌های نو با هدف کاهش مصرف انرژی ٣٤١
٨–١ مقدمه ٣٤١
٨–٢ مرکز آموزش دولتی، آلمان ٣٤٢

۸-۳ مجموعه اداری اعتماد ملی، سویندون، بریتانیا ۳٤٥
۸-٤ سیز تاور (برج سیز)، منچستر، بریتانیا ۳٤٦
۸-٥ پروژه عدن ۳٤٦
۸-٦ ساختمان اداری شورا، کینگز لین ۳٤۹
۸-۷ ساختمان مجلس ملی ولز ۳٥۲
۸-۸ مؤسسه تحقیقاتی محیط‌زیست زوخرمن (ZICER) ۳٥٥
۸-۹ مجموعه مسکونی بدون مصرف بدینگتون ۳٥۷
منابع ۳٦۱
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۳۷۷
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۳۸۱
نمایه ۳۸٥

پیشگفتار

بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی در معماری سنتی ایران و بسیاری از کشورهای جهان به‌خوبی به چشم می‌آید. معماری سنتی کشورهای مختلف جهان از شرق آسیا، جنوب آمریکای جنوبی، استرالیا تا شمالی‌ترین نقاط روسیه، همه و همه، نشان‌دهنده توجه ویژه به مصرف هوشمندانه انرژی است. از این‌رو می‌توان نابسامانی‌های موجود را حاصل نگاه محدود به مفهوم معماری و مصرف غیرهوشمندانه انرژی در سال‌های انقلاب صنعتی دانست. رؤیای توسعه شتاب‌زده که بنیان‌های آن را در سال‌های پایانی قرن نوزدهم می‌توان جستجو کرد، در عمل به جهانی منجر شد که منابع انرژی در آن روز به روز در حال کاهش است.

بحران انرژی در دهه هفتاد میلادی و افزایش قیمت جهانی نفت، نگاه جدیدی به حوزه معماری و شهرسازی ایجاد کرد؛ نگاهی که در آن معماری و صنعت ساختمان از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. افزایش قیمت نفت در بحران‌های دهه هفتاد، بیش از هر تهدیدی، فرصتی استثنایی به‌وجود آورد تا جهان معماری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های مصرف انرژی، سهم خود را در بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی بر عهده گیرد؛ به گونه‌ای که امروزه تلاش برای بهره‌وری در مصرف انرژی به بحثی جدی و البته انکار نشدنی در عرصه معماری و شهرسازی معاصر جهان تبدیل شده است. البته تلاش‌ها از دهه هفتاد تاکنون به اندازه کافی ثمربخش نبوده است. به گونه‌ای که با افزایش حدود دو برابری جمعیت در این دوران، مصرف انرژی تقریباً ده برابر شده است. به عبارت دیگر، روند فعلی جهان در مصرف انرژی به هیچ وجه پذیرفتنی نیست و آن را نمی‌توان ادامه داد. ضروری است تا به‌صورت بنیادین در این موضوع تجدید نظر شود.

آلودگی‌های زیست‌محیطی، برگ دیگری از دفتر ضرورت توجه به بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی در معماری و صنعت ساختمان به‌شمار می‌رود. دی اکسید کربن به‌عنوان یکی از عوامل اصلی آلودگی هوای شهرهای بزرگ شناخته شده است. این گاز با هموگلوبین خون ترکیب شده و کربوکسی هموگلوبین را پدید می‌آورد، که حالت ثبات دارد و باعث اختلال در جذب اکسیژن به‌وسیله هموگلوبین خون می‌شود. پیامدهای منفی آلودگی‌های ناشی از احتراق سوخت‌های سنگواره‌ای، پدیده‌های جدیدی مانند افزایش باران‌های اسیدی و رشد بیماری‌های مبتنی بر اثرهای زیان‌آور گازهای سمی را موجب شده است. براساس تعریف، اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید گوگرد حاصل از سوزاندن سوخت‌های فسیلی هنگامی که با آب موجود در هوا ترکیب می‌شوند، به اسید تبدیل شده و به‌صورت باران‌های اسیدی فرو می‌بارند. به عبارت دیگر، درصورت وجود این میزان از گازهای آلوده‌کننده در هوا، بارش باران‌های اسیدی امری اجتناب‌ناپذیر است. آلودگی هوا علاوه بر آسیب‌هایی که به سلامت انسان‌ها وارد می‌کند، موجب خوردگی نمای ساختمان‌ها نیز می‌شوند؛ این مهم در سیما و منظر شهری به‌خوبی مشاهده می‌گردد. فلزات سمی مانند آلومینیم، مس، سرب و جیوه از طریق انواع آلودگی‌ها وارد بدن انسان شده و سلامت او را تهدید می‌کند. به همین سبب، بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی به‌عنوان عاملی برای حفاظت از محیط‌زیست و سلامت شهروندان، همواره قابل توجه است.

مصرف انرژی و تراکم گازهای گلخانه‌ای، تأثیر جدی بر پدیده گرم شدن زمین دارد؛ موضوعی که نتیجه آن کمتر از آثار زیان‌آور گازهای سمی بر زندگی انسان‌ها نیست. پاریس از ۳۰ نوامبر ۲۰۱۵ شاهد کنفرانسی بزرگ در زمره مهم‌ترین گردهمایی‌های سازمان ملل بود؛ کنفرانسی که در آن سران کشورها در حومه پاریس (لوبورژه) جمع می‌شوند تا به یک توافق بین‌المللی دربارهٔ تغییرات اقلیمی دست یابند. هدف کلیدی این کنفرانس آن بود که بتواند از طریق کاهش میزان انتشار و انباشت گازکربنیک، افزایش دمای زمین را زیر ۲ درجه سلسیوس نگهدارد. به عبارت دیگر، هم‌اکنون دمای زمین ۸۵ صدم درجه افزایش یافته و همه تلاش‌ها برای این است که دمای کره زمین به ۲ درجه نرسد. پرسش کلیدی در این میان آن است که سهم معماری و شهرسازی معاصر ایران در تحقق این هدف بزرگ چیست. ما به‌عنوان جامعه معماری و شهرسازی ایران تا چه اندازه می‌توانیم در این راستا مشارکت کنیم؟ پیداست که گازهای گلخانه‌ای که گازکربنیک مهم‌ترین آنهاست، سهم مهمی در پدیده گرم شدن زمین و قابل سکونت نبودن سیاره ما دارد.

پیشگفتار ک

معماری معاصر کشورهای اکثریت، که برخی آن را *کشورهای در حال توسعه* می‌نامند، سهم مهمی از مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد که مصرف خانگی و انرژی لازم برای گرم و سرد کردن ساختمان، بخش مهمی از آن است. توسعه شهرها و به تبع آن رشد چشمگیر شهرها، موضوع استفاده از انرژی را به بحثی جدی در روزگار معاصر تبدیل کرده است. تمرکز بر بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی در صنعت ساختمان نوعی پاسخ به بحران انرژی و آلودگی‌های زیست‌محیطی حاصل از مصرف غیراصولی و برنامه‌ریزی نشده انرژی است که امروزه اهمیت آن بیش از پیش درک می‌شود. معماری معاصر جهان و بناهایی که هم‌اکنون به‌وسیلهٔ صنعت ساختمان تولید می‌شود، اگرچه تاحد پذیرفته شده‌ای به اهداف بهره‌وری در مصرف انرژی نزدیک شده است، اما با مفهوم مصرف هوشمندانه انرژی هنوز فاصله زیادی دارد.

کتاب حاضر با تأکید بر مفاهیم پایه در حوزه بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی، دست‌یابی به نوعی «معماری سرامد» را در اولویت قرار داده است. این کتاب با توجه به نیازهای اساسی دانشجویان کارشناسی، کارشناسی ارشد و به‌ویژه دکتری معماری تنظیم شده است. استفاده از منابع به‌روز جهان و ترجمه آخرین دستاوردها در حوزه مصرف هوشمندانه انرژی، از کتاب‌خانه مجموعه‌ای ارزشمند و منحصر به‌فرد ساخته است، به گونه‌ای که نگاه طراحی محور و طراح مبنا را می‌توان در جای جای آن مشاهده کرد. بدیهی است در فراهم آوردن این کتاب از دستاوردهای علمی بسیاری از نویسندگان استفاده شده که تعدادی از آنها در منابع ذکر شده و برخی دیگر به سبب وسعت متن و تنظیم چندباره آن از قلم افتاده است، و لازم است از زحمات علمی ایشان صمیمانه تشکر و قدردانی شود. نگارندگان برخود لازم می‌دانند که از تمامی افراد صاحب‌نظر و عزیزان فعال در عرصه بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی و همچنین فعالان معماری و شهرسازی معاصر ایران درخواست نمایند که اشکالات احتمالی و خطاهای ممکن را با تذکر به نویسندگان هدیه کنند. بدیهی است نظریات تکمیلی مخاطبان بخشی از تلاش برای رسیدن به اهداف عالی معماری پایدار، بهره‌وری و مصرف هوشمندانه انرژی در عرصه معماری و شهرسازی خواهد بود.

دکتر محمدجواد مهدوی‌نژاد

عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس