



مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت راه و شهرسازی

## آیین کار ممیزی انرژی ساختمان‌ها

دکتر بهروز کاری

(عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)

مهندس فرهنگ طهماسبی

مهندس مهدیه آبوش

مهندس کامران نائیجی

مهندس نیلوفر هاشمی

مهندس سعید محمدی

دکتر ریما فیاض

(عضو هیئت علمی دانشگاه هنر)

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: گ - ۶۴۰

چاپ اول: ۱۳۹۱

|                     |                                                                                                 |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| عنوان و نام پدیدآور | : آیین کار ممیزی انرژی ساختمان‌ها/بهره‌وز کاری ... [و دیگران]                                   |
| مشخصات نشر          | : تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۱.                                                |
| مشخصات ظاهری        | : ۳۶۰ ص: مصور، جدول، نمودار.                                                                    |
| شابک                | : ۹۷۸-۶۰۰-۵۳۹۲-۲۴-۱                                                                             |
| وضعیت               | : قیفا                                                                                          |
| فهرست‌نویسی         |                                                                                                 |
| یادداشت             | : بهره‌وز کاری، فرهنگ طهماسبی، مهدیه آبروش، کامران نائیجی، نیلوفر هاشمی، سعید محمدی، ریما فیاض. |
| یادداشت             | : کتابنامه.                                                                                     |
| موضوع               | : انرژی - - مصرف - - مدیریت                                                                     |
| موضوع               | : ساختمان‌سازی - - ذخیره انرژی                                                                  |
| شناسه افزوده        | : محمد کاری، بهره‌وز، ۱۳۴۱-                                                                     |
| شناسه افزوده        | : مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی                                                              |
| ردموندی کنگره       | : ۱۳۹۱ ۱۶۴۲/۲/۸ T1                                                                              |
| ردموندی دینی        | : ۳۳۸۹۱۷                                                                                        |
| شماره کتابشناسی     | : ۳۰۷۵۳۲۴                                                                                       |
| ملی                 |                                                                                                 |

مصبوه شماره ۹۱/۱۸ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

## مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

### آیین کار ممیزی انرژی ساختمان‌ها

دکتر بهره‌وز کاری، مهندس فرهنگ طهماسبی، مهندس مهدیه آبروش، مهندس کامران نائیجی، مهندس

نیلوفر هاشمی، مهندس سعید محمدی، دکتر ریما فیاض

شماره نشر: گ - ۶۴۰ چاپ اول: ۱۳۹۱

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

بها: ۶۵۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل‌آل نوری، رویروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان

شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دوتار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: http://www.bhrc.ac.ir

## پیشگفتار

ممیزی انرژی، به فرایندی گفته می‌شود که برای شناخت چگونگی بهره‌گیری از انرژی در ساختمان و شناسایی و ارزیابی فرصت‌هایی برای کاهش مصرف آن تعریف شده‌است. از آنجا که بخش قابل توجهی از اقدامات بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان اقداماتی هزینه‌بر هستند، باید علاوه بر در نظر گرفتن مسایل اجرایی اقدامات، ارزیابی‌های اقتصادی دقیقی نیز بر روی انواع فرصت‌های بهینه‌سازی صورت گیرد. به بیان دقیق‌تر، در هر پروژه ممیزی انرژی، ضرورت دارد با در نظر گرفتن هزینه انجام اقدامات و هزینه‌های تعمیر و نگهداری مربوط به آنها و همچنین محاسبه و پیش‌بینی صرفه‌جویی قابل حصول در هزینه‌های انرژی ساختمان، در طول عمر مفید آن، توجیه اقتصادی انواع فرصت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی مشخص شود و بر این مبنا اولویت‌بندی‌ها صورت گیرد.

بدیهی است در صورتی که مراحل و روند ممیزی انرژی یکسان‌سازی نشده باشد، امکان تحلیل و مقایسه نتایج ممیزی‌های انجام‌شده توسط مجریان مختلف فراهم نخواهد شد. به همین علت، در تحقیق انجام شده در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، پس از بررسی مدارک معتبر جهانی در زمینه ممیزی انرژی ساختمان‌ها، راهنمایی تهیه شده‌است، تا اقدامات لازم برای هر نوع ممیزی به‌صورت دقیق تعریف شود، و گروه‌های تخصصی ممیزی انرژی بتوانند به روشی هماهنگ اندازه‌گیری‌ها، محاسبات و تحلیل‌های لازم را انجام دهند.

امید است که این آیین‌کار مبنایی برای هماهنگ‌سازی اقدامات مراحل مختلف ممیزی انرژی و یکسان‌سازی نحوه ارائه گزارش‌ها توسط ممیزین انرژی و دست‌اندرکاران صنعت ساختمان باشد.

سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



- ۳-۳ روش‌های اندازه‌گیری تبادل حرارت از پوسته ساختمان..... ۲۴
- ۱-۳-۳ اندازه‌گیری و تعیین ضریب انتقال حرارت کل ساختمان..... ۲۴
- ۲-۳-۳ اندازه‌گیری و تعیین ضریب انتقال حرارت بخشی از ساختمان..... ۲۵
- ۳-۳-۳ اندازه‌گیری و تعیین انتقال حرارت از اجزای پوسته خارجی ساختمان..... ۲۳
- ۴-۳ ابزارهای اندازه‌گیری..... ۴۶
- ۱-۴-۳ حسگرهای اندازه‌گیری دمای سطوح..... ۴۶
- ۲-۴-۳ حسگرهای اندازه‌گیری دمای هوا..... ۴۷
- ۳-۴-۳ حسگرهای اندازه‌گیری رطوبت نسبی یا نقطه شبنم..... ۴۷
- ۴-۴-۳ حسگرهای اندازه‌گیری سرعت هوا..... ۴۷
- ۵-۴-۳ حسگرهای اندازه‌گیری دبی جریان هوا..... ۴۸
- ۶-۴-۳ حسگرهای اندازه‌گیری دبی جریان آب یا مایع دیگری در لوله..... ۴۸
- ۷-۴-۳ حسگرهای تحلیل گاز برای اندازه‌گیری بازده احتراق سیستم‌های تولید گرما..... ۴۹
- ۸-۴-۳ حسگرهای اندازه‌گیری میزان روشنایی در فضاهای داخلی ساختمان..... ۵۰
- ۵-۳ فرصت‌های کاهش مصرف انرژی پوسته ساختمان..... ۵۰
- فصل چهارم: ممیزی انرژی سیستم نورپردازی..... ۷۱**
- ۱-۴ مقدمه..... ۷۱
- ۲-۴ اجزای سیستم نورپردازی..... ۷۲
- ۱-۲-۴ خصوصیات لامپ‌ها..... ۷۲
- ۱-۲-۴ انواع لامپ‌ها..... ۷۳
- ۲-۲-۴ بالاست‌ها..... ۷۷
- ۴-۲-۴ لوازم لامپ..... ۷۷
- ۵-۲-۴ انواع کنترل‌کننده‌های سیستم نورپردازی..... ۷۸
- ۳-۴ برآورد مصرف انرژی سیستم نورپردازی..... ۸۰
- ۴-۴ فرایند ممیزی انرژی سیستم نورپردازی..... ۸۱
- ۵-۴ روش‌های اندازه‌گیری..... ۸۳



- ۴-۵-۱ اندازه‌گیری شدت روشنایی با استفاده از نورسنج ..... ۸۳
- ۴-۵-۲ برآورد پتانسیل نور روز با استفاده از نورسنج ..... ۸۳
- ۴-۶ فرصت‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی سیستم نورپردازی ..... ۸۵
- فصل پنجم: ممیزی انرژی سیستم‌های مکانیکی** ..... ۱۰۱
- ۵-۱ روش‌های ممیزی انرژی ..... ۱۰۱
- ۵-۱-۱ بررسی ترموستات در محل ..... ۱۰۱
- ۵-۱-۲ اثرات تنظیم دما به صورت برنامه‌ریزی شده ..... ۱۰۲
- ۵-۱-۳ غلظت آلاینده‌ها در هوای خروجی ..... ۱۰۴
- ۵-۱-۴ ارزیابی نشست دمبر ..... ۱۰۶
- ۵-۱-۵ تحلیل همرادیان (تغییرات) دما در جهت عمودی ..... ۱۰۸
- ۵-۱-۶ بازده احتراق ..... ۱۰۹
- ۵-۱-۷ اتلاف گرما و بازده دیگ ..... ۱۱۱
- ۵-۱-۸ بازده فصلی دیگ الکتریکی ..... ۱۱۳
- ۵-۱-۹ ارزیابی اثر بزرگ‌تر از اندازه بودن دیگ ..... ۱۱۵
- ۵-۱-۱۰ عملکرد چیلرها و پمپ‌های گرمایی ..... ۱۱۶
- ۵-۱-۱۱ بازده مبدل حرارتی و خروجی (بدون تغییر فاز) ..... ۱۱۹
- ۵-۱-۱۲ نشی هوای پمپ‌های حرارتی و واحدهای بازیافت انرژی ..... ۱۲۱
- ۵-۱-۱۳ ادوات انبساط پمپ حرارتی ..... ۱۲۳
- ۵-۱-۱۴ ارزیابی سیستم یخ‌زدایی ..... ۱۲۴
- ۵-۱-۱۵ ارزیابی نشی هوا در سیستم توزیع ..... ۱۲۶
- ۵-۱-۱۶ ارزیابی افت حرارتی کانال ..... ۱۲۸
- ۵-۱-۱۷ ارزیابی بالانس جریان هوا ..... ۱۲۹
- ۵-۱-۱۸ چک کردن بالانس سیستم‌های لوله‌کشی ..... ۱۳۰
- ۵-۱-۱۹ بازده توزیع لوله‌کشی ..... ۱۳۱
- ۵-۱-۲۰ جریان انرژی در سیستم توزیع گرمایی ..... ۱۳۳



|     |                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------------------|
| ۲۵۸ | ۱-۵-۶ مجموعه اقدامات پیشنهادی ساده و کم‌هزینه                   |
| ۲۶۴ | ۲-۵-۶ مجموعه اقدامات پیشنهادی جامع و پرهزینه                    |
| ۲۷۲ | پیوست یکم: چک لیست ممیزی انرژی ساختمان                          |
| ۲۷۲ | پ ۱-۱ مقدمه                                                     |
| ۲۷۴ | پ ۲-۱ موارد پیشنهادی جهت استفاده در چک لیست ممیزی انرژی ساختمان |
| ۲۷۴ | پ ۱-۲ پوسته ساختمان                                             |
| ۲۸۰ | پ ۱-۲-۱ سیستم روشنایی ساختمان                                   |
| ۲۸۱ | پ ۱-۲-۳ سیستم تهویه ساختمان                                     |
| ۲۸۲ | پ ۱-۲-۱ سیستم حرارتی و برودتی ساختمان                           |
| ۲۹۱ | پیوست دوم: مدل‌های برآورد و محاسبه مصرف انرژی                   |
| ۲۹۱ | پ ۱-۲ مقدمه                                                     |
| ۲۹۲ | پ ۲-۲ مدل‌ها و رویکردها                                         |
| ۲۹۲ | پ ۱-۲-۲ رویکرد مستقیم                                           |
| ۲۹۳ | پ ۲-۲-۲ رویکرد معکوس                                            |
| ۲۹۵ | پ ۲-۲ معیارهای انتخاب روش‌های تحلیل انرژی                       |
| ۲۹۶ | پ ۴-۲ نمونه‌هایی از روش‌های تحلیل مصرف انرژی                    |
| ۲۹۶ | پ ۱-۴-۲ روش‌های مبتنی بر نسبت                                   |
| ۲۹۸ | پ ۲-۴-۲ روش‌های مستقیم                                          |
| ۳۰۴ | پ ۳-۴-۲ روش‌های معکوس                                           |
| ۳۰۹ | پیوست سوم: محاسبه زمان بازگشت سرمایه فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی   |
| ۳۱۳ | پیوست چهارم: شبیه‌سازی انرژی و نرم‌افزارهای ممیزی انرژی ساختمان |
| ۳۱۴ | پ ۱-۴ شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان                           |
| ۳۱۶ | پ ۲-۴ معرفی نرم‌افزارهای شاخص در ارتباط با ممیزی انرژی ساختمان  |
| ۳۱۶ | پ ۱-۲-۴ نرم‌افزار BEACON                                        |



|          |                                              |
|----------|----------------------------------------------|
| ۳۱۸..... | پ ۲-۲-۴ نرم افزار BLAST                      |
| ۳۱۹..... | پ ۳-۲-۴ نرم افزار COMFIE                     |
| ۳۲۱..... | پ ۴-۲-۴ نرم افزار DOE-2                      |
| ۳۲۳..... | پ ۵-۲-۴ نرم افزار EA-QUIP                    |
| ۳۲۶..... | پ ۶-۲-۴ نرم افزار Energy Plus                |
| ۳۲۹..... | پ ۷-۲-۴ نرم افزار EZ-DOE                     |
| ۳۳۱..... | پ ۸-۲-۴ نرم افزار FEDS                       |
| ۳۳۲..... | پ ۹-۲-۴ نرم افزار MARKET-MANAGER             |
| ۳۳۳..... | پ ۱۰-۲-۴ نرم افزار SUNREL                    |
| ۳۳۵..... | پ ۱۱-۲-۴ نرم افزارهای EPIQR و XENIOS و TOBUS |
| ۳۴۱..... | مراجع                                        |

## چکیده

ممیزی انرژی ساختمان‌ها یکی از اقدامات کلیدی برای ارزیابی عملکرد ساختمان از دیدگاه مصرف انرژی است. با انجام ممیزی انرژی، رفتار بخش‌های مختلف ساختمان، میزان انتقال حرارت از جدارها، اثر بخشی سیستم‌های گرمایش، سرمایش، تهویه، تأمین آب گرم مصرفی، و همچنین انرژی مصرفی برای تأمین روشنایی و کارکرد تجهیزات انرژی‌بر ساختمان مشخص می‌گردد.

در تحقیق انجام شده، پس از بررسی مدارک معتبر جهانی در زمینه ممیزی انرژی ساختمان‌ها، راهنمایی تهیه شد تا اقدامات لازم برای هر نوع ممیزی به صورت دقیق تعریف شود، و گروه‌های تخصصی ممیزی انرژی بتوانند به روشی هماهنگ اندازه‌گیری‌ها، محاسبات و تحلیل‌های لازم را انجام دهند.

به همین منظور، در فصل اول کلیات موضوع، و در فصل دوم گونه‌های مختلف و فرایند ممیزی انرژی تشریح شده است. فصل سوم گزارش به ممیزی پوسته خارجی ساختمان اختصاص دارد. در این بخش، پس از تشریح فرایندهای انتقال حرارت، روش‌های مختلف اندازه‌گیری مطرح شده است.

در فصل چهارم، سیستم‌های نورپردازی مورد بررسی قرار گرفته است، و پس از معرفی سیستم‌های مختلف روشنایی، روش‌های اندازه‌گیری شدت روشنایی و امکان بهره‌گیری حداکثر از نور روز شرح داده شده است.

در فصل پنجم، روش‌های مختلف ممیزی انرژی سیستم‌های مکانیکی تشریح شده است. در ادامه، ضمن ارائه توضیحات لازم در خصوص روش‌های بهبود عملکرد سیستم‌های مختلف، اثربخشی تجهیزات برنامه‌ریزی، کنترل و تنظیم تولید انرژی متناسب با نیاز توضیح داده شده است.

در فصل ششم، به عنوان نمونه، مراحل مختلف ممیزی انرژی یک ساختمان مطرح شده است، و ضمن تشریح اقدامات مختلف، شناسایی فرصت‌های مختلف و الگوی ارائه راه‌حل‌های فنی ارائه گردیده است.

در پیوست‌های گزارش نیز، چک‌لیست ممیزی انرژی، مدل‌های برآورد و محاسبه مصرف انرژی ساختمان، محاسبه زمان بازگشت سرمایه، و شبیه‌سازی عملکرد حرارتی و مصرف انرژی ساختمان مطرح شده است.