ممیزی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های ساختمانی

مهندس امین طالبیان
دکتر مجید سلطانی (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)



ممیزی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های ساختمانی

این کتاب را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم.

نشریه‌ی دانشگاهی
سازمان چاپ و نشر

ممیزی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های ساختمانی

نوشته‌ی: مهندس امین طالبیان

دکتر مجید سلطانی (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

سرشناسه	: طالبیان، امین، ۱۳۷۳ -
عنوان و نام پدیدآور	: ممیزی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های ساختمانی/ نوشته‌ی امین طالبیان، مجید سلطانی.
مشخصات نشر	: تهران : یزدا ، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۴۴۴ ص.: مصور.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۵-۷۰۹-۲
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: ساختمان‌سازی -- صنعت و تجارت -- صرفه‌جویی در انرژی
موضوع	: Construction industry -- Energy conservation
موضوع	: انرژی -- مصرف -- مدیریت
موضوع	: Energy consumption -- Management
موضوع	: انرژی -- استفاده بهینه
موضوع	: Force and energy -- *Optimization
موضوع	: ساختمان‌ها -- ایران -- صرفه‌جویی در انرژی
موضوع	: Buildings -- Energy conservation -- Iran
شناسه افزوده	: سلطانی، مجید، ۱۳۵۳ -
رده‌بندی کنگره	: TJ۱۶۳/۵
رده‌بندی دیویی	: ۶۹۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۷۵۷۷۰۵

ممیزی و بهینه‌سازی انرژی در سیستم‌های ساختمانی

نوشته‌ی: مهندس امین طالبیان / دکتر مجید سلطانی

ناشر: یزدا / **چاپ اول:** ۱۳۹۸ / **قطع:** وزیری / **تعداد صفحات:** ۴۴۴ صفحه /

آماده‌سازی قبل از چاپ: ماهنامه‌ی صنعت تهویه مطبوع / **مدیر تولید:** قاسم حسنی /

چاپ و صحافی: یزدا / **شمارگان:** ۳۰۰ نسخه /

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۵-۷۰۹-۲ **ISBN**: 978-600-165-709-2

انتشارات یزدا و گروه انتشارات

دفتر نشر و نمایشگاه دائمی: تهران، سیدخندان، خیابان ارسباران، کوچه‌ی ستاری، شماره‌ی ۲۲، ساختمان یزدا **دورنگار:** ۲۲۸۸۵۶۵۱ (۰۲۱) **تلفن:** ۵۰-۲۲۸۸۵۶۴۷ (۰۲۱)

توجه: به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸/۱۰/۱۱ و همچنین قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی مصوب سال ۱۳۵۰ تمام حقوق این اثر به هر نحو برای نشر یزدا محفوظ است. نشر و پخش تمام یا قسمتی از این کتاب بدون اجازه از ناشر، باعث پیگرد قانونی خواهد شد.

خرید آنلاین: **www.yazdamarket.com**

اینستاگرام: **https://www.instagram.com/yazdamarket/**

مقدمه

در شـــرایط موجود جهانی، انرژی مؤلفه‌ای اســـت که بیش از هر زمـــان دیگر، در حوزه‌های اقتصادی، سیاسی و امنیتی نقشی جهت ساز و تعیین‌کننده ایفا می‌کند. ازاین‌رو، فناوری‌های انـــرژی، اقتصـــاد انرژی، مدیریت انرژی، سیاســـت‌گذاری‌های حوزه‌ی انـــرژی و حقوق و امنیت انرژی ازجمله علومی هســـتند که به‌صورت روزافزون در نقاط مختلف جهان و در ابعاد گوناگون موردمطالعه، ارزیابی، پژوهش و ســـرمایه‌گذاری قرار می‌گیرند. موارد و زمینه‌های مذکور ســـبب شـــده‌اند تا بهینه‌سازی و مدیریت انرژی به‌عنوان یک سیاست غالب و بنیادین جهانی بر تمامی بخش‌های مصرف‌کننده‌ی انرژی حاکم شود. «ممیزی انرژی» نیز مفهومی زاده‌ی همین دیدگاه و خط‌مشـــی است که ارزیابی، تحلیل و شناسایی وضعیت مصرف انرژی در یک مصرف‌کننده به معنای عام را موردتوجه قرار داده و زمینه‌های بهبود و ارتقا بهره‌وری سیستم را مورد ارزیابی قرار می‌دهد تا با سنجش جمیع جوانب فنی و اقتصادی، سناریوهایی متناسب با پتانسیل‌های موجود برای بهبود بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی ارائه کند.

اگـــر در یک نگرش جامـــع، مصرف‌کننده‌های انـــرژی به بخش‌های صنعـــت، حمل‌ونقل و ســـاختمان تقسیم شوند، ســـاختمان‌ها در دو بخش مسکونی و غیرمسکونی، جمعاً سهمی ۴۰ درصـــدی از عرضه‌ی انرژی اولیه در مقیاس جهانی را به خود اختصاص می‌دهند که بیش از ۸۰ درصد این انرژی در قالب جهانی از طریق منابع انرژی فسیلی تأمین می‌شود. ارقام مذکور خود به‌تنهایی گویای شدت اثرگذاری ساختمان‌ها بر وضعیت و الگوهای مصرف انرژی، تولید گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌های زیست‌محیطی و زمینه‌های توسعه‌ی پایدارند. علل و موارد مذکور سبب می‌شوند تا ممیزی وضعیت ساختمان‌های ساخته‌شده و تلاش برای ارتقا بهره‌وری آن‌ها، تلاش برای طراحی و ســـاخت هوشـــمندانه‌تر ســـاختمان‌های آینده و هدایت صنعت ساختمان به‌ســـوی نگرش ساختمان سبز به‌عنوان یک نیاز اساسی و ضرورتی اجتناب‌ناپذیر مور توجه قرار گیرد.

در کتاب حاضر با عنوان «ممیزی و بهینه‌ســـازی انرژی در سیســـتم‌های ساختمانی» سعی شده است تا با محوریت نیازها و ضرورت‌هایی که به آن‌ها اشاره شد، مجموعه‌ای با هدف ایجاد شناخت بیشتر از اهمیت مدیریت و بهینه‌سازی انرژی ساختمان و ارائه‌ی پیش‌زمینه‌های علمی و راهکارهـــای عملـــی طی ده فصل تدوین شـــود. در فصل اول به مقدمـــه‌ای در مورد وضعیت جهانی مصرف انرژی و ســـهم ســـاختمان‌ها در این میان پرداخته‌شده و وضعیت مصرف بخش ساختمانی تعدادی از کشورهای جهان به‌صورت منتخب موردبحث قرارگرفته است. در ادامه‌ی ایـــن فصل مفاهیم اولیـــه‌ی موردنیاز برای ورود به وادی مدیریـــت انرژی، معرفی فرآیند ممیزی انرژی ساختمان و سطوح مختلف آن، تعرفه گذاری و روش محاسبه‌ی هزینه‌های انرژی در کشور و شـــاخص گذاری مصرف انرژی ســـاختمان‌ها موردتوجه قرارگرفته است. در فصل دوم مطالبی

پیرامـــون مفاهیم، روش‌ها و ابزارهای مدل‌ســـازی و ارزیابی اقتصادی با هدف تحلیل، ارزیابی و ارائه‌ی راهکارهای فنی و اقتصادی کاهش مصرف انرژی ســـاختمان‌ها به‌عنوان خروجی و هدف اصلی فرآیند ممیزی انرژی ارائه‌شده و در فصل سوم نیز مجموعه‌ی ابزارها و روش‌های مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی اعم از روش‌های ریاضیاتی، آماری و ابزارهای رایانه‌ای ارائه‌شده است. در ادامه‌ی کتاب و با هدف تقسیم فرآیند ممیزی انرژی ساختمان به زیرگروه‌های پوشش ساختمان، سیستم‌های الکتریکی، سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع، طی شش فصل به تشریح مبانی علمی، الگوهای ارزیابی وضعیت و چگونگی ارائه‌ی راهکارهای عملی کاهش مصرف در هریک از بخش‌ها با تفکیک به زیر بخش‌های جزئی‌تر پرداخته شده است. در تمامی این قسمت‌های سعی شده است تا با ارائه‌ی مسائل و نمونه‌های کاربردی متنوع درک مناسب‌تری از فرآیندهای تحلیل و ارزیابی برای خوانندگان گران‌قدر فراهم شود.

اســـاتید و دوســـتان فرهیخته‌ای ما را در گردآوری این مجموعه یاری کرده‌اند که زحمات و رهنمون‌های یکایک آن‌ها را بسیار قدردانیم، افزون بر آن بر خود لازم می‌دانیم که از سرکار خانم دکتر رویا جاجوندیان که در تمامی مراحل همراه ما بودند، سرکار خانم مهندس یاسمن رجبلی که در تألیف فصل دوم ما را یاری کردند، جناب آقای مهندس مصطفی فرخی که در ویرایش این اثر راهنمایمان بودند، سرکار خانم معصومه غفوری، جناب آقای دکتر مرتضی حسین پور و جناب آقای مهندس مهدی حبیب الهی، صمیمانه تشکر نماییم.

پیشاپیش از همه‌ی شما اساتید بزرگوار و خوانندگان گران‌قدر بابت مطالعه‌ی این کتاب بسیار سپاسگزاریم و امید آن داریم که نظرات و انتقادات شما، راهنمای ادامه‌ی مسیرمان باشد. شما بزرگواران می‌توانید مکاتبات خود را با آدرس ایمیـــل buildingsenergyaudit@gmail.com انجام دهید.

امید آن اســـت که این اثر بتواند گامی هرچند کوچک در جهت ارتقا وضعیت ساختمان‌های کشور، مدیریت مصرف انرژی، کاهش صدمات زیست‌محیطی و نیل به‌سوی چشم‌انداز توسعه‌ی پایدار بردارد.

امین طالبیان

مجید سلطانی

تابستان ۹۸

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه‌ای بر مدیریت، ممیزی و تعرفه گذاری انرژی..... ۱

چکیده ۲

۱-۱ مقدمه..... ۳

۱-۲ آشنایی با برخی اصطلاحات رایج در عرصه‌ی انرژی..... ۴

۱-۳ وضعیت جهانی مصرف انرژی..... ۵

۱-۴ مقدمه‌ای بر مصرف انرژی در بخش ساختمان..... ۸

۱-۵ مصرف انرژی در بخش ساختمانی برخی کشورهای جهان ۱۰

۱-۵-۱ ایالات‌متحده‌ی آمریکا ۱۰

۱-۵-۲ فرانسه..... ۱۲

۱-۵-۳ چین..... ۱۳

۱-۵-۴ مکزیک..... ۱۵

۱-۵-۵ استرالیا ۱۷

۱-۵-۶ ایران ۱۸

۱-۶ ممیزی انرژی..... ۲۱

۱-۶-۱ ممیزی انرژی پیمایشی(سطح اول) ۲۲

۱-۶-۲ تجزیه‌وتحلیل داده‌های انرژی(سطح دوم) ۲۲

۱-۶-۳ ممیزی انرژی استاندارد(سطح سوم) ۲۳

۱-۶-۴ ممیزی انرژی جامع(سطح چهارم) ۲۴

۱-۶-۴-۱ روند کلی ممیزی انرژی جامع ۲۶

۱-۷ آشنایی با تعرفه‌های انرژی ۲۹

۱-۷-۱ برق..... ۲۹

۱-۷-۱-۱ ماهیت هزینه‌های برق ۲۹

۱-۷-۱-۱-۱ تقسیم‌بندی هزینه‌های برق ۲۹

۱-۷-۱-۱-۲ هزینه‌های سه‌گانه..... ۳۳

۱-۷-۱-۱-۳ مفاهیم منحنی سیستم قیمت‌گذاری چندقسمتی..... ۳۵

۱-۷-۱-۱-۴ هزینه‌های مشترک..... ۳۶

۱-۷-۱-۲ تعرفه گذاری در مصرف برق ۳۶

۱-۷-۱-۲-۱ مصارف خانگی..... ۳۶

۱-۷-۱-۲-۲ مصارف عمومی..... ۴۶
۱-۷-۲ گاز طبیعی..... ۵۰
۱-۷-۲-۱ مشترکین مصارف نهایی انرژی ۵۱
۱-۷-۲-۲ تعیین میزان مصرف..... ۵۲
۱-۷-۲-۳ محاسبه‌ی هزینه‌های گاز مصرفی..... ۵۳
۱-۸ شاخص گذاری در مصرف انرژی..... ۵۹
۱-۸-۱ برچسب انرژی ساختمان در ایران..... ۶۱
۱-۸-۱-۱ استاندارد برچسب انرژی ساختمان- مسکونی(ISIRI14253) ۶۱
۱-۸-۱-۱-۱ تعاریف و واژه‌ها..... ۶۱
۱-۸-۱-۱-۲ شرایط اقلیمی..... ۶۲
۱-۸-۱-۱-۳ تعیین برچسب انرژی..... ۶۳
۱-۸-۱-۲ استاندارد برچسب انرژی ساختمان- غیرمسکونی(ISIRI14254) ۶۶

فصل ۲: آشنایی با مفاهیم و روش‌های ارزیابی اقتصادی..... ۶۹

چکیده ۷۰
۲-۱ دوره بازگشت سرمایه ساده ۷۲
۲-۲ ارزش زمانی پول..... ۷۲
۲-۳ نمودارهای جریان نقدی..... ۷۳
۲-۴ ارزش فعلی خالص..... ۷۴
۲-۵ نرخ بازده داخلی..... ۷۵
۲-۶ روش یکنواخت سالیانه(EUAC/EUAB)..... ۷۵
۲-۷ روش تجزیه‌وتحلیل هزینه دوره کارکرد..... ۷۶
۲-۸ فاکتورهای اقتصاد مهندسی..... ۷۹
۲-۹ تصمیم سازی برای انتخاب میان گزینه‌های جایگزینی..... ۸۵
۲-۱۰ استهلاک، فرآیند مالی بعد از کسر مالیات..... ۸۹
۲-۱۰-۱ استهلاک..... ۸۹
۲-۱۰-۱-۱ روش خط مستقیم..... ۹۰
۲-۱۰-۱-۲ روش جمع ارقام سنوات..... ۹۰

۲-۱۰-۱-۳ روش موجودی نزولی..... ۹۱
۲-۱۰-۲ محاسبه‌ی درآمد خالص یا فرآیند مالی بعد از کسر مالیات..... ۹۱

فصل ۳: روش‌ها و ابزارهای مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی..... ۹۳

چکیده ۹۴
۳-۱ انواع مدل‌های تجزیه‌وتحلیل انرژی..... ۹۵
۳-۲ آشنایی با برخی ابزارهای مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی..... ۹۷
۳-۲-۱ مدل‌های رگرسیونی ۹۷
۳-۲-۲ شبکه‌های عصبی مصنوعی ۹۸
۳-۲-۳ روش روز-درجه ساده..... ۱۰۲
۳-۲-۴ روش روز-درجه متغیر..... ۱۰۳
۳-۲-۵ روش bin..... ۱۰۶
۳-۲-۶ ابزارهای کامپیوتری مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی ۱۰۹
۳-۲-۶-۱ روش DOE-2 ..... ۱۱۱
۳-۲-۶-۲ eQUEST..... ۱۱۲
۳-۲-۶-۳ BLAST ۱۱۴
۳-۲-۶-۴ Energy Plus..... ۱۱۴
۳-۲-۶-۵ Design Builder ۱۱۵
۳-۲-۶-۶ HAP..... ۱۱۶
۳-۲-۷ روش‌های بر مبنای نسبت..... ۱۱۶

فصل ۴: پوشش ساختمان، ممیزی و راهکارها..... ۱۱۹

چکیده ۱۲۰
۴-۱ نفوذ هوا..... ۱۲۴
۴-۲ کاهش مقدار هوای نفوذی ۱۳۶
۴-۳ انتقال حرارت هدایتی از جداره‌های ساختمان..... ۱۳۹
۴-۴ انتقال حرارت تشعشعی از جداره‌های ساختمان..... ۱۴۱
۴-۵ وارسی وضعیت سقف‌ها ۱۴۲
۴-۵-۱ سرویس‌های کامپیوتری..... ۱۴۹

۴-۶ وارسی وضعیت پنجره‌ها..... ۱۵۱
۴-۶-۱ هدایت حرارت از طریق پنجره‌ها..... ۱۵۱
۴-۶-۲ تابش حرارت از طریق پنجره‌ها..... ۱۵۸
۴-۷ کاهش تلفات پنجره‌ها..... ۱۵۸
۴-۸ نکاتی در مورد طراحی مناسب ساختمان‌ها..... ۱۶۶

فصل ۵: سیستم‌های الکتریکی، ممیزی و راهکارها..... ۱۷۱

چکیده ۱۷۲
۵-۱ ممیزی سیستم‌های روشنایی..... ۱۷۳
۵-۱-۱ آشنایی با برخی مفاهیم و اصطلاحات مربوط به روشنایی و نورپردازی..... ۱۷۶
۵-۱-۲ محاسبات روشنایی ۱۸۱
۵-۱-۳ منابع روشنایی..... ۱۸۶
۵-۱-۳-۱ لامپ‌های رشته‌ای(التهابی) معمولی..... ۱۸۷
۵-۱-۳-۲ نمونه‌های پربازده‌تر لامپ‌های رشته‌ای(برای کاربردهای محدود) ۱۸۸
۵-۱-۳-۳ لامپ‌های بخار جیوه..... ۱۹۱
۵-۱-۳-۴ لامپ‌های فلورسنت..... ۱۹۲
۵-۱-۳-۵ لامپ‌های متال هالید..... ۱۹۴
۵-۱-۳-۶ لامپ‌های سدیم پرفشار و کم‌فشار..... ۱۹۵
۵-۱-۳-۷ لامپ‌های ال ای دی..... ۱۹۷
۵-۱-۴ برخی راهکارهای اولیه برای کاهش مصرف انرژی در بخش روشنایی..... ۲۰۱
۵-۱-۵ بالاست‌های الکتریکی..... ۲۰۲
۵-۲ تجهیزات الکتریکی..... ۲۰۵
۵-۳ لوازم‌خانگی..... ۲۰۷
۵-۴ سیستم‌های کنترل و سیستم مدیریت انرژی..... ۲۰۹

فصل ۶: آشنایی با مبانی مقدماتی، سیستم‌ها و تجهیزات تهویه مطبوع و حرارت مرکزی..... ۲۱۷

چکیده ۲۱۸
۶-۱ مشخصات هوا..... ۲۲۱

۶-۲ فرآیندهای تهویه مطبوع ۲۲۵
۶-۳ بارهای حرارتی و برودتی ۲۳۴
۶-۳-۱ شرایط طرح ۲۳۴
۶-۳-۲ بار حرارتی ۲۳۸
۶-۳-۳ بار برودتی ۲۴۰
۶-۴ سیستم‌های تهویه مطبوع ۲۴۱
۶-۴-۱ سیستم‌های تمام هوا ۲۴۲
۶-۴-۱-۱ سیستم‌های تمام هوای تک منطقه‌ای ۲۴۳
۶-۴-۱-۲ سیستم‌های تک کانال با حجم هوای ثابت ۲۴۴
۶-۴-۱-۳ سیستم‌های تک کانال با حجم هوای متغیر ۲۴۵
۶-۴-۱-۴ سیستم‌های دو کانال با حجم هوای ثابت ۲۴۶
۶-۴-۱-۵ سیستم‌های چندمنطقه‌ای ۲۴۷
۶-۴-۱-۶ سیستم‌های چندمنطقه‌ای با سه خروجی ۲۴۹
۶-۴-۱-۷ سیستم‌های دو کانال با حجم هوای متغیر ۲۵۰
۶-۴-۲ سیستم‌های تمام آب ۲۵۱
۶-۴-۲-۱ سیستم‌های گرمایش تابشی دماپایین و سیستم‌های جریان طبیعی ۲۵۲
۶-۴-۲-۲ سرمایش و گرمایش صفحه‌ای ۲۵۳
۶-۴-۲-۳ فن کویل‌ها ۲۵۵
۶-۴-۲-۴ سیستم‌های القایی دو لوله‌ای ۲۵۵
۶-۴-۲-۵ پمپ‌های گرمایی منبع آبی ۲۵۶
۶-۴-۳ سیستم‌های آب و هوا ۲۵۶
۶-۴-۴ سیستم‌های انبساط مستقیم ۲۵۷
۶-۴-۴-۱ واحدهای تهویه مطبوع پنجره‌ای ۲۵۸
۶-۴-۴-۲ واحدهای تهویه مطبوع مستقر در دیوار ۲۵۹
۶-۴-۴-۳ واحدهای تهویه مطبوع مجزا ۲۵۹
۶-۴-۴-۴ واحدهای یکپارچه‌ی تهویه مطبوع ۲۶۰
۶-۴-۵ سیستم‌های سرمایش تبخیری ۲۶۰
۶-۵ آشنایی با برخی تجهیزات حرارت مرکزی و تهویه مطبوع ۲۶۱
۶-۵-۱ چیلر ۲۶۱

۶-۵-۱-۱ چیلرهای تراکمی..... ۲۶۲
۶-۵-۱-۲ چیلرهای سانتریفیوژ..... ۲۶۳
۶-۵-۱-۳ چیلرهای جذبی..... ۲۶۴
۶-۵-۱-۴ نکاتی در ارتباط با چیلرها..... ۲۶۵
۶-۵-۲ برج‌های خنک‌کن و کندانسورهای هوایی..... ۲۶۶
۶-۵-۳ دیگ‌های آب داغ و بخار..... ۲۶۷
۶-۵-۳-۱ دیگ‌های چدنی..... ۲۶۸
۶-۵-۳-۲ دیگ‌های فولادی..... ۲۶۹
۶-۵-۴ مشعل..... ۲۷۱
۶-۵-۴-۱ مشعل‌های گازوئیلی..... ۲۷۲
۶-۵-۴-۲ مشعل‌های گازی..... ۲۷۳
۶-۵-۵ پکیج‌های گرمایشی..... ۲۷۵
۶-۵-۶ رادیاتور..... ۲۷۶
۶-۵-۶-۱ رادیاتورهای پره‌ای..... ۲۷۶
۶-۵-۶-۲ رادیاتورهای پانلی..... ۲۷۷
۶-۵-۷ کنوکتور..... ۲۷۸
۶-۵-۸ یونیت هیتر..... ۲۷۹
۶-۵-۹ فن کویل..... ۲۸۰
۶-۵-۹-۱ فن کویل‌های زمینی، دیواری و ایستاده..... ۲۸۱
۶-۵-۹-۲ فن کویل‌های سقفی..... ۲۸۳
۶-۵-۹-۳ فن کویل‌های کانالی..... ۲۸۴
۶-۵-۱۰ هواساز..... ۲۸۴
۶-۵-۱۰-۱ ورودی هوا و محفظه‌ی اختلاط..... ۲۸۶
۶-۵-۱۰-۲ حسگر دمای هوای مخلوط شده..... ۲۸۶
۶-۵-۱۰-۳ فیلترها..... ۲۸۶
۶-۵-۱۰-۴ کویل‌های سرمایشی و گرمایشی..... ۲۸۷
۶-۵-۱۰-۵ رطوبت زن..... ۲۸۷
۶-۵-۱۰-۶ فن..... ۲۸۸
۶-۵-۱۱ کولرهای گازی..... ۲۸۹
۶-۵-۱۲ کولرآبی و هواشور..... ۲۹۳

۶-۵-۱۳ زنت ۲۹۶
۶-۵-۱۴ کنترلرها ۲۹۷
۶-۵-۱۴-۱ اکوستات ۲۹۷
۶-۵-۱۴-۲ ترموستات اتاقی ۲۹۷
۶-۵-۱۴-۳ رله حفاظتی ۲۹۸
۶-۵-۱۴-۴ آب نما ۲۹۸
۶-۵-۱۴-۵ گازوئیل سنج ۲۹۹
۶-۵-۱۴-۶ سلول فوتوالکتریک ۲۹۹
۶-۵-۱۴-۷ شیر خودکار رادیاتور ۳۰۰
۶-۵-۱۴-۸ شیر سلونوئید ۳۰۰
۶-۵-۱۴-۹ شیرهای موتوری سه راهه ۳۰۰

فصل ۷: سیستم‌های تهویه مطبوع، ممیزی و راهکارها(۱) ۳۰۱

چکیده ۳۰۲
۷-۱ کیفیت هوای داخل ساختمان ۳۰۳
۷-۱-۱ راهکارهای بهبود کیفیت هوای داخل ۳۰۵
۷-۱-۲ جمع‌بندی ۳۰۸
۷-۲ وارسی سیستم‌های تأمین هوای تازه ۳۰۹
۷-۳ وارسی دمای فضاها ۳۱۶
۷-۳-۱ صرفه‌جویی حاصل از باز تنظیم دمای فضاها ۳۱۸
۷-۴ وارسی میزان رطوبت فضاها ۳۲۲
۷-۵ بازیابی انرژی ۳۲۶
۷-۵-۱ عوامل مؤثر در انتخاب یک سیستم بازیابی انرژی ۳۲۷
۷-۵-۲ سیستم‌های بازیابی انرژی ۳۲۸
۷-۵-۲-۱ چرخ حرارتی ۳۲۸
۷-۵-۲-۲ مبدل‌های حرارتی هوا به هوا ۳۲۹
۷-۵-۲-۳ لوله‌های حرارتی ۳۳۱
۷-۵-۲-۴ حلقه‌های بازیافت انرژی توسط کویل ۳۳۱
۷-۵-۲-۵ بازیابی گرما از یخچال‌ها ۳۳۲

۷-۵-۲-۶ سیستم‌های روشنایی و بازیابی انرژی ۳۳۳
۷-۶ چرخه‌ی صرفه گر..... ۳۳۵
۷-۷ تعمیر و نگهداری..... ۳۳۶

فصل ۸: سیستم‌های تهویه مطبوع، ممیزی و راهکارها(۲) ۳۳۷

چکیده ۳۳۸
۸-۱ بررسی وضعیت کارکرد فن‌ها و پمپ‌ها ۳۳۹
۸-۲ بررسی وضعیت کارکرد چیلرها، برج‌های خنک‌کن، بویلرها و کویل‌ها..... ۳۴۱
۸-۳ بررسی وضعیت کیفیت هوای داخل ۳۴۲
۸-۴ بررسی وضعیت کارکرد عمومی سیستم..... ۳۴۳
۸-۵ آیتم‌ها و گزارش فرآیند بررسی وضعیت کارکرد سیستم..... ۳۴۳
۸-۶ راهکارهای عمومی کاهش مصرف..... ۳۴۴

فصل ۹: سیستم‌ها حرارت مرکزی، ممیزی و راهکارها ۳۵۱

چکیده ۳۵۲
۹-۱ مروری بر اصول و مبانی احتراق ۳۵۳
۹-۲ بازدهی بویلرها ۳۵۵
۹-۳ تلفات حرارتی..... ۳۶۰
۹-۴ پیش‌گرمایش هوا و سوخت..... ۳۶۲
۹-۵ مجموعه‌ی بویلرهای مدولار ۳۶۵
۹-۶ عملیات دوده زدایی..... ۳۶۷
۹-۷ بلودان و کاهش تلفات مربوط به آن..... ۳۶۷
۹-۸ عایق‌بندی..... ۳۶۹
۹-۹ نشتی‌های بخار..... ۳۷۱
۹-۱۰ ممیزی سیستم‌های هوای فشرده..... ۳۷۱

فصل ۱۰: سیستم‌ها و تجهیزات سرمایشی، ممیزی و راهکارها ۳۷۵

چکیده ۳۷۶

۱۰-۱ سیستم‌های سرمایش مرکزی ۳۷۷
۱۰-۲ آشنایی با پارامترهای مؤثر در ارزیابی کیفیت کارکرد و انتخاب سیستم‌های سرمایشی. ۳۸۱
۱۰-۳ آشنایی با راهکارهای عمومی ارتقا کیفیت کارکرد سیستم‌های سرمایش مرکزی ۳۸۵
۱۰-۴ آشنایی با راهکارهای عمومی ارتقا کیفیت کارکرد واحدهای تهویه مطبوع انبساط مستقیم ۳۹۴
۱۰-۵ سیستم‌های جایگزین و تجهیزات بهبوددهنده‌ی کیفیت کارکرد سیستم‌های سرمایشی ۳۹۷
۱۰-۵-۱ سیستم‌های ذخیره‌ی آب سرد تولیدشده..... ۳۹۷
۱۰-۵-۲ سیستم‌های سرمایشی تبخیری ۳۹۸
۱۰-۵-۳ سیستم‌های سرمایشی دارای دسی کنت ۳۹۹
۱۰-۵-۴ سیستم‌های سرمایشی با سازوکار تبرید جذبی.....۴۰۰
۱۰-۵-۵ اکونومایزرهای آبی ۴۰۰
پیوست.....۴۰۱
منابع..... ۴۱۹

فصل اول

مقدمه‌ای بر مدیریت، ممیزی و تعرفه‌گذاری انرژی

چکیده

جمع‌آوری و تحلیل آمار انرژی و داده‌های مصرف، اولین گام در راستای درک وضعیت سیستم های انرژی و مدیریت و ممیزی آن است. در این فصل ابتدا به بیان مقدمه‌ای اجمالی درباره‌ی وضعیت جهانی مصرف انرژی و میزان مصرف در سکتورهای مختلف می‌پردازیم. در ادامه، مفاهیم اولیه‌ی موردنیاز برای ورود به وادی مدیریت انرژی تشریح شده و پس‌ازآن چگونگی مصرف در بخش ساختمانی ایران و برخی کشورهای جهان موردبحث قرار خواهد گرفت.

مفهوم ممیزی انرژی که محوریت موضوعات این کتاب را شکل می‌دهد، در ادامه‌ی فصل مطرح‌شده و سطوح مختلف آن موردبحث و بررسی قرار می‌گیرد. در دو بخش پایانی فصل نیز به تشریح مباحث بسیار مهم و اساسی آشنایی با تعرفه‌های انرژی و شاخص‌گذاری در مصرف پرداخته خواهد شد.

۱-۱) مقدمه

در دنیای امروز، انرژی بازیگر نقش اولی است که در عرصه‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و زیست‌محیطی نقش‌آفرینی می‌کند. انرژی و امنیت انرژی[1] است که بر سیاست‌های کلان کشورهای جهان تأثیر گذاشته و دولت‌های بزرگ بر این مبنا سناریوهای خود را طرح کرده و روی صحنه می‌برند.

در اواسط قرن هیجدهم میلادی پیش‌درآمد انقلاب صنعتی[2] با آغاز دگرگونی‌های بزرگ در انگلستان نواخته شد. در ادامه‌ی این روند توسعه‌ی روزافزون و جنگ‌های جهانی اول و دوم در پی آن، روزبه‌روز ارزش منابع انرژی خصوصاً نفت خام فزونی یافت. به‌گونه‌ای که پس‌ازآن هر یک از قدرت جهانی به‌نوبه‌ی خود برای کسب امتیاز بیش‌تر نفتی به رقابت پرداختند؛ چنان‌که در دسامبر ۱۹۱۸ نخست‌وزیر فرانسه در گفت‌وگویی با رئیس‌جمهور آمریکا هر قطره‌ی نفت را با قطره‌ای خون هم‌ارز دانست.

در اکتبر ۱۹۷۳ تحریم نفتی کشورهای عربی صادرکننده‌ی نفت عضو OPEC[3] به‌اتفاق کشورهای مصر، تونس و سوریه آغاز شد. درواقع می‌توان نقطه‌ی آغازین این تصمیم را مصوبه‌ی مجلس ملی کویت در ۶ ژانویه‌ی ۱۹۷۳ در پی سیاست‌های اسرائیل ستیزانه‌ی اعراب دانست. این پدیده که از آن با عنوان «بحران نفتی ۱۹۷۳»[4] یاد می‌شود، کشورهای غربی را در پیوستگی تأمین نفت خام دچار مشکل کرد. البته افزایش قیمت نفت خام نیز از دیگر ثمرات این تحریم بود.

با پشت سر گذاشتن بحران نفتی ۱۹۷۳ و بحران ۱۹۷۹ در پی آن، قدرت‌های بزرگ جهانی به تغییر نگرش در سیاست‌های مصرف انرژی رو آوردند؛ و بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف به‌عنوان یک استراتژی اساسی بیش از هر زمان دیگری در دستور کار قرار گرفت.

---

[1] *Energy policy*

[2] *Industrial revolution*

[3] *Organization of Petroleum Exporting Countries*

[4] *1973 Oil Crisis*

۱-۲) آشنایی با برخی اصطلاحات رایج در عرصه‌ی انرژی

پیش از آن‌که به ادامه‌ی بحث بپردازیم، آشنایی با مفاهیم زیر توصیه می‌شود:

۱. انرژی اولیه[1]: انرژی اولیه شامل انواع حامل‌های انرژی است که بدون فراورش و تبدیل، تولید می‌شوند. انرژی اولیه شامل نفت خام، گاز طبیعی، زغال‌سنگ، برق‌آبی، انرژی‌های تجدید پذیر و سوخت‌های سنتی است.

۲. انرژی ثانویه[2]: به صورتی از انرژی که از طریق فرآیند تبدیل انرژی اولیه به دست می‌آید، انرژی ثانویه گفته می‌شود؛ مانند گاز پالایش‌شده، انواع فرآورده‌های نفتی و برق.

۳. انرژی نهایی[3]: انرژی نهایی عبارت است از هر نوع انرژی (اعم از اولیه ثانویه) که پس از کسر تلفات توزیع و مقادیر ذخیره‌شده برای خرید در دست مصرف‌کننده قرار می‌گیرد، مانند بنزین موجود در جایگاه‌های فروش و یا برخی که در دسترس خانوار قرار دارد.

۴. شدت انرژی[4]: شدت انرژی عبارت است از انرژی موردنیاز برای تولید مقدار معین از کالاها و خدمات. شدت انرژی برحسب عرضه‌ی انرژی اولیه و یا مصرف نهایی انرژی محاسبه می‌شود. این شاخص‌ها معمولاً در سطح کلان مورداستفاده قرار می‌گیرد و میزان بهینه بودن کاربری انرژی در یک کشور را نشان می‌دهد.

۵. جریان انرژی[5]: حامل‌های انرژی یا مستقیماً به مصرف می‌رسند و یا به سایر فرآورده‌ها تبدیل می‌شوند، یک کشور ممکن است در صورت نیاز یک حامل را وارد و یا مقدار مازاد بر مصرف را صادر کند. الگوی عمومی جریان حامل‌های انرژی از مرحله پیدایش تا مصرف نهایی در نقاط اصلی میان تولید تا مصرف جریان انرژی نامیده می‌شود.(تصویر۱-۱)

---

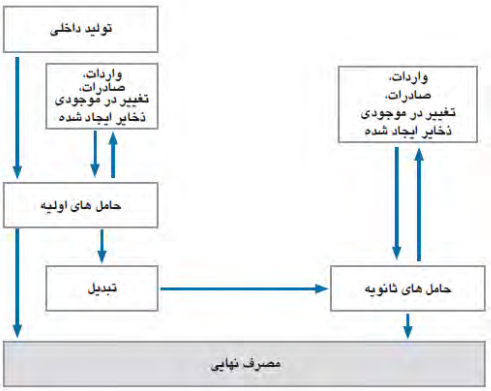
[1] *Primary Energy*

[2] *Secondary Energy*

[3] *Final Energy*

[4] *Energy Intency*

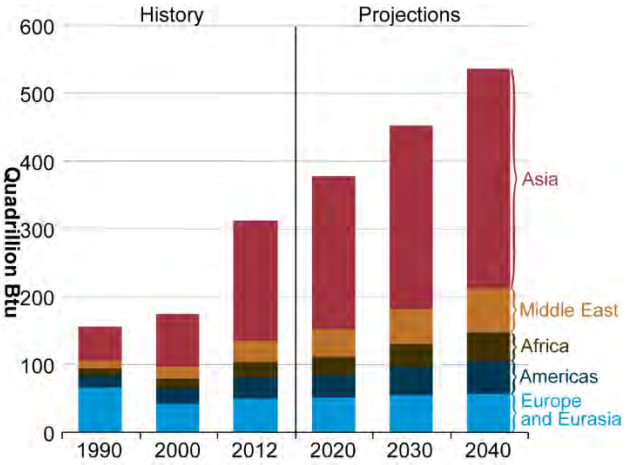
[5] *Energy Flow*



تصویر۱-۱: قالب عمومی نمودار جریان انرژی

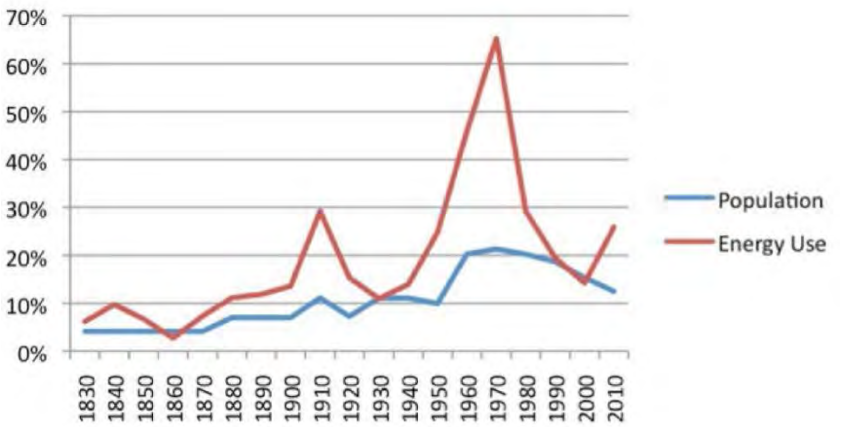
۱-۳) وضعیت جهانی مصرف انرژی

نمودار۱-۱ مصرف جهانی انرژی اولیه با تقسیم نواحی در طول سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۹۰ و میزان پیش‌بینی‌شده تا سال ۲۰۳۰ را به گزارش EIA[1] نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار درمی‌یابیم که مصرف جهانی طی سالیان متمادی با آهنگی چشمگیر پیوسته رو به فزونی داشته است.



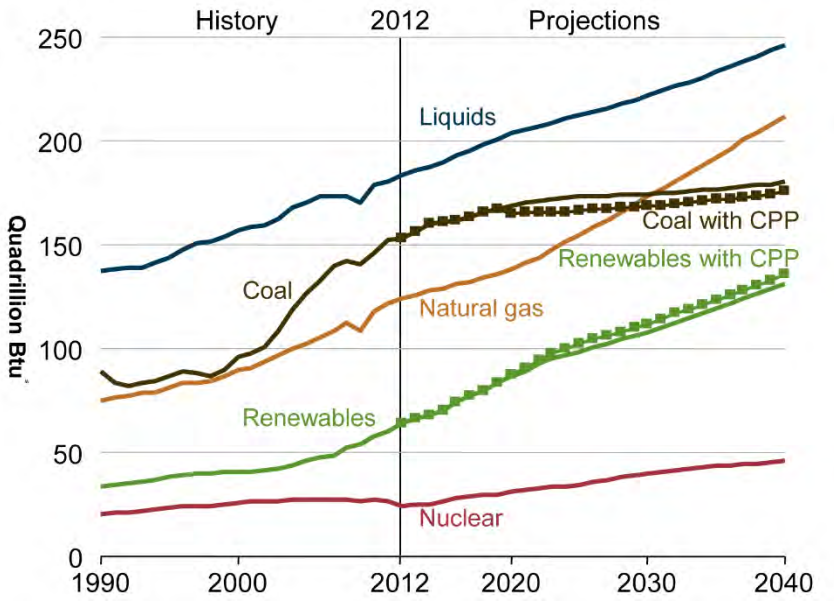
نمودار۱-۱: مصرف جهانی انرژی اولیه

[1] *U.S Energy Information Adminstration*



نمودار۱- ۲: تقابل مصرف انرژی به جمعیت طی دهه‌های گوناگون

اکنون به نمودار۱-۳ توجه کنید، این نمودار مصرف جهانی انرژی طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۹۰ و میزان پیش‌بینی‌شده تا سال ۲۰۳۸ را با توجه به نوع حامل‌های اولیه به گزارش EIA نشان می‌دهد.



نمودار۱- ۳: مصرف جهانی انرژی بر مبنای حامل‌های اولیه (quadrillion Btu)

اما هدف از بیان آمار و ارقام فوق چیست؟ توجه در داده‌های مذکور نشان می‌دهد که طی افزایش پیوسته‌ی نیاز انرژی جهانی همواره نفت، گاز، زغال‌سنگ و میعانات منابع اصلی تأمین‌کننده‌ی انرژی بوده‌اند. حال‌آنکه در کنار تجدید ناپذیر بودن این منابع، پیوسته مشکلات زیست‌محیطی آن نیز موردتوجه بوده است.

اکنون برای دستیابی به درکی عمیق‌تر از فرم عمومی مصرف انرژی جهانی، مصرف‌کننده‌ها را در چهار زیرگروه مصرف‌کننده‌ی[1] زیر تقسیم می‌کنیم:

۱. صنایع[2]

۲. حمل‌ونقل[3]

۳. ساختمان‌های مسکونی[4]

۴. ساختمان‌های تجاری[5]

به گزارش EIA سهم هر یک از زیرگروه‌های مصرف‌کننده در مصرف نهایی انرژی جهانی سال ۲۰۱۱ به‌قرار زیر است:



نمودار۱- ٤: سهم هر یک از زیرگروه‌های مصرف‌کننده در مصرف جهانی ۲۰۱۱

[1] *Energy Consumer Sectors*

[2] *Industries*

[3] *Transportation*

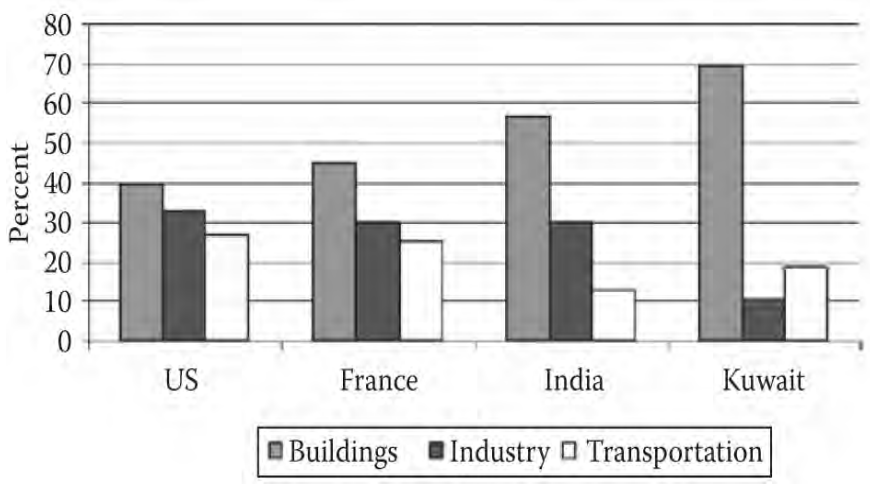
[4] *Residential building*

[5] *Commercial building*

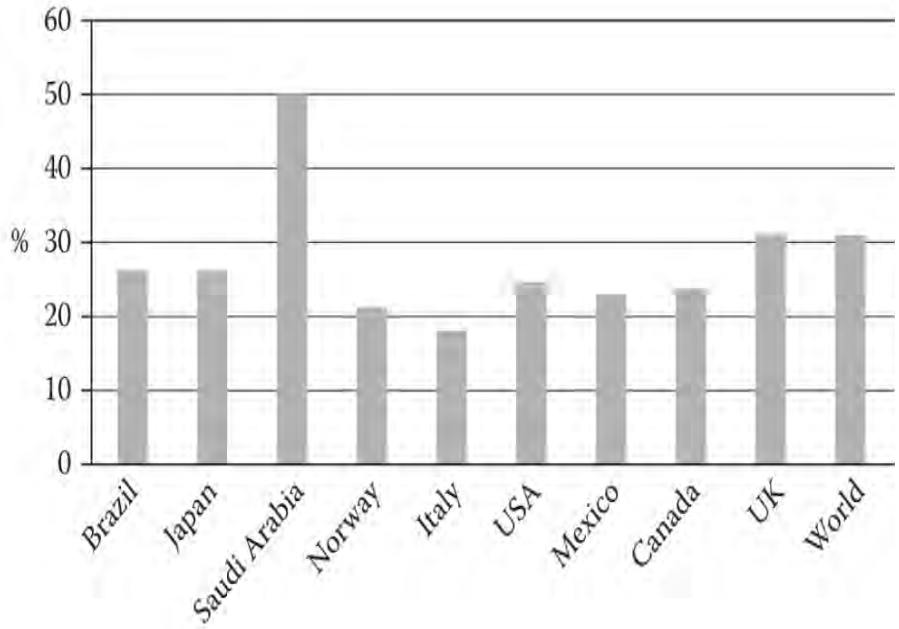
با تأمل در اعداد فوق درمی‌یابیم که ساختمان‌ها (تجاری + مسکونی) سهم قابل‌توجهی در مصرف جهانی انرژی‌دارند. از طرفی پیش‌ازاین به سیر روزافزون مصرف انرژی و نقش تعیین‌کننده‌ی آن در شکل‌گیری امنیت و سیاست جهانی اشاره کردیم. به‌این‌ترتیب جایگاه بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان به‌عنوان یک نگرش اساسی و جهت‌ساز، آشکار می‌گردد.

۱-۴) مقدمه‌ای بر مصرف انرژی در بخش ساختمان

در بخش گذشته به سهم ۴۰ درصدی ساختمان‌ها در مصرف انرژی اولیه‌ی جهان اشاره کردیم؛ حال‌آنکه این سهم در کشورهای مختلف، متفاوت بوده و در برخی مناطق تا بیش از ۵۰٪ افزایش می‌یابد.



نمودار۱- ۵: مصرف سکتور در برخی کشورهای جهان



نمودار۱- ٦: سهم ساختمان-های مسکونی در مصرف ملی برخی کشورهای جهان

بررسی‌های انجام‌شده، نشانگر آن است که در غالب مناطق جهان ساختمان‌های مسکونی در مقایسه با ساختمان‌های تجاری، سهم بیش‌تری را در مصرف به خود اختصاص می‌دهند. از طرفی در سال‌های اخیر به دلایلی از قبیل تمایل به ساخت خانه‌هایی بزرگ‌تر، افزایش سطح توقع عمومی از میزان آسایشی محیطی و گسترش بیش‌ازپیش کاربرد لوازم‌خانگی، مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی، پیوسته رو به فزونی داشته است.

جدول ۱-۱ مقایسه‌ی میان متوسط مصرف جهانی در بخش‌های مختلف ساختمان‌های مسکونی در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۵ را نمایش می‌دهد.

جدول ۱-۱: مقایسه‌ی متوسط مصرف جهان در بخش‌های مختلف یک ساختمان مسکونی (۱۹۹۰ و ۲۰۰۵)

Energy End Use	1990	2005
Space heating	58٪	53٪
Appliances	16٪	21٪
Hot water heating	17٪	16٪
Lighting	4٪	5٪
Cooking	5٪	5٪

۱-۵) مصرف انرژی در بخش ساختمانی برخی کشورهای جهان

در این بخش، میزان بهینگی عملکرد و میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی برخی کشورهای جهان را مختصراً موردبحث قرار داده و سپس با جزییات بیش‌تر به بحث در مورد ایران می‌پردازیم.

۱-۵-۱) ایالات‌متحده آمریکا

برای انجام آنالیزی مناسب از وضعیت مصرف در ساختمان‌های مسکونی، مصرف‌کننده‌های انرژی را در گروه‌های گرمایش، تهویه‌ی مطبوع، آب گرم مصرفی، روشنایی، لوازم‌خانگی و پخت‌وپز تقسیم می‌کنیم.

بررسی‌های انجام‌شده در ساختمان‌های مسکونی کشور آمریکا نشانگر آن بوده است که انرژی مصرفی به‌منظور گرمایش سهم قابل‌توجهی را به خود اختصاص می‌دهد، خصوصاً در آپارتمان‌های کوچک (آپارتمان‌هایی با دو تا چهار واحد) این سهم چشمگیرتر است. علاوه بر این لوازم‌خانگی در حدود ۲۵٪ در مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی این کشور سهم دارند.

جدول ۱-۲: خلاصه‌ای از متوسط مصرف نهایی در ساختمان‌های مسکونی آمریکا (با احتساب نوع ساختمان و تعداد ساکنین)

	U.S. Households (millions)	Energy End Uses (million Btu of consumption per household)					
		All End Uses	Space Heating (Major Fuels)	Air Conditioning	Water Heating	Refrigerators	Other Appliances And Lighting
Total	111.1	94.9	40.5	9.6	19.2	4.6	24.7
	Type of Housing Unit						
Single-family detached	72.1	108.4	44.2	11.0	21.7	5.2	29.3
Single-family attached	7.6	89.3	41.7	6.7	19.0	4.0	20.9
Apartments with 2-4 units	7.8	85.0	48.5	6.3	15.6	3.5	16.3
Apartments with 5+ units	16.7	54.4	25.0	6.6	12.2	3.0	11.8
Mobile homes	6.9	70.4	26.1	9.2	13.3	4.2	21.4
	Household Size						
1 person	30.0	70.7	37.4	6.1	11.7	3.9	14.4
2 persons	34.8	96.4	41.9	10.1	18.5	4.9	24.4
3 persons	18.4	104.1	41.4	10.7	21.7	5.0	28.8
4 persons	15.9	108.4	41.0	11.4	24.2	4.8	31.4
5 persons	7.9	117.1	41.9	13.1	27.2	4.9	34.5
6 or more persons	4.1	123.8	41.7	12.8	33.3	4.9	38.4

Source: DOE, A Look at Residential Energy Consumption in 1997, DOE/EIA-0632(97), U.S. Department of Energy, 2005.

با توجه به مقادیر ارائه‌شده در جدول ۱-۲ درمی‌یابیم که مصرف میانگین سالیانه‌ی یک ساختمان تک خانواری تقریباً دو برابر یک واحد متوسط آپارتمانی است. به‌گونه‌ای که یک ساختمان متوسط تک خانواری در مقایسه با یک واحد آپارتمانی (در آپارتمانی با بیش از ۵ واحد) دو برابر انرژی در گرمایش، روشنایی و دیگر تجهیزات مصرف می‌کند. به‌منظور توجیه مصرف کم‌تر واحدهای آپارتمانی می‌توان به دلایلی از قبیل زیربنای کم‌تر، مساحت کم‌تر دیوارهای خارجی و تعداد کم‌تر ساکنین اشاره کرد.

در کشور آمریکا ۴۵٪ ساختمان‌های آپارتمانی پیش از سال ۱۹۷۰ ساخته‌شده‌اند و ساخت تنها ۱۴٪ ساختمان‌ها به بعد از سال ۱۹۹۰ مربوط می‌شود؛ ساختمان‌هایی که از کیفیت عملکرد بهتر و تجهیزات مناسب‌تری برخوردارند.

۱-۵-۲) فرانسه

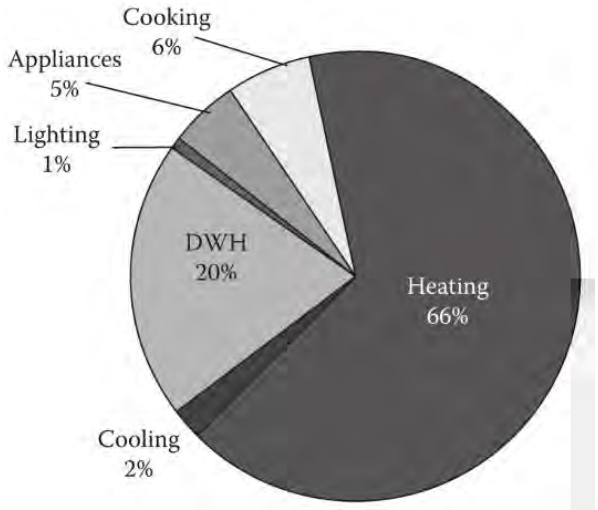
غالب ساختمان‌های مسکونی کشور فرانسه، ساختمان‌های مستقل تک خانواری هستند که با تعداد ۱۴٫۵ میلیون ساختمان، سهمی ۶۰ درصدی در جامعه‌ی آماری ساختمان‌های فرانسه دارند.

جدول ۱-۳: وضعیت ساختمان‌های مسکونی فرانسه در دهه اخیر

Characteristic	1988	1992	1996	2002	2006
Housing units built before 1949 (٪)	39.1	36.8	35.6	33.2	30.6
Average floor area per housing unit in m^2	85	86	88	90	91
Number of occupants per housing unit	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3
Housing units with hot water (٪)	9.6	6.2	4.1	2.6	1.5

جدول فوق نشان می‌دهد که بیش از ۳۰٪ ساختمان‌های فرانسه پیش از سال ۱۹۴۹ ساخته‌شده‌اند و به‌این‌ترتیب بخش قابل‌توجهی از آن‌ها کهنه‌ساز محسوب می‌شوند. از طرفی ساخت بیش از ۶۰٪ ساختمان‌های فرانسه به قبل از سال ۱۹۷۵ بازمی‌گردد. بررسی‌های صورت گرفته بیانگر آن است که ۸۰٪ ساختمان‌های این کشور نیازمند بازنگری و بعضاً بازسازی هستند؛ حال‌آنکه آهنگ بازسازی در فرانسه حدود ۰٫۲٪ در سال است که نسبتاً پایین می‌باشد.

نمودار ۱-۷ متوسط مصرف نهایی در بخش‌های مختلف ساختمان‌های فرانسه را نمایش می‌دهد. (۲۰۰۵)



نمودار۱- ۷: توزیع متوسط مصرف نهایی در ساختمان‌های مسکونی فرانسه

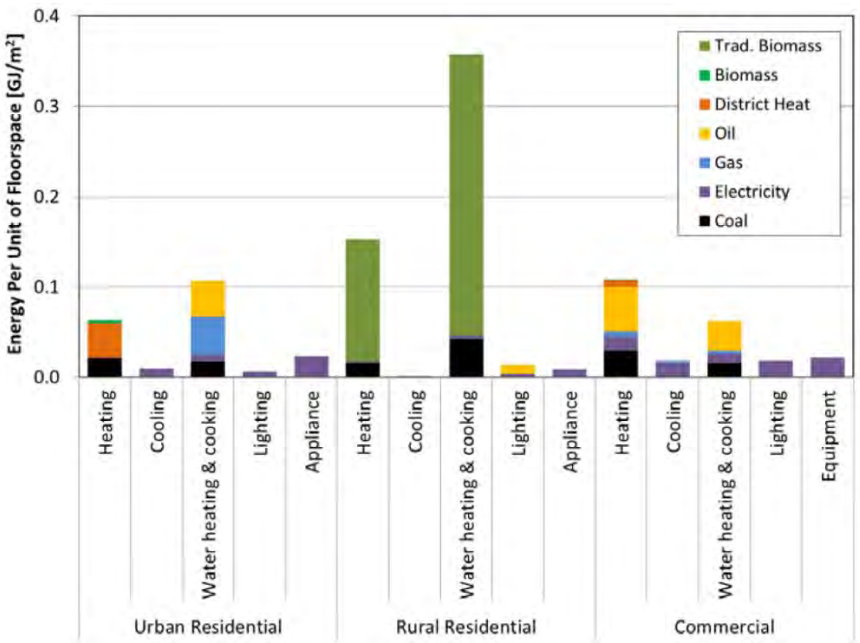
۱-۵-۳) چین

ساختمان‌ها سهمی ۳۰ درصدی در مصرف انرژی پرجمعیت‌ترین کشور جهان دارند. طی دهه‌ی گذشته، تعداد ساختمان‌ها در کشور چین پیوسته در حال افزایش بوده است. در حال حاضر، سالانه حدود دو بیلیون مترمربع ساختمان جدید در چین ساخته می‌شود. اگرچه بخش عمده‌ی این ساختمان‌ها ازنظر مصرف انرژی در شرایط مناسبی قرار ندارند.

جالب است بدانید که در مجموعه‌ی ۴۳ بیلیون مترمربعی ساختمان‌های کشور چین که ۱۰ بیلیون مترمربع آن را ساختمان‌های شهری تشکیل می‌دهند، تنها ۴٪ ساختمان‌ها ازنظر وضعیت مصرف انرژی در شرایط قابل قبولی قرار دارند.

به گزارش Shui etal.،2009 مصرف انرژی ساختمان‌ها در کشور چین با رشد متوسط سالانه‌ی ۴٪ از ۲/۶۹ EJ در سال ۱۹۸۰ به ۷/۴۹EJ در سال ۲۰۰۶ افزایش‌یافته، از طرفی سهم انرژی الکتریکی در مصارف ساختمانی از ۴/۷٪ در سال ۱۹۸۰ به ۵۲/۶٪ در سال ۲۰۰۶ افزایش‌یافته است.

نتایج حاصل از پایش وضعیت مصرف در چین حاکی از آن بوده که متوسط مصرف در یک ساختمان غیرشهری بالاتر از یک ساختمان شهری است. تأمین انرژی در نواحی روستایی کشور چین عموماً از طریق چوب و ضایعات کشاورزی بوده، درحالی‌که مواد مذکور دارای ارزش حرارتی پایین بوده و تجهیزات مورداستفاده برای این کاربری نیز معمولاً راندمان مناسبی ندارند.

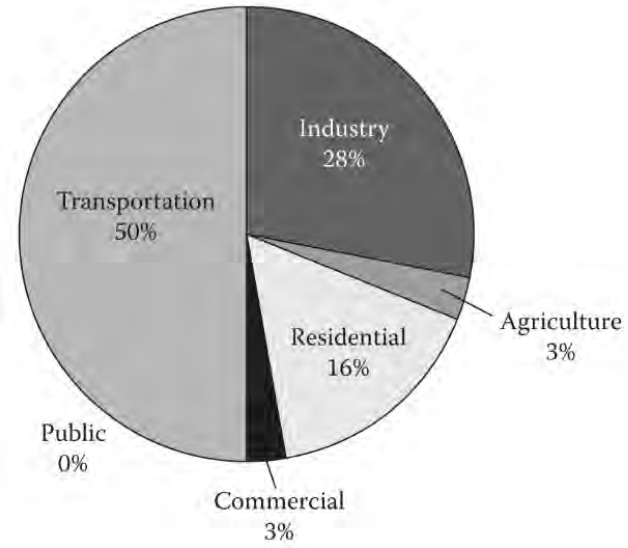


نمودار۱- ۸: متوسط مصرف در بخش‌های مختلف ساختمان‌های کشور چین (۲۰۱۲)

۱-۵-۴) مکزیک

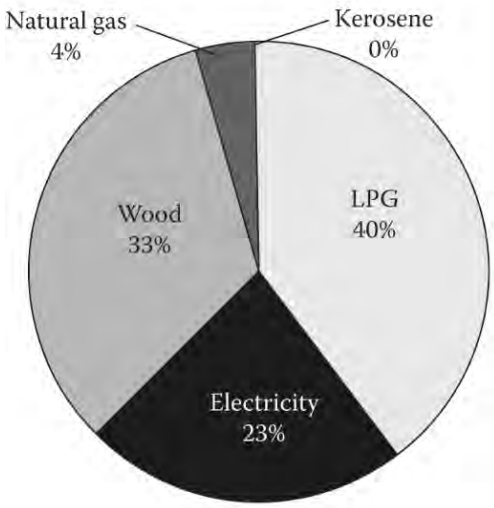
تعداد ساختمان‌های مسکونی کشور مکزیک به دلایلی از قبیل افزایش مهاجرت به شهرها و توسعه‌ی ساخت‌وساز، پیوسته در حالی افزایش بوده است.

تعداد ساختمان‌ها در این کشور از ۲۰/۴ میلیون ساختمان در سال ۱۹۹۶ به ۲۶ میلیون ساختمان در سال ۲۰۰۶ افزایش‌یافته است، بررسی وضعیت پراکندگی ساختمان‌ها در مکزیک نشان می‌دهد که ۷۸٪ ساختمان‌ها در مناطق شهری واقع‌شده‌اند، حال‌آنکه خانه‌های شهری به دلیل برخورداری بیش‌تر از وسایل و تجهیزات خانگی مصرف بالاتری دارند. پیش‌بینی می‌شود که تعداد ساختمان‌های مسکونی مکزیک تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۵۰ میلیون ساختمان برسد.



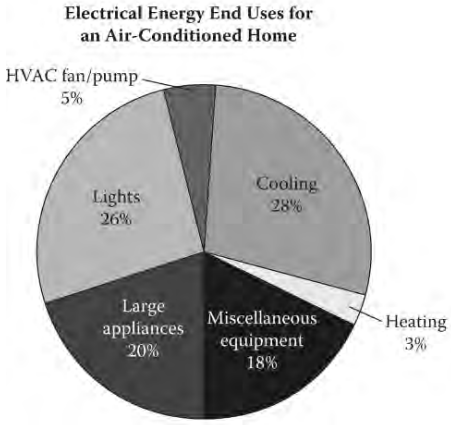
نمودار۱- ۹: سهم سکتورها در مصرف انرژی مکزیک

آمار فوق نشان می‌دهد که ساختمان‌های مسکونی با ۱۶٪ سهم در مصرف ملی پس از صنعت و حمل‌ونقل در جایگاه سوم قرار دارند.

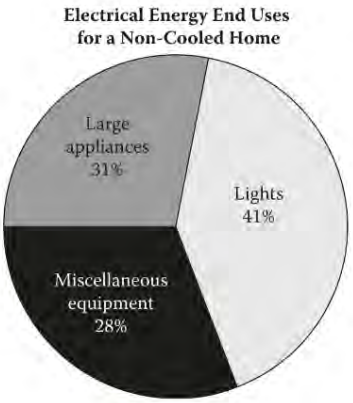


نمودار۱- ۱۰: حامل‌های تأمین‌کننده‌ی انرژی موردنیاز ساختمان‌ها در مکزیک

در نمودارهای ۱-۱۱ (الف) و (ب) مقایسه‌ی میان متوسط مصرف در ساختمان‌های مسکونی متعارف کشور مکزیک که از سامانه‌های تهویه‌ی مطبوع بهره می‌برند و ساختمان‌هایی که فاقد این سیستم‌ها هستند، ارائه‌شده است.



نمودار۱-۱۱ (ب)



نمودار۱-۱۱ (الف)

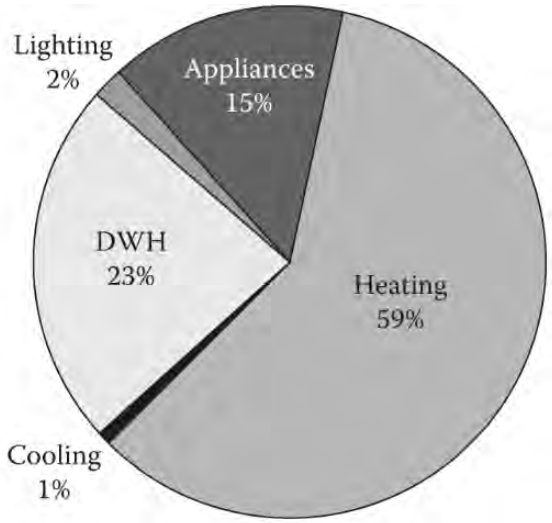
نمودار۱- ۱۱: مقایسه‌ی متوسط مصارف ساختمان‌های مسکونی دارای سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع و فاقد آن در کشور مکزیک

۱-۵-۵) استرالیا

حمل‌ونقل و صنعت، مصرف‌کننده‌ی اصلی انرژی اولیه در کشور استرالیا هستند. ساختمان‌های مسکونی سهمی ۱۲ درصدی در مصرف انرژی اولیه‌ی این کشور دارند.

در سال‌های گذشته اقداماتی جهت توسعه‌ی زیرساخت‌های لازم به‌منظور توانمندی در تأمین انرژی موردنیاز ساختمان‌ها با رشد متوسط سالانه‌ی ۲/۱٪ تا سال ۲۰۲۰ صورت گرفته است. استرالیا به علت موقعیت محیطی- جغرافیایی مناسب خود از پتانسیل‌های تجدید پذیر بسیاری برخوردار است. حکومت این کشور در راستای بهره‌مندی از فرصت‌های مذکور به‌سوی گسترش زمینه‌های لازم گام برمی‌دارد. تا به‌این‌ترتیب از مصرف انرژی الکتریکی و گاز طبیعی که منابع اصلی تأمین‌کننده‌ی انرژی ساختمان‌های این کشور هستند، بکاهد.

نمودار ۱-۱۲ متوسط مصرف نهایی در ساختمان‌های مسکونی استرالیا را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که سهم گرمایش، آب گرم مصرفی در حدود ۸۰٪ مصرف نهایی است.

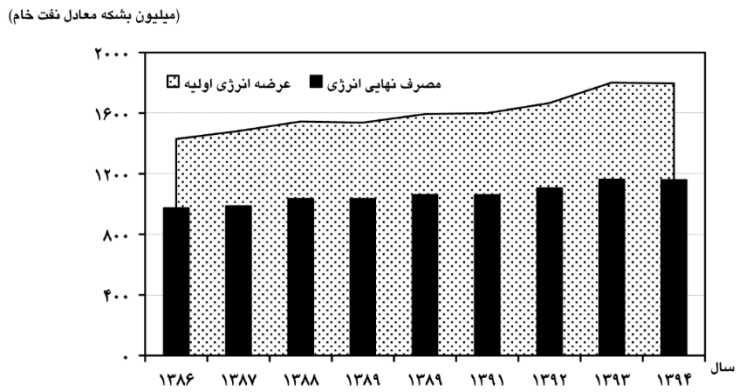


نمودار۱- ۱۲: متوسط مصرف نهایی در ساختمان‌های مسکونی استرالیا

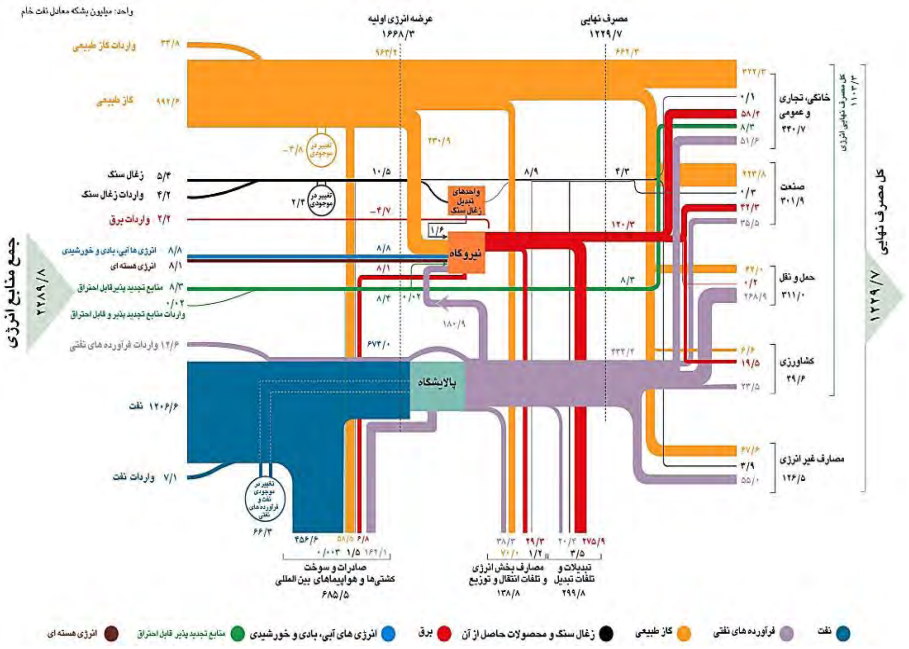
۱-۵-۶) ایران

کشور ایران پرجمعیت‌ترین کشور منطقه‌ی خاورمیانه است که بین خلیج‌فارس و دریای عمان در جنوب و دریای خزر در شمال واقع‌شده است. مهم‌ترین چالش‌های کشور در حال حاضر کاهش بیکاری و نرخ تورم، مدیریت یارانه‌ها، اصلاح الگوی مصرف و بهره‌برداری صیانتی از منابع نفت و گاز می‌باشد. عرضه‌ی انرژی اولیه در ایران، بر اساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده دارای رشد متوسط سالیانه ۲/۶٪ تا سال ۲۰۳۰ خواهد بود که کاهش قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به رشد ۵ درصدی در دهه‌ی قبل نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که معادن نفت ایران بعد از عربستان در بین کشورهای خاورمیانه در جایگاه دوم و معادن گازی ایران نیز در جایگاه دوم دنیا قرار دارد.

پس از پایان جنگ تحمیلی و شروع دوران بازسازی در سال ۱۳۶۸، بهره‌برداری از حامل‌های انرژی به‌شدت افزایش یافت. این شیوه‌ی بهره‌برداری از حامل‌های انرژی، علی‌رغم توسعه‌ی اقتصاد ملی و بهبود نسبی رفاه عمومی موجب نگرانی از وضعیت مصرف انرژی در ایران گردید. با توجه به این‌که در ایران ۹۸/۶٪ انرژی اولیه از منابع نفت خام، فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی تأمین می‌شود، استفاده‌ی غیر بهینه از حامل‌های انرژی علاوه بر آن‌که عمر ذخایر تجدید ناپذیر نفت و گاز را کاهش می‌دهد، خسارت‌های سنگینی به محیط‌زیست و صدمات جبران‌ناپذیری را به فرآیند توسعه‌ی پایدار، افزایش درآمدهای ارزی و گسترش زیرساخت‌های اقتصادی ایران وارد می‌کند.



نمودار ۱- ۱۳: روند رشد تقاضای انرژی در ایران

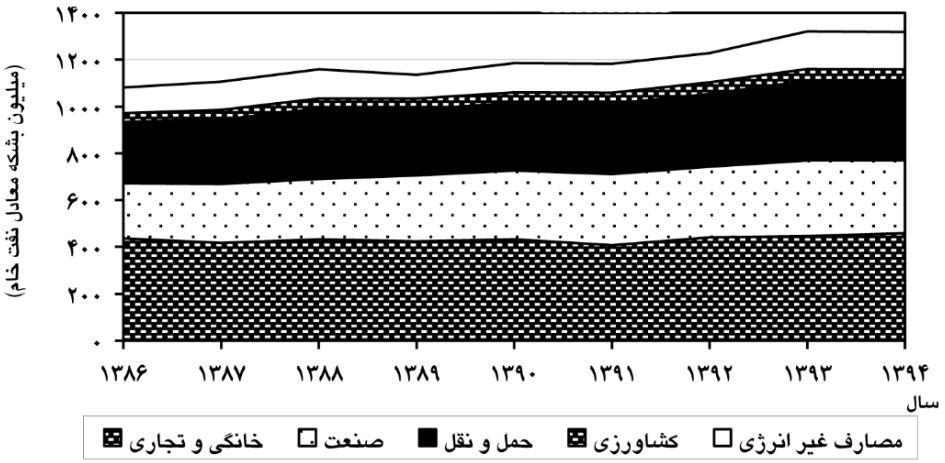


تصویر۱- ۲: جریان انرژی ایران در سال ۱۳۹۴

با مقایسه‌ی شاخص شدت مصرف نهایی انرژی در ایران با بسیاری از کشورهای جهان، به وضعیت غیر بهینه‌ی مصرف حامل‌های انرژی در کشور پی می‌بریم. در سال ۱۳۷۹ این رقم در کشورهای توسعه‌یافته ۱۰/۲۹، در کشورهای درحال‌توسعه ۲۳ و در ایران ۷۰ بوده است.

گرچه مقایسه ارقام شدت مصرف انرژی، گویای تمام واقعیت در مقایسه‌ی کارایی بهره‌وری انرژی کشورهای مختلف نیست، اما تفاوت فاحش این رقم در ایران با سایر کشورهای جهان دلالت بر وجود مشکلات جدی و ساختاری در مصرف سوخت و بهره‌برداری از انرژی در اقتصاد ملی ایران است.

پیش‌ازاین به وضعیت مصرف انرژی در بخش ساختمانی برخی کشورهای جهان اشاره کردیم، در کشور ما ساختمان‌ها بیش‌ترین سهم مصرف را بر دوش می‌کشند.



نمودار۱- ۱٤: وضعیت مصرف در سکتورهای مختلف کشور

متأسفانه آمار نشانگر آن است که مصرف انرژی در ساختمان‌های کشور چندین برابر مصرف متوسط جهانی است. به‌عنوان یک نمونه در مناطق سردسیر ایران به ازای هر مترمربع در حدود ۵۸۲ کیلووات ساعت مصرف وجود دارد، درحالی‌که این عدد در مناطق سردسیر کشورهای اروپایی ۱۵۰ کیلووات ساعت به ازای هر مترمربع است.

در راستای بهبود و رفع وضعیت نامساعد موجود ساختمان‌های کشور اقداماتی انجام‌شده که می‌توان به مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان و برنامه‌ی ممیزی ساختمان‌ها اشاره کرد.

مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان (صرفه‌جویی در مصرف انرژی)

- عایق‌کاری دیوارهای خارجی ساختمان
- نصب پنجره‌های دوجداره با قاب‌های فلزی ترمال بریک، چوبی و یا PVC استاندارد
- عایق‌کاری کانال‌های هوا، لوله‌های تأسیسات و سیستم تولید آب گرم
- نصب سیستم‌های کنترل‌کننده‌ی موضعی دما نظیر شیرهای ترموستاتیک بر روی رادیاتورها
- نصب سیستم‌های کنترل مرکزی هوشمند و مجهز به سنسورهای اندازه‌گیری محیطی

ممیزی انرژی در ساختمان

به استناد ماده‌ی ۲۰ قانون برنامه‌ی چهارم توسعه، ممیزی انرژی و انجام اقدامات بهینه‌سازی برای تمامی ساختمان‌های وزارتخانه‌ها، سازمان‌ها، مؤسسات و شرکت‌های دولتی و دستگاه‌های اجرایی اجباری است و برای ساختمان‌های بخش خصوصی، شرکت‌ها و مجتمع‌های مسکونی که میزان مصرف انرژی سالیانه‌ی آن‌ها بیش از ۱۰۰۰ مترمکعب معادل نفت کوره و یا قدرت الکتریکی خریداری‌شده توسط آن‌ها بیش از یک مگاوات می‌باشد، الزامی است.

۱-۶) ممیزی انرژی

ممیزی انرژی ابزاری قدرتمند برای شفاف‌سازی وضعیت مصرف و کیفیت کار تجهیزات باهدف پی بردن به جایگاه مصرف یک واحد مصرف‌کننده و شناسایی پتانسیل‌های بهبود بهره‌وری است. عموماً خدمات ممیزی توسط شرکت‌های خدمات انرژی[1] و مشاوران انرژی ارائه می‌گردد. ممیزی انرژی نهایتاً به مجموعه‌ای از راهکارهای کاهش مصرف[2] ختم می‌شود. می‌شود. به‌این‌ترتیب اگر فرآیند ممیزی در مسیر مناسب خود سیر کند، ثمراتی از قبیل صرفه‌جویی در مصرف کاهش هزینه‌های تأسیساتی و ارتقاء عملکرد را در پی خواهد داشت.

غالباً ممیزی انرژی برای تمامی بخش‌های یک ساختمان انجام می‌شود. انجام ممیزی انرژی کامل، تصویری تمام‌نما از فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی فراهم می‌کند. از طرفی فرآیند ممیزی می‌تواند به بخش خاص اختصاص یابد؛ به‌عنوان‌مثال بررسی وضعیت سیستم روشنایی، تهویه‌ی مطبوع، پوشش خارجی و یا سایر بخش‌ها، به این نوع ممیزی «ممیزی انرژی هدف یافته»[3] گفته می‌شود. باید خاطرنشان کرد که ممیزی انرژی مذکور ممکن است برخی فرصت‌های چشمگیر و اثربخش صرفه‌جویی را از دست بدهد، اما در شرایط مواجه بودن با محدودیت زمانی و یا محدودیت بودجه می‌تواند مفید باشد.

---

[1] *Energy Service Companies (ESCs)*

[2] *Energy Conservation Measures. (ECM)*

[3] *Purposed energy audit*

در ادامه به معرفی چهار سطح ممیزی انرژی خواهیم پرداخت.

۱-۶-۱) ممیزی انرژی پیمایشی[1] (سطح اول)

ممیزی انرژی پیمایشی به‌عنوان ساده‌ترین و ابتدایی‌ترین سطح ممیزی شناخته می‌شود، در این سطح فرد ممیز با حضور در محیط و بررسی پیرامونی ساختمان و تجهیزات، گره‌های مصرف را یافته و با ارائه‌ی راهکارهایی بی هزینه و کم‌هزینه در پی رفع آن‌ها گام برمی‌دارد. گاها این سطح در برنامه‌های تغییر و نگهداری گنجانده می‌شود.

به‌عنوان نمونه‌ای از راهکارهای ارائه‌شده در این سطح می‌توان به درزبندی بازشوها، تعمیر پنجره‌های شکسته، رفع نشتی، عایق‌کاری لوله‌های تأسیساتی، تعمیر تجهیزاتی که با صدای نامتعارف کار نمی‌کنند و باز تنظیم دمای سرمایشی و گرمایش اشاره کرد.

۱-۶-۲) تجزیه‌وتحلیل داده‌های انرژی (سطح دوم)

هدف اصلی این سطح، آنالیز دقیق وضعیت مصرف ساختمان مورد ممیزی است. داده‌های مصرف در طول چندین سال باهدف تعیین الگوی مصرف، پیک دیماند، تأثیرات آب و هوایی، تأثیرات ناشی از زمان بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. فرد ممیز می‌تواند با به‌کارگیری داده‌های مصرف و روش‌های الگو یابی[2] مانند رگرسیون[3] و شبکه‌های عصبی مصنوعی[4]، به الگوی کلی مصرف دست یابد.

نمودار ۱-۱۵ الگوی مصرف ماهانه‌ی گاز طبیعی- دمای محیط را با استفاده از روش رگرسیون خطی نمایش می‌دهد.

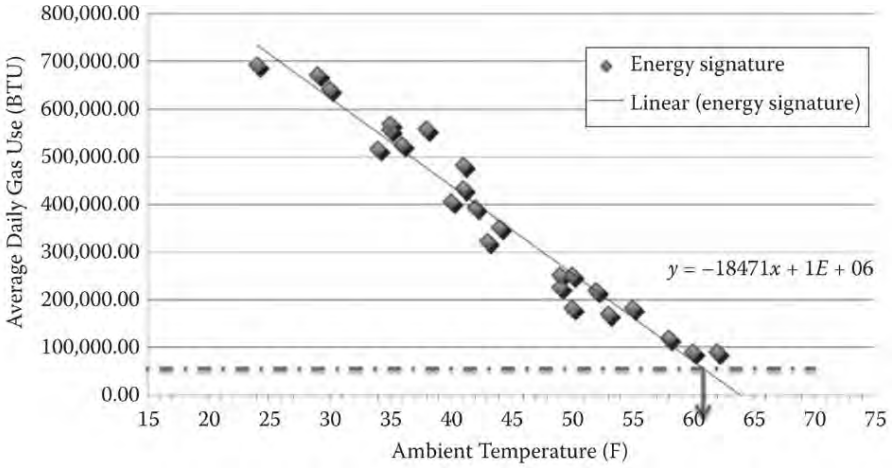
---

[1] *Walk through energy audit*

[2] *Pattern recognition*

[3] *Regression*

[4] *Artificial Neural Networks (ANN)*



نمودار۱- ۱۵: الگوی مصرف ماهانه‌ی گاز طبیعی- دمای محیط با استفاده از روش رگرسیون خطی

بررسی هوشمندانه‌ی داده‌های انرژی می‌تواند کیفیت عملکرد حرارتی ساختمان را مشخص کند.

۱-۶-۳) ممیزی انرژی استاندارد[1] (سطح سوم)

ممیزی انرژی استاندارد نگرش جامع‌تری را برای وارسی سیستم انرژی تأسیساتی موردنظر فراهم می‌کند. در ادامه‌ی سطوح ممیزی انرژی و تجزیه‌وتحلیل داده‌های انرژی که پیش‌ازاین به آن‌ها اشاره کردیم، ممیزی استاندارد مطرح می‌شود. این سطح به توسعه‌ی خط مبنای[2] مصرف انرژی، ارزیابی فرصت‌های صرفه‌جویی و امکان‌سنجی اقتصادی آن‌ها می‌پردازد. روند کلی ممیزی انرژی استاندارد، مشابه ممیزی جامع است که در ادامه به آن اشاره خواهیم کرد.

عموماً در ممیزی انرژی استاندارد، برای توسعه‌ی مدل‌های خط مبنای انرژی، راهکارهای کاهش مصرف و پیش‌بینی میزان صرفه‌جویی ناشی از راهکارهای ارائه‌شده از روش‌ها و ابزارهای ساده‌ای استفاده می‌شود. به‌عنوان نمونه‌ای از این ابزارها می‌توان به

[1] *Standard energy audit*

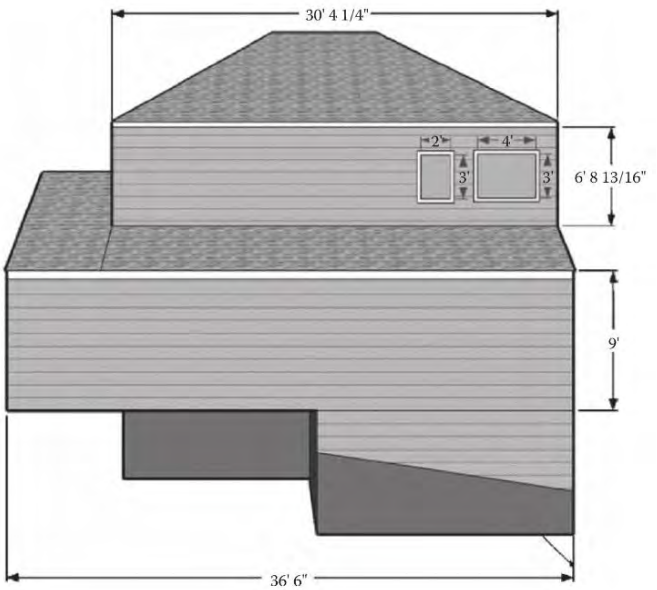
[2] *Base line*

مدل رگرسیون خطی و روش روز درجه[1] اشاره کرد. افزون بر این روش‌های ساده‌ی محاسبه‌ی دوره‌ی بازگشت سرمایه[2] در این سطح به کار گرفته می‌شوند.

۱-۶-۴) ممیزی انرژی جامع[3] (سطح چهارم)

ممیزی انرژی جامع، فراگیرترین و درعین‌حال زمان‌گیرترین سطح ممیزی است. خصوصاً که این سطح با به‌کارگیری تجهیزاتی به‌منظور اندازه‌گیری مصرف انرژی تمام ساختمان و یا مصرف نهایی برخی بخش‌ها مانند روشنایی، سرمایش، گرمایش، لوازم‌خانگی و ... همراه است. افزون بر این نرم‌افزارهای شبیه‌سازی پیچیده‌ی مهندسی به‌منظور ارزیابی بیش‌تر و بهتر ساختمان در این سطح به کار گرفته می‌شوند.

تصویر ۱-۳ (الف) نمای یک ساختمان مدل‌سازی شده دریکی از نرم‌افزارهای ممیزی انرژی و تصویر۱-۳ (ب) مدل حرارتی آن را نمایش می‌دهد.

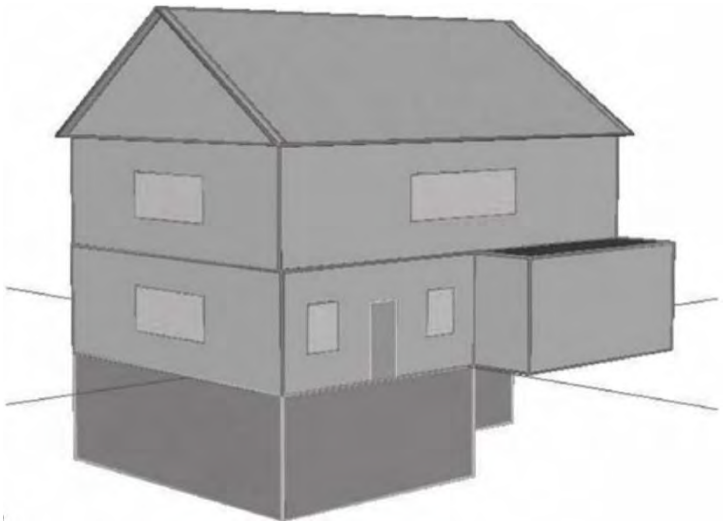


تصویر۱-۳ (الف)

[1] *Degree -Day Method*

[2] *Payback period*

[3] *Detailed energy audit*

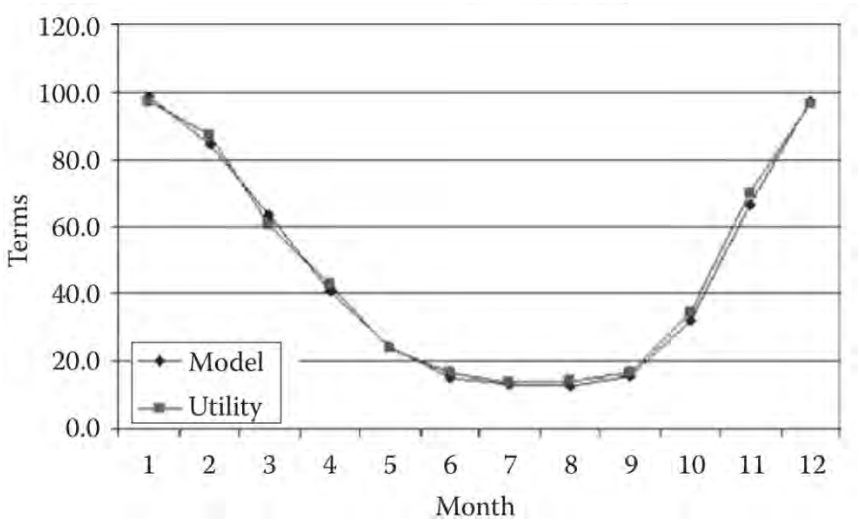


تصویر۱-۳ (ب)

تصویر۱- ۳: (الف) نمای یک ساختمان مدل‌سازی شده در یکی از نرم‌افزارهای ممیزی انرژی و (ب) مدل حرارتی همان ساختمان

تکنیک‌های گوناگونی جهت انجام اندازه‌گیری‌های موردنیاز در این سطح به کار گرفته می‌شود. در مرحله‌ی بازدید محیطی، تجهیزات دستی به‌منظور سنجش برخی پارامترهای ساختمان مانند دمای هوای داخل، سطح روشنایی و مصرف انرژی الکتریکی مورداستفاده قرار می‌گیرند. به هنگام ضرورت سنجش‌های بلندمدت از حسگرهای گوناگونی استفاده می‌شود که داده‌ها را در هرلحظه اندازه‌گرفته و مستقیماً جهت انجام پردازش به سیستم‌های جمع‌آوری‌کننده که قدرت نظم دادن به اطلاعات را داشته و از راه دور قابل‌کنترل‌اند، ارسال می‌کند.

نرم‌افزارهای مدل‌سازی مورداستفاده در ممیزی انرژی توزیع مصرف نهایی در بخش‌های مختلف ساختمان را تعیین می‌کنند. نرم‌افزارهای مذکور عموماً بر عملکرد حرارتی دینامیک سیستم انرژی ساختمانی استوار بوده و غالباً به دانش مهندسی و مهارت بالایی نیاز دارند. لازم به ذکر است که مدل‌های دقیق انرژی نیازمند کالیبره شدن با استفاده از داده‌های تأسیساتی و یا نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های بلندمدت هستند.



نمودار۱- ۱۶: مقادیر مصرف ماهیانه‌ی گاز طبیعی و میزان پیش‌بینی‌شده توسط یک مدل کالیبره شده

در ممیزی انرژی جامع ارزیابی اقتصادی مناسب‌تر و دقیق‌تری از راهکارهای ارائه‌شده صورت می‌گیرد. تحلیل توجیه‌پذیر اقتصادی پیشنهادهای ارائه‌شده در این سطح بر اساس تحلیل هزینه‌ی طول عمر دستگاه‌ها (LCC)[1] صورت می‌پذیرد که در مقایسه‌ی با روش ساده‌ی محاسبه‌ی دوره بازگشت سرمایه که عموماً در سطح استاندارد به کار گرفته می‌شود، از دقت بیش‌تری برخوردار است. درروش تحلیل طول عمر دستگاه‌ها، تأثیر پارامترهای اقتصادی، نظیر نرخ بهره، تعرفه‌های مالیاتی و نرخ تورم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برخی مفاهیم اصلی اقتصادی در فصل دوم موردبحث قرار خواهند گرفت.

۱-۶-۴-۱) روند کلی ممیزی انرژی جامع

جهت انجام فرآیند ممیزی معمولاً مراحل گوناگونی انجام می‌شود که این مراحل بسته به نوع ممیزی، کاربری و ابعاد ساختمان متفاوت هستند. به‌این‌ترتیب مراحل انجام‌شده در تمام پایش‌ها یکسان نبوده و با توجه به هدف ممیزی برخی مراحل باید تکرار، حذف و یا بر مبنای یافته‌های دیگر مراحل محدود شوند. پس ممیزی انرژی یک فرآیند خطی و یک‌طرفه نبوده و در بیش‌تر موارد مسیری رفت و برگشتی دارد. بااین‌وجود مراحل زیر به‌عنوان یک مسیر عمومی در غالب موارد حاکم و قابل‌اجرا هستند.

[1] *Life Cycle Cost*

گام اول) آنالیز داده‌های ساختمان و تأسیسات

هدف اصلی این گام ارزیابی ویژگی‌های سیستم انرژی و یافتن الگوی مصرف است. می‌توان مشخصات ساختمان را با بررسی نقشه‌های معماری، الکتریکی و مکانیکی و طی مشاوره با اپراتور و مدیران ساختمان تعیین کرد. از طرفی الگوی مصرف انرژی نیز می‌تواند با سنجش صورت‌حساب‌های تأسیسات طی چند سال گذشته فراهم شود. به‌این‌ترتیب صورت‌حساب‌های تأسیساتی و میزان و شیوه‌ی تغییرات آن‌ها به ممیز این امکان را می‌دهد که مسیر کلی تغییرات مصرف با تغییرات فصلی و آب و هوایی را دریابد. به مجموعه‌ای از اقدامات مرسوم در این مرحله و نتایج مورد انتظار آن اشاره می‌کنیم.

- جمع‌آوری داده‌های تأسیساتی طی حداقل سه سال متوالی باهدف دست‌یابی به الگوی مصرف انرژی.
- شناسایی حامل‌های تأمین‌کننده‌ی انرژی (برق، گاز طبیعی، نفت و ...) باهدف شناخت حاملی که بیش‌ترین سهم را در تأمین انرژی دارد.
- شناسایی الگوی مصرف حامل‌ها باهدف شناخت زمانی که هر حامل به حداکثر تقاضای خود می‌رسد.
- شناخت تعرفه‌ی خدمات برای مواقعی که تقاضای ساختمان در پیک دیماند قرارگرفته و نیاز به امکان‌سنجی خرید حامل ارزان‌تر احساس می‌شود.
- آنالیز تأثیرات آب و هوایی بر مصرف حامل برای نمایاندن سیر تغییرات مصرف با شرایط آب و هوایی.
- بررسی مصرف انرژی تأسیسات بر مبنای نوع و ابعاد ساختمان باهدف مقایسه با شاخص‌های استاندارد.

گام دوم) بازرسی پیمایشی

در این گام پتانسیل راهکارهای صرفه‌جویی انرژی بررسی می‌شود. ازآن‌رو که نتایج این مرحله مشخص می‌کند که آیا ساختمان نیازمند ممیزی گسترده‌تری هست یا خیر اهمیت ویژه‌ای دارد. برخی اقداماتی که در این گام انجام می‌شوند، عبارت‌اند از:

- شناخت نیاز و دغدغه‌ی مالکین و ساکنین ساختمان
- بررسی برنامه‌ی بهره‌برداری و هم‌چنین تعمیر و نگهداری ساختمان
- بررسی وضعیت و کیفیت عملکرد تجهیزات انرژی بر اصلی (روشنایی، سیستم تهویه‌ی مطبوع، موتورها و ...)
- تخمین تعداد ساکنین و تجهیزات ساختمان (چگالی مصرف انرژی و ساعات بهره‌برداری)

گام سوم) تعیین خط مبنای مصرف انرژی

هدف اصلی این گام، توسعه‌ی یک مدل مبنا به‌منظور نمایاندن وضعیت مصرف و شرایط بهره‌برداری ساختمان است. این مدل مبنا، به‌عنوان مرجع، کاهش مصرف حاصل از همکاری‌های صرفه‌جویی انرژی را تخمین می‌زند. اقدامات مرسوم در این گام عبارت‌اند از:

- جمع‌آوری و بررسی نقشه‌های معماری، الکتریکی و کنترلی
- بازرسی، تست و ارزیابی بازده تجهیزات ساختمانی، کیفیت کارکرد و قابلیت اطمینان آن‌ها
- کالیبره کردن مدل مبنا با استفاده از داده‌های تأسیساتی و با داده‌های اندازه‌گیری شده

گام چهارم) ارزیابی راهکارهای کاهش مصرف

در این گام، مجموعه‌ای از راهکارهای صرفه‌جویی انرژی با بررسی توأم کاهش مصرف حاصل از این راهکارها و تجزیه‌وتحلیل اقتصادی آن‌ها ارائه می‌شود. جهت نیل به این هدف، انجام اقدامات زیر مرسوم است:

- تهیه‌ی فهرستی فراگیر از راهکارهای کاهش مصرف (با استفاده از نتایج حاصل از گام دوم)
- تخمین صرفه‌جویی انرژی حاصل از راهکارهای مصرف ارائه‌شده (با استفاده از مدل توسعه‌یافته در گام سوم)
- تخمین هزینه‌های اولیه برای اجرای راهکارهای صرفه‌جویی انرژی

- بررسی توجیه‌پذیری اقتصادی راهکارهای ارائه‌شده با به‌کارگیری روش‌های تحلیل اقتصادی (دوره‌ی بازگشت سرمایه‌ی ساده و یا هزینه‌ی دوره‌ی کارکرد)

۱-۷) آشنایی با تعرفه‌های انرژی

جایگاه و اهمیت آشنایی با تعرفه‌ها و روند محاسبه‌ی صورت‌حساب‌های انرژی به‌عنوان یک ضرورت اساسی در فرآیند ممیزی غیرقابل‌چشم‌پوشی است، در این راستا به معرفی تعرفه‌های برق و گاز که حامل‌های اساسی تأمین‌کننده‌ی انرژی غالب ساختمان‌های کشور هستند می‌پردازیم.

۱-۷-۱) برق

برق به‌عنوان یکی از منابع تأمین‌کننده‌ی انرژی موردنیاز بخش‌های اقتصادی از یک‌سو و به‌عنوان یک شاخص رفاه اجتماعی از سوی دیگر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ایران، پرداخت‌هایی که توسط مشترکین برق صورت می‌گیرد، بر اساس هزینه‌ی تمام‌شده‌ی برق نیست. بلکه بر اساس تعرفه‌هایی است که در تدوین آن مسائل متعدد اقتصادی، اجتماعی و سیاسی مؤثر بوده است. تعرفه می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای بهینه‌سازی مصرف برق مشترکین به‌کاررفته شود. حال آن‌که عدم‌اصلاح آن متناسب با افزایش هزینه‌ی تمام‌شده، موجب مصرف بی‌رویه برق خواهد شد. مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی کشور در پنج گروه: مصارف خانگی، مصارف عمومی، مصارف تولیدی (آب و کشاورزی)، مصارف تولیدی (صنعت و معدن) و سایر مصارف تقسیم‌بندی می‌شوند که در ادامه به‌تفصیل آن‌ها خواهیم پرداخت.

۱-۷-۱-۱) ماهیت هزینه‌های برق

۱-۷-۱-۱-۱) تقسیم‌بندی هزینه‌های برق

یکی از اساسی‌ترین ویژگی‌های تأمین انرژی الکتریکی آن است که شرکت یا سازمان تولیدکننده، دو نوع سرویس را در امتیاز مشترکین خود قرار می‌دهد:

الف) انرژی مصرف‌شده توسط مشترک که به‌صورت کیلووات ساعت اندازه‌گیری می‌شود.

ب) تأمین برق مشترک به‌گونه‌ای که در هرزمانی که بخواهد، امکان استفاده از برق فراهم باشد.

سرویس نوع (ب) به‌صورت شبانه‌روزی است و هزینه‌هایی را هم به دنبال دارد. درواقع بخش (ب) هزینه‌های مستقلی را شامل می‌شود و ربطی به قسمت (الف) ندارد. به این معنا که مشترک حتی اگر مصرفی نداشته باشد نیز باید هزینه‌ی قسمت (ب) را بپردازد؛ بنابراین هزینه‌های بهره‌مندی از انرژی الکتریکی به دو بخش ثابت و متغیر تقسیم می‌شود. بخش متغیر نمایانگر هزینه‌های مربوط به بند (الف) است و یا به عبارت بهتر به انرژی مصرفی مشترک ارتباط دارد. درحالی‌که هزینه‌های آماده کردن و تأمین برق سیار بیشتر از هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی می‌شود.

جان هاپکینسون در سال ۱۸۸۲ میلادی پیشنهاد کرد که سیستم قیمت‌گذاری دوبخشی برای برق مطرح شود. بخش متغیر هزینه‌ها که عمدتاً مربوط به سوخت مصرفی نیروگاه‌ها می‌باشد و قسمتی از هزینه‌های تعمیر و نگهداری را نیز به همراه دارد با واحد کیلووات ساعت برآورد می‌گردد. هاپکینسون پیشنهاد کرد که مشترکین برق هزینه‌های متغیر را با توجه به کیلووات ساعت مصرفی خود و هزینه‌های ثابت را با توجه به دیماند خود بپردازند. مدتی بعد از ارائه‌ی مدل هاپکینسون، نظریاتی نیز توسط آرتور رایت مطرح شد که این نظریات برای اولین بار در سال ۱۸۹۶ و در شهر برایتون انگلیس به کار گرفته شد.

درواقع آقای رایت، نظریات آقای هاپکینسون را کامل‌تر و قابل‌اجراتر کرد. به‌این‌ترتیب که مشترکین برق نه‌تنها لازم است هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی را پرداخت نمایند، بلکه می‌بایست هزینه‌های ثابت سازمان تأمین‌کننده‌ی انرژی برق را نیز مناسب با دیماند خود تأمین کند. مشترک بایستی همواره سهمی از هزینه‌های ثابت را علاوه بر بهای انرژی به اداره برق می‌پرداخت. همواره مبلغی که مشترک درازای هزینه‌ی متغیر می‌پرداخت، بسیار کمتر از مبلغی بود که به ازای هزینه‌ی ثابت بایستی پرداخت می‌نمود. بدین ترتیب مفهوم بهای انرژی و دیماند به وجود آمد و پرداخت‌های مشترکین تحت دو عنوان مذکور انجام می‌گرفت. مشترکین به این نتیجه رسیدند که چون بایستی مبلغ ثابتی را به اداره برق بپردازند و هرچه میزان انرژی مصرفی آن‌ها بیش‌تر باشد، سرشکن مبلغ مذکور به ازای هر واحد کمتر خواهد شد، به‌این‌ترتیب سعی نمودند ضریب بار خود را اصلاح نمایند. در ادامه به بحث بیش‌تری

در این مورد خواهیم پرداخت. تبدیل کل هزینه‌ها به دو بخش متغیر و ثابت را می‌توان در یک منحنی نمایش داد. آنچه منحنی نشان می‌دهد، درواقع برای یک مشترک یا گروهی از مشترکین و یا سازمان تأمین‌کننده‌ی برق صادق می‌باشد. در این منحنی کل هزینه‌ها توسط خط AB که از نقطه‌ی مبدأ شروع نمی‌شود، نشان داده‌شده است.

هزینه‌های ثابت که با حرف F نشان داده‌شده است، بیانگر آن است که همواره هزینه‌هایی بدون مصرف انرژی نیز وجود دارد. این امر سبب شده که خط AB از مبدأ شروع نشود، بلکه جایی که هزینه‌های ثابت تمام می‌شود (یعنی A) آغاز گردد. به‌این‌ترتیب حتی با مصرف صفر نیز، مشترک می‌بایستی پرداختی به‌اندازه NA داشته باشد.

$$C = F + V \quad \text{(رابطه ۱-۱)}$$

$$V = vU \quad \text{(رابطه ۱-۲)}$$

$$C = F + vU \quad \text{(رابطه ۱-۳)}$$

که:

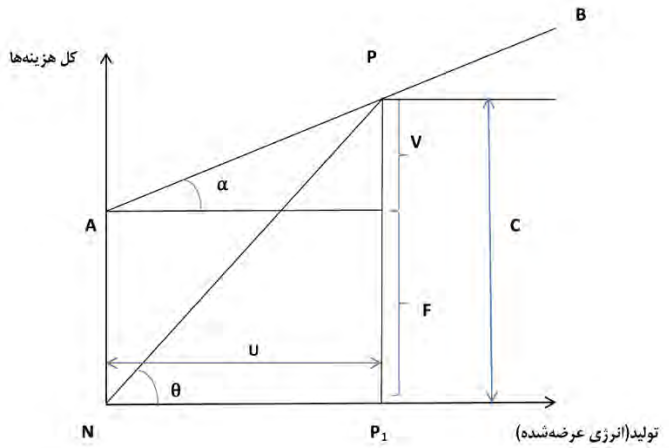
C: کل هزینه

F: هزینه‌های ثابت

V: هزینه‌های متغیر

v: هزینه‌ی متغیر هر کیلووات ساعت

U: میزان کیلووات ساعت تولیدشده



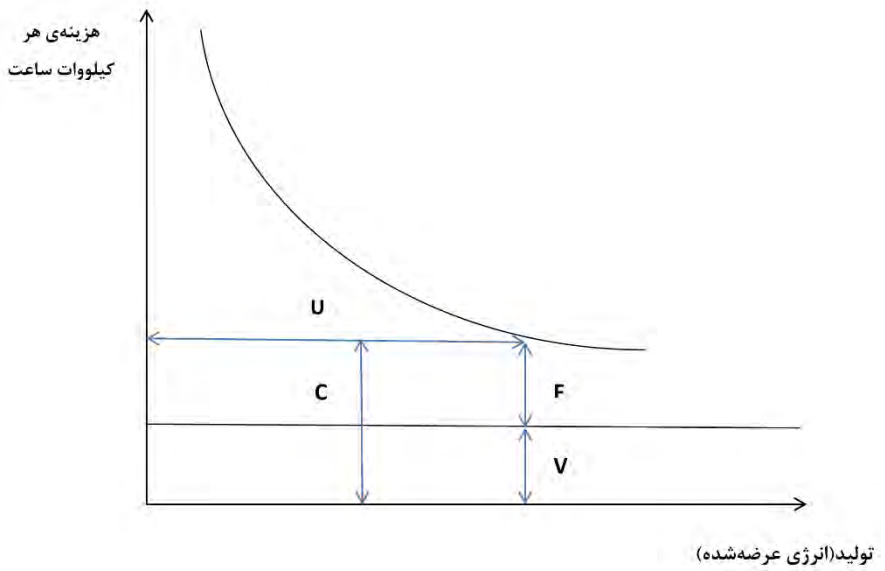
تصویر۱- ٤: سیستم قیمت‌گذاری دوبخشی

$$\tan\theta = \frac{\text{کل هزینه‌ها}}{\text{کیلووات ساعت مصرفی}} = C \qquad \text{(رابطه‌ی ۱-۴)}$$

$$\tan\alpha = \frac{\text{هزینه‌های متغیر}}{\text{کیلووات ساعت مصرفی}} = V \qquad \text{(رابطه‌ی ۱-۵)}$$

در بسیاری از فعالیت‌های بازرگانی دیگر نیز سیستم قیمت‌گذاری دوقسمتی رایج می‌باشد، مانند تاکسی‌رانی، هتل‌ها، رستوران‌ها و تأمین گاز که همگی آن‌ها دارای عوامل «تأمین» و «ارائه» می‌باشند. همچنین این فعالیت‌ها عامل «خدمات مخصوص» را نیز دارا هستند. در مورد مالکیت اتومبیل نیز کلیه‌ی بخش‌های فوق صادق است. یک اتومبیل صرف‌نظر از مخارجی که با میزان کیلومترهای پیموده ارتباط دارد، مقداری هزینه‌ی ثابت برای مالک خود به ارمغان می‌آورد که این هزینه‌ها عبارت‌اند از مالیات استفاده از راه‌ها و جاده‌ها، بیمه، اجاره‌بهای پارکینگ، استهلاک و... که حتی در صورت عدم استفاده از اتومبیل نیز بایستی پرداخت شوند.

با توجه به مطالبی که پیش‌ازاین مطرح شد، می‌توان میانگین هزینه‌ی هر کیلووات ساعت انرژی برق را به‌صورت زیر مطرح کرد.



تصویر۱- ۵: میانگین هزینه‌ی هر کیلووات ساعت

$$\frac{C}{U} = \frac{F}{U} + \frac{V}{U}$$ (رابطه‌ی ۱-۶)

$$c = f + v$$ (رابطه‌ی ۱-۷)

که:

U: میزان کیلووات ساعت تولیدشده

C: کل هزینه‌ی هر کیلووات ساعت

F: هزینه‌ی ثابت هر کیلووات ساعت

V: هزینه‌ی متغیر هر کیلووات ساعت

۱-۷-۱-۱-۲) هزینه‌های سه‌گانه

روش نرخ‌گذاری هاپکینسون در قیمت‌گذاری برق پیشرفت مهمی محسوب می‌شد، اما همچنان روش کاملی نبود؛ زیرا برخی از عوامل هزینه، ارتباطی باانرژی مصرفی و یا دیماند مشترک ندارند. هزینه‌های اداری رسیدگی به شکایات مشترکین، قرائت‌کنندگان برق و از این قبیل موارد نمی‌توانند به انرژی و یا دیماند مرتبط باشند.

در سال ۱۹۰۰ میلادی مقاله‌ای دریکی از جلسات موسسه‌ی برق شیکاگو قرائت گردید که به معایب سیستم قیمت‌گذاری دوقسمتی خرده گرفت. در پی انتشار این مقاله و مباحثی که در پی آن مطرح شد، قرار بر این شد که برخی هزینه‌ها مختص مصرف‌کنندگان یا مشترکین است؛ صرف‌نظر از اینکه چقدر مصرف کنند و یا دیماند آن‌ها چقدر است. این هزینه نیز بایستی به صورتی از مشترکین دریافت گردد. این دسته هزینه‌ها بخشی از هزینه‌های ثابت را تشکیل می‌دهند ولی بستگی به دیماند مشترک ندارند، شاید بتوان گفت که متناسب با میزان کنتورهای نصب‌شده هستند. با توجه به مسائل مذکور بود که مفهوم قیمت‌گذاری سه‌قسمتی مطرح شد. اساس این نظریه بر این قرار دارد که هر مشترک متحمل هزینه‌هایی می‌گردد که به سه بخش قابل‌تقسیم است.

الف) بخش متغیر

ب) بخش مربوط به دیماند

ج) بخش مربوط به مصرف‌کننده

دو بخش آخر مشترکا بخش ثابت را تشکیل می‌دهند.

در مورد مشترک بزرگ بخش سوم بسیار ناچیز است. حال‌آنکه در مورد مشترکین کوچک ممکن است قابل‌توجه باشد. به‌این‌ترتیب اگر هزینه‌ی بند ۳ را معادل b به میزان انرژی مصرفی مشترک سرشکن نماییم، بدیهی است که مشترک با مصرف کم‌تر سهم بیش‌تری خواهد داشت. این سیستم قیمت‌گذاری در یک منحنی سه‌بعدی نشان داده‌شده است. محور OX نشان‌دهنده‌ی انرژی تولیدی یا عرضه‌شده است که برحسب کیلووات ساعت می‌باشد. محور OX بیانگر حداکثر دیماند برحسب کیلووات است و محور OY نشان‌دهنده‌ی کل هزینه‌هاست.

اگر فرض کنیم که انرژی U و دیماند در نقطه‌ی N است، بنابراین قیمت و یا هزینه‌ی این مقدار انرژی و دیماند برابر P می‌شود. در سطح چهارضلعی FDEB می‌توان هزینه‌ی هر ترکیبی از انرژی و دیماند را پیدا کرد. ارتفاع یا خط PP نشان‌دهنده‌ی مقدار هزینه‌های کل برای انرژی U می‌باشد که از این بخش‌ها تشکیل‌شده است: ۱- هزینه‌های مشترک (C)، ۲- هزینه‌های دیماند (m)، ۳- هزینه‌های متغیر (V)، منحنی‌های ۱ و ۲ به‌اتفاق هزینه‌های ثابت (F) را تشکیل می‌دهند.

$\mathrm{Tan}\alpha$ بخش هزینه‌های متغیر و $\tan\theta$ هزینه‌های ثابت را نشان می‌دهد؛ بنابراین شکل APPN درواقع تکرار منحنی ارائه‌شده در تصویر۱-۴ است. این منحنی نیز می‌تواند برای یک یا چند مشترک و یا یک سازمان به کار رود.

$$\tan\alpha = \frac{\text{هزینه‌های متغیر}}{\text{کیلووات ساعت مصرفی}}$$ (رابطه ۱-۸)

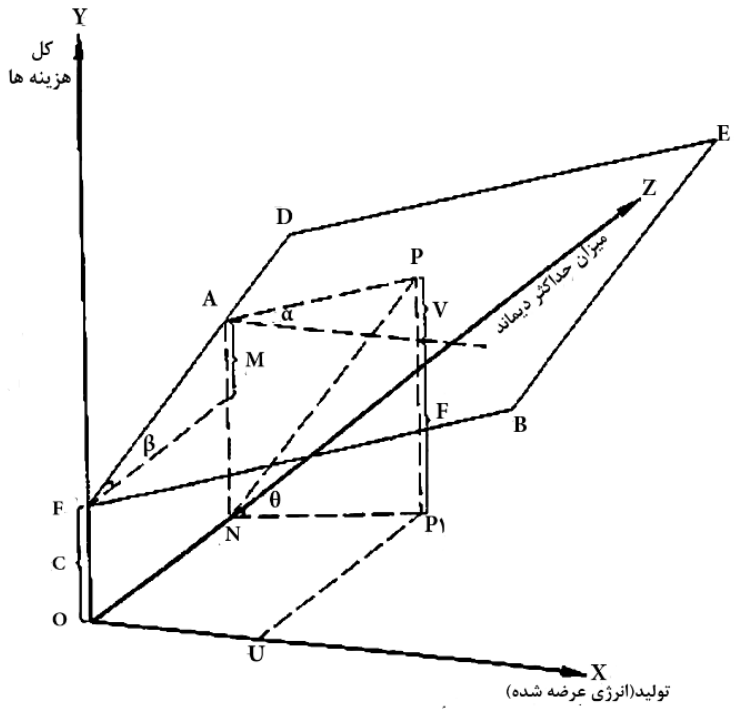
$$\tan\beta = \frac{\text{هزینه‌های ثابت}}{\text{کیلووات ساعت مصرفی}}$$ (رابطه ۱-۹)

$$\tan\theta = \frac{\text{متوسط هزینه‌ها}}{\text{کیلووات ساعت مصرفی}}$$ (رابطه ۱-۱۰)

داریم:

C: هزینه‌های مشترک　　F: هزینه‌های ثابت

M: هزینه‌های دیماند　　V: هزینه‌های متغیر



تصویر۱- ٦: سیستم قیمت‌گذاری سه‌بخشی

۱-۷-۱-۱-۳) مفاهیم منحنی سیستم قیمت‌گذاری چندقسمتی

منحنی‌های توضیح داده‌شده بیان ساده‌ای از روابط حاکم بین هزینه‌های ثابت و متغیر است. اگر فرض کنیم یک مشترک ۲۰ درصد دیماند خود را افزایش دهد، سازمان می‌تواند پاسخگوی او باشد؛ اما اگر همه یا گروه بسیاری از مشترکین سعی کنند که دیماند خود را ۲۰٪ افزایش دهند، چه اتفاقی خواهد افتاد. در این حالت سازمان یا تولیدکننده‌ی برق مجبور خواهد شد که امکانات تولیدی خود را افزایش دهد و این به معنای نیاز به توسعه است؛ بنابراین هزینه‌های ثابت افزایش خواهند یافت.

واقعیت آن است که عوامل مختلف هزینه‌ها که مشترکا هزینه‌های کل را تشکیل می‌دهند از انرژی، دیماند و تعداد مشترکین تأثیر می‌پذیرند، البته در مورد انرژی و برقراری برق بسیار مشکل می‌توان وضعیت را روشن کرد. به این معنا که نمی‌توان گفت اگر یک مشترک ۲۰ کیلووات تون مصرفی خود را افزایش دهد، بایستی دو برابر شخصی که توان خود را ۱۰ کیلووات بیش‌تر کرده بپردازد. می‌توان نسبت هزینه‌ها را به طبقه‌بندی مشترکین ربط داد. مثلاً

مشترکین را بر اساس زمان مصرف طبقه‌بندی کرد. سیستم قیمت‌گذاری چندقسمتی در ادامه ارائه خواهد شد. در سیستم قیمت‌گذاری سه‌بخشی، هزینه‌ها به انرژی و دیماندهای مشترکین سرشکن می‌شود. نکته‌ی مهم آن است که هزینه‌ها به‌صورت یک نرخ ثابت بیان نشود، بلکه به‌صورت سه بخش مجزا از هم بیان گردد.

۱-۷-۱-۱-۴) هزینه‌های مشترک

معمولاً دو راه وجود دارد که می‌توان از طریق آن‌ها هزینه‌ی تأمین برق به مصرف‌کننده و یا گروه مصرف‌کنندگان را محاسبه نمود. راه اول این است که هزینه‌های مشترک ارزیابی‌شده و به طریقی منطقی بین مشترکین سرشکن شود. راه دوم این است که هزینه‌های حاشیه‌ای یا اضافی فقط برای مشترکینی که این هزینه‌ها را ایجاد می‌کنند سرشکن شود. البته بایستی به این موضوع توجه داشت که اگر چنین مصرف‌کنندگانی اصلاً وجود نداشتند چه می‌شد؟!

۱-۷-۱-۲) تعرفه‌گذاری در مصرف برق

همان‌طور که در ابتدای این بخش نیز اشاره شد، مصرف‌کننده‌های برق به پنج گروه:۱- مصارف خانگی، ۲- مصارف عمومی، ۳- مصارف تولیدی (آب و کشاورزی)، ۴- مصارف تولیدی (صنعت و معدن)، ۵- سایر مصارف تقسیم می‌شوند که با توجه به حوزه‌ی مباحث این کتاب به شرح دو گروه اول پرداخته‌می‌شود.

۱-۷-۱-۲-۱) مصارف خانگی

۱. در گام نخست، تعداد روزهای دوره را محاسبه می‌نماییم. در مناطق گرمسیر تعداد روزهای دوره به دو گروه روزهای گرم و غیرگرم تقسیم می‌شود.
۲. مصارف انرژی کل، میان‌باری، اوج بار و کم‌باری را محاسبه می‌کنیم.

۲- الف. در مناطق گرمسیر درصورتی‌که صورتحساب شامل روزهای گرم و غیرگرم باشد، مصارف دوره‌ی گرم و غیرگرم بر اساس تعداد روزهای گرم و غیرگرم و ضرایب مندرج در جدول ۱-۵ محاسبه می‌شود.

جدول ۱-۴: دوره‌ی زمانی و محدوده‌ی تحت پوشش مناطق گرمسیر

منطقه	محدوده ی تحت پوشش	مدت (ماه)	دوره ی زمانی
گرمسیر(۱)	کلیه شهرهای استان‌های خوزستان، بوشهر و هرمزگان و شهرستان‌های چابهار و کنارک و شهرستان دهلران	۹	اول فروردین تا پایان آذر
	شهرستان‌های دوگنبدان و لیکك	۷	شانزدهم فروردین تا پانزدهم آبان
	شهرستان‌های لامرد و مهر، جیرفت، کهنوج، قلعه گنج، عنبر آباد، رودبار جنوب، منوجان و بخش فاریاب	۷	اول فروردین تا پایان مهر
	شهرستان‌های مهران، دره شهر و آبدانان و شهرستان نیک شهر	٦	اول اردیبهشت تا پایان مهر
	شهرستان لارستان، خنج و گراش	٥	اول خرداد تا پایان مهر
	شهرستان‌های ایرانشهر و سرباز و قیر و کارزین و فراشبند	۳	اول خرداد تا پایان مرداد
	شهرستان‌های کازرون، خشت و کمارج و جهرم، داراب، زرین دشت	۲	مرداد و شهریور
گرمسیر(۲)	شهرستان‌های دهدشت، چرام و لنده و شهرستان‌های ارزوئیه (شاهماران)، شهداد، بم و فهرج	٦	اول اردیبهشت تا پایان مهر
	شهرستان زابل	٤	اول خرداد تا پایان شهریور
	شهرستان‌های ایرانشهر و سرباز و قیر و کارزین و فراشبند	۳	اردیبهشت، شهریور و مهر
	شهرستان کازرون، خشت و کمارج و جهرم، داراب، زرین دشت	۲	خرداد و تیر
	شهرستان‌های لارستان، خنج و گراش	۱	اردیبهشت

ادامه جدول ۱-۴: دوره‌ی زمانی و محدوده‌ی تحت پوشش مناطق گرمسیر

گرمسیر (۳)	شهرستان‌های گیلانغرب، سرپل ذهاب، قصرشیرین و نفت شهر و دهستان‌های سرقلعه و جگیران	٦	اول اردیبهشت تا پایان مهر
	استان قم	٤	اول خرداد تا پایان شهریور
	شهرستان‌های گنبد، کلاله، مینودشت و آق قلا	۳،٥	اول خرداد تا ۱٥ شهریور
	شهرستان طبس	۳	اول خرداد تا پایان مرداد
	شهرستان پل دختر	۳	اول تیر تا پایان شهریور
	شهرستان زابل	۲	اردیبهشت و مهر
گرمسیر (٤)	شهرستان‌های ممسنی(نورآباد)، رستم	٤	اول خرداد تا پایان شهریور
	کلیه شهرستان‌های استان گلستان به استثناء شهرستان‌های گنبد، کلاله، مینودشت و آق قلا	۳،٥	اول خرداد تا ۱٥ شهریور
	شهرستان‌های جعفرآباد، پارس آباد، اصلاندوز، بیله‌سوار و ازگله	۳	اول تیر تا پایان شهریور
	شهرستان بافق	۳	اول خرداد تا پایان مرداد
	کلیه شهرهای استان گیلان به استثناء ماسوله، دیلمانو جیرنده کلیه شهرهای استان مازندران به استثناء بلده، رینه، کجور، محمدآباد، کیاسر مرزن‌آباد، کلاردشت و آلاشت	۳	۱٥ خرداد تا ۱٥ شهریور
	شهرستان‌های گرمسار، کاشان، آران و بیدگل، خور و بیابانک و ساوه و زرندیه و یزد و اشکذر و میبد و اردکان	۲	اول تیر تا پایان مرداد
	شهرستان طبس	۲	اردیبهشت و شهریور

جدول ۱-۵: ضرایب مصرف در مناطق گرمسیر

منطقه‌ی گرمسیر	ضریب ایام گرم	ضریب ایام غیرگرم
منطقه‌ی گرمسیر یک	٤	۱
منطقه‌ی گرمسیر دو	۳	۱
منطقه‌ی گرمسیر سه	۲	۱
منطقه‌ی گرمسیر چهار	۱/۳	۱

۳. در مورد تمامی صورتحساب‌های بهای برق مربوط به مناطق عادی و نیز در مورد آن دسته از صورتحساب‌های بهای برق مربوط به مناطق گرمسیر که تنها شامل روزهای گرم و یا غیرگرم باشد:

$$\text{متوسط مصرف ماهانه} = \frac{30 \times \text{مجموع مصارف انرژی میان‌باری ، اوج بار و کم‌باری}}{\text{تعداد روزهای دوره}}$$

۳-الف- در مورد صورتحساب‌های بهای برق مربوط به مناطق گرمسیر که شامل روزهای گرم و غیرگرم باشد:

$$\text{متوسط مصرف ماهانه‌ی غیرگرم} = \frac{30 \times \text{مجموع مصارف انرژی میان‌باری ، اوج بار و کم‌باری}}{\text{تعداد روزهای غیرگرم دوره}}$$

$$\text{متوسط مصرف ماهانه‌ی گرم} = \frac{30 \times \text{مجموع مصارف انرژی میان‌باری ، اوج بار و کم‌باری}}{\text{تعداد روزهای گرم دوره}}$$

۳-ب) درصورتی‌که اشتراک دارای کد خانوار باشد، متوسط مصرف ماهانه با اعمال کد مذکور محاسبه می‌شود. در خصوص مصارف باز فروش روستایی متوسط مصرف هر مشترک با در نظر گرفتن تعداد اشتراک محاسبه می‌شود (تعداد خانوار ساکن در یک واحد مسکونی = کد خانوار (حداکثر برابر ۵))

۴. مبلغ پایه‌ی ماهانه را بر اساس جداول نرخ محاسبه می‌کنیم.

جدول ۱-۶: تعرفه‌ی مناطق عادی و ماه‌های غیرگرم مناطق گرمسیر

متوسط انرژی مصرفی ماهانه (کیلووات ساعت در ماه)	قیمت پایه‌ی هر کیلووات ساعت
۰ تا ۱۰۰	۴۵۰
مازاد بر ۱۰۰ تا ۲۰۰	۵۲۵
مازاد بر ۲۰۰ تا ۳۰۰	۱۱۲۵
مازاد بر ۳۰۰ تا ۴۰۰	۲۰۲۵
مازاد بر ۴۰۰ تا ۵۰۰	۲۳۲۵
مازاد بر ۵۰۰ تا ۶۰۰	۲۹۲۶
مازاد بر ۶۰۰	۳۲۲۶

جدول ۱-۷: تعرفه‌های ماه‌های گرم مناطق گرمسیر (۱)

متوسط انرژی مصرفی ماهانه (کیلووات ساعت در ماه)	قیمت پایه‌ی هر کیلووات ساعت (ریال)
۰ تا ۱۰۰۰	۱۵۰
مازاد بر ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰	۱۶۶
مازاد بر ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۱۸۰
مازاد بر ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰	۷۵۰
مازاد بر ۳۵۰۰ تا ۴۵۰۰	۱۳۵۱
مازاد بر ۴۵۰۰ تا ۶۰۰۰	۱۷۲۶
مازاد بر ۶۰۰۰	۲۰۲۵

جدول ۱-۸: تعرفه‌ی ماه‌های گرم مناطق گرمسیر (۲)

متوسط انرژی مصرفی ماهانه (کیلووات ساعت در ماه)	قیمت پایه‌ی هر کیلووات ساعت (ریال)
۰ تا ۱۰۰۰	۳۳۰
مازاد بر ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰	۷۵۰
مازاد بر ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۱۲۷۵
مازاد بر ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰	۱۵۷۵
مازاد بر ۳۵۰۰ تا ٤۵۰۰	۱۸۷٦
مازاد بر ٤۵۰۰ تا ٦۰۰۰	۲۰۲۵
مازاد بر ٦۰۰۰	۲۱۷٦

جدول ۱-۹: تعرفه‌ی ماه‌های گرم مناطق گرمسیر (۳)

متوسط انرژی مصرفی ماهانه (کیلووات ساعت در ماه)	قیمت پایه‌ی هر کیلووات ساعت (ریال)
۰ تا ۱۰۰۰	۳۷۵
مازاد بر ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰	۹۷٦
مازاد بر ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۱۷۲٦
مازاد بر ۳۰۰۰ تا ۳۵۰۰	۱۸۷٦
مازاد بر ۳۵۰۰ تا ٤۵۰۰	۲۰۲۵
مازاد بر ٤۵۰۰ تا ٦۰۰۰	۲۱۷٦
مازاد بر ٦۰۰۰	۲۳۲۵

جدول ۱-۱۰: تعرفه‌ی ماه‌های گرم مناطق گرمسیر (۴)

متوسط انرژی مصرفی ماهانه (کیلووات ساعت در ماه)	قیمت پایه‌ی هر کیلووات ساعت (ریال)
۰ تا ۱۰۰	۳۶۱
مازاد بر ۱۰۰ تا ۲۰۰	۴۲۱
مازاد بر ۲۰۰ تا ۳۰۰	۷۵۰
مازاد بر ۳۰۰ تا ۴۰۰	۱۲۰۰
مازاد بر ۴۰۰ تا ۵۰۰	۱۷۲۶
مازاد بر ۵۰۰ تا ۶۰۰	۲۲۵۱
مازاد بر ۶۰۰	۲۷۰۱

۴-الف – درصورتی‌که حاصل تقسیم مبلغ پایه‌ی ماهانه بر مصرف انرژی ماهانه بیش از ۱۹۵۰ ریال در مناطق عادی و ایام غیرگرم مناطق گرمسیر و بیش از ۱۶۵۰ ریال در ایام گرم مناطق گرمسیر باشد، مبلغ پایه‌ی ماهانه با ضریب ۱۹۵۰ ریال در مناطق عادی و ایام غیرگرم مناطق گرمسیر و ۱۶۵۰ ریال در ایام گرم مناطق گرمسیر در متوسط مصرف ماهانه مربوطه محاسبه می‌شود.

۵. مبلغ پایه‌ی دوره با ضرب مبلغ پایه‌ی ماهانه در تعداد روزهای دوره و تقسیم مقدار به‌دست‌آمده بر عدد ۳۰ به دست می‌آید. درصورتی‌که صورتحساب مشمول سقف ۱۹۵۰ ریال برای مناطق عادی و ایام غیرگرم مناطق گرمسیر و یا سقف ۱۶۵۰ ریال برای مناطق گرمسیر باشد، باید دو محاسبه‌ی صورتحساب یکی بدون در نظر گرفتن سقف و دیگری با در نظر گرفتن آن درج شود. در این حالت در ذیل صورتحساب توضیح داده می‌شود که به‌منظور رعایت سقف قیمت پایه، از بین ارقام مذکور رقم کوچک‌تر انتخاب‌شده است.

۶. اضافه پرداختی مصارف اوج بار و کسورات مصارف غیراوج بار، درصورتی‌که اشتراک دارای لوازم اندازه‌گیری دو یا سه‌زمانه باشد، محاسبه و در صورتحساب درج می‌شود.

جدول ۱-۱۱: اضافه پرداختی مصارف اوج بار و تخفیف مصارف غیر اوج بار برای آن دسته از مشترکینی که دارای لوازم اندازه‌گیری چند زمانه هستند.

کل مصرف اوج بار در دوره×۴۵۰ ریال=		اضافه پرداختی مصارف اوج بار
برای مشترکینی که دارای لوازم اندازه‌گیری سه‌زمانه هستند.	کل مصرف اوج بار در دوره×۴۵۰ ریال=	تخفیف مصارف غیر اوج بار
برای مشترکینی که دارای لوازم اندازه‌گیری دوزمانه هستند.	کل مصرف غیر اوج بار در دوره×۹۰ ریال=	

تبصره: ارقام فوق برای ماه‌های گرم مناطق گرمسیر (۱) با ضریب یک‌سوم و مناطق گرمسیر (۲)، (۳) و (۴) با ضریب دوسوم محاسبه می‌شود.

۷. از تمامی مشترکین باقدرت کمتر از ۳۰ کیلووات مبلغ یازده هزار ریال و تمامی مشترکین باقدرت ۳۰ کیلووات و بیشتر مبلغ نودونه هزار ریال ماهانه تحت عنوان «آبونمان» دریافت می‌شود.

۸. بیست درصد مجموع مبلغ پایه دوره و اضافه پرداختی مصارف اوج بار و آبونمان پس از کسر تخفیف مصارف غیر اوج بار اشتراک‌هایی که بدون پرداخت هزینه انشعاب دایر شده‌اند، محاسبه و به‌صورت یک‌قلم تحت عنوان «تفاوت تعرفه انشعاب آزاد» در صورتحساب درج می‌شود.

۹. در خصوص جانبازان بیست‌وپنج درصد (۲۵٪) و بالاتر (موضوع بند «الف» ماده «۶» آیین‌نامه اجرایی ماده «۱۳» قانون تسهیلات استخدامی و اجتماعی جانبازان) و فرزندان معظم شهدا (موضوع بند «الف» ماده «۴۴» قانون برنامه پنجم توسعه) جمع مبلغ پایه دوره، اضافه پرداختی مصارف اوج بار، آبونمان، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد پس از کسر کسورات مصارف غیر اوج بار در حافظه نگهداری می‌شود. در مناطق عادی و گرمسیر به ترتیب ۸۰ و ۱۰۰ کیلووات ساعت به ازای هرماه (۳۰ روز) از کل مصرف انرژی دوره کسر می‌گردد. کل انرژی کسر شده دوره به نسبت مصارف میان‌باری، اوج بار و کم‌باری تسهیم و به ترتیب از مصارف مذکور کسر می‌شود. مراحل ۱ الی ۸ با در نظرگرفتن مصارف میان‌باری، اوج بار و کم‌باری جدید مجدداً

محاسبه می‌شود. جمع مبلغ پایه دوره، اضافه پرداختی مصارف اوج بار، آبونمان، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد پس ازکسرکسورات مصارف غیراوج‌بار از رقم موجود در حافظه کسر و مانده تحت عنوان «تخفیف جانبازان و فرزندان معظم شهدا» در صورتحساب درج می‌گردد.

۱۰. سی درصد مجموع مبلغ پایه دوره، اضافه پرداختی مصارف اوج بار و تفاوت تعرفه انشعاب آزاد پس ازکسرکسورات مصارف غیراوج‌بار مشترکین خانگی که از مبتلایان به بیماری‌های خاص و صعب‌العلاج نگهداری می‌نمایند، محاسبه و تحت عنوان «تخفیف بیماری‌های خاص» به‌صورت یک‌قلم در صورتحساب درج می‌شود.

۱۱. در مناطق فاقد شبکه گازرسانی استان‌های هرمزگان، بوشهر و خوزستان و شهرهای چابهار و کنارک در ماه‌های دی، بهمن و اسفند ۴۰ درصد مجموع مبلغ پایه دوره، اضافه پرداختی مصارف اوج بار، آبونمان و تفاوت تعرفه انشعاب آزاد پس ازکسر کسورات مصارف غیراوج‌بار، تخفیف جانبازان و فرزندان معظم شهدا و تخفیف بیماری‌های خاص محاسبه و تحت عنوان «تخفیف فقدان شبکه گازرسانی» به‌صورت یک‌قلم در صورتحساب درج می‌شود.

۱۲. در شهرستان‌های آبادان، خرمشهر و اروندکنار در ایام گرم ۳۰ درصد مجموع مبلغ پایه دوره، اضافه پرداختی مصارف اوج بار، آبونمان و تفاوت تعرفه انشعاب آزاد پس ازکسرکسورات مصارف غیراوج‌بار، تخفیف جانبازان و فرزندان معظم شهدا، تخفیف بیماری‌های خاص و تخفیف فقدان شبکه گازرسانی محاسبه و تحت عنوان تخفیف ویژه شهرستان‌های «آبادان، خرمشهر و اروندکنار» به‌صورت یک‌قلم در صورتحساب درج می‌شود.

۱۳. در خصوص مصارف باز فروش روستایی ۲۴۲۰ ریال به ازای هر مشترک در هر صورتحساب صادره محاسبه و تحت عنوان «تخفیف هزینه‌های اداری برق روستا» در صورتحساب درج می‌شود.

۱۴. بر اساس بند "ز" تبصره ۹ ماده واحده قانون بودجه سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ کل کشور، مبلغ سی (۳۰) ریال به ازای هرکیلووات ساعت برق مصرفی (شامل مصارف انرژی میان‌باری، اوج بار و کم‌باری) از مشترکان خانگی شهری، باغ شهرها و خانه باغ‌های

اطراف روستاها و شهرها به‌غیراز اشتراک‌های خانگی روستایی تحت عنوان «عوارض برق» محاسبه و در صورتحساب درج می‌گردد. در خصوص جانبازان بیست‌وپنج درصد (۲۵٪) و بالاتر و فرزندان معظم شهدا مصرف انرژی ثبت‌شده در وسایل اندازه‌گیری (قبل ازکسر ۸۰ و ۱۰۰ کیلووات ساعت به ازای هرماه مصرف به ترتیب در مناطق عادی وگرمسیر) ملاک عمل قرار می‌گیرد.

۱۵. بر اساس بند «ج» تبصره ۱۵ ماده واحده قانون بودجه سال ۱۳۹۳ کل کشور، مبلغ پانصد (۵۰۰) ریال در هر دو ماه (۶۰ روز) از هر اشتراک خانگی شهری تحت عنوان «بیمه» دریافت می‌شود.

۱۶. مالیات بر ارزش‌افزوده و عوارض معادل ۹ درصد مجموع مبلغ پایه دوره، آبونمان، اضافه پرداختی مصارف اوج بار و تفاوت تعرفه انشعاب آزاد پس ازکسرکسورات مصارف غیراوج‌بار، تخفیف جانبازان و فرزندان معظم شهدا، تخفیف بیماری‌های خاص، تخفیف فقدان شبکه گازرسانی، تخفیف ویژه شهرستان‌های آبادان، خرمشهر و اروندکنار و تخفیف هزینه‌های اداری برق روستا محاسبه و به‌صورت یک‌قلم تحت عنوان «مالیات بر ارزش‌افزوده و عوارض» در صورتحساب درج می‌شود. مشترکین خانگی روستایی از پرداخت عوارض (۳ درصد) معاف می‌باشند.

۱۷. مبلغ صورتحساب بهای برق از جمع مبلغ پایه دوره، آبونمان، اضافه پرداختی مصارف اوج بار، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد، عوارض برق، بیمه و مالیات بر ارزش‌افزوده پس ازکسرکسورات مصارف غیراوج‌بار، تخفیف جانبازان و فرزندان معظم شهدا، تخفیف بیماری‌های خاص، تخفیف فقدان شبکه‌گازرسانی، تخفیف ویژه شهرستان‌های آبادان، خرمشهر و اروندکنار و تخفیف هزینه‌های اداری برق روستا حسب مورد به دست می‌آید.

خوانندگان محترم باید توجه داشته باشند که مقادیر، ضرایب و مبالغ ارائه‌شده در این بخش مربوط به سال ۱۳۹۶ است. چنانچه قصد دارید که به محاسبه‌ی هزینه‌های برق در سال‌های دیگری بپردازید باید از مقادیر مربوط به همان سال استفاده کنید.

۱-۷-۱-۲-۲) مصارف عمومی

۱. تعداد روزهای دوره را محاسبه می‌نماییم. تعداد روزهای دوره به دو گروه روزهای عادی و روزهای گرم تقسیم می‌شود.

جدول ۱-۱۲: مشترکین مصارف عمومی

۲-الف	۱ شامل کد	۲-۱	وزارتخانه‌ها و ادارات تابعه‌ی آن‌ها، بنیاد شهید، بنیاد مستضعفان و جانبازان، بنیاد ۱۵ خرداد، شهرداری‌ها و کلیه‌ی مؤسسات و سازمان‌های دولتی که به‌صورت شرکت اداره نمی‌شوند (نظیر سازمان حج و اوقاف و امورخیریه، سازمان حفاظت محیط‌زیست، سازمان‌های جهادکشاورزی استان‌ها، گمرگ، سازمان بنادر و کشتیرانی، سازمان هواپیمایی کشوری)، اماکن دیپلماتیک، روشنایی معابر اختصاصی، مصارف اشتراکی مجموعه‌های ساختمانی غیرمسکونی، آرامگاه‌ها، گورستان‌ها و غسالخانه‌ها، سازمان تبلیغات اسلامی، روشنایی جاده‌ای و چراغ‌های چشمک‌زن بین شهری، تونل‌ها و نقاط مه‌گیر.
	۲ شامل کدهای	۲-۲	کلیه مؤسسات پژوهشی و مراکز تحقیقاتی دارای پروانه معتبر از مراجع رسمی، مجلس شورای اسلامی، قوه قضائیه، شورای حل اختلاف، سازمان بازرسی کل کشور، جایگاه‌های فروش فرآورده‌های نفتی و CNG، مراکز بهداشتی و درمانی دولتی نظیر بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها، مراکز تشخیص طبی، مراکز پیراپزشکی، کلیه مؤسسات و مراکز نیکوکاری، دفاتر هلال احمر و کمیته امداد امام خمینی، بوستان‌ها (پارک‌ها)، فضای سبز شهرها و مصارف مربوط به زیباسازی شهرها، مصارف اشتراکی واحدهای مسکونی، مصارف اشتراکی شهرک‌های مسکونی.

ادامه جدول ۱-۱۲: مشترکین مصارف عمومی

	۲-٦	مراکز بهداشتی و درمانی خصوصی نظیر بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها، مراکز تشخیص طبی، مراکز پیراپزشکی و مطب پزشکان.
۲-ب شامل کدهای	۲-۳	مراکز فرهنگی (نظیر کتابخانه‌ها، موزه‌ها و اماکن تاریخی ثبت‌شده)، سازمان صداوسیما، سینماها، مراکز آموزشی و پرورشی (نظیر مهدکودك‌ها، کودکستان‌ها، مدارس، دانشگاه‌ها، بیمارستان‌های آموزشی، مراکز آموزش فنی و حرفه‌ای، مدارس و حوزه‌های علمیه)، خوابگاه‌های دانشجویی و دانش آموزی، اردوگاه‌های دانش‌آموزی، مساجد، حسینیه‌ها، گلزار شهدا، بقاع متبرکه و اماکن مقدسه اقلیت‌های دینی شناخته شده، مراکز و باشگاه‌های‌ورزشی، مراکز بهزیستی و نگهداری جانبازان، معلولین، سالمندان، کودکان و نوجوانان بی‌سرپرست و محل سکونت جانبازان ۷۰ درصد وبالاتر، گرمابه‌ها.
	۲-٤	مراکز و پادگان‌های نظامی و انتظامی.
	۲-٥	تأسیسات آب شیرین‌کن،پارک‌های جنگلی، نانوایی‌های غیرسنتی.
	۲-۷	نانوایی‌های سنتی

۲. مصارف انرژی کل، میان‌باری، اوج بار و کم‌باری را محاسبه می‌کنیم.

۳. بهای انرژی میان‌باری، اوج بار و کم‌باری را بر اساس نرخ‌های مربوطه محاسبه و در صورتحساب درج می‌کنیم.

جدول ۱-۱۳: نرخ مصرف در مصارف عمومی

کد تعرفه		با قدرت بیش از ۳۰ کیلووات				با قدرت ۳۰ کیلووات و کمتر			
		بهای قدرت (kW/ریال)	بهای انرژی (kW/ریال)			بهای قدرت (kW/ریال)	بهای انرژی (kW/ریال)		
			ساعات میان‌باری	ساعات اوج‌بار	ساعات کم‌باری		ساعات میان‌باری	ساعات اوج‌بار	ساعات کم‌باری
۲-الف	۱	٤۹۱۰٤	۱۸۰۱	۳٦۰۲	۹۰۰/٥	-	۲۱۲۷	٤۲٥٤	۱۰٦۳/٥
	۲	٤۰۹۲۰	٥٥۷	۱۱۱٤	۲۷۸/٥	-	۷۲۱	۱٤٤۲	۳٦۰/٥
۲-ب		۱۹٦٤۲	۳۱۱	٦۲۲	۱٥٥/٥	-	۳۹٤	۷۸۸	۱۹۷

۳-الف- در مورد مشترکینی که لوازم اندازه‌گیری دو زمانه دارند، نرخ اوج بار ۶۰ درصد نرخ اوج بار تعرفه‌ی مربوطه و نرخ سایر ساعات برابر نرخ میان‌باری تعرفه‌ی مذکور است.

۴. بهای قدرت انشعاب‌های باقدرت بیش از ۳۰ کیلووات را بر اساس قدرت مصرفی (حداقل معادل ۹۰ درصد قدرت قراردادی) و نرخ مربوطه محاسبه و در صورتحساب درج می‌گردد.
۵. از کلیه مشترکین باقدرت کمتر از ۳۰ کیلووات مبلغ یازده هزار ریال و کلیه مشترکین باقدرت ۳۰ کیلووات و بیشتر مبلغ نودونه هزار ریال تحت عنوان «آبونمان» دریافت می‌شود.
۶. بیست درصد مجموع بهای انرژی میان‌باری، اوج بار و کم‌باری و نیز بهای قدرت اشتراک‌هایی که بدون پرداخت هزینه انشعاب دایر شده‌اند، محاسبه و به‌صورت یک‌قلم تحت عنوان «تفاوت تعرفه انشعاب آزاد» در صورتحساب درج می‌شود.
۷. در صورت ادامه تجاوز از قدرت قراردادی مشترکین باقدرت بیش از ۳۰ کیلووات، پس از یک دوره صدور اخطاریه کتبی بهای انرژی میان‌باری، کم‌باری و اوج بار مازاد (به نسبت قدرت مازاد به قدرت قرائت‌شده) و نیز بهای قدرت مازاد (بر اساس مابه‌التفاوت قدرت قرائت‌شده و قراردادی)، با احتساب تفاوت تعرفه انشعاب آزاد (به نسبت قدرت مازاد به قدرت قرائت‌شده) حسب مورد با ضریب یک محاسبه و تحت عنوان «تجاوز از قدرت» به‌صورت یک‌قلم در صورتحساب درج می‌شود.
۸. در صورت انقضای اعتبار پروانه (در مورد فعالیت‌هایی که تخصیص تعرفه به آن‌ها نیازمند دارا بودن پروانه است) ۲۰ درصد مجموع بهای انرژی میان‌باری، اوج بار، بهای قدرت، آبونمان، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد و تجاوز از قدرت حسب مورد به نسبت تعداد روزهای غیر معتبر از کل روزهای دوره تحت عنوان «تفاوت انقضای اعتبار پروانه» به‌صورت یک‌قلم در صورتحساب درج می‌شود.
۹. بهای انرژی راکتیو انشعاب‌های باقدرت بیش از ۳۰ کیلووات با ضرب ضریب زیان درمجموع بهای انرژی میان‌باری، اوج بار و کم‌باری، بهای قدرت، آبونمان، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد، تجاوز از قدرت و تفاوت انقضای اعتبار پروانه حسب مورد با

رعایت سقف ۶۵۵ ریال به ازای هرکیلووات ساعت محاسبه و در صورتحساب درج می‌شود.

۱۰. بهای فصل (در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور) با توجه به نسبت روزهای گرم از کل دوره معادل بیست درصد مجموع بهای انرژی میان‌باری، اوج بار و کم‌باری، بهای قدرت، آبونمان، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد، تجاوز از قدرت، تفاوت انقضای اعتبار پروانه و بهای انرژی راکتیو حسب موردمحاسبه و به‌صورت یک‌قلم تحت عنوان «بهای فصل» در صورتحساب درج می‌شود.

۱۱. در خصوص حوزه‌های علمیه، مساجد، حسینیه‌ها، دارالقرآن‌ها و اماکن دینی اقلیت‌های دینی مصرح در قانون اساسی مجموع بهای انرژی میان‌باری، اوج‌بار و کم‌باری، بهای قدرت، آبونمان، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد، تجاوز از قدرت، تفاوت انقضای اعتبار پروانه، بهای انرژی راکتیو، بهای فصل تحت عنوان «تخفیف اماکن مذهبی» محاسبه و در صورتحساب درج می‌گردد.

۱۲. در خصوص مصارف تهویه و روشنایی تونل‌ها، چراغ‌های ویژه نقاط مه گیر، چراغ‌های چشمک‌زن در طول راه‌های کشور مجموع بهای انرژی میان‌باری، اوج بار و کم‌باری، بهای قدرت، آبونمان، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد، تجاوز از قدرت، تفاوت انقضای اعتبار پروانه، بهای انرژی راکتیو، بهای فصل محاسبه و تحت عنوان «تخفیف وزارت راه» در صورتحساب درج می‌گردد.

۱۳. در خصوص جایگاه‌های CNG مشمول اطلاعیه شماره ۱۱/۳۱۰۲ مورخ ۹۱/۷/۲۲، درصورتی‌که قدرت مصرفی کمتر از ۹۰ درصد قدرت قراردادی باشد، مابه‌التفاوت بهای دیماند بر اساس ۹۰ درصد قدرت قراردادی و قدرت مصرفی محاسبه و تحت عنوان «تخفیف جایگاه‌های CNG» در صورتحساب درج می‌گردد.

۱۴. بر اساس بند "ز" تبصره ۹ ماده واحده قانون بودجه کل کشور، مبلغ سی (۳۰) ریال به ازای هرکیلووات ساعت برق مصرفی (شامل مصارف انرژی میان‌باری، اوج بار و کم‌باری) تحت عنوان «عوارض برق» محاسبه و در صورتحساب درج می‌گردد. فضاهای اصلی مساجد، حسینیه‌ها، مؤسسات قرآنی، دارالقرآن‌ها، حوزه‌های

علمیه، گلزارهای شهدا، امامزاده‌ها، یادمان شهدا و اماکن مذهبی اقلیت‌های دینی مصرح در قانون اساسی، مشمول عوارض برق نمی‌گردند.

۱۵. مالیات بر ارزش‌افزوده و عوارض معادل ۹ درصد مجموع بهای انرژی میان‌باری، اوج بار و کم‌باری، بهای قدرت، آبونمان، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد، تجاوز از قدرت، تفاوت انقضای اعتبار پروانه، بهای انرژی راکتیو و بهای فصل پس ازکسر تخفیف اماکن مذهبی، تخفیف وزارت راه و تخفیف جایگاه‌های CNG حسب موردمحاسبه و به‌صورت یک‌قلم تحت عنوان «مالیات بر ارزش‌افزوده و عوارض» در صورتحساب درج می‌شود.

۱۶. مبلغ صورتحساب بهای برق از جمع بهای انرژی میان‌باری، اوج باروکم‌باری، بهای قدرت، آبونمان، تفاوت تعرفه انشعاب آزاد، تجاوز از قدرت، تفاوت انقضای اعتبار پروانه، بهای انرژی راکتیو، بهای فصل، عوارض برق و مالیات بر ارزش‌افزوده پس از کسر تخفیف اماکن مذهبی، تخفیف وزارت راه و تخفیف جایگاه‌های CNG حسب مورد به دست می‌آید.

۱-۷-۲) گاز طبیعی

در کشور ما، گاز طبیعی حاملی اساسی است که نیاز گرمایشی غالب مناطق را تأمین می‌کند. گاز طبیعی در دیدگاه جامع در دو بخش مصارف نهایی و مصارف بخش انرژی مورداستفاده قرار می‌گیرد.

مصارف نهایی گاز طبیعی خود به دو بخش مصارف نهایی انرژی و مصارف نهایی غیر انرژی تقسیم می‌شود. در مصارف نهایی انرژی از گاز طبیعی برای تأمین انرژی موردنیاز بخش‌های خانگی، تجاری، صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی و سوخت پتروشیمی استفاده می‌گردد. مصرف گاز طبیعی به‌عنوان خوراک پتروشیمی ازجمله مصارف غیر انرژی است، به‌عبارت‌دیگر توزیع گاز طبیعی به مصرف‌کنندگان برای فعالیت‌هایی غیر از تبدیل سوخت را مصرف نهایی گویند.

مصارف بخش انرژی گاز طبیعی شامل سوخت پالایشگاه‌های نفت و گاز، ایستگاه‌های تقویت فشار، سوخت توربین‌ها و دیزل ژنراتورهای موجود در مسیر خط لوله و گاز مصرفی در

نیروگاه‌ها می‌باشد، درواقع در این بخش مصارف گاز طبیعی به مراکز تبدیل انرژی مربوط می‌شود.

۱-۷-۲-۱) مشترکین مصارف نهایی انرژی

مشترکین مصرف‌کننده‌ی گاز طبیعی را می‌توان از دو دیدگاه تقسیم‌بندی کرد:

انواع مشترک (ازلحاظ مقدار مصرف):

مشترک جزء: به مشترکی گفته می‌شود که از گاز طبیعی با فشار حداکثر یک پوند بر اینچ مربع استفاده کرده و حداکثر مصرف ساعتی مورد تقاضای وی نیز مساوی یا کمتر از ۱۶۰ مترمکعب بر ساعت باشد.

مشترک عمده: به مشترکی گفته می‌شود که از گاز طبیعی با فشاری بیش از یک پوند بر اینچ مربع استفاده کرده یا حداکثر مصرف ساعتی مورد تقاضای وی بیش از ۱۶۰ مترمکعب بر ساعت باشد.

انواع مشترک (ازلحاظ نوع مصرف):

الف- مشترکین خانگی: به مشترکینی گفته می‌شود که از گاز طبیعی جهت وسایل و تجهیزات متعارف استاندارد گازسوز خانگی در واحدهای مسکونی استفاده می‌نمایند.

ب- مشترکین عمومی: به مشترکینی گفته می‌شود که از گاز طبیعی جهت مصارف غیر خانگی و غیر صنعتی استفاده می‌نمایند و در گروه‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

گروه ۱- کسب، خدمات و هر نوع واحد مصرف‌کننده‌ای با هیچ‌یک از تعرفه‌های دیگر تطابق نداشته باشد.

گروه ۲- آموزشی: شامل مراکز فرهنگی، آموزشی و ورزشی دولتی، غیردولتی، تعاونی و خصوصی نظیر کتابخانه‌ها، موزه‌ها، مهدکودک‌ها، کودکستان‌ها، مدارس، اردوگاه‌های دانش‌آموزی، دانشگاه‌ها، مراکز آموزش فنی و حرفه‌ای، مدارس، اردوگاه‌های دانش‌آموزی، دانشگاه‌ها، مراکز آموزش فنی و حرفه‌ای، مدارس و حوزه‌های علوم دینی، اماکن مقدسه‌ی

مذهبی، مساجد، حسینیه‌ها، باشگاه‌های ورزشی و مراکز شبانه‌روزی نگهداری معلولان و بیمارستان‌های آموزشی که دارای تأییدیه‌ی معتبر از مراجع ذی‌صلاح باشند.
گروه ۳- اماکن و تأسیسات دولتی: شامل اماکن و تأسیسات ادارات، ارگان‌ها، نهادها و سازمان‌های زیر نظر مقام معظم رهبری، قوای سه‌گانه، شهرداری‌ها، نیروهای نظامی، انتظامی و ...

ج- مشترکین صنعتی: مشترکین صنعتی شامل سه گروه زیر می‌شوند.
گروه ۱: شامل واحدهای صنعتی، نیروگاه‌های خصوصی، پالایشگاه‌ها، تلمبه‌خانه‌ها، پتروشیمی‌ها، واحدهای تولیدی محصولات کشاورزی، دامپروری، آبزیان، تأسیسات گردشگری، نانوایی‌های صنعتی، فانتزی، سنتی، گرمابه‌ها و... با ارائه‌ی تأییدیه‌ی معتبر از مراجع ذی‌صلاح.
گروه ۲: نیروگاه‌ها (در مالکیت وزارت نیرو)
گروه ۳: حمل‌ونقل (برای ایستگاه‌های سوخت‌گیری CNG)

۱-۷-۲-۲) تعیین میزان مصرف

- ظرفیت کنتور متقاضیان اشتراک خانگی بر اساس تعداد واحد مسکونی و زیربنای مفید ساختمان تعیین می‌گردد.
- میزان مصارف گرمایشی واحدهای غیرمسکونی نظیر ساختمان‌های اداری، تجاری و ... بر اساس زیربنای مفید واحد موردنظر تعیین می‌شود.
- تبصره: میزان زیربنای مفید و تعداد واحد حسب مورد بر اساس مندرجات پروانه‌ی ساختمان، پایان کار یا هرگونه مدرکی که توسط شرکت اعلام می‌گردد مشخص می‌شود.
- جهت مصارف صنعتی، تهیه و طبخ غذا، نانوایی‌ها و ... که علاوه بر مصارف گرمایشی از وسایل گازسوز که نیازمند نصب کنتور با ظرفیت بیش‌تر می‌باشد،

استفاده می‌نمایند؛ حداکثر مصرف ساعتی دستگاه‌های گازسوز ملاک تعیین ظرفیت کنتور/ ایستگاه و اخذ هزینه‌ی برقراری انشعاب خواهد بود.

۱-۷-۲-۳) محاسبه‌ی هزینه گاز مصرفی

برای محاسبه‌ی هزینه گاز مصرفی (بدون احتساب مبلغ آبونمان) جداول زیر را ارائه می‌کنیم. درروند محاسبه‌ی هزینه‌های مصرف باید توجه کنید که:

- بهای گاز مصرفی در ماه‌های سرد و گرم سال متفاوت است. منظور از ماه‌های گرم سال ۱۶ فروردین لغایت ۱۵ آبان ماه و منظور از ماه‌های سرد ۱۶ آبان ماه لغایت ۱۵ فروردین سال بعد است.
- گاز بهای مصرف‌کننده‌های خانگی در فصول سرد سال به‌صورت تصاعدی و با توجه به اقلیم منطقه افزایش می‌یابد.
- تعرفه‌هایی که ارائه می‌شوند، مربوط به سال ۱۳۹۶ هستند.

جدول ۱-۱۴: تعرفه‌ی گاز بهای خانگی در ماه‌های گرم سال

دامنه(پله) مصرف	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
حجم مصرف (مترمکعب)	تا ٤٥	٤٦ تا ۹٥	۹٦ تا ۱٤٥	۱٤٦ تا ۱۹٥	۱۹٦ تا ۲٤٥	۲٤٦ تا ۲۹٥	۲۹٦ تا ۳٤٥	۳٤٦ تا ۳۹٥	۳۹٦ تا ٤٤٥	٤٤٦ تا ٤۹٥	٤۹٦ تا ٥٤٥	مازاد بر ٥٤٥
قیمت هر مترمکعب گاز (ریال)	۱۰۸۱	۱۳۱۱	۱٦٥٦	۲۱۱٦	۲٥۷٦	۲۸۰٦	۳۱٥۱	۳٤۹٦	۳۷۲٦	۳۹٥٦	٤۱۸٦	٤۳۰۱

جدول ۱-۱۵: تعرفه‌ی گاز بهای خانگی در ماه‌های سرد سال

دامنه‌ی(پله) مصرف	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
اقلیم ۱ (متر مکعب)	تا ۲۰۰	۲۰۱ تا ٤۰۰	٤۰۱ تا ٥۰۰	٥۰۱ تا ٦۰۰	٦۰۱ تا ۷۰۰	۷۰۱ تا ۸۰۰	۸۰۱ تا ۹۰۰	۹۰۱ تا ۱۰۰۰	۱۰۰۱ تا ۱۱۰۰	۱۱۰۱ تا ۱۲۰۰	۱۲۰۱ تا ۱۳۰۰	مازاد بر ۱۳۰۰
اقلیم ۲ (متر مکعب)	تا ۲۵۰	۲۵۱ تا ۳۵۰	۳۵۱ تا ٤۵۰	٤۵۱ تا ۵۵۰	۵۵۱ تا ٦۵۰	٦۵۱ تا ۷۵۰	۷۵۱ تا ۸۵۰	۸۵۱ تا ۹۵۰	۹۵۱ تا ۱۰۵۰	۱۰۵۱ تا ۱۱۵۰	۱۱۵۱ تا ۱۲۵۰	مازاد بر ۱۲۵۰
اقلیم ۳ (متر مکعب)	تا ۲۰۰	۲۰۱ تا ۳۰۰	۳۰۱ تا ٤۰۰	٤۰۱ تا ۵۰۰	۵۰۱ تا ٦۰۰	٦۰۱ تا ۷۰۰	۷۰۱ تا ۸۰۰	۸۰۱ تا ۹۰۰	۹۰۱ تا ۱۰۰۰	۱۰۰۱ تا ۱۱۰۰	۱۱۰۱ تا ۱۲۰۰	مازاد بر ۱۲۰۰
اقلیم ٤ (متر مکعب)	تا ۱۵۰	۱۵۱ تا ۲۵۰	۲۵۱ تا ۳۵۰	۳۵۱ تا ٤۵۰	٤۵۱ تا ۵۵۰	۵۵۱ تا ٦۵۰	٦۵۱ تا ۷۵۰	۷۵۱ تا ۸۵۰	۸۵۱ تا ۹۵۰	۹۵۱ تا ۱۰۵۰	۱۰۵۱ تا ۱۱۵۰	مازاد بر ۱۱۵۰
اقلیم ۵ (متر مکعب)	تا ۷۵	۷٦ تا ۱۵۰	۱۵۱ تا ۲۵۰	۲۵۱ تا ۳۵۰	۳۵۱ تا ٤۵۰	٤۵۱ تا ۵۵۰	۵۵۱ تا ٦۵۰	٦۵۱ تا ۷۵۰	۷۵۱ تا ۸۵۰	۸۵۱ تا ۹۵۰	۹۵۱ تا ۱۰۵۰	مازاد بر ۱۰۵۰
قیمت هر متر مکعب گاز (ریال)	٤۱٤	٦۹۰	۹٦٦	۱۲٤۲	۱۵۱۸	۲۲۰۸	۲٦۲۲	۲۰۳٦	۳٤۵۰	۳۸٦٤	٤٤۱٦	٤۸۳۰

جدول ۱-۱۶: تعرفه‌ی گاز بهای عمومی در ماه‌های سرد و گرم سال

کد تعرفه	نوع مصرف	توضیحات	قیمت‌ها-ریال	
			فصل گرم	فصل سرد
۲	نانوایی‌های صنعتی	نانوایی‌های صنعتی(دارای مجوز از سازمان صنعت،معدن و تجارت)	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۳	هتل، مسافرخانه	هتل،مسافرخانه، اقامت های گردشگری، دفاتر/آژانس‌های مسافرتی(با مجوز سازمان میراث‌فرهنگی و گردشگری)	۱۰۰۰	۱۰۰۰
٤	انواع آجر	انواع آجر،گچ، آهک	۱۰۰۰	۱۰۰۰
٥	قند و شکر	قند و شکر و نیشکر	۱۰۰۰	۱۰۰۰
٦	شیشه و بلور و چینی	صنایع شیشه و بلور و صنایع چینی	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۷	کاشی ، سرامیك	کاشی ، سرامیك و صنایع نسوز	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۸	صنایع آلمینیوم ، مس	ذوب و ریخته گری صنایع آلومینیوم، مس، سرب و فلزات غیرآهنی	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۹	سیمان	کارخانجات سیمان	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۱۰	صنعتی	کارخانه ها و واحدهای صنعتی)دارای مجوز سازمان صنعت ، معدن و تجارت (رستوران‌ها) دارای مجوزاز سازمان میراث فرهنگی و گردشگری (نیروگاه‌های مولد مقیاس کوچك)	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۱۱	پالایشگاه و تلمبه‌خانه	در مالکیت وزارت نفت	۱۰۰۰	۱۰۰۰
توضیح: قیمت تعرفه‌های فوق(کد ۰۲ تا ۱۱) برای کلیه‌ی مشترکین جزء و فقط مشترکین‌عمده با فشار ۲psi در فصل‌گرم(۱۶فروردین تا ۱۵آبان‌ماه) ۱۵۰۰ ریال است.				
۱۲	پتروشیمی	پتروشیمی(گاز مصرفی صرفا جهت سوخت)	۱۳۲۰	۱۳۲۰

ادامه جدول ۱-۱۶: تعرفه‌ی گاز بهای عمومی در ماه‌های سرد و گرم سال

١٤	کشاورزی و دامپروری	گلخانه ها ،مرغداری ها ، شالیکوبی، پرورش قارچ ، پرورش ماهی/آبزیان ، دامپروری ، واحدهای کشاورزی دارای مجوز از سازمان جهاد کشاورزی	١١٥٠	٦٩٠
١٥	فولاد	صنایع فولاد ، آهن، چدن (ذوب و ریخته‌گری، تولیدات میلگرد ، ورق ، تیر آهن و نورد کاری)	١٣٢٠	١٣٢٠
٢٠	تجاری (کسب و خدمات)	گاز مصرفی صرفا جهت گرمایش واحدهای تجاری (کسب و خدمات) استفاده می‌شود.	١٤٩٥	١٤٩٥
٢١	اماکن و تأسیسات دولتی(عمومی)	اماکن، سازمان ها و ادارات دولتی ، وزارتخانه ها، بنیادهای دولتی، بیمارستان های دولتی غیر آموزشی سازمان‌های زیر نظر مقام معظم رهبری ،قوای سه گانه، شهرداری ها،نیروهای نظامی و انتظامی ،آرامستان ها ،غسالخانه‌ها ،پارك ها	٢٩٩٠	١٤٩٥
٢٢	اماکن ورزشی	استادیوم، ورزشگاه ها، باشگاهای دولتی و غیر دولتی ،استخر ها (با مجوز سازمان ورزش و جوانان)	٩٢٦	٩٢٦
٢٣	آموزشی	بیمارستان‌های آموزشی (با مجوز دانشگاه علوم پزشکی) ،مراکز پژوهشی و تحقیقاتی، زندان‌ها و مراکز اصلاح و تربیت ، کتابخانه‌ها و مراکز فرهنگی و سینما) با مجوز اداره فرهنگ و ارشاداسلامی/سازمان تبلیغات اسلامی) ، دانشگاه‌های دولتی و غیر دولتی ،خوابگاه‌های دانشجویی دولتی و غیر دولتی	٩٢٦	٩٢٦
٢٥	نانوایی بدون یارانه	نانوایی‌های بدون یارانه و نان فانتزی، باگت، ساندویچ ،نان شیرمال	٩١٠	٩١٠

ادامه جدول ۱-۱۶: تعرفه‌ی گاز بهای عمومی در ماه‌های سرد و گرم سال

۲۶	کسب و خدمات ویژه	مصارف در روند تولید کالا و طبخ غذا ، خشکه پزی، رستوران های فاقد مجوز از سازمان میراث فرهنگی و گردشگری، شیرینی پزی، خشك شویی ، ساندویچی، کله‌پزی و ...	۱۴۹۵	۱۴۹۵
۲۷	آموزشی و پرورشی دولتی	مدارس دولتی	۹۲۶	۹۲۶
۲۸	آموزشی و پرورشی غیر دولتی	مدارس غیر دولتی	۹۲۶	۹۲۶
۳۰	نانوائی‌های سنتی	نانوائی‌های سنتی	۹۱۰	۹۱۰
۳۱	گرمابه ها	گرمابه‌ها	۱۰۴۶	۱۰۴۶
۶۰	اماکن مذهبی	اماکن مذهبی که تاکنون واحدهای جنبی آن‌ها (تجاری و...)تفکیك و مجزا نشده‌است.	۹۲۶	۹۲۶
۶۱	خیریه	مراکز نگهداری سالمندان ،جانبازان، معلولین، شیر خوارگاه‌ها	۹۲۶	۹۲۶
۶۲	مساجد روستایی	مساجد روستایی	گازبها و هزینه‌ی برقراری انشعاب رایگان	
۶۳	خانه عالم روستایی	خانه عالم روستایی	فقط گازبها رایگان	
۶۴	امامزاده‌ها	امامزاده‌ها	فقط گازبها رایگان	
۶۵	مساجد شهری	مساجد شهری	فقط گازبها رایگان	
۶۶	حسینیه‌ها	حسینه‌ها ، تکایا	فقط گازبها رایگان	
۶۷	دارالقرآن‌ها	دارالقرآن‌ها	فقط گازبها رایگان	

ادامه جدول ۱-۱۶: تعرفه‌ی گاز بهای عمومی در ماه‌های سرد و گرم سال

٦٨	اماکن دینی اقلیت‌های مذهبی	اماکن مذهبی اقلیت های دینی مصرح در قانون اساسی(ارامنه ، زرتشتیان ، آسوری ، کلیمیان)	گازبها و هزینه‌ی برقراری انشعاب رایگان	
٦٩	حوزه‌های علمیه	مدارس علوم دینی ، حوزه‌های علمیه	گازبها و هزینه‌ی برقراری انشعاب رایگان	
٧٠	گلزار شهدا	گلزار شهدا	فقط گازبها رایگان	
٩٠	نیروگاه دولتی	نیروگاه‌های دولتی(وزرات نیرو)	٦٠٧	٦٠٧
٩١	نیروگاه خصوصی	نیروگاه‌های خصوصی	٦٠٧	٦٠٧
٩٢	مولد برق مقیاس کوچك	مولد برق مقیاس کوچك (تمامی برق تولیدی تحویل وزارت نیرو می گردد)	١٠٠٠	١٠٠٠

آبونمان عبارت است از مبلغی که ماهیانه به‌تناسب به ظرفیت کنتور/ ایستگاه اندازه‌گیری برای جبران هزینه‌های نگهداری تأسیسات گاز و تأمین هزینه‌های جاری شرکت از مشترکین جزء و عمده اخذ می‌گردد.

«رابطه‌ی ۱-۱۱»:

ظرفیت کنتور یا ظرفیت ایستگاه‌ها محاسباتی آبونمان * متوسط گاز بها * عدد ثابت= آبونمان ثابت مشترکین (ریال)

جدول ۱-۱۷: متوسط گاز بها به‌منظور محاسبه‌ی آبونمان در سال ۱۳۹۴

نوع مصرف		متوسط گاز بها (ریال)
صنعتی	پتروشیمی	سوخت و خوراک ۲۳۸۲ سوخت ۱۳۲۰
	فولاد	۱۳۲۰
	کشاورزی و دامپروری	۹۲۰
	سایر صنایع و نیروگاه‌ها	۱۰۰۰
خانگی		۱۳۱۱
حمل و نقل		-
عمومی	تجاری عادی	۱۴۹۵
	تجاری عمومی(دولتی)	۲۲۵۰
	نانوایی	۹۱۰
	گرمابه	۱۰۴۶
سایر	آموزشی	۹۲۶
	ورزشی	۹۲۶
	مذهبی	۹۲۶
	خیریه	۹۲۶

۱-۸) شاخص‌گذاری در مصرف انرژی

شاخص‌گذاری در مصرف انرژی به‌عنوان اقدامی سودمند و تأثیرگذار در مدیریت مصرف، شفاف‌سازی جایگاه مصرفی ساختمان‌ها و ایجاد انگیزه میان گروه‌های مصرفی، در کارنامه‌ی کشورهای پیشرفته‌ی دنیا دیده می‌شود.

شاخص انرژی یک معیار از پیش تعیین‌شده است که با تخصیص یک حرف یا امتیاز به ساختمان موردنظر، جایگاه مصرفی آن را تعیین می‌کند. استانداردها و شاخص‌های گوناگون بسیاری در گستره‌ی جهانی وجود دارد که به معرفی برخی از معتبرترین‌های آن‌ها می‌پردازیم.

شاخص‌های معتبر جهان

ACThers	Australian Capital Territory House Energy Rating Scheme
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration, and Air-conditioning Engineers
BER	Building Energy Rating [Ireland]
BRE	Building Research Establishment [UK]
BREEAM	BRE Environmental Assessment Method [UK]
CEN	European Committee for Standardization
CBECS	Commercial Building Energy Consumption Survey [U.S.]
DEC	Display Energy Certificate [UK and Ireland]
DPE	Diagnostic de Performance Energétique [France]
EPC	Energy Performance Certificate [UK]
ESPM	Energy Star Portfolio Manager [U.S]
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EU	European Union
HERS	Home Energy Rating System [U.S.]
iSBEM	Interface for the Simplified Building Energy Model [UK]
ISO	International Organization for Standards
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design [U.S.]
MOHURD	Ministry of Housing and Urban Development [China]
NABERS	National Australian Built Environment Rating Scheme
NatHERS	National House Energy Rating Scheme [Australia]
PCA	Property Council of Australia RICS Royal Institute of Chartered Surveyors [UK]
REALpac	Real Property Association of Canada
RECS	Residential Energy Consumption Survey [U.S.]
SCE	National Energy Performance Certification System & Indoor Air Quality in Buildings [Portugal]

افزون بر ثمراتی که پیش‌ازاین به آن‌ها اشاره کردیم، تأثیر در بازار ساختمانی از دیگر ثمرات شاخص‌گذاری در مصرف انرژی است، مطالعات گروه Costar در سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که اجاره‌بهای ساختمان‌های اداری دارای برچسب انرژی در آمریکا به‌طور متوسط ۲/۴ دلار بر فوت مربع بیش‌تر از ساختمان‌های فاقد برچسب بوده و میزان به اجاره رفتن این ساختمان‌ها نیز در حدود ۳/۶٪ بیش‌تر از سایر ساختمان‌ها گزارش‌شده است. به‌عنوان نمونه‌ای دیگر می‌توان به نتایج تحقیقات دانشگاه برکلی در سال ۲۰۰۹ اشاره کرد که درصد فروش ساختمان‌های اداری دارای برچسب انرژی را ۱۶٪ بیش‌تر از سایر ساختمان‌ها گزارش کرده است.

۱-۸-۱) برچسب انرژی ساختمان در ایران

در راستای همسوسازی باسیاست‌های جهانی مذکور، استاندارد برچسب انرژی ساختمان‌های مسکونی و غیرمسکونی در کشور تدوین‌شده است که به تشریح آن می‌پردازیم.

۱-۸-۱-۱) استاندارد برچسب انرژی ساختمان – مسکونی (ISIRI14253)

این استاندارد باهدف تعیین معیار مصرف انرژی و ارائه‌ی دستورالعمل محاسبه‌ی برچسب انرژی برای ساختمان‌های مسکونی موجود و در حال ساخت ارائه‌شده است.

در این استاندارد ساختمان‌های مسکونی، به دودسته‌ی ساختمان‌های مسکونی کوچک با مساحت زیربنای مفید کم‌تر از ۱۰۰۰ مترمربع و ساختمان‌های مسکونی بزرگ با مساحت بیش از ۱۰۰۰ مترمربع تقسیم می‌شوند.

۱-۸-۱-۱-۱) تعاریف و واژه‌ها

واحد مسکونی: یک واحد خانه متشکل از یک اتاق یا بیش‌تر که امکانات کامل و مستقل (خواب، خوراک، پخت‌وپز و بهداشت) برای زندگی کردن یک نفر یا بیش‌تر در آن فراهم می‌شود.

ساختمان مرجع: به ساختمانی که کلیه‌ی الزامات حداقلی مبحث ۱۹ در آن رعایت شده باشد، گفته می‌شود.

سطح زیربنای مفید: سطح زیربناهای کنترل‌شده در یک ساختمان است.
فضای کنترل‌شده: بخش‌هایی از فضای داخل ساختمان، اعم از فضای زیستی و غیر زیستی که به علت داشتن عملکردی خاص به‌طور مداوم و تا دمایی برابر یا بالاتر (و یا پایین‌تر) از دمای زیستگاه، گرم (خنک) می‌شوند. شرایط حرارتی آن‌ها در ساختمان باید در محدوده‌ی آسایش باشد. ساختمان‌های مجاور ساختمان موردنظر، از نوع فضای کنترل‌شده تلقی می‌گردند، مگر آن‌که از نوع ذکرشده در تعریف فضای کنترل‌شده نباشد.
دوره ارزیابی: برای محاسبه‌ی شاخص مصرف انرژی در ساختمان‌های موجود، به مدت سه سال از شروع تا پایان ارزیابی در نظر گرفته شود.
نسبت انرژی: نسبت انرژی مشخص‌کننده‌ی نسبت مصرف انرژی ساختمان به میزان مصرف انرژی ساختمان ایده آل می‌باشد که با R نشان داده می‌شود.
کاربری: منظور از کاربری در این استاندارد، ساختمان اداری دولتی و خصوصی و هم‌چنین ساختمان مسکونی بزرگ (با زیربنای بیش از ۱۰۰۰ مترمربع) و کوچک (با زیربنای کم‌تر از ۱۰۰۰ مترمربع) می‌باشد.

۱-۸-۱-۱-۲) شرایط اقلیمی

یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان مصرف انرژی ساختمان، شرایط اقلیمی و آب و هوایی منطقه‌ی جغرافیایی محل استقرار ساختمان است. عواملی مانند دمای هوا، رطوبت نسبی، تابش خورشید، سرعت باد و میزان ارتفاع از سطح دریا بر مصرف انرژی ساختمان اثرگذار می‌باشند.

با توجه به گستردگی اقلیمی کشور و وجود مناطق با شرایط مختلف آب و هوایی، وجود تقسیم‌بندی اقلیمی برای تعیین میزان مصرف انرژی، الزامی است. در حال حاضر کامل‌ترین تقسیم‌بندی اقلیمی، تقسیم‌بندی هشت‌گانه‌ی رسمی است که با تطبیق تقسیم‌بندی اقلیمی زمستانی و تابستانی کشور به‌دست‌آمده و در آن مناطق مختلف بر اساس شرایط سالیانه‌ی دما و رطوبت طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول ۱-۱۸: تقسیم‌بندی هشت‌گانه‌ی اقلیمی کشور

ردیف	نوع اقلیم	میانگین حداکثر دما در تابستان °C	میانگین رطوبت نسبی در تابستان ٪	میانگین حداقل دما در زمستان °C	میانگین رطوبت نسبی در زمستان ٪	نمونه شهر
۱	بسیار سرد	۳۰ – ۲۵	۵۵ – ۴۵	۱۰- تا ۵-	۷۵ – ۶۵	سراب
۲	سرد	۴۰ – ۳۵	۴۰ – ۲۵	۱۰- تا ۵-	۷۵ - ۶۵	تبریز
۳	معتدل و بارانی	۳۰ – ۲۵	بیشتر از ۶۰	۵ - ۰	بیشتر از ۶۰	رشت
۴	نیمه معتدل و بارانی	۳۵ - ۳۰	بیشتر از ۵۰	۵ – ۰	بیشتر از ۶۰	مغان
۵	نیمه خشک	۴۰ – ۳۵	۴۵ – ۲۰	۵ – ۰	۶۰ - ۴۰	تهران
۶	گرم و خشک	۴۵ – ۳۵	۲۰ – ۱۵	۵ – ۰	۵۰ – ۳۵	زاهدان
۷	بسیار گرم و خشک	۵۰ – ۴۵	۳۰ – ۲۰	۱۰ – ۵	۷۰ - ۶۰	اهواز
۸	بسیار گرم و مرطوب	۴۰ - ۳۵	بیشتر از ۶۰	۲۰ - ۱۰	بیشتر از ۶۰	بندرعباس

۱-۸-۱-۱-۳) تعیین برچسب انرژی

جهت تعیین رده‌بندی مصرف انرژی ساختمان در هر اقلیم، در ابتدا می‌بایست میزان مصرف انرژی اولیه‌ی ساختمان موردنظر را مشخص کرد. در ساختمان‌های موجود، قبوض مصرف انرژی روشی برای تعیین میزان مصرف انرژی ساختمان می‌باشد لیکن در مورد ساختمان‌های در حال ساخت با محاسبه‌ی میزان مصرف انرژی تعیین می‌شود.

در ساختمان‌های موجود می‌توان از قبوض مصرف انرژی استفاده نمود. به این منظور با دریافت اطلاعات مصرف سوخت و برق یک ساختمان طی سه سال گذشته‌ی آن و با استفاده از رابطه‌ی (۱-۱۲) میزان مصرف اولیه‌ی ساختمان مشخص می‌گردد. به‌این‌ترتیب در صورتی می‌توان از روش عملکردی برای ساختمان استفاده نمود که حداقل سه سال از عمر ساختمان گذشته باشد.

رابطه‌ی (۱-۱۲)

$$E_{actual} = (\left(\sum_i \left(Q_{F_i} \times HV_i \times 0.278\right)\right) + Q_E \times F_C)/A_F$$

که در آن:

E_{actual}: میزان سالیانه‌ی مصرف انرژی ساختمان موجود برحسب واحد زیربنای مفید $(Kwh/m^2/year)$

QF_i: مجموع مصرف حامل انرژی i ام که در مورد هر نوع سوخت، مقدار آن در جدول ۱-۱۹ مشخص شده است.

HV_i: ارزش حرارتی حامل انرژی I ام که در مورد هر نوع سوخت، مقدار آن در جدول ۱-۱۹ مشخص شده است.

Q_E: مجموع میزان مصرف برق

F_C: ضریب تبدیل برق به انرژی اولیه (با احتساب راندمان متوسط تولید و توزیع برق کشور معادل ۲۷ درصد برای تبدیل انرژی الکتریکی مصرفی به معادل انرژی اولیه بر اساس ترازنامه‌ی انرژی سال ۱۳۹۱)

A_F: مساحت زیربنای مفید (m^2)

جدول ۱-۱۹: ارزش حرارتی سوخت‌های مختلف

سوخت	واحد مصرف	ارزش حرارتی واحد مصرف (MJ)
گاز طبیعی	Nm^3 [i]	۳۷/۶۸
گازوئیل	Lit	۳۷/۳
مازوت	Lit	٤۱

[i] حجم گاز در شرایط نرمال ۰°C و ۱atm

رده‌ی مصرف انرژی ساختمان، براساس نسبت انرژی (R) که در این استاندارد از حاصل تقسیم شاخص مصرف انرژی ساختمان در وضعیت موجود به مصرف انرژی ساختمان در حالت ایده آل تعیین می‌شود.

رابطه‌ی (۱-۱۳)

$$R = \frac{E_{actual}}{E_{ideal}}$$

که در آن:

E_{actual}: شاخص مصرف انرژی سالانه‌ی ساختمان موجود برحسب واحد زیربنای مفید $\mathrm{Kwh/m^2/year}$

E_{ideal}: شاخص مصرف انرژی اولیه‌ی ساختمان ایده آل (رده‌ی مصرف انرژی A). (جدول ۱-۲۰)

حال با مشخص شدن نسبت انرژی می‌توان با مراجعه به جدول ۱-۲۱ رده‌ی مصرف ساختمان موردنظر را تعیین کرد.

جدول ۱-۲۰: شاخص مصرف انرژی ساختمان مسکونی ایده آل در اقلیم‌های مختلف برحسب $\mathrm{Kwh/m^2/year}$

اقلیم	ساختمان	
	مسکونی کوچک	مسکونی بزرگ
۱،۲	۱۱۱	۱۰۲
۳،٤	۱٥٦	۱۰٦
٥	۸۳	۸۷
٦	۸٦	۷٥
۷	۱٥۰	۱۳۸
۸	۱۳۰	۱۱۸

جدول ۱-۲۱:تعیین رده‌ی مصرف انرژی ساختمان براساس نسبت انرژی (R)

رده‌ی مصرف انرژی	کاربری	
	مسکونی کوچک	مسکونی بزرگ
A	R <۱	R <۱
B	۱/۰≤R<۱/۹	۱/۰≤R<۲/۰
C	۱/۹≤R<۲/۷	۲/۰≤R<۲/۹
D	۲/۷≤R <۳/٤	۲/۹≤R<۳/۷
E	۳/۴≤R<٤/۰	۳/۷≤R<٤/٤
F	۴/۰≤R<٤/٥	۴/۴≤R<٥/۰
G	۴/٥≤R<٥/۰	٥/۰≤R<٥/٤
برچسب تعلق نمی‌گیرد	٥/۰≤R	٥/٤≤R

۱-۸-۱-۲) استاندارد برچسب انرژی ساختمان – غیرمسکونی ISIRI 14254

به‌تمامی ساختمان‌های با کاربری غیرمسکونی که اتاق‌هایی جهت فعالیت کاری نیروهای شاغل در آن وجود دارد، ساختمان اداری گفته می‌شود. این استاندارد باهدف تعیین معیار مصرف انرژی و ارائه‌ی دستورالعمل محاسبه‌ی برچسب انرژی برای ساختمان‌های اداری خصوصی و دولتی موجود و یا در حال ساخت ارائه‌شده است.

به‌منظور تعیین برچسب انرژی ساختمان‌های غیرمسکونی موجود، با دریافت اطلاعات مصرف سوخت و برق ساختمان طی سه سال گذشته و با استفاده از رابطه‌ی ۱-۱۲ و جدول ۱-۱۹ میزان مصرف انرژی سالیانه‌ی ساختمان موجود برحسب واحد زیربنای مفید (E_{actual}) را هم چون استاندارد تعیین می‌کنیم، پس‌ازآن با مراجعه به جدول ۱-۲۲ و تعیین شاخص مصرف انرژی ساختمان غیرمسکونی ایده آل (E_{ideal}) به سراغ رابطه‌ی ۱-۱۳ رفته و نسبت انرژی(R) را محاسبه می‌کنیم.

جدول ۱-۲۲: شاخص مصرف انرژی ساختمان غیرمسکونی ایده آل در اقلیم‌های مختلف برحسب $Kwh/m^2/Year$

اقلیم	شاخص	
	ساختمان دولتی	ساختمان خصوصی
۱،۲	۸۰	۱۲۰
۳،٤	٦٤	۱۵۲
٥	۷٤	۱۲٤
٦	٦٤	۱۱۷
۷	۸٦	۱۲۱
۸	۹۱	۱۹۷

اکنون با در دست داشتن نسبت انرژی و مراجعه به جدول ۱-۲۳، می‌توان رده‌ی مصرفی ساختمان غیرمسکونی موردبررسی را تعیین کرد.

جدول ۱-۲۳: تعیین رده‌ی مصرف انرژی ساختمان‌های غیرمسکونی بر اساس نسبت انرژی(R)

رده‌ی مصرف انرژی	کاربری	
	ساختمان اداری دولتی	ساختمان اداری خصوصی
A	R <۱	R <۱
B	۱/۰≤R<۲/۰	۱/۰≤R<۲/۲
C	۲/۰≤R<۳/۰	۲/۲≤R<۳/۲
D	۳/۰≤R <٤/۰	۳/۲≤R<٤/۰
E	۴/۰≤R<٥/۰	۴/۰≤R<٤/٦
F	٥/۰≤R<٦/۰	۴/۶≤R<٥/۲
G	۶/۰≤R<۷/۰	٥/۲≤R<٥/٥
برچسب تعلق نمی‌گیرد	۷/۰≤R	٥/٥≤R

فصل دوم

آشنایی با مفاهیم و روش‌های ارزیابی اقتصادی

چکیده

در ادامه‌ی مباحث طرح‌شده در حوزه‌ی مدیریت، ممیزی، تعرفه‌گذاری و شاخص‌گذاری در مصرف انرژی و پیش از ورود به موضوع ابزارهای مدل‌سازی مصرف و تحلیل، ارزیابی و ممیزی بخش-بخش سیستم انرژی ساختمانی، لازم است برخی مفاهیم و موضوعات اولیه‌ی اقتصادی به‌عنوان نیاز اساسی فرآیند ممیزی موردبحث قرار گیرند. در ادامه به معرفی روش‌ها، مفاهیم و فاکتورهای اقتصاد مهندسی، شیوه‌ی ارزیابی دوره‌ی بازگشت سرمایه، تصمیم‌سازی و مقایسه‌ی راهکارها و مباحثی نظیر استهلاک و مالیات پرداخته خواهد شد.

پیش‌ازاین به معرفی دلایل نیاز به ممیزی، روش‌ها و سطوح آن، شیوه‌های محاسبه‌ی هزینه‌های انرژی و موضوع شاخص گذاری در مصرف پرداخته شد. ضمناً به این موضوع اشاره شد که هریک از سطوح ممیزی انرژی به ارائه‌ی تعدادی راهکار کاهش مصرف منجر می‌شود. اکنون این سؤال مطرح می‌گردد که چگونه می‌توان راهکارهای پیشنهادی، در هریک از سطوح را از دیدگاه اقتصادی ارزیابی کرد و یا تعدادی از راهکارهای پیشنهادی را باهم مقایسه نمود؟

با گذر نظر از راهکارهای کاهش مصرف کم‌هزینه و بی هزینه، غالب راهکارها و گزینه‌های جایگزینی نیازمند سرمایه‌گذاری‌های اولیه هستند، درحالی‌که تأثیر اجرای راهکارها به‌صورت تدریجی به‌صورت کاهش هزینه‌های انرژی و گاهاً هزینه‌های تعمیر و نگهداری نمود پیدا می‌کند. یک راهکار کاهش مصرف زمانی ارزشمند است که هزینه‌های اولیه از مجموع هزینه‌های صرفه‌جویی شده کمتر باشد. دوره‌ی فعالیت یک پروژه‌ی جایگزینی به‌منظور بهبود مصرف و ارتقا عملکرد معمولاً چند سال به طول می‌انجامد، بنابراین مقایسه‌ی صحیح بین صرفه‌جویی‌ها و مخارج مالی طی دوره‌ی فعالیت پروژه از اهمیت خاصی برخوردار است.

لازم است فرد ممیز در پی داده‌کاوی، مدل‌سازی، تحلیل و ارزیابی بخش‌های گوناگون سیستم انرژی ساختمانی، راهکارسازی نموده و راهکارهای پیشنهادی خود را با توجه به شرایط موجود اعم از منابع مالی، محدودیت‌های زمانی و دیگر موارد نیازمند توجه پروژه، تفکیک نموده و به تخمین هزینه و ارزیابی اقتصادی بپردازد.

در ادامه به معرفی روش‌ها، مفاهیم و فاکتورهای اقتصاد مهندسی، شیوه‌ی ارزیابی دوره‌ی بازگشت سرمایه، تصمیم‌سازی و مقایسه‌ی راهکارها و مباحثی نظیر استهلاک و مالیات پرداخته خواهد شد.

۲-۱ دوره بازگشت سرمایه ساده[1]

این روش، ساده‌ترین روش ارزیابی طرح‌های اقتصادی است. زمان بازگشت سرمایه‌ی ساده، با تقسیم مقدار هزینه اولیه بر مقدار سود سالیانه محاسبه می‌شود.

رابطه‌ی ۲-۱ $$\text{دوره بازگشت سرمایه} = \frac{\text{هزینه اولیه}}{\text{سود سالیانه}}$$

مزیت این روش آن است که محاسبه‌ی دوره‌ی بازگشت سرمایه‌ی ساده احتیاجی به فاکتورهای ارزش آتی چون نرخ بهره، نرخ تورم و دیگر هزینه‌های سالانه در طول دوره سرمایه‌گذاری ندارد. درنتیجه، موجب سادگی استفاده از آن‌هم برای تحلیل‌گر و هم سرمایه‌گذار می‌شود؛ و عیب آن در نظر نگرفتن ارزش زمانی پول و عدم توجه به بازدهی‌های پس از دوران بازگشت سرمایه و الگوی بازگشت سرمایه در دوران بازگشت سرمایه است.

۲-۲ ارزش زمانی پول[2]

اکثر راهکارهای صرفه‌جویی انرژی، برای اجرا نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه دارند و باگذشت زمان جریان نقدی حاصل از سرمایه‌گذاری حاصل می‌شود، ازآنجاکه یک‌میزان معین پول در زمان حال از همان میزان در آینده ارزشمندتر است، ارزش زمانی پول باید در جریان‌های نقدی داخل و خارج از پروژه در نظر گرفته شود.

روش‌های ارزیابی که از ارزش زمانی پول استفاده می‌کند، عبارت‌اند از:

- ارزش فعلی خالص[3]
- نرخ بازده داخلی[4]
- هزینه یکنواخت سالیانه[5]
- هزینه‌یابی دوره کارکرد[6]

---

[1] *Simple payback period*

[2] *The time value of money*

[3] *Net Present Value*

[4] *Internal Rate of Return*

[5] *Equivalent Uniform Annual Costs (EUAC)*

[6] *Life Cycle Costing*

پارامترهای زیر در ارزیابی و محاسبات اقتصادی مورداستفاده قرار خواهند گرفت:

- سرمایه‌ی اولیه و یا ارزش فعلی سرمایه[1] که با P نشان داده می‌شود.
- ارزش آتی سرمایه[2] که با F و یا S نشان داده می‌شود.
- نرخ بهره و یا نرخ تنزیلی[3] که با i نشان داده می‌شود.
- تعداد دوره‌های سرمایه‌گذاری[4] که با N نشان داده می‌شود.
- دوره[5] که با M نشان داده می‌شود (دوره معرف برنامه‌ی زمانی اعمال نرخ بهره و یا نرخ تنزیلی است.)
- پرداختی‌های یکسان[6] که با A و یا R نشان داده می‌شود (پرداختی‌های یکسان معرف مجموعه‌ی پرداخت‌های مساوی در طول دوره‌ی سرمایه‌گذاری است.)
- گرادیان یا شیب[7] که با G نشان داده می‌شود (شیب معرف نرخ افزایش پرداختی‌های یکسان در طول مدت سرمایه‌گذاری است.)

۲-۳ نمودارهای جریان نقدی[8]

نمودارهایی هستند که وقایع مالی اتفاق افتاده در طول عمر یک پروژه سرمایه‌گذاری را نشان می‌دهد، همچنین عمر پروژه نیز در این نمودارها نشان داده‌شده است. در هنگام ترسیم این نمودارها، موارد زیر باید رعایت شود:

- پیکان‌ها همیشه از محور زمان به سمت بیرون خارج می‌شود.
- پیکان‌های ترسیم‌شده به سمت بالا نشان‌دهنده‌ی درآمد هستند.

---

[1] *Present Value*

[2] *Future Value*

[3] *Interest /Discount Rate*

[4] *Term of Investment*

[5] *Period*

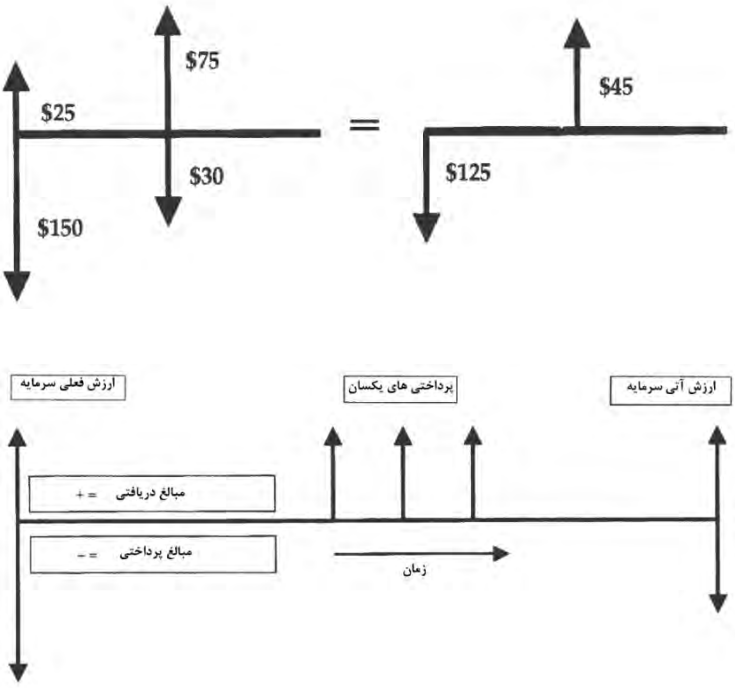
[6] *Annuity*

[7] *Gradient*

[8] *Cash Flow Diagrams*

- پیکان‌های ترسیم‌شده به سمت پایین نشان‌دهنده‌ی هزینه هستند.
- پیکان‌های مربوط به یک سال می‌تواند جمع زده شود.

به‌عنوان نمونه:



تصویر ۲- ۱: نمودار جریان نقدی

۲-۴ ارزش فعلی خالص

مقدار ارزش فعلی فرایند مالی یک پروژه عبارت از تبدیل ارزش کلیه دریافت‌ها و پرداخت‌های سالیانه در طول عمر مفید پروژه به زمان حال یا مبدأ با لحاظ نمودن حداقل نرخ مورد انتظار سرمایه‌گذار می‌باشد. اگر جمع جبری ارزش فعلی خالص مثبت باشد، نشانگر آن است که سرمایه‌گذاری اولیه و نیز هزینه سالیانه توسط درآمدهای سالیانه در طول عمر مفید پروژه پوشش داده‌شده و درآمد مازاد نقدی را ایجاد می‌نماید.

رابطه‌ی ۲-۲ $NPV = A \times (P/A, I, N) - P$

۲-۵ نرخ بازده داخلی

در این روش تلاش می‌شود تا جریان نقدینگی با نرخ بازگشت نامعلومی به نرخ کنونی تنزیل داده شود. به‌گونه‌ای که ارزش خالص فعلی آن برابر صفر گردد با حل این معادله نرخ بازگشت سرمایه به دست می‌آید. اگر این مقدار برای یک پروژه بزرگ‌تر از نرخ تنزیل تجاری واقعی باشد، پروژه توجیه اقتصادی دارد.

برخلاف روش ارزش فعلی، به دست آوردن نرخ بازده داخلی احتیاج به محاسبات پیچیده ریاضی دارد. برای حل معادله آن می‌توان از صفحه گسترده کامپیوتر استفاده کرد یا به‌وسیله سعی و خطا میزان تقریبی آن را به دست آورد.

۲-۶ روش یکنواخت سالیانه (EUAC /EUAB)

درروش یکنواخت سالیانه، درآمدها و هزینه‌ها را به دریافت‌ها و پرداخت‌های یکنواخت سالیانه تبدیل کرده و تحت عنوان درآمد یکنواخت سالیانه و یا هزینه یکنواخت سالیانه نام‌گذاری می‌کنیم. در این روش نیازی به یکسان کردن عمر پروژه‌ها نیست.

این روش به‌منظور مقایسه‌ی گزینه‌های جایگزینی با طول عمرهای گوناگون مورداستفاده قرار می‌گیرد. به‌این‌ترتیب که در این روش با فراهم آوردن نمودارهای جریان نقدی برای هریک از گزینه‌های جایگزینی، هرکدام به ارزش فعلی تبدیل‌شده و در ادامه این ارزش فعلی با استفاده از مدت‌زمان اجرای راهکار کاهش مصرف و نرخ بهره‌ی قابل‌استفاده، به یک هزینه‌ی متوسط سالیانه تبدیل می‌شود. پیشنهاد جایگزینی با کمترین هزینه‌ی متوسط سالانه، می‌تواند انتخابی مناسب به شمار رود. برای استفاده از این روش، می‌توان از روابط زیر بهره برد.

الف-محاسبه‌ی ارزش فعلی

رابطه‌ی ۲-۳ $P = A \cdot (P/A, I, N)$

ب-محاسبه‌ی EUAC

رابطه‌ی ۲-۴ $EUAC = \text{Present Value} \cdot (A/P, I, N)$

اگر $EUAC>0$ باشد پروژه اقتصادی است و اگر $EUAC<0$ باشد پروژه غیراقتصادی است.

۲-۷ روش تجزیه‌وتحلیل هزینه دوره کارکرد

از روش‌های متداول برای ارزیابی اقتصادی راهکارهای کاهش مصرف انرژی در طول دوره‌ی فعالیت، روش تجزیه‌وتحلیل هزینه دوره کارکرد (LCC) است. این روش، عموماً تأکید بر شناسایی جامع از تمام هزینه‌های مرتبط با سیستم دارد. این هزینه‌ها اغلب شامل هزینه‌های اولیه نصب، هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های عملیاتی ازجمله انرژی، نرخ افزایش سوخت و تورم، بهره در سرمایه‌گذاری، ارزش اسقاطی و سایر هزینه‌های طول عمر تجهیزات می‌باشد. مجموع ارزش این هزینه‌ها، با استفاده از فاکتور ارزش فعلی $(1+i)^n$ محاسبه می‌شود. برای مقایسه راه‌حل‌های مختلف کاهش مصرف انرژی، گزینه‌ی با کمترین هزینه‌ی دوره کارکرد انتخاب می‌شود.

مثال زیر باهدف درک بهتر روش تجزیه‌وتحلیل هزینه‌ی دوره‌ی کارکرد ارائه‌شده است.

❖ نمونه‌ی کاربردی ۲-۱

طی یک فرآیند ممیزی انرژی، جایگزینی سیستم بویلر در دستور کار قرارگرفته است. دو گزینه‌ی پیشنهادی زیر را مورد ارزیابی قرار داده و گزینه‌ی دارای LCC کوچک‌تر را تعیین کنید.

- سیستم A، دارای هزینه‌ی اولیه $۸۰۰۰۰، عمر مفید ۲۰ سال و ارزش اسقاطی $۷۰۰۰ در پایان دوره است.
- سیستم B، دارای هزینه اولیه $۳۵۰۰۰، عمر مفید ۱۰ سال و بدون ارزش اسقاطی در پایان دوره است و باید در سال ۱۱ ام با سیستمی با همین مشخصات و هزینه‌ها جایگزین شود.

گزینه‌های پیشنهادی	سیستم A	سیستم B
هزینه‌ی اولیه	۸۰۰۰۰ دلار	۳۵۰۰۰ دلار
طول عمر	۲۰ سال	۱۰ سال
ارزش اسقاطی	۷۰۰۰ دلار	۰
هزینه‌های اضافی		

۳۰۰۰ دلار	۱۰۰۰ دلار	سال‌های ۱ تا ۵
۴۰۰۰ دلار	۱۵۰۰ دلار	سال‌های ۶ تا ۱۰
جایگزینی کل سیستم	۵۰۰۰ دلار هزینه‌ی جایگزینی مشعل	سال ۱۰
	۲۰۰۰ دلار	سال‌های ۱۱ تا ۲۰
نرخ تنزیل ارزش فعلی: ۱۰٪		

پاسخ:

سیستم A						
ارزش فعلی تجمیعی هزینه‌ها	ارزش فعلی هزینه‌های سالیانه	فاکتور ارزش فعلی	مجموع هزینه‌های سالیانه	هزینه‌ی سالیانه	هزینه‌های اولیه و هزینه‌های نصب	سال
۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰	۱٫۰۰	۸۰۰۰۰	۰	۸۰۰۰۰	۰
۸۰۹۰۹	۹۰۹	۰/۹۱	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۱
۸۱۷۳۶	۸۲۶	۰/۸۳	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۲
۸۲۴۸۷	۷۵۱	۰/۷۵	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۳
۸۳۱۷۰	۶۸۳	۰/۶۸	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۴
۸۳۷۹۱	۶۲۱	۰/۶۲	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۵
۸۴۶۳۷	۸۴۷	۰/۵۶	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۰	۶
۸۵۴۰۷	۷۷۰	۰/۵۱	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۰	۷
۸۶۱۰۷	۷۰۰	۰/۴۷	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۰	۸
۸۶۷۴۳	۶۳۶	۰/۴۲	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۰	۹
۸۹۲۴۹	۲۵۰۶	۰/۳۹	۶۵۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰۰	۱۰
۸۹۹۵۰	۷۰۱	۰/۳۵	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰	۱۱
۹۰۵۸۷	۶۳۷	۰/۳۲	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰	۱۲
۹۱۱۶۷	۵۷۹	۰/۲۹	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰	۱۳
۹۱۶۹۳	۵۲۷	۰/۲۶	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰	۱۴

۱۵	۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰/۲۴	۴۷۹	۹۲۱۷۲
۱۶	۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰/۲۲	۴۳۵	۹۲۶۰۷
۱۷	۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰/۲۰	۳۹۶	۹۳۰۰۳
۱۸	۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰/۱۸	۳۶۰	۹۳۳۶۳
۱۹	۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۰/۱۶	۳۲۷	۹۳۶۹۰
۲۰	- ۷۰۰۰	۲۰۰۰	-۵۰۰۰	۰/۱۵	-۷۴۳	۹۲۹۴۷
مجموع	- ۲۰۰۰	۳۲۵۰۰	۱۱۰۵۰۰			۹۲۹۴۷$

سیستم B

سال	هزینه‌های اولیه و هزینه‌های نصب	هزینه‌ی سالیانه	مجموع هزینه‌های سالیانه	فاکتور ارزش فعلی	ارزش فعلی هزینه‌های سالیانه	ارزش فعلی تجمیعی هزینه‌ها
۰	۳۵۰۰۰	۰	۳۵۰۰۰	۱,۰۰	۳۵۰۰۰	۳۵۰۰۰
۱	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۹۱	۲۷۲۷	۳۷۷۲۷
۲	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۸۳	۲۴۷۹	۴۰۲۰۷
۳	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۷۵	۲۲۵۴	۴۲۴۶۱
۴	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۶۸	۲۰۴۹	۴۴۵۱۰
۵	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۶۲	۱۸۶۳	۴۶۳۷۲
۶	۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۰/۵۶	۲۲۵۸	۴۸۶۳۰
۷	۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۰/۵۱	۲۰۵۳	۵۰۶۸۳
۸	۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۰/۴۷	۱۸۶۶	۵۲۵۴۹
۹	۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۰/۴۲	۱۶۹۶	۵۴۲۴۵
۱۰	۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۰/۳۹	۱۵۴۲	۵۵۷۸۷
۱۱	۰	۳۵۰۰۰	۳۵۰۰۰	۰/۳۵	۱۲۲۶۷	۶۸۰۵۵
۱۲	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۳۲	۹۵۶	۶۹۰۱۱
۱۳	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۲۹	۸۶۹	۶۹۸۸۰
۱۴	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۲۶	۷۹۰	۷۰۶۷۰
۱۵	۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۲۴	۷۱۸	۷۱۳۸۸

۷۲۰۴۱	۶۵۳	۰/۲۲	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۰	۱۶
۷۲۸۳۲	۷۹۱	۰/۲۰	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۰	۱۷
۷۳۵۵۲	۷۱۹	۰/۱۸	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۰	۱۸
۷۴۲۰۶	۶۵۴	۰/۱۶	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۰	۱۹
۷۴۸۰۰	۵۹۵	۰/۱۵	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۰	۲۰
	۷۴۸۰۰$		۱۳۶۰۰۰	۱۰۱۰۰۰	۰	مجموع

۲-۸ فاکتورهای اقتصاد مهندسی

برای تصمیم‌گیری در مورد مسائل سرمایه‌گذاری، بهتر است مدیر انرژی از یک‌رویه‌ی ساده پیروی کند. شش فاکتور برای تبدیل ارزش درآمد یا هزینه از یک‌زمان به زمان دیگر مورداستفاده قرار می‌گیرد. این فاکتورها با جلوگیری از محاسبات مداوم و تکراری، موجب صرفه‌جویی در زمان و سادگی محاسبات می‌شوند.

هر فاکتور به‌صورت فرم استاندارد (X/Y,i٪,n) نمایش داده می‌شود. Yعنصر معلوم، X عنصر مجهول، i نرخ بهره و n تعداد دوره‌ها (معمولاً به‌صورت سال بیان می‌شود) است. این شش فاکتور اقتصاد مهندسی و روابط مربوط به آن‌ها در جدول زیر ارائه‌شده است.

جدول ۲-۱: فاکتورهای اقتصاد مهندسی

رابطه	فاکتور	توضیحات
$(1+i)^n$	(F/P, i٪, n)	فاکتور یکبار پرداخت
$\frac{1}{(1+i)^n}$	(P/F, i٪, n)	فاکتور ارزشی یک‌بار پرداخت
$\frac{(1+i)^n \pm 1}{i}$	(F/A, i٪, n)	فاکتور پرداخت مساوی برای مقدار مرکب
$\frac{i}{(1+i)^n \pm 1}$	(A/F, i٪, n)	فاکتور پرداخت وجوه استهلاکی

فاکتور بازیافت سرمایه	(A /P , i ٪,n)	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n \pm 1}$
فاکتور ارزش فعلی سری یکنواخت	(P /A , i ٪,n)	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n \pm 1}$

- **فاکتور یک‌بار پرداخت[1] (F /P)**

این فاکتور، مقدار ارزش آتی (F) را برای مبلغ (P) در مدت n دوره با نرخ بهره (i) محاسبه می‌کند.

$$F = P \times (1+i)^n$$ رابطه‌ی ۲-۵

$$F/P = (1+i)^n$$ رابطه‌ی ۲-۶



تصویر۲- ۲: فاکتور یک‌بار پرداخت

- **فاکتور ارزشی یک‌بار پرداخت[2] (P /F)**

این فاکتور،مقدار ارزش فعلی (P) مبلغ (F) با توجه نرخ بهره در مدت‌زمان n تعیین می‌کند.

$$P/F = \frac{1}{(1+i)^n}$$ رابطه‌ی ۲-۷

$$P = F\frac{1}{(1+i)^n}$$ رابطه‌ی ۲-۸

[1] *Single Payment Compound Amount*

[2] *Single Payment Present Worth*



تصویر۲- ۳: فاکتور ارزشی یک‌بار پرداخت

- **فاکتور پرداخت مساوی برای مقدار مرکب[1] (F /A)**

فاکتور$\frac{(1+i)^n-1}{i}$ ، فاکتور پرداخت مساوی برای مقدار مرکب نامیده می‌شود و پرداخت‌های مساوی و یکنواخت را با توجه به نرخ بهره (i) در مدت (n) دوره به ارزش آینده تبدیل می‌کند.

$$F = A \times \frac{(1+i)^n-1}{i}$$ رابطه‌ی ۲-۹

$$F/A = \frac{(1+i)^n-1}{i}$$ رابطه‌ی ۲-۱۰

- **فاکتور پرداخت وجوه استهلاکی[2] (A /F)**

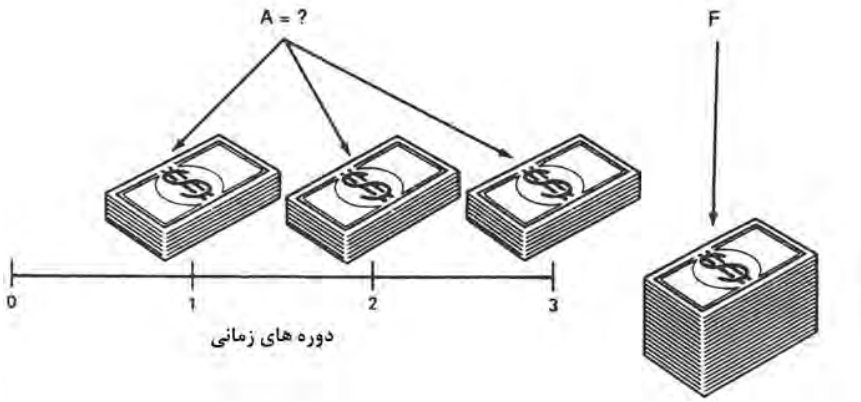
فاکتور$\frac{1}{(1+i)^n-1}$، فاکتور وجوه استهلاکی نامیده می‌شود و مقدار ارزش آینده یا اصل‌وفرع (F) را با توجه به نرخ بهره (i) در مدت (n) دوره به پرداخت‌های مساوی و یکنواخت توزیع می‌کند.

$$A = F \times \frac{i}{(1+i)^n-1}$$ رابطه‌ی ۲-۱۱

$$A/F = \frac{i}{(1+i)^n-1}$$ رابطه‌ی ۲-۱۲

[1] *Uniform Series Compound Amount*

[2] *Sinking Fund Payment*



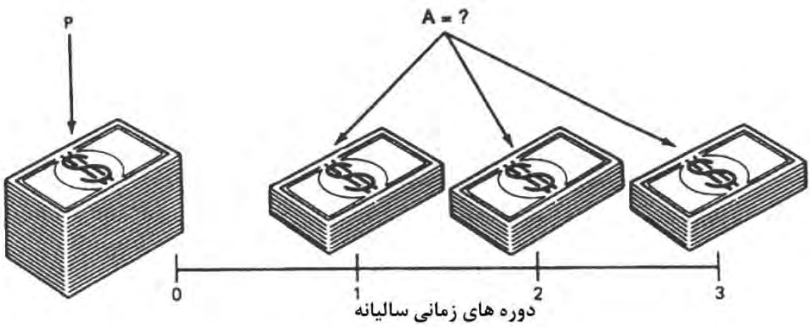
تصویر۲- ٤: فاکتور پرداخت وجوه استهلاکی

- **فاکتور بازیافت سرمایه[1] (A /P)**

$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$ فاکتور بازیافت سرمایه نامیده می‌شود و ارزش فعلی (P) را با توجه به نرخ بهره (i) در مدت (n) دوره به مقادیر مساوی و یکنواخت توزیع می‌کند.

رابطه‌ی ۲- ۱۳ $$A = P \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$$

رابطه‌ی ۲-۱۴ $$A/P = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$$



تصویر۲- ٥: فاکتور بازیافت سرمایه

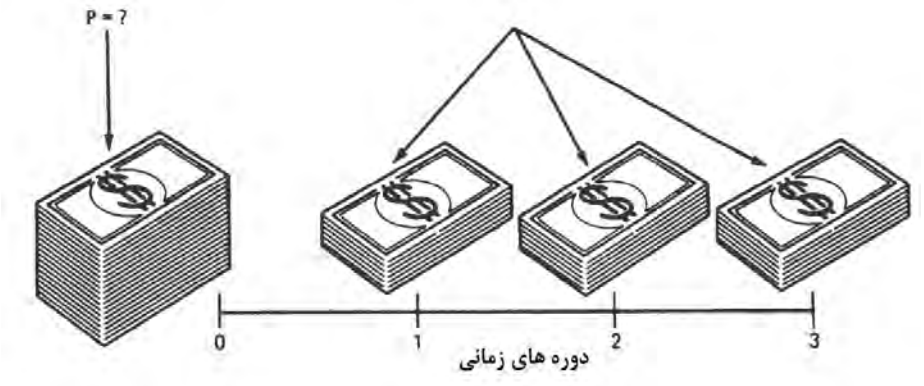
[1] *Capital Recovery*

- **فاکتور ارزش فعلی سری یکنواخت[1] (P/A)**

فاکتور $\frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$ ارزش فعلی سری یکنواخت، نامیده می‌شود و مقدار ارزش فعلی یک سری درآمد یا هزینه مساوی و یکنواخت را که در پایان هر دوره اتفاق می‌افتد با نرخ بهره (i) تعیین می‌کند.

$$P = A \times \frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$$ رابطه‌ی ۲-۱۵

$$P/A = \frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$$ رابطه‌ی ۲-۱۶



تصویر ۲- ٦: فاکتور ارزش فعلی سری یکنواخت

- **فاکتور گرادیان ارزش فعلی[2]**

فاکتور گرادیان ارزش فعلی(GPW) ، فاکتوری است که به‌منظور محاسبه‌ی مقدار فعلی P که می‌تواند با مقادیر سالانه‌ی A'، با درصد افزایش e درصد، نرخ بهره‌ی i و طی n سال پرداخت شود، مورداستفاده قرار می‌گیرد.

چنانچه A' معلوم و P مجهول باشد، رابطه‌ی ۲-۱۷ می‌تواند مورداستفاده قرار گیرد. فاکتور گرادیان ارزش فعلی نسبت به موارد قبلی فاکتور نسبتاً جدیدتری است که با توجه به اهمیت اثر تورم ارائه‌شده است.

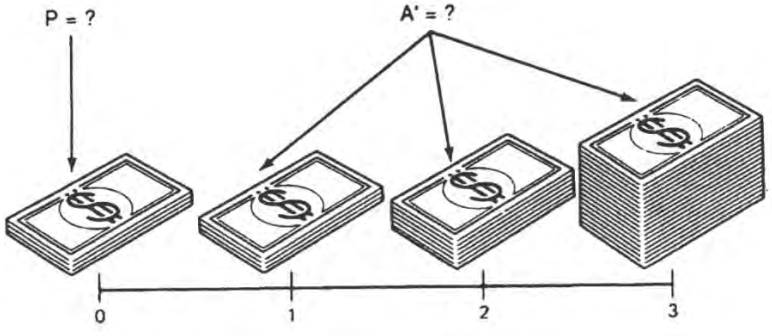
---

[1] *Uniform Series Present Worth*

[2] *Gradient Present worth*

$$P = A' \times (GPW) i_n$$ رابطه‌ی ۲- ۱۷

$$\frac{P}{A'} = GPW = \frac{\frac{1+e}{1+i}[1-(\frac{1+e}{1+i})^n]}{1-\frac{1+e}{1+i}}$$ رابطه‌ی ۲-۱۸



تصویر۲- ۷: فاکتور گرادیان ارزش فعلی

برای وضوح بیشتر آن‌که از کدام‌یک از فاکتورهای فوق با توجه به شرایط مسئله استفاده شود، می‌توان به‌این‌ترتیب عمل کرد که ابتدا سمبل‌ها را در صورت و مخرج یک کسر نوشته و سپس پارامتر مجهول مسئله در صورت و پارامتر معلوم را در مخرج مشخص کرد.

$$\frac{P\ A\ F\ (\text{مجهول})}{P\ A\ F\ \ (\text{معلوم})}$$

به‌عنوان‌مثال چنانچه صرفه‌جویی سالانه (A) موردنظر بوده و هزینه‌ی تجهیزات انرژی(P) معلوم باشد، P در مخرج و A در صورت مشخص‌شده و به‌این‌ترتیب از فاکتور بازیافت سرمایه(A /P) استفاده می‌شود.

جدول ۲- ۲: روند انتخاب فاکتور

فاکتور مورداستفاده	پارامتر مجهول	پارامتر معلوم
F /P	F	P
P /F	P	F
F /A	F	A
A /F	A	F
A /P	A	P
P /A	P	A

۲-۹ تصمیم‌سازی برای انتخاب میان گزینه‌های جایگزینی

روش‌های گوناگونی برای بررسی و مقایسه‌ی توجیه‌پذیری اقتصادی راهکارهای کاهش مصرف پیشنهادی وجود دارد. در این میان، روش هزینه‌ی سالیانه، روش ارزش فعلی و روش نرخ برگشت بیش از سایر روش‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرند.

در روش ارزش فعلی خالص، یک نرخ برگشت حداقلی(i) تصریح می‌شود. تمامی هزینه‌های آتی با استفاده از ضرایب بهره به ارزش فعلی تبدیل می‌شوند. گزینه‌ی جایگزینی با کمترین هزینه‌ی اولیه‌ی مؤثر، گزینه‌ی مناسب به شمار می‌رود.

درروش هزینه‌ی سالیانه، فرآیندی مشابه با روش قبل در پیش‌گرفته می‌شود با این تفاوت که هزینه‌ی اولیه به یک هزینه‌ی سالیانه تبدیل می‌شود. گزینه‌ی جایگزینی با کمترین هزینه‌ی سالیانه‌ی معادل، گزینه‌ی مناسب به شمار می‌رود.

درروش نرخ برگشت، معمولاً یک فرآیند سعی و خطا موردنیاز است. میان‌یابی از جداول بهره نشان می‌دهد که چه نرخ برگشتی(i)، ضریب بهره‌ای که منجر به بالانس جریان نقدی می‌شود را در اختیار قرار می‌دهد. آنالیز نرخ برگشت تصویری مناسب از جایگاه گزینه‌های جایگزینی را نسبت به هم نشان می‌دهد.

اثر افزایش قیمت سوخت می‌تواند تصمیم‌گیری نهایی را شدیداً تحت اثر بگذارد. زمانی که هزینه‌ی سالیانه با نرخ ثابتی رشد کند می‌توان با آن همانند شیب رفتار کرد و از فاکتور GPW بهره برد.

در میان سه روش معرفی‌شده، روش هزینه‌ی سالیانه روشی رایج‌تر و مورداطمینان‌تر است. رابطه‌ی ۲-۱۹ می‌تواند به‌منظور تبدیل مجموع سرمایه‌ی اولیه(P) به هزینه‌ی سالیانه مورداستفاده قرار گیرد (این رابطه با در نظرگرفتن ارزش اسقاطی سیستم ارائه‌شده است.)

رابطه‌ی ۲- ۱۹ $AC = (P - L) \cdot A/P + iL$

در این رابطه AC معرف هزینه‌ی سالیانه و L نشانگر ارزش اسقاطی سیستم است.

روش هزینه‌ی سالیانه می‌تواند در قالب زیر موردبررسی قرار گیرد.

جدول ۲ -۳: قالب پیشنهادی برای روش هزینه‌ی سالیانه

	گزینه‌ی ۱	گزینه‌ی ۲
هزینه‌ی اولیه (P)		
عمر تخمینی (n)		
ارزش اسقاطی تخمینی(L)		
مخارج سالانه شامل هزینه‌های انرژی و تعمیر و نگهداری(E)		
حداقل برگشتی مقبول پیش از مالیات (i)		
$(A/P, i, n)$		
$(P-L)\cdot A/P$		
Li		
$AC=(P-L)\cdot A/P+Li+E$		

گزینه‌ی مناسب، گزینه‌ی دارای هزینه‌ی سالانه (AC) کوچک‌تر است.

❖ نمونه‌ی کاربردی ۲-۲

پیشنهاد جایگزینی لامپ‌های فلورسنت ۴۰ واتی یک ساختمان با لامپ‌هایی که ۱۲ درصد مصرف کمتری دارند (۴٫۸ وات برای هر لامپ) و البته همان میزان روشنایی را فراهم می‌کنند، ارائه‌شده است. چنانچه نرخ برگشت قبل از مالیات ۲۵ درصدی موردنیاز باشد، توجیه‌پذیری جایگزینی پیشنهادی را ارزیابی کنید (قیمت هر لامپ ۲٫۸ دلار، مدت‌زمان کارکرد سالانه ۵۸۰۰ ساعت، طول عمر هر لامپ ۲ سال و تعرفه‌ی برق 7.0¢/kWh)

پاسخ:

$A = ۵۸۰۰ \times ۴/۸ \times ۰,۰۷۰/۱۰۰۰ = ۱/۹۴\$$

$A/P = ۱,۹۴/۲,۸۰ = ۰/۶۹$

از جدول الف-۵ نرخ برگشت ۲۵ درصد به دست می‌آید

❖ نمونه‌ی کاربردی ۲-۳

ممیزی انرژی الکتریکی در یک مجموعه نشان می‌دهد مصرف انرژی موتور الکتریکی 4×10^6 کیلووات در هرسال است که با ارتقا یدک‌های موتور به نمونه‌های باکیفیت‌تر، کاهش مصرف ۱۰ درصدی در پی خواهد بود. هزینه‌ی جایگزینی پیشنهادی ۸۰۰۰۰ دلار، نرخ متوسط انرژی الکتریکی 8¢/kWh و طول عمر تقریبی ۲۰ سال است. آیا این جایگزینی بر مبنای حداقل نرخ برگشت ۲۰ درصدی قابل توجیه است؟ مسئله را به روش‌های ارزش فعلی، هزینه‌ی سالیانه و نرخ برگشت حل کنید.

پاسخ:

منظور از گزینه‌ی(۱) شرایط موجود سیستم و گزینه‌ی(۲)شرایط در صورت اجرای گزینه‌ی جایگزینی است.

الف-روش ارزش فعلی

	گزینه اول	گزینه دوم
هزینه اولیه (P) (۱)	-	۸۰۰۰۰$
هزینه سالیانه (A) (۲)	$۴\times۱۰^۶ \times ۰/۸ = ۳۲۰۰۰۰$	$۰/۹\times۳۲۰۰۰۰ = ۲۸۸۰۰۰$
P/A (جدول ۴-۴)	۴/۸۷	۴/۸۷
ارزش فعلی	۱۵۵۸۴۰۰$	۱۴۰۲۵۶۰$

گزینه‌ی دارای هزینه‌ی اولیه‌ی کمتر، گزینه‌ی مورد انتخاب است.

ب-روش هزینه‌ی سالیانه

گزینه دوم	گزینه اول	
۸۰۰۰۰$	-	**(P) هزینه‌ی اولیه (۱)**
۲۸۸۰۰۰$	۳۲۰۰۰۰$	**(A) هزینه‌ی سالیانه (۲)**
۰/۲	۰/۲	**A/P**
۱۶۰۰۰$	-	**P × ./۲ (۳)**
۳۰۴۰۰۰$	۳۲۰۰۰۰$	**هزینه‌ی سالیانه (۳)+(۲)**

گزینه‌ی دارای هزینه‌ی اولیه‌ی کمتر، گزینه‌ی مورد انتخاب است.

ج-روش نرخ برگشت

A=۳۲۰۰۰۰-۲۸۸۰۰۰

P/A =۸۰۰۰۰/۳۲۰۰۰=۲/۵

اکنون باید تعیین شود که چه مقدار i، P/A=۲/۵ را ایجاد می‌کند؟ با مراجعه به جدول الف-۷ مشاهده می‌شود که i=۴۰٪ این نتیجه را به همراه دارد.

❖ نمونه‌ی کاربردی ۲-۴

خط لوله‌ی جدیدی موردنیاز است تا آب را از ایستگاه پمپاژی موجود به مخزن ذخیره انتقال دهد. تخمین‌هایی از هزینه‌ی ساخت و هزینه‌ی پمپاژ برای سایزهای مختلف لوله ارائه‌شده است.

سایز لوله	هزینه‌ی تخمینی ساخت	هزینه‌ی پمپاژ بر ساعت
۸ اینچ	۸۰۰۰ دلار	۴ دلار
۱۰ اینچ	۱۰۰۰۰۰ دلار	۳ دلار
۱۲ اینچ	۱۶۰۰۰۰ دلار	۱/۵ دلار

هزینه‌ی سالانه برمبنای عمر ۱۶ ساله و بازگشت سرمایه‌ی موردنظر پیش از مالیات ۱۰ درصد است. اقتصادی‌ترین سایز لوله برای پمپاژ ۴۰۰۰ ساعت در سال کدام است؟

پاسخ:

	۸ اینچ	۱۰ اینچ	۱۲ اینچ
P	۸۰۰۰۰ دلار	۱۰۰۰۰۰ دلار	۱۶۰۰۰۰ دلار
n	۱۶	۱۶	۱۶
E	۱۶۰۰۰ دلار	۱۲۰۰۰ دلار	۶۰۰۰ دلار
i	٪۱۰	٪۱۰	٪۱۰
A/P =۰/۱۲۷	-	-	-
$(P-L)$ A/P	۱۰۱۶۰ دلار	۱۲۷۰۰ دلار	۲۰۳۲۰ دلار
Li	-	-	-
AC	۲۶۱۶۰ دلار	۲۴۷۰۰ دلار (گزینه‌ی انتخابی)	۲۶۳۲۰ دلار

۲-۱۰ استهلاک، فرآیند مالی بعد از کسر مالیات

۲-۱۰-۱ استهلاک[1]

استهلاک کاهش ارزش یک دارایی یا به عبارتی اختلاف ارزش یک دارایی در دو زمان مختلف به هر دلیلی که این کاهش ارزش صورت گرفته باشد را بیان می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، هزینه سالیانه غیر نقدی است که در محاسبه مالیات بر درآمد از درآمد سالیانه قبل از مالیات کسر می‌شود و درآمد مشمول مالیات را تعیین می‌کند. بدیهی است هرچه مقدار استهلاک در سال بیشتر باشد، مقدار درآمد مشمول مالیات آن سال کمتر خواهد گردید. باید توجه داشت که استهلاک یک هزینه نقدی واقعی نبوده و به‌عنوان یک مقدار هزینه واقعی از درآمد سالیانه قبل از درآمد سالیانه قبل از مالیات کسر نمی‌شود. کسر استهلاک از درآمد مشمول مالیات

[1] *Depreciation*

باعث کاهش مقدار مالیات می‌شود و دخالت دادن آن در ارزیابی اقتصادی بعد از مالیات ضروری است. روش‌های زیر به‌منظور محاسبه‌ی استهلاک ارائه می‌شوند.

۲-۱۰-۱-۱ روش خط مستقیم[1]

ساده‌ترین و متداول‌ترین روش محاسبه استهلاک است. در این روش مقدار استهلاک سالیانه ثابت است و طبق رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$D = \frac{P-L}{N}$$ رابطه‌ی ۲-۲۰

D: مقدار استهلاک سالیانه

L: ارزش اسقاطی دارایی

P: هزینه اولیه دارایی

N: عمر استهلاک دارایی

۲-۱۰-۱-۲ روش جمع ارقام سنوات[2]

مقدار استهلاک در سال اول بیشترین مقدار را دارد و برحسب یک نسبت مشخص در سال کاهش می‌یابد تا جایی که در سال آخر کمترین مقدار استهلاک را دارا است. در این روش ابتدا باید جمع ارقام سنوات ۱ تا n را محاسبه نمود، سپس نسبت سال‌های باقیمانده بر جمع سنوات را تعیین و نسبت مذکور را در تفاوت هزینه اولیه باارزش اسقاطی ضرب کرد.

$$N = n\frac{(n+1)}{2}$$ رابطه‌ی ۲-۲۱

n عمر استهلاک سالیانه است.

نرخ استهلاک هرسال به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

سال	میزان استهلاک هرسال
سال اول	$D = \frac{n}{N}(P-L)$
سال دوم	$D = \frac{n-1}{N}(\mathrm{P}-\mathrm{L})$
سال n ام	$D = \frac{1}{N}(P-L)$

[1] *Straight-Line Depreciation*

[2] *Sum-of-Years Digits*.

۲-۱۰-۱-۳ روش موجودی نزولی[1]

در این روش مقدار استهلاک سالیانه برحسب یک نرخ ثابت کاهش می‌یابد. مقدار استهلاک سالیانه از حاصل‌ضرب نرخ ثابت در ارزش دفتری سال قبل به دست می‌آید. حداکثر نرخ مذکور برابر $\frac{2}{n}$ و یا در حقیقت دو برابر نرخ خط مستقیم است. چنانچه درصد نرخ برابر $\frac{2}{n}$ فرض شود، روش استهلاک را روش موجودی نزولی دوبل می‌نامند. بدیهی است با درصد نرخ $\frac{2}{n}$ بیشترین مقادیر استهلاک در نیمه اول عمر دارایی قرار خواهد گرفت. مقادیر استهلاک و ارزش دفتری هرسال طبق روابط زیر محاسبه می‌شود.

رابطه‌ی ۲-۲۲ $D = 1 - (\frac{L}{P})^{\frac{1}{N}}$

D: مقدار استهلاک سالیانه

L: ارزش اسقاطی

P: هزینه اولیه

۲-۱۰-۲ محاسبه‌ی درآمد خالص یا فرآیند مالی بعد از کسر مالیات

محاسبه‌ی درآمد خالص از مراحل زیر تشکیل‌شده است:

۱-محاسبه‌ی فرآیند مالی قبل از کسر مالیات

۲-محاسبه‌ی استهلاک

۳-محاسبه‌ی درآمد مشمول بر مالیات

۴-محاسبه‌ی مالیات

۵-محاسبه‌ی درآمد خالص یا فرآیند مالی بعد ازکسر مالیات.

روابط لازم جهت محاسبه‌ی درآمد خالص بعد از کسر مالیات به ترتیب زیر است. کلیه عوامل در روابط زیر برحسب سال می‌باشند.

رابطه۲-۲۳ $CFBT = GI - OC$

[1] *Declining-Balance Depreciation.*

CFBT فرآیند مالی قبل از مالیات[1]، GI درآمد ناخالص[2]، درآمد حاصل از فروش سالیانه و OC هزینه‌های مالیاتی[3] شامل هزینه‌های مربوط به مواد، نیروی انسانی و انرژی و سایر هزینه‌های سالیانه می‌باشد.

درآمد مشمول مالیات عبارت است از:

$$IT = CFBT - D$$ رابطه‌ی ۲-۲۴

$$IT = GI - OC - D$$ رابطه‌ی ۲-۲۵

که IT بیانگر درآمد مشمول مالیات[4] و D معرف استهلاک است.

مقدار مالیات نیز از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$TX = IT \times TR$$ رابطه‌ی ۲-۲۶

TX مالیات[5]، IT درآمد مشمول بر مالیات و TR نرخ مالیات[6] است.

درآمد خالص یا فرآیند مالی بعد از کسر مالیات[7] از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$CFAT = CFBT - TX$$ رابطه‌ی ۲-۲۷

CFAT درآمد خالص، CFBT فرآیند مالی قبل از کسر مالیات و TX بیانگر مالیات است.

به‌طورکلی روابط زیر می‌توانند به‌منظور محاسبه‌ی درآمد خالص مورداستفاده قرار گیرند.

$$CFAT = CFBT - (CFBT - D).TR$$ رابطه‌ی ۲-۲۸

$$CFAT = CFBT\,(1 - TR) + D.TR$$ رابطه‌ی ۲-۲۹

---

[1] *Cash Flow Before Tax*

[2] *Gross Income*

[3] *Operating Costs*

[4] *Taxable Income*

[5] *Tax*

[6] *Tax Rate*

[7] *Cash Flow After Tax*

فصل سوم

روش‌ها و ابزارهای مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی

چکیده

در فصل‌های اول و دوم به شرح مفاهیم اولیه‌ی ممیزی و تعرفه گذاری و در پی آن معرفی مباحث اولیه‌ی اقتصادی پرداخته شد.

مطالب فصل پیش رو با توجه به جایگاه قابل‌توجه مدل‌سازی مصرف در تحلیل‌های پیش از ممیزی، درک چگونگی مصرف، شناخت درگاه‌های اتلاف، معرفی راهکارها و ارزیابی و مقایسه‌ی اثربخشی حاصل از هر یک، با محوریت آشنایی با ابزارها و روش‌های مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی ارائه خواهند شد.

در مسیر مباحث این فصل، ابتدا به معرفی مفهوم مدل‌سازی و شاخه بندی انواع گوناگون آن پرداخته می‌شود. در ادامه ابزارهای رایج تحلیل مصرف با تمرکز بر معرفی نرم‌افزارهای کامپیوتری موردبررسی قرارگرفته و در بخش پایانی نیز به موضوع روش‌های بر مبنای نسبت اشاره خواهد شد.

پیش‌ازاین در فصل اول به معرفی مفهوم ممیزی انرژی و شرح سطوح مختلف آن پرداخته شد و این نکته موردبحث قرار گرفت که مسیر هر یک از سطوح ممیزی به ارائه‌ی تعدادی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی منجر می‌گردد. اکنون این سؤال مطرح می‌شود که چگونه می‌توان کاهش مصرف حاصل از اجرای هر یک از راهکارهای پیشنهادی را تعیین کرده و به مقایسه‌ی اثربخشی تعدادی از راهکارها پرداخت؟ به‌عبارت‌دیگر چگونه می‌توان مصرف انرژی یک ساختمان را پیش‌بینی و یا محاسبه کرد؟

پاسخ سؤالی که مطرح شد، موضوعی است که از آن با عنوان مدل‌سازی یا شبیه‌سازی مصرف انرژی یاد می‌شود. مدل‌سازی مصرف انرژی، فرآیندی است که طی آن رابطه‌ای گاهاً دوطرفه میان مصرف ساختمان و پارامترهای مؤثر بر مصرف ایجاد می‌شود. این فرآیند می‌تواند در قالب روابط محاسباتی متعدد با سطوح دقت و پیچیدگی گوناگون، روش‌های آماری، کدهای محاسباتی و نرم‌افزارهای کامپیوتری صورت پذیرد که در ادامه‌ی فصل به معرفی آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۳-۱) انواع مدل‌های تجزیه‌وتحلیل مصرف انرژی

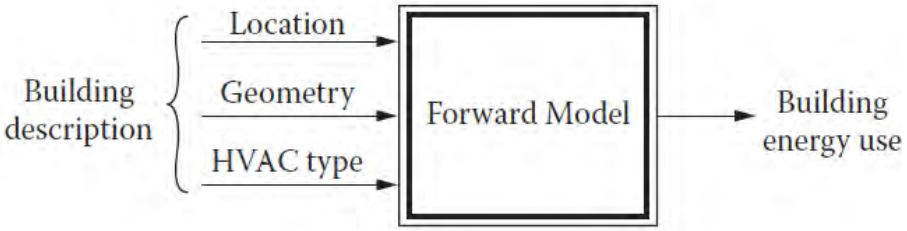
مدل‌ها و ابزارهای شبیه‌ساز مصرف انرژی را می‌توان از دیدگاه‌های متعدد و گوناگونی تقسیم‌بندی کرد. به‌عنوان نمونه، از منظر چگونگی ارتباط مصرف انرژی و پارامترهای مؤثر بر آن، مدل‌ها به دو گروه مدل‌های مستقیم[1] و مدل‌های معکوس[2] تقسیم می‌شوند.

در مدل‌های مستقیم، میزان مصرف انرژی ساختمان، با استفاده از پارامترهای مؤثر در مصرف، از قبیل موقعیت جغرافیایی، هندسه‌ی ساختمان، نوع پوشش، نوع و ساختار تجهیزات الکتریکی، نوع و ساختار سیستم‌های HVAC و ... پیش‌بینی می‌شود. نرم‌افزارهای شبیه‌ساز کامپیوتری، غالباً از نگرش مدل‌های مستقیم بهره می‌برند.

---

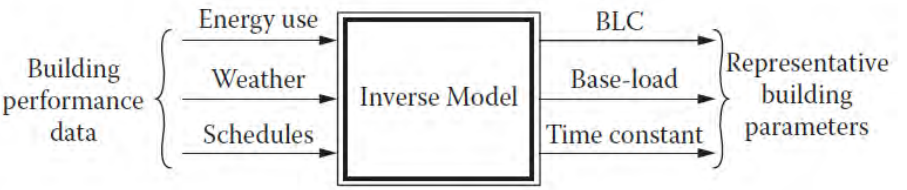
[1] *Forward models*

[2] *Inverse models*



تصویر ۳- ۱: مدل‌های تجزیه‌وتحلیل انرژی مستقیم

مدل‌های معکوس، مدل‌هایی هستند که با بهره‌گیری از مقادیر مصرف ساختمان، اطلاعات آب و هوایی و برنامه‌ی بهره‌برداری از ساختمان و تجهیزات، برخی پارامترهای مربوط به ساختمان از قبیل ضریب بار ساختمان، بار پایه، ثابت زمانی ساختمان و ... را تعیین می‌کنند. مدل‌های معکوس از دیدگاه فرمول‌بندی و ساختار، ساده‌تر از مدل‌های مستقیم هستند.



تصویر ۳- ۲: مدل‌های تجزیه‌وتحلیل انرژی – معکوس

از نقطه‌نظری دیگر، می‌توان ابزارها و مدل‌های تجزیه‌وتحلیل انرژی را با توجه به قابلیت آن‌ها در پاسخگویی به رفتار دینامیکی سیستم‌های ساختمانی، به دو گروه مدل‌های حالت پایدار[1] و مدل‌های دینامیک[2] تقسیم کرد. مدل‌های حالت پایدار برای تجزیه‌وتحلیل فصلی و یا سالانه مصرف انرژی مناسب هستند. از سوی دیگر مدل‌های دینامیک می‌توانند برای تحلیل اثرات گذرا بر سیستم‌های انرژی ساختمانی (نظیر بهره‌گیری از سیستم‌های ذخیره‌ی انرژی حرارتی و استفاده از کنترل‌های استارت بهینه) مورداستفاده قرار گیرند.

[1] *Steady-state models*

[2] *Dynamic models*

۳-۲) آشنایی با برخی ابزارهای مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی

همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز مطرح شد، شبیه‌سازی مصرف انرژی فرآیندی است که طی آن میزان مصرف انرژی یک ساختمان پیش‌بینی و یا محاسبه‌شده و یا آن‌که ارتباط آن با پارامترهای مؤثر در مصرف تعیین می‌شود تا به‌این‌ترتیب تأثیر عوامل گوناگون بر چگونگی و وضعیت مصرف مشخص‌شده و به‌تبع آن امکان تشخیص و مقایسه‌ی میزان اثربخشی راهکارهای کاهش مصرف فراهم گردد.

ابزارهای تجزیه‌وتحلیل انرژی در انواع متعدد و با سطوح پیچیدگی و دقت گوناگون ارائه‌شده‌اند. انتخاب مدل و ابزار مناسب بر مبنای نظر ممیز و با توجه به محدودیت‌های زمانی، میزان پیچیدگی مدل، اطلاعات موجود، خروجی‌های مطلوب، میزان دقت موردنظر، مرحله‌ی ممیزی و ... صورت می‌پذیرد. در ادامه‌ی بخش به معرفی تعدادی از ابزارهای متداول تجزیه‌وتحلیل انرژی پرداخته خواهد شد.

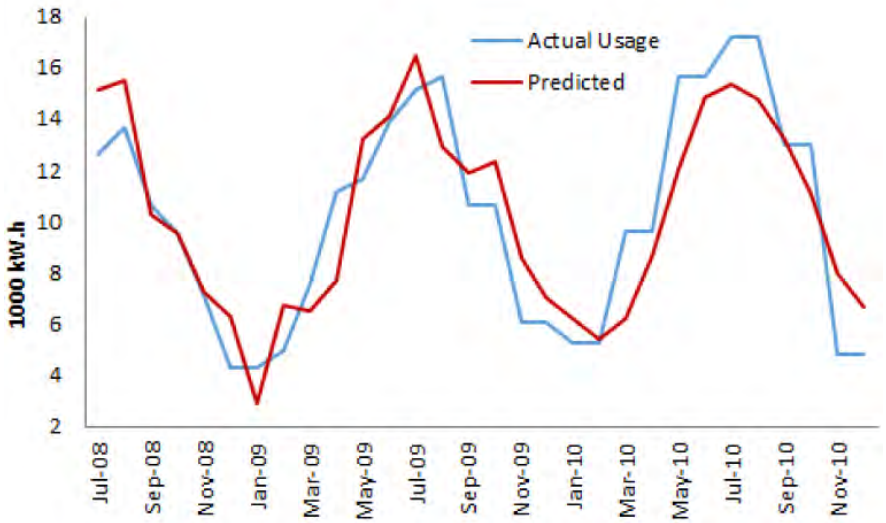
۳-۲-۱) مدل‌های رگرسیونی

تحلیل رگرسیونی (تحلیل وایازش) فرآیند و تکنیکی آماری است که باهدف بررسی و مدل‌سازی ارتباط میان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل انجام می‌شود. ازاین‌رو مدل رگرسیونی در غالب علوم تجربی، مهندسی، اجتماعی، اقتصادی و ... از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار هستند. مدل‌سازی ارتباط میان دما و فشار یک گاز محبوس در آزمایشگاه‌های فیزیک پایه، نمونه‌ای ساده از یک تحلیل رگرسیونی است.

تحلیل‌های رگرسیونی می‌توانند در قالب‌های گوناگونی نظیر مدل‌های رگرسیون خطی دو یا چند متغیره، مدل‌های رگرسیون لجستیک دو یا چند متغیره، مدهای فازی، مدل‌های رتبه‌ای، مدهای پروبیت و ... انجام شوند که انتخاب مدل مناسب بر مبنای ماهیت ارتباط متغیرهای مستقل با یکدیگر و نوع ارتباط آن‌ها با متغیر وابسته صورت می‌گیرد. گاهاً لازم است که برای دست‌یابی به یک تحلیل مناسب به استفاده از دو یا چند مدل گوناگون و مقایسه‌ی آن‌ها با یکدیگر پرداخته شود.

مدل‌سازی‌های رگرسیونی را می‌توان با بهره‌گیری از نرم‌افزارهایی نظیر SPSS، S+، SAS و Excel انجام داد.

تصویر ۳-۳ مقایسه‌ی نتایج واقعی مصرف انرژی یک ساختمان و نتایج پیش‌بینی‌شده توسط یک مدل رگرسیون خطی چند متغیره با متغیرهای مستقل شرایط آب و هوایی و ساعات بهره‌برداری را نمایش می‌دهد.



تصویر ۳- ۳: مقایسه‌ی مقادیر واقعی مصرف و مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط یک مدل رگرسیون خطی چند متغیره

۳-۲-۲) شبکه‌های عصبی مصنوعی

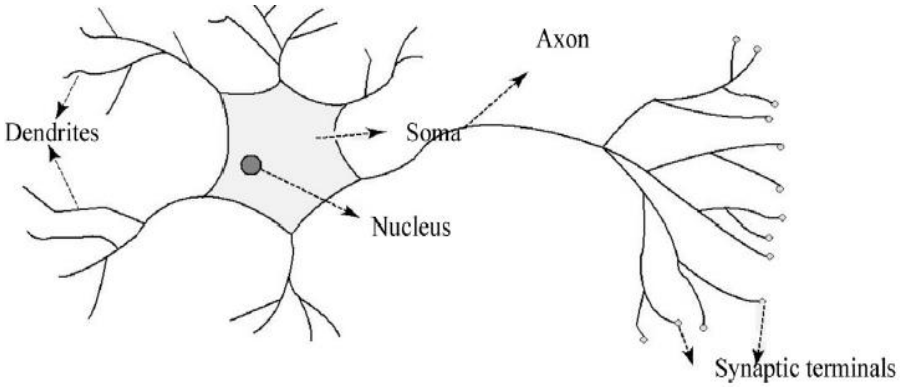
شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] ابزارهای بسیار قدرتمندی هستند که با ساختاری الگو گرفته‌شده از ساختمان مغز انسان و کارکردی بر پایه‌ی مشخصه‌های نرون‌های بیولوژیکی[2]، می‌توانند به‌عنوان جانشینی برای روش‌های محاسباتی متداول در نظر گرفته شوند. ازآنجایی‌که این شبکه‌ها قابلیت مدل‌سازی نگاشت‌های پیچیده‌ی میان یک یا چند مقدار ورودی و یک یا چند مقدار خروجی را دارا هستند، ابزارهای بسیار سودمندی برای الگو یابی، پیش‌بینی و تعیین ارتباط میان متغیرهای ورودی و خروجی به شمار می‌روند.

ساختار مغز انسان متشکل از حدود ده بیلیون نورون عصبی است که طی یک ارتباط چندجانبه و پیچیده با یکدیگر و در قالب مجموعه‌ی از واکنش شیمیایی، دریافت، پردازش و انتقال اطلاعات را سبب می‌شود.

---

[1] *Artificial neural networks (ANN)*

[2] *Biological neuron*



تصویر ۳- ٤: نمونه‌ای از نورون‌های عصبی یک پستاندار

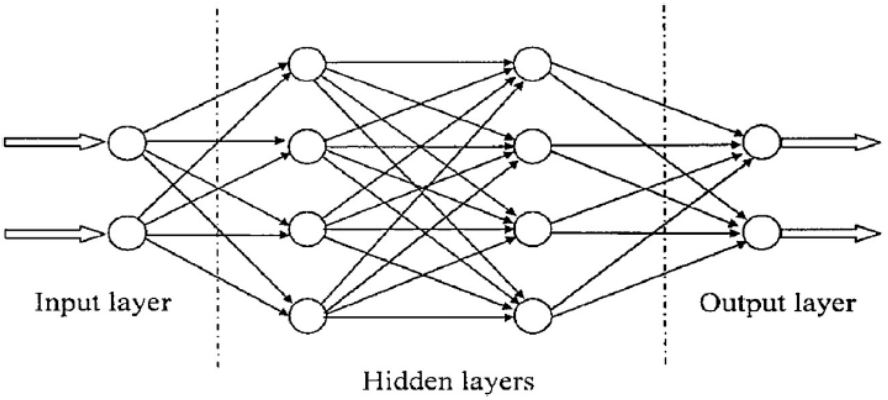
شبکه‌های عصبی مصنوعی با ساختاری الگوبرداری شده از شبکه‌های عصبی، از مجموعه‌ای از نورون‌ها تشکیل‌شده‌اند که طی عملکردی معین و در قالب آرایشی خاص، نگاشت و پردازش موردنظر را موجب می‌گردند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان از دیدگاه‌ها و نقطه‌نظرهای گوناگونی تقسیم‌بندی کرد. به‌عنوان نمونه از دیدگاه الگوریتم آموزش شبکه‌ها، استاتیک یا دینامیک بودن شبکه، چگونگی ارتباط نورون‌های یک‌لایه و نورون‌های لایه‌های شبکه با یکدیگر و ... که معرفی هر یک از این شاخه‌ها خود مبحث گسترده‌ای است. ازاین‌رو در این بخش صرفاً به معرفی اجمالی شبکه‌های عصبی مستقیم چندلایه که نسبت به دیگر انواع شبکه‌ها متداول‌ترند، پرداخته می‌شود.

ساختار شبکه‌های عصبی مستقیم (پیشرو)[1] به‌این‌ترتیب است که هر شبکه از تعدادی لایه تشکیل‌شده و ساختمان هر لایه متشکل از تعدادی نرون است. درروند کارکرد نورون‌ها خروجی‌های لایه‌ی قبلی که ورودی‌های نرون به شمار می‌روند به میزان معینی وزن گرفته و حاصل جمع نهایی آن‌ها با مقدار ثابتی با عنوان بایاس[2]، ورودی نورون را ایجاد می‌کند.

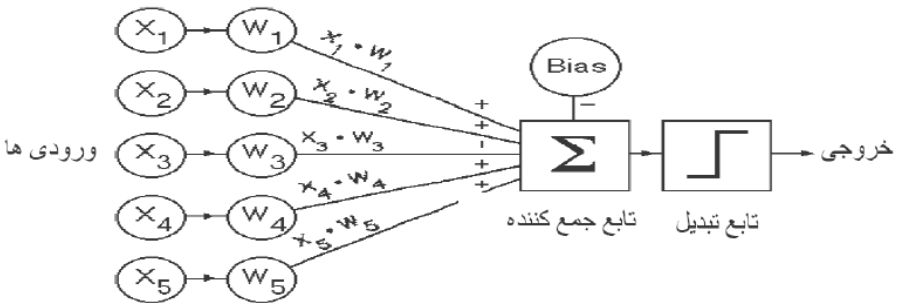
[1] *Feedforward neural networks*

[2] *Bias*



تصویر ۳- ۵: شبکه‌ی عصبی مستقیم چندلایه

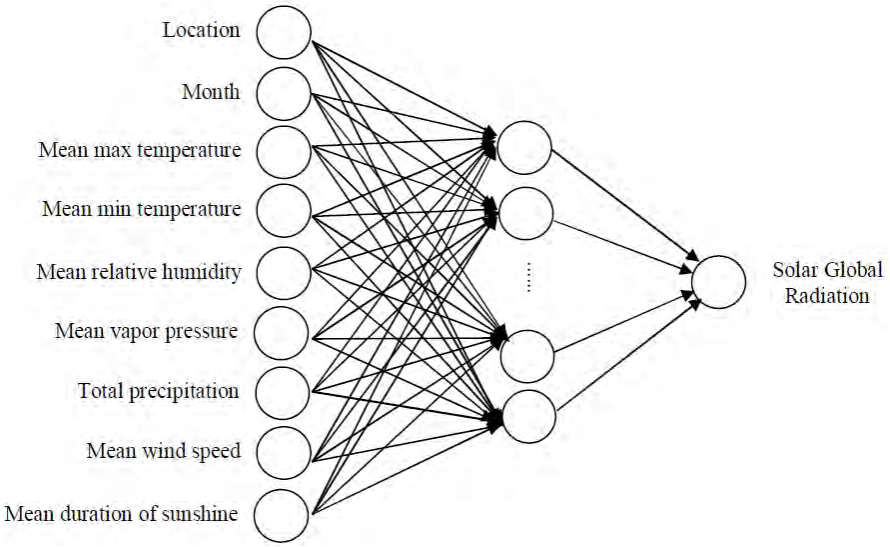
در ادامه، نورون در قالب تابع انتقال معینی بر ورودی اثر می‌گذارد و خروجی این تابع به شکلی مشابه وزن گرفته و وارد نورون‌های لایه‌ی بعدی می‌شود.



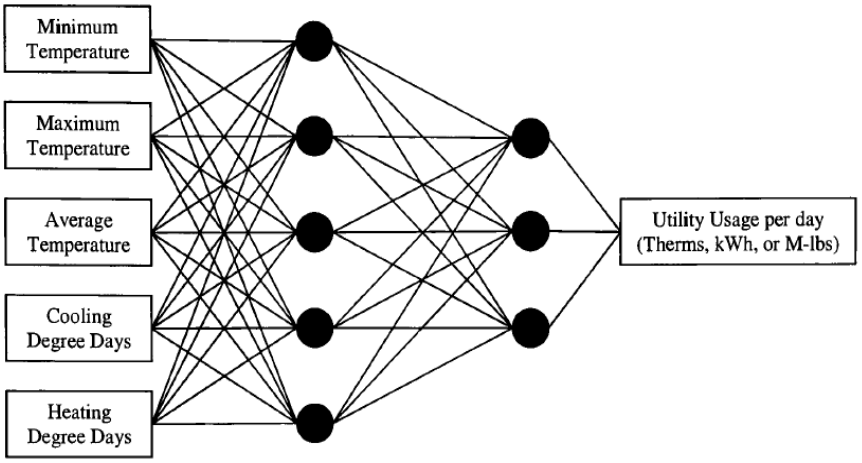
تصویر ۳- ٦: چگونگی عملکرد نورون در یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی

دقت و کیفیت نگاشت و مدل‌سازی توسط شبکه‌های عصبی به عوامل گوناگونی نظیر نوع شبکه، الگوریتم آموزش، تعداد لایه‌ها، تعداد نورون‌های هر لایه، توزیع وزن، توابع انتقال نورون‌ها، پارامترهای ورودی و پراکندگی مناسب داده‌ها، روند مناسب بی‌بعد سازی پارامترهای ورودی و ... بستگی دارد که ایجاد توازن میان این عوامل خود نیازمند دانش و تجربه‌ی کافی درزمینه‌ی سیستم‌های شبکه‌ی عصبی است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند در حوزه‌های بسیار متنوعی نظیر حوزه‌های مهندسی، اقتصادی، اجتماعی و شاخه‌های علوم تجربی مورداستفاده قرار گیرند.



تصویر ۳- ۷: نمونه‌ای از یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای تخمین میانگین شدت تابش خورشیدی

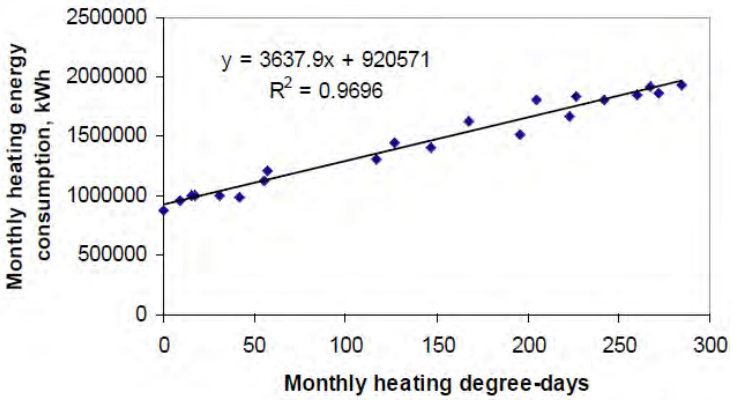


تصویر ۳- ۸: نمونه‌ای از یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای تخمین مصرف انرژی سیستم تأسیسات ساختمانی

۳-۲-۳) روش روز– درجه‌ی ساده

روش‌های روز– درجه[1] ازجمله ابزارهای سنجش مصرفی هستند که عموماً نسبت به ابزارهای دیگری نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی، سری‌های زمانی[2] و روش بین[3] از رواج بیشتری برخوردارند. در ادامه‌ی بحث به معرفی این موضوع در قالب دو گروه روش‌های روز– درجه‌ی ساده[4] و روش‌های روز– درجه‌ی متغیر[5] خواهیم پرداخت.

در روش روز– درجه‌ی ساده پس از جمع‌آوری مجموعه‌ای از داده‌ها که مصرف انرژی ساختمان را متناظر با روز– درجه‌ی سرمایشی یا گرمایشی مربوط به آن نمایش می‌دهد، با فرض رابطه‌ای خطی میان مقادیر روز– درجه و مصرف به طرح یک مدل رگرسیون خطی میان آن‌ها پرداخته می‌شود تا به‌این‌ترتیب یک رابطه‌ی ریاضی میان پارامترهای مذکور برقرار شود. (در زیر بخش ۳-۲-۴ به روند محاسبه‌ی مقادیر روز– درجه پرداخته خواهد شد.)



تصویر ۳- ۹: نمونه‌ای از کاربرد روش روز– درجه‌ی ساده برای تخمین مصرف انرژی گرمایشی ماهانه

در محاسبه مقادیر روز– درجه درروش روز– درجه‌ی ساده، میزان دمای مبنا به‌صورت ثابت و برابر با $65^{\circ}F$[6] در محاسبات سرمایشی و گرمایشی در نظر گرفته می‌شود.

---

[1] *Degree– Day methods*

[2] *Time series*

[3] *Bin method*

[4] *Simple degree-day method*

[5] *Variable-base degree-day method*

[6] *ASHRAE, 1997*

۳-۲-۴) روش روز– درجه‌ی متغیر

ازآنجایی‌که درروش روز– درجه‌ی ساده تغییرات شرایط هوای بیرون و نقطه‌ی تنظیم دمای داخل موردتوجه قرارگرفته نمی‌شود؛ میزان دقت و اطمینان‌پذیری آن در سطح قابل‌توجهی قرار ندارد.

روش روز– درجه‌ی متغیر، روشی است که با بهره‌گیری از مقادیر روز– درجه و در قالب روابطی معین، تخمینی از بارهای سرمایشی و گرمایشی و مصرف انرژی مربوط به آن‌ها فراهم می‌کند. این روش در مقایسه‌ی با روش روز– درجه ساده از سطح دقت بالاتری برخوردار است.

میزان بار گرمایشی و سرمایشی یک ساختمان تحت تأثیر عواملی نظیر تبادل حرارتی از طریق جداره‌ها، تبادل حرارت ناشی از نفوذ و تأمین هوای تازه، جذب تشعشعات خورشیدی و منابع حرارت داخلی قرار دارد (در فصل ششم به بحث بیشتری در این رابطه پرداخته خواهد شد).

به‌منظور طرح رابطه‌ای برای تخمین بار گرمایشی یک ساختمان، از بالانس انرژی سیستم در شرایط حالت پایدار استفاده می‌کنیم؛ به‌این‌ترتیب رابطه‌ی لحظه‌ای زیر را خواهیم داشت.

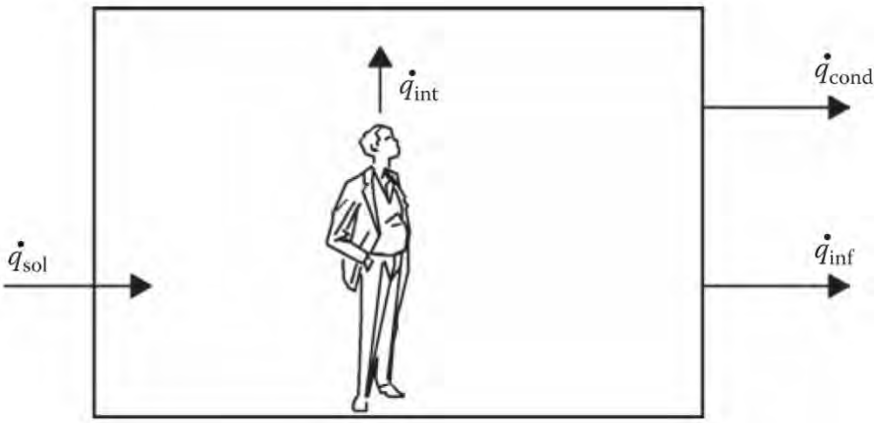
$$\overset{o}{q}_H = BLC.(T_i - T_o) - \overset{o}{q}_g$$ رابطه‌ی ۳-۱

در رابطه‌ی فوق، BLC پارامتری است که از آن با عنوان ضریب بار ساختمان[1] یاد می‌شود و تأثیر تبادل حرارت از طریق جداره‌ها و تبادل حرارت نفوذ را با خود به همراه دارد.

$$BLC = \sum_{j=1}^{N_E} \left(U_{T,j}.A_j + \dot{m}_{inf}.C_{P,a} \right)$$ رابطه‌ی ۳-۲

$\dot{q}_g$ نشانگر آهنگ جذب حرارت است که طی تفاضل تلفات زمین از حاصل جمع جذب حرارت خورشیدی و حرارت تولیدشده توسط منابع داخلی محاسبه می‌شود.

[1] *Building Load Coefficient (BLC)*



تصویر۳- ۱۰: مدلی ساده از بالانس حرارتی ساختمان

$$\dot{q}_g = \dot{q}_{sol} + \dot{q}_{int} - \dot{q}_{grd}$$ رابطه‌ی ۳-۳

چنانچه رابطه‌ی ۳-۱ را به شکل زیر بازنویسی کنیم، عبارتی حاصل می‌شود که از آن با عنوان دمای تعادل ساختمان (T_b) یاد می‌گردد. دمای تعادل پارامتری است که اثر جذب حرارتی را در محاسبه‌ی بار گرمایشی ساختمان به شمار می‌آورد.

$$q_H = BLC.\left[\left(T_i - \frac{q_g}{BLC}\right) - T_o\right] = BLC.(T_b - T_o)$$

$$T_b = T_i - \frac{q_g}{BLC}$$ رابطه‌ی ۳-۴

حاصل جمع مقادیر بارهای لحظه‌ای در طول دوره‌ی گرمایش، میزان کل بار حرارتی ساختمان را با خود به همراه خواهد داشت (رابطه‌ی ۳-۵). توجه داشته باشید که تنها مقادیر مثبت q_H در نظر گرفته می‌شود.

$$Q_H = \sum_{j=1}^{N_{h,H}} \dot{q}_{H,j}^{+} = BLC.\sum_{j=1}^{N_{h,H}} \left(T_b - T_{o,j}\right)^{+}$$ رابطه‌ی ۳-۵

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، حاصل جمع فوق بر روی یکایک ساعات دوره‌ی گرمایشی سال محاسبه‌شده است. عبارت ظاهرشده در رابطه‌ی فوق، پارامتری است که با

عنوان درجه–ساعت[1] (در اینجا گرمایشی) شناخته می‌شود. این پارامتر تابعی از دمای محیط بیرون و دمای تعادل ساختمان است.

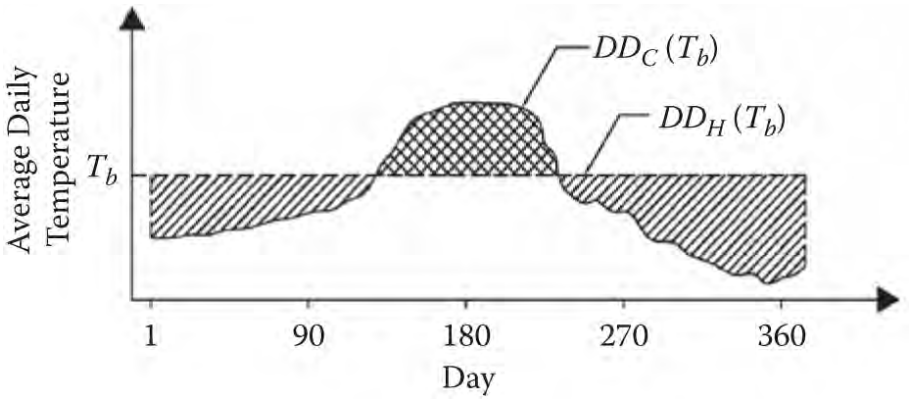
$$DH_H\left(T_b\right)=\sum_{j=1}^{N_{h,H}}\left(T_b-T_{o,j}\right)^+$$ رابطه‌ی ۳-۶

چنانچه به‌جای مقادیر ساعت‌به‌ساعت از یک مقدار میانگین روزانه استفاده کنیم، رابطه‌ی ۳-۵ به شکل زیر بازنویسی خواهد شد.

$$Q_H=24\sum_{j=1}^{N_{d,H}}\dot{q}_{H,j}^{+}=24\times BLC\sum_{j=1}^{N_{d,H}}\left(T_b-T_{o,j}\right)^+$$ رابطه‌ی ۳-۷

عبارت ایجادشده در رابطه‌ی ۳-۷ که بر روی روزهای دوره گرمایشی سال محاسبه می‌شود، معرف مفهوم روز–درجه (در اینجا گرمایشی) است.

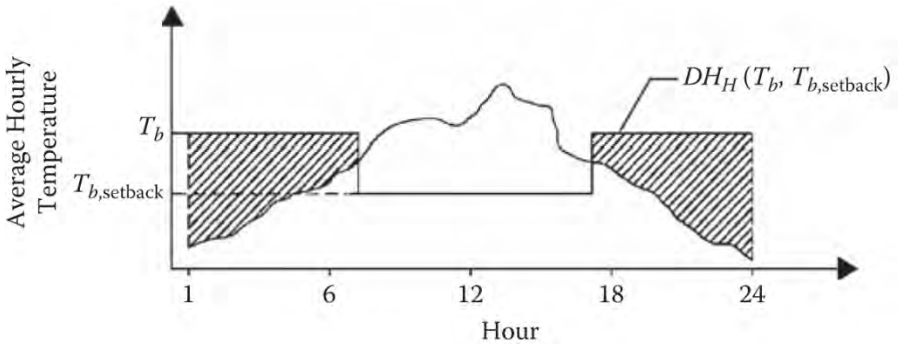
$$DD_H\left(T_b\right)=\sum_{j=1}^{N_{d,H}}\left(T_b-T_{o,j}\right)$$ رابطه ۳-۸



تصویر ۳-۱۱: روز–درجه‌های گرمایشی و سرمایشی بر مبنای دمای تعادل

در برخی موارد نقطه‌ی تنظیم دمای نواحی ساختمان در ساعات عدم حضور افراد متفاوت با دیگر ساعت‌هاست. در چنین شرایطی مقادیر درجه– ساعت از رابطه‌ی ۳-۹ محاسبه می‌شود.

[1] *Degree -Hour*



تصویر ۳- ۱۲: پروفیل دمای تعادل ساختمان و درجه–ساعت‌های گرمایشی در شرایط باز تنظیم دما

$$DH\left(T_{b,setback}\right)=\sum_{j=1}^{N_{h,occ}}\left(T_b-T_{o,j}\right)+\sum_{j=1}^{N_{h,vnocc}}\left(T_{b,setback}-T_{o,j}\right)$$ رابطه‌ی ۳-۹

چنانچه بازدهی سیستم‌ها و تجهیزات گرمایشی را در طول دوره‌ی سرد سال ثابت در نظر بگیریم، می‌توان مصرف انرژی کل این سیستم‌ها را با استفاده از رابطه‌ی زیر تخمین زد.

$$E_H=\frac{Q_H}{\eta_H}=\frac{24\times BLC\times DD_H\left(T_b\right)}{\eta_H}$$ رابطه‌ی ۳-۱۰

(مقصود از η_H بازدهی میانگین سیستم گرمایشی است.)

می‌توان روابط مذکور برای سیستم‌های گرمایشی را به طریقی مشابه برای مصرف انرژی سیستم‌های سرمایشی نیز به کار برد. اگرچه کیفیت تخمین روش روز–درجه متغیر در مورد مصرف گرمایشی بالاتر است.

$$DD_c\left(T_b\right)=\sum_{j=1}^{N_{d,c}}\left(T_{o,j}-T_b\right)^+$$ رابطه‌ی ۳-۱۱

۳-۲-۵) روش bin

روش bin، یکی از دیگر روش‌های مستقیم تخمین مصرف انرژی است. در این روش داده‌های مربوط به شرایط آب و هوایی منطقه به شیوه‌ای معین طبقه‌بندی‌شده و متوسط ساعات رخداد هر یک از این شرایط در طول یک ماه یا یک سال معین می‌شود. در ادامه مصرف انرژی مربوط به هر یک از شرایط محیطی محاسبه‌شده و در تعداد ساعات رخداد مربوط به آن ضرب می‌شود تا بتوان با جمع‌کردن مقادیر حاصل‌ضرب‌ها، مصرف کل ساختمان را در یک

دوره‌ی معین تخمین زد. روش‌های bin و ابزارهای مبتنی بر آن غالباً برای ساختمان‌های مسکونی یا تجاری کوچک مناسب هستند.

گروه‌بندی داده‌های آب و هوایی می‌تواند به دو روش تک‌بعدی و یا دوبعدی انجام شود. درروش تک‌بعدی، بازه‌های پیوسته برای دمای بیرون تعریف‌شده و متوسط ساعات رخداد میانگین بازه‌ها در یک دوره‌ی معین در نظر گرفته می‌شود. استفاده از داده‌های تک‌بعدی برای ساختمان‌های تحت تأثیر بارهای محسوس و فاقد اثرات بزرگ جرم حرارتی مناسب‌تر است.

جدول ۳ -۱: نمونه‌ای از داده‌های آب و هوایی bin – تک‌بعدی

Average of Outdoor Dry-Bulb Temperature Bin (°F)	Number of Hours of Occurrence	Average coincident Humidity Ratio (lb/lb)
15	1	0.0020
20	42	0.0020
25	154	0.0020
30	291	0.0025
35	354	0.0031
40	641	0.0038
45	623	0.0044
50	665	0.0053
55	741	0.0065
60	882	0.0083
65	905	0.0100
70	1225	0.0128
75	1000	0.0133
80	672	0.0137
85	421	0.0143
90	133	0.0156
95	19	0.0170

درروش استفاده از داده‌های دوبعدی، اطلاعات آب و هوایی بر مبنای دو پارامتر دما و رطوبت هوای بیرون گروه‌بندی‌شده و میانگین ساعات رخداد هر یک از گروه‌ها تعیین می‌شود تا به طریقی که ذکر شد، مصرف انرژی ساختمان محاسبه گردد. استفاده از داده‌های هوای دوبعدی برای تحلیل مصرف ساختمان‌های دارای مقادیر قابل‌توجه بار نهان، نتایج صحیح‌تری را به نسبت داده‌های تک‌بعدی به همراه خواهد داشت.

جدول ۳ -۲: نمونه‌ای از داده‌های آب و هوایی bin – دوبعدی

Average of Humidity Ratio Bin (lb /lb)	Average of Dry -Bulb Temperature Bin (°F)								
	50	55	60	65	70	75	80	85	90
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0020	69	48	29	14	0	0	0	0	0
0.0040	229	183	123	54	35	11	1	0	0
0.0060	238	178	91	75	39	37	10	0	0
0.0080	129	210	196	122	71	85	28	14	0
0.0100	0	122	335	228	140	111	72	40	3
0.0120	0	0	108	312	202	131	156	53	5
0.0140	0	0	0	100	486	245	156	131	42
0.0160	0	0	0	0	237	289	184	142	57
0.0180	0	0	0	0	15	89	62	37	19
0.0200	0	0	0	0	0	2	3	4	7
0.0220	0	0	0	0	0	0	0	0	0

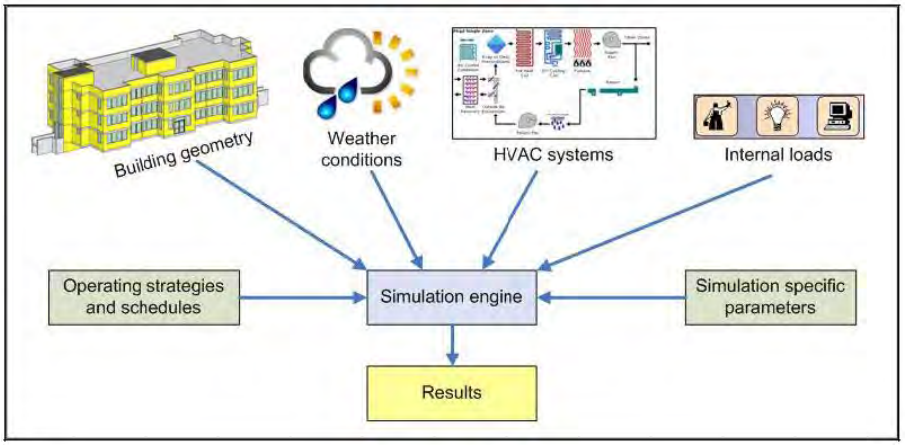
داده‌های موردنیاز برای به‌کارگیری روش bin را می‌توان از سامانه‌ها و پایگاه‌های اینترنتی مربوط تهیه کرد و یا آن‌که با استفاده از ابزارهایی نظیر TMY -2 و ASHRAE Weather Data Viewer نسبت به ایجاد آن اقدام نمود.

۳-۲-۶) ابزارهای کامپیوتری مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی

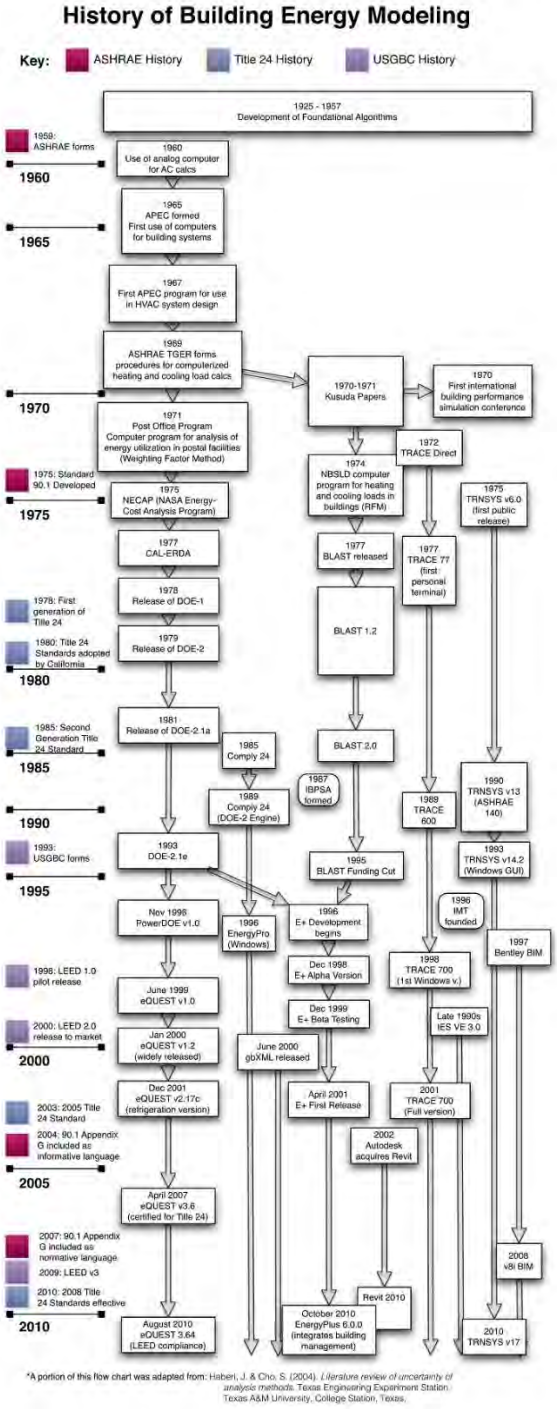
مقدمه‌ی پیدایش شبیه‌سازهای کامپیوتری را می‌توان محدوده سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ میلادی دانست. در طول سالیان متمادی و خصوصاً طی دهه‌ی گذشته، پیشرفت و توسعه ی دانش‌های کامپیوتری سبب شد که نرم‌افزارها و سامانه‌های شبیه‌ساز مصرف انرژی به‌تدریج جای خود را در میان معماران، طراحان و مهندسین انرژی یافته و امروزه به‌عنوان معمول‌ترین راهبرد و ابزار تحلیل سیستم‌های انرژی به شمار روند. به‌گونه‌ای که در شرایط کنونی لازم است فرد ممیز، دست‌کم به یکی از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز تسلط کافی داشته باشد.

شبیه‌سازهای مصرف گوناگونی را می‌توان در بازار یافت که هر یک قابلیت‌ها، مزایا و معایب خاص خود را به همراه دارد. در ادامه‌ی بحث به معرفی تعدادی از رایج‌ترین نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مصرف پرداخته خواهد شد.

تصویر ۳-۱۳ ورودی‌های موردنیاز معمول شبیه‌سازهای کامپیوتری را نمایش می‌دهد.



تصویر ۳- ۱۳: ورودی‌های موردنیاز معمول در شبیه‌سازهای کامپیوتری



تصویر۳- ۱٤: سیر توسعه و عرضه‌ی شبیه‌سازهای کامپیوتری در طول چند دهه‌ی گذشته

۳-۲-۶-۱) DOE-2

نرم‌افزار DOE-2 یکی از شناخته‌شده‌ترین و رایج‌ترین ابزارهای شبیه‌ساز مصرف انرژی است. این نرم‌افزار توسط دپارتمان انرژی آمریکا[1] و انیسیتو ملی لاورنس برکلی[2] توسعه یافت و برای نخستین بار در سال ۱۹۷۹ به بازار عرضه شد. در طول سالیان گذشته استقبال گسترده از نرم‌افزار DOE سبب شد که پیوسته نسخه‌های جدیدتر و کامل‌تر آن ارائه گردد. در حال حاضر این نرم‌افزار در بیش از ۴۰ کشور دنیا و همراه با حدود ۲۰ رابط کاربردی مورداستفاده قرار می‌گیرد که رابط‌های eQUEST و RIUSKA از متداول‌ترین‌های آن هستند.

مدل‌سازی کلی ساختمان، امکان تحلیل مدل‌های ساختمانی پیچیده و تأسیسات و تجهیزات وابسته، قابلیت شبیه‌سازی مصرف ساعتی و به‌تبع آن مصرف روزانه، ماهانه و سالانه و سرعت پردازش به نسبت بالاتر از نرم‌افزارهای مشابه، ازجمله ویژگی‌ها و قابلیت‌های نرم‌افزار DOE-2 است.

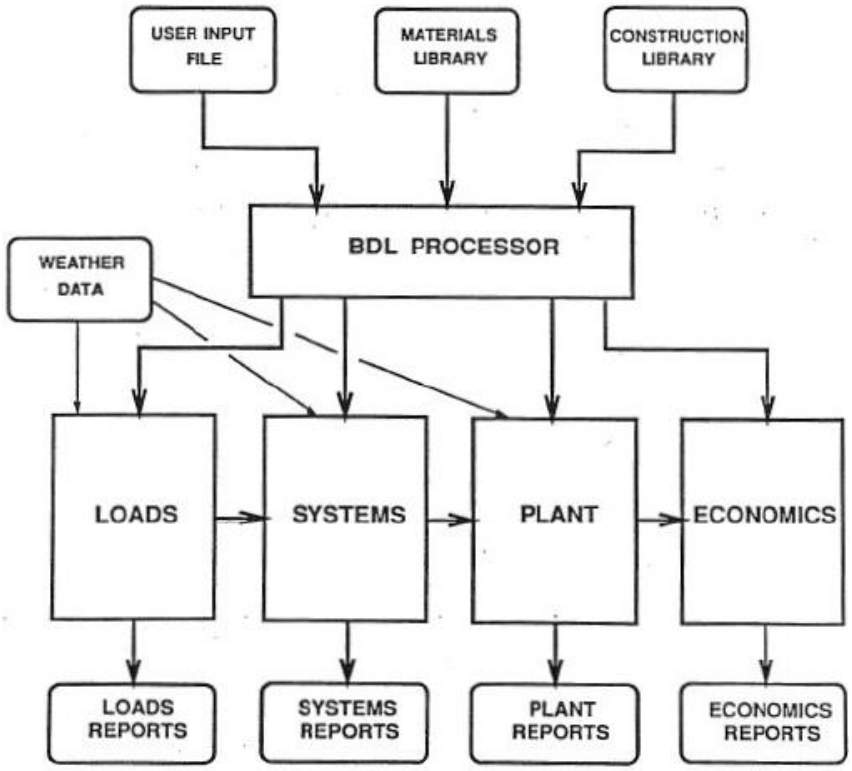
کارکرد DOE خود در قالب چهار زیر ابزار صورت می‌گیرد که چگونگی عملکرد آن‌ها به‌قرار زیر است.

- Building Description Language: این پردازشگر مشخصات هندسی ساختمان که توسط کاربران وارد می‌شود را دریافت کرده و آن را به شکل قابل‌فهم افزار برگردان می‌کند.
- LOADS: این پردازشگر مقادیر بارهای سرمایشی و گرمایشی مدل ساختمانی ایجادشده را با احتساب تمامی عوامل مؤثر بر آن و اطلاعات معرفی‌شده توسط کاربر محاسبه می‌کند.
- HVAC: در این پردازشگر سیستم تهویه‌ی مطبوع بر اساس مقادیر محاسبه‌شده در LOADS و نوع سیستم انتخاب‌شده، شبیه‌سازی می‌شود.
- ECON: در این پردازشگر تحلیل‌های اقتصادی و محاسبات هزینه صورت می‌گیرد.

---

[1] *Department of Energy*

[2] *Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)*



تصویر ۳- ۱۵: جریان داده در نرم‌افزار DOE-2

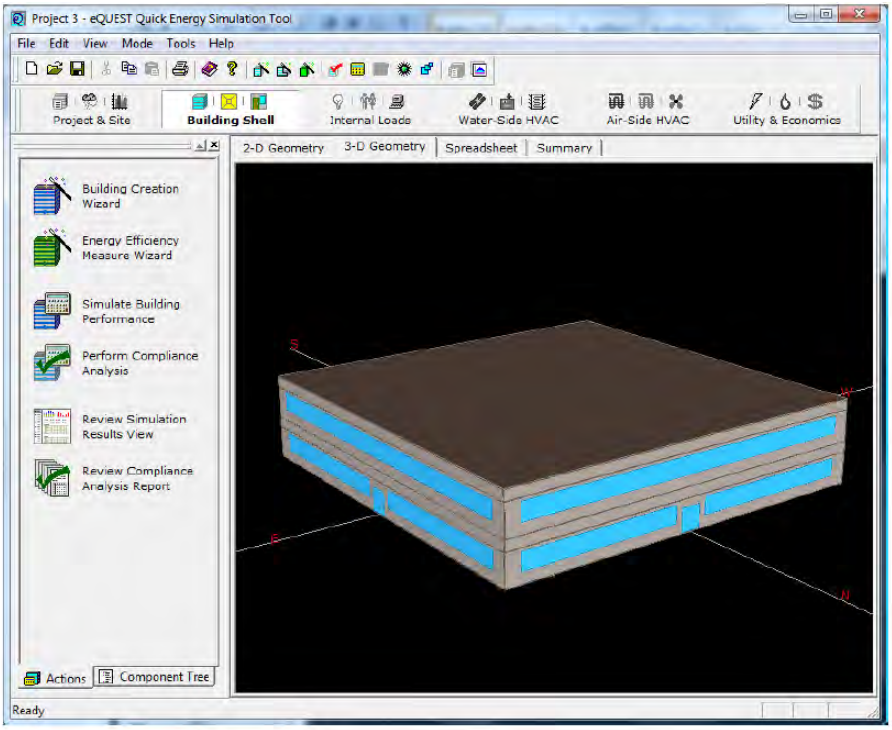
۳-۲-۶-۲) eQUEST

eQUEST یکی دیگر از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز مصرف انرژی است که به‌صورت رایگان در اختیار کاربران قرار می‌گیرد و با میانگین ۱۰۰۰۰ دانلود در سال در شمار نرم‌افزارهای پرطرفدار جای گرفته است. این نرم‌افزار طی حمایت‌های کمپانی SCE[1] و توسط جیمز هرش و همکاران[2] بر مبنای DOE2.2 توسعه یافت. (تمایزهای اساسی DOE2.2 را می‌توان نمایش مناسب‌تر مدل‌های هندسی، پشتیبانی هندسه‌های چندوجهی محدب و مقعر و قابلیت‌های جدید تعریف سیستم‌های HVAC و تجهیزات وابسته دانست.)

[1]. *Southern California Edison*

[2]. *James Hirsch et al.*

ازآنجایی‌که مبنای ساخت eQUEST نرم‌افزار DOE است. این نرم‌افزار غالب مزایا و معایب DOE را با خود به همراه دارد. اگرچه امکان به‌کارگیری نرم‌افزار در سه سطح مقدماتی، متوسط و پیشرفته (برم بنای سطح دانش و اطلاعات کاربر برای شبیه‌سازی ساختمان) و قابلیت مقایسه‌ی مقادیر مصرف با مقادیر استاندارد معرفی‌شده توسط کمیته‌ی انرژی کالیفرنیا[1] ازجمله قابلیت‌های اضافی آن نسبت به DOE و به‌هم‌ریختگی هندسه‌های واردشده از نرم‌افزارهای CAD(در برخی موارد) ازجمله‌ی معایب آن است.



تصویر ۳- ۱۶: نمایی از فضای نرم‌افزار eQUEST

[1] *Title 24 California energy code*

BLAST (۳-۶-۲-۳

BLAST نیز یکی دیگر از ابزارهای نسبتاً رواج یافته‌ی شبیه‌سازی مصرف انرژی است. نام این نرم‌افزار از عبارت Building Loads Analysis and System Thermodynamic برگرفته‌شده است. نرم‌افزار BLAST می‌تواند به‌منظور شبیه‌سازی مصرف انرژی کل ساختمان، تحلیل چگونگی و کیفیت مصرف و آنالیز هزینه مورداستفاده قرار گیرد. در طراحی این نرم‌افزار از روش بالانس حرارتی مدل ساختمانی با استفاده از معادلات ترمودینامیکی واقعی سیستم استفاده‌شده است که در مقایسه‌ی با روش توابع تبدیل که در DOE-2 مورداستفاده قرارگرفته، دقت تحلیل مناسب‌تری را فراهم می‌کند. از BLAST می‌توان برای تحلیل برخی سیستم‌های گرمایش تشعشعی و پانل‌های سرمایشی که مدل‌سازی صحیح آن‌ها به‌وسیله‌ی DOE-2 امکان‌پذیر نیست، بهره برد.

Energy Plus (۴-۶-۲-۳

Energy Plus را می‌توان نسل جدید شبیه‌سازهای مصرف انرژی دانست. این نرم‌افزار طی فعالیت و حمایت مجموعه‌ای از سازمان‌ها و مؤسسات[1] و بر مبنای قابلیت‌های دو نرم‌افزار DOE-2 و BLAST توسعه یافت و اولین نسخه‌ی آن در آوریل ۲۰۰۱ به بازار عرضه شد.

Energy Plus نیز یک شبیه‌ساز جامع ساختمان است که قابلیت تحلیل مدل‌های متنوع انرژی و مصرف آب را دارا است. در این نرم‌افزار برخلاف DOE-2 تحلیل در گام‌های زمانی کمتر از ساعت انجام می‌شود.

تا به‌این‌ترتیب امکان پیش‌بینی دقیق‌تر دمای فضاها و در پی آن تعیین مناسب‌تر ظرفیت سیستم‌ها و تجهیزات و امکان دستیابی به شرایط آسایش حرارتی ایده آل‌تر فراهم شود.

برخوردار بودن از قابلیت‌هایی نظیر شبیه‌سازی واقع‌گرایانه‌ی کنترل‌گرها، مدل‌سازی پس دهی و جذب رطوبت در اجزای ساختمان، امکان شبیه‌سازی سیستم‌های سرمایش و گرمایش تشعشعی، مدل‌سازی جریان‌های هوای درون ناحیه‌ای، تحلیل مصرف آب و

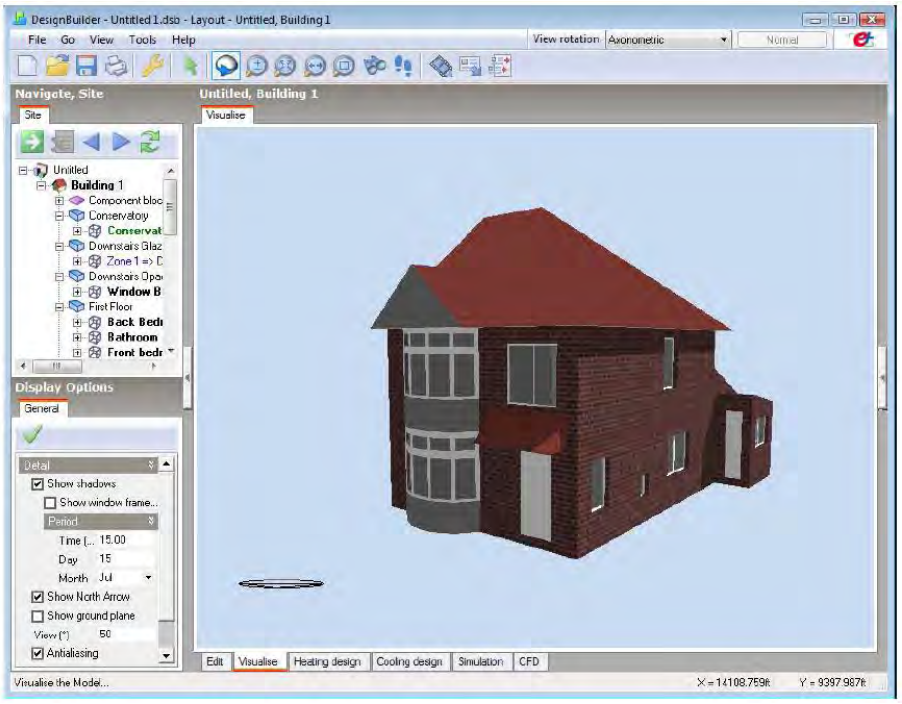
---

[1]. *LBNL, the University of Illinois (UI), Oklahoma State University (OSU), GARD Analytics, Florida Solar Energy Center, US Depart men of Energy (DOE), GERL*

محاسبه‌ی مقادیر آلاینده‌های تولیدی در کنار تست خروجی‌های نرم‌افزار با استفاده از داده‌های واقعی مصرف در زمان طراحی و مجموعه‌ای متشکل از اطلاعات آب و هوایی ۱۲۵۰ نقطه‌ی جغرافیایی، سبب شده است Energy Plus به‌عنوان یکی از موفق‌ترین و پرطرفدارترین ابزارهای شبیه‌ساز مصرف انرژی شناخته شود.

۳-۲-۶-۵) Design Builder

نرم‌افزار Energy Plus در کنار تمامی قابلیت‌ها و توانمندی‌ها، فاقد رابط گرافیکی کاربرپسند است و تنها مقادیر ورودی و خروجی را به ترتیب خوانده و می‌نویسد. Design Builder را می‌توان قدرتمندترین رابط کاربری Energy Plus دانست. این نرم‌افزار امکان مدل‌سازی هندسه‌های ساختمانی را نیز داراست.



تصویر ۳- ۱۷: نمایی از فضای نرم‌افزار Design Builder

۳-۲-۶-۶) HAP

نرم‌افزار HAP[1] یکی از باسابقه‌ترین ابزارهای مدل‌سازی و تحلیل سیستم‌های تأسیساتی و مصرف انرژی ساختمان‌هاست. این نرم‌افزار توسط کمپانی کریر توسعه‌یافته و به بازار عرضه شد و گاهاً در کشور ما بانام شرکت سازنده‌ی آن شناخته می‌شود. HAP می‌تواند به‌منظور محاسبه‌ی بارهای سرمایشی و گرمایشی برای طراحی سیستم‌های مربوطه در ساختمان‌هایی با چند ناحیه حرارتی (تا ۲۰ ناحیه) و همین‌طور تحلیل‌های فصلی و سالانه‌ی انرژی و تخمین هزینه مورداستفاده قرار گیرد.

۳-۲-۷) روش‌های بر مبنای نسبت

روش‌های بر مبنای نسبت[2]، پیش از آن‌که ابزار تجزیه‌وتحلیل انرژی به شمار روند، معیارهایی برای ارزیابی عمومی مصرف و هزینه‌های سیستم و درواقع روش‌های سنجش پیش از ممیزی هستند. این روش‌ها غالباً در آغاز ممیزی‌های صنعتی نیز مورداستفاده قرار می‌گیرند.

درروش بر مبنای نسبت، ابتدا نسبت‌هایی به‌صورت مقادیر کل مصرف، مقادیر مصرف بخش‌های سرمایشی و گرمایشی، تقاضای انرژی، هزینه‌های حامل، هزینه‌ی سرمایش یا گرمایش و هزینه‌های کل سیستم در صورت و پارامترهایی مانند مساحت سطح، حجم فضا، تعداد کاربران ساختمان (ساختمان‌هایی نظیر مدارس)، تعداد تخت‌ها (ساختمان‌هایی نظیر بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها)، تعداد واحدهای تولیدشده (رستوران‌ها و تولیدی‌ها) و ... در مخرج کسر محاسبه می‌شوند. در ادامه نسبت محاسبه‌شده با شاخص مرجعی که از بررسی ساختمان‌هایی با شرایط مشابه به‌دست‌آمده مقایسه می‌شود.

لازم به ذکر است که گردآوری مجموعه‌ی نسبت‌های بامعنی، روند دشوار و زمان‌بری است که طی جمع‌آوری تعداد زیادی از داده‌های مصرف و هزینه‌ی ساختمان‌های گوناگون در طول دوره‌های زمانی و غربالگری و طبقه‌بندی آن‌ها بر مبنای پارامترهایی نظیر کاربری ساختمان و اقلیم منطقه حاصل می‌شود. فهرست نسبت‌های مرجع نیازمند آن است که به‌صورت دوره‌ای و هرچند سال یک‌بار اصلاح و به‌روزرسانی شود.

---

[1] *Hourly Analysis Program*

[2] *Ratio -based methods*

درصورتی‌که روش‌های بر مبنای نسبت به بهره‌گیری از نسبت‌های مرجع استاندارد مورداستفاده قرار گیرند می‌توانند منجر به درک سطح عمومی ساختمان شده و ثمرات دیگری نظیر آشکارسازی مشکلات بالقوه‌ی ساختمان از قبیل نشتی‌های بخار، کیفیت پایین سیستم‌های خنک‌کننده، هدر رفت و آب و ...، تشخیص لزوم یا عدم لزوم انجام ممیزی، تخمین مقدماتی کاهش مصرف و هزینه‌ی حاصل از ممیزی و ... را در پی داشته باشند.

فصل چهارم

پوشش ساختمان، ممیزی و راهکارها

چکیده

در فصل‌های گذشته به شرح مفهوم ممیزی و تعرفه گذاری، مباحث اولیه‌ی اقتصادی و معرفی روش‌ها و ابزارهای مدل‌سازی و تحلیل مصرف انرژی پرداخته شد. از این پس و در هفت فصل پیش‌رو، اجزای گوناگون سیستم انرژی ساختمانی و روش‌ها و راهکارهای ممیزی آن‌ها موردبحث قرار خواهد گرفت.

ازآنجایی‌که اهمیت پوشش ساختمانی به‌عنوان مرز فضای پیرامون و فضای نگهداری شده در شرایط طراحی انکارناپذیر است، مباحث این فصل با محوریت این موضوع ارائه خواهند شد.

در فصل پیش‌رو، پس از معرفی موضوع ممیزی پوشش ساختمانی و اطلاعات موردنیاز آن، به شرح پدیده‌ی نفوذ، روابط مربوط به آن، نمودارهای تخمین نفوذ درها و پنجره‌ها و راهکارهای مؤثر در کاهش میزان نفوذ هوا پرداخته می‌شود. در ادامه تبادل حرارتی پوسته در قالب‌های رسانشی و تابشی، روابط و ابزارهای مربوط به آن، تلفات سقف‌ها و راهکارهای مقابله‌ی با آن موردبررسی قرارگرفته و پس‌ازآن موضوع تلفات پنجره‌ها، انواع پنجره‌های رایج و روش‌ها و ابزارهای کاهش تلفات آن مطرح می‌گردد. در بخش پایانی نیز راهبردهای انرژی محور در روند طراحی ساختمان‌ها موردبحث قرار خواهد گرفت.

در مسیر انجام فرآیند ممیزی انرژی سیستم‌های ساختمانی، پوشش و جداره‌ی خارجی ساختمان به‌عنوان مرزی که فضای ساختمان را از محیط پیرامون آن متمایز می‌کند؛ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فضای محصورشده فضایی است که ازنظر شرایط دما، رطوبت، روشنایی و میزان آلاینده‌ها در وضعیت مشخصی قرار دارد. به‌این‌ترتیب پوشش ساختمان و اجزا و قسمت‌های آن تأثیر قابل‌توجهی بر چگونگی مصرف انرژی خواهند داشت. ممیزی پوشش ساختمانی نیازمند گردآوری اطلاعات گسترده‌ای از ابعاد، خصوصیات فیزیکی، ساعات بهره‌برداری، جنس مصالح، درها، پنجره‌ها و ... است. در ادامه، به مجموعه‌ای از داده‌های اساسی که به جمع‌آوری آن‌ها نیاز داریم، اشاره‌شده است.

۱. شاخصه‌های عمومی ساختمان
- جهت ساختمان
- جهت پنجره‌ها و موقعیت زون‌ها[1] (خصوصاً زون‌های نیازمند سرمایش)
- مشخصات مصالح به‌کاررفته در جداره‌ها

۲. مشخصات درها و پنجره‌های به‌کاررفته
- مساحت درها و پنجره‌ها
- نوع چارچوب
- نسبت سطح پنجره‌ها به سطح دیوارهای خارجی
- تک جداره یا دوجداره بودن پنجره‌ها و تعیین U-value هر یک.
- نوع سایبان‌ها و نوع پوشش پنجره‌ها
- تشخیص و تعیین درها و پنجره‌هایی که بیشتر در معرض باز و بسته شدن قرار دارند.
- بررسی وضعیت هم ترازی درها و پنجره‌ها با سطح چارچوب.
- شناسایی شیشه‌های شکسته
- وضعیت درزبندی درها و پنجره‌ها
- نورگیرها

[1] *Zone*

- پنجره‌های سقفی

۳. وضعیت عایق‌کاری

- نوع، ضخامت و محل عایق‌های به‌کاررفته
- وضعیت عایق‌کاری سقف (وضعیت سلامت عایق‌ها و تعیین طول عمر متوسط عایق‌های به‌کاررفته)
- رنگ سقف
- تعیین عایق‌های آسیب‌دیده و عایق‌هایی که در وضعیت خیس و مرطوب قرار دارند. (لازم است که این مرحله در مورد تأسیسات موتورخانه با دقت بیشتری انجام شود.)

❖ نمونه‌ی کاربردی ۴-۱

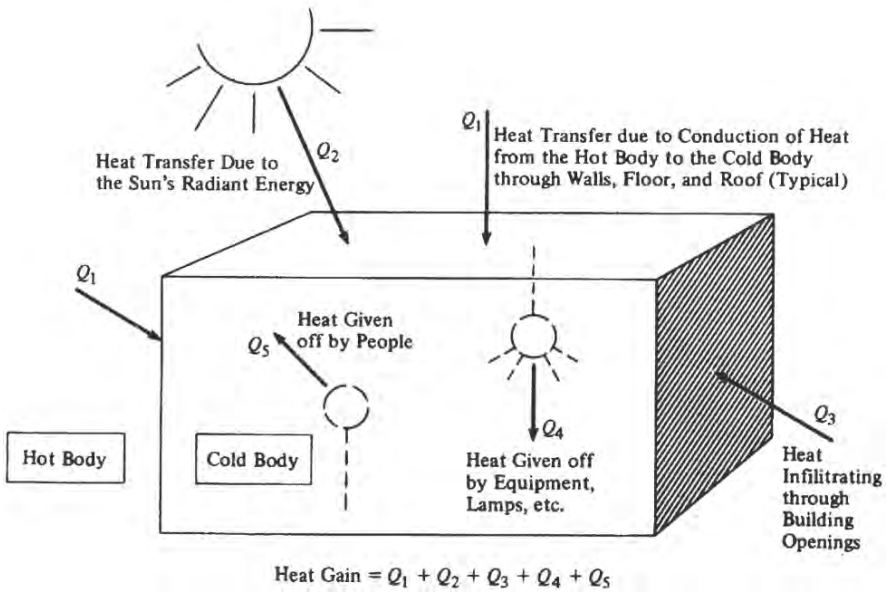
در مورد تأثیر کلی به‌کارگیری نورگیرها و پنجره‌های سقفی بر وضعیت مصرف انرژی ساختمان بحث کنید.

پاسخ: به‌کارگیری نورگیرهای سقفی می‌تواند به چند طریق گوناگون بر بالانس انرژی کلی ساختمان اثرگذار باشد.

۱. روشنایی حاصل از نورگیرها می‌تواند منجر به کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی شود به‌عنوان نمونه در ساختمانی که این نورگیرها ۶ درصد سطح خارجی آن را شکل می‌دهند در بیشتر ساعات روز نیاز به روشنایی مصنوعی احساس نمی‌شود.[۱]
۲. به‌کارگیری بیشتر نورگیرها و پنجره‌ها موجب افزایش ضریب جذب انرژی خورشیدی و در پی آن افزایش بار سرمایشی ساختمان خواهد شد.
۳. جذب بیشتر انرژی خورشیدی از طریق نورگیرها، می‌تواند منجر به کاهش بار حرارتی در فصول سرد سال شود

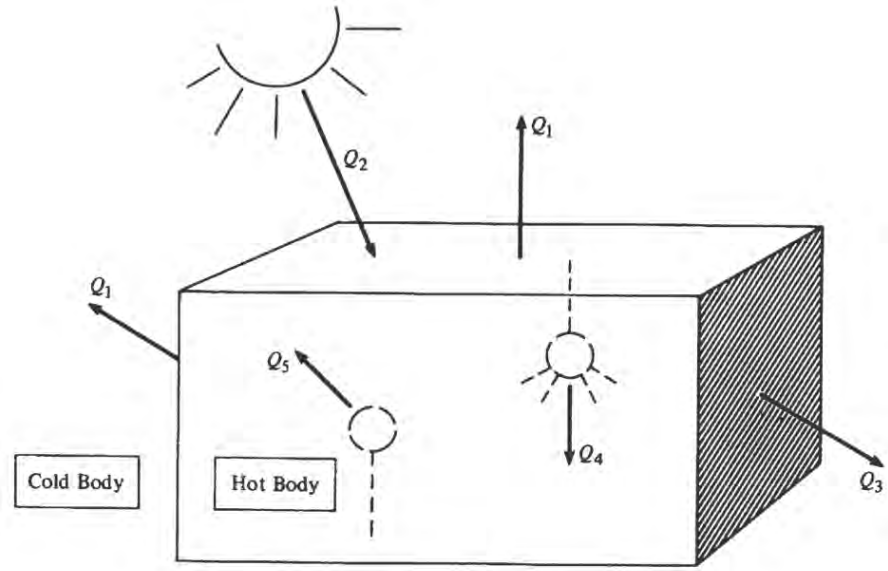
---

[۱]. *در صورت تمایل به کسب اطلاعات بیشتر در زمینه، می‌توانید به «Skylight Hand Book - Design Guidelines» مراجعه نمایید.*



$$\text{Heat Gain} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

تصویر ٤- ١: جذب و تولید حرارت در یک مدل ساختمانی



$$\text{Heat Loss} = Q_1 + Q_3 - Q_2 - Q_4 - Q_5$$

تصویر ٤- ٢: تلفات حرارتی در یک مدل ساختمانی

۴-۱) نفوذ هوا

نشت و نفوذ هوا[1] به درون یک ساختمان تأثیر حرارتی مشابهی با تهویه و تأمین هوای تازه دارد؛ با این تفاوت که نرخ و مقدار نفوذ آن قابل‌کنترل نیست. پدیده‌ی نفوذ هوا ثمره‌ی وجود ترک‌های ریزودرشت در بخش‌های مختلف جداره‌ی ساختمان، درز اطراف درها، پنجره‌ها و بازشوها در کنار تأثیر عواملی از قبیل سرعت و جهت بادهای محلی و پدیده‌ی دودکشی است.

اکنون این سؤال مطرح می‌شود که چگونه می‌توان حجم هوای نفوذی به ساختمان را تعیین کرد؟ در پاسخ می‌توان گفت که روش‌های گوناگونی برای محاسبه‌ی حجم هوای نفوذی به ساختمان وجود دارد که با توجه به محوریت موضوع و گستردگی مبحث محاسبه‌ی مقدار هوای نفوذی، صرفاً به ذکر نام متداول‌ترین روش‌های محاسبه اکتفا می‌کنیم (در صورت تمایل به کسب اطلاعات بیشتر و آشنایی با روابط محاسبه‌ی حجم نفوذی، به کتب تخصصی تهویه‌ی مطبوع مراجعه نمایید.)

رایج‌ترین روش‌های محاسبه حجم هوای نفوذی

۱. روش تعویض حجم هوا (این روش تقریبی بوده و دقت بالایی ندارد)
۲. روش دقیق هندبوک ASHRAE برای ساختمان‌های حداکثر سه‌طبقه.
۳. روش تجربی هندبوک ASHRAE
۴. روش هندبوک Carrier با عنوان سطح باز شونده‌ی پنجره‌ها
۵. روش هندبوک Carrierبا عنوان روش درز یا شکاف

پس از محاسبه‌ی حجم هوای نفوذی از یکی از روش‌ها به ترجیح، می‌توان بار تحمیل‌شده برای نفوذ هوا را از رابطه‌ی زیر تعیین کرد:

$$Q = 1.08 \times CFM \times \Delta T$$ رابطه‌ی ۴-۱

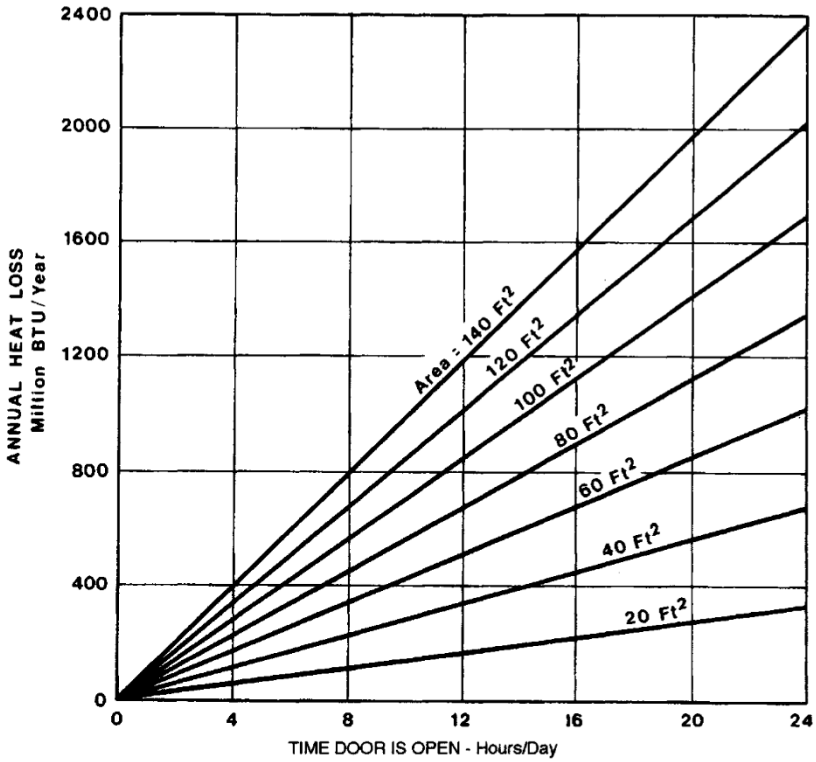
[1] *Infiltration*

Q: بار حرارتی (سرمایشی) تحمیل‌شده براثر نفوذ هوا (Btu/hr)

CFM: حجم هوای نفوذی (ft^3/min)

ΔT: اختلاف دمای طرح داخل و خارج $(°F)$

واضح است که تلفات حرارتی ناشی از نفوذ هوا از بازشوهای ساختمان، مقدار قابل‌توجهی را به خود اختصاص می‌دهد. لذا لازم است که به‌عنوان یکی از درگاه‌های اولیه‌ی اتلاف، محل‌های نفوذ هوا را به‌دقت موردبررسی قرارداد. نمودار ۴-۱ تأثیر ابعاد در و متوسط زمان باز بودن روزانه بر میانگین اتلاف سالانه‌ی انرژی را نمایش می‌دهد.



نمودار ٤- ١: میانگین اتلاف حرارتی سالیانه از طریق درها

نمودار فوق توسط «مؤسسه‌ی فناوری جورجیا»[1] طی بررسی مجموعه‌ای از ساختمان‌ها در شش‌ماهه‌ی سرد سال (اواسط اکتبر تا اواسط آوریل) و با فرض سرعت متوسط باد محلی

[1] *Georgia Institute of Technology (Georgia Tech)*

۴ mph و شرایط طرح داخلی ۷۵ °F (معادل ۱۸/۵° c) ارائه‌شده است. در صورت تمایل به استفاده از مقادیر نمودار ۴-۱ برای شرایط متفاوت می‌توان از رابطه‌ی ۴-۲ بهره برد.

رابطه‌ی ۴-۲ $$Q = Q_1 \times \frac{d}{5} \times \frac{65 \pm T}{13}$$

Q= تلفات حرارتی در شرایط موجود $(Btu/year)$

Q_1= مقدار تلفات حرارتی به‌دست‌آمده از نمودار ۴-۱

d= تعداد روزهای بهره‌برداری از فضا

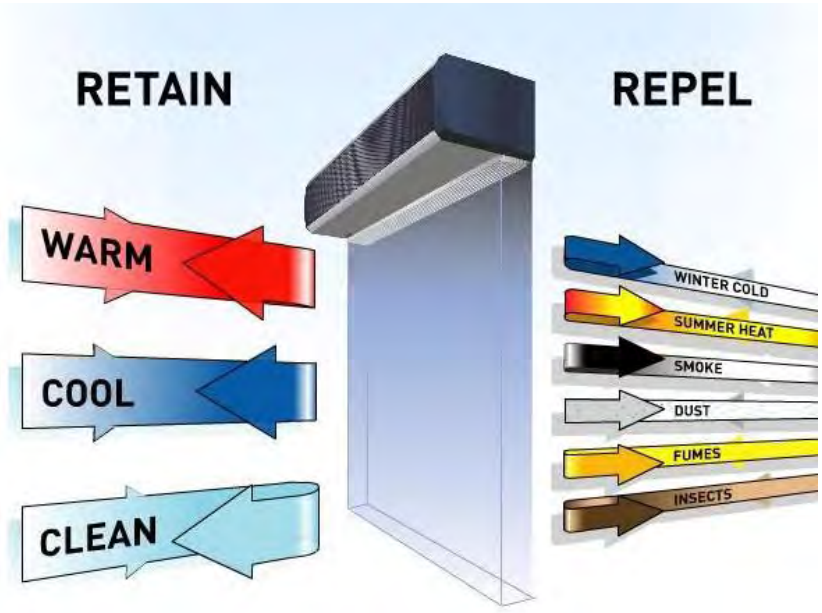
T= متوسط دمای طرح خارج زمستانی °F

یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش تلفات حرارتی درهایی که پیوسته در معرض باز و بسته شدن قرار دارند، استفاده از نوارهای وینیل است (تصویر ۴-۳). به‌کارگیری این نوارها می‌تواند در کاهش تلفات حرارتی تا حدود ۹۰ درصد مؤثر باشد. نکته‌ی اساسی در کاربرد این نوارها، جلب رضایت کاربران ساختمانی است؛ چراکه ممکن است کاربران احساس کنند این نوارها در مسیر رفت‌وآمد آن‌ها مزاحمت ایجاد کرده و یا آن‌که موجب پایین آمدن سطح ایمنی ساختمان شده است.



تصویر ٤- ۳: نوار وینیل، ابزاری برای کاهش هدر رفت حرارتی درها

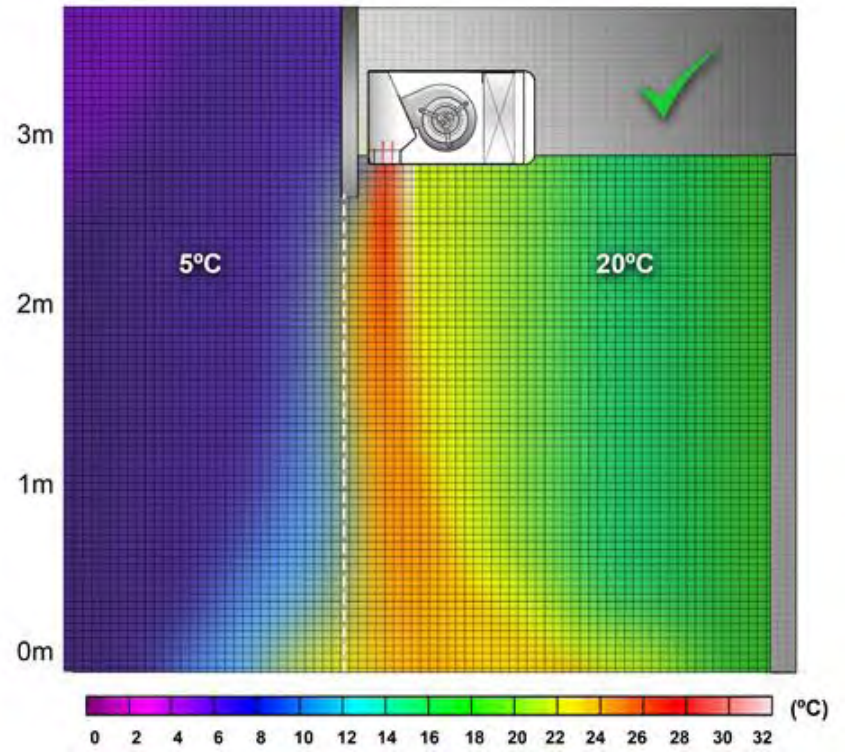
به‌عنوان راهکار دیگری برای کاهش تلفات ناشی از نفوذ هوا می‌توان به پرده‌ی هوایی[۱] و یا همان دروازه‌ی هوایی[۲] اشاره کرد. دروازه‌ی هوایی یا پرده‌ی هوایی دستگاهی است که برای جداسازی دو فضا از یکدیگر که معمولاً یکی از آن‌ها محیط خارج است، استفاده می‌شود. در بیشتر موارد پرده‌ی هوایی شامل یک فن دمنده است که بر بالای در ورودی نصب می‌گردد و هوا را به سمت پایین می‌دهد. پرده‌های هوای می‌تواند دارای هیتر برای گرمایش، کولر برای سرمایش و یا فاقد هردوی این‌ها باشند. به‌طورمعمول بازشو می‌تواند ورودی یک ساختمان و یا بازشو بین دو فضای تهویه شده در دماهای مختلف باشد.



تصویر٤- ٤؛ پرده‌ی هوایی

[1] *Air curtain*

[2] *Air door*



تصویر ٤- ٥:کانتور دمایی نمونه از تأثیر پرده‌ی هوایی

پرده‌ی هوایی می‌تواند برای اهداف مختلفی به کار رود. با ایجاد تلاطم شدید، پرده‌های هوایی می‌توانند برای کمک به خارج نگه‌داشتن حشرات به کار رود. پرده‌های هوایی همچنین هوای خارج را بیرون نگه می‌دارد و نفوذ هوا از ورودی را کاهش می‌دهد. پرده‌های هوایی می‌توانند در زمستان با مخلوط کردن هوای بیرون با هوای گرم شده توسط پرده‌ی هوایی، از جریان هوای سرد به داخل جلوگیری کنند. پرده‌های هوایی در تابستان با دمیدن هوای خنک بر روی هوای گرم ورودی از خارج، از ورود هوای گرم به داخل جلوگیری می‌کنند. لازم به ذکر است که فن انتخاب‌شده باید به‌اندازه‌ی کافی قوی باشد تا جت هوایی تولیدشده بتواند به زمین برسد.

❖ نمونه کاربردی ۴-۲

می‌خواهیم یکی از انبارهای یک مجموعه‌ی صنعتی بزرگ را ممیزی کنیم. ساعت کاری این انبار به‌صورت ۲۴ ساعته و ۶ روز در هفته است. سه در بزرگ به ابعاد ۱۰ft × ۱۰ft در سه ضلع مختلف این انبار قرار دارد که به‌طور متوسط روزانه ۸ ساعت در وضعیت باز هستند. اگر میانگین دمای طرح خارج در دوره‌ی سرد سال ۴۸ °F و دمای طرح داخل ۶۵ °F باشد، توجیه‌پذیری اقتصادی نصب نوارهای وینیل برای درهای این انبار به‌عنوان یک راهکار کاهش مصرف را موردبررسی قرار دهید (هزینه‌ی نصب نوار وینیل ۲۰۰۰ دلار، هزینه‌ی سوخت $۴\frac{\text{دلار}}{\text{میلیون بی تی یو}}$، بازدهی بویلر ۰/۶۵ و نوار وینیل‌ها در کاهش هدر رفت تا حدود ۹۰ درصد مؤثرند).

پاسخ:

با مراجعه به نمودار ۴-۱ خواهیم داشت:

$$Q = 600 \times 10^{12} \qquad {}^{\text{Btu}}/_{\text{year}}$$

با توجه به آن‌که شرایط مسئله با شرایط در نظرگرفته‌شده در نمودار ۴-۱ متفاوت است، لازم است که مقدار فوق با استفاده از رابطه‌ی ۴-۲ اصلاح شود.

$$Q = 600 \times 10^{6} \times \frac{6}{5} \times \frac{65 \pm 48}{13} = 941 \quad {}^{\text{million Btu}}/_{\text{Yr per door}}$$

$$Q_{\text{total}} = 3 \times 0.9 \times 941 \times 4 \frac{\$}{\text{million Btu}} + 65 = 15/635\$$$

بنابراین دوره‌ی بازگشت سرمایه‌ی ساده کمتر از یک سال بوده و به‌این‌ترتیب راهکار فوق می‌تواند راهکاری توجیه‌پذیر باشد.

به‌منظور تخمین مقدار هوای نفوذی از طریق درها و پنجره‌ها می‌توان از مقادیر ارائه‌شده در جدول ۴-۱ و نمودار ۴-۲ استفاده کرد.

جدول ٤ -۱: نفوذ هوا از طریق درها و پنجره‌ها (زمستان)

15 mph wind velocity						
DOUBLE HUNG WINDOWS ON WINDWARD SIDE						
DESCRIPTION	CFM PER SQ FT AREA					
	Small – 30" × 72"			Large – 54" × 96"		
	NO W–Strip	W–Strip	Storm Sash	NO W–Strip	W–Strip	Storm Sash
Average Wood Sash	0.85	0.52	0.42	0.53	0.33	0.26
Poorly Fitted Wood Sash	2.4	0.74	1.2	1.52	0.47	0.74
Metal Sash	1.60	0.69	0.80	1.01	0.44	0.50
NOTE: W–Strip denotes weatherstrip.						

CASEMENT TYPE WINDOWS ON WINDWARD SIDE										
DESCRIPTION	CFM PER SQ FT AREA									
	Percent Ventilated Area									
	0٪	25٪	33٪	40٪	45٪	50٪	60٪	66٪	75٪	100٪
Industrial Pivoted	0.65	1.44	–	1.98	–	–	–	2.9	–	5.2
Architectural Projected	–	0.78	–	–	–	1.1	1.48	–	–	–
Residential	–	–	0.56	–	–	0.98	–	–	–	1.26
Heavy Projected	–	–	–	–	0.45	–	–	0.63	0.78	–
Hollow Metal – Vertically Pivoted	54	1.19	–	1.64	–	–	–	2.4	–	4.3

DOORS ON ONE OR ADJACENT WINDWARD SIDES					
DESCRIPTION	CFM PER SQ FT AREA				
	Infrequent Use	Average Use			
		1 & 2 Story Building	Tall Building (ft)		
			50	100	200
Revolving Door	1.6	10.5	12.6	14.2	17.3
Glass Door -(3 /16" Crack)	0.9	30	36.0	40.5	49.5
Wood Door 3'7"	2.0	13.0	15.5	17.5	21.5
Small Factory Door	1.5	13.0			
Garage & Shipping Room Door	4.0	9.0			
Ramp Garage Door	4.0	13.5			

- All values are based on the wind blowing directly at the wind or door. when the prevailing wind direction is oblique to the windows or doors, multiply the above values by 0.6 and use the total window and door area on the windward side(s).
- Based on wind velocity at 15 mph. For design wind velocities different from the base, multiply the table values by the ratio of velocities.
- Stack effect in tall buildings may also cause infiltration on the leeward side. To evaluate this, determine the equivalent velocity(V_e)and subtract the design velocity(V).The equivalent velocity is:

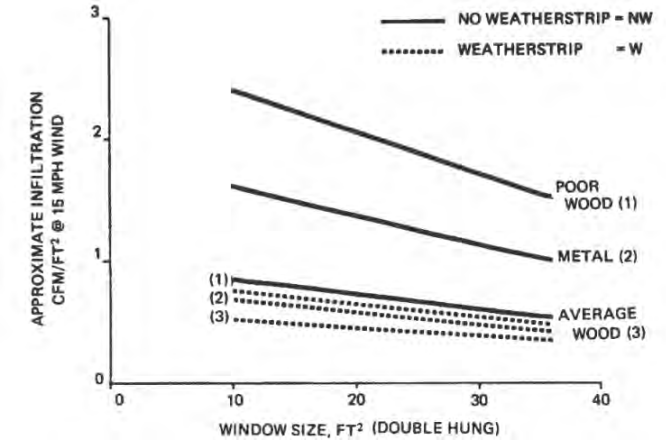
$$V_e = \sqrt{V^2 \pm 1.75a} \quad \text{(upper section)}$$

$$V_e = \sqrt{V^2 \pm 1.75b} \quad \text{(lower section)}$$

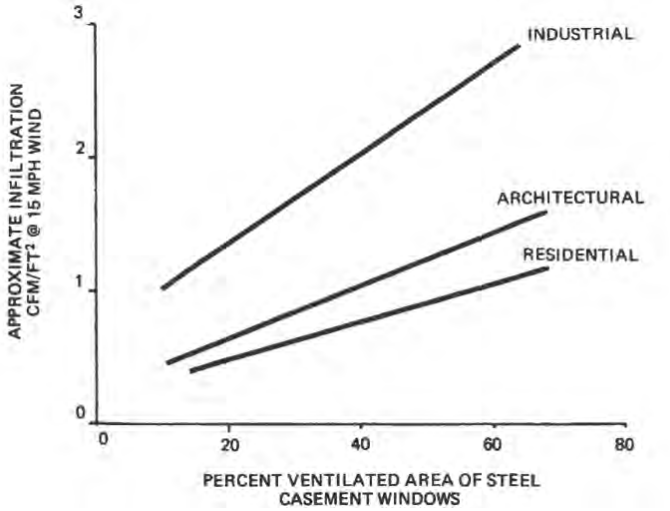
Where a and b are the distances above and below the mid-height of the building, respectively, in ft. Multiply the table values by the ratio ($V_e - V$)/15 for doors and one-half of the windows on the leeward side of the building.

(Use values under "1 & 2 story Building" for doors on leeward side of tall buildings.)

- Doors on opposite sides increase the above values 25٪. Vestibules may decrease the infiltration as much as 30٪ when door usage is light. If door usage is heavy, the vestibule is of little value in reducing infiltration. Heat added to the vestibule will help maintain room temperature near the door.



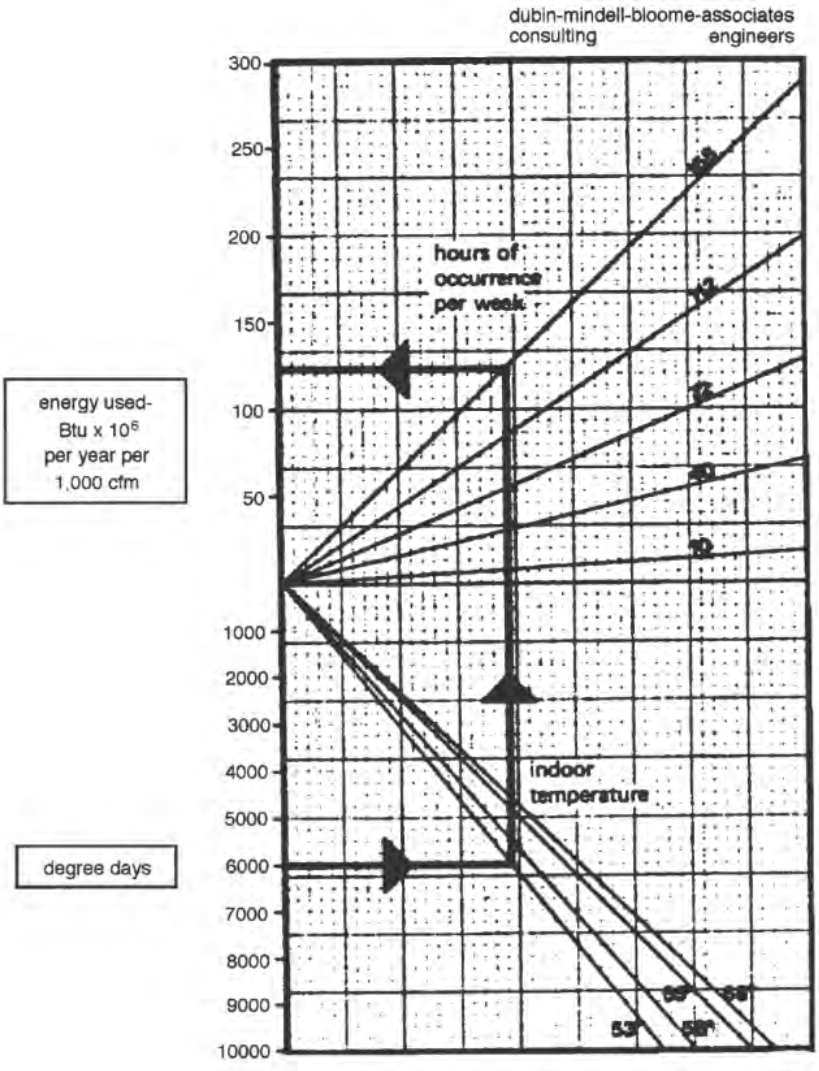
(الف)



(ب)

نمودار ٤- ٢: (الف)، (ب) نفوذ هوا از طریق درها و پنجره‌ها (زمستان)

نمودارهای ۴-۳ و ۴-۴ به‌منظور محاسبه‌ی صرفه‌جویی انرژی حاصل از کاهش مقدار هوای نفوذی در فصول سرد و گرم سال ارائه‌شده‌اند.



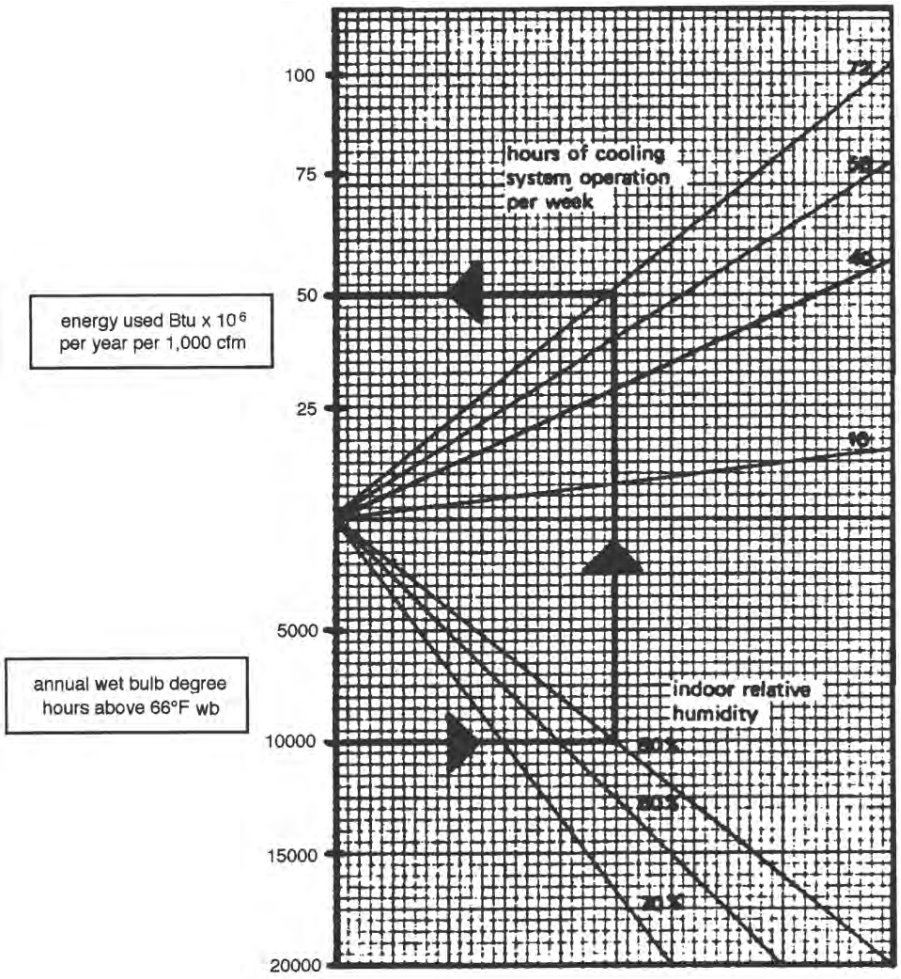
[Energy used is a function of the number of degree days, indoor temperature and the number of hours that temperature is maintained and Is expressed as the energy used per 1000 cfm of air conditioned. The energy used per year was determined as follows:

$$\text{Btu/yr} = (1000\ \text{cfm})\ (\text{Degree Days/yr})\ (24\ \text{hr/day}\ 1.08)^{*}$$

Since degree days are base 65°F line. The upper section proportions the hours of system operation with 168 hr/wk being 100%.

* 1.08 is a factor which incorporates specific heat, specific volume, and time]

نمودار ٤- ٣: مصرف سالانه‌ی انرژی برای هوای نفوذی با مقدار ۱۰۰۰ cfm



[WE degree hours based on 12 Mos /Yr, 8 Hr /Day Energy used is a function of the WB degree hours above the base of 66 °F, the RH maintained the No. of hours of controlled humidity. The base RH is 50٪ which is approximately 78 °F DB,66 °F WB. The figure expresses the energy used per 1000 cfm of air conditioned or dehumidified.]

نمودار ٤- ٤: مصرف سالانه‌ی انرژی برای هوای نفوذی با مقدار ۱۰۰۰cfm در شرایط رطوبتی متفاوت

❖ نمونه‌ی کاربردی ۴-۳

طی ممیزی یک مجموعه‌ی مسکونی بزرگ، ۳۰۰ پنجره‌ی لغزان دارای قاب چوبی که به‌خوبی درزبندی نشده‌اند، موردتوجه گروه ممیزی قرارگرفته است. صرفه‌جوی انرژی و هزینه‌ی سالانه‌ی حاصل از نصب درزگیر برای این پنجره‌ها را تخمین بزنید.

- ابعاد پنجره: $54\ \text{in} \times 96\ \text{in}$ (تمامی پنجره‌ها هم‌اندازه در نظر گرفته شوند)
- روز–درجه: ۸۰۰۰
- متوسط هزینه‌ی گرمایش: $4\$ / 10^6\ \text{Btu}$
- ۱/۲ پنجره‌ها در تمام مدت بهره‌برداری، رو به باد در نظر گرفته شوند.
- جمع ساعات بهره‌برداری: ۵۷۶۰ ساعت در سال
- روز–ساعت حباب‌تر: ۲۰۰۰ بزرگ‌تر از $65\ ^\circ\text{F}$
- متوسط سرعت تابستانی باد ۱۰mph
- مصرف انرژی سیستم سرمایشی $0/8 \frac{\text{KW}}{\text{Ton}-\text{Hr}}$
- دمای طرح داخل زمستانی $68\ ^\circ\text{F}$
- میانگین رطوبت نسبی تابستانی: ۵۰٪
- بازدهی بویلر: ۶۵٪

پاسخ:

مساحت هر یک از پنجره‌ها: $\frac{56\times96}{144} = 36\ \text{ft}^2$

با مراجعه به جدول ۴-۱ می‌توان مقادیر زیر را تعیین کرد:

حالت بدون درزبند: $1/52\ \frac{\text{CFM}}{\text{ft}^2}$

حالت همراه با درزبند $0,47\ \frac{\text{CFM}}{\text{ft}^2}$

مقدار هوای نفوذی $= 36 \times \frac{300}{2} \times 1.52 = 8208\ c\text{fm}$

مقدار هوای نفوذی پس از نصب درزبند = $36 \times \frac{300}{2} \times 0.47 = 2538 \ \text{cfm}$

کاهش مقدار نفوذ پس از نصب درزبند = $8208 - 2538 = 5670 \ \text{cfm}$

اکنون با مراجعه به نمودار ۴-۳ خواهیم داشت:

$Q = 100 \times 10^6 \quad \text{Btu/year/1000cfm}$

صرفه‌جویی زمستانی = $5.67 \times 100 \times 10^6 \times 4\$/10^6/0.65 = 3489\$$

و سپس با مراجعه به نمودار ۴- ۴:

$Q = 10 \times 10^6 \quad \text{Btu/year/1000cfm}$

صرفه‌جویی تابستانی = $5.67 \times 10 \times 10^6/12000 \times 0.8 \times 0.05 \times 10/15 = 125\$$

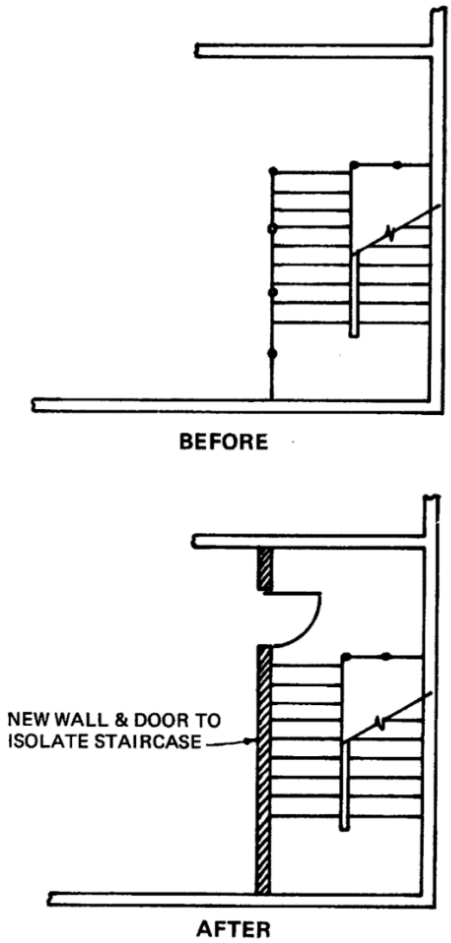
(سرعت باد محلی ۱۰ mph)

صرفه‌جویی کل سالانه = 3614 $

۴-۲) کاهش مقدار هوای نفوذی

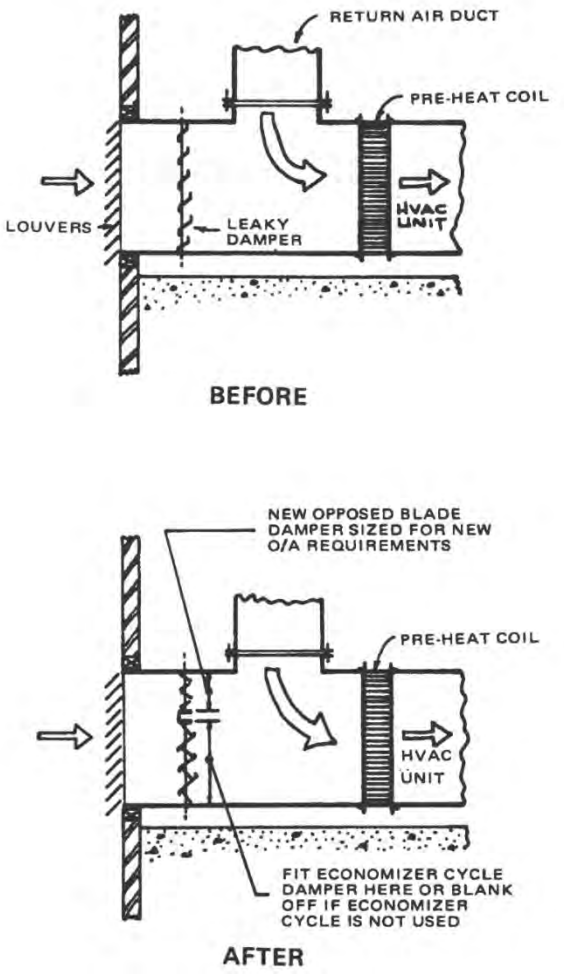
تاکنون پدیده نفوذ، شیوه‌ی محاسبه‌ی مقدار هوای نفوذی و هدر رفت حرارتی حاصل از آن موردبحث قرار گرفت. اکنون در این بخش به معرفی برخی راهکارهای مؤثر در کاهش میزان نفوذ هوا پرداخته خواهد شد.

علاوه بر نواربندی و درزبندی بازشوها که به‌عنوان راهکاری رایج و البته مؤثر مورداستفاده قرار می‌گیرد، راهکارهای گوناگون دیگری وجود دارد که لازم است در پی تشخیص درگاه اتلاف طرح و اجرا شود.



تصویر ٤- ٦: عایق‌بندی راه‌پله

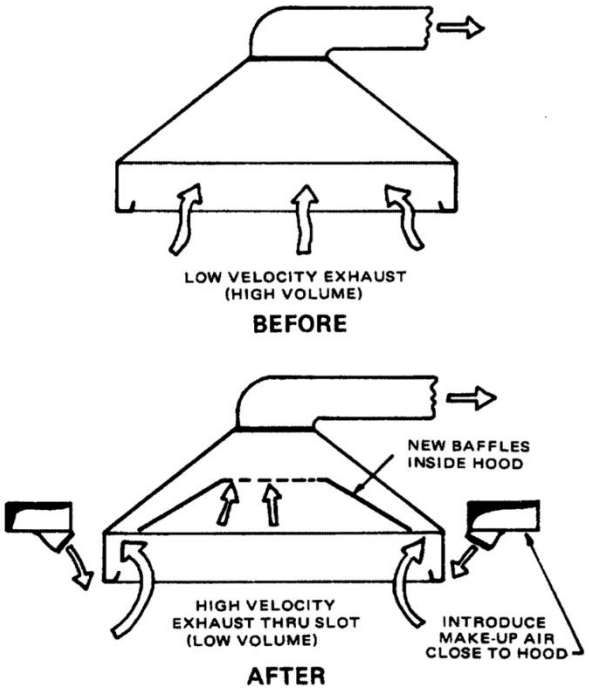
در موارد بسیاری مشاهده‌شده است که دمپرهای هوای تازه کیفیت مناسبی ندارند و به‌این‌ترتیب موجبات نفوذ و ورود هوای بیشتری را فراهم می‌کنند. افزون بر این، کارکرد نادرست کنترل گرها و عملکرد دمپرها می‌تواند در ورود بیش از نیاز هوا و در پی آن اتلاف انرژی و عدم دست‌یابی به دمای مطلوب اثرگذار باشد. تعریض دمپرهای معیوب با دمپرهای باکیفیت، همراه با تیغه‌های متقابل و هوابند در انتهای تیغه‌ها، کاهش مقدار هوای نفوذی را در پی خواهد داشت.



تصویر ٤- ٧: جایگزینی دمپرهای هوای تازه – باهدف کاهش میزان نفوذ هوا

دیگر موردی که غالباً نیازمند توجه و بررسی می‌باشد، اگزاست فن و هود مورداستفاده در آشپزخانه‌ها، رستوران‌ها و کارگاه‌هاست. به‌منظور امکان دفع دود، بخارات و سایر مواد زائد موجود در فضا، عموماً این هودها در سرعت‌ها و دورهای بالایی کار می‌کنند که به‌این‌ترتیب پیوسته مقادیر قابل‌توجهی از هوای داخل را به بیرون دفع می‌کنند، هوایی که در زمستان گرم و در تابستان سرد شده و درواقع برای آن انرژی مصرف‌شده است. به‌منظور بهبود عمومی کارایی این هودها، می‌توان از راهکارهای زیر بهره برد.

- انتخاب هودی با ظرفیت متناسب با کاربری و ابعاد فضا؛ استفاده از هود بزرگ‌تر صرفاً خروج هوای بیشتر و در پی آن تلفات بالاتر را به همراه دارد.
- دستیابی تجربی به حداقل سرعتی که کیفیت مطلوب هوا را فراهم می‌کند.
- کاهش میزان هوای خروجی طی نصب تعدادی بافل[1] در فضای درون هود (تصویر ۴-۸)



تصویر ٤- ٨: کاهش تلفات اگزاست هودها

۴-۳) انتقال حرارت هدایتی از جداره‌های ساختمان

همان‌طور که می‌دانید گرادیان دما نیرومحرکه‌ی انتقال حرارت از یک محیط به محیط دیگر است. حال اگر در دو سمت یک دیوار اختلاف دما وجود داشته باشد، گرما از محیط با دمای بالاتر به سمت محیط سردتر شارش پیدا می‌کند. در شرایطی که انتقال حرارت یک‌بعدی و پایا در نظر گرفته شود، می‌توان نرخ انتقال حرارت را از رابطه‌ی ۴-۳ محاسبه کرد.

[1] *Baffle*

رابطه ۴-۳ $Q = \frac{k}{d}.A.\Delta T \quad , \quad U = \frac{k}{d} = \frac{1}{R}$

Q: نرخ انتقال حرارت

d: ضخامت جداره

A: مساحت سطح دیوار یا جداره

U: ضریب انتقال حرارت جداره

K: رسانندگی حرارتی

R: مقاومت حرارتی

در شرایطی که جداره‌ی موردنظر از کنار هم قرار گرفتن چند ماده‌ی مختلف تشکیل‌شده باشد، مقاومت حرارتی معادل کل جداره برابر مجموع مقاومت لایه‌هاست. پس از محاسبه‌ی مقاومت حرارتی کل می‌توان با به‌کارگیری رابطه‌ی ۴-۳، U-Value جداره را تعیین کرد.

در مبحث نوزده مقررات ملی ساختمان با موضوع صرفه‌جویی در مصرف انرژی، روندی به‌منظور محاسبه‌ی ضریب انتقال حرارت کل پوسته‌ی واحدهای ساختمانی و با در نظر گرفتن تمامی بخش‌های پوسته اعم از سقف، کف، بازشوها و ... ارائه‌شده است. در ادامه مقادیری برای محاسبه‌ی ضریب انتقال حرارت مرجع با احتساب نوع ساختمان، چگونگی بهره‌برداری و گروه ساختمانی بر مبنای نسبت سطح پوسته‌ی خارجی نورگذر مطرح‌شده تا به‌این‌ترتیب بتوان از وضعیت مناسب پوشش ساختمانی اطمینان حاصل کرده و یا در صورت اختلاف آن با مقدار مرجع، تدبیری برای بهبود آن اندیشید. در صورت تمایل به آشنایی بیشتر با روند مذکور، روابط و معادلات محاسبه‌ی ضریب انتقال حرارت کل و مرجع به مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان مراجعه نمایید.

❖ نمونه کاربردی ۴-۴:

پله‌ای شدن دما، مشکلی است که در سیستم‌های گرمایشی فاقد قابلیت چرخش هوا صورت می‌پذیرد. به‌این‌ترتیب که دمای هوا در محدوده‌ی زیر سقف ساختمان به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در فضایی به مساحت ۲۰۰۰۰ فوت مربع که با مشکل مذکور روبه‌رو بود، از یک فن سقفی برای به گردش درآوردن هوا استفاده شد. ثمره‌ی این راهکار، کاهش دمای هوای

مجاور سقف از ۹۰°F به ۷۵°F بوده است. بار حرارتی تحمیلی کاهش‌یافته، حاصل از اجرای این راهکار را محاسبه کنید. (سقف ساختمان در مجاورت هوای خارج و دمای هوای بیرونی ۱۵°F در نظر گرفته شود، مجموع مقادیر هوای نفوذی و هوای تازه ۲۰۰۰۰ cfm فرض شده و ضریب U برای سقف معادل با ۰/۱ است.)

پاسخ:

پیش از به‌کارگیری فن سقفی:

$$Q_{conduction} = U.A.\Delta T = 0.1 \times 20000 \times (90 - 15) = 150000 \ {}^{Btu}/_{h}$$

$$Q_{cfm} = 1.08 \times cfm \times \Delta T = 1.08 \times 20000 \times (90 - 15) = 1620000 \ {}^{Btu}/_{h}$$

$$Q_{total} = 150000 \ {}^{Btu}/_{h} + 1620000 \ {}^{Btu}/_{h} = 177000 \ {}^{Btu}/_{h}$$

پس از به‌کارگیری فن سقفی:

$$Q_{conduction} = U.A.\Delta T = 0.1 \times 20000 \times (75 - 15) = 120000 \ {}^{Btu}/_{h}$$

$$Q_{cfm} = 1.08 \times cfm \times \Delta T = 08 \times 20000 \times (75 - 15) = 1296000 \ {}^{Btu}/_{h}$$

$$Q_{total} = 120000 \ {}^{Btu}/_{h} + 12960000 \ {}^{Btu}/_{h} = 1416000 \ {}^{Btu}/_{h}$$

$$\text{صرفه‌جویی متوسط حاصل} = \left[1 - \left(\frac{1416000}{1770000}\right)\right] \times 100 = 20\%$$

۴-۴) انتقال حرارت تشعشعی از جداره‌های ساختمان

در بررسی میزان حرارت انتقال‌یافته از جداره‌های ساختمان، انتقال حرارت تابش و هدایتی می‌تواند مستقل از هم موردبررسی قرار گیرند.

تابش، یکی از مکانیسم‌های انتقال حرارت است که طی آن گرما به‌صورت امواجی از اجسام ساطع‌شده و این امواج می‌توانند توسط جسم‌های دیگر جذب شوند. به‌طورکلی می‌توان گفت حرارتی که در قالب امواج به یک جسم تابیده می‌شود، می‌تواند عبور کرده و یا

جذب یا منعکس شود. میزان حرارت تابشی جذب‌شده توسط یک جسم به عوامل گوناگونی از قبیل مساحت سطح، دمای سطح و گسیلندگی سطح جسم بستگی دارد.

رابطه‌ی ۴-۴ $Q = e \times \sigma \times A \times T^4$

Q: نرخ انتقال حرارت تابشی

e: گسیلندگی سطح جسم

σ: ثابت استفان – بولتزمن

A: مساحت سطح جسم

نکته‌ی مهمی که لازم است موردتوجه قرار گیرد، آن است که در فصول گرم سال، دما در سطح جداره‌هایی که در معرض تابشی قرار دارند، بالاتر از دمای طرح خارج است؛ بنابراین به‌منظور محاسبه‌ی انتقال حرارت هدایتی این جداره‌ها در فصول گرم سال باید از اختلاف های دمای معادل $(\Delta T_{equivalent})$ استفاده شود.

۴-۵) وارسی وضعیت سقف‌ها

پیش از شروع مباحث این بخش باید اشاره‌کنیم که تمامی جداول و نمودارهای ارائه‌شده با در نظر گرفتن بار داخلی ۱۲ Btu /square feet/ hour در زمان بهره‌برداری، تأمین هوای تازه با مقدار ۱۰٪ هوای تغذیه در زمان بهره‌برداری و نفوذ تمام مدت هوا با ضریب تعویض ۰/۵ طرح‌شده‌اند.

جداول ۴-۲ و ۴-۳ مقادیر تلفات و جذب حرارتی از طریق سقف‌هایی با پوشش تیره و روشن را برای چند شهر گوناگون نمایش می‌دهد. (در مقادیر ارائه‌شده سهم هر یک از مکانیسم‌های تابشی و هدایتی در نظر گرفته‌شده است.)

جدول ٤ -۲: تلفات حرارتی از سقف‌ها- سالانه

City	Latitude	Solar Radiation Langley's	Degree-Days	Heat Loss through Roof Btu / Ft^2 Year			
				U = 0.19		U = 0.12	
				a = 0.3	a = 0.8	a = 0.3	a = 0.8
Minneapolis	45 °N	325	8382	35250	30967	21330	18642
Denver	40 °N	425	6283	26794	22483	16226	13496
Concord , NH	43 °N	300	7000	32462	27678	19649	16625
Chicago	42 °N	350	6155	27489	23590	16633	14190
St. Louis	39 °N	375	4900	20975	17438	12692	10457
New York	41 °N	350	4871	21325	17325	12911	10416
San Francisco	38 °N	410	3015	10551	8091	6381	4784
Atlanta	34 °N	390	2983	12601	9841	7619	5832
Los Angeles	34 °N	470	2061	4632	3696	2790	2142
Phoenix	33 °N	520	1765	5791	4723	3487	12756
Houston	30 °N	430	1600	6045	4796	3616	2778
Miami	26 °N	451	141	259	130	139	55

a is the absorption coefficient of the building material

a = 0.3 (White)

a = 0.5 (Light colors such as yellow , green , etc.)

a = 0.8 (Dark colors)

جدول ٤ -۳: جذب حرارت از سقف‌ها- سالانه

City	Latitude	Solar Radiation Langley's	Degree-Days	Heat Loss through Roof Btu / Ft^2 Year			
				U = 0.19		U = 0.12	
				a = 0.3	a = 0.8	a = 0.3	a = 0.8
Minneapolis	45 °N	325	2500	2008	8139	1119	4728
Denver	40 °N	300	1750	1892	7379	1043	4257
Concord , NH	43 °N	425	4055	2458	9859	1348	5680
Chicago	42 °N	350	3100	2104	7918	1185	4620
St. Louis	39 °N	375	6400	4059	12075	2326	7131
New York	41 °N	350	3000	2696	9274	1534	5465
San Francisco	38 °N	410	3000	566	5914	265	3354
Atlanta	34 °N	390	9400	4354	14060	2482	8276
Los Angeles	34 °N	470	2000	1733	100250	921	5759
Phoenix	33 °N	520	24448	12149	24385	7258	14649
Houston	30 °N	430	11500	7255	20931	4176	12369
Miami	26 °N	451	10771	9009	24594	5315	14716

a is the absorption coefficient of the building material

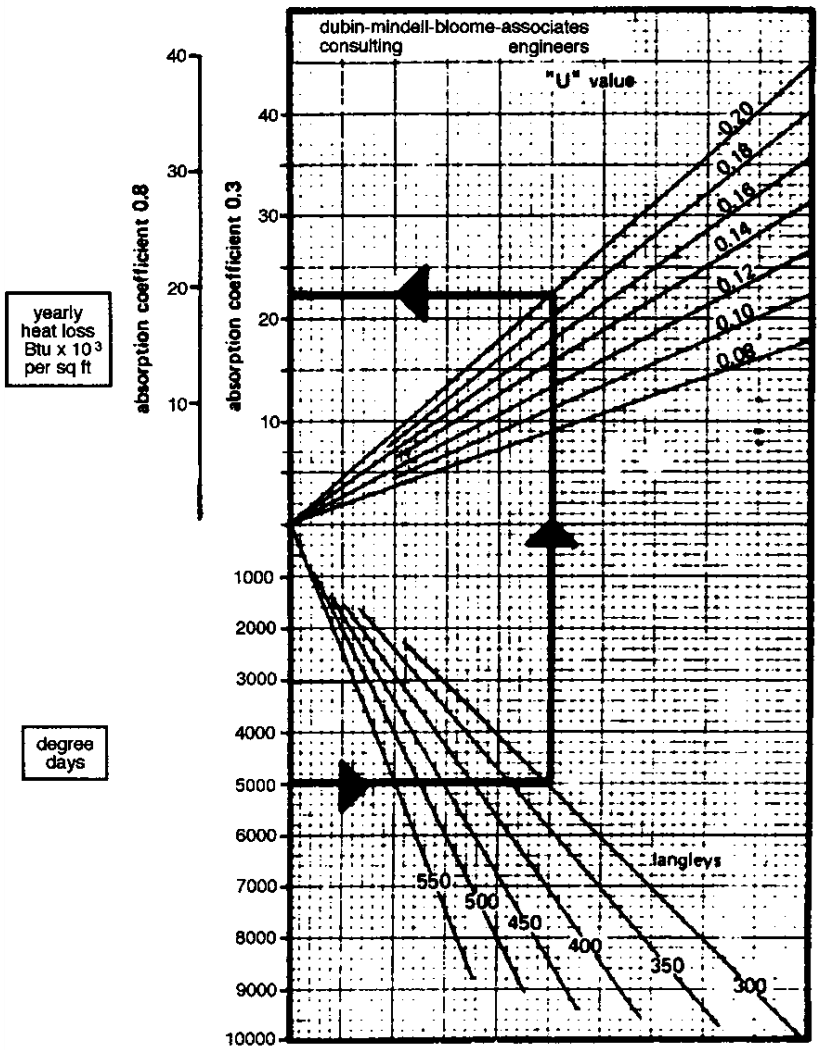
a = 0.3 (White)

a = 0.5 (Light colors such as yellow , green , etc.)

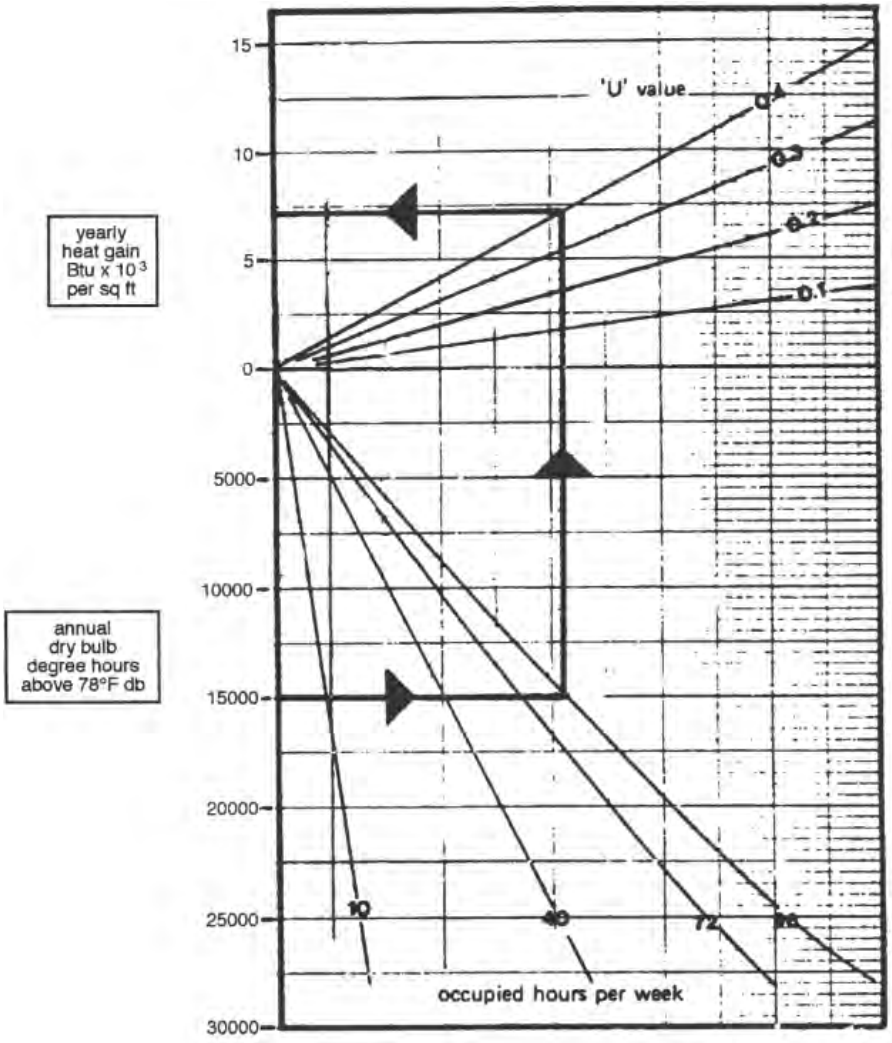
a = 0.8 (Dark colors)

همان‌گونه که مشاهده می‌کنید، سقف‌های تیره‌رنگ تلفات حرارتی کمتری در فصول سرد سال و جذب حرارتی بالاتری را در فصل‌های گرم سال به همراه دارند. در سوی مخالف، پوشش روشن سقف‌ها تأثیر وارونه‌ای را در پی خواهد داشت.

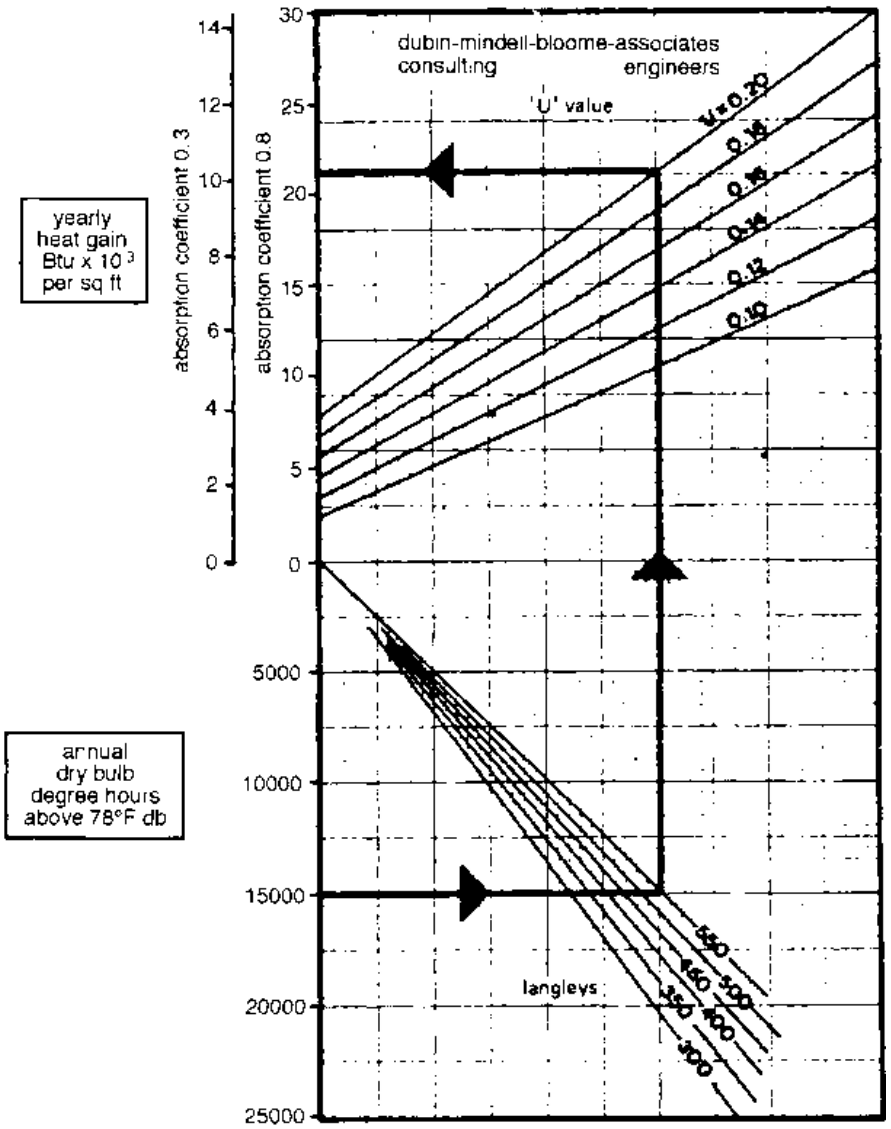
عایق‌کاری یکی از راهکارهای متداول برای افزایش مقاومت حرارتی پوسته و در پی آن کاهش بار گرمایشی و سرمایشی تحمیل‌شده از جانب سقف‌هاست. به‌منظور تخمین میزان هدررفت و جذب حرارتی از طریق سقف‌ها و همچنین محاسبه‌ی کاهش جذب و اتلاف طی فرآیند عایق‌کاری، می‌توان از نمودارهای ۴-۵ تا ۴-۷ استفاده کرد (مقادیر به‌دست‌آمده با احتساب تلفات تابشی و هدایتی و با در نظرگرفتن اختلاف دمای معادل در فصول گرم سال ارائه‌شده‌اند.)



نمودار ٤- ٥: تلفات حرارتی سالیانه از طریق از سقف‌ها



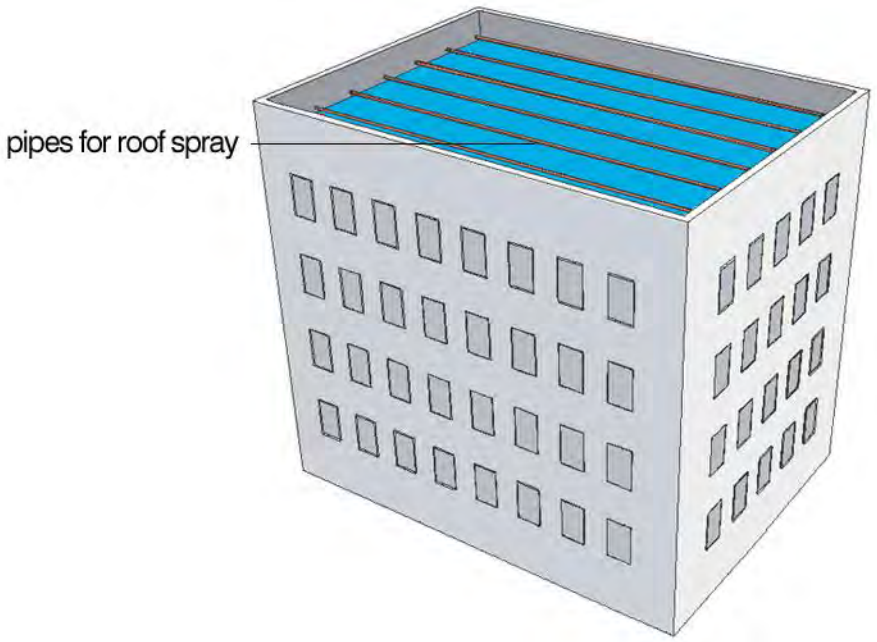
نمودار ٤- ٦: جذب حرارت سالیانه از طریق دیوارها، سقف و کف (رسانشی)



نمودار ٤- ٧: جذب حرارت سالیانه از طریق دیوارها و سقف (تابشی)

همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز مطرح شد، رنگ سقف تأثیر قابل‌توجهی بر میزان بار سرمایشی ساختمان دارد؛ بنابراین با روشن کردن رنگ سطوح خارجی سقف می‌توان تا حدی از مقدار بار سرمایشی ساختمان‌ها کاهید. به‌عنوان اقدامی برای دست‌یابی به این منظور می‌توان سطح پشت‌بام را با لایه‌ی نازکی از شن سفید پوشانید (البته در این روش به دلیل تحمیل وزن اضافی بر ساختمان باید به محدودیت‌های سازه‌ای – خصوصاً در متراژهای بالا – توجه کرد).

روش دیگری که می‌تواند برای کاهش بار تحمیل‌شده از جانب سقف‌ها به‌کاربرده شود، استفاده از سیستم افشانه‌های آب است. در این سیستم باهدف کاهش دما در سطح پشت‌بام، ذرات آب بر روی سقف افشانده می‌شوند.



تصویر ٤- ۹: سیستم افشانه‌های آب

۴-۵-۱) سرویس‌های کامپیوتری

عموماً تولیدکنندگان عایق‌های سقف و پنجره به‌منظور تخمین صرفه‌جویی حاصل از به‌کارگیری محصولاتشان، یک مدل‌ساز یا برنامه‌ی محاسبه کننده‌ی تحت سیستم‌عامل و یا تحت وب را ارائه می‌دهند. مدل‌سازهای مذکور که غالباً به‌صورت رایگان ارائه می‌شوند، می‌توانند ابزار سودمندی برای پیمانکاران، ممیزین و مالکان ساختمان باشند.

❖ **نمونه کاربردی ۴-۵)**

طی ممیزی یک ساختمان مقادیر زیر در بررسی پوشش ساختمان ارائه‌شده است.

زیربنای مفید: $۲۰۰۰۰ ft^2$

R-Value موجود: ۸

روز – درجه زمستانی: ۳۰۰۰

مدت‌زمان بهره‌برداری: ۴۰ ساعت در هفته

روز – ساعت حباب خشک بالاتر از $78^\circ F$: ۹۴۰۰

بازدهی بویلر: ٪۶۵

هزینه‌ی سوخت مصرفی: $۵\$ / ۱۰^۶ Btu$

توان مصرفی سیستم تهویه‌ی مطبوع: $۸ \quad {}^{kW}/_{Ton-Hr}$

هزینه‌ی متوسط الکتریسیته‌ی مصرفی: $۶ \quad {}^{¢}/_{kWh}$

ضریب جذب سطح پشت‌بام: ۰/۳

تابش خورشیدی: ۳۹۰ Lang Leys

شرکت خدمات انرژی مربوط، در گزارش خود نصب یک لایه‌ی عایق اضافی با مقاومت R = ۱۳ را پیشنهاد کرده است. صرفه‌جویی حاصل از اجرای این راهکار را بررسی کنید.

پاسخ:

$$R_T = R_1 + R_2 = 8 + 13 = 21$$

$$U_{Before} = \frac{1}{8} = 0.125$$

$$U_{After} = \frac{1}{21} = 0.047$$

صرفه‌جویی حاصل از نصب عایق برابر خواهد بود با:

✓ صرفه‌جویی زمستانی

با مراجعه به نمودار ۴-۵ خواهیم داشت:

$Q_{Before} = 7\ \text{Btu} \times 10^3 \text{per square feet}$

$Q_{After} = 2\ \text{Btu} \times 10^3 \text{per square feet}$

صرفه‌جویی حاصل= $(7-2) \times 10^3 \times 20 \times 10^3 \times 5/10^6/0/65 = 769\$$

✓ صرفه‌جویی تابستان

- رسانش

با مراجعه به نمودار ۴-۶ خواهیم داشت:

$Q_{Before} = 1 \times 10^3$ Btu/sq ft/yr

$Q_{After} = 0.4 \times 10^3$ Btu/sq ft/yr

کاهش مصرف= $(1-0.4) \times 10^3 \times 20000 = 12000 \times 10^3\ Btu/_{yr}$

- تابش

با مراجعه به نمودار ۴-۷ خواهیم داشت:

$Q_{Before} = 8.5 \times 10^3$ Btu/sq ft/yr

$Q_{After} = 2.5 \times 10^3$ Btu/sq ft/yr

کاهش مصرف= $(8.5-2.5) \times 10^3\ \text{Btu/sq ft/yr} \times 20000 = 120000 \times 10^3\ \frac{\text{Btu}}{\text{yr}}$

صرفه‌جویی حاصل= $\frac{12000+120000}{12000} \times 10^3 \times 0/8 \times 0/06 = 528\$$

بنابراین صرفه‌جویی حاصل از اجرای راهکار پیشنهادی برابر خواهد بود با:

صرفه‌جویی کل= $769\$ + 528\$ = 1297\$$

جدول ۴-۴ مقادیر U-Value پیشنهادی برای عایق‌کاری سقف‌ها و دیوارها را با توجه به میزان روز – درجه نمایش می‌دهد.

جدول ٤ -٤: عایق پیشنهادی برای سقف، کف و دیوار (با توجه به مقادیر روز – درجه)

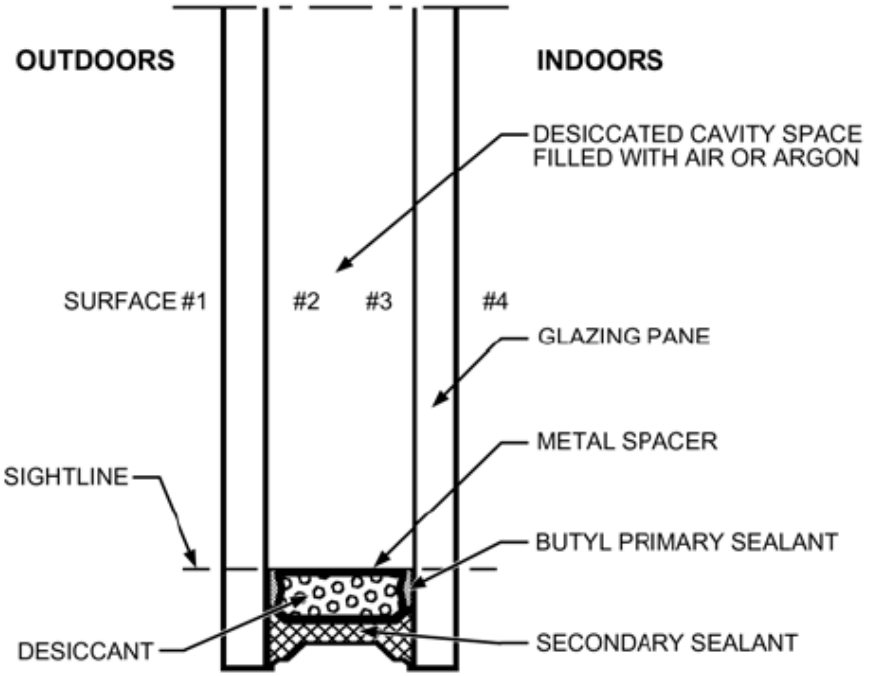
INSULATION VALUE FOR HEAT FLOW THROUGH OPAQUE AREAS OF ROOFS AND CEILINGS	
Heating Season Degree-Days	U value (Btu/hr/sq ft/°F)
1 – 1000	0.12
1001 – 2000	0.08
2001 and above	0.05
INSULATION VALUE FOR HEAT FLOW THROUGH OPAQUE EXTERIOR WALLS FOR HEATED ARAS	
Heating Season Degree-Days	U value (Btu/hr/sq ft/°F)
0 – 1000	0.30
1001 – 2500	0.25
2500 – 5000	0.20
5000 - 8000	0.15
Cooling Season – The recommended U value of insulation for heat flow through exterior roofs,ceilings,and walls should be less than 0.15 Btu/hr/sq ft/°F.	

۴-۶) وارسی وضعیت پنجره‌ها

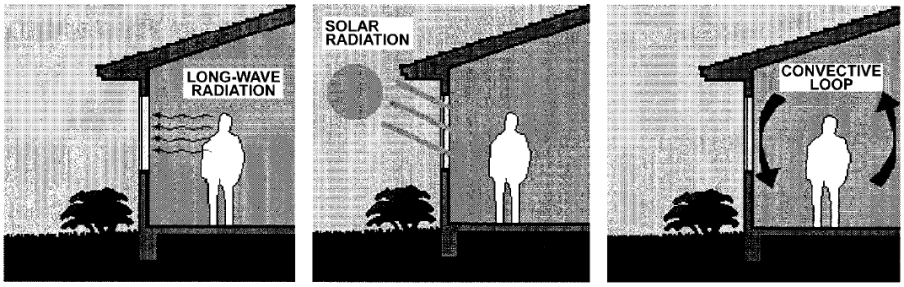
۴-۶-۱) هدایت حرارت از طریق پنجره‌ها

در فرآیند ممیزی انرژی، پنجره‌ها به دلیل نقش قابل‌توجهی که در تبادل حرارت هدایتی و تأثیری که برجذب حرارت ناشی از تابش خورشید دارند، از جایگاه ویژه و اثرگذاری برخوردار هستند. زمانی که از ممیزی پنجره‌ها سخن گفته می‌شود، تمامی اجزای آن از قبیل شیشه (نوع، کیفیت، میزان مات بودن و ...)، نوع چارچوب به‌کاررفته، تک یا دوجداره بودن پنجره‌ها، عمق پنجره از سطح خارجی دیوار، سایبان به‌کاررفته (نوع، جنس، رنگ، ساختار سایبان و داخلی یا خارجی بودن آن)، اسپیسر به‌کاررفته و... باید به‌دقت موردبررسی قرار گیرند.[۱]

[۱]. *درصورت تمایل به آشنایی بیشتر با پنجره‌ها و جزئیات و اجزای سازنده آن می‌توانید به ASHRAE - Handbook of fundamentals Fenesteration مراجعه نمایید*



تصویر ٤- ۱۰: نمایی از یک پنجره‌ی دوجداره‌ی متداول



تصویر ٤- ۱۱: آثار پنجره بر میزان آسایش حرارتی

اکنون این سؤال مطرح می‌شود که چگونه می‌توان مقادیر تلفات و جذب حرارت از طریق پنجره‌ها را محاسبه کرد؟

برای پاسخ به این سؤال به معرفی رابطه‌ی ۴-۵ پرداخته می‌شود.

$$Q = UA_{pf}(T_{out} - T_{in}) + (SHGC)A_{pf}\,E_t + (AL)A_{pf}\rho C_p(T_{out} - T_{in})$$

رابطه‌ی ۴-۵ [1]

Q: نرخ تبادل حرارت (watts)

U: ضریب انتقال حرارت کلی – با احتساب قاب پنجره و نواحی میانی و پیرامونی شیشه $(\frac{W}{m^2.K})$

A_{pf}: مساحت تصویر قائم پنجره (m^2)

T_{in}: دمای طرح داخل $(^\circ C)$

T_{out}: دمای طرح خارج $(^\circ C)$

SHGC: ضریب جذب انرژی خورشیدی (بدون بعد)

E_t: چگالی تابش خورشیدی $(\frac{W}{m^2})$

AL: ضریب نفوذ هوا $(^{m^3}/_{s.\,m})$

ρ: چگالی هوا (kg/m^3)

C_p: گرمای ویژه‌ی هوا $(^{kJ}/_{kg.\,k})$

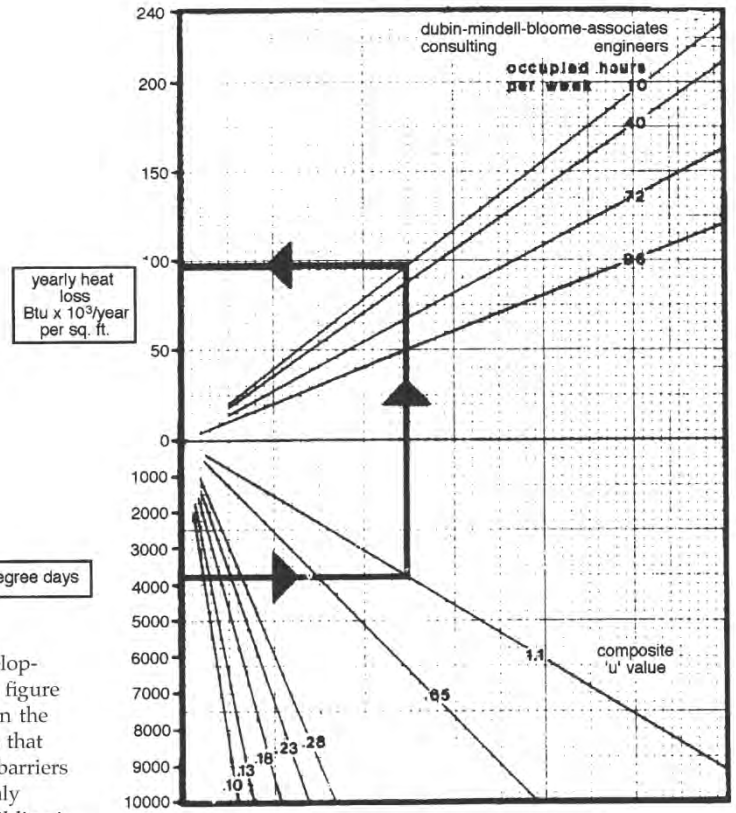
نکته‌ی مهمی که باید به آن توجه کرد آن است که ضریب انتقال حرارتی که در معادله‌ی ۴-۵ به کار می‌رود ضریب انتقال حرارت کلی است؛ چراکه مقادیر این ضریب در قسمت میانی (cg)، پیرامونی (eg) و فرم پنجره (f) غالباً متفاوت است.

$$U = \frac{U_{cg}.A_{cg}+U_{eg}.A_{eg}+U_f.A_f}{A_{pf}}$$

رابطه‌ی ۴-۶

در نمودارهای ۴-۸ تا ۴- ۱۰ مقادیری ارائه‌شده است که می‌تواند به‌منظور تعیین مقدار سالانه‌ی تلفات و جذب حرارتی از طریق پنجره‌ها مورداستفاده قرار گیرد.

[1] *در این رابطه تأثیر سه عامل هدایت، تابش و نفوذ در نظر گرفته شده است.*



NOTE

The development of this figure was based on the assumptions that

1. Thermal barriers are closed only when the building is unoccupied
2. The average degree-day distribution is 25% during the daytime and 75% during nighttime.

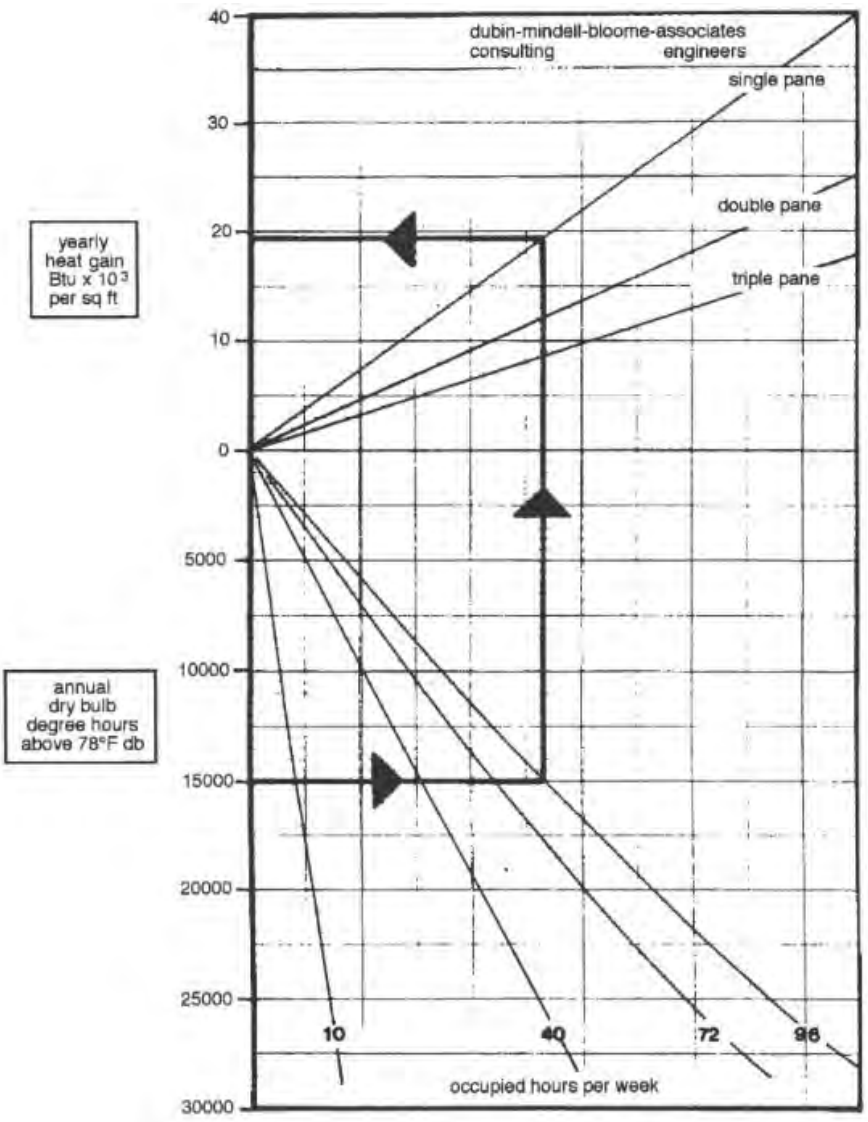
The number of degree days occurring when the thermal barriers are closed (adjusted degree-days – DO_A) were determined from the characteristic occupancy periods shown in the figure. This can be expressed as a fraction of the total degree-days (DO_T) by the relationship:

$$DD_A = 0.25DD_T\left(\frac{\text{unoccupied daytime hours/week}}{\text{total daytime hours/week}}\right) +$$

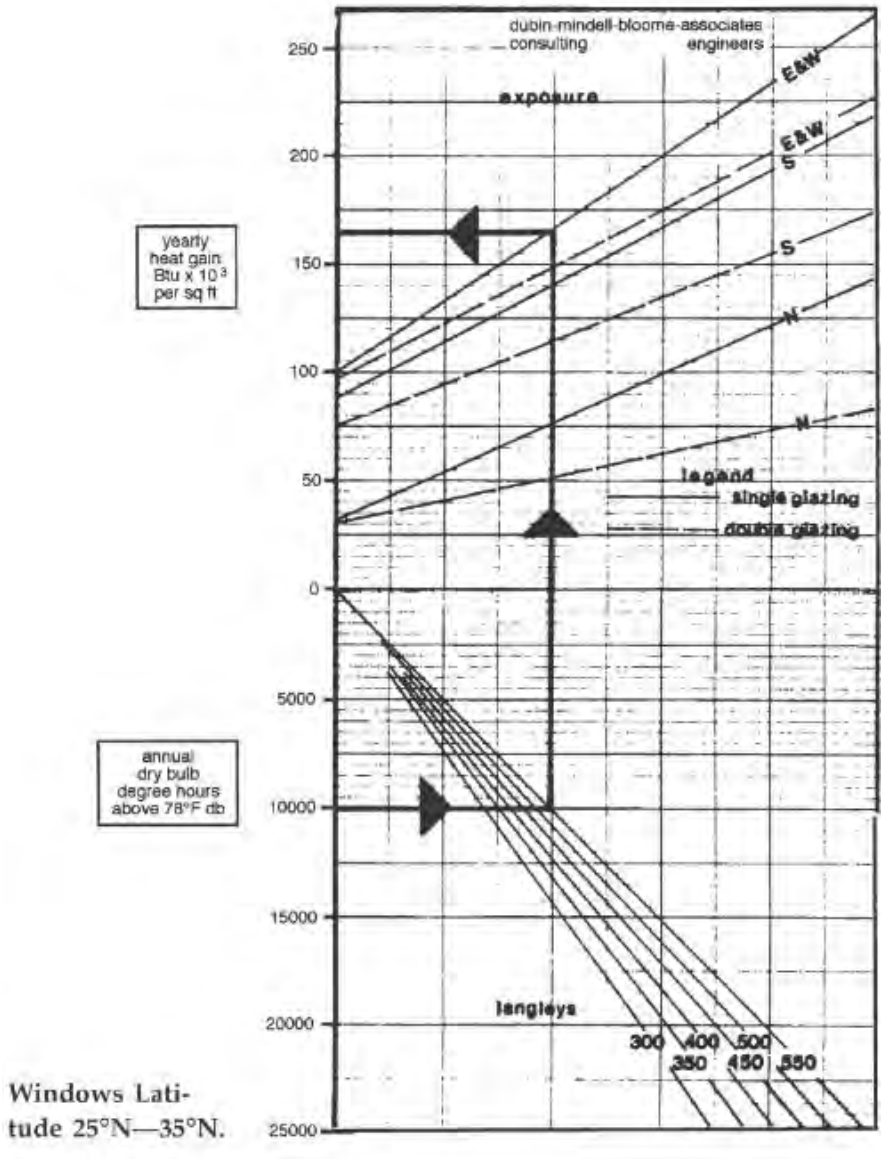
$$0.75DD_T\left(\frac{\text{unoccupied nighttime hours/week}}{\text{total nighttime hours/week}}\right)$$

Yearly heat losses can then be determined by: Q (heat loss/yr) = DD_A × U value × 24

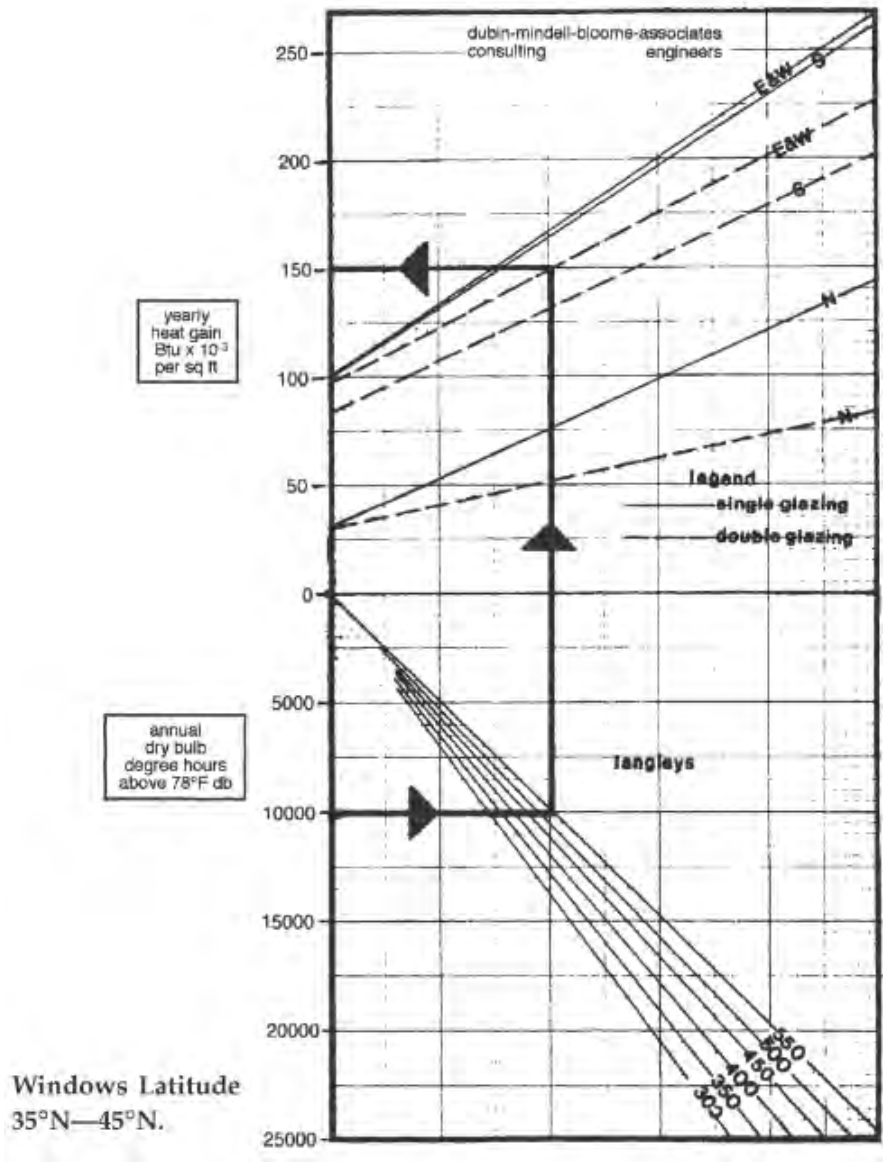
نمودار ٤- ٨: مقادیر سالانه‌ی تلفات حرارتی از پنجره‌های دارای مانع حرارتی (کاهنده‌ی تلفات)



نمودار ٤- ٩: مقادیر سالانه‌ی جذب حرارت هدایتی از طریق پنجره‌ها


dubin-mindell-bloome-associates
consulting
engineers
exposure
E&W
E&W
S
S
N
N
legend
single glazing
double glazing
yearly heat gain Btu x 10³ per sq ft
annual dry bulb degree hours above 78°F db
250
200
150
100
50
0
5000
10000
15000
20000
25000
langleys
300
350
400
450
500
550
Windows Latitude 25°N—35°N.

(الف)

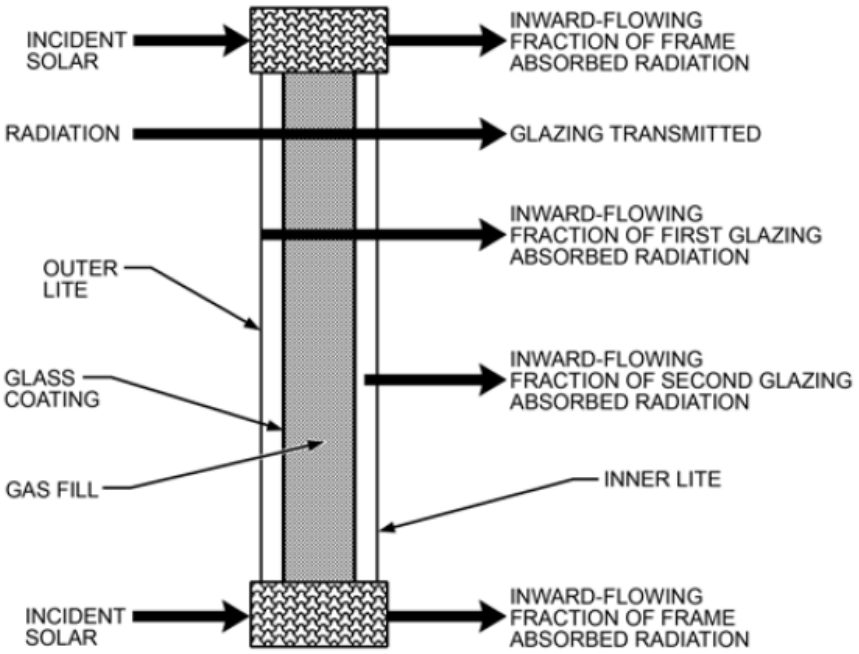


(ب)

نمودار ٤- ١٠: مقادیر سالانه‌ی جذب حرارت تابشی از طریق پنجره‌ها

۴-۶-۲) تابش حرارت از طریق پنجره‌ها

افزون بر تلفات هدایتی که پیش‌ازاین موردبحث قرار گرفت، عبور تابش‌های خورشیدی از پنجره‌ها نقش قابل‌توجهی بر میزان بارهای ساختمانی دارد. عبور و جذب تابش‌های خورشیدی موجب بالا رفتن میزان بار سرمایشی در فصول گرم سال و کاهش بار حرارتی در فصل‌های سرد سال می‌شود. اگرچه میزان تأثیری که بر بارهای سرمایشی دارد بسیار بزرگ‌تر و چشمگیرتر است.



تصویر ٤- ۱۲: تابش حرارت از طریق پنجره‌ها

عبارت دوم رابطه‌ی ۴-۵ بیانگر بار تابشی تحمیل‌شده از جانب پنجره‌هاست.

۴-۷) کاهش تلفات پنجره‌ها

طبعاً بار تحمیلی از جانب پنجره‌ها، ثمراتی از قبیل افزایش مصرف انرژی، بالا رفتن هزینه‌ها و نارضایتی ساکنین را در پی خواهد داشت. به‌منظور مقابله با تلفات مذکور می‌توان از ابزارها و راهکارهایی گوناگون با هزینه‌ی اولیه‌ی متفاوت بهره برد که در ادامه‌ی این بخش به معرفی این راهکارها و ابزارها پرداخته خواهد شد.

انتخاب متناسب نوع و ساختار پنجره

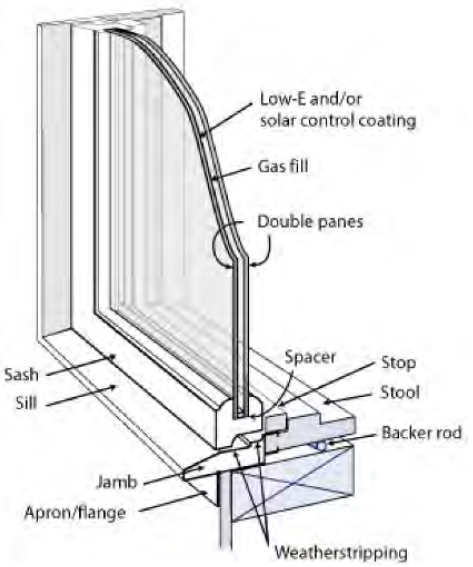
در ادامه‌ی فصل و در بخش ۴-۸ به بایدها و نبایدهایی که لازم است در معماری ساختمان و طراحی جهت پنجره‌ها و سایبان‌ها موردتوجه قرار گیرد، اشاره خواهد شد. در پی طراحی مناسب موقعیت پنجره‌ها در جداره‌ی ساختمان، لازم است که نوع پنجره به‌خوبی انتخاب‌شده و تا حد امکان از بعد ساختاری، از پنجره‌ای با حداقل تلفات استفاده شود. در تصویر ۴-۱۳ به انواع گوناگون پنجره‌ها اشاره‌شده است. مقادیر تلفات حاصل از نفوذ در هر یک از انواع، متفاوت با دیگرگونه‌هاست. به‌عنوان نمونه پنجره‌های سایبانی پس از پنجره‌های ثابت حداقل تلفات و پنجره‌های با قاب لغزان بیشترین تلفات (در شرایط یکسان) را دارا هستند.



تصویر ٤- ۱۳: انواع متداول پنجره

آشکار است که به‌کارگیری پنجره‌های دوجداره در مقایسه‌ی با پنجره‌های تک جداره‌ی مرسوم، کاهش قابل‌توجه تلفات انرژی را در پی خواهد داشت. البته لازم به ذکر است که تفاوت میان پنجره‌های تک جداره و پنجره‌های دوجداره‌ی غیراستاندارد با قاب‌های

آلومینیومی و آهنی، آن‌چنان نیز چشمگیر نیست، چراکه ضریب هدایت حرارتی آهن در حدود $۷۲ W/m^2.K$ و آلومینیوم ساده در حدود $۲۷۲ W/m^2.k$ است که در مقایسه با قاب‌های استاندارد یوپی‌وی‌سی[1] (ضریب هدایت حرارتی $۲/۱ W/m^2.K$ تا $۲/۹ W/m^2.K$) و قاب‌های آلومینیوم ترمال بریک[2] (ضریب هدایت حرارتی در حدود $۳/۱ W/m^2.K$ تا $۵/۸ W/m^2.K$) اختلاف قابل‌توجهی دارد.



تصویر ٤- ١٤: نمونه‌ای از ساختار معمول پنجره‌های دوجداره

برچسب‌های شیشه

ورود بیش‌ازاندازه‌ی تابش‌های خورشیدی به فضای درون ساختمان‌ها، ثمراتی از قبیل تحمیل بار سرمایشی، رنگ‌پریدگی تجهیزات و دکوراسیون خانگی و آسیب‌رسانی به پوست را در پی خواهد داشت. برچسب‌های شیشه، گستره‌ای وسیع از برچسب‌های پلی‌استری چندلایه هستند که باهدف کاستن میزان تابش ورودی و در برخی موارد کاهش ضریب انتقال حرارت پنجره‌ها به کار می‌رود (اگرچه به‌کارگیری این برچسب‌ها، فواید دیگری نظیر

[1] *UPVC*

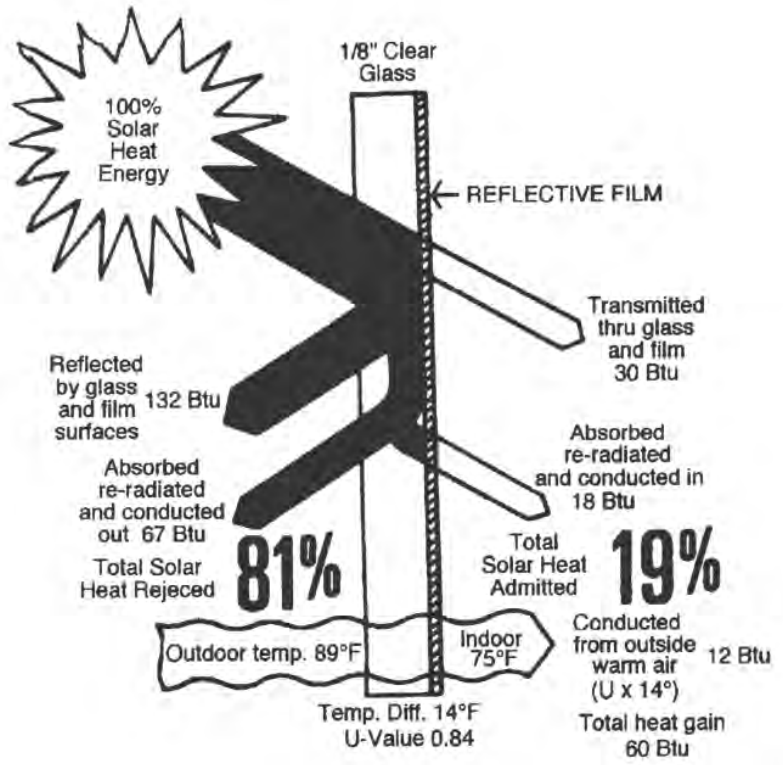
[2] *Thermal break*

دفع تابش‌های شدید و خیره‌کننده، افزایش استحکام شیشه‌ها در برابر ضربه، زلزله و انفجار، جلوگیری از ریزش در صورت شکسته شدن و کاهش میزان رؤیت پذیری را در پی خواهد داشت). ساختار چندلایه‌ای برچسب‌های شیشه، متشکل از لایه‌ی چسب برای چسباندن فیلم به شیشه و لایه‌ی بازدارنده اشعه‌ی فرابنفش و لایه‌ی فلزپوش متشکل ازفلزات سنگین از قبیل نقره، آلیاژ نیکل و کروم و... که خاصیت دفع حرارتی اشعه‌ی خورشید را داراست و لایه‌ی ضد خش و سایش است. البته لازم به ذکر است که تعداد و ساختار لایه‌ها در محصولات شرکت‌های گوناگون متفاوت می‌باشد.

برچسب‌های شیشه در انواع بسیار متنوع و در گستره‌ی وسیعی از خصوصیات عمومی، نظیر ضریب عبور نور مرئی، ضریب سایه (تا حدود ۰/۲۵)، ضریب بازتاب حرارت خورشید (تا حدود ۰/۸) و ضریب انتقال حرارت تولید می‌شوند. برچسب‌های مذکور در طرح‌ها و رنگ-های گوناگونی در دسترس بوده و می‌توانند برای سطوح خارجی و داخلی شیشه به کار روند.



تصویر ٤- ۱۵: برچسب شیشه



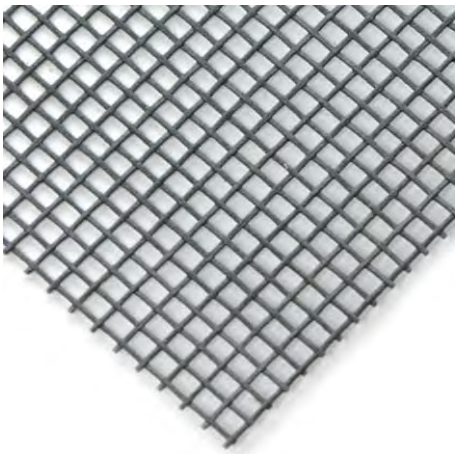
تصویر ٤- ١٦: نمونه‌ای از تأثیر برچسب‌های شیشه

صفحات کاهنده‌ی تابش‌های خورشیدی

صفحات کاهنده‌ی تابش‌های خورشیدی، صفحاتی هستند که از الیاف شیشه‌ای وینیل پوش بافته می‌شوند، تا ضمن کاهش میزان تابش‌های ورودی و مقابله با تابش‌های خیره‌کننده، تلفات زمستانی را نیز تا حدودی کاهش دهند.

صفحات مذکور در طرح‌ها و رنگ‌های گوناگونی در دسترس بوده و با توجه به رنگ و نوع بافت، ضریب سایه‌ای در محدوده‌ی ۰/۳ تا ۰/۵ فراهم می‌کنند.

صفحات کاهنده می‌توانند به‌صورت قاب‌های ریلی افقی و عمودی، قاب‌های صلب قابل‌نصب و برداشتن و کرکره‌های غلتکی قابل تنظیم دستی یا ریموت‌دار مورداستفاده قرار گیرند.



تصویر ٤- ۱۷: صفحات کاهنده‌ی تابش‌های خورشیدی



تصویر ٤- ۱۸: صفحات کاهنده‌ی تابش‌های خورشیدی

پرده‌های عایق حرارتی

پرده‌های عایق حرارتی، تجهیزاتی با ساختار مشبک توخالی هستندکه به‌واسطه‌ی نفوذ هوا در فضاهای خالی ایجادشده، مقاومت مضاعفی را در برابر نفوذ و خروج حرارت، فراهم می‌کنند.

در شرایطی که پرده‌های عایق حرارتی به‌خوبی انتخاب و نصب شوند، بهبود مقاومت حرارتی تا حدود R ۵٫۵ برای پنجره‌های دوجداره و تا حدود R ۴٫۵ برای پنجره‌های تک جداره‌ی استاندارد را در پی خواهند داشت.

پرده‌های عایق در طرح‌ها و رنگ‌های بسیار گوناگون و متنوع تولیدشده و می‌توانند همراه با کرکره‌های دستی ریموت‌دار مورداستفاده قرار گیرند.



تصویر٤- ۱۹: پرده‌ی عایق حرارتی



تصویر٤- ۲۰: پرده‌ی عایق حرارتی

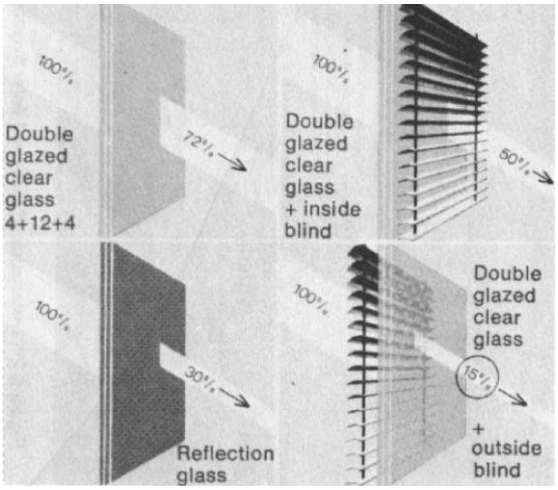
پرده‌های ونیزی[1] و لوور[2]های داخلی و خارجی

پرده‌های ونیزی و لوورهای داخلی و خارجی، آرایه‌ای از تیغه‌های افقی یا عمودی هستند که به‌صورت متصل به یکدیگر جابجا می‌شوند تا میزان تابش ورودی موردنظر ساکنین را فراهم کنند. ابزارهای مذکور می‌توانند برای بخش داخلی و یا خارجی پنجره‌ها به کار روند و چنانچه به شیوه‌ای مناسب انتخاب و نصب شوند، کنترل بسیار مناسب تابش‌های خورشیدی را در پی خواهند داشت.

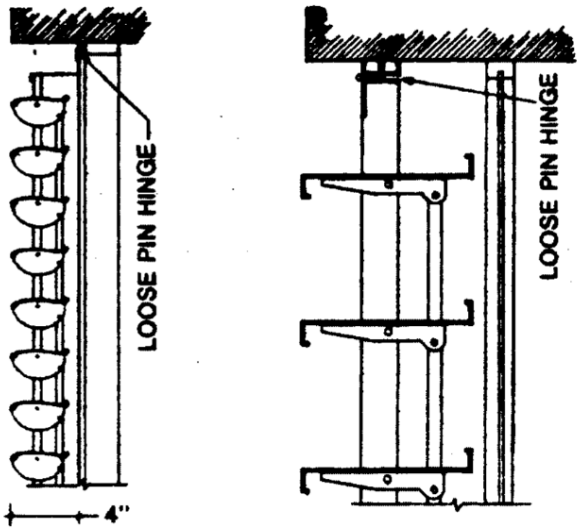
[1] *venetian blind*

[2] louver

پرده‌های ونیزی و لوورها، می‌توانند به‌صورت دستی ریموت‌دار و یا همراه با ساعت‌های زمانی و یا کنترل‌گرهایی که وضعیت تیغه‌ها را برمبنای شدت تابش یا میزان روشنایی داخل تنظیم می‌کنند مورداستفاده قرار گیرند.



تصویر ٤- ۲۱: پرده‌ی ونیزی



تصویر ٤- ۲۲: لوورهای پنجره

۴-۸) نکاتی در مورد طراحی مناسب ساختمان‌ها

معماری هوشمندانه و طراحی توأم با در نظر گرفتن ابعاد گوناگون محیطی و اقلیمی، اولین گام برای دست‌یابی به هدف ساختمان بهینه است. برای شیوه‌های سودمند طراحی و چگونگی بهره‌برداری حداکثری از پتانسیل‌های موجود، حوزه‌ی بسیار وسیعی است که خود در منابع مربوط به‌صورت گسترده موردبحث قرار می‌گیرد. بااین‌حال با توجه به محوریت مطالب کتاب پیش‌رو برخی پارامترهایی که لازم است در طراحی ساختمان‌ها موردتوجه قرار بگیرند، در این بخش معرفی می‌شوند.

معماری ساختمان‌ها باید به شیوه‌ای صورت پذیرد که تا حد امکان با اقلیم منطقه همسو باشد به‌گونه‌ای که از شرایط مطلوب طبیعی حداکثر استفاده به عمل آید تا مقدار انرژی موردنیاز برای تأمین گرمایش و سرمایش به حداقل رسیده و بخشی از آن نیز به شیوه‌ی طبیعی تأمین شود. برخی فاکتورهایی که لازم است موردتوجه قرار گیرند، عبارت‌اند از:

جهت‌گیری ساختمان

جهت‌گیری ساختمان نسبت به جنوب در میزان بهره‌گیری از انرژی خورشید بسیار مؤثر است. جهت‌گیری مناسب به این معناست که جداره‌های نور گذر جنوبی به‌منظور بهره‌برداری بیشتر از انرژی تابشی خورشید در سردترین روز سال از ساعت ۹ صبح تا ۳ بعدازظهر در معرض تابش خورشید قرار گیرند. افزون بر این، ساختمان باید به‌گونه‌ای طراحی شود که در طول سال از بادهای نامطلوب محفوظ مانده و طی فصل گرما بتوانند از نسیم و بادهای اثربخش به‌منظور تهویه‌ی طبیعی و کاهش دمای داخل استفاده کند.

حجم کلی و فرم ساختمان

حجم کلی و فرم ساختمان در میزان انتقال انرژی حرارتی بسیار مؤثر است. هرقدر نسبت پوسته‌ی خارجی ساختمانی به زیربنای آن کوچک‌تر باشد، انتقال حرارت کمتری خواهد داشت. توصیه می‌شود که در مناطق با نیاز انرژی زیاد، ساختمان به‌صورت متراکم طراحی‌شده و از مقدار سطح پوسته‌ی خارجی (نسبت به سطح زیربنا) کاسته شود. در

اقلیم‌های گرم و مرطوب و یا اقلیم‌های با نیاز سرمای زیاد، ساختمان باید به شیوه‌ای طراحی شود که امکان استفاده از تهویه‌ی طبیعی برای تمام فضاهای داخلی فراهم گردد.

جانمایی فضاهای داخلی

فضاهای داخلی به دو گروه فضاهای اصلی و فضاهای حائل تقسیم می‌شوند. فضاهای اصلی، فضاهایی هستند که در اکثر اوقات شبانه‌روز استفاده‌شده و افراد در آن سکونت دارند. فضاهای حائل دارای افراد ساکن نبوده و به‌طور مستمر مورداستفاده قرار نمی‌گیرند. جانمای فضاهای اصلی و فضاهای حائل باید به نحوی صورت گیرد که فضاهای حائل مابین فضاهای اصلی و جبهه نامطلوب ساختمان (ازنظر حرارتی) قرار گیرند تا انتقال حرارت از فضاهای اصلی به خارج (و یا از خارج به فضاهای اصلی در ماه‌های گرم سال) به حداقل برسد. فضاهای اصلی باید رو به جبهه‌های مطلوب ساختمان قرار گیرند جبهه‌های مطلوب ساختمان به ترتیب اهمیت عبارت‌اند از: جنوبی، شرقی، شمالی. استقرار فضاهای اصلی رو به جنوب باعث می‌شود تا بتوان بخشی از گرمای موردنیاز ساختمان در اوقات سرد را از طریق تابش آفتاب به داخل تأمین کرد.

اینرسی حرارتی

برخی عناصر ساختمانی نظیر سقف، کف و دیوارها که دارای اینرسی حرارتی با ظرفیت حرارتی (جرم زیاد) هستند، توانایی ذخیره‌سازی حرارت را در خوددارند. گرما یا سرمای موجود در فضا می‌تواند در اثر وجود ظرفیت حرارتی زیاد، در عنصر مزبور ذخیره شود و در ساعاتی که گرما یا سرما موردنیاز است به محیط پس داده شود؛ بنابراین به کمک ظرفیت حرارتی عناصر ساختمان، از نوسان شدید دما در فضای داخل کاسته خواهد شد. نیاز به عناصر حرارتی با ظرفیت حرارتی بالا، بستگی به نوع استفاده از فضا دارد. در فضاهایی که در طول شبانه‌روز به‌طور مداوم مورداستفاده قرار می‌گیرند، اینرسی حرارتی بالا مطلوب می‌باشد و عایق‌کاری حرارتی در سمت خارجی پوسته‌ی ساختمان توصیه می‌گردد. در فضاهای با استفاده‌ی منقطع در طول شبانه‌روز، اینرسی حرارتی بهتر است تا حد امکان کم باشد و عایق‌کاری حرارتی در سمت داخلی پوسته توصیه می‌گردد.

جدارهای نور گذر

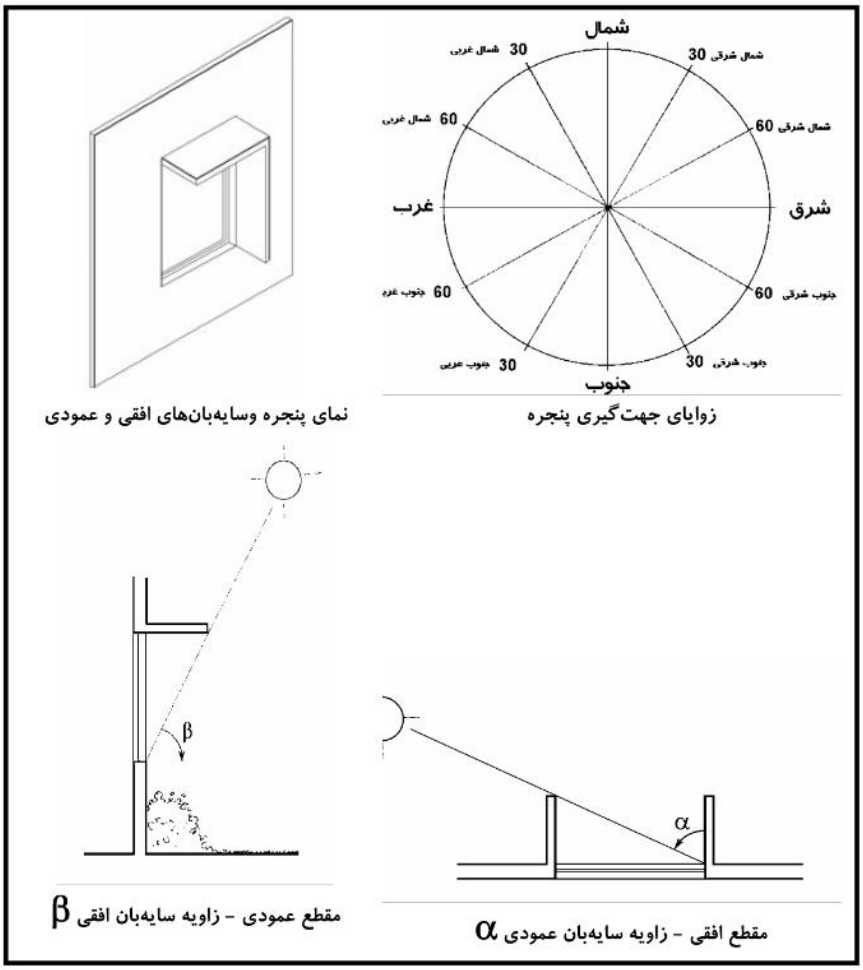
مقدار سطوح نور گذر از دیدگاه میزان انتقال حرارت در ساختمان‌ها بسیار مؤثر است. هرچقدر میزان سطح نور گذر نسبت به سطح پوسته‌ی خارجی کمتر باشد، انتقال حرارت کمتری نسبت به خارج وجود خواهد داشت. مقدار کافی و مناسب سطوح نور گذر باعث می‌شود تا ضمن تأمین نور مناسب برای فضاهای داخل، از انتقال حرارت به خارج کاسته شود. سطوح نور گذر جنوبی به جذب انرژی تابشی خورشیدی برای تأمین بخشی از گرمای موردنیاز در اوقات سرد کمک می‌نماید. سطوح نور گذر به علت مقاومت حرارتی اندک نسبت به سایر بخش‌های پوسته‌ی خارجی ترجیحاً نباید رو به جبهه‌های نامطلوب و سرد ساختمان قرار گیرند. بدین ترتیب، ساختمان و جبهه‌های مزبور از حداقل سطح موردنیاز برخوردار خواهند بود.

سایبان‌ها

سایبان‌ها برای کنترل میزان تابش آفتاب به سطوح نور گذر ساختمان به کار می‌روند. لزوماً در همه‌ی مناطق اقلیمی به وجود سایبان نیاز نخواهد بود. برای تعیین نیاز به وجود سایبان، باید اقلیم منطقه به‌طور دقیق مطالعه شود تا اوقات گرم سال در منطقه‌ی موردنظر تعیین گردد. در صورت وجود اوقات گرم، لازم است در جبهه‌های مختلف ساختمان با توجه به اوقات گرم سال و زوایای تابشی خورشید در اوقات مزبور سایبان افقی یا عمودی تعیین شود. به‌این‌ترتیب در اوقات مزبور تمامی سطح پنجره در سایه قرارگرفته و مانع از ورود تابشی خورشید به داخل و افزایش دما و ایجاد شرایط نامطلوب حرارتی در فضای داخل می‌شود.

چنانچه در مناطق با نیاز انرژی زیاد، بر روی پنجره‌ها سایبان مناسب پیش‌بینی نشود، نه‌تنها در اوقات گرم سال دمای داخل به میزان طاقت‌فرسایی خواهد رسید، بلکه بار برودتی ساختمان نیز به میزان قابل‌توجهی افزایش‌یافته و انرژی زیادی برای تأمین سرمایش لازم خواهد بود. برای پیشگیری از این امر باید روی پنجره‌های ساختمان‌ها واقع در این مناطق، سایبانی با عمق مناسب تعبیه گردد. منظور از عمق مناسب سایبان، عمقی است که در اوقات گرم سال از تابش خورشید به فضای داخل ممانعت می‌کند و در اوقات سرد برای استفاده از گرمای تابشی خورشید، امکان ورود تشعشعات خورشیدی به داخل را فراهم

می‌آورد. برای این منظور جداولی تهیه‌شده است که نوع و زاویه‌ی سایبان ایده‌ال برای عرض‌های جغرافیایی گوناگون و پنجره‌های واقع در جهت‌های مختلف جغرافیایی را ارائه می‌کند.



تصویر ٤- ۲۳: زوایای جهت پنجره و زاویه‌ی سایبان (افقی $\propto$ و عمودی β)

جدول ٤ -٥: زاویه‌ی سایبانی پیشنهادی برحسب موقعیت جغرافیایی ساختمان و جهت‌گیری پنجره

جهت‌گیری پنجره																							
عرض جغرافیایی	نوع سایبان	۲۵°		۲۷°		۲۹°		۳۱°		۳۳°		۳۵°		۳۷°									
		افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی	افقی	عمودی								
۶.° جنوب غربی	-	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره								
۳.° جنوب غربی	۴.° و	۴.° در غرب‌پنجره	۵.° و -	۳.° در غرب‌پنجره	۵۵° و	۳.° در غرب‌پنجره	۵.° و	۳.° در غرب‌پنجره	۵.° و	۳.° در غرب‌پنجره	۵.° و	۳.° در غرب‌پنجره	۵.° و	۴.° در غرب‌پنجره									
۶.° شمال غربی	-	۴.° در غرب‌پنجره	-	۴.° در غرب‌پنجره	-	۴.° در غرب‌پنجره	-	۴.° در غرب‌پنجره	-	۴.° در غرب‌پنجره	-	۴۵° در غرب‌پنجره	-	۴۵° در غرب‌پنجره									
۳.° شمال غربی	-	۴.° در غرب‌پنجره	۴.° در شرق‌پنجره	۴.° در غرب‌پنجره	۴.°	۴.° در غرب‌پنجره	-	۴.° در غرب‌پنجره	-	۴.° در غرب‌پنجره	-	۴۵° در غرب‌پنجره	-	۴۵° در غرب‌پنجره									
۶.° جنوب شرقی	۴۵°	-	-	۵.°	۵۵°	-	۴۵°	-	۶.°	-	۶.°	-	۶.°										
۳.° جنوب شرقی	۴۵°	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره	-	منحرک مقابل تمام‌پنجره										

فصل پنجم

سیستم‌های الکتریکی، ممیزی و راهکارها

چکیده

تاکنون به مفاهیم اولیه‌ی ممیزی و مصرف، آنالیز اقتصادی و روش‌ها و تکنیک‌های تحلیل انرژی اشاره شد. در پی آن و در اولین گام از وارسی جزئی‌تر و بخش– بخش ساختمان به بحث در مورد پوشش ساختمان در فصل گذشته پرداخته شد. اکنون در این فصل قصد آن است که به تحلیل و بررسی سیستم‌های الکتریکی که سهم قابل‌توجهی در مصرف انرژی ساختمان دارند، پرداخته شود. در این راستا پس از بیان مقدمه‌ای بر ممیزی سیستم‌های الکتریکی به توصیف مفاهیم اولیه‌ی روشنایی، روش ممیزی این سیستم‌ها، شیوه‌های رایج محاسبه‌ی روشنایی، منابع موجود، بالاست‌های الکتریکی و برخی راهکارهای کاهش مصرف در این شاخه پرداخته و در ادامه به تجهیزات خانگی و اداری و سیستم‌های کنترل و مدیریت روشنایی اشاره خواهد شد.

مصرف انرژی الکتریکی در غالب سیستم‌های ساختمانی، حدود ۵۰ تا ۷۵ درصد هزینه‌های سالانه را به خود اختصاص می‌دهد. طبعاً انتظار می‌رود که در ساختمان‌های تجاری، این سهم بزرگ‌تر باشد. به‌این‌ترتیب جایگاه و اهمیت بررسی موشکافانه‌ی سیستم‌های الکتریکی و تجهیزات وابسته احساس می‌شود. صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی و به‌تبع آن هزینه‌های وابسته با مدیریت دیماند[1]، کاهش ساعات بهره‌برداری از تجهیزات، بهبود بازدهی و کارایی سیستم‌های الکتریکی و تعمیر و نگهداری اصولی سیستم‌ها میسر می‌گردد.

به‌منظور ممیزی انرژی سیستم‌های الکتریکی ساختمانی، اطلاع از چگونگی مصرف الکتریسیته در ساختمان موردبررسی، اساسی و ضروری است. این ارزیابی شامل یک پروفیل تقاضای الکتریکی برای ساختمان موردنظر می‌گردد.

برای پیشبرد مناسب ارزیابی‌های مذکور، جمع‌آوری داده‌های مصرف به مدت دست‌کم چند هفته و در بازه‌های پانزده‌دقیقه‌ای موردنیاز است. به‌منظور بهبود کیفیت بررسی، می‌بایست جمع‌آوری داده در فصول سرمایش و گرمایش صورت پذیرد. غالباً می‌توان داده‌های موردنیاز را از طریق شرکت‌های برق تهیه کرد و افزون بر این، بیشتر سیستم‌های کنترل مدیریت انرژی توانایی ضبط و نگهداری مقادیر دیماند را دارا هستند.

ممیزی انرژی سیستم‌های الکتریکی، معمولاً نیازمند جمع‌آوری گروه داده‌های زیر است:

- سیستم‌های روشنایی
- ضریب توان و دیماند
- فهرستی از موتورهای الکتریکی، توان و بار مربوطه

۵-۱) ممیزی سیستم‌های روشنایی

روشنایی سهم قابل‌توجهی را در مصرف انرژی الکتریکی ساختمان داراست. کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های روشنایی از طریق پایین آوردن سطح روشنایی، بهبود بازدهی سیستم‌های به‌کاررفته، استفاده از تجهیزات کنترلی، کاهش زمان بهره‌برداری و طراحی و

[1] *Demand management*

استفاده‌ی مناسب از نورگیرها و پنجره‌ها امکان‌پذیر است. به‌منظور ممیزی سیستم روشنایی، گام‌های زیر را توصیه می‌کنیم:

۱- بررسی اولیه

- طبقه‌بندی فضاها – دفترکار، انبار، اتاق‌خواب و ...

-خصوصیات فضاها – ابعاد اتاق، رنگ دیوارها، کیفیت و شرایط سطوح

-خصوصیات سیستم‌های روشنایی به‌کاررفته- نوع لامپ‌ها، تعداد تجهیزات روشنایی، سطح روشنایی، روش‌های کنترلی، ارتفاع نصب تجهیزات، بالاست و توان مصرفی لامپ‌ها.

۲- ارزیابی سطح و کیفیت روشنایی

- اندازه‌گیری شدت روشنایی فضای موردنظر با استفاده از تجهیزات روشنایی‌سنج
- رسم یک طرح اولیه از آرایش و شیوه قرارگرفتن لامپ‌ها
- بررسی و تعیین نقاطی که دارای تابش شدید، خیره‌کننده و ناخوشایند هستند.
- نظرخواهی از ساکنین درباره سطح و کیفیت روشنایی و وضعیت عملکرد سیستم کنترلی
- مقایسه‌ی شدت (سطح) روشنایی اندازه‌گیری شده با مقادیر ارائه‌شده توسط «جامعه‌ی مهندسی روشنایی[1]» برای کاربری موردنظر

۳- برآورد میزان مصرف انرژی در بخش روشنایی

- محاسبه‌ی توان مصرفی کلی (مجموع توان مصرفی تمامی تجهیزات روشنایی به‌کاررفته، kW)
- محاسبه‌ی چگالی توان مصرفی

$$\text{چگالی توان مصرفی } \left(\frac{watt}{ft^2}\right) = \frac{1000}{\text{مساحت } (ft^2)} \times \text{توان مصرفی کل (kW)}$$

- مقایسه‌ی چگالی توان مصرفی با مقادیر ارائه‌شده در دستورالعمل‌های طراحی
- برآورد هزینه‌ی سالانه‌ی مصرف انرژی در بخش روشنایی

[1] *Illuminating engineering society (IES)*

$\left(\frac{\$}{year}\right)$ هزینه سالانه مصرف = $\left(\frac{\$}{kWh}\right)$ هزینه انرژی الکتریکی × $\left(\frac{h}{year}\right)$ مصرف سالیانه × (kW) توان مصرفی کل

۴- برآورد میزان انرژی صرفه‌جویی شده در بخش روشنایی

- محاسبه‌ی توان مصرفی کل بعد از اجرای راهکارهای کاهش مصرف
- محاسبه و بررسی میزان تغییر در ساعات سالانه‌ی مصرف با بهبود سیستم‌های کنترل روشنایی
- محاسبه‌ی مقدار انرژی صرفه‌جویی شده

(kWh) میزان صرفه‌جویی در مصرف = (h) ساعات مصرف × ((kw) توان مصرفی کل بعد از اجرای راه‌کارها – (kw) توان مصرفی کل اولیه)

- محاسبه‌ی هزینه صرفه‌جویی شده

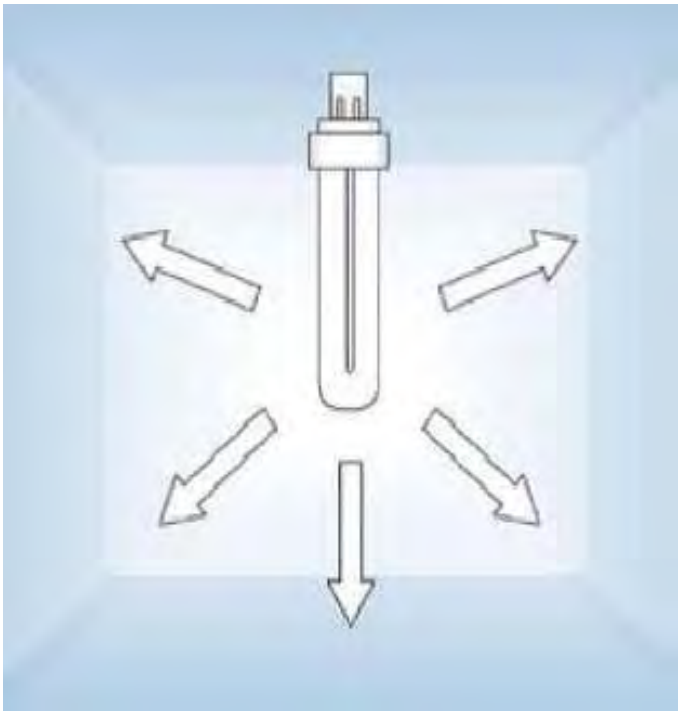
($) هزینه صرفه‌جویی شده = ($\frac{\$}{KWh}$) هزینه انرژی الکتریکی × (kWh) میزان صرفه‌جویی در مصرف

کاهش مصرف انرژی در بخش روشنایی، منجر به کاهش تولید حرارت داخلی و در پی آن پایین آمدن بار سرمایشی در تابستان و افزایش بار حرارتی در زمستان می‌گردد. البته با توجه به قیمت بالاتر برق نسبت به گاز که حامل اصلی تأمین‌کننده‌ی نیاز گرمایشی در کشور ما است، هردوی این ثمرات می‌توانند مثبت و عامل کاهش هزینه‌ها باشند. به‌هرحال، میزان صرفه‌جویی انرژی حاصل از تغییر و اصلاح سیستم روشنایی که پیش‌ازاین به محاسبه‌ی آن پرداخته شد، با توجه به مطالب بیان‌شده باید به شیوه‌ی زیر اصلاح شود.

- ساختمان (تحت گرمایش) – به میزان ۲۰٪ از مقادیر محاسبه‌شده کاسته شود.
- ساختمان (تحت سرمایش) – به میزان ۲۰٪ به مقادیر محاسبه‌شده افزوده شود.

۵-۱-۱) آشنایی با برخی مفاهیم و اصطلاحات مربوط به روشنایی و نورپردازی

شار نوری[1]: کل نور خارج‌شده از یک منبع نوری در واحد زمان در تمام جهات در فضا را شار نوری می‌گویند. واحد شار نوری لومن می‌باشد که با «Lm» نشان می‌دهند. در اصطلاحات مربوط به محاسبات روشنایی، شار نوری را با Φ نشان می‌دهند. شار نوری جزو مشخصات هر لامپ است و توسط شرکت‌های سازنده‌ی لامپ در کاتالوگ محصولات درج می‌شود؛ بنابراین هرچه شار نوری یک لامپ بیشتر باشد، لامپ پرنورتر است.



تصویر ۵- ۱: شار نوری خروجی از لامپ

نکته‌ای که باید در مورد شار نوری در نظر داشت این است که عددی که به‌عنوان شار نوری در کنار مشخصات لامپ درج می‌شود درواقع شار نوری اولیه‌ی لامپ است. اغلب لامپ‌ها پس‌ازاین که مدتی از عمرشان گذشت با افت شار نوری مواجه می‌شوند. این افت به دلیل

[1] *Luminous Flux*

فرسودگی و کاهش کارایی اجزای مختلف تشکیل‌دهنده‌ی ساختمان لامپ نظیر ماده‌ی فلورسنت، گاز داخل محفظه، تبخیر فیلامنت و ... است؛ بنابراین داشتن ثبات شار نوری در ابتدا و انتهای طول عمر یک لامپ، از مزیت‌های آن به شمار می‌رود.

به‌عنوان نمونه‌ای جهت درک بهتر، شار نوری چند نوع لامپ متداول ارائه‌شده است.

لامپ رشته‌ای معمولی (۱۰۰ وات) .....۱۳۶۰ لومن

لامپ فلورسنت استاندارد (۳۶ وات) .....۲۳۰۰ لومن

لامپ متال هالید دو سر(۷۰ ولت) .....۶۵۰۰ لومن

شدت روشنایی[1]: مقدار شار نوری که به واحد سطح می‌رسد را شدت روشنایی می‌گویند و با E نشان می‌دهند. واحد شدت روشنایی «فوت-کاندل[2]» و یا «لوکس[3]» است و یکی از پارامترهای مهم در محاسبات روشنایی است. در انجام محاسبات روشنایی، ابتدا مقدار شدت روشنایی موردنیاز در محیط با توجه به جداول استاندارد مشخص می‌گردد. در این جداول شدت روشنایی در هر فضا بر اساس نوع فعالیتی که قرار است در آن محیط صورت گیرد و میزان دقت مشخص می‌گردد. به‌عنوان‌مثال، بر اساس استاندارد شدت روشنایی موردنیاز برای سالن‌های تعمیر قطعات کوچک نظیر تعمیر ساعت و ... ۵۰۰ لوکس و شدت روشنایی موردنیاز برای دفتر کار ۲۰۰ تا ۳۰۰ لوکس بوده و برای تأمین روشنایی یک انبار کم تردد یا پارکینگ ۵۰ لوکس کافی است.

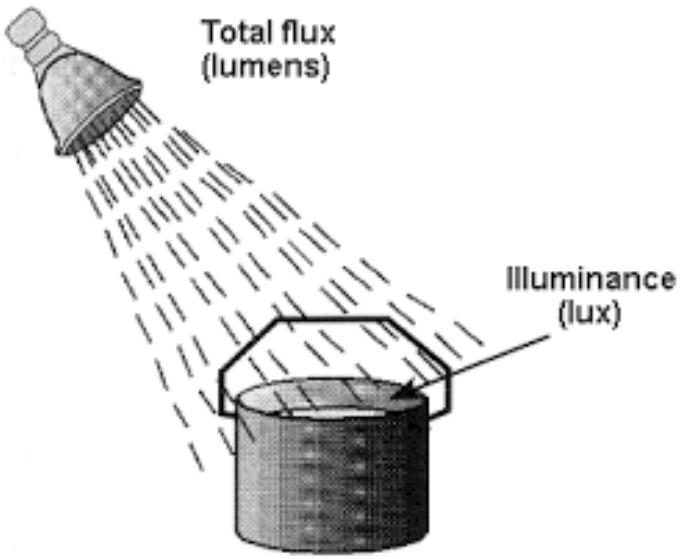
بنابراین به زبان ساده‌تر، شار نوری میزان نوری است که از لامپ خارج می‌شود و شدت روشنایی، آن میزان از نور است که پس از منتشر شدن توسط لامپ و بازتاب‌های مختلف درنهایت به سطح می‌رسد.

۱Foot-Candle =۱۰ / ۷۶۳۹Lux

[1] *Illuminance*

[2] *Foot-Candle*

[3] *Lux*



تصویر ۵- ۲: شدت روشنایی

شدت نور[1]: میزان شار نوری خارج‌شده در واحد زاویه‌ی فضایی را شدت نور گفته و آن را با I نشان می‌دهند. به‌بیان‌دیگر یک لامپ، شار نوری را در تمام جهات و با شدت و ضعف متفاوت منتشر می‌کند. میزان نور انتشاریافته در یک‌جهت خاص در فضا را شدت نور می‌گویند و واحد آن «کاندلا[2]» یا «شمع» است.

با توجه به این‌که لامپ‌های رفلکتور (در ادامه به معرفی انواع منابع روشنایی پرداخته خواهد شد.) نور را در جهت خاصی از فضا منتشر می‌کنند. برای ذکر میزان نور خارج‌شده از این لامپ‌ها از واحد کاندلا استفاده می‌شود؛ بنابراین بدیهی است که برای دو لامپ با مشخصات یکسان و کاملاً مشابه که تنها زوایای رفلکتور آن‌ها با یکدیگر متفاوت است، آن‌که زاویه‌ی رفلکتور آن کوچک‌تر است شدت نور بیشتری دارد چراکه عملاً کل شار نوری منتشرشده از لامپ در زاویه‌ی محدودتری متمرکز می‌شود و لذا شدت نور بیشتر می‌گردد. برای لامپ‌های رفلکتوری یک منحنی قطبی به‌عنوان بخشی از مشخصات لامپ درج

[1] *Luminous intensity*

[2] *cd*

می‌شود که نشانگر نور در زوایای مختلف است و برای طراحی روشنایی باید از آن‌ها استفاده کرد.

دمای رنگ[1]: دمای رنگ عددی است که برحسب کلوین بیان می‌شود و به‌نوعی بیان‌کننده‌ی رنگ نور خروجی می‌باشد. هرچه این عدد بالاتر باشد رنگ نور بیشتر به محدوده‌ی رنگ‌های سرد و سفید نزدیک‌تر است و هرچه این عدد کوچک‌تر باشد رنگ نور به محدوده‌ی رنگ‌های گرم (نظیر رنگ نور ناشی از لامپ‌های التهابی) نزدیک‌تر است. به‌عنوان‌مثال وقتی گفته می‌شود دمای رنگ یک لامپ فلورسنت ۴۰۰۰ کلوین است به این معناست که اگر جسم سیاه را تا ۴۰۰۰ کلوین گرم‌کنیم، نوری به رنگ لامپ فلورسنت فوق منتشر می‌کند. دمای رنگ یک لامپ رشته‌ای معمولی حدود ۲۸۰۰ کلوین است.

جسم سیاه می‌تواند یک قطعه فلز (مانند پلاتین) باشد که کلیه‌ی نوری که به آن نشر می‌شود را جذب کند و درواقع ضریب انعکاس آن برابر با صفر باشد.

عموماً به‌جای بیان دمای رنگ به‌صورت عدد، شرکت‌های سازنده‌ی لامپ، نامی را که بیانگر دمای رنگ لامپ باشد به‌اختصار برگزیده‌اند. این نام‌ها به شرح زیر هستند.

روشنایی روز[2].....۶۰۰۰ کلوین

سفید سرد[3].....۴۰۰۰ کلوین

سفید[4].....۳۵۰۰ کلوین

آفتابی[5].....۳۰۰۰ کلوین

طبیعی[6].....۲۷۰۰ کلوین

---

[1] *Color Temperature*

[2] *Daylight*

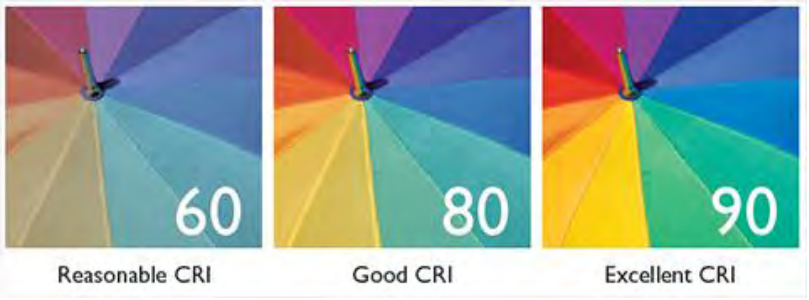
[3] *Cool White*

[4] *White*

[5] *Warm White*

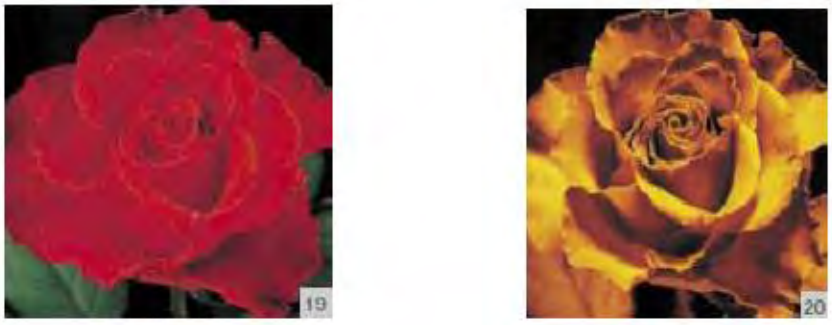
[6] *Natural*

شاخص بازده رنگ[1]: این شاخص نشان می‌دهد که نور منتشرشده توسط لامپ تا چه اندازه رنگ‌ها را واقع نشان می‌دهد. این شاخص که به‌اختصار آن را با CRI نمایش می‌دهند؛ برای لامپ‌ها عددی بین ۲۰ تا ۱۰۰ است و هرچه این عدد بالاتر باشد، نمود رنگ واقعی‌تر است؛ بنابراین برای جاهایی که نمایش واقعی رنگ اهمیت زیادی دارد؛ نظیر نساجی، اتاق رنگ صنایع خودروسازی، اتاق گریم و آرایش و ... استفاده از لامپ‌هایی با بازده رنگ بالا توصیه می‌شود.



تصویر ۵- ۳: شاخص بازده رنگ

اشیا رنگی، زمانی بارنگ مناسب دیده می‌شوند که رنگ‌های موجود در آن‌ها در طیف نور تابیده‌شده به آن‌ها موجود باشد. به‌عنوان‌مثال، چنانچه در طیف نور یک لامپ، رنگ قرمز موجود نباشد، اشیای قرمزرنگ به‌صورت مناسب دیده نمی‌شوند. شکل زیر نمایش یک گل را در زیر نور خورشید و زیر نور زردرنگ لامپ‌های بخار سدیم نشان می‌دهد.



تصویر ۵- ٤: نمود رنگ

[1] *Color Rendering Index*

درصد بازتاب رنگ در ۴ گروه کلی به شرح زیر مشخص می‌شود:

A۱ ..... درصد بازده رنگ عالی (۹۰ تا ۱۰۰ درصد)

A۲ ..... درصد بازده رنگ خیلی خوب (۸۰ تا ۹۰ درصد)

B۱ ..... درصد بازده رنگ متوسط (۲۰ تا ۷۰ درصد)

B۲ ..... درصد بازده رنگ قابل‌قبول (۵۰ تا ۶۰ درصد)

بهره‌وری نوری[1]: این عدد که درواقع نسبت شار نوری خارج‌شده از لامپ به توان مصرفی آن است، نشان‌دهنده‌ی کارایی و بهره‌وری لامپ است. هرچه این عدد بالاتر باشد به این معناست که لامپ با مصرف انرژی کمتر، نور بیشتری تولید می‌کند و به‌عبارت‌دیگر هرچه بهره‌وری یک لامپ بیشتر باشد، آن لامپ ازنظر مصرف انرژی مقرون به‌صرفه‌تر است. بهره نوری را با η نشان می‌دهند و واحد آن، «لومن بر وات»[2] است.

بهره نوری برخی از لامپ‌ها به‌طور تقریبی به شرح زیر است:

لامپ التهابی ۱۰۰ وات .....۱۴ لومن بر وات

لامپ فلورسنت ۳۶وات –T۸.....۸۰ لومن بر وات

لامپ متال هالید ۷۰ وات .....۹۰ لومن بر وات

۵-۱-۲) محاسبات روشنایی

برای محاسبات روشنایی روش‌های گوناگونی وجود دارد که می‌توان از آن‌ها جهت طراحی سیستم‌های روشنایی اماکن استفاده کرد. دو روش مهمی که معمولاً در محاسبات روشنایی از آن استفاده می‌شود، روش «نقطه‌به‌نقطه[3]» و روش «شار نوری یا لومن[4]» است.

روش نقطه‌به‌نقطه: در این روش می‌توان شدت روشنایی در هر نقطه را که از یک یا چند چراغ نتیجه می‌شود، به دست آورد. این روش برای محاسبات روشنایی خارجی در محیط‌هایی که سطح منعکس‌کننده ندارند مناسب است. در انجام محاسبات روشنایی

---

[1] *Luminous Efficacy*

[2] *Lumens per watt (lm/W)*

[3] *Point-by-point Method*

[4] *Lumen method*

داخلی با این روش لازم است اثر سطوح منعکس‌کننده مانند دیوارها و سقف را به طریق دیگری محاسبه کرد و به جواب اضافه نمود.

روش شار نوری (روش لومن): با استفاده از روش شار نوری یا لومن می‌توان، شدت روشنایی متوسط را روی هر سطح دلخواه محاسبه کرد. محدودیت این روش این است که تغییرات شدت روشنایی را از یک نقطه‌به‌نقطه‌ی دیگر به دست نمی‌دهد و امتیاز اصلی آن سادگی آن است. این روش امروزه برای محاسبات روشنایی داخلی به کار می‌رود و برای بعضی محاسبات روشنایی خارجی مانند روشنایی خیابان‌ها نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد. جدول ۱-۵، شدت روشنایی مناسب برای فعالیت‌های گوناگون را به‌صورت غیر جزئی نمایش می‌دهد.

جدول ۵ -۱: مقادیر عمومی شدت روشنایی توصیه‌شده

نوع فعالیت	شدت روشنایی روی میزکار-لوکس
حمل‌ونقل	۵۰ تا ۱۵۰
کار خشن و دقیق	۱۲۵ تا ۲۵۰
کارهای نیمه دقیق	۲۵۰ تا ۵۰۰
کارهای دقیق	۵۰۰ تا ۱۰۰۰
کارهای خیلی دقیق	۱۰۰۰ و بیشتر

کمیته‌ی ملی روشنایی موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، برای بیشتر اماکن مانند محل‌های مسکونی، تجاری و صنعتی مقادیری برای شدت روشنایی حداقل و شدت روشنایی پیشنهادی ارائه کرده است که در جدول زیر به‌اختصار ذکرشده‌اند.

جدول ۵ -۲: شدت روشنایی توصیه‌شده برای کاربری‌های گوناگون

محل	استاندارد کمیته‌ی ملی روشنایی ایران		استاندارد جامعه‌ی مهندسان روشنایی آمریکا
	میزان کمینه (لوکس)	میزان پیشنهادی (لوکس)	
محل‌های مسکونی			
اتاق نشیمن و پذیرایی	۷۰	۲۰۰	۱۶۰
اتاق مطالعه	۱۵۰	۵۰۰	۳۲۰
آشپزخانه(ظرف‌شویی،اجاق‌گاز و میز کار)	۱۰۰	۲۰۰	۵۴۰
روشنایی عمومی اتاق‌خواب	۵۰	۱۰۰	
روشنایی عمومی حمام	۵۰	۱۰۰	
آیینه‌ی حمام برای اصلاح صورت	۲۰۰	۵۰۰	
پلکان	۱۰۰	۱۵۰	
راهرو،سرسرا و آسانسور	۵۰	۱۵۰	
دفاتر و محل‌های اداری			
تمام کارهای عمومی	۲۰۰	۵۰۰	۱۶۰۰
ماشین‌نویسی و محل دیکته کردن	۳۰۰	۶۰۰	۷۵۰
حسابداری و ماشین‌های حساب و اندیکاتورنویسی	۳۰۰	۶۰۰	۱۶۰۰
بایگانی	۱۰۰	۳۰۰	۷۵۰
اتاق نقشه‌کشی	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۹۰۰
اتاق کنفرانس	۲۰۰	۵۰۰	۱۱۰۰
اتاق انتظار و اطلاعات	۱۰۰	۵۰۰	

پلکان	۱۰۰	۱۵۰	
درمانگاه و بیمارستان			
اتاق انتظار و اطلاعات	۱۰۰	۳۰۰	۳۸۰
روشنایی عمومی	۵۰	۱۰۰	۲۲۰
میزعمل با چراغ مخصوص	۳۰۰۰	۸۰۰۰	۲٦۹۰۰
کارگاه مکانیکی			
روشنایی عمومی	۱۰۰	۱۵۰	
محل کار	۱۵۰	۳۰۰	٥٤۰
کارهای بسیار دقیق	۱۵۰۰	۳۰۰۰	
صنایع اتومبیل‌سازی			
مونتاژ قطعه‌ها	۲۰۰	۳۰۰	٥٤۰
کارگاه	٥۰۰	۱۰۰۰	
تودوزی	۲۰۰	۳۰۰	
بازرسی نهایی	۳۰۰	٥۰۰	۲۲۰۰
جزئیات و اطلاعات بیشتر در نشریه ۶۱۴ وزارت نیرو- مبانی و ضوابط طراحی روشنایی و مهندسی روشنایی-ارائه شده است.			

در روش لومن، روشنایی متوسط روی سطح کار موردنظر است و تغییرات شدت روشنایی از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر موردتوجه نیست. در این روش تعداد چراغ‌ها و مدل دقیق آن‌ها برای تأمین یک شدت روشنایی مشخص تعیین می‌شود. میزان روشنایی رسیده به سطح کار از هر چراغ به منحنی توزیع نور چراغ، اندازه‌های اتاق و ضرایب انعکاس دیوارها و سقف بستگی دارد. علت این امر آن است که مقداری از نور چراغ به‌طور مستقیم به سطح کار می‌رسد و مقداری ازآن‌پس از انعکاس از سقف و دیوارها و یا بعد از انعکاس‌های متعدد به سطح کار می‌رسد.

تعداد لامپ‌های موردنیاز برای تأمین یک شدت روشنایی مشخص بر مبنای «روش لومن» به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۵-۱

$$N = \frac{F_1 \times A}{Lu \times L_1 \times L_2 \times Cu}$$

که:

N: تعداد لامپ‌های موردنیاز

F_1: شدت روشنایی موردنیاز برای کاربری موردنظر (Foot–Candle)

A: مساحت فضای تحت روشنایی $\left(Ft^2\right)$

CU: ضریب بهره‌برداری[1]، این ضریب به‌صورت نسبت شار نوری مفید به‌کل شار نوری ساطع‌شده از لامپ تعریف می‌شود. مقادیر ضریب بهره‌برداری در کاتالوگ شرکت‌های سازنده ارائه می‌گردد.

LU: شار نوری خروجی لامپ[2]، مقادیر شار نوری نیز در کاتالوگ شرکت‌های سازنده ارائه می‌گردد.

L_1: ضریب استهلاک لامپ[3]، این ضریب بیانگر تنزل شار نوری خروجی لامپ با افزایش عمر آن است که در کاتالوگ‌های مربوطه ارائه می‌گردد.

L_2: ضریب کاهش نور به علت کثیف شدن چراغ[4]، این ضریب به میزان زیادی به نوع لامپ و شرایط محیطی وابسته است.

به‌این‌ترتیب درمی‌یابیم، کاهش سطح (شدت) روشنایی، استفاده از لامپ‌هایی با بهره‌وری و بازدهی بالاتر، به‌کارگیری سیستم روشنایی تنها در زمان نیاز و با شدت توصیه‌شده و استفاده از تجهیزات کنترلی به دلیل کاهش زمان مصرف و کاهش سطح استهلاک در پی آن، بهبود مصرف انرژی در بخش روشنایی را در پی خواهند داشت.

---

[1] *Coefficient of utilization*

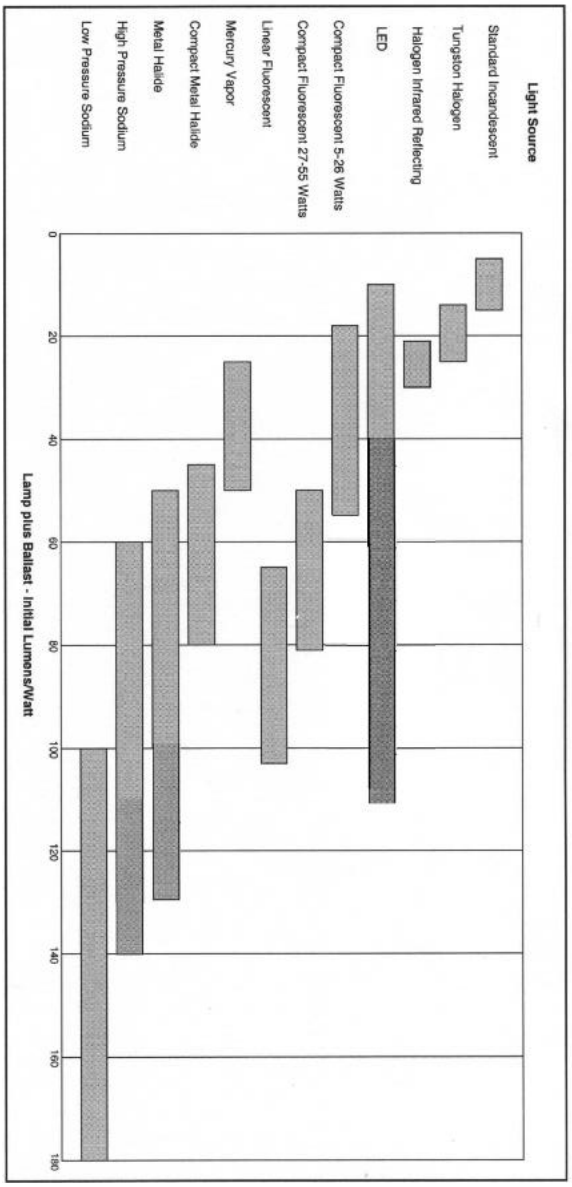
[2] *Lumen output per lamp*

[3] *Lamp depreciation factor*

[4] *Dirt depreciation factor*

۵-۱-۳) منابع روشنایی

نمودار ۵-۱ گستره‌ی بازدهی لامپ‌های رایج به‌کاررفته در سیستم‌های روشنایی را نمایش می‌دهد. در ادامه به‌تفصیل هر یک از منابع روشنایی نام‌برده در نمودار ۵-۱ پرداخته می‌شود.



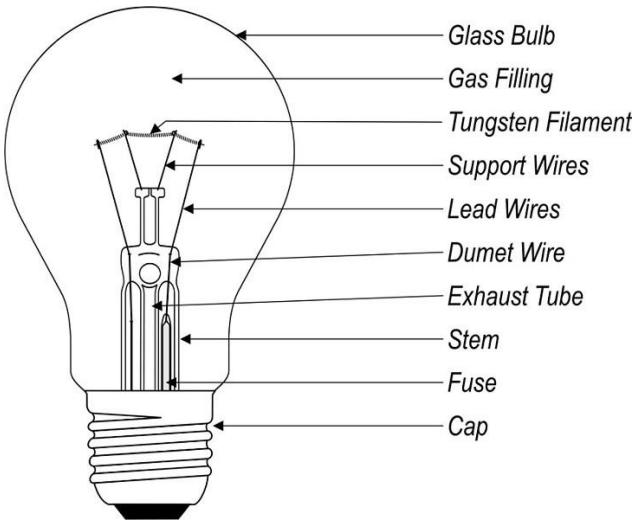
نمودار ۵-۱:گستره‌ی بازدهی لامپ‌های رایج به‌کاررفته در سیستم‌های روشنایی

باید به این نکته توجه کنید که نمودارهای ارائه‌شده برای بهره‌وری نوری لامپ‌های فلورسنت و لامپ‌های تخلیه‌ی شدت بالا، صرفاً برای لامپ بوده و تلفات ناشی از بالاست‌های همراه را شامل نمی‌شود؛ بنابراین به‌منظور تعیین بازدهی کل سیستم و رسم نمودار بهره‌وری نوری (لومن بروات) کلی می‌بایست از توان ورودی بالاست به‌جای توان ورودی لامپ استفاده کرد. در ادامه به بحث بیشتری دراین‌باره خواهیم پرداخت.

۵-۱-۳-۱) لامپ‌های رشته‌ای (التهابی) معمولی

لامپ رشته‌ای با رشته‌ی تنگستن پیچیده شده در سال ۱۹۲۰ میلادی به بازار آمد. کمتر از ۳٪ انرژی دریافتی در این لامپ‌ها به نور تبدیل می‌شود و باقی انرژی دریافتی به گرما تبدیل‌شده که باعث گرمی هوا می‌گردد و باید توسط تهویه‌های مطبوع یا هواکش‌ها از ساختمان دفع شود؛ که اغلب موجب اتلاف بیشتر انرژی می‌شود. در بعضی مناطق تاریک و سرد که به گرما نیاز دارند، گرمای تولیدشده ناخواسته ممکن است دارای ارزش باشد.

امروزه در این لامپ‌ها از رشته‌های تنگستن استفاده می‌شود که نور سفید گرمی را تولید می‌کنند که بین ۷۵۰ الی ۱۰۰۰ ساعت عمر می‌کنند. دمای رنگ این لامپ‌ها حدود ۲۷۰۰ کلوین است که نور گرمی را تولید می‌کند. می‌توان گفت که بهره‌وری نوری این لامپ‌ها به‌طور متوسط در محدوده‌ی بین ۵ تا ۲۰ لومن بر وات قرار دارد.



تصویر ۵- ۵: لامپ رشته‌ای معمولی

۵-۱-۳-۲) نمونه‌های پربازده‌تر لامپ‌های رشته‌ای (برای کاربردهای محدود)

تلاش‌های صورت گرفته برای بهبود بهره‌وری لامپ‌های رشته‌ای و درعین‌حال حفظ بازده رنگ این لامپ‌ها، منجر به تولید مجموعه‌ای از لامپ‌های رشته‌ای با بازدهی بالاتر برای کاربردهای خانگی محدودشده است؛ که در ادامه به معرفی برخی از آن‌ها خواهیم پرداخت.

لامپ‌های هالوژن تنگستن[1]

این لامپ‌ها با تزریق گاز هالوژن به درون حباب لامپ، از لامپ‌های رشته‌ای معمولی متمایز می‌شوند. گاز هالوژن تزریق‌شده از تیره شدن سطح حباب لامپ که براثر تبخیر رشته‌ی لامپ صورت می‌پذیرد، جلوگیری می‌کند. به‌این‌ترتیب طول عمر این لامپ‌ها تا حدود چهار برابر طول عمر لامپ‌های رشته‌ای معمولی افزایش خواهد یافت. مقادیر بهره‌وری نوری (لومن بروات) این لامپ‌ها تقریباً با لامپ‌های رشته‌ای معمولی برابر است، حال‌آنکه این لامپ‌ها با بازدهی تقریبی ۹۵٪ موجب کاهش قابل‌توجهی در مصرف و هزینه می‌گردد. اکنون این سؤال مطرح می‌شود که چرا این لامپ‌ها به‌طور گسترده در کاربردهای روشنایی به کار گرفته نمی‌شوند؟ در پاسخ می‌توان گفت، امکان به‌کارگیری این لامپ‌ها در برخی تجهیزات روشنایی خاص و دمای بسیار بالایی که در سطح این لامپ‌ها ایجاد می‌شود، سبب شده است که لامپ‌های هالوژن تنگستن به‌طور گسترده به کار گرفته نشوند.



تصویر ۵- ٦: لامپ هالوژن

[1] *Tungsten Halogen*

لامپ‌های رفلکتور[1]

لامپ‌های رفلکتور شاخه‌ای از لامپ‌های رشته‌ای هستند که از طرف داخل با لایه‌ای آلومینیومی پوشانیده شده‌اند. این لایه‌ی پوشاننده موجب هدایت نور به بخش جلوی لامپ می‌شود. برخی تجهیزات روشنایی، خصوصاً تجهیزاتی که در سقف کاذب نصب می‌گردند، نور را در خود به دام می‌اندازند. لامپ‌های رفلکتور مخروطی از نور را به خارج از وسیله‌ی روشنایی انتقال داده و به‌این‌ترتیب نور بیشتری را در محل کاربری لامپ منتقل می‌کنند. در چنین تجهیزاتی اگر از یک لامپ رفلکتور ۵۰ وات استفاده کنیم در مقایسه با یک لامپ رشته‌ای استاندارد ۱۰۰ وات روشنایی مناسب‌تری خواهد داشت، درحالی‌که مشاهده می‌کنید نیمی از توان مصرفی لامپ رشته‌ای را دارا است. لامپ‌های رفلکتور به دلیل آن‌که حوزه‌ی فعالیت را به‌خوبی روشن می‌کنند انتخاب بسیار مناسبی برای چراغ‌های کار هستند. نکته‌ی حائز اهمیت آن است که لامپ‌های رفلکتور در مقایسه‌ی با لامپ‌های رشته‌ای معمولی بهره‌وری (لومن بروات) کمتری دارند، حال‌آنکه هدایت نور در این لامپ‌ها بهتر و مناسب‌تر صورت می‌پذیرد (تصویر ۵-۸).

رفلکتورها در توان‌های مصرفی ۲۰W، ۳۰W، ۵۰W، ۷۵W، ۱۲۰W در دسترس هستند.



تصویر ۵- ۷: لامپ رفلکتور

[1] *Reflector or R-Lamps*

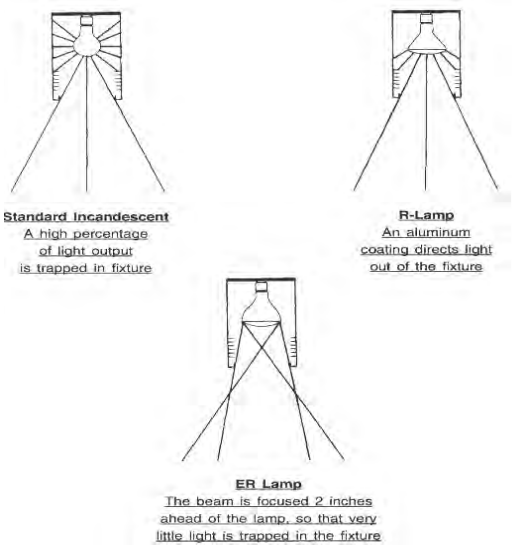
لامپ‌های بازتابنده‌ی سهموی با پوشش آلومینیومی[1]

لامپ‌های PAR، رفلکتورهایی هستند که از لنزهای سنگین و بادوام ساخته می‌شوند. این ساختار آن‌ها را به انتخابی مناسب برای کاربری در فضاهای باز تبدیل می‌کند. این لامپ‌ها در توان مصرف 150W,75W و 230W در دسترس بوده و نسبت به لامپ‌های رشته‌ای معمولی از طول عمر بالاتر و ضریب استهلاک پایین‌تری برخوردارند.

لامپ‌های بازتابنده‌ی بیضوی[2]

لامپ‌های ER انتخاب بسیار مناسبی برای تجهیزات روشنایی محصور و تجهیزات بکار رفته در سقف کاذب هستند؛ زیرا در این لامپ‌ها باریکه‌ای از نور تولیدشده و در فاصله‌ی دو اینچی از جلوی لامپ متمرکز می‌شود. به‌این‌ترتیب میزان نور به دام افتاده در وسیله‌ی روشنایی کاهش می‌یابد.

بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که چنانچه در یک وسیله‌ی روشنایی مستقیم از لامپ ER با توان ۵۰ وات استفاده کنیم در مقایسه با یک رفلکتور ۱۵۰ واتی روشنایی بیشتری ایجاد خواهد کرد (تصویر ۵-۸).



تصویر ۵- ۸: مقایسه‌ی لامپ‌های رشته‌ای

[1] *Parabolic aluminized reflector (PAR)*

[2] *Ellipsoidal reflector (ER)*

۵-۱-۳-۳) لامپ‌های بخار جیوه[1]

لامپ بخار جیوه نوعی لامپ تخلیه در گاز است. این لامپ‌ها دارای بهره‌وری نوری بالاتری نسبت به لامپ‌های رشته‌ای هستند (در حدود ۶۵ لومن بروات). در این لامپ‌ها با عبور جریان برق از درون بخار جیوه نور تولید می‌شود. جیوه در حالت عادی مایع است و به همین دلیل برای راه‌اندازی آسان‌تر لامپ مقداری گاز آرگون به آن می‌افزایند. پس از روشن شدن لامپ رفته‌رفته جیوه‌ی داخل لامپ به بخار تبدیل می‌شود و فشار داخل حباب لامپ به چند اتمسفر می‌رسد. با بالا رفتن فشار داخل لامپ الکترون‌های سطوح انرژی بالاتری تحریک می‌شوند و رفته‌رفته نور لامپ به نور مرئی نزدیک می‌شود.

لامپ‌های بخار جیوه در سیستم‌های روشنایی امروز کاربرد کمتری دارند، چراکه لامپ‌های فلورسنت و دیگر لامپ‌های تخلیه‌ی فشار بالا[2] در بهره‌وری نوری و بازدهی از آن‌ها پیشی گرفته‌اند.

لامپ‌های بخار جیوه در بهره‌وری نوری ۲۵ تا ۵۰ لومن بر وات تولید می‌شوند. برخی از مزایای این لامپ‌ها عبارت‌اند از تنوع رنگ، تولید در توان‌های کوچک تا ۳۰ وات، طول عمر بالا و قیمت نسبتاً پایین. البته با توجه به تأخیر در راه‌اندازی، کم بودن طول‌موج‌های نور قرمز و کاربری معادل مناسب‌تر لامپ‌های فلورسنت و HID کاربرد خانگی این لامپ‌ها پیوسته رو به کاهش است؛ اما در روشنایی معابر و در چراغ‌هایی موسوم به چراغ‌های لاک‌پشتی کاربرد دارند.



تصویر ۵- ۹: لامپ بخار جیوه

[1] *Mercury vapor lamps*

[2] *High intensity discharge (HID)*

۵-۱-۳-۴) لامپ‌های فلورسنت[1]

لامپ فلورسنت که توسط نیکلای تسلا اختراع و ثبت شد، بازده نوری بسیار بیشتری از لامپ‌های رشته‌ای معمولی دارد. برای نور یکسان، مصرف انرژی این لامپ‌ها در حدود۱/۴ تا ۱/۳ لامپ‌های رشته‌ای معمولی است. تا ۱۹۸۰ میلادی این نوع لامپ‌ها به دو نوع خطی و دوار محدود می‌شدند و شکل‌های دیگر محبوبیت زیادی نداشتند. لامپ‌های فشرده که در ایران به نام کم‌مصرف مشهورند، در اوایل ۱۹۸۰ میلادی به بازار آمدند. اکثر لامپ‌های فشرده دارای بالاست الکتریکی داخلی می‌باشند و به سرپیچ فلزی یا پایه‌های میخی مجهز هستند. عمر متوسط نامی برای یک لامپ فلورسنت خطی به میزان قابل‌توجهی بیشتر از لامپ‌های رشته‌ای معمولی است. لامپ‌های فلورسنت در گستره‌ی دمای رنگ وسیعی تولید می‌شوند. در برخی کشورهای جهان نوع سفید سرد آن رایج‌تر است حال‌آنکه در برخی مناطق دیگر رنگ‌های سفید گرم‌تر طرفدار بیش‌تری دارد. بررسی آمار فروش در آمریکا نشانگر آن است که لامپ‌های فلورسنت اکثراً در رنگ سفید سرد مورداستفاده قرار می‌گیرند که به همراه حباب‌های نصب‌شده در تجهیزات خانگی که رنگی متمایل به صورتی دارند، رنگ سفید گرم تولید می‌کنند. در این میان رنگ سفید آفتابی بسیار سرد نیز مورد استقبال است؛ که طبیعي‌تر به نظر می‌رسد. غالباً لامپ‌های فلورسنت فشرده به رنگ سفید گرم ساخته می‌شوند.

نوع مستقیم و U شکل لامپ‌های فلورسنت به علت قیمت مناسب و بازدهی بالا برای کاربری در سیستم‌های روشنایی توصیه می‌شود. در بین انواع مختلف لامپ‌های فلورسنت، نوع T۸ بیش‌ترین کاربرد را داشته و استقبال از نوع T۵ نیز پیوسته رو به افزایش است. لامپ‌های T۱۲ که مدل قدیمی‌تر لامپ‌های فلورسنت است دارای بازدهی انرژی کم‌تری هستند.

[1] *Fluorescent lamps*



تصویر۵- ۱۰: لامپ‌های فلورسنت

لامپ‌های فلورسنت در دو گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند: دسته‌ی اول، آن‌هایی که پایه‌ی پیچی دارند تا بتوان آن‌ها را به‌صورت مستقیم جایگزین لامپ‌های رشته‌ای معمولی کرد (لامپ‌های فلورسنت فشرده)[1] و دسته‌ی دوم، لامپ‌هایی که پایه‌ی آن‌ها به‌صورت دوشاخه است تا بتوان از آن‌ها در چراغ‌هایی که به‌طور مخصوص برای این لامپ‌ها طراحی‌شده‌اند، استفاده کرد.



تصویر۵- ۱۱: لامپ‌های فلورسنت فشرده

[1] *CFL*

بهره‌وری نوری بالا، شاخص دمای رنگ مناسب و بسیاری ویژگی‌های دیگر، لامپ‌های فلورسنت را به انتخابی مناسب برای تجهیزات و سیستم‌های روشنایی تبدیل کرده است. پیشرفت‌های صورت گرفته در ساخت لامپ‌های فلورسنت باعث شده که این لامپ‌ها حدود ۷۰ درصد منابع روشنایی مصنوعی امروز جهان را تشکیل دهند. بااین‌حال یکی از معایب اصلی این لامپ‌ها وجود گاز سمی جیوه در داخل آن‌هاست که مضرات زیادی برای سلامتی انسان دارد. البته در سال‌های اخیر تلاش‌ها و تحقیقات بسیاری برای کاهش میزان آن صورت پذیرفته است.

۵-۱-۳-۵) لامپ‌های متال هالید[1]

لامپ‌های متال هالید نوعی لامپ تخلیه در گاز است که ساختمانی مشابه لامپ بخار جیوه دارد. تفاوت اصلی این لامپ‌ها با لامپ‌های بخار جیوه در آن است که در حباب داخلی لامپ‌های متال هالید علاوه بر جیوه به میزان کمی هم از نمک هالوژنی استفاده می‌شود. این نمک‌ها پس از راه‌اندازی کامل لامپ (که بین ۵ تا ۷ دقیقه به طول می‌انجامد)، تبخیر شده و به ید و فلز سازنده تجزیه می‌شود. بخار حاصل از این فلزها نورهایی در طول‌موج مخصوص به خودشان تولید خواهند کرد. برآیند طیف‌ها باعث می‌شود لامپ طیف نوری بهتری داشته باشد و به علت نزدیک شدن نور آن به نور زرد، اثرگذاری نوری لامپ افزایش می‌یابد.

لامپ‌های متال هالید در گستره‌ی بهره‌وری نوری بین ۵۰ تا ۱۰۰ لومن بروات در دسترس هستند. در ارتباط با بازده انرژی لامپ‌های متال هالید می‌توان گفت که این لامپ‌ها در مقایسه‌ی با لامپ‌های بخار جیوه بازدهی بالاتری دارند. حال‌آنکه بازده این لامپ‌ها در قیاس با لامپ‌های سدیم فشار بالا غالباً پایین‌تر است.

اگرچه لامپ‌های متال هالید از خصوصیات قابل‌توجه و شاخص دمای رنگ مناسبی برخوردارند، جنبه‌ی منفی ویژگی‌های آن‌ها نیز قابل‌توجه است. طول عمر نسبتاً پایین، زمان راه‌اندازی طولانی، تمایل به تغییر رنگ با افزایش عمر لامپ و پرتاب خرده‌های لامپ به محیط اطراف به هنگام شکسته شدن ازجمله‌ی این خصوصیات منفی هستند.

---

[1] *Metal halide lamps*



تصویر ۵- ۱۲: لامپ‌های متال هالید

۵-۱-۳-۶) لامپ‌های سدیم پرفشار و کم‌فشار[1]

لامپ بخار سدیم یکی از انواع لامپ‌های تخلیه در گاز است که ساختمانی شبیه به لامپ‌های بخار جیوه دارد با این تفاوت که در آن به‌جای جیوه از سدیم و به‌جای گاز آرگون از نئون استفاده می‌شود. این لامپ‌ها هم در فشار کم و هم در فشار بالا عمل می‌کنند و بر همین اساس به دو گروه لامپ‌های سدیم کم‌فشار و لامپ‌های سدیم پرفشار تقسیم می‌شوند. فشار گاز داخل لامپ سدیم پرفشار در حدود ۱۰٫۵ اتمسفر بوده و دمای آن در حدود ۱۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است.

زمان راه‌اندازی این لامپ‌ها نسبت به لامپ‌های بخار جیوه بیشتر و بین ۱۵ تا ۲۰ دقیقه است، اما در صورت قطع شدن برق می‌توانند بدون تأخیر دوباره روشن شوند. دلیل زمان طولانی‌تر راه‌اندازی این لامپ‌ها وجود سدیم جامد در آن‌هاست که در دمای معمولی به بخار

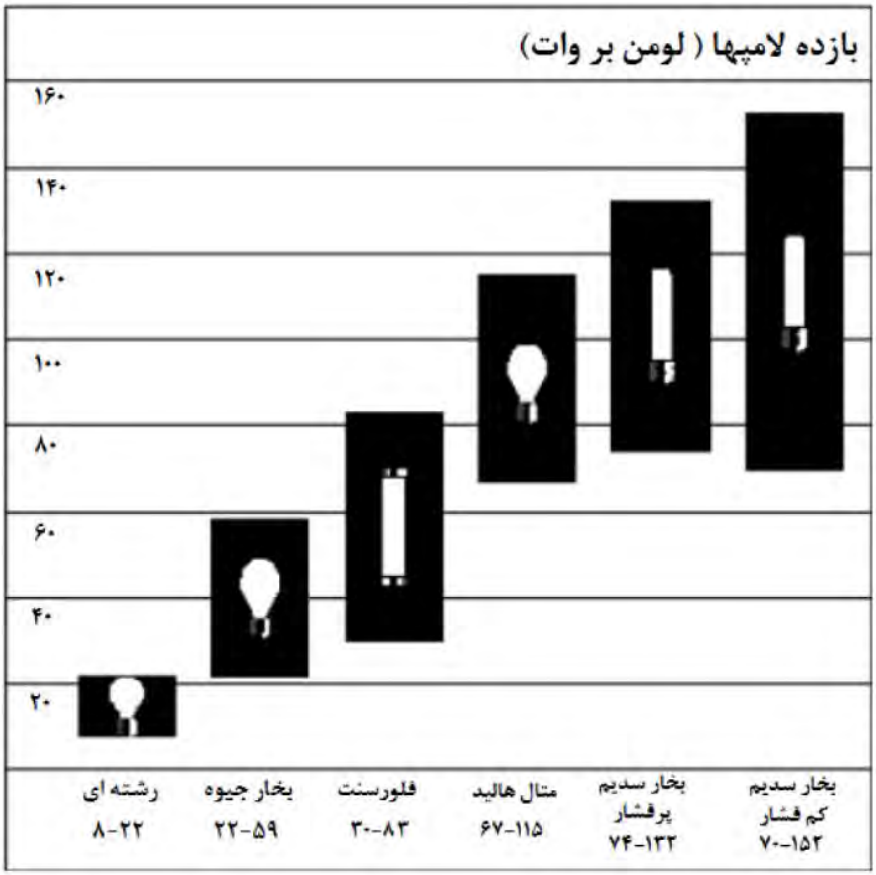
[1] *High and low pressure sodium lamps*

فلز تبدیل نمی‌شود، به همین خاطر از گازهای آرگون و نئون در راه‌اندازی این لامپ‌ها بهره می‌گیرند.

نور ساطع‌شده از این لامپ‌ها در محدوده‌ی نارنجی قرار دارد و به علت پایین بودن شاخص نمود رنگ اغلب در روشنایی عمومی نظیر معابر، اتوبان‌ها، جاده‌های بین‌شهری و تونل‌ها به کار می‌روند. نصب این لامپ‌ها در فضاهای سرپوشیده و مسکونی و مکان‌هایی که تشخیص رنگ در آن‌ها اهمیت دارد، توصیه نمی‌شود. طول عمر بالا یکی از مهم‌ترین مزایای لامپ‌های بخار سدیم است. در مدار این لامپ‌ها وجود بالاست و استارتر مناسب ضروری است.



تصویر۵- ۱۳: لامپ بخار سدیم



نمودار ۵- ۲: بهره‌وری نوری انواع لامپ

۵-۱-۳-۷) لامپ‌های ال ای دی[1]

لامپ‌های ال ای دی، نوعی از لامپ‌های حالت‌جامد هستند که از فنّاوری دیود نورافشان استفاده می‌کنند و به‌عنوان منبع روشنایی به کار می‌روند. این لامپ‌ها که در ابتدا بیشتر به‌عنوان یک چراغ قرمزرنگ در درون دستگاه‌های الکترونیکی کاربرد داشتند، با توجه به مصرف برق کم نسبت به سایر لامپ‌ها، طول عمر بالا و فناوری جدید ساخت به رنگ‌های دیگر توانسته‌اند جای خود را در صنعت روشنایی امروز پیدا کنند.

[1] *LED*

LED[1] به معنای دیود ساطع کننده‌ی نور است. دیودهای ساطع کننده‌ی نور درواقع جزء خانواده‌ی دیودها هستند که دیودها نیز خود زیرگروه نیمه‌هادی‌ها به شمار می‌آیند. خاصیتی که ال ای دی‌ها را از سایر نیمه‌هادی‌ها متمایز می‌کند، این است که با گذر جریان از آن‌ها مقداری انرژی به‌صورت نور ساطع می‌شود.



تصویر ۵- ۱۴: لامپ ال ای دی

خصوصیات لامپ‌های ال ای دی

- طول عمر: اولین و مهم‌ترین پارامتر، طول عمر لامپ‌های ال ای دی است. لامپ‌های ال ای دی طول عمری بین ۵۰ تا ۶۰ هزار ساعت دارند. این طول عمر قابل‌مقایسه با طول عمر لامپ‌های دیگر نمی‌باشد.
- بهره‌وری نوری: از دیگر مزیت‌های لامپ‌های ال ای دی، می‌توان به بهره‌وری نوری بالای این لامپ‌ها اشاره کرد. در حال حاضر لامپ‌های ال ای دی، بازدهی بین ۷۴ تا ۱۲۰ لومن بروات دارند و این در حالی است که این مقدار برای لامپ‌های رشته‌ای و حتی کم‌مصرف به میزان قابل‌توجهی پایین‌تر است (نمودار ۵-۲).
- زمان پاسخ: این لامپ‌ها به‌محض رسیدن ولتاژ به آن‌ها روشن می‌شوند. (کمتر از ۲۰ns) ولی به‌عنوان‌مثال لامپ‌های متال هالید زمانی بالغ‌بر پنج دقیقه لازم دارند تا به حداکثر نور خود برسند.

[1] *Light Emitting Diode*

- On /Off: طول عمر لامپ‌های ال ای دی به‌هیچ‌وجه تابعی از تعداد روشن و خاموش شدن نیست. می‌توان این لامپ‌ها را بارها و بارها روشن و خاموش کرد. درواقع طول عمر این لامپ‌ها تنها به مدت‌زمان روشنایی بستگی دارد.
- تنظیم شدت نور: امکان تنظیم نور در لامپ ال ای دی با استفاده از تکنولوژی «مدولاسیون پهنای پالس[1]» که کنترل سطح ولتاژ به کمک تغییر پهنای پالس است و در اکثر میکروکنترلرها موجود است، به‌راحتی امکان‌پذیر است.
- تنظیم زاویه‌ی تابشی: در لامپ‌های ال ای دی، نور در تمام جهات منتشر نمی‌شود و به دلیل موجود بودن لنزهایی با زوایای دلخواه نوری، کاملاً قابل‌کنترل است.
- کاهش نور: کلیه‌ی لامپ‌ها به‌جز لامپ‌های ال ای دی دچار افت شدت نوردهی با گذر زمان می‌شوند.
- قابلیت تغذیه: لامپ‌های ال ای دی، قابلیت تغذیه هم با جریان متناوب و هم با جریان مستقیم را دارا هستند، لذا می‌توانند از منابع انرژی خورشیدی (در شرایط استفاده و یا عدم استفاده از اینورتر[2]) و یا باطری جهت تأمین انرژی موردنیاز خود، استفاده کنند.
- مواد تشکیل‌دهنده: در برخی منابع اشاره‌شده است که سرب و آرسنیک به‌کاررفته در ساختار این لامپ‌ها دارای مضراتی برای انسان و محیط‌زیست است.

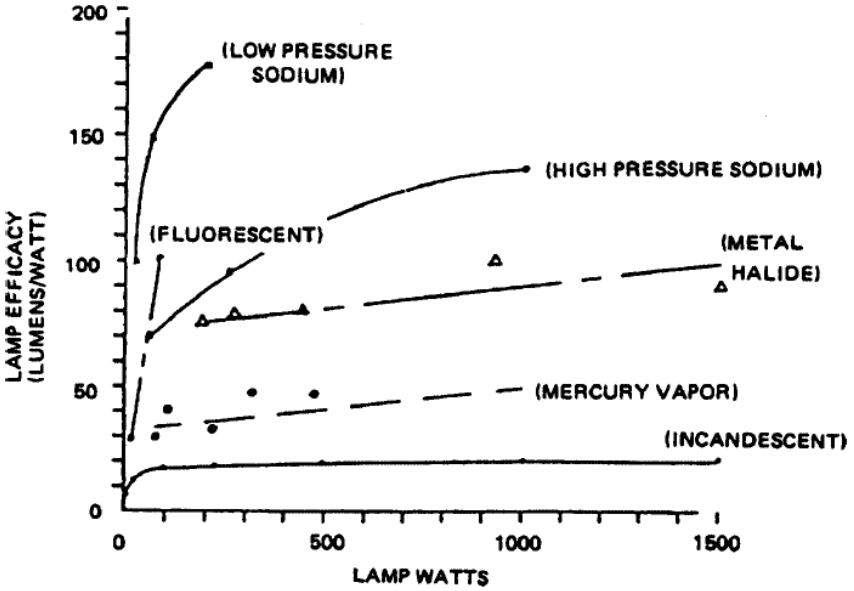
جدول ۵ -۳: کاربری انواع مختلف لامپ‌ها

نوع منبع	کاربرد	مزایا	معایب
لامپ رشته‌ای	در ساختمان‌های مسکونی، ولی روشنایی موردنیاز را به‌سختی فراهم می‌کنند.	ارزان‌قیمت، قابلیت تغییر میزان نور، رنگ دهی خوب، روشن شدن سریع	کم بازده، عدم تأمین نور موردنیاز ساختمان براساس استانداردها
لامپ فلورسنت خطی	می‌توان آن را روی سقف، دیوارها یا داخل چراغ‌های مختلف	ارزان‌قیمت، قابلیت تغییر میزان نور با بالاست‌های مخصوص،	در نوع خاصی از چراغ‌ها (چراغ‌های

[1] *Pulse-width modulation (PWM)*

[2] *Inverter*

	به‌عنوان بخشی از انواع سیستم روشنایی نصب کرد.	بازده خوب، عمر بالا (۱۲۰۰۰ الی ۱۵۰۰۰ ساعت)، رنگ دهی خوب	خطی) قابل‌استفاده است.
لامپ فلورسنت فشرده	می‌توان آن را روی سقف، دیوارها و یا داخل چراغ‌های مختلف به‌عنوان بخشی از سیستم روشنایی نصب کرد.	ارزان‌قیمت، بازده خوب، عمر بالا (۱۰۰۰ ساعت)، رنگ دهی خوب، موجود بودن در اندازه‌های کوچک، روشن شدن سریع	تغییر میزان نور در این لامپ‌ها مشکل است، اگرچه بالاست‌های مخصوصی برای این کار وجود دارد.
لامپ متال هالید	با محدوده‌ی وسیعی از کاربردها، عموماً برای روشنایی مکان‌های بزرگ مورداستفاده است.	منبع نور سفید، بازده خوب، اندازه‌ی کوچک، عمر نسبتاً بالا	گران‌قیمت، نیاز به ۱۵ دقیقه برای شروع به کار مجدد پس از خاموش شدن، عدم امکان تغییر میزان نور، رنگ دهی زیر ۸۰ و ناپایداری نور در انواع قدیمی
لامپ جیوه‌ای	همانند لامپ‌های متال هالید	نسبتاً ارزان‌قیمت، طول عمر بالا	رنگ دهی ضعیف، بازده متوسط، نیاز به گرم شدن
لامپ سدیم	همانند لامپ‌های متال هالید	بازده بالا، طول عمر بالا	رنگ دهی ضعیف، نیاز به گرم شدن



نمودار ۵- ۳: بهره‌وری نوری انواع مختلف لامپ بدون احتساب تلفات بالاست

۵-۱-۴) برخی راهکارهای اولیه برای کاهش مصرف انرژی در بخش روشنایی

- سطح (شدت) روشنایی

نکته‌ی مهمی که به هنگام ممیزی سیستم‌های روشنایی باید به آن توجه کرد، آن است که مقادیر توصیه‌شده برای شدت روشنایی موردنیاز کاربردهای گوناگون در استانداردهای مختلف، صرفاً برای حوزه‌ی فعالیت بوده و هیچ لزومی ندارد که برای نواحی پیرامونی و راهروها میزان روشنایی در همین سطح نگاه داشته شود. به‌این‌ترتیب می‌توانیم برای نواحی پیرامونی، سطح روشنایی را به ۱/۳ میزان روشنایی در حوزه‌ی فعالیت کاهش دهیم؛ اما همواره باید توجه داشت که میزان روشنایی ۲۰Foot-Candle کران پایین سطح روشنایی برای این نواحی است.

علاوه بر موضوع ذکرشده، محل قرارگیری لامپ‌ها و تجهیزات روشنایی می‌تواند به میزان قابل‌توجهی در تأمین شدت روشنایی موردنیاز مؤثر باشد. به‌این‌ترتیب باید به‌دقت موقعیت قرارگیری تجهیزات روشنایی را بررسی کرد.

- ضریب بهره‌برداری[1]

رنگ دیوارها، سقف و کف، نوع و کیفیت تجهیزات روشنایی و خصوصیات عمومی فضا تعیین‌کننده‌ی ضریب بهره‌برداری است. البته غالباً این ضریب در کاتالوگ شرکت‌های سازنده و با احتساب شرایط استاندارد ارائه می‌شود. به‌هرحال با انتخاب رنگ روشن‌تر برای دیوارها و پرده‌ها و بهبود بازده سیستم روشنایی می‌توانیم این ضریب را ارتقاء دهیم.

- ضریب استهلاک، ضریب کاهش روشنایی به علت کثیف شدن چراغ

پیش‌ازاین به معرفی ضرایب فوق (L_1,L_2) در معادله‌ی ۵-۱ پرداختیم، اکنون ضریب تنبلی لامپ (L_3) را نیز به آن‌ها می‌افزاییم و داریم.

رابطه‌ی ۲-۵ $$LLF = L_1 \times L_2 \times L_3$$

LLF را «ضریب اتلاف روشنایی[2]» می‌نامیم، هر اقدامی که منجر به کاهش این ضریب شود، تعداد لامپ‌های موردنیاز برای روشنایی فضا را کاهش می‌دهد.

۵-۱-۵) بالاست‌های الکتریکی[3]

بالاست‌های الکتریکی، ابزار بسیار مؤثری جهت کاهش مصرف انرژی در روشنایی ساختمان‌ها (به‌جای بالاست‌های القایی برای روشن کردن لامپ‌های فلورسنت مهتابی) می‌باشند. عموماً در لامپ‌های فلورسنت مهتابی بیش‌تر ساختمان‌ها از بالاست‌های مغناطیسی و استارتر استفاده می‌شود که علاوه بر اتلاف انرژی بالا، موجب افزایش هارمونیک‌ها، کاهش پاورفکتور و کاهش طول عمر لامپ‌ها می‌شود. بالاست‌های الکتریکی تحت شرایطی می‌توانند این معایب را مرتفع سازند. بعضی از انواع این بالاست‌های الکتریکی دارای سنسور روشنایی روز می‌باشند که قادر به تنظیم میزان نور لامپ از ۳۰٪ تا ۱۰۰٪ متناسب با نور محیط هستند که به همین میزان نیز در مصرف انرژی الکتریکی صرفه‌جویی می‌گردد. ازجمله مزایای بالاست‌های الکتریکی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

---

[1] *Coefficient of utilization (CU)*

[2] *Light Loss Factor (LLF)*

[3] *Electrical ballast*

- حذف و کاهش سه عامل استارت، جریان القایی و گرما در چک، استارتر و خازن جبرانی موجب کاهش مصرف انرژی تا بیش از ۳۰٪ و افزایش عمر لامپ مهتابی، گاهاً تا چند برابر کاربرد بالاست‌های القایی می‌شود.

- ولتاژ راه‌اندازی اولیه در لامپ‌های تخلیه‌ی گازی بسیار بیشتر از ولتاژ کار عادی آن‌ها می‌باشد. روشن کردن لامپ با اعمال فشار الکتریکی بالا همواره ممکن است، اما این کار کاهش جدی عمر لامپ را در پی خواهد داشت. بالاست‌های الکترونیکی با استفاده از توانایی تغییر فرکانس، ولتاژ را کم‌کم افزایش داده و لامپ را با کم‌ترین ولتاژ ممکن روشن می‌نماید. در طراحی و ساخت این بالاست‌ها غالباً از فنّاوری مدارات مجتمع استفاده گردیده است. این المان، توانایی لازم را فراهم می‌کند تا بتوان بالاست الکترونیکی را برای شرایط مختلف به نحو مؤثری طراحی نمود.

- معمولاً این مدارات دارای قابلیت تشخیص لامپ‌های فرسوده می‌باشند. پس از تشخیص فرسودگی لامپ، بالاست لامپ را دوباره پیش‌گرمایش می‌کند تا اثر فرسودگی را جبران نماید این امر کمک مؤثری به افزایش طول عمر لامپ می‌کند. هم‌چنین پس‌ازاین که لامپ می‌سوزد، بالاست به‌طور خودکار جریان دو سر مهتابی را قطع می‌کند و از اتلاف بیشتر انرژی به دلیل استارت زدن‌های پی‌درپی جلوگیری می‌کند.

- معمولاً بالاست‌های الکتریکی، لامپ را به‌گونه‌ای روشن می‌کنند که شار نوری استاندارد از آن لامپ گرفته می‌شود. لامپ‌های تخلیه در گاز در فرکانس‌های بالا دارای بهره‌وری نوری بیشتری نسبت به فرکانس ۵۰ Hz هستند، بنابراین بالاست الکترونیکی به علت فرکانس کار بالاتر (۴۰ kHz)، حداقل ۱۰٪ بهره‌وری بالاتر در شار نوری ایجاد می‌کند.

- برای راحتی هر چه بیشتر مصرف‌کننده، انواع مختلف بالاست الکتریکی می‌توانند یک تا چهار لامپ را به‌صورت موازی روشن نمایند. این امر موجب کاهش چشمگیر هزینه‌ی نصب، زمان نصب و احتمال خطای انسانی در زمان نصب می‌شود.

- ترانس‌های القایی به علت فرکانس کار پایین (۵۰Hz) چشم را اذیت می‌کنند و به‌اصطلاح اثرات فلیکر و استرابوسکوبیک دارند. این مشکل در طولانی‌مدت باعث خستگی چشم، سردرد، میگرن و پایین آمدن راندمان کاری و کاهش دقت کاربر می‌گردد. درحالی‌که بالاست‌های الکتریکی به علت فرکانس کار بالا (۴۰۰۰۰ Hz) هیچ خستگی برای چشم نخواهد داشت.

- به علت این‌که ترانس‌های القایی دارای استارت سریع می‌باشند، طول عمر کلید زنی لامپ را به‌شدت کاهش می‌دهند (در حدود ۲۰۰۰ مرتبه) حال‌آنکه بالاست الکترونیکی با داشتن پیش‌گرمایش مناسب و استاندارد سبب افزایش عمر لامپ می‌گردد (در حدود ۱۵۰۰۰ مرتبه).

- در بالاست‌های الکترونیکی از قسمت‌های مختلف بالاست فیدبک دریافت می‌شود و با توجه به آن کنترل‌های لازم اعمال می‌گردد. همچنین از نقاط حساس مدار به نحو مؤثری محافظت می‌گردد. ترانس‌های القایی، هیچ فیدبکی از مدار دریافت نمی‌کنند.

- ترانس‌های القایی، تلفات بیشتری نسبت به بالاست‌های الکتریکی دارند (حدود ۱۰ تا ۱۴ وات). از طرفی بالاست الکترونیکی به علت فرکانس کار بالاتر موجب ایجاد ۱۰٪ بهره‌وری در شار نوری می‌شود. (به‌عنوان‌مثال لامپ ۴۰W را با حفظ شار نوری با ۳۶W روشن می‌کند؛ درحالی‌که در ترانس القایی برای روشن کردن یک لامپ مهتابی ۴۰W، حدود ۵۳W مصرف می‌گردد.) سعی شده است که طراحی بالاست‌های الکتریکی منطبق با نیاز مصرف‌کننده انجام شود؛ بنابراین انواع مختلف بالاست‌های الکتریکی توانایی روشن کردن مدارات از یک الی دو لامپ را دارا می‌باشند و کاربر نهایی نیز به‌راحتی می‌تواند آن را نصب کند. این امر سبب کاهش هزینه و زمان لازم برای سیم بندی چراغ می‌گردد.

- ضریب توان بالاست الکتریکی بیش از ۹۵٪ و در حدود ۹۸٪ می‌باشد. هارمونیک‌های بالاست الکترونیکی کم‌تر از ۶٪ و هارمونیک سوم آن کمتر از ۱۰٪ و در حدود ۸٪ می‌باشد.



تصویر ۵- ۱۵: بالاست الکتریکی

۵-۲) تجهیزات الکتریکی

طی یک دهه اخیر، مصرف انرژی تجهیزات اداری به میزان قابل‌توجهی افزایش‌یافته و در حال حاضر بیش از ۷٪ مصرف برق در بخش تجاری را در برمی‌گیرد. «آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا[1]» با همکاری «دپارتمان انرژی[2]» پس از شناخت این مسئله، برای افزایش بازدهی انرژی تجهیزات اداری متداول مانند کامپیوترها، ماشین‌های دورنگار، پرینترها، اسکنر و دستگاه‌های کپی اقدام به توسعه‌ی برنامه‌ی اداری «انرژی استار[3]» کرده‌اند. برچسب‌های مصرف انرژی با نشان دادن خصوصیات صرفه‌جویی انرژی تولیدات، به مشتریان کمک می‌کنند تا تجهیزات اداری پربازده را شناسایی کنند.

تخمین‌ها نشان می‌دهد که تولیدات دارای برچسب انرژی، بسته به نوع و الگوی مصرف تجهیزات می‌توانند مصرف انرژی‌بخش تجاری را تا حدود ۷۵٪ کاهش دهند. در حال حاضر، تقریباً تمامی سازندگان تجهیزات اداری، مشخصه‌های مدیریت توان را در تولیدات خود

---

[1] *EPA*

[2] *DOE*

[3] *Energy Star*

می‌گنجانند. به‌عنوان نمونه زمانی که کامپیوترها به مدت مشخصی بدون استفاده باشند، می‌توانند وارد یک حالت کم‌مصرف[1] شوند. یا به‌طور مشابه دستگاه‌های کپی پس از ۳۰ الی ۹۰ دقیقه فعالیت می‌توانند وارد یک حالت کم‌مصرف با تنها ۱۵ تا ۴۵ وات شوند. جدول ۵-۴ مشخصه‌های مصرف انرژی تجهیزات معمول اداری را نمایش می‌دهد.

جدول ٥ -٤: مصرف انرژی در تجهیزات اداری

Product	Typical Electrical Consumption (TEC) (kWh /week)	Power Management Preset Default Times (Min)
Color copiers, scanners, and fax machines (Specifications depend on the ipm: image per minute)	0.1 ipm + 2.8 (ipm < 32)	5-30
	0.35 ipm − 5.2 (32<ipm<58)	5-60
	0.70 ipm − 26.0 (ipm > 58)	5-60
Monochrome printers, scanners, and fax machines (Specifications depend on the ppm: pages per minute)	1.0 (ipm < 15)	5-15
	0.1 ipm − 0.5 (15<ipm<40)	5-60
	0.35 ipm − 10.3 (40 <ipm< 82)	5-60
	0.70 ipm − 39.0 (ipm>82)	5-60

[1] *Sleep*

بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که مشخصه‌های بازدهی انرژی تولیدشده توسط برنامه‌ی انرژی استار، می‌تواند میزان آلودگی تولیدشده در ایالات‌متحده را به میزان معادل با آلودگی ۶٫۵ میلیون اتومبیل کاهش دهد. علاوه بر این، تجهیزات اداری دارای برچسب انرژی در یک‌خانه (با یک کامپیوتر، یک پرینتر و یک ماشین فکس) می‌تواند برق موردنیاز برای روشنایی کل خانه به مدت یک سال را صرفه‌جویی کند.[1]

۵-۳) لوازم‌خانگی

لوازم و تجهیزات خانگی بخش قابل‌توجهی از مصرف انرژی ساختمان را به خود اختصاص می‌دهند؛ که این سهم با افزایش گستردگی و تنوع لوازم‌خانگی پیوسته رو به فزونی است. به جدول ۵-۵ توجه کنید، همان‌طور که ملاحظه می‌کنید میزان مصرف مربوط به لوازم‌خانگی در غالب مناطق جهان فزونی یافته است.

جدول ۵ -۵: بازار جهانی برای لوازم‌خانگی به ارزش Percent Market

منطقه	۱۹۹۲	۲۰۰۰	درصد رشد
اروپای غربی	۳۹/۹	۳۸/۴	۱۰
اروپای شرقی	۶/۸	۷/۲	۲۱
آسیای جنوب شرقی	۲۰/۲	۲۳/۶	۳۵
آمریکای شمالی	۲۵	۲۱/۱	-۳
آمریکای جنوبی	۱/۸	۲/۶	۷۱
خاورمیانه	۱/۹	۲/۵	۴۹
استرالیا /جزایر پاسیفیک	۱/۶	۱/۶	۱۵
سایر مناطق	۲/۸	۳	۷

[1] *EPA,1990*

باید توجه کرد که هزینه‌های بهره‌برداری لوازم‌خانگی در مدت عمر آن‌ها (معمولاً ۱۰ تا ۱۵ سال) قیمت خرید ابتدایی آن‌ها را به‌مراتب افزایش می‌دهد. درعین‌حال، مشتریان غالباً در کشورهای درحال‌توسعه که برنامه‌ی عمده‌ی برچسب زمانی وجود ندارد، به دلیل عدم اطلاع به هنگام خرید، هزینه‌های عملیاتی و بازدهی انرژی را مدنظر قرار نمی‌دهند. برخی کشورها با درک اهمیت و تأثیر لوازم‌خانگی بر نیاز انرژی ملی، اقدام به اجرای برخی برنامه‌های بازدهی انرژی کرده‌اند. به‌ویژه، هدف بعضی از این برنامه‌ها، بهبود بازدهی انرژی لوازم‌خانگی است. روش‌های دستیابی به این بهبود از طریق استانداردهای بازدهی انرژی و برنامه‌ی برچسب‌گذاری دنبال می‌شود.

در برخی کشورها، استاندارد حداقل بازدهی لوازم‌خانگی برای تعدادی از وسایل مصرف‌کننده‌ی خانگی، به مرحله‌ی اجرا گذاشته‌شده است. صرفه‌جویی انرژی ناشی از اجرای این استانداردها، قابل‌توجه بوده است. به‌عنوان نمونه، پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در انگلستان، مصرف انرژی یخچال‌ها و فریزرهای نو در سال ۱۹۹۳ معادل با ۶۰٪ مصرف سال ۱۹۷۰ بوده است. به‌طور مشابه در آلمان هم این بهبود حاصل‌شده است. در ایالات‌متحده صرفه‌جویی انرژی حاصل از به‌کارگیری استانداردها برای دوره‌ی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰، برابر ۱۰٫۷ اگزا ژول در سال برآورد شده است.

استانداردهای انرژی برای لوازم‌خانگی، شدیداً ازلحاظ اقتصادی به‌صرفه بوده است. در ایالات‌متحده تخمین‌ها نشان می‌دهد که نسبت‌های متوسط سود به هزینه برای وسایل پربازده حدود ۳٫۵ است. به‌عبارت‌دیگر، هر دلار از خزانه فدرال که بر اجرای استانداردها سرمایه‌گذاری می‌شود، باعث ۱۶۵ دلار پس‌انداز طی دوره‌ی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ شده است. حداقل استانداردهای بازدهی، علاوه بر صرفه‌جویی در انرژی و هزینه، آلودگی کربن را به شکل قابل‌توجهی کاهش می‌دهند. تخمین‌ها نشان می‌دهد که در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، استانداردهای بازدهی انرژی، منجر به کاهش ۴٪ کربن در سال شده است.

بسیاری از استانداردهایی که در حال حاضر موجود هستند، اجباری بوده و تولید و یا فروش کالاهای تأیید نشده را ممنوع می‌کنند. از سوی دیگر، استانداردهایی هستند که اختیاری محسوب می‌گردند و در نواحی گوناگون جهان، وضعیت آن‌ها متفاوت است.

جدول ۵ -٦: وضعیت اجرای استانداردهای بازدهی انرژی - بخش مسکونی

Country /Region	Compliance Status	Products[1]
Australia	Mandatory	R, FR, WH
Brazil	Voluntary	R, FR
Canada	Mandatory	All
China	Mandatory	R, CW, RAC
European Union	Mandatory	R, FR
India	Voluntary	R, RAC, A /C
Japan	Voluntary	A /C
Korea	Mandatory	R, A /C
Mexico	Mandatory	R, FR, RAC
Philippines	Mandatory	A /C
United States	Mandatory	All

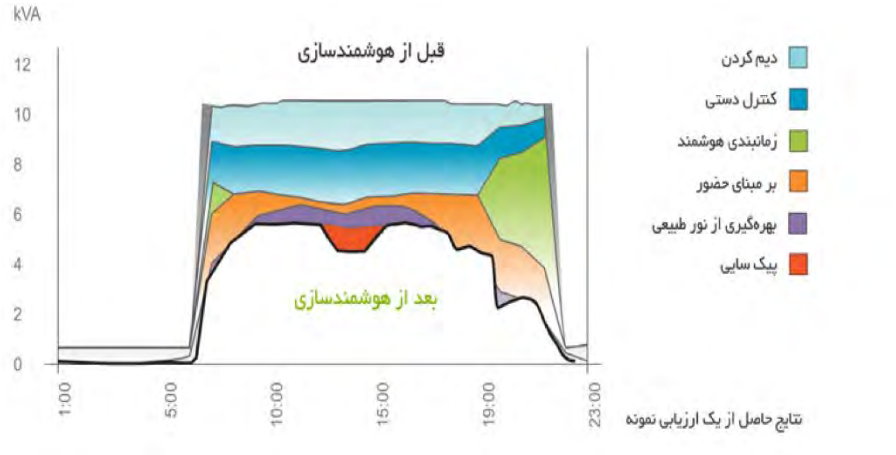
۵-۴) سیستم‌های کنترل و سیستم مدیریت انرژی[2]

سیستم‌های کنترل روشنایی و سیستم‌های مدیریت هوشمند به‌عنوان پله‌ای فراتر از آن‌ها، ابزاری بسیار سودمند و مناسب برای کاهش مصرف در بخش روشنایی هستند. البته کاهش مصرف تنها ثمره‌ی به‌کارگیری این سیستم‌ها نیست و بهبود سطح رفاه و کیفیت و تنوع نورپردازی محیط، بالا رفتن طول عمر تجهیزات، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری به دلیل مانیتورینگ دائمی از دیگر نتایج به‌کارگیری این سیستم‌هاست. با استفاده از راهکارهای نوین هوشمند سازی، اصلاح منبع نور و طراحی روشنایی می‌توان مصرف انرژی در این بخش را تا ۷٪ کاهش داد. هوشمند سازی تجهیزات علاوه بر این‌که باعث کاهش چشمگیر مصرف می‌شود، کمک می‌کند تا تجهیزات پرمصرف شناسایی‌شده و در صورت لزوم و توجیه‌پذیری اقتصادی، آن‌ها را با تجهیزات مناسب‌تر جایگزین کرد.

---

[1] *Products are: Refrigerators (R), Freezers (FR), Clothes Washers (CW), Dishwashers (DW), Clothes Dryers (CD), Water Heaters (WH), Room Air-Conditioners (RAC), and Central Air-Conditioning (A /C)*

[2] *Energy management system (EMS)*



نمودار ٥- ٤: میزان کاهش مصرف انرژی با به‌کارگیری سیستم‌های کنترل و مدیریت هوشمند

در ادامه این بخش به معرفی روش‌ها و تکنیک‌های موجود پرداخته می‌شود.

- مدیریت بر مبنای زمان:

در بخش‌هایی از ساختمان که ساعت کاری از پیش مشخصی وجود دارد، این روش کارایی بالایی دارد. به‌این‌ترتیب که اپراتور یا مسئول تأسیسات بااتصال به سیستم از طریق HMI, PC، تبلت و یا موبایل از داخل یا خارج ساختمان می‌تواند برنامه‌ی زمان کاری و ساعت روشن و خاموش شدن تجهیزات را تعیین کند و روشنایی‌ها متناسب با آن روشن و خاموش شوند. برای روزهای هفته، روزهای کاری و روزهای تعطیل می‌توان ساعات متفاوتی را متناسب با ساعت کاری تنظیم کرد. این روش به‌تنهایی یا به‌طور تلفیقی با سایر روش‌ها قابل‌استفاده است و به دلیل سهولت امکان دسترسی به سیستم مدیریت مرکزی در صورت بروز هر تغییری، به‌راحتی قابل به‌روزرسانی است. این سیستم‌ها می‌توانند در کاهش مصرف انرژی در بخش روشنایی تا حدود ۴۰٪ مؤثر واقع شوند.

- سنسورهای تشخیص حضور:

با کمک این سنسورها، پس از گذشت زمان معینی از خروج افراد از محل، چراغ‌ها به‌صورت خودکار خاموش شده و با ورود مجدد آن‌ها روشن می‌شود. سنسور تشخیص حضور در فضاهای با استفاده‌ی غیر دائم همانند سرویس‌های بهداشتی، نمازخانه‌ها، راهروها و راه‌پله‌ها که میزان تردد افراد کمتر می‌باشد، نصب می‌شود.

سنسورهای تشخیص حضور بر مبنای مکانیسم عملکردی که دارند در سه دسته‌ی اصلی قرار می‌گیرند که به معرفی آن‌ها می‌پردازیم.

(الف) سنسورهای التراسونیک[1]: حسگرهای التراسونیک با روشی مشابه رادارهای زیردریایی‌ها و فرودگاه‌ها کار می‌کنند. یک وسیله صدایی با فرکانس بالا (۴۰Hz – ۲۵) ساطع می‌کند که با گوش انسان قابل شنود نیست. این صدا به‌وسیله‌ی سطوح داخلی فضا (شامل لوازم و اشخاص) منعکس‌شده و به‌وسیله‌ی گیرنده، حس می‌شود. هنگامی‌که ساکنین حرکت می‌کنند، الگوی موج و صدا تغییر می‌کند. تا وقتی‌که هیچ حرکتی برای یک دوره‌ی زمانی از پیش تعیین‌شده ردیابی نشود، روشنایی باقی می‌ماند. برعکس تشعشعات نامرئی، موانعی مانند پارتیشن‌های دیواری نمی‌توانند مانع امواج صوتی می‌شوند. درعین‌حال، حسگرهای مافوق صوت ممکن است برای فضاهای بزرگی که الگوهای ضعیفی تولید می‌کنند، به‌طور صحیح عمل نکنند.

(ب) حسگرهای مادون‌قرمز[2]: اشعه‌ی مادون قرمزی که از سطوح مختلف در فضا، ازجمله بدن انسان ساطع می‌شود را ثبت می‌کنند. هنگامی‌که کنترل‌کننده‌ی متصل به حسگر یک تغییر ممتد در مشخصه‌ی حرارتی محیط را دریافت می‌کنند (مانند زمانی که یکی از ساکنین حرکت می‌کند) سیستم روشنایی روشن می‌شود. روشنایی تا زمانی که تغییرات ثبت‌شده‌ی حرارت قابل‌توجه باشد، باقی می‌ماند. حسگرهای نامرئی تنها در صورتی به‌طور مناسب کار می‌کنند که در خط مستقیم دید نسبت به ساکنین قرار گیرند. لذا باید در فضاهای بسته‌ی کوچک با اشکال منظم و بدون پارتیشن استفاده شوند.

(ج) حسگرهای صوتی[3]: این حسگرها به مانیتور کردن امواج صوتی در محدوده‌ی کاربری، می‌پردازند. میزان و محدوده‌ی پوشش این سنسورها به هندسه‌ی فضا و ارتفاع نصب آن‌ها بستگی دارد و در برخی موارد به حدود ۱۴۰۰ فوت مربع می‌رسد. تقریباً هزینه‌ی اولیه‌ی تجهیز یک فضا با سنسورهای صوتی ۱/۲ هزینه‌ی موردنیاز برای تجهیز همان فضا با سنسورهای التراسونیک است درحالی‌که صرفه‌جویی حاصل از به‌کارگیری هردوی آن‌ها

---

[1] *Ultrasonic sensors*

[2] *Infrared sensor*

[3] *Audio sensors*

نسبتاً مساوی است. در به‌کارگیری سنسورهای صوتی باید توجه کرد که میزان سروصدای محیط پیوسته از ۶۰dB (حد متوسط آن) کمتر باشد، ارتفاع فضای کاربری از سطح آزاد دست‌کم ۱۰۰ فوت بوده و جنس سقف فلزی نباشد.



تصویر۵- ۱۶: سنسور تشخیص حضور

جدول ۵-۷، میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از به‌کارگیری سنسورهای تشخیص حضور را براساس پژوهش EPRI[1]، نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌کنید در محیط‌هایی که به‌طور غیردائمی اشغال می‌شوند، مانند اتاق‌های کنفرانس، دستشویی‌ها و انبارها می‌توان به میزان قابل‌توجهی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد.

جدول ۵ -۷: پتانسیل صرفه‌جویی انرژی حاصل از به‌کارگیری حس‌گرهای تشخیص حضور

Space Application	Range of Energy Savings (٪)
Office (private)	25 – 50
Office (open space)	20 – 25
Rest rooms	30 – 75
Conference rooms	45 – 65
Corridors	30 – 40
Storage areas	45 – 65
Warehouses	50 - 75

[1] *Electric Power Research Institute*

- دیم کردن[1] (تنظیم شدت روشنایی):

معمولاً سیستم‌های روشنایی تنها دارای دو حالت روشن و خاموش هستند و به همین دلیل چه آن‌ها را در نیمه‌ی روز و چه در شب روشن کنیم، میزان نور یکسانی تولید می‌شود. به کمک دیم کردن، میزان نور به‌اندازه‌ی دلخواه قابل تنظیم خواهد بود و درنتیجه می‌توان در زمان‌های متفاوت با توجه به پارامترهای گوناگون کاری و محیطی، نور را دقیقاً به میزان موردنیاز تنظیم کرد. این کار نه‌تنها سبب جذابیت نور محیط می‌شود بلکه مصرف انرژی را نیز کاهش می‌دهد. موارد خاصی از کاربرد دیم، مربوط به اصلاح میزان نور و محیط و کاهش هزینه‌ی تعمیر و نگهداری است. به‌عنوان‌مثال، اگر در محیطی یکی از روشنایی‌ها بسوزد، سایر روشنایی‌ها به‌طور خودکار میزان نور خود را افزایش می‌دهند تا جبران روشنایی از مدار خارج‌شده را بکنند و یا اگر در محیطی به دلیل طراحی اولیه‌ی نامناسب، تعداد تجهیزات روشنایی بیش‌ازحد نیاز در نظر گرفته‌شده باشد، با دیم شدن خودکار آن‌ها تعادل نوری برقرار می‌گردد.

برای دیم کردن روشنایی‌ها پروتکل‌های متعددی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها پروتکل DSI، DALI و استاندارد ۱۰۷-۱ می‌باشد.

تجهیزات موردنیاز:

- انواع بالاست‌های دیم کننده‌ی لامپ‌های فلورسنت
- ال ای دی‌های دیم شونده به همراه درایورهای مخصوص دیم کردن.
- کلیدهای روشنایی مخصوص که امکان دیم کردن را علاوه بر خاموش و روش کردن فراهم می‌کنند.

- بهره‌گیری از روشنایی روز:

با به‌کارگیری سنسور نور و روشنایی‌های دیم شونده، می‌توان از نور طبیعی حداکثر بهره را برد و با توجه به آن، میزان نور و روشنایی‌ها را افزایش یا کاهش داد به‌گونه‌ای که نور محیط همواره در حد مطلوبی بماند. با کاهش میزان نور، میزان مصرف نیز کاهش می‌یابد. به‌این‌ترتیب، مصرف انرژی روشنایی به کم‌ترین حد خود رسیده و میزان نور محیط بهینه

[1] *Dimming*

می‌شود. کاربرد این روش به‌خصوص در مکان‌های نزدیک پنجره و سایر نقاط نورگیر تأثیر چشمگیری دارد و علاوه بر صرفه‌جویی به زیبایی و سلامت محیط کمک می‌کند.

با کنترل درست پرده و سایبان و تشخیص میزان نور و محیط از طریق فتوسل‌ها این امکان فراهم می‌شود که با برقراری بالانس مناسب این دو پارامتر، بیشترین بهره را از نور روز ببریم که علاوه بر کیفیت نور و بدون هزینه بودن استفاده از آن در جذب ویتامین D از طریق نور خورشید هم نقش مؤثری دارد. بالانس بین این دو را اطلاعات فتوسل و تنظیمات کاربر برای میزان نور دلخواه محیط و حضور و عدم حضور افراد به نهایت بهره‌وری می‌رساند.

تجهیزات موردنیاز:

- روشنایی‌های قابل دیم شدن
- سنسور نور مستقیم خورشید برای تشخیص میزان نور محیط
- فعال‌ساز و موتورهای پرده و سایبان

استفاده از روشنایی طبیعی روش‌های دیگری نیز دارد؛ مانند، معماری هدفمند، استفاده از نورگیرها و پنجره‌ها در جهات و ابعاد مناسب، استفاده از لوله‌ی انتقال نور یا فیبر نوری برای کانال انتقال نور در محل‌هایی که به نور دسترسی ندارند و ...

- کنترل هوشمند پرده‌ها:

درواقع این بخش زیر گروهی از موضوع گسترده‌ی بهره‌گیری از روشنایی روز است که پیش‌ازاین به آن پرداختیم. سیستم کنترل هوشمند پرده‌ها می‌تواند در صورت تمایل به استفاده از روشنایی خورشید در طول روز، به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی گردد تا در آغاز روز پرده‌ها باز و با غروب آفتاب به‌صورت خودکار بسته شود. به‌این‌ترتیب ضمن استفاده از نور و انرژی خورشید در طول روز، در ساعات تاریکی نیز با بسته شدن پرده‌ها داخل ساختمان محفوظ می‌ماند.

ضمناً در هرلحظه باز و بسته شدن پرده‌ها به‌وسیله‌ی ریموت کنترل، پنل لمسی[1] و همچنین به کمک کلیدهای دستی تعبیه‌شده ممکن خواهد بود.

شایان توجه است که اعمال فشار یکنواخت و از جهت مناسب به پرده‌ها، باعث طول عمر بیشتر آن شده و سبب می‌شود پرده‌ها براثر مرور زمان شکل و حالت اصلی خود را از دست ندهند.

- پیک سایی:

با توجه به اینکه در ساختمان‌های هوشمند میزان مصرف انرژی به‌طور دائم مانیتور می‌شود، در شرایطی که پیش‌بینی شود میزان مصرف از حدود تعیین‌شده تجاوز خواهد کرد، می‌توان روشنایی‌ها را (۱۰ تا ۳۰ درصد، بسته به اهمیت کاربری) موقتاً کم کرد تا دوره‌ی پیک مصرف ساختمان سپری شود. به‌این‌ترتیب می‌توان هزینه‌ی مصرف انرژی را به میزان قابل‌توجهی کاهش داد. همچنین نرم‌افزار مدیریت مرکزی نمودارهای مصرف مدارات مختلف روشنایی را مانیتور می‌کند و در شناسایی روشنایی‌های معیوب به نیروهای تعمیر و نگهداری ساختمان، یاری می‌رساند.

تجهیزات موردنیاز:

- فعال‌سازهای مختلف روشنایی مانند فعال‌ساز سوئیچینگ و دیمینگ
- تجهیزات مانیتورینگ میزان مصرف جریان مدارات اصلی برق ساختمان

- کنترل‌های مختلف دستی:

کاربران می‌توانند با انجام تنظیمات شخصی و ذخیره‌ی آن، سناریوهای دلخواهی را پدیدآورند که با فشردن یک دکمه چندین کار به‌طور هم‌زمان رخ دهد و شرایط دقیقاً مطابق خواسته‌ی آن‌ها تغییر کند. مثلاً سناریو مطالعه‌ی نور را در محلی که فرد در حال مطالعه می‌باشد، به‌اندازه‌ی شدت روشنایی مناسب مطالعه دیم کرده و با بستن پرده‌ها فضا را برای فرد به صورتی که دلخواه باشد درمی‌آورد. تنظیم مودهای مختلف به کمک تعیین میزان مناسب نور و رنگ دلخواه از سناریوهای محبوب بخش روشنایی است. روشنایی می‌تواند

[1] *PDA*

به‌گونه‌ای تنظیم شود که برای افزایش حفاظت و ایمنی به کار گرفته شود مثلاً هنگام ورود فرد مزاحم تمام چراغ‌ها روشن‌شده و به‌طور هم‌زمان حضور وی به پلیس اطلاع داده شود. نرم‌افزار رابط کاربری این امکان را فراهم می‌کند تا کاربر از طریق مختلف مانند موبایل، تبلت و کامپیوتر به شبکه دسترسی داشته و تنظیمات دلخواه و موردنیاز را انجام دهد.

فصل ششم

آشنایی با مبانی مقدماتی، سیستم‌ها و تجهیزات تهویه‌ی مطبوع و حرارت مرکزی

چکیده

پیش‌ازاین به مباحث اولیه‌ی مربوط به ممیزی و سطوح آن، تجزیه‌وتحلیل اقتصادی و آنالیز انرژی پرداخته شد، در ادامه نیز مباحث مربوط به پوشش ساختمانی و سیستم‌های الکتریکی موردبحث قرار گرفت.

در این فصل و چند فصل پیش‌رو قصد بر آن است که به آشنایی با سیستم‌های حرارت مرکزی و تهویه‌ی مطبوع و روند بررسی و ممیزی آن‌ها پرداخته شود. ازآنجایی‌که شناخت صحیح و چندجانبه‌ی سیستم‌ها و تجهیزات و چگونگی اثرگذاری و اثرپذیری آن‌ها از یکدیگر مقدمه‌ی ورود به وادی ممیزی، اعم از ممیزی صنعتی و ساختمانی است؛ در این فصل پس از بیان مقدمه و تاریخچه‌ی مختصری درباره‌ی موضوع تهویه‌ی مطبوع به مبحث مشخصات هوا، فرآیندهای تهویه مطبوع و روند اجمالی محاسبه‌ی بارهای حرارتی و برودتی پرداخته خواهد شد. در ادامه‌ی فصل نیز انواع سیستم‌های ساختمانی و تجهیزات متداول تهویه‌ی مطبوع و حرارت مرکزی موردبحث قرار خواهد گرفت.

آشنایی با تجهیزات متداول، ساختار سیستم‌ها و روش‌های محاسبه، طراحی و انتخاب آن‌ها، مقدمه‌ی ورود به وادی مدیریت و بهینه‌سازی انرژی است. چراکه اگر فرد ممیز دارای دانش و تجربه‌ی کافی در حوزه‌ی فعالیت خود نباشد، نمی‌تواند به طرح راهکارها و سناریوهای اثربخشی بپردازد. تنها سیستم‌های ساختمانی مشمول این قاعده نیستند، بلکه در تمامی سیستم‌های انرژی دیگر، نظیر واحدهای صنعتی نیز ضروری است که فرد ممیز پیش از اقدام به شروع کار به اطلاعاتی کافی از سیستم‌ها، فرآیندها و در حد امکان روند طراحی و تجهیز دست یابد؛ بنابراین قصد داریم که در این فصل به معرفی اجمالی فرآیند محاسبه‌ی بارهای حرارتی و برودتی، برخی مفاهیم اولیه‌ی موردنیاز و انواع رایج سیستم‌ها و تجهیزات حرارت مرکزی و تهویه‌ی مطبوع بپردازیم.

شاید نتوان تاریخچه‌ی دقیقی برای پیدایش سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع ارائه کرد، اما می‌توان ظهور و بروز آن را به پردازش‌های طبیعی ذهن‌های معطوف به پیشرفت و آسایش طی گستره‌ی وسیعی از زمان نسبت داد. اگرچه صورت‌های نخستین تهویه‌ی مطبوع به صدها و شاید هزاران سال قبل بازمی‌گردد، اما پیدایش آن به‌صورت یک علم و محصول را می‌توان اواخر قرن نوزدهم دانست.

«ویلیس کریر[1]» در نوامبر ۱۸۷۶ در شهر کوچکی در غرب نیویورک متولد شد. او پس از گذراندن دوران متوسطه وارد دانشگاه کرنل[2] شد و در سال ۱۹۰۱ با مدرک مهندسی مکانیک از این دانشگاه فارغ‌التحصیل گردید. کریر پس از اتمام تحصیلات خود توانست در یک شرکت فعال درزمینه‌ی ساخت سیستم‌های حرارتی به نام «بوفالو فورج[3]» استخدام شده و مسئولیت طراحی سیستم‌های حرارتی خشک‌کننده‌ی الوار و قهوه را برعهده گیرد. در همین زمان چاپخانه‌ای در تنظیم شرایط محیطی خود دچار مشکل شده بود، به‌گونه‌ای که نوسانات دما و رطوبت سبب شده بود تا اندازه‌ی کاغذهای چاپ دچار تغییر شده و ترکیب جوهرهای رنگ نیز به هم بخورد. در این وضعیت، ویلیس کریر کسی بود که توانست با تکیه بر

---

[1] *Willis Carrier*

[2] *Cornell University*

[3] *Buffalo Forge*

دانش و تجربه‌ی خود در آن مقطع زمانی، به ابداع سیستمی بپردازد که شرایط موردنیاز برای تداوم فعالیت چاپخانه‌ی مذکور را فراهم کند. این مکانیسم که به‌عنوان نقطه‌ی عطفی در صنعت جهانی به شمار می‌رود، از سوی مراجع معتبر جهان به‌عنوان اولین سیستم عملی تهویه‌ی مطبوع، شناخته‌شده است. ازآن‌پس روند روزافزون بهبود و توسعه‌ی سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع در پیش‌گرفته شد. به‌گونه‌ای که امروز شاهد حضور سیستم‌های متنوع، نوین و کارآمد در بازارهای جهانی هستیم.



تصویر٦- ١: ویلیس هاویلند کریر



تصویر٦- ٢: نخستین سیستم تهویه مطبوع توسعه‌یافته توسط کریر

فرآیند طراحی و انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی با محاسبه‌ی بارهای حرارتی و سرمایی آغازشده و در ادامه با توجه به ظرفیت موردنیاز، کاربری فضاها، امکان نصب تجهیزات، میزان صدای مجاز، محدودیت‌های سازه‌ای و محدودیت‌های مالی کارفرما تکمیل می‌شود.

بررسی آمار و ارقام موجود نشانگر آن است که سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی حدود ۴۰ درصد مصرف انرژی ساختمان‌ها را به خود اختصاص می‌دهند، بنابراین شناخت دقیق این سیستم‌ها و فرآیند بررسی و ممیزی آن‌ها از جایگاه و اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است.

۶-۱) مشخصات هوا

هدف از به‌کارگیری سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع، تأمین شرایط لازم برای انجام یک فعالیت مشخص و یا نگهداری یک محصول خاص است. برای نیل به این هدف و همین‌طور درک مناسب‌تر فرآیندهای تهویه‌ی مطبوع، آشنایی با مشخصات هوا و چگونگی تأثیر متقابل آن‌ها بر یکدیگر لازم به نظر می‌رسد.

هوای خشک ترکیبی از گازهای نیتروژن، اکسیژن، آرگون، کربن‌دی‌اکسید، نئون، هلیوم و مقادیر ناچیزی از گازهای دیگر نظیر متان، هیدروژن، گوگرد دی‌اکسید و ... است. در محدوده‌ی کاربردهای تهویه‌ی مطبوع می‌توان هوای خشک و رطوبت همراه آن را به‌عنوان گازهای ایده‌آل در نظر گرفت تا به‌این‌ترتیب از روابط مربوط به گازهای ایده‌آل برای انجام محاسبات مربوط به آن‌ها استفاده شود. در ادامه‌ی این بخش به معرفی برخی شاخصه‌های ضروری هوا خواهیم پرداخت.

- *دمای حباب خشک*[1]: دمای هوا که با دماسنج معمولی اندازه گرفته می‌شود.
- *دمای حباب مرطوب*[2]: دمای هوا که به‌وسیله‌ی دماسنجی که حباب آن توسط یک فتیله‌ی مرطوب پوشیده شده و در معرض جریان سریع هوا قرار دارد اندازه‌گیری می‌شود. دمای حباب مرطوب کم‌تر و یا مساوی دمای حباب خشک است. لازم به ذکر

[1] *Dry Bulb Temperature*

[2] *Wet Bulb Temperature*

است که دمای اشباع آدیاباتیک متفاوت با دمای حباب مرطوب است؛ اما به دلیل اختلاف ناچیز معادل با یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند.

- *دمای نقطه‌ی شبنم*[1]: دمایی است که در آن تقطیر رطوبت هنگام سرد کردن هوا آغاز می‌شود. (دمای اشباع در فشار نسبی بخار)
- *رطوبت مخصوص*[2]: نسبت جرم بخارآب موجود در هوا به جرم هوای خشک، یا به‌عبارت‌دیگر جرم بخارآب موجود در واحد جرم هوای خشک.

$$w = \frac{m_v}{m_a}$$

رابطه‌ی ۶-۱

m_v: جرم بخارآب، m_a: جرم هوای خشک

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = ۰/۶۲۲ \frac{p_v}{p_a}$$

رابطه‌ی ۶-۲

p_v: فشار جزئی بخار ، P_a: فشار جزئی هوای خشک

$$w = \frac{۰/۶۲۲ p_v}{p - p_v}$$

رابطه‌ی ۶-۳

P: فشار کل هوا

- *رطوبت نسبی*[3]: نسبت جرم بخارآب موجود در حجم مشخصی از هوا در یک درجه حرارت مشخص به حداکثر مقدار بخارآبی که آن حجم از هوا در همان درجه‌ی حرارت می‌تواند در خود نگه دارد.

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{p_v V / R_v T}{P_g V / R_v T} = \frac{P_v}{P_g}$$

رابطه‌ی ۶-۴

P_g: فشار اشباع در دمای محیط

---

[1] *Dew point Temperature*

[2] *Specific humidity*

[3] *Relative humidity*

$$\phi = \frac{w\,.p}{(\cdot/\,٦٢٢ + w\,)P_g}, \qquad w\, = \frac{\cdot/\,٦٢٢\phi P_g}{P - \phi P_g}$$

رابطه‌ی ۶-۵

- *جرم هوای خشک*[1]: اساس تمام محاسبات سایکرومتریک
- *حجم مخصوص هوا*[2]: نسبت حجم هوای مرطوب به حجم هوای خشک
- *آنتالپی مخصوص هوا*[3]: حاصل تقسیم آنتالپی هوای مرطوب بر جرم هوای خشک که به‌صورت روابط زیر است.

$$H\, = H_a + H_v\, = m_a h_a + m_v h_v$$

رابطه‌ی ۶-۶

H: آنتالپی هوای مرطوب

h_a: آنتالپی مخصوص هوای خشک

h_v: آنتالپی مخصوص بخار

$$h = \frac{H}{m_a} = \frac{m_a h_a}{m_a} + \frac{m_v h_v}{m_a} = h_a + w h_v$$

رابطه‌ی ۶-۷

h: آنتالپی مخصوص هوا

$$h = h_a + w\,.h_g \qquad (h_v \cong h_g\,)$$

رابطه‌ی ۶-۸

- *گرمای محسوس*[4]: گرمایی که سبب تغییر دمای خشک هوا گردد.
- *گرمای نهان*[5]: گرمایی که آب ضمن تبخیر و یا بخار ضمن تقطیر می‌گیرد یا پس می‌دهد. در طول این فرایند دما و فشار آب یا بخار ثابت می‌ماند.
- *فاکتور گرمای محسوس*[6]: نسبت بار محسوس به بار کل، فاکتور یا نسبت گرمای محسوس نامیده می‌شود.

---

[1] *Mass of dry air*

[2] *Air specific volume*

[3] *Air specific enthalpy*

[4] *Sensible heat*

[5] *Latent heat*

[6] *Sensible heat factor*

$$SHF = \frac{q_s}{q_t}$$

رابطه‌ی ۶-۹

q_s: بار محسوس، q_t: بار کل

$$SHF = \frac{C_p (t_o - t_i)}{h_o - h_i}$$

رابطه‌ی ۶-۱۰

c_p: گرمای ویژه هوا $(kj / kg\,°c, Btu / lb\,°F)$

t_o: دمای هوای بیرون $(°C, °F)$

t_i: دمای هوای داخل $(°C, °F)$

h_o: آنتالپی مخصوص هوای بیرون $(kJ / kg, Btu / lb)$

h_i: آنتالپی مخصوص هوای داخل $(kJ / kg, Btu / lb)$

- *شاخص عدم آسایش*[1]: این شاخص میزان عدم آسایش افراد بر مبنای سطح دما و رطوبت محیط را بیان می‌کند. شاخص عدم آسایش با نام‌های دیگری نظیر «ضریب ناراحتی» و یا «شاخص دما– رطوبت» نیز شناخته می‌شود.

$$DI = T - [۰/۵۵ \times (۱ - ۰/۰۱ RH) \times (T - ۱٤/۵)]$$

رابطه‌ی ۶-۱۱

T: دمای محیط $(°C)$ و RH: رطوبت نسبی هوا

$$DI = ۰/٤(T_{db} + T_{wb}) + ۱۵$$

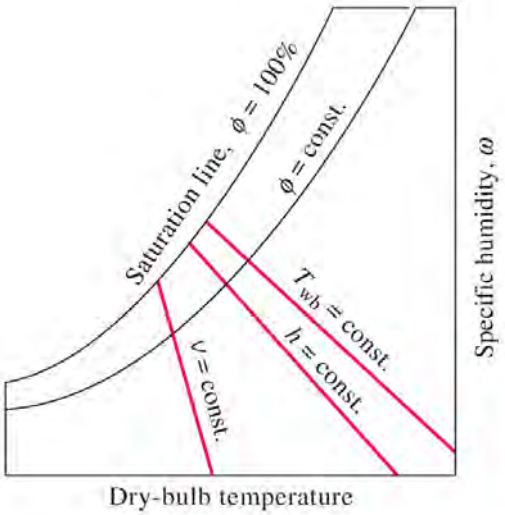
رابطه‌ی ۶-۱۲

T_{db}: دمای حباب خشک $(°F)$ و T_{wb}: دمای حباب مرطوب $(°F)$

طبعاً هرچه شاخص عدم آسایش بزرگ‌تر شود، میزان آسودگی محیط کم‌تر خواهد بود. بررسی‌های انجام‌شده نشانگر آن است که ۱۰ درصد افراد در شاخص زیر ۷۰، بیشتر از ۵۰ درصد افراد در شاخص بالای ۷۵ و تقریباً تمام افراد در شاخص ۸۰ و بالاتر از آن احساس عدم آسایش می‌کنند. در شاخص‌های بالاتر از ۱۱۰ امکان بروز عوارض و ناراحتی‌های جدی وجود دارد.

[1] *Discomfort Index (DI)*

- *نمودار سایکرومتریک*[1]: به‌منظور تسهیل و تسریع روند محاسبات نمودارهایی گردآوری‌شده‌اند که با استفاده از آن‌ها می‌توان تغییرات مشخصات هوا براثر تغییرات دما، رطوبت، آنتالپی و برخی پارامترهای دیگر نظیر حجم مخصوص را تعیین کرد. نمودارهای سایکرومتریک می‌توانند در شکل‌ها و ساختارهای گوناگونی ارائه شوند. نمونه‌ای از نمودارهای سایکرومتریک متداول در تصویر ۶-۳ نشان داده‌شده است.



تصویر٦- ۳: نمودار سایکرومتریک

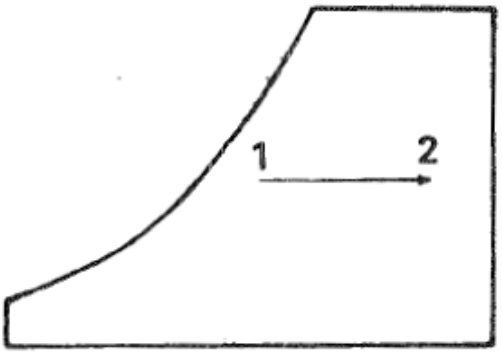
۶-۲) فرآیندهای تهویه‌ی مطبوع

شرایط طرح داخل، میزان معینی از دما و رطوبت است که با توجه به کاربری فضا تعیین می‌شود. برای رساندن هوای بیرون به شرایط طرح داخل، لازم است که فرآیندهای گوناگونی صورت پذیرد. در ادامه به معرفی این فرآیندها خواهیم پرداخت.

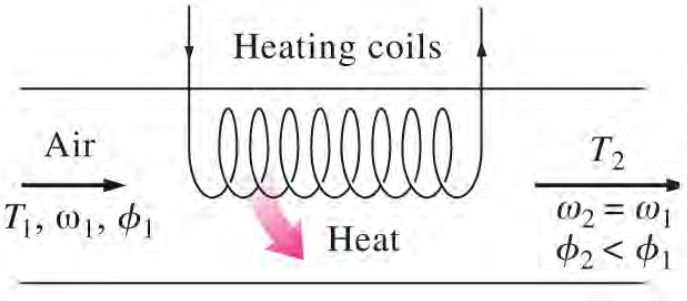
- *گرمایش ساده*[2]: در این فرآیند، گرما به هوا افزوده می‌شود درحالی‌که رطوبت مطلب آن ثابت می‌ماند.

[1] *Psychrometric chart*

[2] *Simple heating*

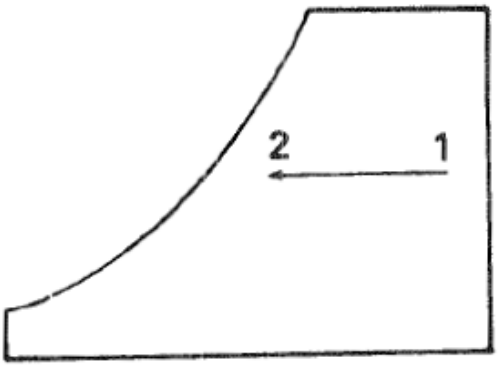


تصویر٦- ٤:گرمایش ساده



تصویر٦- ٥:گرمایش ساده

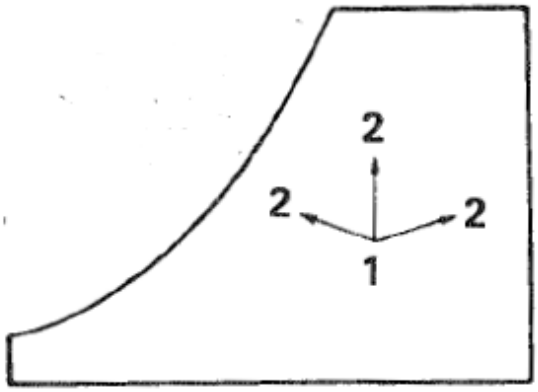
- *سرمایش ساده*[1]: در این فرآیند، گرما از هوا گرفته می‌شود درحالی‌که رطوبت مطلق آن ثابت باقی می‌ماند.



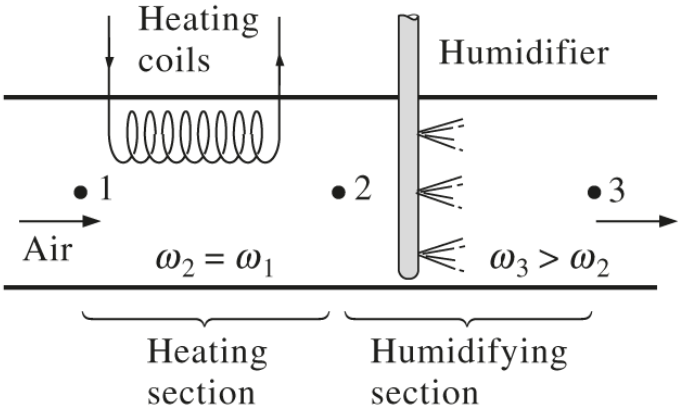
تصویر٦- ٦: سرمایش ساده

[1] *Simple cooling*

- *گرمایش و رطوبت زنی*[1]: در این فرآیند، هوا ابتدا گرم شده و سپس رطوبت آن افزایش می‌یابد. رطوبت زنی هوا از دو طریق افزودن مستقیم بخار و یا افزودن ذرات آب توسط افشانک‌ها امکان‌پذیر است. افزودن بخار به هوا دمای آن را افزایش خواهد داد، درحالی‌که تزریق ذرات آب ممکن است منجر به کاهش دمای هوا شود.



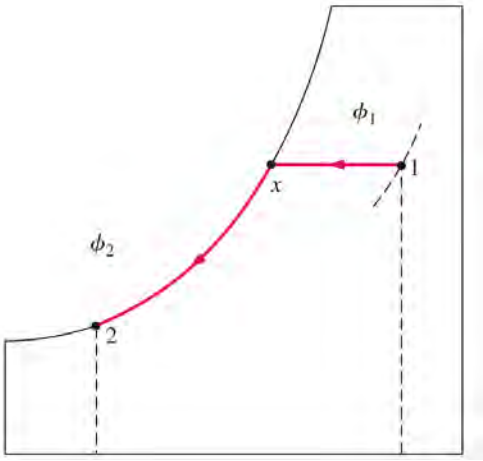
تصویر٦- ٧:گرمایش و رطوبت زنی



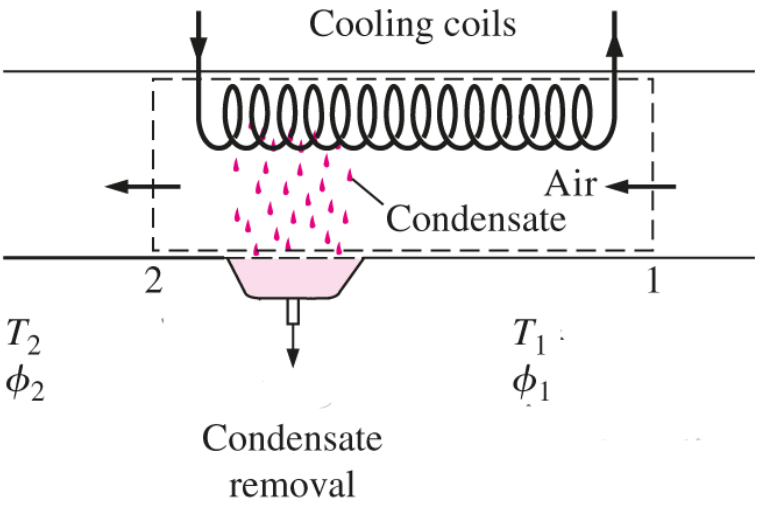
تصویر٦- ٨:گرمایش و رطوبت زنی

[1] *Heating with humidification*

- *سرمایش و رطوبت‌گیری*[1]: در این فرآیند، دمای هوا طی انتقال حرارت با کویل‌ها سرمایشی کاهش پیدا می‌کند تا زمانی که به نقطه‌ی شبنم برسد. با ادامه‌ی تبادل حرارت بخارآب موجود در هوا طی فرآیند تقطیر از آن جداشده و موجب کاهش سطح رطوبت مطلق می‌گردد.



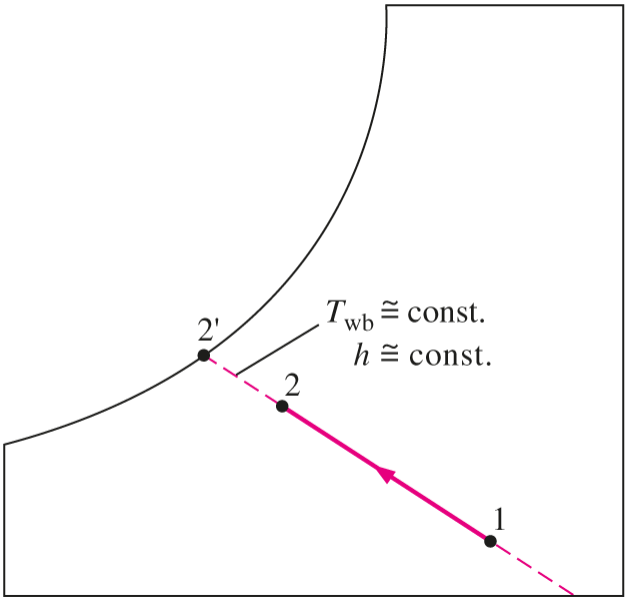
تصویر٦- ۹: سرمایش و رطوبت‌گیری



تصویر٦- ۱۰: سرمایش و رطوبت‌گیری

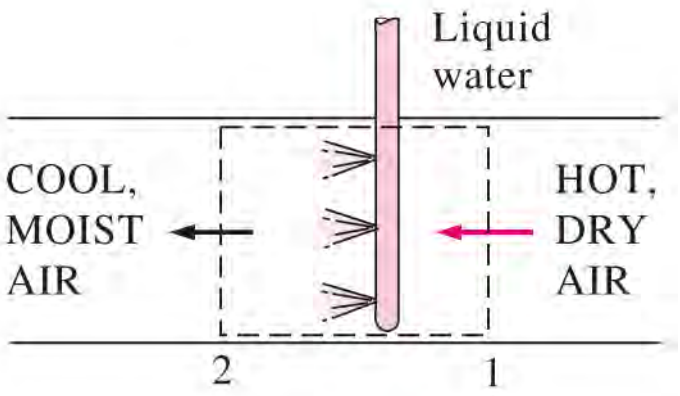
[1] *Cooling with dehumidification*

- *سرمایش تبخیری*[1]: این فرآیند، یک تحول آدیاباتیک است که به‌عنوان یک نمونه‌ی بارز آن می‌توان به فرآیندی که در کولرهای آبی رخ می‌دهد، اشاره کرد. در سرمایش تبخیری، آب اضافه‌شده به هوایی که به‌سرعت در حال عبور است، تبخیر شده و گرمای نهان تبخیر خود را از هوا می‌گیرد تا به‌این‌ترتیب موجب کاهش دمای هوا شود. طی این فرآیند دمای حباب مرطوب هوا ثابت باقی می‌ماند و هرچند که آنتالپی هوا در دو حالت ورودی و خروجی کاملاً مساوی نیست، با دقت نسبتاً خوبی می‌توان آن‌ها را برابر در نظر گرفت.



تصویر ٦- ١١: سرمایش تبخیری

[1] *Evaporative Cooling*



تصویر٦- ۱۲: سرمایش تبخیری

- *اختلاط آدیاباتیک*[1]: مخلوط کردن هوای برگشتی از فضاها با مقداری هوای تازه فرآیندی است که در اغلب سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع رخ می‌دهد.

فرآیند اختلاط آدیاباتیک، فرآیندی است که در آن دو یا چند جریان هوا در شرایطی که فرض می‌شود با محیط پیرامون خود تبادل حرارت قابل‌توجهی ندارند، مخلوط می‌شوند. به تصویر ۶-۱۳ توجه کنید؛ همان‌طور که مشاهده می‌کنید این تصویر نشان‌دهنده‌ی یک فرآیند اختلاط آدیاباتیک است. چنانچه مجموعه‌ی نشان داده‌شده در این تصویر را به‌عنوان یک سیستم ترمودینامیکی در نظر بگیریم، با نوشتن معادلات جرم و انرژی روابط زیر را خواهیم داشت.

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

رابطه‌ی ۶-۱۳

$$w_1\dot{m}_1 + w_2\dot{m}_2 = w_3\dot{m}_3$$

رابطه‌ی ۶-۱۴

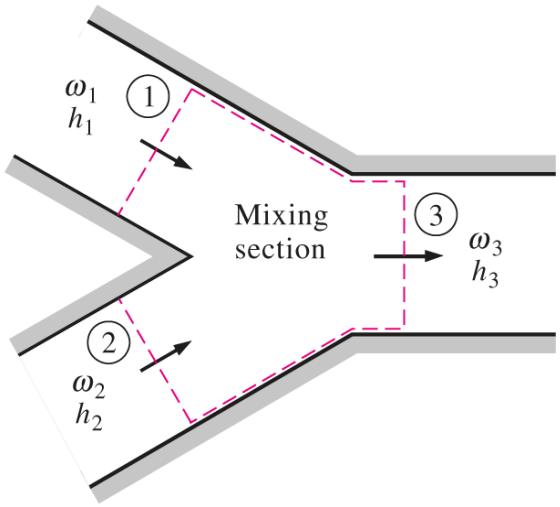
$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

رابطه‌ی ۶-۱۵

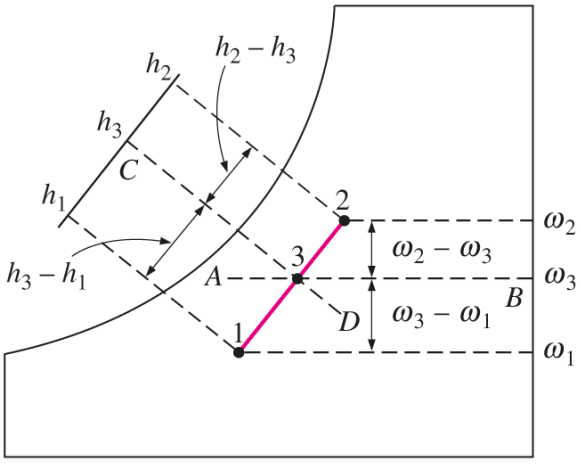
$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{w_2 - w_3}{w_3 - w_1} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1}$$

رابطه‌ی ۶-۱۶

[1] *Adiabatic mixing*



تصویر٦- ١٣: اختلاط آدیاباتیک

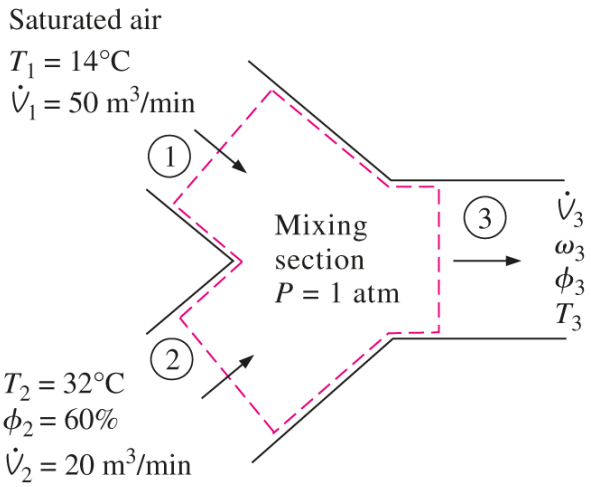


تصویر٦- ١٤: اختلاط آدیاباتیک

❖ نمونه‌ی کاربردی ۶-۱:

هوای اشباع‌شده از قسمت سردکن دستگاه تهویه‌ی مطبوع در دمای $14^{\circ}C$ و با دبی حجمی $50 m^3/\min$ به‌طور آدیاباتیک با هوای بیرون با دمای $32^{\circ}C$ و رطوبت نسبی ۶۰٪ و دبی $20 m^3/\min$ مخلوط می‌شود. با فرض این‌که اختلاط در فشار یک اتمسفر اتفاق

بیافتد، رطوبت مخصوص، رطوبت نسبی، دمای حباب خشک و دبی حجمی جریان مخلوط را تعیین کنید.



تصویر۶- ۱۵: پارامترهای جریان (نمونه‌ی کاربردی ۶-۱)

- پاسخ: با استفاده از نمودار سایکرومتریک خواهیم داشت:

$$\begin{cases} h_1 = ۳۹/٤kJ/kg & \text{هوای خشک} \\ w_1 = ۰/۰۱kgH_2O/kg & \text{هوای خشک} \\ v_1 = ۰/۸۲٦m^3/kg & \text{هوای خشک} \end{cases}$$

$$\begin{cases} h_2 = ۷۹kJ/kg & \text{هوای خشک} \\ w_2 = ۰/۰۱۸۲kgH_2O/kg & \text{هوای خشک} \\ v_2 = ۰/۸۸۹m^3/kg & \text{هوای خشک} \end{cases}$$

داریم:

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{v}_1}{v_1} = \frac{۵۰m^3/\min}{۰/۸۲٦m^3/kg} = ٦۰/۵kg/\min$$

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{v}_2}{v_2} = \frac{۲۰m^3/\min}{۰/۸۸۹m^3/kg} = ۲۲/۵kg/\min$$

از معادله‌ی بقای جرم داریم:

$$\dot{m}_۳ = \dot{m}_۱ + \dot{m}_۲ = ۶۰/۵ + ۲۲/۵ = ۸۳kg/\min$$

برای تعیین رطوبت مخصوص و آنتالپی مخلوط داریم:

$$\frac{\dot{m}_۱}{\dot{m}_۲} = \frac{w_۲ - w_۳}{w_۳ - w_۱} = \frac{h_۲ - h_۳}{h_۳ - h_۱} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{۶۰/۵}{۲۲/۵} = \frac{۰/۰۱۸۲ - w_۳}{w_۳ - ۰/۰۱} = \frac{۷۹ - h_۳}{h_۳ - ۳۹/٤}$$

$$\begin{cases} w_۳ = ۰/۰۱۲۲kgH_۲o/kg & \text{هوای خشک} \\ h_۳ = ۵۰/۱kJ/kg & \text{هوای خشک} \end{cases}$$

این دو خاصیت حالت مخلوط را مشخص می‌کنند. برای تعیین سایر خواص ترمودینامیکی مخلوط به نمودار سایکرومتریک مراجعه می‌کنیم.

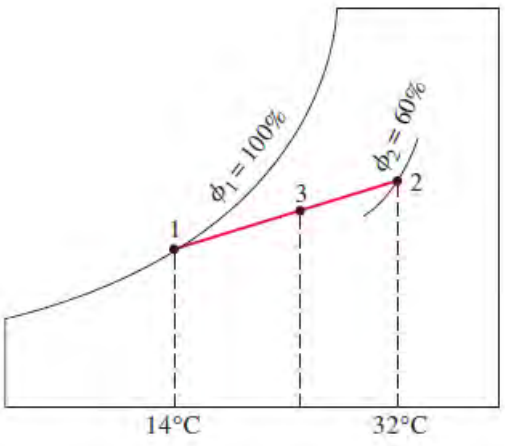
$$T_۳ = ۱۹°C$$

$$\phi_۳ = ۸۹\%$$

$$v_۳ = ۰/۸٤٤m^۳/kg$$

با این احتساب دبی حجمی مخلوط برابر خواهد بود با:

$$\dot{v}_۳ = \dot{m}_۳ v_۳ = ۸۳kg/\min \times ۰/۸٤٤m^۳/kg = ۷۰/۱m^۳/\min$$



تصویر٦- ١٦: فرآیند سایکرومتریک (نمونه‌ی کاربردی ۶-۱)

۶-۳) بارهای حرارتی و برودتی

محاسبه‌ی بارهای حرارتی و برودتی، پیش مرحله‌ی ورود به فاز طراحی و انتخاب اجزای سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی است. همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز اشاره شد، هدف استفاده از سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع تأمین شرایط لازم برای انجام یک فعالیت خاص و یا نگهداری یک محصول مشخص است. لذا چنانچه محاسبه‌ی بارهای حرارتی و برودتی به‌درستی صورت نپذیرد، ظرفیت تعیین‌شده‌ی دستگاه نادرست خواهد بود و در پی آن سیستم در تأمین شرایط مطلوب دچار مشکل خواهد شد.

محاسبه‌ی بارهای حرارتی و برودتی مبحث گسترده‌ای است که به تفصیل در کتب تخصصی تهویه‌ی مطبوع موردبحث قرار می‌گیرد؛ بنابراین با توجه به محوریت مطالب این کتاب و گستردگی موضوع محاسبه‌ی بارهای حرارتی و برودتی، قصد نداریم که در این فصل به تشریح روش‌ها و روابط محاسبه‌ی بار بپردازیم و صرفاً به معرفی مفهوم بارهای حرارتی و برودتی و عوامل مؤثر بر مقدار آن‌ها اکتفا خواهیم کرد.

۶-۳-۱) شرایط طرح[1]

پیش‌ازاین که به معرفی مفهوم و عوامل مؤثر بر بار پرداخته شود، لازم است که با تعریف شرایط طرح آشنا شوید.

مقصود از شرایط طرح داخل، شرایطی است (دما، رطوبت و گاهاً موارد دیگری نظیر سرعت جریان هوا و سطح ذرات معلق) که برای حفظ یک محصول خاص و یا حفظ آسایش غالب افراد طی انجام یک فعالیت مشخص توصیه می‌شود.

[1] *Design conditions*

جدول ٦-١: شرایط توصیه‌شده‌ی طرح داخل (کریر)

TYPE OF APPLICATION	SUMMER					WINTER				
	Deluxe		Commercial Practice			With Humidification			Without Humidification	
	Dry-Bulb (°C)	Rel. Hum (٪)	Dry-Bulb (°C)	Rel. Hum (٪)	Temp. Swing (°C)	Dry-Bulb (°C)	Rel. Hum (٪)	Temp. Swing (°C)	Dry-Bulb (°C)	Temp. Swing (°C)
GENERAL COMFORT Apt., House, Hotel, Office Hospital, School, etc.	23.5 - 24.5	50 - 45	25 - 26	50 - 45	1	23.5 — 24.5	35 - 30	-1.5 to -2	24 - 25	-2
RETAIL SHOPS (Short term occupancy) Bank, Barber or Beauty Shop, Dept. Store, Supermarket, etc.	24.5 - 25.5	50 - 45	25.5 — 26.5	50 - 45	1	22 - 23.5	35 - 30	-1.5 To -2	23 - 24	-2
LOW SENSIBLE HEAT FACTOR APPLICATIONS (High Latent Load) Auditorium, Church, Bar, Kitchen, etc.	24.5 - 25.5	55 - 50	25.5 - 26.5	60 - 50	0.5	22 - 23.5	40 - 35	-1 To -1.5	23.5 - 24.5	-2
FACTORY COMFORT Assembly Areas, Machining Rooms, etc.	25 - 26.6	55 - 45	26.5 - 30	60 - 50	1.5	20 - 22	35 - 30	-2 to -3	21 - 23.5	-3

طراحی سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع بر مبنای بدترین شرایط ممکن در تابستان و زمستان صورت می‌گیرد، به این خاطر شرایطی تحت عنوان شرایط طرح خارج معرفی می‌شود.

شرایط طرح خارج خود به دو شاخه‌ی «شرایط طرح خارج زمستانی» و «شرایط طرح خارج تابستانی» تقسیم می‌گردد. شرایط طرح تابستانی در مقایسه‌ی با شرایط زمستانی قدری پیچیده‌تر است؛ چراکه در شرایط تابستانی به دلیل تابعیت بار از زمان، باید تغییرات زمانی نیز موردتوجه قرار گیرد. به‌عنوان نمونه‌ای از این وابستگی زمانی می‌توانیم دو پنجره‌ی شرقی و غربی را در نظر بگیریم. به پنجره‌ای که رو به شرق است در ابتدای صبح تابش بیش‌تری می‌رسد. درحالی‌که پنجره‌ی غربی در حدود ساعت چهار بعدازظهر بیشترین تشعشع را دریافت می‌کند؛ بنابراین ازآنجایی‌که یکی از عوامل مهم و اساسی در تعیین بارهای سرمایشی، اثرات تغییر انرژی تابشی است و این تابش در ساعات شبانه‌روز تغییر می‌کند، لازم است بارهای سرمایشی با توجه به این تغییرات محاسبه شوند؛ بنابراین شرایط طرح خارج برای یک حالت حداکثری که به‌طور قراردادی ساعت ۳ بعدازظهر ۲۳ جولای[1] (معادل اول مردادماه) فرض می‌شود، ارائه می‌گردد. شرایط طرح در دیگر ماه‌ها، روزها و ساعت‌های سال با روش‌ها و روابط معینی قابل‌تعیین است.

شرایط طرح خارج زمستانی از سادگی بیشتری برخوردار است. این شرایط به‌صورت سردترین وضعیت دمای بیرون که غالباً در ساعات اولیه‌ی صبح به وقوع می‌پیوندد، ارائه می‌شود.

[1] *July*

جدول ٦ -۲: نمونه‌ای از شرایط طرح خارج

Station	Lat	Long	Elev	Heating DB		Cooling DB/MCWB				Evaporation WB/MCDB			Dehumidification DP/HR/MCDB					Extreme Annual WS			Heat./Cool. Degree-Days
				99.6%	99%	0.4%		1%		2%		0.4%		1%	0.4%			1%			1%	2.5%	5%	HDD / CDD b65
						DB / MCWB		DB / MCWB		DB / MCWB		WB / MCDB		WB / MCDB	DP / HR / MCDB			DP / HR / MCDB						
Rhode Island																								
PAWTUCKET (AWOS)	41.92N	71.50W	440	3.1	8.9	88.1	72.6	84.0	70.8	81.6	69.1	75.2	84.1	73.4	81.1	72.4	122.0	80.3	71.1	116.5	78.6	19.5	17.2	15.1	6267
PROVIDENCE T F GREEN STATE AR	41.72N	71.43W	62	7.2	11.9	90.1	73.3	86.7	71.7	83.8	70.4	76.5	85.2	74.9	82.0	73.9	126.6	80.3	72.6	121.2	78.6	24.4	20.7	18.8	5591
South Carolina																									*6 sites, 3 more on CD-ROM*
CHARLESTON INTL ARPT	32.90N	80.04W	49	26.9	30.4	94.3	78.2	92.1	77.6	90.2	77.0	80.5	89.1	79.7	87.9	78.5	148.2	84.1	77.5	143.1	83.3	20.3	18.2	16.5	1889
COLUMBIA METRO ARPT	33.94N	81.12W	226	22.0	25.9	97.0	75.4	94.5	75.1	92.3	74.6	78.4	90.0	77.6	88.7	75.6	135.2	82.0	74.7	131.0	81.2	19.1	17.0	15.3	2529
FLORENCE REGIONAL AP	34.19N	79.73W	151	23.4	26.9	95.9	76.9	93.4	76.2	91.2	75.6	79.5	90.4	78.4	88.7	76.9	140.7	83.9	75.5	134.4	82.3	19.1	17.6	15.7	2432
FOLLY ISLAND	32.68N	79.88W	16	31.6	34.9	87.6	N/A	86.2	N/A	85.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	34.1	26.7	23.3	1902
GREER GREENVL-SPARTANBRG AP	34.90N	82.22W	971	20.5	24.7	94.0	74.1	91.4	73.9	89.1	73.2	77.0	88.2	76.0	86.3	74.0	131.4	80.3	73.1	127.4	79.6	19.5	17.6	15.9	3123
SHAW AFB/SUMTER	33.97N	80.47W	243	24.2	27.5	95.4	75.3	92.9	75.1	90.6	74.7	78.5	89.0	77.6	87.7	75.7	135.6	82.1	75.0	132.3	81.4	18.9	16.7	14.7	3474
South Dakota																									*3 sites, 11 more on CD-ROM*
ELLSWORTH AFB	44.15N	103.10W	3215	-9.2	-3.6	96.5	65.9	92.3	65.4	88.8	64.7	70.9	86.1	69.1	84.6	66.1	108.6	77.9	64.0	100.7	75.5	34.3	28.7	25.0	6999
RAPID CITY REGIONAL ARPT	44.05N	103.05W	3169	-10.5	-4.6	96.9	65.9	92.8	65.6	89.3	64.9	71.0	85.8	69.3	84.9	66.5	109.8	78.2	64.4	102.0	76.1	34.7	30.0	26.1	7027
SIOUX FALLS FOSS FIELD	43.58N	96.75W	1427	-13.7	-8.4	92.8	74.0	89.4	73.3	86.3	71.5	77.4	87.6	75.5	85.8	74.5	135.9	83.6	72.4	126.5	81.8	27.6	24.6	21.2	7524
Tennessee																									*7 sites, 2 more on CD-ROM*
BRISTOL TRI CITY AIRPORT	36.48N	82.40W	1526	11.4	16.9	89.8	72.2	87.5	71.7	85.4	71.1	75.0	84.9	74.0	83.5	72.2	126.1	79.0	71.1	121.5	77.8	18.9	16.5	14.0	4234
CHATTANOOGA LOVELL FIELD AI	35.03N	85.20W	689	17.7	22.3	94.5	75.0	92.1	74.6	89.9	73.9	77.8	88.9	76.8	87.4	74.9	134.1	81.4	73.8	129.3	80.5	17.9	16.0	13.7	3197
JACKSON MCKELLAR-SIPES REGL A	35.59N	88.92W	423	13.5	18.7	94.7	76.9	92.6	76.6	90.6	76.0	79.7	90.5	78.5	89.0	76.7	141.3	85.3	75.4	135.4	84.0	19.6	18.0	16.2	3439
KNOXVILLE MCGHEE TYSON AP	35.82N	83.99W	981	15.0	20.2	92.6	74.3	90.2	73.9	88.1	73.2	77.1	87.7	76.0	86.0	74.0	131.5	81.6	73.0	127.1	80.5	20.2	17.5	15.2	3614
MEMPHIS INTERNATIONAL AP	35.06N	89.99W	331	17.0	21.7	96.0	77.3	93.9	76.9	92.1	76.4	80.2	91.1	79.2	89.9	77.3	143.6	85.8	76.2	138.5	84.9	20.3	18.3	16.6	2935
MILLINGTON MUNI ARP	35.35N	89.87W	322	14.0	19.6	97.3	77.8	95.0	76.5	92.8	76.0	80.4	92.4	78.9	90.8	77.1	142.7	87.1	75.3	134.4	85.1	18.6	16.4	14.2	3185
NASHVILLE INTERNATIONAL AI	36.12N	86.69W	604	12.9	18.2	94.4	75.0	92.1	74.8	90.0	74.1	78.2	88.7	77.2	87.7	75.3	135.5	82.7	74.1	130.3	81.7	19.9	17.8	16.0	3542

۶-۳-۲) بار حرارتی[1]

اصطلاح بار در سیستم تهویه‌ی مطبوع مشخص‌کننده‌ی میزان تبادل حرارتی است که به فضای ساختمان تحمیل می‌شود و سیستم برای رسیدن به شرایط مطلوب باید آن را خنثی کند. حداکثر بار حرارتی غالباً در ساعات اولیه‌ی صبح که خورشید هنوز طلوع نکرده و یا اثر تابشی آن قابل صرف‌نظر کردن است، رخ می‌دهد. به این خاطر که محاسبه‌ی بار حرارتی برای بدترین شرایط ممکن صورت می‌پذیرد، از احتساب بارهای داخلی نظیر حرارت افراد و تجهیزات صرف‌نظر می‌شود. المان‌های اصلی در شکل‌گیری بار حرارتی را می‌توان به‌صورت زیر ارائه کرد.

- انتقال حرارت هدایتی از طریق دیوارها، سقف، کف، درها و پنجره‌ها
- نفوذ هوای سرد از طریق درز درها و پنجره‌ها و دیگر روزنه‌های ساختمان
- بار ناشی از تأمین هوای تازه

[1] *Heating load*



تصویر ٦- ١٧: عوامل مؤثر بر بار حرارتی ساختمان

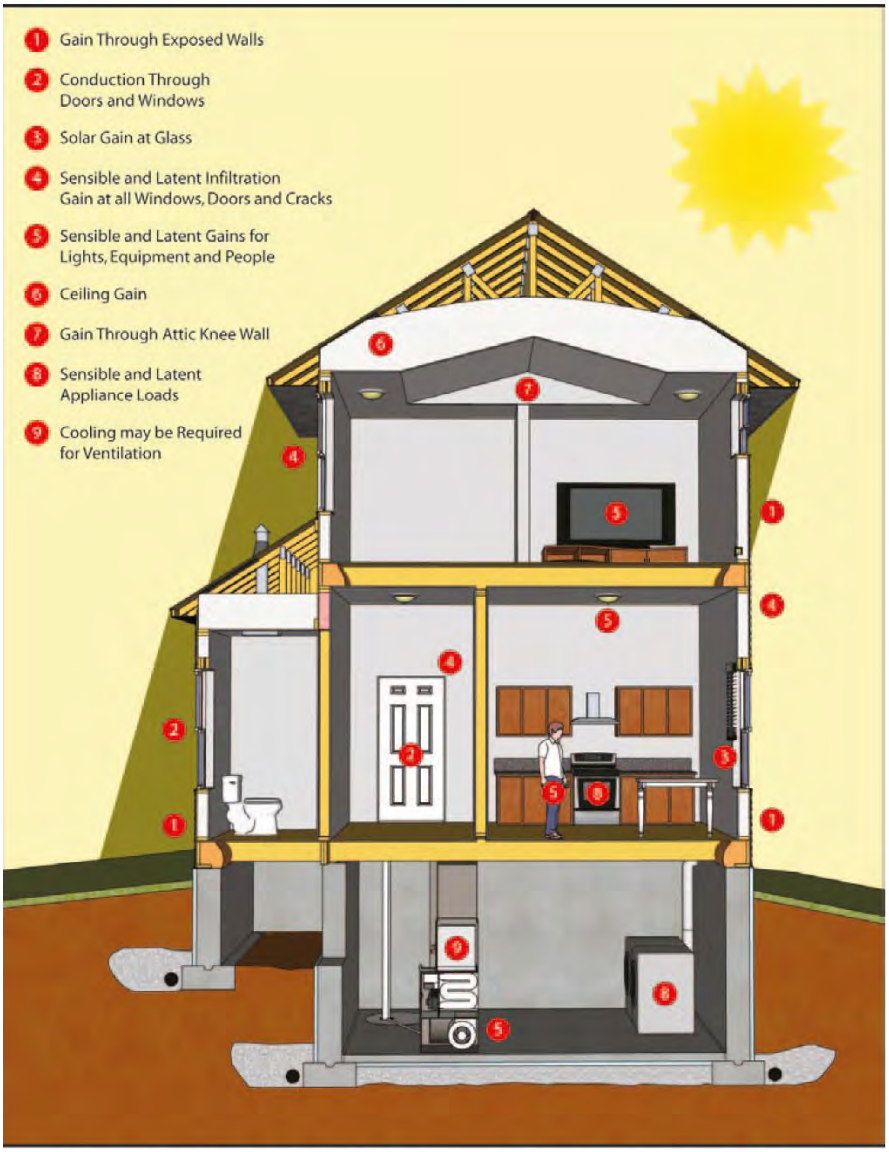
۶-۳-۳) بار برودتی[1]

منظور از بار برودتی، حرارتی است که به طرق مختلف بر ساختمان تحمیل‌شده و سیستم برای رسیدن به شرایط مطلوب تابستانی باید آن را خنثی کند. المان‌های مؤثر بر میزان بار برودتی به‌قرار زیر است.

- انتقال حرارت هدایتی از طریق دیوارها، سقف، کف و پنجره‌ها.
- نفوذ هوا از منافذ و روزنه‌های گوناگون و بار ناشی از تأمین هوای تازه.
- بار حرارتی ناشی از تابش خورشید به پنجره‌ها و نورگیرها.
- بارهای داخلی نظیر بار لامپ‌ها، تجهیزات، لوله‌های تأسیساتی و بار ناشی از حضور افراد.

توجه کنید که در برخی موارد ممکن است بارهای داخلی به‌قدری مهم باشند که بر موارد دیگر غلبه کنند، به‌عنوان نمونه‌ای از این حالت می‌توانیم به سالن‌های اجتماعات، اتاق‌های کنفرانس، رستوران‌ها و آشپزخانه‌ها اشاره کنیم.

[1] *Cooling load*



تصویر٦- ۱۸: عوامل مؤثر بر بار برودتی ساختمان

۶-۴) سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع

سیستم‌های تهویه مطبوع متنوعی با ساختارهایی گوناگون در بازار موجود است که انتخاب آن‌ها بستگی به عملکرد ساختمان، معماری آن، میزان گرمایش و سرمایش موردنیاز و محدودیت‌های مالی خریدار دارد. انتخاب صحیح نوع سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع و

طراحی مناسب شبکه و اجزای آن بر تأمین شرایط مطلوب محیطی و بهینگی مصرف انرژی بسیار اثرگذار است. سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع را به شیوه‌ی زیر طبقه‌بندی کرده و در ادامه به توصیف و معرفی آن‌ها خواهیم پرداخت.

- سیستم‌های تمام هوا[1]
- سیستم‌های تمام آب[2]
- سیستم‌های آب- هوا[3]
- سیستم‌های انبساط مستقیم[4]
- سیستم‌های سرمایشی تبخیری[5]

۶-۴-۱) سیستم‌های تمام هوا

سیستم‌های تمام هوا شاخه‌ای از سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع هستند که تبادل حرارت در آن‌ها توسط حجم معینی از هوا صورت می‌گیرد. این سیستم‌ها برای کاربردهایی به کار گرفته می‌شوند که امکان کانال‌کشی به مناطق مختلف ساختمان وجود داشته باشد.

ظرفیت سرمایشی یا گرمایشی این سیستم‌ها که با Q آن را نمایش می‌دهیم برحسب واحدهای watt یا Btu/h اندازه‌گیری شده که مقدار آن از حاصل‌ضرب دبی جریان هوا و اختلاف دمای هوای ورودی به منطقه و دمای هوای برگشت محاسبه می‌شود.

رابطه‌ی ۶-۱۷ Q = عدد ثابت × دبی حجمی × اختلاف دما

(عدد ثابتی که در این رابطه به آن اشاره‌شده است درواقع همان حاصل‌ضرب چگالی در گرمای ویژه‌ی هواست)

بنابراین همان‌طور که از رابطه‌ی فوق مشخص است، برای تغییر ظرفیت گرمایی یا سرمایی یک سیستم تمام هوا باید اختلاف دمای دو هوا و یا دبی هوای ورودی دچار تغییر شود.

---

[1] *All Air Systems*

[2] *All Water Systems*

[3] *Air– Water Systems*

[4] *Direct Expansion Systems*

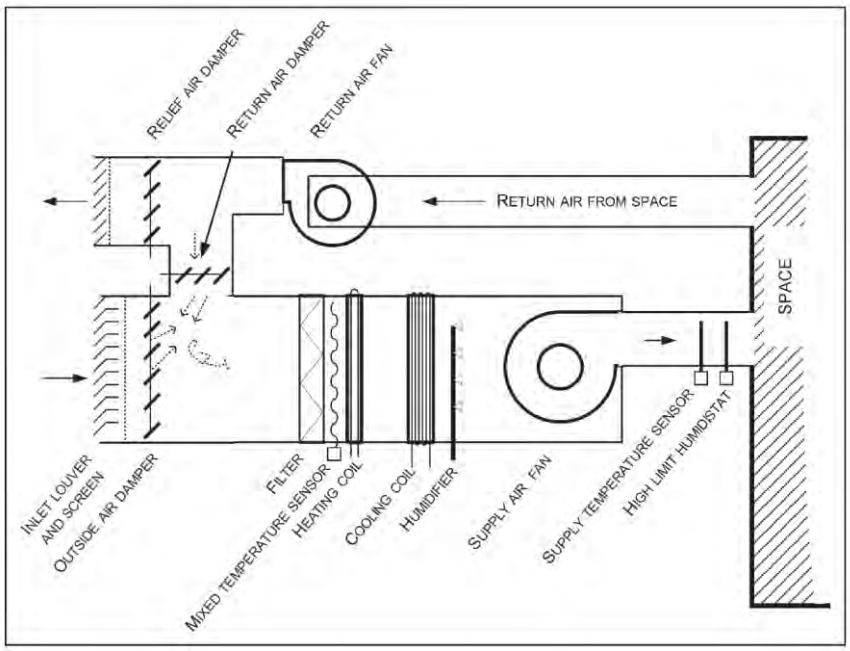
[5] *Evaporative Air cooling Systems*

سیستم‌های تمام هوا دارای انواع گوناگونی هستند که در ادامه به معرفی آن‌ها می‌پردازیم.

۶-۴-۱-۱) سیستم تمام هوای تک منطقه‌ای[1]

سیستم تمام هوای تک منطقه‌ای، سیستمی است که برای تأمین شرایط مطلوب طرح در یک زون مشخص به کار گرفته می‌شود. این سیستم‌ها با عناوین دیگری نظیر «هواساز» یا «هوارسان‌های تک منطقه‌ای» نیز شناخته می‌شوند. نحوه‌ی کار این سیستم‌ها به‌این‌ترتیب است که هوای خارج را مکش کرده و با هوای برگشتی از فضا (در صورت وجود) مخلوط می‌کنند، در ادامه این هوای مخلوط فیلتر، سرد یا گرم و رطوبت زنی یا رطوبت‌زدایی شده و به داخل ساختمان ارسال می‌گردد.

سیستم‌های تمام هوایی که در ادامه موردبحث قرار می‌گیرند، از گروه سیستم‌های تمام هوای چند منطقه‌ای خواهند بود.



تصویر ٦- ١٩: سیستم هواساز تک منطقه‌ای

[1] *Single Zone*

۶-۴-۱-۲) سیستم‌های تک کانال با حجم هوای ثابت[1]

پیش‌ازاین در توصیف رابطه‌ی ۶-۱۷ اشاره شد که ظرفیت حرارتی و برودتی مقدار مشخصی از هوا به دو عامل نرخ جریان ورودی و اختلاف دمای هوای خروجی از سیستم و هوای طرح بستگی دارد. در برخی موارد قصد بر آن است که تأمین شرایط مطلوب فضاهای یک ساختمان چند زونه، توسط یک سیستم هواساز انجام شود. در چنین مواردی تأمین دمای موردنیاز طرح به یکی از روش‌های زیر امکان‌پذیر است.

- تغییر در دبی هوای ورودی به فضا
- تغییر در دمای هوای ارسالی به فضا
- تغییر هم‌زمان دبی هوای ورودی و دمای هوای ارسالی به فضا.

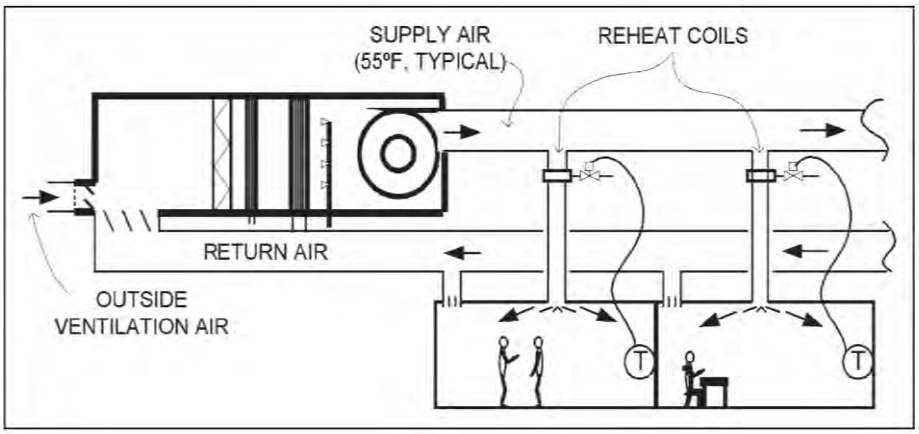
سیستم‌های تک کانال با حجم هوای ثابت، یک نمونه‌ی اصلاح‌شده از سیستم‌های تک منطقه‌ای هستند. این سیستم‌ها که با عنوان «سیستم‌های مجهز به کویل دوباره گرم‌کن» نیز شناخته می‌شوند. با گرم کردن جریان هوای سرد، دمای موردنیاز سیستم را تأمین می‌کنند. تصویر ۶-۲۰ یک سیستم دوباره گرم‌کن با توزیع‌کننده‌ی هوا در سقف را نمایش می‌دهد.

در این سیستم حجم ثابتی از هوای تهویه شده در یک دمای مشخص توسط سیستم مرکزی تأمین می‌شود. دمایی که سیستم مرکزی تأمین می‌کند، معمولاً کم‌ترین دمای موردنیاز در بین تمامی منطقه‌هاست. به‌این‌ترتیب اگر دمای هوای موردنیاز در هریک از مناطق ساختمان از دمای هوای تأمین‌شده توسط سیستم مرکزی بیش‌تر باشد، برای جبران آن کویل گرمای قبل از ورود هوای ارسالی به داخل اتاق آن را تا دمای موردنظر گرم می‌کند.

کویل دوباره گرم‌کن در نزدیکی منطقه قرار داشته و از داخل منطقه کنترل می‌شود. این کویل‌ها معمولاً از نوع الکتریکی یا آب گرم هستند. لازم به ذکر است که در صورت استفاده از کویل آب گرم، یکی از مشکلات احتمالی نشت آب گرم از کویل می‌باشد. از سیستم‌های مجهز به کویل دوباره گرم‌کن در کاربردهای نظیر بیمارستان‌ها، کتابخانه و مکان‌هایی که تنوع بار حرارتی در آن‌ها زیاد است استفاده می‌شود.

---

[1] *Single-Duct, Constant Volume Systems (CAV)*



تصویر٦-٢٠: سیستم تمام هوا مجهز به کویل دوباره گرم‌کن

۶-۴-۱-۳) سیستم‌های تک کانال با حجم هوای متغیر[1]

اقلیم‌هایی که به‌صورت پیوسته آب و هوایی گرم دارند، به‌صورت چهارفصل نیازمند سرمایش هستند. برای مواقعی که تنها سرمایش یک فضا مدنظر است، بهترین وضعیت کارکرد سیستم، تأمین مقدار هوای موردنیاز سیستم بر مبنای نیاز هرلحظه است.

سیستمی که قابلیت کارکرد تحت چنین شرایطی را داشته و به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، سیستم با حجم هوای متغیر است که به‌اختصار به آن سیستم VAV گفته می‌شود.

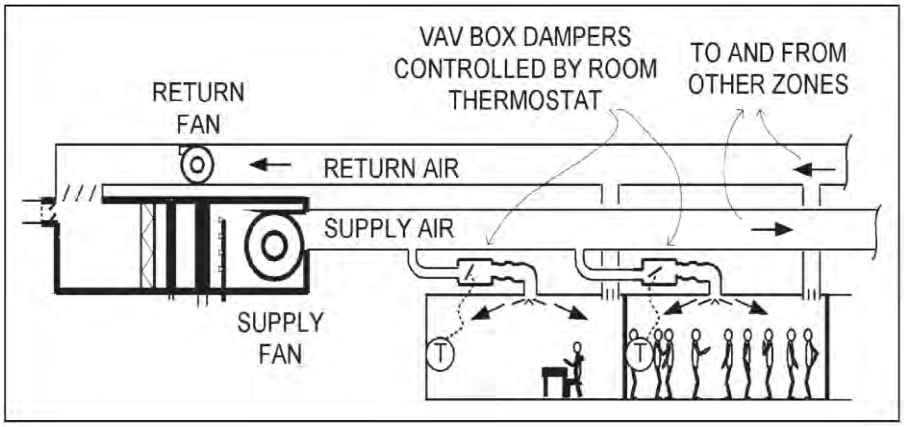
سیستم‌های حجم متغیر مجهز به یک دمپر برای کنترل حجم هوا هستند که عملکرد آن توسط یک ترموستات اتاقی تنظیم می‌شود. در سیستم‌های حجم متغیر، این دمپر میزان هوای ورودی به هر منطقه را تعیین می‌کند تا به‌این‌ترتیب سبب شود که هر منطقه به دمای موردنیاز خود دست یابد. مزیت دیگر این روش آن است که بدون توجه به تغییرات بار سرمایشی، در هرلحظه حداقل میزان هوای تهویه موردنیاز هر منطقه تأمین می‌شود و درعین‌حال، تأمین هوای مطبوع در تمامی شرایط صورت می‌گیرد.

در سیستم‌های حجم متغیر با سرد شدن بیش‌ازحد فضا، نیاز به سرمایش کاهش‌یافته و جریان هوای سرد ارسالی به اتاق نیز کمتر می‌شود. این روند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که حجم هوای ارسالی به اتاق به حداقل میزان هوای تهویه‌ی موردنیاز برسد. (تصویر ۶-۲۱).

---

[1] *Single-Duct, Variable Air Volume Systems (VAV)*

ضمن آن‌که اگر در این حالت هوای داخل اتاق خیلی سرد باشد، کویل گرمایی شروع به کار کرده و دما را افزایش می‌دهد که البته این روند به معنای هدر رفتن انرژی حاصل از گرمایش و سرمایش در یک‌زمان است. با این حالت این اتلاف انرژی از اتلاف انرژی صورت گرفته در سیستم‌های مجهز به کویل دوباره گرم‌کن بسیار کمتر است، چراکه در این حالت سیستم سرمایش پیش از شروع به کار سیستم گرمایش به حداقل کارایی خود می‌رسد.

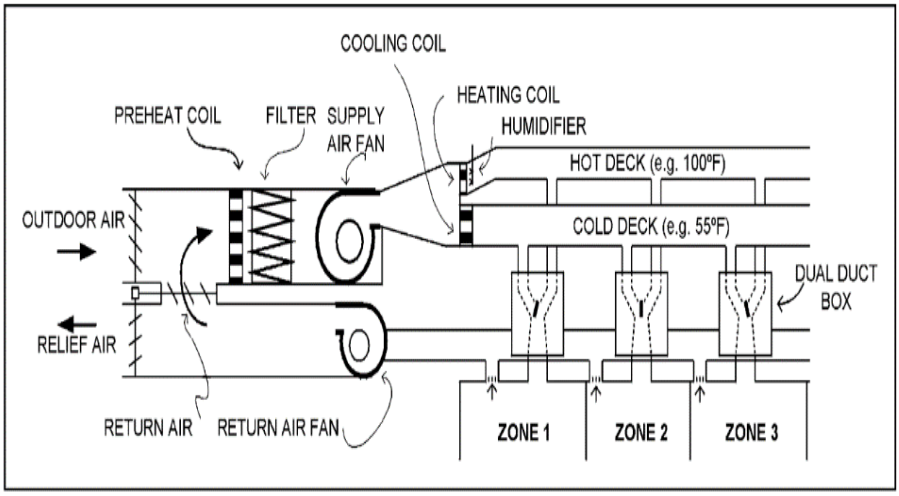


تصویر٦-۲۱: سیستم تک کانال با حجم هوای متغیر

۶-۴-۱-۴) سیستم‌های دو کانال با حجم هوای ثابت[1]

کنترل عملکرد یک سیستم دو کانال به روشی متفاوت از سیستم‌های تک کانال و سیستم‌های حجم متغیر انجام می‌گیرد. در این سیستم گرما و سرما از دو کانال جداگانه به داخل ساختمان ارسال‌شده و برای تأمین دمای موردنیاز هوای سرد و گرم (در صورت لزوم) با یکدیگر مخلوط می‌شوند. ساختار این سیستم به‌گونه‌ای است که در آن هوای سرد و گرم از طریق دو کانال مجزا و موازی که در پایین‌دست فن قرار دارند به داخل ساختمان انتقال داده می‌شود. نمایه‌ای از این سیستم با سه زون در تصویر ۶-۲۲ نشان داده‌شده است.

[1] *Dual-Duct, Constant Volume systems (CAV)*



تصویر٦- ۲۲: سیستم دو کانال با حجم هوای ثابت

سیستم دو کانال، با ثابت نگه‌داشتن جریان هوا از طریق دو کانال سرد و گرم دمای منطقه را کنترل می‌کند. همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز گفته شد، در سیستم مجهز به کویل دوباره گرم‌کن اگر بار در حداکثر مقدار خود نباشد، وضعیت سرمایشی و گرمایشی سیستم در مقابل هم عمل می‌کند که این مسئله موجب کاهش صرفه‌ی اقتصادی دستگاه می‌شود که بزرگ‌ترین عیب این نوع سیستم‌ها است. ناکارآمدی سیستم‌های دو کاناله را می‌توان با استفاده از روش‌های زیر تا حدودی کاهش داد.

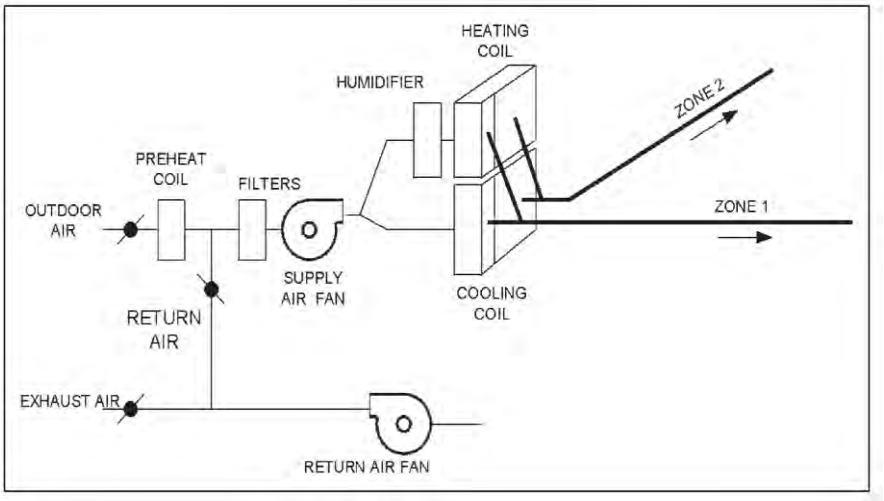
- به حداقل رساندن دمای هوا در دهانه‌ی خروجی گرم با استفاده از منطق کنترلی مبتنی بر بار مناطق یا دمای هوای خارج.
- افزایش دما و رطوبت هوا در دهانه‌ی خروجی سرد در شرایط ممکن.
- استفاده از جعبه‌های اختلاط با حجم هوای متغیر.

۶-۴-۱-۵) سیستم‌های چندمنطقه‌ای[1]

ازنظر ترمودینامیکی سیستم‌های چند منطقه‌ای همان سیستم‌های دو کاناله هستند. هردوی آن‌ها درصدهای متفاوتی از جریان هوای گرم و سرد را با هم مخلوط می‌کنند تا به

[1] *Multi zone Systems*

دمای هوای موردنیاز برای منطقه‌ی موردنظر برسند. تنها تفاوت سیستم‌های چندمنطقه‌ای و سیستم‌های دو کانال در آن است که در سیستم‌های چندمنطقه‌ای اختلاط هوای گرم و سرد در دستگاه و در سیستم‌های دو کانال این اختلاط در نزدیکی منطقه صورت می‌گیرد (تصویر ۶-۲۳).



تصویر٦- ۲۳: سیستم تهویه‌ی مطبوع چندمنطقه‌ای

ازنظر ساختاری سیستم‌های چندمنطقه‌ای یک فن دارند که به‌صورت موازی هر دو کویل گرمایی و سرمایی را پوشش می‌دهد و هوای گرم و سرد در داخل همان سیستم و در کنار کویل‌ها با دو دمپر با یکدیگر مخلوط می‌شوند؛ اما در سیستم‌های دو کاناله جریان هوای گرم و سرد به‌صورت مجزا در دو کانال توزیع‌شده و در جعبه‌ی اختلاط با یکدیگر مخلوط می‌شوند.

در سیستم‌های چند منطقه‌ای کویل گرم معمولاً در قسمت فوقانی قرار می‌گیرد و سرد و گرم در کنار یکدیگر مناطق مختلف را می‌سازند. در این سیستم هر بخش دو دمپر دارد که باز شدن دمپر هوای سرد منجر به بسته شدن دمپر هوای گرم می‌شود. هر دمپر با یک راه‌انداز فعال می‌شود و هوای هریک از مناطق پس از اختلاط به داخل ساختمان ارسال می‌شود.

لازم به ذکر است که در این سیستم‌ها نیز همچون سیستم‌های دو کاناله، بخشی از ناکارآمدی سیستم در مصرف انرژی به دلیل سرمایش و گرمایش هم‌زمان وجود دارد.

۶-۴-۱-۶) سیستم‌های چند منطقه‌ای با سه خروجی[1]

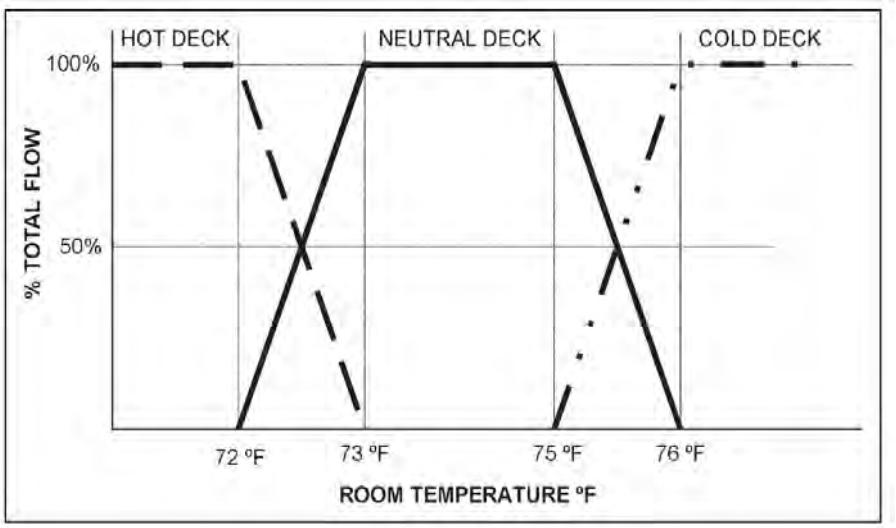
سیستم‌های چند منطقه‌ای با سه خروجی راه‌حلی برای غلبه بر مشکل کارکرد هم‌زمان در وضعیت گرمایش و سرمایش در سیستم چند منطقه‌ای است. استفاده از این سیستم‌ها برای ساختمان‌های تجاری اهمیت بیشتری دارد. ساختار سیستم چندمنطقه‌ای با سه خروجی درست مانند سیستم دوکاناله است، با این تفاوت که جریان هوای دیگری که نه سرد و نه گرم است به سیستم اضافه می‌شود. هوای سرد و گرم در سیستم با سه خروجی هرگز با یکدیگر مخلوط نمی‌شوند، بلکه منطقه‌هایی که به گرمایش نیاز دارند مخلوطی از هوای خنثی و هوای گرم را دریافت می‌کنند و مناطقی که نیازمند سرمایش هستند مخلوطی از هوای خنثی و هوای سرد را دریافت می‌کنند.

مجدداً تأکید می‌کنیم که هوای خنثی در این سیستم شامل سرمایش و گرمایش نمی‌شود و دمای آن با تغییرات فصلی تغییر می‌کند. به‌عنوان‌مثال، در فصل تابستان به دلیل آن‌که هوای خروجی خنثی گرم‌تر از خروجی سرد است، خروجی خنثی نقش خروجی گرم را ایفا می‌کند. برعکس در فصل زمستان خروجی خنثی سرد بوده و به‌جای خروجی سرما می‌نشیند؛ بنابراین در کل سال، احتمال کارکردن دو سیستم گرمایش و سرمایش به‌صورت هم‌زمان منتفی خواهد شد.

چگونگی کنترل جریان در سیستم‌های چندمنطقه‌ای با سه خروجی در تصویر ۶-۲۴ نشان داده‌شده است. مشخص است که اصلی‌ترین مزیت این سیستم کاهش هدر رفت انرژی با عدم اختلاط هوای گرم و سرد است.

---

[1] *Three-deck Multizone Systems*



تصویر٦- ٢٤: نمودار جریان هوا در سیستم‌های چند منطقه‌ای با سه خروجی

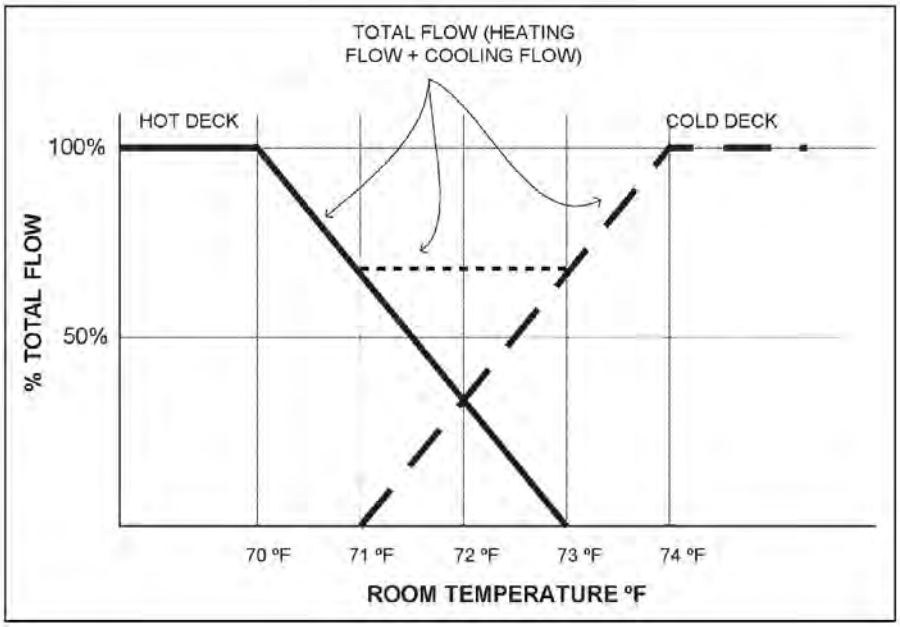
۶-۴-۱-۷) سیستم‌های دو کانال با حجم هوای متغیر[1]

سیستم‌های دو کانال با حجم هوای متغیر تمامی مزایای سیستم‌های معمولی حجم متغیر را دارند و علاوه بر آن می‌توانند زمانی که به گرما نیاز است چرخه‌ی تهویه را نیز کنترل کنند. تفاوت سیستم‌های حجم متغیر دو کانال با انواع تک کاناله در آن است که در سیستم حجم متغیر دو کانال، هوا با یک فن با نرخ ثابت به داخل ساختمان ارسال نمی‌شود، بلکه با دو فن با حجم متغیر به‌صورت مجزا تأمین می‌شود. در این سیستم‌ها بخشی از جریان از روی کویل گرمایی و بخش دیگر آن از روی کویل سرمایی می‌گذرد و هوای گرم و سرد حاصل از آن‌ها به‌صورت مجزا به داخل ساختمان کانال‌کشی می‌شود.

اختلاط این دو جریان در جعبه‌ی اختلاط مربوط به هر منطقه انجام می‌گیرد. این اختلاط می‌تواند با درصدهای مختلفی از هوای گرم یا سرد یا حتی حجم کل جریان هوای ارسالی به داخل ساختمان صورت گیرد؛ که ویژگی اخیر اصلی‌ترین وجه تمایز سیستم‌های حجم متغیر دو کاناله با سیستم‌های دو کاناله‌ی معمولی است که در آن‌ها حجم کل هوای ارسالی به داخل ساختمان می‌بایست ثابت باشد.

[1] *Dual-Duct, Variable Air Volume Systems*

چگونگی تغییرات جریان در سیستم‌های حجم متغیر دو کانال در تصویر ۶-۲۵ نشان داده شده است.



تصویر٦- ۲۵: تغییرات جریان هوا با دما در سیستم‌های حجم متغیر دو کانال

۶-۴-۲) سیستم‌های تمام آب

سیستم‌های تمام آب، سیستم‌هایی هستند که در آن‌ها آب سرد، گرم و یا بخار پس از فراهم آوری به فضای موردنظر انتقال‌یافته و با عبور از ترمینال تعبیه‌شده موجب کاهش یا افزایش دمای محیط می‌شود.

ازجمله مزایای سیستم‌های تمام آب می‌توان به سروصدای کم، هزینه‌ی اولیه و هزینه‌ی جاری پایین و بازدهی نسبتاً بالا اشاره کرد. از سوی دیگر عدم تأمین هوای تازه، عدم کنترل رطوبت و پتانسیل بالای خرابی لوله‌ها ازجمله معایب این دسته از سیستم‌ها است.

سیستم‌های تمام آب دارای انواع گوناگونی به‌قرار زیر هستند که در ادامه به معرفی آن‌ها پرداخته می‌شود.

- سیستم‌های گرمایشی تابشی دماپایین و سیستم‌های جریان طبیعی[۱]
- سرمایش و گرمایش صفحه‌ای[۲]
- فن کویل‌ها[۳]
- سیستم‌های القایی دو لوله‌ای[۴]
- پمپ‌های گرمایی منبع آبی[۵]

۶-۴-۲-۱) سیستم‌های گرمایش تابشی دماپایین و سیستم‌های جریان طبیعی

ساده‌ترین سیستم گرمایش تمام آب، «رادیاتور[۶]» است که شامل یک لوله‌ی حاوی جریان آب گرم در داخل خود می‌باشد. امروزه رادیاتورها در انواع متنوع و گوناگونی تولید و به بازار عرضه می‌شوند.

انتقال حرارت در رادیاتورها هم از طریق جابجایی و هم از طریق تابش صورت می‌گیرد. دمای آب در رادیاتورها عموماً کمتر از $100\,^{\circ}C$ است و با توجه به میزان گرمای تشعشعی این سیستم‌ها در گروه تجهیزات دماپایین جای می‌گیرند.

«کنوکتور[۷]» یکی دیگر از انواع سیستم‌های تمام آب است که شامل کویلی است که به‌صورت افقی در زیر یک پوشش قرار می‌گیرد. این پوشش از پایین باز بوده و در بالا یا نزدیک به بالا تیغه‌هایی در آن تعبیه‌شده است. به‌این‌ترتیب، کویل هوای سرد و سنگین را گرم می‌کند و هوای گرم و سبک از قسمت فوقانی کنوکتور خارج می‌شود. ستون هوای گرم و سبک در قسمت بالای کویل ایجاد یک جریان پیوسته می‌کند که گرما را به روش جابجایی وارد اتاق می‌کند. جابجایی هوای سرد و گرم که داخل این محفظه انجام می‌گیرد را «اثر

---

[1] *Natural Convection and Low Temperature Radiation Heating Systems*

[2] *Panel Heating and Cooling*

[3] *Fan Coils*

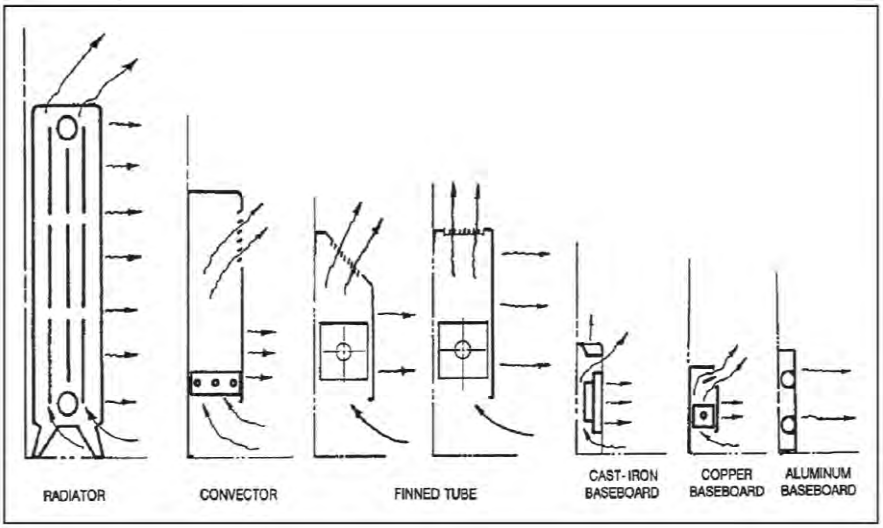
[4] *Two Pipe Induction Systems*

[5] *Water Source Heat Pumps*

[6] *Radiator*

[7] *Convector*

دودکشی[1]» می‌نامند؛ زیرا اغلب این اتفاق در دودکش‌ها رخ می‌دهد. در اثر دودکشی هرچه طول دودکشی بیشتر باشد، جریان هوای ایجادشده شدیدتر و گرمای منتقل‌شده به اتاق بیشتر می‌شود. معمولاً کنوکتورها در کاربردهایی به کار می‌روند که تأمین ظرفیت‌های گرمایی معمولی برای طول کوتاهی از دیوار مدنظر باشد.



تصویر٦- ٢٦: انواع تجهیزات پایانه‌ای

۶-۴-۲-۲) سرمایش و گرمایش صفحه‌ای

کف یا سقف فضاها می‌تواند به‌عنوان یک سیستم گرم‌کننده یا سردکننده مورداستفاده قرار گیرد. درصورتی‌که کف ساختمان برای تأمین گرمایش به کار گرفته شود به آن «سیستم گرمایش از کف» گفته می‌شود.

سیستم گرمایش از کف با استفاده از لوله‌های پلاستیکی با قطر بسیار کوچک اجرا می‌شود. به این صورت که این لوله‌ها به‌صورت مارپیچ، در کل کف اتاق قرار داده می‌شوند. در این سیستم ظرفیت گرمایی در هر فضا می‌تواند با تغییر فاصله بین لوله‌ها تغییر یابد. این فاصله معمولاً بین ۱۵۰mm تا ۴۵۰mm در نظر گرفته می‌شود. به‌منظور دست‌یابی به ظرفیت

[1] *Stack effect*

گرمایشی بیشتر در فضای محیطی اتاق، ورود آب گرم به این حلقه معمولاً از طریق لوله‌های کناری صورت می‌گیرد.

وجود یک محدوده به‌عنوان حد بالای دمای قابل‌تحمل در ناحیه‌ی کف پای افراد حاضر در ساختمان، ظرفیت خروجی این سیستم را محدود می‌کند. استاندارد ASHRAE55 دمای کف برای مکان‌هایی که افراد در آن با کفش راه می‌روند و روی زمین نمی‌نشینند را بین ۱۹ ℃ -۲۹ ℃ محدود می‌کند. حد بالای این محدوده‌ی دمایی، دمای حداکثری که کف می‌تواند داشته باشد را نشان می‌دهد.

هزینه‌ی نصب سیستم گرمایش از کف معمولاً از سایر سیستم‌ها بیشتر است، ولی این سیستم‌ها برای مکان‌هایی که نیاز به تولید گرمای یکنواخت دارند بسیار مناسب هستند. به‌عنوان‌مثال برای فضاهایی که غالباً کودکان یا افراد کهن‌سال در آن‌ها حضور دارند، استفاده از سامانه‌ی گرمایش از کف سودمند و مناسب خواهد بود.



تصویر٦- ۲۷: سیستم گرمایش از کف

علاوه بر کف ساختمان، سقف نیز می‌تواند برای تأمین گرمایش و سرمایش فضاها مورداستفاده قرار گیرد. در کاربرد سیستم‌های سقفی نیز محدودیت‌هایی وجود دارد، گرمای تشعشعی سقف نباید به میزانی باشد که افراد در ارتفاعی معادل با ارتفاع قد خود احساس

گرمای بیش‌ازحد داشته باشند. برای کاربری‌هایی با ارتفاع سقف کوتاه‌تر از ۳m حداکثر دمای تشعشعی قابل‌قبول برابر با $۶۰^{\circ}C$ و برای کاربری‌هایی که ارتفاع سقف آن‌ها ۵/۵m است تا حداکثر دمای $۸۰^{\circ}C$ نیز مجاز است. در وضعیت سرمایشی به‌جای آب گرم، آب سرد در داخل لوله‌ها جریان پیدا می‌کند؛ اما همیشه باید توجه داشت که در وضعیت سرمایشی دمای لوله نباید از دمای نقطه‌ی شبنم پایین‌تر بیاید، چراکه در این صورت بخارآب موجود در هوا تقطیر می‌شود. این محدودیت سبب می‌گردد که سیستم‌های سرمایش صفحه‌ای غالباً در ظرفیت‌های پایینی کار کنند.

۶-۴-۲-۳) فن کویل‌ها

تاکنون تنها درباره‌ی سیستم‌های غیرفعال بحث شد، سیستم‌هایی که در آن‌ها هیچ فنی برای به گردش درآوردن هوا به کار نمی‌رفت. اکنون قصد داریم که به معرفی سیستم «فن کویل» بپردازیم.

همان‌گونه که از نام آن نیز پیداست، این دستگاه از یک فن و تعدادی کویل تشکیل می‌شود. فن کویل یک دستگاه دو فصلی است که هم برای گرمایش و هم برای سرمایش به کار می‌رود. فن کویل‌ها در انواع مختلف سقفی و دیواری موجود هستند و می‌توانند با توجه به نوع فضا و نظر طراح به کار گرفته شوند. در ادامه و در بخش آشنایی با تجهیزات تهویه‌ی مطبوع به بحث بیشتری در مورد سیستم فن کویل خواهیم پرداخت.

۶-۴-۲-۴) سیستم‌های القایی دولوله‌ای

هنگامی‌که هوا با سرعت از جایی عبور می‌کند مقداری از هوای اطراف را با خود همراه می‌کند. به هوایی که به این شکل و به‌واسطه‌ی القا به داخل کشیده می‌شود اصطلاحاً «هوای ثانویه[1]» می‌گویند.

سیستم‌های دولوله‌ای القایی از تهویه‌ی هوا با فشار متوسط استفاده می‌کنند تا هوای اتاق را از روی یک کویل گرمایی یا سرمایی عبور دهند. هوای تهویه که «هوای اولیه[2]» خوانده

---

[1] *Secondary air*

[2] *Primary air*

می‌شود، با فشار معمولی واردشده و از روی کویل‌هایی با سطح مقطع عمودی خارج می‌شود که منجر به ایجاد جریان سریعی از هوا می‌گردد. این جریان موجب القای جریان به داخل دستگاه شده و هوا را از روی کویل عبور می‌دهد. هوای خروجی از این سیستم معمولاً جریان ضعیفی دارد و چنانچه وسیله‌ای مانند کمد یا مبل یا چیزی مشابه آن مانع حرکت جریان شود، کارایی دستگاه کاهش می‌یابد.

۶-۴-۲-۵) پمپ‌های گرمایی منبع آبی

پمپ گرمایی منبع آبی یک نوع سیستم تبرید با چرخه‌ی معکوس است که در آن گرما از آب به اتاق یا گرمای اتاق به آب منتقل می‌شود. این قابلیت پمپ‌های گرمایی منبع آبی دو ویژگی را برای تهویه‌ی مطبوع ساختمان به همراه خواهد داشت:

- امکان استفاده از گرمای زمین برای گرمایش ساختمان
- انتقال گرمای داخل ساختمان به فضای پیرامون

۶-۴-۳) سیستم‌های آب و هوا

در این سیستم‌ها، آب سرد یا گرم در موتورخانه‌ی مرکزی و توسط چیلرها و دیگ‌ها تولیدشده و از طریق لوله‌هایی به ترمینال اتاق می‌رسد. هوای سرد یا گرم نیز در هواساز مرکزی تأمین‌شده و از طریق کانال‌هایی به ترمینال اتاق وارد می‌شود. ترمینال‌های سیستم تهویه مطبوع آب–هوا، واحدهای القایی، واحدهای فن کویل و یا پانل‌های تابشی هستند. در این سیستم‌ها، هوایی که در دستگاه هواساز تهویه شده و از طریق مجاری کانال به ترمینال و یا مستقیماً به اتاق وارد می‌شود، «هوای ثانویه» و آب سرد یا گرم تأمین‌شده در موتورخانه‌ی مرکزی، «آب ثانویه» نامیده می‌شود. سیستم لوله‌کشی آب ثانویه می‌تواند به‌صورت دولوله‌ای، سه لوله‌ای و یا چهار لوله‌ای باشد. این سیستم‌ها در ساختمان‌هایی نظیر آپارتمان‌ها و ادارات که نیازمند کنترل دقیق رطوبت نبوده و زون‌های خارجی آن‌ها دارای بار محسوس با تغییرات زیاد هستند، مورداستفاده قرار می‌گیرند. از سیستم‌های آب- هوا می‌توان به‌منظور تأمین نیازهای سرمایشی و گرمایشی زون‌های خارجی، تأمین هوای تازه‌ی اتاق‌ها و کنترل هر اتاق به‌صورت جداگانه استفاده کرد.

۶-۴-۴) سیستم‌های انبساط مستقیم

در این سیستم‌ها تمام اجزای سیستم تبرید، نظیر کمپرسور، کندانسور و دیگر تجهیزات نظیر کویل سرمایش و فن هواده در یک دستگاه گردآمده‌اند. سرمایش این سیستم‌ها به‌صورت «انبساط مستقیم[1]» بوده و بهترین مزیت آن در این است که به سیستم تهویه‌ی مرکزی نیازی ندارد. کندانسور می‌تواند توسط آب یا هوا خنک شود. این دستگاه‌ها در اندازه‌های کوچک و پنجره‌ای به ظرفیت ۰/۵ تن برودتی تا اندازه‌های بزرگ در حدود ۱۰۰ تن تبرید ساخته می‌شوند.

این دستگاه‌ها یا به‌صورت «یکپارچه[2]» هستند که در آن‌ها تمام تجهیزات در یک واحد استقراریافته‌اند و یا به‌صورت «مجزا[3]» هستند که در این حالت کمپرسور و کندانسور (واحد کندانس[4]) خارج از ساختمان قرار می‌گیرند و اواپراتور، شیر انبساط و فن هواده در داخل فضا مستقر می‌شوند. در چنین حالتی باید لوله‌کشی مایع مبرد از کندانسور به اواپراتور و لوله‌کشی مکش از اواپراتور به کمپرسور در محل نصب دستگاه اجرا شود. ظرفیت سیستم‌های مجزا یا دوبخشی از ۰/۵ تا ۱۰۰ تن تبرید متغیر است. سیستم‌های انبساط مستقیم در انواع متنوع و گوناگونی ساخته می‌شوند و می‌توان از آن‌ها در آپارتمان‌ها، فروشگاه‌ها، ساختمان‌های اداری، سالن‌های کنفرانس، رستوران‌ها و ... استفاده کرد.

سیستم‌های انبساط مستقیم در چند شاخه‌ی زیر طبقه‌بندی می‌شوند که در ادامه به معرفی آن‌ها می‌پردازیم.

- واحدهای تهویه مطبوع پنجره‌ای[5]
- واحدهای تهویه مطبوع مستقر در دیوار[6]

---

[1] *DX*

[2] *Packaged*

[3] *Split*

[4] *Condensing Unit*

[5] *Window Air Conditioners*

[6] *Wall Mounted Air Conditioning Units*

- واحدهای مجزای تهویه‌ی مطبوع[1] (در دو نوع یک واحد بیرونی– یک واحد درونی و یا یک واحد بیرونی– چند واحد درونی)
- واحدهای یکپارچه‌ی تهویه‌ی مطبوع[2]

۶-۴-۴-۱) واحدهای تهویه‌ی مطبوع پنجره‌ای

این واحدها، همان‌گونه که از نام آن‌ها پیداست، در درگاه پنجره نصب می‌شوند. ظرفیت آن‌ها کم بوده و تنها برای سرمایش فضاهای کوچک یا متوسط استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها غالباً کیفیت بالایی نداشته و دارای مشکلاتی نظیر طول عمر پایین، مصرف انرژی بالا، سطح صدای بالا، توزیع هوای نامناسب و عدم کنترل دقیق دما و رطوبت هستند. البته سیستم‌های پنجره‌ای مزیت‌هایی نیز دارند که ازجمله‌ی آن می‌توان به هزینه‌ی اولیه‌ی پایین و قابلیت نصب راحت اشاره کرد.



تصویر٦- ۲۸: واحد تهویه مطبوع پنجره‌ای

[1] *Split-System Air Conditioning Units*

[2] *Packaged Air Conditioning Units (Package Units)*

۶-۴-۴-۲) واحدهای تهویه‌ی مطبوع مستقر در دیوار

این واحدها در دیوارهای خارجی اتاق نصب می‌شوند، به‌گونه‌ای که با هوای بیرون ارتباط داشته باشند. سیستم گرمایشی آن‌ها می‌تواند المان حرارتی الکتریکی، کویل آب گرم و یا کویل بخار باشد، اگرچه برای تأمین گرمایش می‌توان از سیستم پمپ حرارتی نیز بهره برد.

در این سیستم‌ها چنانچه از دمپر هوای تازه‌ای که همراه با خاموش شدن سیستم بسته می‌شود، استفاده گردد؛ کنترل هوای تازه‌ی ورودی به ساختمان با کیفیت بهتری صورت می‌گیرد. در برخی از این واحدها یک موتور، هم فن اواپراتور و هم فن کندانسور را به حرکت درمی‌آورد. مصرف انرژی این واحدها نسبت به واحدهای مشابهی که در آن‌ها برای به گردش درآوردن فن اواپراتور و فن کندانسور از موتور جداگانه‌ای استفاده می‌شود، بیشتر است. این سیستم‌ها معمولاً لوله‌ی تخلیه‌ی آب تقطیرشده ندارند، بلکه در آن‌ها آبی که در تشتک جمع‌آوری می‌شود، روی کویل کندانسور پاشیده شده و بدین ترتیب در فضا تبخیر می‌گردد و اثری نیز از خود به‌جای نمی‌گذارد.

۶-۴-۴-۳) واحدهای تهویه‌ی مطبوع مجزا

در برخی از انواع سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع، کمپرسور و کندانسور در یک واحد خارجی قرار دارند (کندانسینگ یونیت) و در واحد داخلی تنها کویل سرمایش انبساط مستقیم و فن مستقر است. واحدهای داخلی می‌توانند به‌صورت دیواری، سقفی و ایستاده باشند.

واحد خارجی این سیستم‌ها را می‌توان در پشت‌بام، کنار ساختمان، بالکن و یا حیاط نصب کرد. واحدهای داخلی نیز از طریق دو خط لوله به واحد خارجی اتصال می‌یابد. واحد خارجی می‌تواند چندین واحد داخلی را تغذیه نماید.

طول لوله‌ی مایع مبرد به اواپراتور و لوله‌ی گاز از اواپراتور به کمپرسور دارای محدودیت است، اگرچه در تولیدات کارخانجات مختلف میزان این محدودیت ممکن است قدری متفاوت باشد. قطر این لوله‌های انتقال کم بوده و به‌راحتی می‌توان آن‌ها را از کنار دیوار عبور داد.

چنانچه این سیستم‌ها به‌صورت هیت‌پمپ[1] نباشند، گرمایش آن‌ها می‌تواند با استفاده از المان‌های الکتریکی صورت پذیرد.

۶-۴-۴-۴) واحدهای یکپارچه‌ی تهویه‌ی مطبوع

پکیج‌های تهویه‌ی مطبوع بخش اعظم تولیدات کارخانجات بزرگ سازنده‌ی تجهیزات تهویه‌ی مطبوع را تشکیل می‌دهند. این واحدهای یکپارچه دارای تجهیزات کامل برای تهویه‌ی مطبوع یک مکان هستند. تجهیزاتی نظیر کمپرسور، کندانسور، اواپراتور، شیرهای کنترل، فن و سایر متعلقات در یکجا گردآمده و دستگاه یکپارچه را به وجود آورده‌اند.

حذف گرمای حاصل از فرآیند تبرید توسط کندانسور و از طریق عبور هوا از روی آن صورت می‌گیرد، ولی برخی از دستگاه‌های یکپارچه هستند که توسط برج خنک‌کننده و آب خنک می‌شوند. کمپرسور می‌تواند از نوع رفت و برگشتی و در انواع کوچک‌تر از نوع پیچی و یا دورانی باشد. کنترل وضعیت دستگاه غالباً از طریق خارج شدن و به مدار آمدن کمپرسور و یا از طریق غیرفعال شدن سیلندرها و یا هردوی این روش‌ها صورت می‌گیرد. واحدهای یکپارچه غالباً رطوبت اتاق را به‌دقت کنترل نمی‌کنند و فیلترهای آن‌ها نیز از انواع فیلترهای با راندمان بالا نیست.

در واحدهای یکپارچه گرمایش می‌تواند به‌طور مستقیم و از طریق کوره‌های هوای گرم که با گاز طبیعی حرارت تولید می‌کنند و یا با کویل الکتریکی، آب گرم و یا بخار صورت گیرد. پکیج‌های تهویه‌ی مطبوع معمولاً به دو صورت «واحدهای یکپارچه‌ی سقفی[2]» و «واحدهای یکپارچه‌ی ایستاده[3]» ساخته می‌شوند.

۶-۴-۵) سیستم‌های سرمایش تبخیری

سرمایش تبخیری بر اساس یک قانون علمی ساده پایه‌ریزی شده است. وقتی آب تبخیر می‌شود، گرمای نهان تبخیر خود را از آب و هوای پیرامون خود جذب کرده و به‌این‌ترتیب

---

[1] *Heat Pump*

[2] *PAC*

[3] *VPAC*

آب‌وهوا هر دو در حین این فرآیند خنک می‌شوند. این روش هزاران سال برای خنک کردن آب در کوزه‌ها و پارچ‌های سفالی مورداستفاده قرار می‌گرفته است.

اساس کار سیستم‌های سرمایش تبخیری نیز، سازوکاری است که به آن اشاره شد. به‌این‌ترتیب که هوای کاری طی مجاورت با آب و یا طی پاشش ذرات آب حرارت خود را ازدست‌داده و خنک می‌شود. ایرواشرها، کولرهای آبی و زنت‌ها نمونه‌ای از سیستم‌های سرمایش تبخیری هستند. سیستم‌های سرمایش تبخیری بر مبنای تماس یا عدم تماس مستقیم آب و هوا در دو گروه «سیستم‌های سرمایش تبخیری مستقیم[۱]» و «سیستم‌های سرمایش تبخیری غیرمستقیم[۲]» طبقه‌بندی می‌شوند.

۶-۵) آشنایی با برخی تجهیزات حرارت مرکزی و تهویه‌ی مطبوع

در بخش‌های گذشته به معرفی مفاهیم، فرایندها و سیستم‌های تهویه‌ی مطبوع پرداخته شد. در این بخش قصد داریم که به معرفی عمومی برخی تجهیزات رایج تهویه‌ی مطبوع و حرارت مرکزی بپردازیم. آشنایی جزئی با تجهیزات تهویه‌ی مطبوع، حوزه‌ای بسیار گسترده است که در کتب و منابع تخصصی این موضوع موردبحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۶-۵-۱) چیلر[۳]

چیلر یک مبدل حرارتی است که وظیفه‌ی تأمین آب سرد موردنیاز ترمینال یونیت‌ها را بر عهده دارد. چیلرها از منظر سیستم تبرید به دو گروه «چیلرهای تراکمی[۴]» و «چیلرهای جذبی[۵]» تقسیم می‌شوند.

چیلرهای تراکمی نیز، خود بر مبنای نوع کمپرسور به دو گروه تقسیم می‌شوند که به گروه اول همان «چیلرهای تراکمی» و به گروه دوم «چیلرهای سانتریفیوژ[۶]» گفته می‌شود.

---

[1] *Direct Evaporative Cooling Systems*

[2] *Indirect Evaporative Cooling Systems*

[3] *Chiller*

[4] *Compression Chillers*

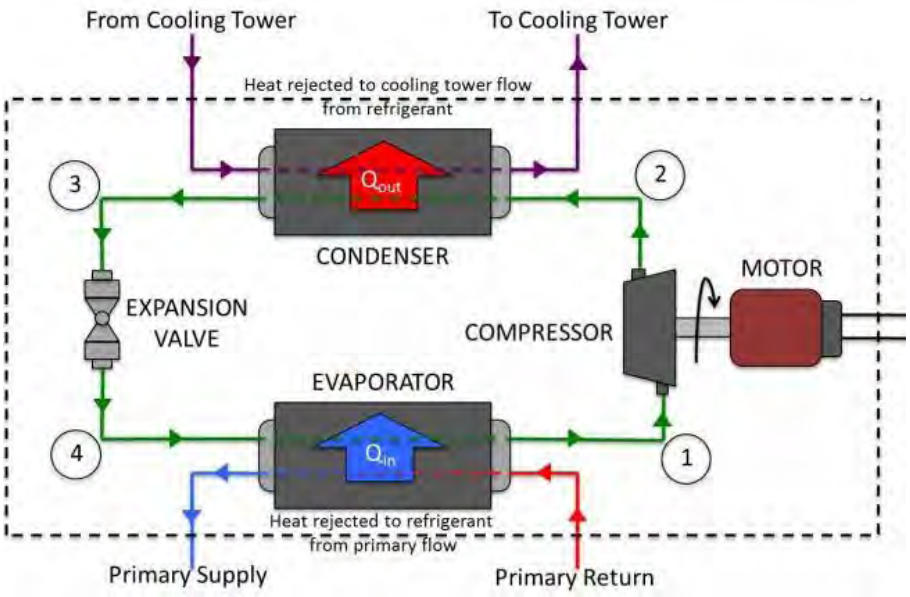
[5] *Absorption Chillers*

[6] *Centrifugal Chillers*

۶-۵-۱-۱) چیلرهای تراکمی

این چیلرها اساساً از اواپراتور، کمپرسور، کندانسور، شیر انبساط و تعدادی وسایل کنترل تشکیل‌شده‌اند. در این چیلرها مایع سرد (معمولاً R-۱۱ یا R-۲۲) در داخل پوسته‌ی اواپراتور که فشار آن کمتر از فشار جو است تبخیر شده و حرارت نهان تبخیر خود را از آب جاری در لوله‌ها می‌گیرد و به‌این‌ترتیب موجب سرمایش آب می‌شود. بخار خشک مبرد از طریق لوله‌ی مکش به کمپرسور می‌رود و پس از تأمین فشار طراحی‌شده به کندانسور ارسال می‌شود. در کندانسور بخار داغ مبرد توسط آب جاری در لوله‌ها به‌تدریج تقطیرشده و پس از عبور از شیر انبساط و تقلیل فشار، بار دیگر به لوله‌های اواپراتور فرستاده می‌شود تا فرآیند مذکور مجدداً تکرار شود. آب سرد تهیه‌شده در چیلر توسط پمپ به کویل دستگاه هواساز و یا فن کویل ارسال می‌گردد.

کندانسورِ چیلرها می‌تواند هم با هوای سرد و هم با آب سرد کار کند که با توجه به شرایط طراحی نوع آن تعیین می‌شود.



تصویر ٦- ۲۹: شماتیک سیکل تبرید تراکمی



تصویر۶-۳۰: چیلر تراکمی

۶-۵-۱-۲) چیلرهای سانتریفیوژ

در چیلرهای با ظرفیت کم، نوع کمپرسور اغلب از نوع «کمپرسورهای رفت و برگشتی[1]» است. ساختار این کمپرسورها بسیار شبیه به ساختارهای موتورهای احتراق داخلی است، با این تفاوت که در این کمپرسورها پیستون‌ها ماده‌ی مبرد را فشرده می‌کنند.

درچیلرهای بزرگ‌تر معمولاً از «کمپرسورهای اسکرو (پیچی)[2]» استفاده می‌کنند که به آن‌ها کمپرسورهای «جابجایی مثبت» گفته می‌شود؛ زیرا آن‌ها با کمک چرخش یک محور، پیستون را به جلو رانده و مبرد را در یک فضای کوچک‌تر محبوس می‌کند.

درنهایت برای چیلرهایی با ظرفیت تقریبی بیشتر از ۲۶۰kW اغلب از «کمپرسورهای سانتریفیوژ[3]» استفاده می‌شود. ساختار کمپرسورهای سانتریفیوژ به‌گونه‌ای است که با داشتن تیغه های شعاعی و چرخش محور کمپرسور با سرعتی بالا مبرد را فشرده می‌کند.

---

[1] *Reciprocating Compressors*

[2] *Screw Compressors*

[3] *Centrifugal Compressors*

انتخاب کمپرسور به عوامل مختلفی از قبیل؛ راندمان تحت بار کامل یا جزئی، قابلیت کمپرسور در اضافه‌بار، میزان بار، اندازه‌ی فیزیکی کمپرسور و دیگر عوامل کاری بستگی دارد.

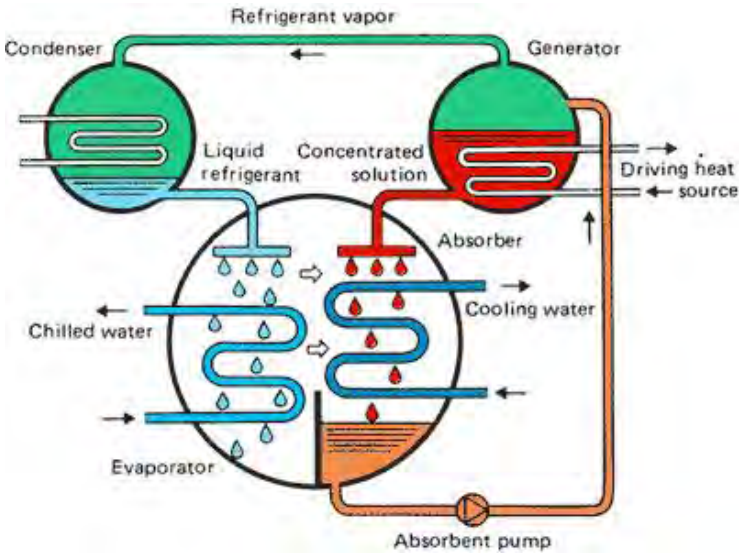


تصویر٦-۳۱: کمپرسور سانتریفیوژ

۶-۵-۱-۳) چیلرهای جذبی

چیلرهای تراکمی برای بالا بردن فشار بخار مبرد، از کمپرسور استفاده می‌کنند که خصوصاً در ظرفیت‌های بالا دارای مصرف برق زیادی است. نوع دیگری از چیلرها، چیلرهای جذبی هستند که طی فرآیند جذب و افزایش فشار مایع به‌جای بخار مصرف برق را کاهش می‌دهند.

اجزای سازنده‌ی این چیلرها، عبارت‌اند از اواپراتور، جذب‌کننده، ژنراتور، مبدل حرارتی، کندانسور، پمپ و تعدادی وسایل کنترل. بخار مبرد که در اواپراتور تولیدشده است، توسط مایع جاذب، جذب‌شده و محلول رقیق را می‌سازد. این محلول توسط پمپ به مبدل حرارتی ارسال‌شده و پس از جذب مقداری حرارت از جریان بازگشتی جاذب به ژنراتور فرستاده می‌شود با طی جذب حرارت بیشتر مایع مبرد موجود در محلول تبخیر شده و از محلول جدا گردد. بخار مبردی که در ژنراتور تولیدشده، راهی کندانسور می‌شود و در آنجا پس از تقطیر مجدداً به اواپراتور بازمی‌گردد.



تصویر٦- ۳۲: شماتیک سیکل تبرید جذبی

۶-۵-۱-۴) نکاتی در ارتباط با چیلرها

ضریب عملکرد[1] سیستم‌های جذبی در مقایسه با سیستم‌های تراکمی بسیار پایین‌تر بوده و حتی غالباً کمتر از یک است؛ بنابراین در یک ظرفیت تبرید یکسان، سیستم‌های جذبی مقدار انرژی بسیار بیشتری نسبت به سیستم‌های تراکمی مصرف می‌کنند. ولی با توجه به این‌که این سیستم‌ها از انرژی بسیار ارزان‌قیمت‌تری نسبت به برق استفاده می‌کنند؛ هزینه‌های انرژی این سیکل‌ها نسبت به سیکل‌های تراکمی بسیار پایین‌تر خواهد بود.

- گرما دادن به ژنراتور می‌تواند به‌صورت مستقیم (فرآیند احتراق) و یا به‌صورت غیرمستقیم (استفاده از بخار بویلر و یا آب داغ تولیدشده در دیگ) صورت پذیرد.

- در سیستم‌های مرکزی داشتن دو چیلر با ظرفیت پنجاه درصد ظرفیت موردنیاز به دلایل زیر دارای توجیه اقتصادی است.

۱- با خراب شدن یکی از چیلرها، پنجاه درصد از ظرفیت سیستم توسط چیلر دیگر قابل بهره‌برداری است.

۲- با استفاده از دو چیلر، جریان الکتریکی موردنیاز برای شروع به کار سیستم کاهش‌یافته که نتیجه‌ی آن کاهش بار سیستم‌های الکتریکی است.

[1] *Coefficient Of Performance (COP)*

۳- راندمان چیلر در بارهای بالاتر بیشتر است و با کم شدن بار می‌توان یک دستگاه را خاموش کرد تا راندمان دستگاه دیگر بالا رود.
۴- نگهداری سیستم در زمان‌هایی که بار سرمایی کمتر است، بسیار راحت است.

۶-۵-۲) برج‌های خنک‌کن[1] و کندانسورهای هوایی[2]

به‌منظور شکل‌گیری مناسب سیکل تبرید، لازم است تا انتقال حرارت کافی در کندانسور انجام شود. این تبادل حرارت می‌تواند با به‌کارگیری «برج خنک‌کن» و یا «کندانسورهای هوایی» صورت پذیرد. چگونگی انتخاب یکی از این دو سیستم بر مبنای ساختار تأسیساتی، موقعیت اقلیمی و نظر طراح تعیین می‌گردد.

برج خنک‌کن دستگاهی است که با ایجاد تماس بین آب و هوای محیط، موجب سرد شدن آب می‌شود. به این صورت که برخی از قطرات آب، گرمای نهان تبخیر خود را از هوا گرفته و تبخیر می‌شوند و این باعث کاهش دمای هوا و کاهش دمای آب می‌گردد. دمای آب سرد شده همواره بیشتر از دمای مرطوب هوای محیط خواهد بود، لذا زمانی از برج خنک‌کن استفاده می‌شود که دمای پایین‌تری موردنیاز نباشد.



تصویر٦- ۳۳: برج خنک‌کن

[1] *Cooling Towers*

[2] *Air Cooled Condensers*

کندانسور هوایی نوعی کندانسور می‌باشد که خنک شدن مبرد در آن طی تبادل حرارت با هوا انجام می‌شود. این دستگاه از یک کویل با چندین ردیف لوله تشکیل می‌شود که تعدادی فن جریان هوا را به‌صورت اجباری از روی فین‌ها عبور می‌دهند. در مناطقی که رطوبت زیاد هوا باعث عدم کارایی برج خنک‌کن گردد و یا مصرف آب به هر دلیل مقرون‌به‌صرفه نباشد، به‌جای کندانسور آبی از کندانسور هوایی استفاده می‌شود.



تصویر٦- ۳٤:کندانسور هوایی

۶-۵-۳) دیگ‌های آب داغ و بخار

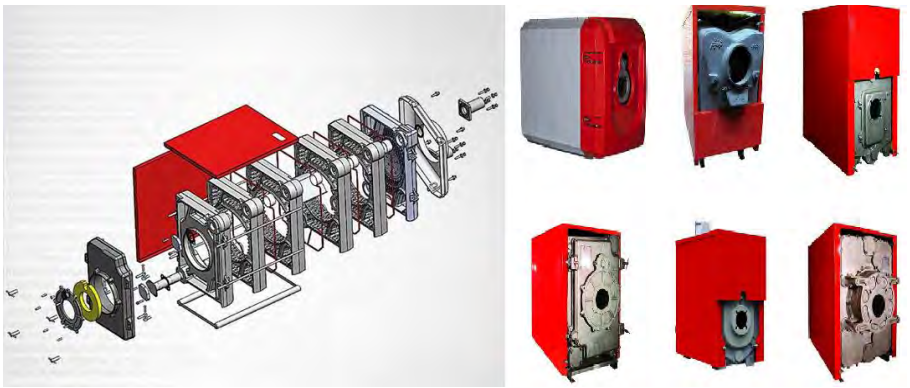
دیگ‌ها مخازن تحت‌فشاری هستند که برای تأمین آب گرم یا بخار در اندازه‌های مختلفی مورداستفاده قرار می‌گیرند. معرفی و بررسی انواع دیگ‌ها و ساختارهای آن‌ها موضوع بسیار گسترده‌ای است که در این مجال نمی‌گنجد.

دیگ‌ها را می‌توان از نقطه‌نظرهای گوناگونی طبقه‌بندی کرد. به‌عنوان نمونه؛ طبقه‌بندی ازنظر پرفشار یا کم‌فشار بودن، ساختار متالورژیکی، سطوح تبادل حرارت، محتوای لوله‌ها، فشار کوره، نوع سیرکولاسیون سیال، منبع انرژی، نوع احتراق، افقی یا قائم بودن لوله‌ها و ... در اینجا دیگ‌ها را در دو گروه کلی «دیگ‌های چدنی» و «دیگ‌های فولادی» طبقه‌بندی کرده و به معرفی آن‌ها می‌پردازیم.

۶-۵-۳-۱) دیگ‌های چدنی

این دیگ‌ها از قطعاتی به نام پره تشکیل‌شده‌اند که می‌توان آن‌ها را جداگانه به محل موتورخانه حمل نموده و در آنجا توسط یک وسیله‌ی ارتباطی به نام «بوشن» یا «مغزی» روی هم جمع و آب‌بندی کرد. هر دیگ چدنی دارای قطعات جلو، عقب و تعدادی پره‌ی مشابه بین این قطعات می‌باشد که با کم‌وزیاد کردن تعداد این پره‌ها می‌توان قدرت حرارتی دیگ را کاهش یا افزایش داد. این پره‌ها به صورتی ساخته می‌شوند که وقتی کنار هم قرار گرفتند، فضای خالی جهت احتراق سوخت و عبور شعله‌ی آتش به وجود بیاید.

قسمت‌هایی از پره‌ها که در معرض برخورد شعله‌ی آتش می‌باشند، توسط آستر نسوز یا آجرنسوز و ملات خاک و سیمان نسوز پوشیده می‌شود. جهت نصب مشعل و خروج دودهای حاصل از احتراق، حفره‌هایی به ترتیب در جلو و عقب دیگ تعبیه‌شده‌اند و در بدنه‌ی آن نیز سوراخ‌هایی برای اتصال لوله‌های رفت‌وبرگشت آب، شیر اطمینان، فشارسنج، دماسنج و ترموستات ایجاد گردیده‌اند. به دلیل خاصیت شکنندگی چدن، هنگام حمل‌ونقل آن باید دقت کافی صورت پذیرد، چراکه ممکن است ترک‌هایی در پره‌ها ایجادشده و ضمن کار از آب تهی شود. دیگ‌های چدنی معمولاً برای تحمل فشارهای کمتر از پنج اتمسفر و با ظرفیت‌های گوناگون (حداکثر تا ۲۵۰۰۰۰Btu /h) ساخته می‌شوند. از این دیگ‌ها می‌توان برای سیستم‌های حرارت مرکزی با آب گرم، آب داغ و بخار فشار ضعیف استفاده کرد.

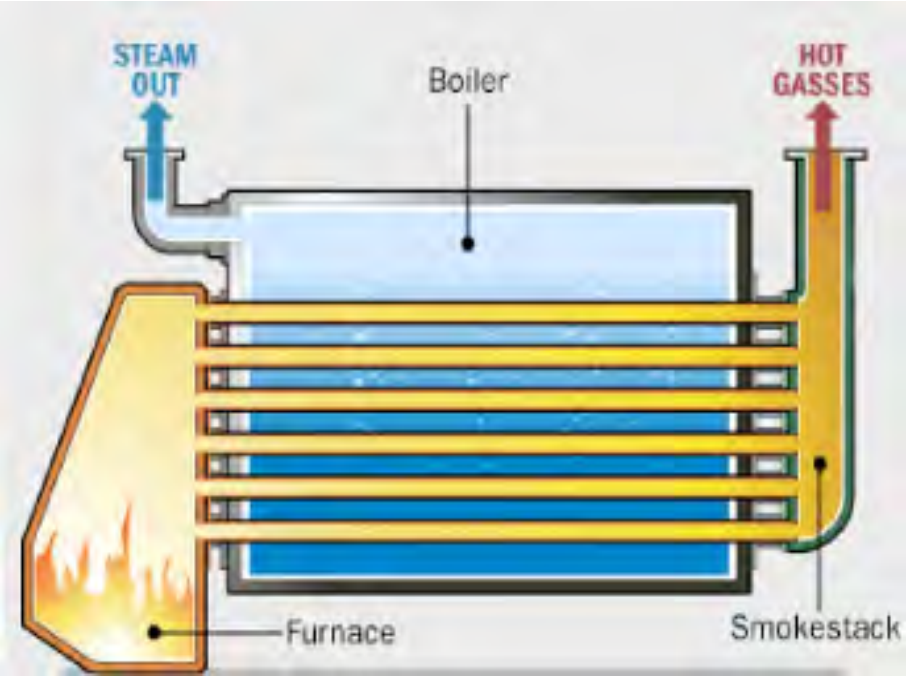


تصویر۶- ۳۵: دیگ چدنی

۶-۵-۳-۲) دیگ‌های فولادی

این دیگ‌ها در دو نوع «فایرتیوب[1]» و «واترتیوب[2]»، ساخته می‌شوند.

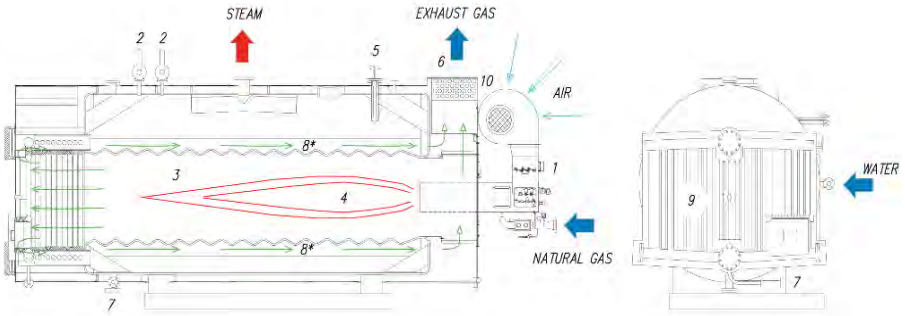
الف- دیگ‌های فولادی فایرتیوب: در این دیگ‌ها، آتش حاصل از احتراق سوخت از میان لوله‌هایی که توسط آبِ در گردش احاطه‌شده‌اند، عبور می‌نماید. از این دیگ‌ها در سیستم‌های حرارت مرکزی با آب داغ یا بخار استفاده می‌شود. انواع جدید آن‌ها برای تحمل فشار حداکثر تا ۲۵۰psi و تولید بخار حداکثر تا ۲۰۰۰۰lb/h ساخته‌شده‌اند. سوخت مورداستفاده‌ی این دیگ‌ها ممکن است گازوئیل، گاز و یا ترکیبی از هر دو باشد.



(الف)

[1] *Fire tube*

[2] *Water tube*

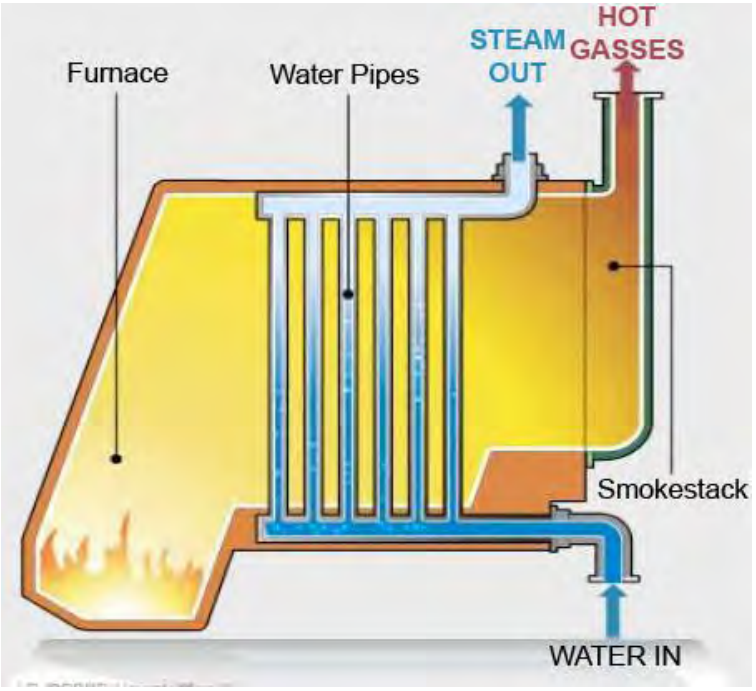


1	Burner	6	Exhaust Gas Outlet
2	Safety Valves	7	Drain Connection
3	STEAM-MATIC Furnace	8	Fire Tubes of the 2nd Pass (*)
4	Burner Flame	9	Wet Back Water Tubes
5	Level Probes	10	Integrated Economizer (OPTIONAL)

(ب)

تصویر٦- ٣٦: (الف) و(ب) - دیگ فایرتیوب

ب- دیگ‌های فولادی واترتیوب: در این دیگ‌ها برعکس نوع اول، آب در لوله‌ها گردش نموده و آتش بر لوله‌ها محیط است. انواع جدید آن می‌توانند حداکثر تا ۶۰۰۰۰lb /h بخار تولید نموده و حداکثر فشاری معادل ۹۰۰psi را تحمل کنند. عامل محدوده کننده‌ی ظرفیت این دیگ‌ها مسئله‌ی حجم و مشکل حمل‌ونقل است. سوخت آن‌ها نیز همانند نوع قبلی می‌تواند گازوئیل، گاز و یا ترکیبی از هر دو باشد. همچنین می‌توان ترتیبی داد که از سوخت جامد نیز استفاده کنند. دیگ‌های فولادی تحت تأثیر رطوبت فضا ظرف چند سال زنگ می‌زنند و این به همراه مشکل حمل‌ونقل و قیمت بیشتر آن‌ها نسبت به دیگ‌های چدنی موجب می‌شود که در شرایط یکسان دیگ‌های چدنی بر دیگ‌های فولادی ترجیح داده شوند. دیگ‌های فولادی بیشتر در سیستم‌های حرارت مرکزی با آب داغ یا بخار فشارقوی مورداستفاده قرار می‌گیرند.



تصویر٦- ۳۷: دیگ واترتیوب

۶-۵-۴) مشعل

هرچند که تمامی قسمت‌های سیستم حرارت مرکزی برای گرمایش مطلوب ساختمان واجد ارزش و اهمیت خاص خود می‌باشند، ولی بی‌تردید قلب سیستم حرارت مرکزی مشعل است؛ چراکه عمل احتراق و تولید آتش جهت گرم کردن یا بخار نمودن آب در دیگ توسط این عضو صورت می‌گیرد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که مشعل‌ها ازنظر سوخت مصرفی به سه نوع «گازی»، «گازوئیلی» و «مازوت سوز» تقسیم می‌شوند.

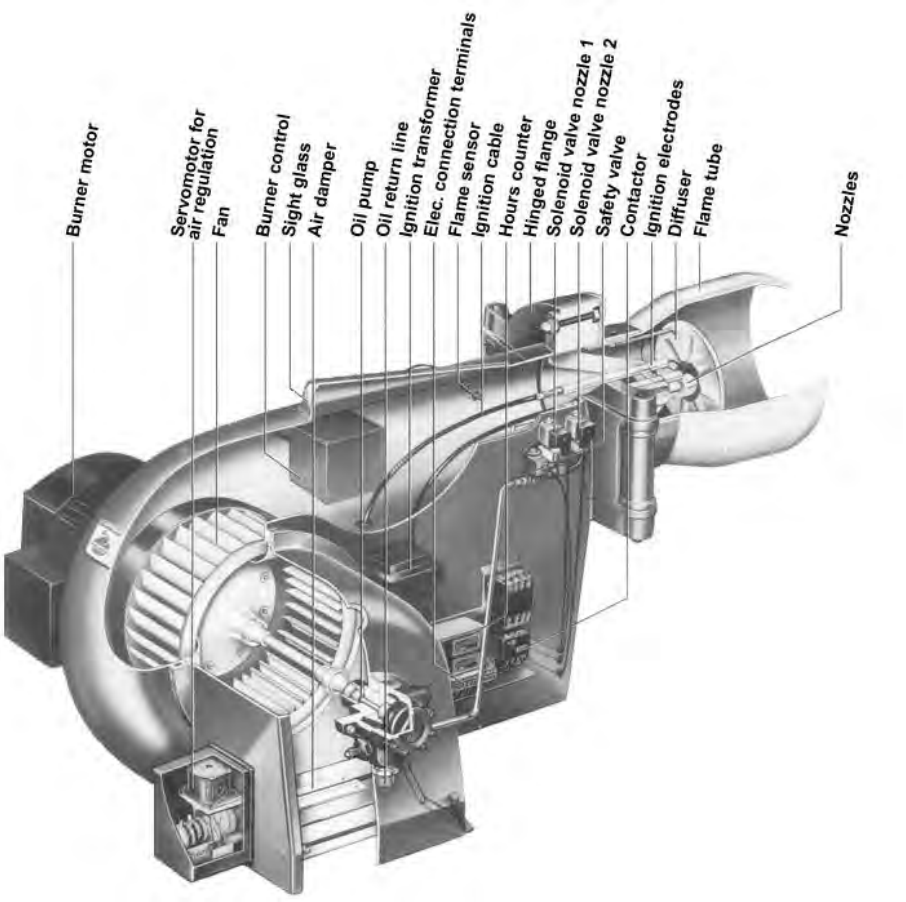
راندمان مشعل‌ها برای انواع گوناگون و برندهای مختلف متفاوت بوده و معمولاً بین ۶۰ تا ۸۵ درصد می‌باشد.

مشعل‌ها را از دیدگاه‌های دیگری نظیر نحوه‌ی ترکیب سوخت، نوع اکسیدایزر آن‌ها، نحوه‌ی تأمین هوای احتراق، نحوه‌ی انتقال گرمای حاصل از احتراق و هندسه‌ی مشعل نیز می‌توان طبقه‌بندی کرد.

۶-۵-۴-۱) مشعل‌های گازوئیلی

مشعل‌های گازوئیلی، مشعل‌هایی هستند که بر اساس استفاده از گازوئیل، به‌عنوان سوخت طراحی و ساخته می‌شوند. بدنه‌ی این مشعل‌ها عموماً از آلیاژ سبک و مقاوم ساخته‌شده و قطعات و اجزای آن به شرح زیر است.

- الکتروموتور: که باد زن و پمپ مشعل را به حرکت درمی‌آورد.
- باد زن: که هم‌محور با الکتروموتور بوده و هوای لازم برای احتراق سوخت را تأمین می‌کند.
- دمپر: جهت کنترل حجم هوای ورودی به مشعل.
- شعله‌پخش‌کن: که به هوای دمیده شده توسط باد زن حالت دورانی داده و موجب تخلیه هرچه بهتر سوخت و هوا می‌شود.
- ترانسفورماتور: ایجاد ولتاژ زیاد برای تولید جرقه. (معمولاً حدود ۱۲۰۰۰ ولت)
- پمپ سوخت: که عموماً از نوع چرخ‌دنده‌ای دوار بوده و سوخت را از منبع مکنده و با فشار ۵ تا ۲۰ اتمسفر توسط لوله‌ی ناقل به نازل می‌رساند.
- نازل: که سوخت مکیده شده توسط پمپ درگذر از آن به پودر تبدیل‌شده تا پس از اختلاط با هوای دمیده شده به‌وسیله‌ی باد زن، جهت احتراق آماده گردد. نازل سوخت را به‌صورت مخروط می‌پاشد که ممکن است به‌صورت مخروط کامل، مخروط توخالی و یا تلفیقی از هردو باشد.
- رله‌ی کنترلی: که در حکم مغز مشعل بوده و زمان‌بندی شروع و پایان، عملیات قسمت‌های مختلف مشعل توسط آن صورت می‌گیرد. این عضو همچنین فرمان خاموش یا روشن شدن مشعل را با استفاده از دمای آب دیگ توسط آکوستات و با کیفیت احتراق سوخت به‌وسیله‌ی فتوسل صادر می‌کند.
- فتوسل: که به آن سلول فتوالکتریک نیز گفته می‌شود و کارش کنترل کیفیت احتراق از طریق رنگ شعله است.



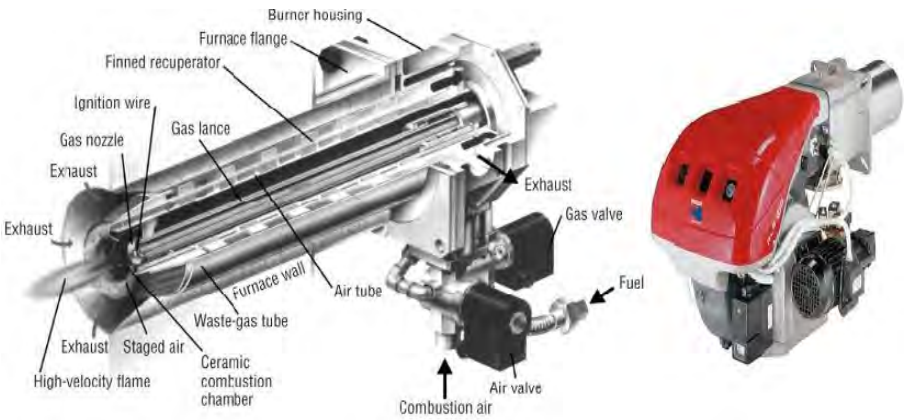
تصویر٦- ۳۸: مشعل گازوئیلی

۶-۵-۴-۲) مشعل‌های گازی

این مشعل‌ها برای احتراق گاز طبیعی طراحی‌شده‌اند. دبی سوخت گازی لازم در این مشعل‌ها توسط شیر برقی کنترل‌شده و هوای لازم برای احتراق آن‌ها توسط یک دمنده که بر روی محور موتور نصب شده است، تأمین می‌گردد. دبی این هوا توسط دمپر هوایی که در ساختمان مشعل نصب شده است کنترل می‌شود. جریان گاز از یک فیلتر عبور کرده با هوای احتراق مخلوط شده و آماده‌ی احتراق می‌شود. اگر فشار هوای احتراق از حد معینی کمتر و یا دبی سوخت از مقدار تعیین‌شده انحراف یابد، این موضوع توسط سنسورهای فشار تعبیه‌شده در مشعل حس شده و مشعل به‌وسیله‌ی یک رله‌ی کنترلی، خاموش می‌شود. در

صورت مناسب بودن تمام شرایط ذکرشده، درنهایت مخلوط سوخت گازی و هوا توسط جرقه (که به‌وسیله‌ی یک ترانس ولتاژ بالای نصب‌شده در ساختمان مشعل ایجاد می‌شود) و یا به‌وسیله‌ی شعله‌ی یک شمعک که در مسیر خروجی جریان قرار می‌گیرد؛ محترق می‌شود.

به‌منظور یکنواخت کردن و پایدارسازی شعله، از یک شعله‌پخش‌کن در جلوی نازل سوخت استفاده می‌شود. به‌منظور کنترل فرآیند احتراق، از یک سنسور به نام «میله‌ی یونیزاسیون[1]» که در مسیر شعله قرار می‌گیرد، استفاده می‌گردد. در صورت برقرار شدن شعله و وجود حرارت یک جریان الکتریکی در آن برقرارشده و رله‌ی مشعل با دریافت این جریان به عملکرد خود ادامه می‌دهد. اگر به هر علتی، تغییری در وضعیت این جریان رخ دهد، مشعل توسط رله خاموش می‌شود.



تصویر٦- ۳۹: مشعل گازی

امروزه مشعل‌های دوگانه‌سوز که قابلیت استفاده از هر دو نوع سوخت مایع و گاز را دارا هستند، کاربرد گسترده‌ای دارند.

[1] *Ionizing Bar*

۶-۵-۵) پکیج‌های گرمایشی

امروزه پکیج‌های گرمایشی به یکی از متداول‌ترین و پرطرفدارترین سیستم‌های حرارتی در سرتاسر دنیا تبدیل‌شده‌اند. پکیج‌ها سیستم‌هایی هستند که در یک مجموعه‌ی متراکم و با ابعادی نسبتاً کوچک، آب گرم مصرفی و آب گرم موردنیاز رادیاتورها، کنوکتورها، فن کویل‌ها و سیستم گرمایشی از کف را تأمین می‌کنند. ازجمله مزایای پکیج‌ها می‌توان به راندمان حرارتی بالاتر در مقایسه‌ی با سیستم حرارت مرکزی، عدم نیاز به فضای قابل‌توجه، سروصدای کم، سرویس و نگهداری ساده و راحتی بیشتر در کنترل سیستم اشاره کرد.

گرمایش آب در پکیج‌ها به‌این‌ترتیب است که در قسمت بالای مشعل هر پکیج لوله‌هایی وجود دارد که از یک سمت آن‌ها آب سرد وارد و از سمت دیگر آن‌ها آب گرم خارج می‌شود. ساختار این لوله‌ها به نحوی است که آب بتواند به دمای تعیین‌شده بر روی پکیج برسد و همچنین طراحی آن‌ها به‌گونه‌ای است که آب گرم به‌صورت یکنواخت توسط پکیج تأمین شود. در مسیر جریان یک سنسور قرار دارد که به‌منظور تشخیص باز شدن شیر آب گرم در پکیج نصب شده است. با باز شدن شیر آب گرم، سنسور جریان آب را تشخیص داده و بلافاصله دستور روشن شدن مشعل و پمپ را صادر می‌کند. در برخی پکیج‌ها مخزن کوچکی جهت نگهداری مقدار کمی آب گرم وجود دارد که می‌تواند از هدر رفت آب کاسته و موجب کاهش کارکرد مشعل و افزایش عمر پکیج نیز بشود.



تصویر۶-۴۰: پکیج گرمایشی

پکیج‌های گرمایشی در انواع گوناگون «دیواری» و «ایستاده (زمینی)» و با قابلیت مصرف سوخت‌های مایع و گازی تولید می‌شوند.

۶-۵-۶) رادیاتور

پیش‌ازاین در بخش ۶-۴-۲-۱ مقدمه‌ی کوتاهی درباره‌ی رادیاتورها ارائه شد. «رادیاتورها» یا «شوفاژها» مبدل‌هایی هستند که به‌عنوان یکی از پرمصرف‌ترین سیستم‌های گرمایشی در سراسر دنیا شناخته می‌شوند. مکانیسم عملکرد این سیستم‌ها به‌این‌ترتیب است که آب گرم با عبور از رادیاتور، موجب افزایش دمای آن شده و این حرارت در پی آن به‌صورت جابجایی و تابش به هوای محیط منتقل می‌شود. رادیاتورها را می‌توان از دیدگاه‌های گوناگونی طبقه‌بندی کرد. در این بخش رادیاتورها را به دو گروه کلی «رادیاتورهای پره‌ای» و «رادیاتورهای پانلی» طبقه‌بندی کرده و به معرفی آن‌ها می‌پردازیم.

۶-۵-۶-۱) رادیاتورهای پره‌ای

این رادیاتورها با صرف‌نظر از شکل ظاهری آن، در سه نوع چدنی، فولادی و آلومینیومی ساخته می‌شوند و متشکل از پره‌هایی هستند که تعداد آن‌ها با توجه به بار حرارتی فضا تعیین می‌شود. پره‌های مذکور به‌وسیله‌ی پیچ مغزی و یا با فشار به یکدیگر متصل شده و توسط پایه‌هایی روی زمین قرارگرفته و یا به دیوار متصل می‌شوند. در اندازه‌ی یکسان رادیاتورهای چدنی تقریباً دارای دو برابر وزن رادیاتورهای فولادی می‌باشند. راندمان حرارتی آن‌ها کمتر ولی در عوض مقاومتشان در مقابل زنگ‌زدگی و خوردگی به‌مراتب بیشتر از رادیاتورهای فولادی است. رادیاتورهای آلومینیومی نسبت به دو نوع قبلی سبک‌تر، زیباتر و دارای راندمان حرارتی بالاتری هستند. هر سه نوع مذکور ازنظر پهنا و ارتفاع در اندازه‌های مختلفی عرضه می‌شوند. رادیاتورهای معمولی چون اغلب بدون پوشش و در ارتفاع پایین نصب می‌شوند؛ برای گرمایش با آب داغ یا بخار مناسبت نداشته و تنها برای گرمایش با آب گرم به کار می‌روند تا براثر تماس بدن با آن‌ها سوزش ایجاد نشود. آب گرم از بالای رادیاتور وارد و از پایین آن خارج می‌شود. ضمناً در قسمت بالای هر رادیاتور یک شیر هواگیری تعبیه‌شده است.



تصویر٦-٤١: رادیاتور پره‌ای

۶-۵-۶-۲) رادیاتورهای پانلی

رادیاتورهای پانلی، رادیاتورهایی هستند که به‌صورت یکپارچه و در اندازه‌های متنوع تولید می‌شوند، درواقع رادیاتورهای پانلی را می‌توان نسل جدیدتر رادیاتورها دانست. تصویر ۶-۴۲ نمونه‌ای از این رادیاتورها را نمایش می‌دهد.

از مزایای این رادیاتورها، می‌توان به زیبایی بیشتر، قابلیت نصب آسان‌تر و گرمایش بهتر و یکنواخت‌تر نسبت به رادیاتورهای پره‌ای اشاره کرد. رادیاتورهای پانلی معایبی نیز دارند که ازجمله‌ی آن می‌توان به امکان زنگ‌زدگی و خوردگی بیشتر نسبت به رادیاتورهای پره‌ای آلومینیومی (رادیاتورهای پانلی اغلب از جنس فولاد هستند)، عدم امکان تعمیر با هزینه‌ی پایین در صورت سوراخ شدن و عدم امکان تغییر ظرفیت اشاره کرد.



تصویر٦- ٤٢: رادیاتورهای پانلی

۶-۵-۷) کنوکتور

در بخش ۶-۴-۲-۱ توضیح مختصری در مورد عمومیت عملکرد کنوکتورها ارائه شد. «کنوکتورها» مبدل‌هایی هستند که به شیوه‌ای که پیش‌ازاین مطرح شد بر پایه‌ی انبساط و حرکت طبیعی هوای داغ موجب تبادل حرارت و افزایش دمای محیط می‌شوند. ویژگی متمایزکننده‌ی کنوکتور از دیگر سیستم‌های گرمایشی تابشی و جابجایی آزاد، جدار محافظی است که اجازه نمی‌دهد قسمت‌های گرم‌کننده‌ی اصلی نمایان شوند. این ویژگی علاوه بر این‌که موجب کثیف نشدن دیوارها و ارتقا سطح زیبایی می‌گردد، ثمرات دیگری نظیر پیشگیری از تماس افراد با بخش گرم‌کننده‌ی اصلی، جلوگیری از ایجاد سوختگی، امکان به‌کارگیری کویل‌های اسپیرال[1] و ارتقا بازده حرارتی را نیز در پی دارد.

[1] *Spiral*

گرمای موردنیاز کنوکتور می‌تواند با استفاده از آب گرم، آب داغ، بخارآب و مقاومت‌های الکتریکی تأمین شود. کنوکتورها در انواع گوناگون «آویزی»، «ایستاده»، «داخل دیواری» و «لوله پره دار» تولید و به بازار عرضه می‌شوند.



تصویر٦- ٤٣: کنوکتور

۶-۵-۸) یونیت هیتر[1]

یونیت هیتر دستگاهی است که از آن برای گرم کردن فضاهای بزرگ نظیر سالن‌های سرپوشیده، سالن‌های کارخانجات، سوله‌ها و ... استفاده می‌شود. این سیستم‌ها از لوله‌های پره داری که به‌صورت مارپیچ در چند ردیف قرارگرفته و آب گرم، آب داغ یا بخار در آن‌ها جریان دارد و فنی که هوا را از روی آن‌ها عبور می‌دهد، تشکیل‌شده‌اند.

یونیت هیترها را می‌توان از دیدگاه‌های گوناگونی تقسیم‌بندی کرد، به‌عنوان‌مثال؛ تقسیم‌بندی ازنظر شیوه‌ی تأمین انرژی (آب، بخار، الکتریسیته)، ازنظر نوع فن (ملخی و سانتریفیوژ)، ازنظر ترتیب قرار گرفتن قطعات (نوع مکنده و نوع دمنده) و ازنظر محل نصب (سقفی و زمینی).

[1] *Unit Heater*



تصویر٦- ٤٤: یونیت هیتر

۶-۵-۹) فن کویل

فن کویل ترمینالی است که از یک فیلتر با راندمان کم و یک یا چند فن سانتریفیوژ همراه با کویل سرد و گرم تشکیل شده است. هوای ورودی به فن کویل، ابتدا از روی فیلتر عبور کرده و سپس از قسمت فن و بعدازآن از کویل عبور می‌کند و وارد فضا می‌شود. برای جلوگیری از نشت آب تقطیرشده در فن کویل‌ها از تشتک و لوله‌ی تخلیه استفاده می‌شود. کویل گرمایشی این سیستم‌ها می‌تواند با آب گرم یا بخار کار کند. همچنین می‌توان به‌جای کویل گرمایشی از المان الکتریکی نیز استفاده کرد.

کاربرد فن کویل در فضاهایی که تابستان‌ها به سرمایش و زمستان‌ها به گرمایش نیاز دارند بسیار زیاد است. این سیستم‌ها در ساختمان‌هایی که نیاز به کنترل دقیق هوای تازه و رطوبت دارند استفاده نمی‌شوند ولی قادر هستند کنترل دمای هر فضا را به‌صورت مستقل انجام دهند. از سیستم فن کویل می‌توان در ساختمان‌های اداری، مسکونی، هتل‌ها، مدارس، رستوران‌ها و ... استفاده کرد. ازآنجایی‌که لوله‌کشی آب سرد و گرم به ترمینال‌ها

بسیار ساده‌تر از کانال‌کشی هواست، از این سیستم‌ها می‌توان به‌راحتی در انواع ساختمان بهره برد. فن کویل‌ها انواع گوناگونی دارند که در ادامه به معرفی آن‌ها می‌پردازیم.

۶-۵-۹-۱) فن کویل‌های زمینی، دیواری و ایستاده

غالباً این گروه از فن کویل‌ها در مقایسه‌ی با فن کویل‌های سقفی دارای ظرفیت پایین‌تری هستند. نوع و تعداد فن کویل‌های این گروه با توجه به ظرفیت حرارتی و برودتی فضا و نظر طراح و ساکنین تعیین می‌شود. تصاویر ۶-۴۵، ۶-۴۶ و ۶-۴۷ نمونه‌هایی از انواع این گروه از فن کویل‌ها را نمایش می‌دهند.



تصویر٦- ٤٥: فن کویل زمینی



تصویر٦- ٤٦: فن کویل دیواری



تصویر٦- ٤٧: فن کویل ایستاده

۶-۵-۹-۲) فن کویل‌های سقفی

در ظرفیت‌های بالاتر، انواع دیگر فن کویل ازجمله فن کویل‌های سقفی مورداستفاده قرار می‌گیرند. در مکان‌هایی که سقف کاذب وجود ندارد فن کویل‌های کابینت دار و در مکان هایی که دارای سقف کاذب هستند، نوع بدون کابینت آن به کار می‌رود.

نکته‌ی مهمی که در ارتباط با فن کویل‌ها باید به آن توجه داشت، این است که این سیستم‌ها به‌صورت معمولی فقط هوا را سیرکوله می‌کنند. تنها نوع خاصی از این تجهیزات وجود دارد که قابلیت تأمین هوای تازه را دارا است و آن نوعی فن کویل زمینی است (البته گروهی از فن کویل‌های دیواری نیز این قابلیت را دارا هستند). در چنین حالتی فن کویل نصب‌شده در زیر پنجره دارای روزنه‌ای است که ازیک‌طرف به ترمینال و از سمت دیگر به هوای بیرون راه دارد و هوای تازه از این طریق وارد آن می‌شود.



تصویر٦- ٤٨: فن کویل سقفی کابینت دار



تصویر٦- ٤٩: فن کویل سقفی بدون کابینت

۶-۵-۹-۳) فن کویل‌های کانالی

این فن کویل‌ها غالباً در سیستم‌های تمام آب به کار نمی‌روند، بلکه از آن‌ها در سیستم‌های ترکیبی آب- هوا استفاده می‌شود. در این حالت ما می‌توانیم سیستم هواساز را بر مبنای بار پایه طراحی نموده و سپس آن را از طریق شبکه‌ی کانال‌کشی به سمت فضاها بفرستیم. اگر بارِ فضا بیش از میزانی که هوای هواساز می‌تواند آن را خنثی کند باشد، پیش از ورود توسط کویل‌های موجود در فن کویل سقفی، مقدار بار مازاد به هوا داده‌شده و این هوا وارد فضا می‌گردد.



تصویر٦- ٥٠: فن کویل کانالی

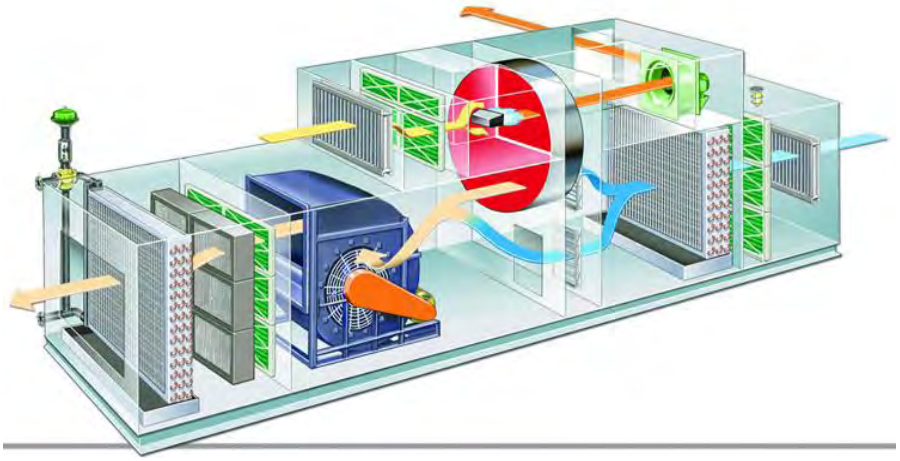
۶-۵-۱۰) هواساز[1]

هواسازها سیستم‌هایی هستند که وظیفه‌ی تأمین هوای تغذیه‌ی موردنیاز برای تهویه‌ی فضاها را بر عهده‌دارند. در این تجهیزات هوای برگشتی با مقداری هوای تازه که توسط استاندارد مشخص می‌شود، مخلوط می‌گردد، سپس این مخلوط از فیلترهای جاذب گردوغبار عبور نموده و پس‌ازآن به کویل‌ها می‌رسد. در کویل‌ها تبادل حرارتی لازم برای رساندن دمای هوای تغذیه به دمای هوای مطلوب انجام می‌شود و درصورتی‌که نیاز باشد، در انتها یک مرحله عملیات رطوبت زنی نیز انجام می‌گردد. در پایان هوای تغذیه‌ی آماده‌شده، توسط فن، در داخل شبکه‌ی کانال‌کشی توزیع می‌شود.

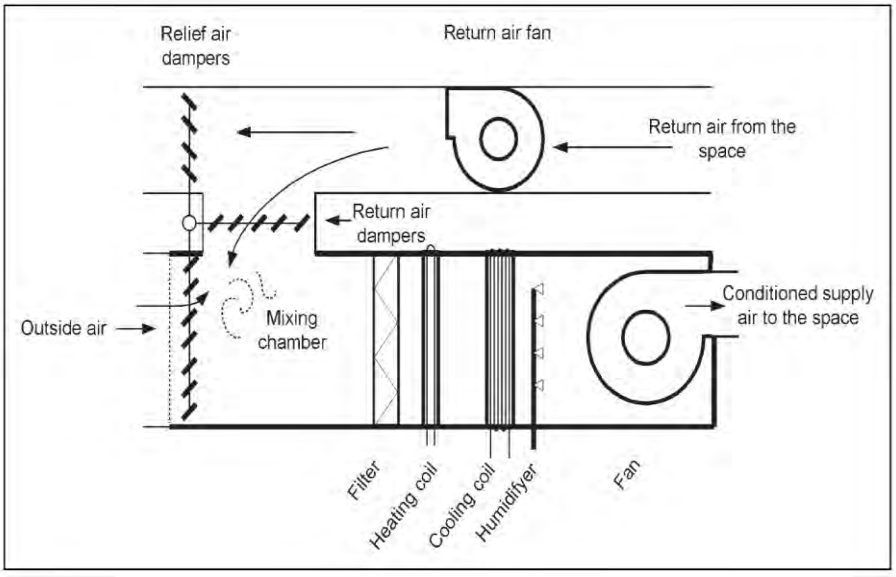
---

[1] *Air Handling Unit (AHU)*

دستگاه‌های هواساز به دو گروه کلی دستگاه‌های تک منطقه‌ای و دستگاه‌های چند منطقه‌ای تقسیم می‌شوند که پیش‌ازاین در بخش ۶-۴-۱ به‌طور کامل مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند.



تصویر٦- ٥١: هواساز



تصویر٦- ٥٢: شماتیک سیستم هواساز

در ادامه‌ی این بخش به معرفی مختصر اجزای سیستم هواساز می‌پردازیم.

۶-۵-۱۰-۱) ورودی هوا و محفظه‌ی اختلاط

در اولین بخش از دستگاه هواساز، یک مجموعه‌ی شبکه و تیغه وجود دارد که از ورود ذرات به سیستم جلوگیری می‌کند. کاهش سرعت هوا در نزدیکی این تیغه‌ها از ورود باران به داخل سیستم جلوگیری می‌کند. این شبکه به‌طورمعمول از جنس ورق گالوانیزه ساخته می‌شود.

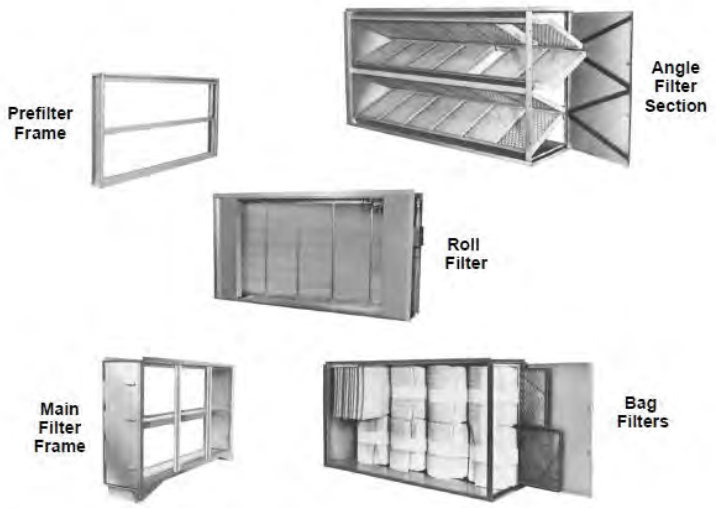
هنگامی‌که هوا از خارج به داخل دستگاه هواساز مکش می‌شود در فضایی تحت عنوان محفظه‌ی اختلاط با هوای برگشتی از داخل ساختمان مخلوط می‌شود. میزان هوای تازه و هوای برگشتی به‌وسیله‌ی دمپرهایی که تعبیه‌شده‌اند، کنترل می‌گردد.

۶-۵-۱۰-۲) حسگر دمای هوای مخلوط شده

کنترل دمای هوای مخلوط شده از اهمیت بالایی برای کنترل سیستم برخوردار است. به این منظور یک سنسور مجزا برای اندازه‌گیری دمای مخلوط هوای تازه و هوای برگشت در نظر گرفته می‌شود. اگر اختلاط هوای برگشت و هوای تازه به‌خوبی صورت نگیرد، میانگین دمای مخلوط، دمایی نخواهد بود که توسط سنسور نشان داده می‌شود. برای آن‌که حداکثر اختلاط قبل از رسیدن به دمای ثانویه صورت پذیرد، معمولاً حسگر را بعد از فیلتر نصب می‌کنند.

۶-۵-۱۰-۳) فیلترها

تمامی دستگاه‌های هواساز و پکیج‌های سرمایشی دارای فیلترهایی هستند که مانع ورود ذرات معلق و گردوغبار به درون سیستم می‌شوند. گاهی اوقات استفاده از فیلترهای باکیفیت‌تر و طبعاً گران‌تر برای کاهش هزینه‌های کلی سیستم توجیه‌پذیر است.



تصویر٦- ٥٣: چند نمونه از انواع فیلترهای مورداستفاده در سیستم هواساز

۶-۵-۱۰-۴) کویل‌های سرمایشی و گرمایشی

کویل‌های سرمایشی و گرمایشی وظیفه‌ی کاهش یا افزایش دمای هوای مخلوط و رساندن آن به شرایط طراحی‌شده را برعهده دارند. نیاز حرارتی کویل‌ها می‌تواند به‌وسیله‌ی آب گرم، آب داغ، بخار و مقاومت‌های الکتریکی و نیاز سرمایشی آن‌ها نیز می‌تواند با به‌کارگیری آب سرد و یا جریان مبرد تأمین شود. دمای هوای سیال جاری در کویل‌ها محدودیت‌هایی دارد که مفصلاً در منابع مربوط مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۶-۵-۱۰-۵) رطوبت زن

رطوبت زن دستگاهی است که از طریق اضافه کردن بخارآب و یا اسپری کردن آب در مسیر هوا، موجب افزایش رطوبت می‌شود. در فرایند رطوبت زنی آب تزریق‌شده باید از یک منبع آشامیدنی باشد تا سلامت افرادی که هوای مرطوب را استنشاق می‌کنند، دچار خطر نشود. معمولاً یک حسگر رطوبتی حساس (هیومیدستات[1]) در پایین‌دست دستگاه هواساز نصب می‌کنند تا با استفاده از آن امکان کنترل رطوبت هوای خروجی از دستگاه وجود داشته باشد.

[1] *Humidistat*

۶-۵-۱۰-۶) فن

فن وسیله‌ای است که انرژی لازم برای حرکت هوا در سیستم را تأمین می‌کند. به‌طورکلی دو نوع فن در سیستم‌های تهویه مطبوع به کار گرفته می‌شود.

الف- فن گریز از مرکز (سانتریفیوژ[1])

ب- فن محوری (اکسیال[2])

ساختار «فن‌های محوری» به‌گونه‌ای است که با چرخش پره‌های فن، جریان هوا در راستای محور چرخش ایجاد می‌شود. ساختار فن محوری نسبت به فن گریز از مرکز ساده‌تر است و برای کاربردهایی که حجم هوای بالا با افت فشار کمی موردنیاز است، کاربرد دارد. هنگامی‌که این فن برای افت فشارهای بسیار پایین به کار گرفته می‌شود معمولاً ساختار تیغه‌های آن به‌صورت فلزی پرس شده‌ای در نظر گرفته می‌شود که به آن اصطلاحاً «فن ملخی» گفته می‌شود.

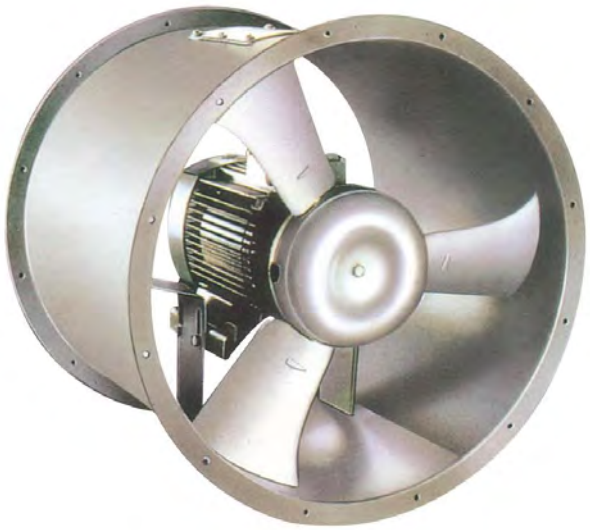
در «فن‌های گریز از مرکز»، هوا در راستای محور چرخش فن از دو سو وارد یک سیلندر پره دار دوار شده و به‌صورت شعاعی به اطراف پرتاب می‌شود. این نوع فن به دلیل ایجاد فشار بدون ایجاد سروصدای زیاد بسیار پرطرفدار است.



تصویر٦- ٥٤: فن سانتریفیوژ

[1] *Centrifugal*

[2] *Axial*



تصویر٦- ٥٥: فن اکسیال

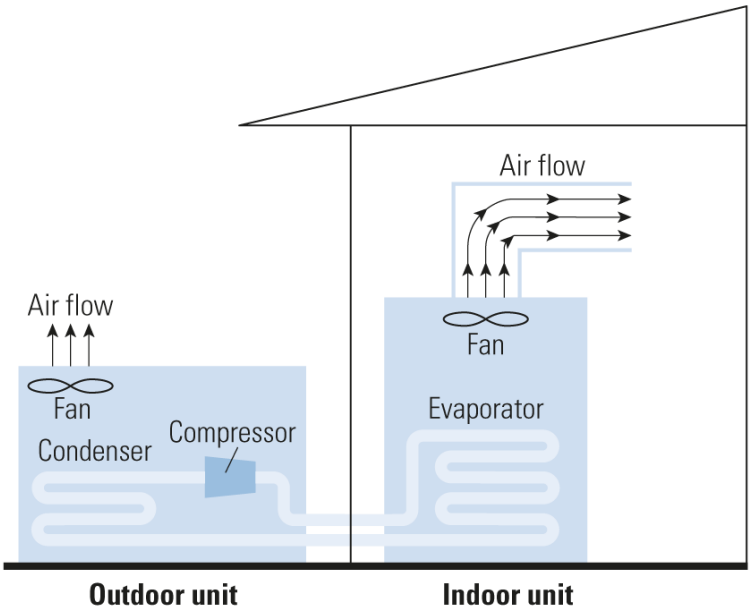
۶-۵-۱۱) کولرهای گازی

پیش‌ازاین در بخش ۶-۴-۴ به معرفی کلی انواع سیستم‌های انبساط مستقیم پرداخته شد. در این بخش قصد بر آن است که به معرفی بیشتر سیستم‌های مجزا و سیستم‌های یکپارچه که دارای کاربرد گسترده‌ای در بخش ساختمانی هستند بپردازیم.

واحدهای تهویه‌ی مطبوع انبساط مستقیم مجزا که معمولاً در بازار و در بین عموم افراد با عنوان «واحدهای اسپلیت» شناخته می‌شوند، از پرکاربردترین و پرطرفدارترین سیستم‌های تهویه مطبوع در دنیای امروز هستند. مکانیسم عملکرد این سیستم‌ها، سیکل تبرید تراکمی است که پیش‌ازاین به آن اشاره شد. در ساختار واحدهای اسپلیت دو بخش کلی وجود دارد:

- مبدل حرارتی که داخل فضا نصب می‌شود.
- قسمت دیگر که به‌صورت یک جعبه است و غالباً با عنوان «واحد کندانس[1]» شناخته می‌شود، دربرگیرنده‌ی سایر اجزای سیستم است که بیرون از ساختمان و در فضایی نظیر بالکن، پشت‌بام و یا بر روی دیوارهای خارجی نصب می‌شود.

[1] *Condensing Unit*



تصویر ٦- ٥٦: واحد اسپلیت

این دو بخش توسط لوله‌های انعطاف‌پذیر که سیال عامل درون آن‌ها جریان دارد به هم مرتبط می‌شوند. جنس این لوله‌ها باید از ماده‌ای مثل مس که در برابر خوردگی مبرد مقاوم است باشد. محیط لوله‌ها نیز برای جلوگیری از تلفات حرارتی تا حد امکان، عایق‌کاری شده است.

با یک طراحی ساده و با استفاده از تجهیزاتی نظیر شیر معکوس کننده و شیرهای یک‌طرفه، سیستم‌های انبساط مستقیم قابلیت تبدیل‌شدن به پمپ حرارتی و تأمین نیاز گرمایشی فضا در فصول سرد سال را پیدا خواهند کرد.

از مزایای واحدهای اسپلیت، می‌توان به قابلیت سرمایش فضا در مدت‌زمان اندک، سروصدای پایین، کنترل آلاینده‌های محیطی با استفاده از انواع گوناگون فیلتر، ترموستات حساس و ایجاد امکان دستیابی به دمای موردنظر و امکان خرید در ظرفیت‌ها و طرح‌های گوناگون اشاره کرد. مصرف بالای انرژی ازجمله معایب قابل‌توجه واحدهای اسپلیت است.

کولرهای گازی «قابل‌حمل» یا «پرتابل[1]» دسته‌ای از کولرهای گازی هستند که در آن‌ها اواپراتور، کندانسور و سایر قطعات در یک واحد جمع و این واحد به‌وسیله‌ی چرخ‌هایی که در زیر آن تعبیه‌شده، قابل جابجایی و انتقال به نقاط گوناگون ساختمان است. گرمای حاصل از سیکل تبرید توسط لوله‌ای که به پشت کولر متصل می‌شود، به فضای بیرون ساختمان انتقال می‌یابد (تصویر۶-۵۷).

کولرهای گازی پرتابل در ظرفیت‌های حدود $\frac{Btu}{h}$ ۵۰۰۰ تا $\frac{Btu}{h}$ ۱۵۰۰۰ تولیدشده و برای فضاهای کوچک و یا فضاهایی که قرار است موقتاً مورداستفاده قرار گیرند، به کار می‌رود. این کولرها عمدتاً برای فضاهایی با متراژ بالاتر از ۳۰ الی ۳۵ مترمربع به کار نمی‌روند.

نکته‌ی بسیار مهمی که باید به آن توجه داشت، تفاوت کولرهای گازی ایستاده در ظرفیت‌های بالا و عموماً با توان پرتاب باد بیشتر از کولرهای اسپلیت دیواری متعارف تولید می‌شوند.



تصویر٦- ٥٧: کولرگازی پرتابل

[1] *Portable*



تصویر٦- ٥٨: کولرگازی ایستاده

کمپرسور کولرهای گازی می‌تواند به دو حالت «دور ثابت[1]» و «دور متغیر[2]» باشد. در کمپرسورهای دور ثابت کنترل کمپرسور برای تنظیم دما به‌وسیله‌ی خاموش و روشن شدن کمپرسور انجام می‌شود؛ که موجب می‌گردد تعداد دفعات روشن و خاموش شدن افزایش یابد.

در کولرهای گازی دارای «کمپرسور دور متغیر[3]» که اصطلاحاً در بازار با نام «کولرگازی اینورتر» به فروش می‌رسند، سرعت کمپرسور متغیر بوده و بسته به میزان دما و رطوبت محیط، دور کمپرسور کم یا زیاد می‌شود. در زمانی که دمای محیط به میزان مطلوب می‌رسد نیز، معمولاً کمپرسور خاموش نشده و در دور پایین و با حداقل مصرف برق کار می‌کند. به‌این‌ترتیب کمپرسور استارت اضافه نکرده و عمل اتومات کردن و استارت کردن کمپرسور که عامل اصلی مصرف برق است در این سیستم‌ها رخ نمی‌دهد.

---

[1] *Constant Speed*

[2] *Variable Speed*

[3] *Inverter Compressor*

قیمت کولرهای گازی اینورتر عموماً بالاتر از کولرهای گازی معمولی است، اما مصرف انرژی پایین‌تر و در پی آن هزینه‌ی دوره‌ی کارکرد کم‌تر، می‌تواند این هزینه‌ی اولیه‌ی بیشتر را جبران کند.

۶-۵-۱۲) کولرآبی و هواشور[1]

پیش‌ازاین در بخش ۶-۴-۵ به کلیت فرایند سرمایش تبخیری اشاره شد. «کولرهای آبی» پرکاربردترین سیستم سرمایش تبخیری هستند که در نواحی گوناگون کشور به کار گرفته می‌شوند. شیوه‌ی کارکرد این سیستم‌ها به‌این‌ترتیب است که آب توسط پمپ بر روی پوشال‌هایی که وجه‌های گوناگون کولر را پوشانیده‌اند، پاشیده شده و این رطوبت با جذب حرارت نهان تبخیر خود از هوای موجود در فضای کولر موجب کاهش دمای هوا می‌شود. حالت ایده‌آل سیستم‌های سرمایش تبخیری آن است که هوا در نقطه‌ی خروج به دمای مرطوب هوای ورودی رسیده باشد؛ اما عموماً در عمل این اتفاق رخ نداده و بر پایه‌ی نزدیکی دمای حباب خشک هوای خروجی به دمای مرطوب هوای ورودی پارامتری با عنوان «بازده رطوبت زنی» تعریف می‌شود.

$$\eta_{hum} = \left(\frac{T_{۱db} - T_{۲db}}{T_{۱db} - T_{wb}} \right) \times ۱۰۰$$

رابطه‌ی ۶-۱۸

η_{hum}: بازده رطوبت زنی

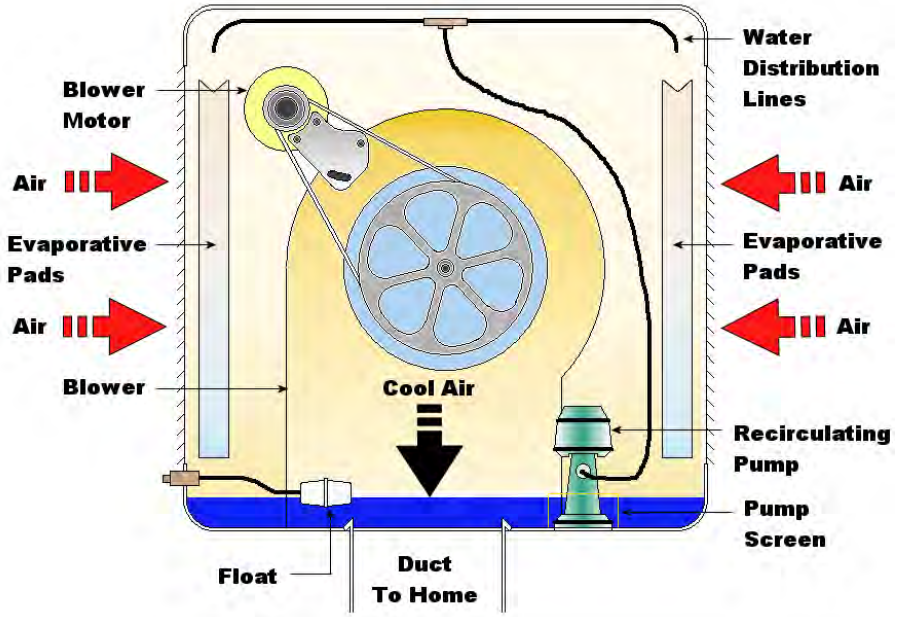
$T_{۱db}$: دمای حباب خشک هوای ورودی

$T_{۲db}$: دمای حباب خشک هوای خروجی

T_{wb}: دمای حباب مرطوب هوای ورودی

بازده رطوبت زنی کولرهای آبی موجود در بازار در حدود ۵۵ تا ۶۵ درصد است.

[1] *Air Washers*



تصویر٦- ٥٩:کولرآبی

«هواشورها» یا «ایرواشرها» گروه دیگری از سیستم‌های سرمایش تبخیری هستند که بازده رطوبت زنی بالاتری نسبت به کولرهای آبی معمولی دارند. هواشورها می‌توانند در شرایط مطلوب بازده رطوبت زنی در حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد داشته باشند.

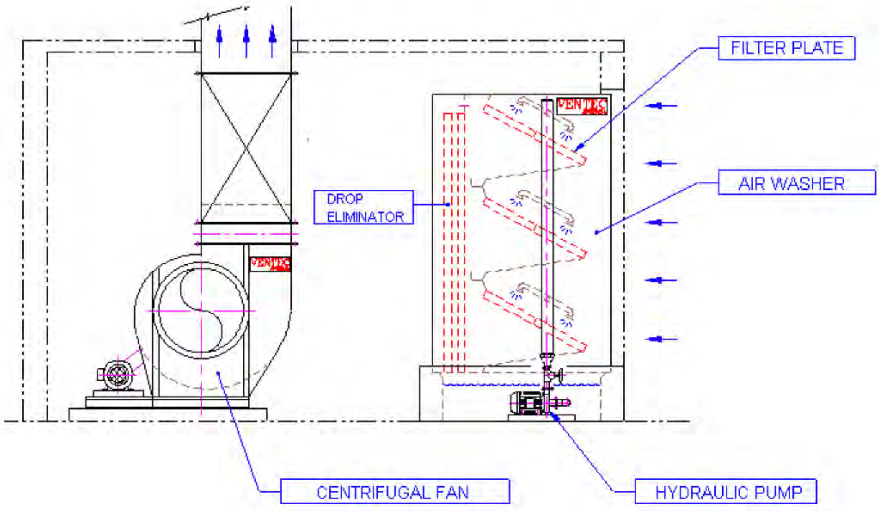
اساس کار هواشورها، همان روشی است که در سایر سیستم‌های سرمایشی تبخیری نیز به کار گرفته می‌شود. در این سیستم‌ها مجموعه‌ای از پکینگ‌ها و افشانه‌ها با هدف افزایش سطح تماس آب و هوا به کار می‌روند. آب با فشاری که پمپ آن را تأمین می‌کند وارد افشانه‌ها شده و به‌صورت ذرات ریزی وارد هوا می‌شود، بخشی از آب تبخیر شده و موجب کاهش دمای هوا می‌گردد. بخشی از آب هم که تبخیر نشده از روی پکینگ‌ها عبور کرده و به‌این‌ترتیب سبب کاهش دوباره‌ی دمای هوا می‌شود. آبی هم که در این دو مرحله تبخیر نشده است به محفظه‌ی نگهداری بازگردانده شده و دوباره به لوله‌ها پمپ می‌شود.

از مزایای سیستم‌های سرمایش تبخیری می‌توان به هزینه‌ی اولیه و هزینه‌ی بهره‌برداری پایین، تعمیر و نگهداری ساده و فراهم آوری شرایط مطلوب دمایی در مناطق گرم و خشک

اشاره کرد. سیستم‌های سرمایش تبخیری معایبی نظیر مصرف بالای آب، سروصدای زیاد و عدم تناسب با نواحی مرطوب را دارا هستند.



(الف)



(ب)

تصویر٦-٦٠: (الف) و (ب) ایرواشر

۶-۵-۱۳) زنت

زنت دستگاهی است دومنظوره که برای ایجاد سرمایش در تابستان و گرمایش در زمستان به کار می‌رود. گفته می‌شود که این دستگاه برای اولین بار در ایران و به همت «مهندس مهدی بازرگان» ساخته‌شده است. واژه‌ی زنت، مخفف عبارت «زمستانی- نیمه- تابستانی» است. سرمایش در این سیستم با عبور هوا از یک مجموعه‌ی پکینگ و پوشال و طی یک فرآیند سرمایش تبخیری و تأمین نیاز حرارتی نیز به‌وسیله‌ی کویل‌های آب گرم (داغ) و یا المان‌های الکتریکی انجام می‌شود.



تصویر۶-۶۱: زنت

۶-۵-۱۴) کنترلرها

کنترلرها و سیستم‌های کنترلی ابزارهایی هستند که در بخش‌های گوناگون سیستم تأسیسات و با هدف‌هایی نظیر کنترل دمای فضاها، کنترل میزان رطوبت، کنترل سیستم اطفاء حریق، جلوگیری از خطرات ناشی از شعله و یا گرم شدن بیش‌ازحد آب دیگ و ... به کار می‌روند. کارکرد صحیح کنترلرها و سیستم‌های کنترلی نقش قابل‌توجهی بر امنیت ساختمان، کیفیت تأمین شرایط مطلوب طراحی‌شده و میزان مصرف انرژی دارد.

۶-۵-۱۴-۱) آکوستات

از این دستگاه برای جلوگیری از سرد یا گرم شدن بیش‌ازحد آب دیگ استفاده می‌شود. به‌گونه‌ای که در صورت انحراف از یک دمای معین، مدار الکتریکی مشعل را قطع و آن را از کار می‌اندازد و پس‌ازآن که به میزان معینی حرارتش را از دست داد، مجدداً مدار الکتریکی را وصل و پاشش سوخت را فعال می‌کند. آکوستات برای پیشگیری از به نقطه‌ی جوش رسیدن دمای آب دیگ مفید است و معمولاً در دو نوع «سطحی» و «مستغرق» ساخته می‌شود.

نوع سطحی روی لوله‌ی کاملاً تمیز و سمباده خورده بسته می‌شود، اما نوع مستغرق آن دارای دنباله‌ای است که داخل آب دیگ و یا آب لوله‌ی آب گرم قرار می‌گیرد. بین اتصال این دستگاه و دیگ هیچ نوع شیری نباید وجود داشته باشد. در غیر این صورت ممکن است با بستن شیر، کنترل از سیستم خارج شود و خطر تبخیر آب تا حد انفجار به وجود آید.

۶-۵-۱۴-۲) ترموستات اتاقی

ترموستات دستگاهی است که برای ثابت نگه‌داشتن دمای یک فضای مشخص در یک محدوده‌ی معین به کار می‌رود. ترموستات‌ها این کار را به‌وسیله‌ی کنترل سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و اجزای مربوط به آن‌ها انجام می‌دهند. ترموستات ازنظر شکل ظاهری به دو نوع دیجیتال و آنالوگ تقسیم‌شده و ازنظر کاربرد نیز می‌تواند برای کنترل فن کویل‌ها، اسپلیت‌ها، هواسازها، مشعل‌ها، یونیت‌هیترها و دیگر اجزای سیستم تهویه‌ی مطبوع و حرارت مرکزی به کار رود. محدوده‌ی دمایی ترموستات‌های گوناگون با یکدیگر متفاوت است

که در زمان انتخاب حتماً باید موردتوجه قرار گیرد. ترموستات‌ها را از دیدگاه‌های گوناگونی می‌توان تقسیم‌بندی کرد که به چند نمونه‌ی آن اشاره می‌کنیم.

- ازنظر محل نصب، به انواع اتاقی، کانالی، مستغرق و جداری تقسیم می‌شوند.
- ازنظر نوع عملکرد به انواع قطعی، وصلی و تدریجی تقسیم می‌شوند.
- ازنظر دامنه‌ی کاری، به انواع زیر صفر و بالای صفر تقسیم می‌شوند.
- ازنظر تعداد مراحل کار، به انواع یک مرحله‌ای، دومرحله‌ای و پله‌ای[1] تقسیم می‌شوند.
- ازنظر نوع سنسور، به انواع بایمتال[2]، فانوسه‌ای، رئوستا و یا دیافراگمی تقسیم می‌شوند.

۶-۵-۱۴-۳) رله حفاظتی[3]

برای جلوگیری از تولید دود زیاد و یا سوختن گازوئیل، از این دستگاه استفاده می‌شود که معمولاً به دودکش و در فاصله‌ای در حدود ۳۰ سانتی‌متر از دیگ متصل می‌شود. اگر شعله‌ی داخل دیگ، دود زیادی تولید کند و یا براثر وزش بادهای شدید، دود به داخل پس‌زده شود و یا این‌که به دلایلی جرقه برای تولید شعله ایجاد نشده و یا سوخت به درون کوره پاشیده نشود، در این حالت رله حفاظتی، پاشنده‌ی سوخت را از کار می‌اندازد. معمولاً رله حفاظتی دو حالت دارد.

۱- حالتی که پس از مدت معینی در حدود ۶۰ ثانیه که از شروع کار پاشنده‌ی سوخت گذشت و شعله به وجود آمد، این جرقه را قطع می‌کند.

۲- نوعی که زمانی که پاشنده‌ی سوخت، سوخت را به درون دیگ پاشید، مدار الکتریکی جرقه را وصل و جرقه تولید می‌شود.

۶-۵-۱۴-۴) آب نما

برای این‌که مقدار آب موجود در سیستم مشخص شود و کمبود آب براثر تبخیر بیش‌ازحد، مشکلی در سیستم گرمایشی ایجاد نکند، ارتفاع ستون آب را با این وسیله مشخص می‌کنند.

---

[1] *Step control*

[2] *Bimetal*

[3] *Protective relay*

این دستگاه به‌طورمعمول برحسب متر یا فوت درجه‌بندی‌شده و ممکن است مقدار فشار را نیز برحسب واحدهای گوناگونی نظیر کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع یا پوند بر اینچ مربع مشخص کند.

آب نما مانند ترمومتر، روی دیگ و یا بلافاصله روی لوله‌ی آب گرم متصل نشده و خود دستگاه نیز ازنظر خروج هوای داخل سیستم ممکن است با شیر سه‌راهی مخصوص به دیگ متصل شود.

۶-۵-۱۴-۵) گازوئیل سنج

برای مشخص کردن میزان گازوئیل موجود در منبع سوخت، از این دستگاه استفاده می‌شود و در هرزمانی می‌توان به کمک آن حجم گازوئیل موجود در منبع را تعیین کرد. گازوئیل سنج می‌تواند به یکی از صورت‌های زیر عمل کند.

الف- ارتفاع‌سنج: از یک صفحه‌ی مدرج، یک شناور و یک مجموعه‌ی مرتبط با آن تشکیل شده است. شناور که روی سطح گازوئیل قرار دارد، به‌وسیله‌ی یک قرقره و یک فنر عمل می‌کند. زمانی که به بالا بیاید، نخ دور قرقره پیچیده شده و درجه‌ی زیاد را نشان می‌دهد و درصورتی‌که گازوئیل کم شود، شناور پایین رفته و نخ از دور قرقره باز می‌شود و میزان خالی بودن منبع را نشان می‌دهد.

ب- گازوئیل نما: با استفاده از یک لوله‌ی مدرج شیشه‌ای یا پلاستیکی که به منبع گازوئیل متصل شده و بر مبنای قانون ظروف مرتبط، ارتفاع گازوئیل منبع تعیین می‌شود.

ج- ایجاد خلأ و یا تجهیزات الکتریکی: طی ایجاد خلأ و یا با استفاده از تجهیزات الکتریکی نیز می‌توان میزان گازوئیل منبع را تعیین کرد.

۶-۵-۱۴-۶) سلول فتوالکتریک[1]

در برخی موارد (به‌عنوان‌مثال زمانی که دیگ بزرگ باشد) به‌جای کنترل دود از این وسیله استفاده می‌شود که غالباً از تجهیزاتی با کاربری مشابه خود، دقیق‌تر و حساس‌تر است. نحوه‌ی کار این سیستم به‌این‌ترتیب است که تا زمان تداوم احتراق کامل و وجود شعله‌ی

[1] *Photoelectric cell (photocell)*

قرمز نزدیک به سفید، سلول فتوالکتریک جریان برق را روی موتور پاشنده‌ی سوخت نگه می‌دارد و اجازه می‌دهد که کار آن ادامه پیدا کند و در غیر این صورت اگر شعله و روشنایی ضعیف شود یا از بین برود جریان را قطع می‌کند.

۶-۵-۱۴-۷) شیر خودکار رادیاتور

در محل‌هایی که کنترل دقیق حرارتی موردنیاز باشد، از شیر خودکار حرارتی در رادیاتورها استفاده می‌شود که برحسب تغییر درجه حرارت محل، میزان جریان آب رادیاتور و یا هر وسیله‌ی گرم‌کننده‌ی دیگری را کم‌وزیاد می‌کند و در حقیقت وجود این شیر، ظرفیت گرمایشی آنی دستگاه توزیع حرارت را تغییر می‌دهد.

۶-۵-۱۴-۸) شیر سلونوئید[1]

در تأسیساتی که سوخت مایع مصرف می‌شود و منبع سوخت مایع در ارتفاعی بالاتر از پاشنده‌ی سوخت قرار دارد، در زمان خاموشی دستگاه برای جلوگیری از چکه کردن و نفوذ سوخت به داخل کوره، از این شیر استفاده می‌شود و با بسته شدن کامل مسیر سوخت به دیگ، از خطرات احتمالی از قبیل گرفتگی لوله‌ی سوخت و گاهی انفجار ناگهانی سوخت در داخل کوره جلوگیری می‌شود.

۶-۵-۱۴-۹) شیرهای موتوری سه راهه[2]

این شیر در تأسیسات حرارت مرکزی آبی و روی لوله‌ی برگشت بعد از پمپ قرار می‌گیرد. هدف استفاده از این سیستم آن است که در صورت بالا بودن دمای آب برگشت، به‌جای آن‌که این آب به دیگ برود، شیر سه‌راهی باز شده و آب را وارد لوله‌ی رفت کند.

---

[1] *Solenoid valve*

[2] *Three way motorized valve*

فصل هفتم

سیستم‌های تهویه مطبوع، ممیزی و راهکارها (۱)

چکیده

در فصل گذشته، مباحث مربوط به مبانی، سیستم‌ها و تجهیزات تهویه مطبوع و حرارت مرکزی موردبحث قرار گرفت. در ادامه‌ی امر به معرفی و تفصیل روش‌ها و راهکارهای ممیزی سیستم‌های تهویه مطبوع در این فصل و فصل پیش‌رو و مبانی و روش‌های ممیزی سیستم‌های حرارت مرکزی و تجهیزات و سیستم‌های سرمایشی در دو فصل نهم و دهم پرداخته خواهد شد.

مطالب و مباحث این فصل در سه گروه کلی ارائه خواهند شد. در بخش اول با محوریت راهکارهای کاهش مصرف کم‌هزینه و بی هزینه به بررسی و ارزیابی کیفیت هوای داخل، چگونگی تأمین هوای تازه و وضعیت دما و رطوبت فضاها پرداخته؛ در بخش دوم به درگاه‌های اتلاف انرژی و روش‌ها و تجهیزات بازیابی آن و در بخش سوم و پایانی به مفهوم چرخه‌ی صرفه گر و جوانب و ابعاد آن اشاره خواهد شد.

در فصل گذشته، به معرفی تجهیزات تهویه مطبوع و حرارت مرکزی و نقش قابل‌توجه آن‌ها در شکل‌گیری مقادیر مصرف و الگوی مصرف انرژی پرداخته شد. در این فصل مجدداً تأکید می‌کنیم که طراحی و انتخاب مناسب سیستم‌های تهویه مطبوع و حرارت مرکزی و در پی آن بهره‌برداری اصولی و تعمیر و نگهداری منظم این تجهیزات، میزان کارآمدی سیستم‌های تأسیساتی را تعیین می‌کند. دلایل گوناگونی نظیر طراحی نامناسب، انتخاب اشتباه، نگهداری غیراصولی، عدم توجه به خرابی‌های تجهیزات و تنظیم و بهره‌برداری غیر منطبق بر الگوهای توصیه‌شده، می‌تواند سیستم‌های سرمایش و گرمایش ساختمان را به بخشی ناکارآمد و انرژی سوز تبدیل کند. در چنین وضعیتی نیاز به شناخت معایب سیستم و گره‌های مصرف احساس می‌شود؛ این شناخت طی انجام فرآیند ممیزی حاصل می‌گردد. در این فصل و فصل آینده قصد آن است که به معرفی مراحل و راهکارهای ممیزی سیستم‌های تهویه مطبوع و حرارت مرکزی پرداخته شود. محوریت مطالب ارائه‌شده در این فصل، مبتنی بر راهکارهای حتی‌الامکان کم‌هزینه و بی هزینه است.

۷-۱) کیفیت هوای داخل ساختمان[1]

کیفیت هوای داخل ساختمان که به‌اختصار آن را با IAQ نمایش می‌دهند، معیاری از میزان کیفیت هوا در محدوده‌ی حضور انسان و حیوان است. این شاخص که در راستای تضمین سلامت و آسایش ساکنین ارائه می‌شود، صرفاً مربوط به ساختمان‌ها نیست و به‌تمامی فضاهایی که افراد در آن حضور دارند، مربوط می‌گردد. به‌این‌ترتیب در فعالیت‌هایی نظیر کار در معادن و تعمیر و نگهداری تجهیزات صنعتی که نیازمند حضور افراد است، این شرایط می‌بایستی تأمین و تضمین شود.

کیفیت هوای یک فضا به عواملی گوناگون، همانند وجود گازهای کربن مونوکسید، اکسیدهای نیتروژن، ترکیبات آلی فرار[2]، آلودگی‌های میکروبی نظیر کپک، ویروس و باکتری و تجمع هرگونه جرم و انرژی تنش‌زا وابسته است. آلودگی‌های ایجادشده در یک محیط نیز به علل مختلفی نظیر کاربری محیط، مواد و مصالح ساختمانی به‌کاررفته، پوشش دیوارها،

---

[1] *Indoor Air Quality (IAQ)*

[2] *Volatile organic compounds (VOCs)*

دکوراسیون و مبلمان به‌کاررفته، نوع تأسیسات سرد و گرم، استعمال دخانیات و دیگر فرآیندهای طبیعی نظیر پخت‌وپز مرتبط است.

جدول ۷- ۱: مقدار مجاز برخی آلاینده‌ها (OSHA[1])

آلاینده	سازمان بهداشت جهانی (WHO)	اتحادیه‌ی اروپا	استرالیا	ایالات‌متحده‌ی آمریکا	کانادا
ازون ۸ ساعت parts per billion	۵۰	٦۰	۸۰	۸۰	٦۵
ذرات ریز معلق ۲۴ ساعت Micrograms per cubic meter	۲۵	۵۰	۲۵	٦۵	۳۰
دی‌اکسید گوگرد ۲۴ ساعت parts per billion	۸	٤۸	۸۰	۱٤۰	۱۱۵
دی‌اکسید نیتروژن سالیانه parts per billion	۲۱	۲۱	۳۰	۵۳	۵۳
مونوکسید کربن ۸ ساعت parts per billion	۹	۹	۹	۹	۱۳
سرب Micrograms per cubic meter	-	۰٫۵	۰٫۵	۱٫۵	-

[1] *Occupational Safety and Health Administration*



تصویر ۷-۱: آلودگی و کاهش کیفیت هوای ساختمان

۷-۱-۱) راهکارهای بهبود کیفیت هوای داخل

پیش‌ازاین به نقش بسیار مؤثر کیفیت هوای محیط بر سطح آسایش و سلامت ساکنین اشاره کردیم، اکنون برآنیم که روش‌های متداول بهبود کیفیت هوای ساختمان را معرفی کنیم.

الف) کنترل منبع آلودگی: این روش مؤثرترین و معمولاً ارزان‌قیمت‌ترین راه بهبود کیفیت هوای یک محیط است. در این روش در پی حذف منابع آلودگی و یا محدود کردن این منابع در صورت عدم امکان حذف کامل هستیم.

ب) افزایش هوای تازه‌ی ورودی: در این روش حجم هوای تازه‌ای را که وارد فضا می‌شود افزایش می‌دهند تا به‌این‌ترتیب غلظت آلاینده‌ها کاهش یابد. البته باید به این نکته توجه داشته باشیم که اگرچه افزایش حجم هوای تازه موجب بهبود کیفیت هوا می‌گردد؛ اما از سوی دیگر با تحمیل بار سرمایشی (گرمایشی) بیش‌تر به تجهیزات، میزان مصرف انرژی ساختمان را نیز افزایش می‌دهد که البته با به‌کارگیری یک مبدل حرارتی برای تبادل گرما بین هوای تغذیه و هوای ورودی بخشی از آن قابل جبران است. در ادامه به بحث بیش‌تری در این مورد پرداخته خواهد شد.

لازم به ذکر است که بخش عمده‌ای از ساختمان‌های کشور از سیستم‌های ساده و سنتی سرمایشی و گرمایشی همچون بخاری، شوفاژ و کولرگازی استفاده می‌کنند. در چنین سیستم‌هایی چنانچه اگزاست فن جداگانه‌ای در محیط تعبیه نشده باشد، تأمین هوای تازه صرفاً از طریق تهویه‌ی طبیعی امکان‌پذیر است که در این حالت گستره‌ی انتخاب وسیعی برای ساکنین وجود ندارد. به‌طورکلی ورود هوای تازه به یک فضا از طریق یکی از راه‌های زیر میسر می‌گردد.

- تهویه‌ی طبیعی، مانند باز کردن درها و پنجره‌ها
- تهویه‌ی مکانیکی، به‌عنوان نمونه‌ای از این حالت می‌توانیم به سیستم هواساز و انواع فن‌ها اشاره کنیم.
- پدیده‌ی نفوذ، که در فصل چهارم مفصلاً در مورد آن بحث شد.

ج) تصفیه‌ی هوا: روش دیگری که می‌توانیم از آن برای بهبود کیفیت هوای یک محیط بهره ببریم، فیلتراسیون هوا است. این عمل می‌تواند با به‌کارگیری یک فیلتر هوا در مسیر هوای خروجی از جعبه‌ی اختلاط یک سیستم هواساز و یا با بهره‌گیری از سیستم‌های مجزای تصفیه‌ی هوا که در انواع بسیار متنوعی تولید می‌شوند، صورت پذیرد.

دستگاه‌های تصفیه‌ی هوا، هوای آلوده محیط را به‌وسیله‌ی یک فن مکیده و به کمک چند فیلتر گوناگون و لامپ یو وی[1] و مولد یون منفی هوا را فیلتر می‌کنند. در سیستم‌های

[1] *UV Light Bulb*

تصفیه‌ی هوا فرآیندهای گوناگونی انجام می‌شود که در زیر به روند کلی آن که معمولاً نیز رعایت می‌گردد، اشاره می‌کنیم.

- پیش فیلتر: جذب ذراتی از قبیل پرز فرش و پرده، مو و پر حیوانات و گردوخاک هوا
- فیلتر پلاسما[1]: جذب الکتریکی ذرات آلرژی‌زا و دوده‌ی هوا.
- فیلتر کربن فعال[2]: جذب بوها و گازهای سمی از قبیل بوی سیگار و گاز کربن مونوکسید.
- فیلتر هِپا[3]: جذب کلیه‌ی ذرات معلق آلرژی‌زا تا ده میکرون، ذرات و آلاینده‌های مضر هوا از قبیل باکتری‌ها، گرده‌های حساسیت‌زای گیاهان
- فیلتر TIO_2 : جذب گازهای آلی فرار، بوهای نامطبوع، باکتری‌ها و ویروس‌ها از طریق فوتوکاتالیست[4].
- لامپ یو وی: از بین بردن ویروس‌ها (به‌عنوان نمونه ویروس آنفولانزا)، باکتری‌های هوازی و به‌طورکلی استریل کردن هوای خروجی.
- یون منفی: تلطیف هوا و حذف آلاینده‌های دارای یون مثبت.



تصویر ۷- ۲: دستگاه تصفیه‌ی هوا

[1] *Plasma Filter*

[2] *Activated Carbon Filter*

[3] *High efficiency particulate air (HEPA) Filter*

[4] *photocatalyst*

۷-۱-۲) جمع‌بندی

در این بخش قصد داریم به‌عنوان ارائه‌ی یک جمع‌بندی کلی بر مطالب ارائه‌شده، نکات زیر را مطرح کنیم:

۱- همان‌طور که پیش‌ازاین نیز مطرح شد، در استانداردهای گوناگون مقادیر موردنیاز هوای تازه برای کاربری‌های مختلف به انضمام مقادیر خطرآفرین آلاینده‌ها ارائه‌شده است؛ بنابراین فرد ممیز باید توجه کند که مقدار ارائه‌شده در استاندارد، مقداری کافی است و لزومی بر افزایش حجم هوای ورودی (مگر در شرایط خاص) وجود ندارد. از سوی دیگر هوای ورودی به فضا باید به شیوه‌ای مناسب توزیع‌شده و حجم هوادهی نیز با توجه به کاربری سیستم انتخاب گردد.

توصیه می‌شود فضاهایی که دارای تجمع بالای آلاینده هستند؛ نظیر محیط‌هایی که به استعمال دخانیات اختصاص دارند، از دیگر محیط‌ها متمایز شده و هوای آن‌ها توسط یک فن تخلیه‌ی[1] مجزا به بیرون انتقال داده شود.

۲- فرد ممیز باید مطلع باشد که مواد و مصالح به‌کاررفته در ساخت مبلمان و دکوراسیون داخلی، کف‌پوش و دیوار پوش‌ها، رنگ‌های مورداستفاده در سطوح گوناگون و ... می‌توانند با نشر مواد آلاینده کیفیت هوای ساختمان را کاهش دهند. (تصویر ۷-۱)

۳- برنامه‌ی تعمیر و نگهداری توصیه‌شده‌ی سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع باید توسط ساکنین و اپراتورهای ساختمان رعایت شده و تعویض فیلترها و نظافت و تعمیر بخش‌های گوناگون سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی به‌صورت مداوم صورت پذیرد.

۴- ساکنین ساختمان باید حتی‌الامکان از استانداردهای کیفیت هوا و تأثیری که آلودگی هوای داخل بر وضعیت آسایش و سلامتی آن‌ها دارد، آگاهی یابند.

۵- چنانچه بررسی‌ها حاکی از آن باشد که کیفیت هوای ساختمان موردبررسی در وضعیت مناسبی قرار ندارد، فرد ممیز باید با به‌کارگیری یک یا چند راهکار ارائه‌شده در بخش گذشته، درصدد بهبود آن گام بردارد.

---

[1] *Exhaust Fan*

۷-۲) وارسی سیستم‌های تأمین هوای تازه

در سیستم های تهویه مطبوعی که از قابلیت تأمین هوای تازه برخوردارند، میزان معینی از هوای تازه وارد فضا شده و به‌این‌ترتیب ضمن بهبود کیفیت هوای ساختمان و فراهم آوردن اکسیژن موردنیاز ساکنین، به‌تناسب حجم وارده شده باری را بر سیستم تحمیل می‌کند؛ بنابراین جایگاه ممیزی و وارسی این سیستم‌ها آشکار می‌گردد. برای انجام این فرآیند به معرفی راهکارهای زیر می‌پردازیم:

۱- اندازه‌گیری حجم هوای تازه‌ی ورودی به فضا

۲- ثبت مشخصات نامی فن‌های به‌کاررفته.

۳- مقایسه‌ی حجم هوای تازه‌ی ورودی به فضا با مقادیر توصیه‌شده در استاندارد.

۴- چنانچه مقدار هوای واردشده به یک فضا بیش از مقادیر توصیه‌شده در استانداردهای مرتبط باشد، لازم است که حجم هوای ورودی را طی تغییر پولی[1] و فن کاهش دهیم. این اقدام دو نتیجه‌ی زیر را در پی خواهد داشت.

- کاهش توان ترمزی[2] فن.
- کاهش تلفات حرارتی در فصول سرد سال.

روابط (۷-۱)، (۷-۲) و (۷-۳) به‌منظور محاسبه‌ی میزان انرژی صرفه‌جویی شده طی کاهش حجم هوای تازه‌ی ورودی به فضا ارائه می‌شوند.

$$hp(reduction) = hp \times \left(\frac{cfm(new)}{cfm(old)} \right)^{۳}$$ رابطه‌ی ۷-۱

$$Q(saved) = \frac{۱/۰۸ Btu}{Hr \pm Cfm \pm °F} \times Cfm(saved) \times \Delta T$$ رابطه‌ی ۷-۲

$$kw = hp \times ۰/۷٤٦/\eta$$ رابطه‌ی ۷-۳

[1] *pulley*

[2] *Brake horsepower*

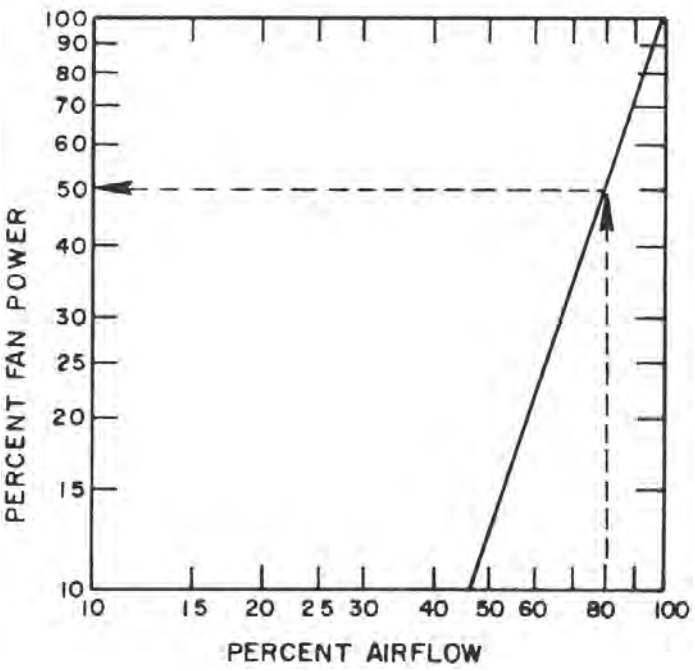
که در آن:

hp: توان موتور (اسب بخار)

Cfm: فوت مکعب بر دقیقه

ΔT : میانگین اختلاف دمایی

η : بازده الکتریکی اسمی



نمودار ۷-۱: کاهش توان فن (اسب بخار) طی کاهش سرعت

افزون بر مواردی که پیش‌ازاین مطرح شد، قطع جریان هوای تازه به فضا در مدت‌زمان عدم حضور افراد می‌تواند مصرف انرژی سیستم تهویه مطبوع را به میزان مناسبی کاهش دهد.

اکنون ممکن است این سؤال مطرح شود که انرژی موردنیاز برای رساندن هوای تازه‌ی واردشده به یک فضا به شرایط طرح داخل به چه میزانی است؟ در پاسخ می‌توان گفت که با داشتن دو خاصیت هوای طرح خارج (مثلاً رطوبت نسبی و دمای حباب خشک) و دو خاصیت هوای طرح داخل می‌توانیم موقعیت این نقاط را بر روی نمودار سایکرومتریک

مشخص کرده و با استفاده از رابطه‌ی ۷-۴ گرمای موردنیاز برای رساندن هوای تازه‌ی ورودی به شرایط طرح داخل را تعیین کنیم.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{ven}(h_i - h_o)$$ رابطه‌ی ۷-۴

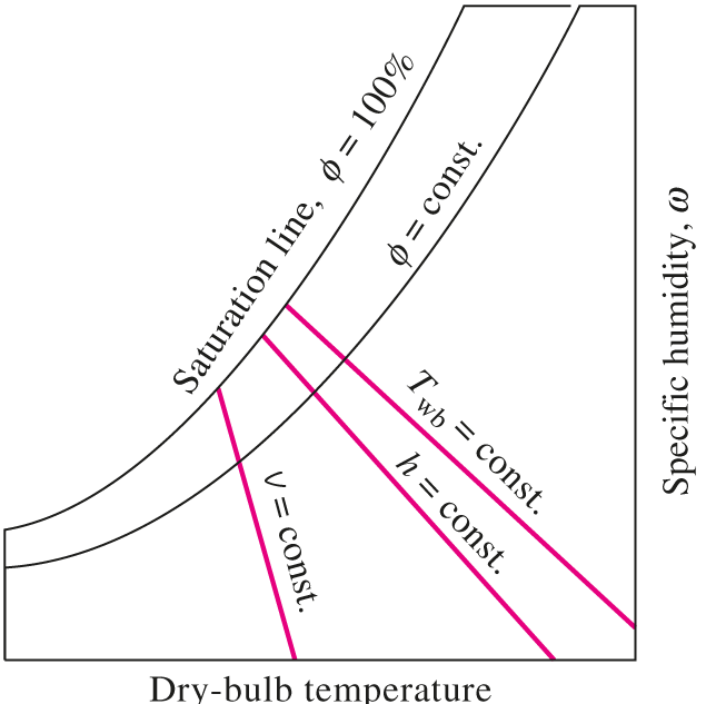
که:

$\dot{Q}$: نرخ تبادل حرارت موردنیاز برای رساندن هوای تازه‌ی ورودی به شرایط طرح داخل (زمستان: + و تابستان: -)

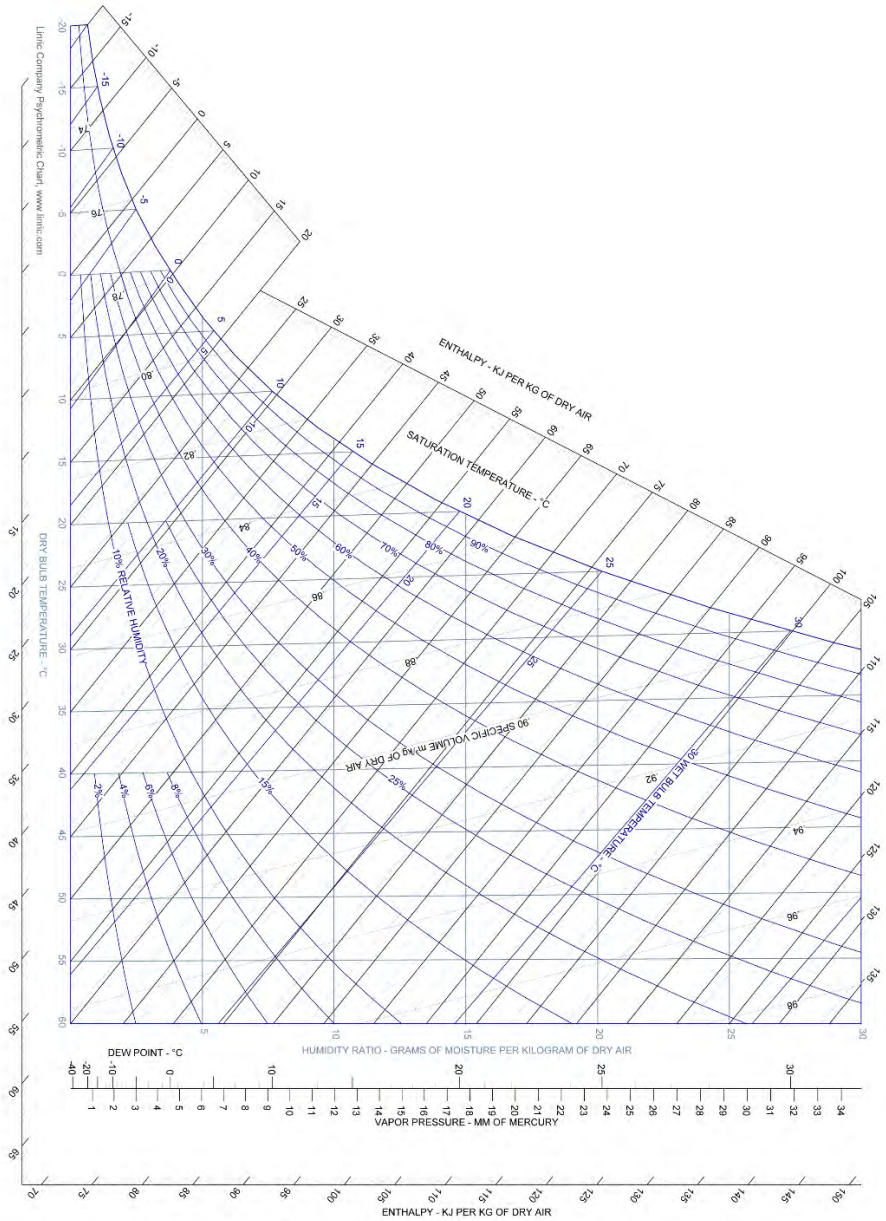
$\dot{m}_{ven}$: دبی هوای تازه‌ی ورودی

h_i: آنتالپی هوای داخل

h_o: آنتالپی هوای بیرون

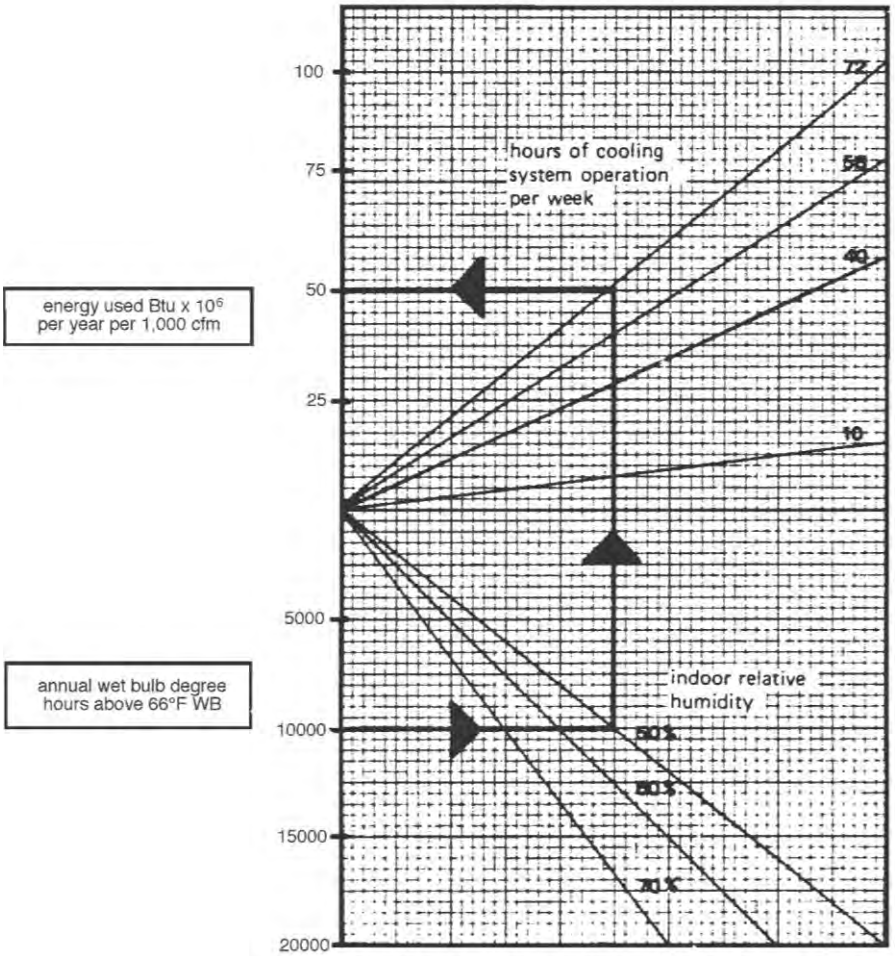


تصویر ۷- ۳: طرح کلی نمودار سایکرومتریک



تصویر ۷- ٤: نمونه‌ای از یک نمودار سایکرومتریک مورداستفاده در کاربردهای تهویه مطبوع

استفاده از رابطه‌ی ۷-۴ مناسب‌ترین راه محاسبه‌ی حرارت مبادله شده طی رساندن هوای تازه‌ی ورودی به شرایط طرح داخل است. بااین‌حال نمودار زیر نیز به‌عنوان ابزاری ساده‌تر و درعین‌حال کم‌دقت‌تر قابل‌استفاده است.



نمودار ۷- ۲: انرژی مصرفی سالیانه برای رساندن هوای تازه‌ی ورودی به شرایط طرح داخل (سرمایش) [حجم هوای ورودی: ۱۰۰۰ cfm]

❖ **نمونه‌ی کاربردی ۷-۱:**

فرض کنید می‌خواهید یک انبار صنعتی را ممیزی کنید. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که هوای تازه‌ی ورودی دارای نرخ تعویض ۴ACH است، درحالی‌که امکان کاهش حجم هوای ورودی به ۲ACH وجود دارد. اکنون با توجه به داده‌های زیر، صرفه‌جویی حاصل از اجرای راهکار مذکور را ارزیابی کنید. (مدت‌زمان فصل سرما ۲۴۰ روز و ۴۲۰۰degree-days)

ابعاد فضا: $۲۰H \times ۱۵۰w \times ۱۰۰l\,(ft)$

دمای داخل: $۷۰°f$

اسب بخار موتور: ۲۰hp

بازده الکتریکی اسمی: ۰/۸

ساعات فعالیت: ۵۷۶۰ ساعت

بازدهی بویلر: ۰/۶۵

نرخ الکتریسیته: $\frac{٤\$}{۱۰^{٦}Btu} = \frac{۵¢}{kw}$

پاسخ:

حجم انبار = $۲۰\,ft \times ۱۵۰\,ft \times ۱۰۰\,ft = ۳۰۰۰۰۰\,ft^{۳}$

نرخ موجود ورود هوای تازه = $٤ \times ۳۰۰۰۰۰ \times \frac{۱}{٦۰} = ۲۰۰۰۰cfm$

نرخ ورود هوای تازه (در صورت اجرای راهکار) = $۲ \times ۳۰۰۰۰۰ \times \frac{۱}{٦۰} = ۱۰۰۰۰cfm$

صرفه‌جویی حاصل از کاهش اسب بخار موتور:

رابطه‌ی ۷-۱ اسب بخار جدید موتور = $۲۰hp \times \left(\frac{۲۰۰۰۰}{۱۰۰۰۰}\right)^{۳} = ۲/۵hp$

رابطه‌ی ۷-۳ صرفه‌جویی حاصل = $(۲۰ - ۲/۵) \times \frac{۰/۷٤٦}{۰/۸} \times ۵\frac{¢}{kw} \times ۵۷٦۰ = ٤٦۹۹/۸۰\$$

صرفه‌جویی حاصل از کاهش بار حرارتی:

$\Delta T = ٤٢٠٠ \deg ree - days / ٢٤٠ days = ١٧/٥^\circ F$ متوسط

متوسط دمای بیرون $= ٦٥^\circ F - ١٧/٥^\circ F = ٤٧/٥^\circ F$

انرژی صرفه‌جویی شده $Q = ١/٠٨ \times (٢٠٠٠٠ - ١٠٠٠٠) \times ١٧/٥ = ١٨٩٠٠٠ Btuh$

صرفه‌جویی حاصل $١٨٩٠٠٠ Btuh \times \frac{٤\$}{١٠^{٦} Btu} \times \frac{١}{٠/٦٥} \times ٥٧٦٠ h = ٦٦٩٨\$$

کاهش هزینه‌ی سالانه در صورت اجرای راه‌کار کاهش مصرف $= ٦٦٩٨\$ + ٤٦٩٩\$ = ١١٣٩٧\$$

❖ نمونه‌ی کاربردی ۷-۲:

صرفه‌جویی حاصل از اجرای راهکار ارائه‌شده در مثال قبل را برای فصل گرم سال مورد ارزیابی قرار دهید.

رطوبت نسبی: ٪۵۰

ساعات به‌کارگیری سیستم سرمایشی در طول هفته: ۴۰ ساعت

نرخ الکتریسیته: $٥ \frac{¢}{kw}$

نرخ مصرف انرژی سیستم تبرید: $٠/٨ \frac{KW}{Ton - Hr}$

پاسخ: با استفاده از نمودار ۷-۲ داریم:

مصرف سالانه‌ی انرژی برای هوای تازه‌ی ورودی با نرخ ۱۰۰۰cfm $٢٢/٥ \times ١٠^{٦} Btu$

صرفه‌جویی سالانه در $= (٢٠٠٠٠ - ١٠٠٠٠) cfm \times \frac{٢٢/٥ \times ١٠^{٦} Btu}{١٠٠٠ cfm} = ٢٢٥ \times ١٠^{٦} \, Btu/Yr$

صورت اجرای راهکار

کاهش هزینه سالیانه $= \frac{٢٢٥ \times ١٠^{٦} \, Btu/Yr}{١٢٠٠ Btu/Ton \pm Hr} \times \frac{٠/٨ KW}{Ton \pm Hr} \times ٥ \frac{¢}{kw} = ٧٥٠ \$/Yr$

۷-۳) وارسی دمای فضاها

هدف اصلی استفاده از سیستم‌های تهویه مطبوع، تأمین شرایط آسایش انسان و یا شرایط موردنیاز برای حفظ یک محصول خاص است. به‌این‌ترتیب در استانداردهای گوناگون شرایطی برای تأمین آسایش ساکنین ارائه می‌شود که از آن با عنوان «شرایط توصیه‌شده‌ی طرح داخل» یاد می‌کنیم.

جدول ۷ -۲: شرایط توصیه‌شده‌ی طرح داخل (استاندارد کریر)

TYPE OF APPLICATION	SUMMER					WINTER				
	Deluxe		Commercial Practice			With Humidification			Without Humidification	
	Dry-Bulb (°C)	Rel. Hum (٪)	Dry-Bulb (°C)	Rel. Hum (٪)	Temp. Swing (°C)	Dry-Bulb (°C)	Rel. Hum (٪)	Temp. Swing (°C)	Dry-Bulb (°C)	Temp. Swing (°C)
GENERAL COMFORT Apt., House, Hotel, Office, Hospital, School, etc.	23.3 – 24.4	50 – 45	25 – 26.1	50 – 45	1	23.3 – 24.4	35 – 30	-1.5 To -2	23.9 – 25	-2
RETAIL SHOPS (short term occupancy) Bank, Barber or Beauty shop, Dept. Store, Supermarket, etc.	24.4 – 25.6	50 – 45	25.6 – 26.7	50 – 45	1	22.2 – 23.3	35 – 30	-1.5 to -2	22.8 – 23.9	-2
LOW SENSIBLE HEAT FACTOR APPLICATIONS (High Latent Load) Auditorium, Church, Bar, Kitchen, etc.	24.4 – 25.6	55 – 50	25.6 – 26.7	65 – 50	0.5	22.2 – 23.3	40 – 35	-1 to -1.5	23.3 – 24.4	-2
FACTORY COMFORT Assembly Areas, Machining Rooms, etc.	25 – 26.7	55 – 45	26.7 – 29.4	60 – 50	1.5	20 – 22.2	35 – 30	-2 To -3	21.1 – 23.3	-3

شرایط آسایش توصیه‌شده، شرایطی است که در آن ۸۰ درصد افراد ساکن یا دارای فعالیت کم، احساس رضایت می‌کنند. بررسی میزان تطابق دما و رطوبت محیط بر شرایط توصیه‌شده بسیار حائز اهمیت است. چراکه اگر شرایط موجود بدتر از شرایط استاندارد باشد، ساکنین احساس عدم راحتی خواهند کرد. در طرف مقابل چنانچه شرایط حاکم، بالاتر از شرایط توصیه‌شده باشد، ثمراتی از قبیل عادت به وضعیت جدید در صورت تداوم، در برخی موارد ناراحتی ساکنین و افزایش مصرف انرژی را در پی خواهد داشت.

به‌منظور ارزیابی وضعیت دمای هوا در فضاهای مختلف یک ساختمان مراحل زیر را پیشنهاد می‌کنیم:

- بررسی دمای تنظیم ترموستات‌ها و سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی (در تمامی فضاها و زون‌ها و در فصول مختلف سال)
- مقایسه‌ی دمای فضاهای موردبررسی با مقادیر توصیه‌شده در جدول ۷-۲
- تعیین فضاهایی که غالباً خالی از حضور افراد است.
- بازرسی و اطمینان از صحت کارکرد ترموستات‌ها و سیستم‌های کنترلی.
- خاموش کردن سیستم‌های سرمایشی در ساعات عدم حضور افراد.
- بررسی امکان باز تنظیم و تغییر دمای فضاها.
- باز تنظیم مناسب دمای فضاها در صورت امکان.

برای ممیزی دمای فضاها و تعیین دمای باز تنظیم نکات زیر را در ادامه‌ی مراحل مذکور ارائه می‌کنیم.

- گرچه باز تنظیم دمای فضاها و ایجاد شرایطی جدید که در زمستان قدری سردتر و در تابستان قدری گرم‌تر باشد می‌تواند مصرف انرژی را به میزان مناسبی کاهش دهد، اما باید پیوسته توجه داشت که این باز تنظیم منجر به تقابل با شرایط آسایش ساکنین و کیفیت نگهداری محصولات نشود.
- در انبارها و فضاهایی که غالباً خالی از حضور افراد است، به امکان برفک زنی کویل‌های اواپراتور توجه شود.

- در باز تنظیم زمستانی باید همواره توجه داشت که دمای هوای راه‌پله‌ها به کمتر از $۱۲^{\circ}C$ نرسد، چراکه کمتر شدن از این حد، خود سبب شدت گرفتن پدیده‌ی دودکشی شده که با اتلاف انرژی همراه است. (فصل ۴)
- در فضاهایی که افراد غالباً با لباس‌های نسبتاً گرم حضور دارند؛ نظیر فروشگاه‌ها، لابی‌ها، اتاق‌های انتظار، سالن‌های نمایش و ... می‌توان دمای هوا را در فصل زمستان کاهش داد.

۷-۳-۱) صرفه‌جویی حاصل از باز تنظیم دمای فضاها

اکنون این بحث مطرح می‌شود که سهم تغییر دمای تنظیم‌شده‌ی فضاها در کاهش مصرف انرژی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی به چه میزانی است. برای رسیدن به این هدف می‌توان از روابط کلاسیک موجود بهره برد. البته در این بخش قصد بر آن است که با معرفی دو ابزار به تخمین صرفه‌جویی حاصل از تغییر دمای فضاها بپردازیم.

- نمودار ۷-۳

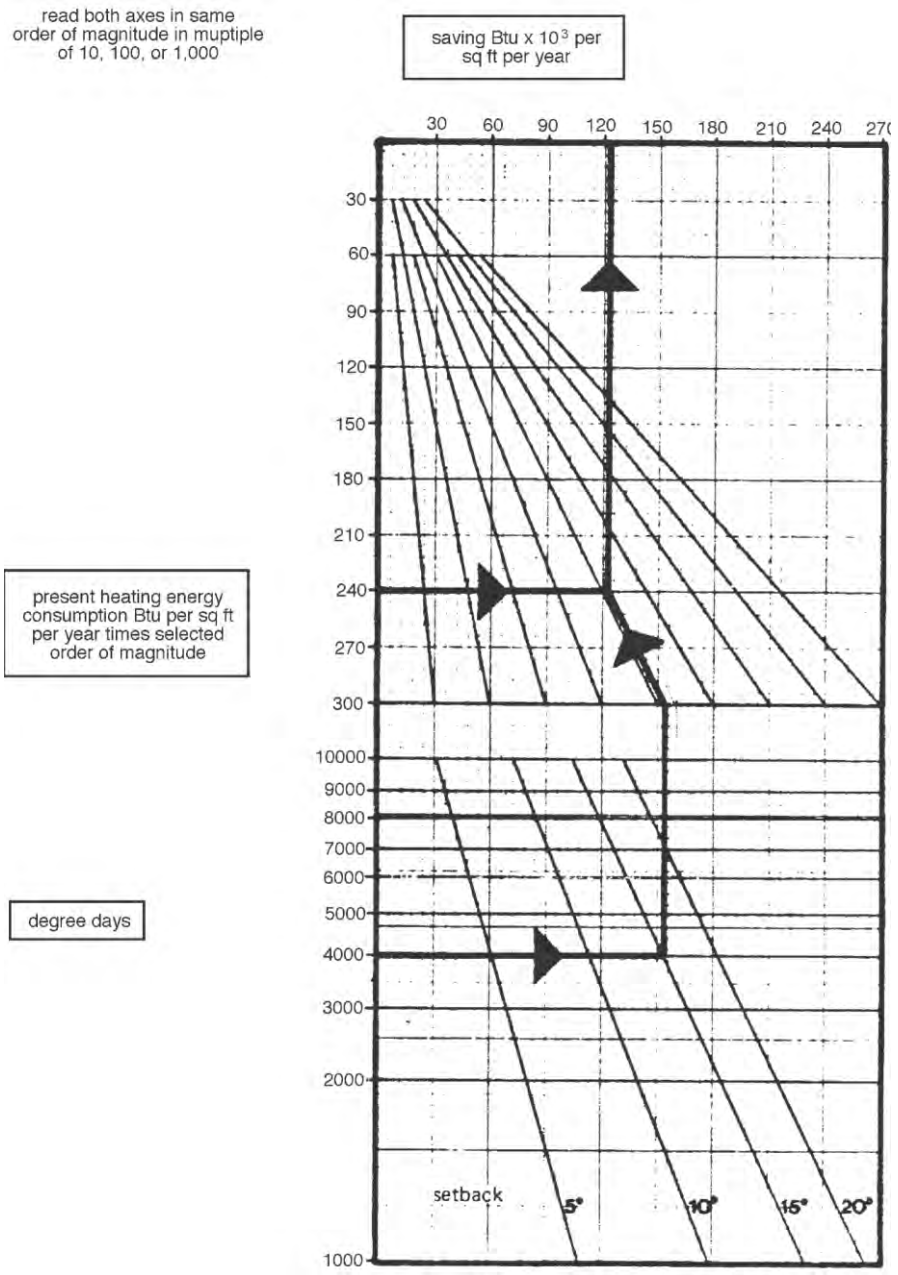
۱- تعیین مقادیر روز–درجه در منطقه‌ی موردبررسی

۲- محاسبه‌ی انرژی موردنیاز برای گرمایش فضا $(Btu\ /\ ft^{۲}\ /\ year)$

۳- رسم خط افقی از نقطه‌ی روز درجه تا دمای باز تنظیم فضا، امتداد عمودی این خط تا رسیدن به محور افقی بخش فوقانی و ادامه‌ی مسیر به‌صورت موازی با خطوط شیب‌دار (مطابق با شکل)

۴- رسم خط افقی از نقطه‌ی مصرف سالانه‌ی انرژی و ادامه‌ی آن تا نقطه‌ای که خط رسم شده در مرحله‌ی ۳ را قطع کند.

۵- رسم خطی عمودی از نقطه‌ی تقاطع ایجادشده در مرحله‌ی قبل تا فوقانی‌ترین محور افقی (مقدار انرژی صرفه‌جویی شده‌ی سالیانه بر هر فوت مربع)



نمودار ۷- ۳: صرفه‌جویی حاصل از باز تنظیم دما در سیستم‌های گرمایشی

- جدول ۷-۳

۱- از یک درجه بالاتر از دمای تنظیم محیط شروع می‌کنیم.

۲- مرحله‌به‌مرحله تا دمای باز تنظیم پیش می‌رویم و مقادیر صرفه‌جویی حاصل از هر درجه افزایش را با توجه به میزان رطوبت نسبی محیط یادداشت می‌کنیم.

۳- مجموع صرفه‌جویی‌های حاصل از افزایش دما را محاسبه می‌کنیم.

۴- حاصل جمع به‌دست‌آمده برای حجم هوادهی ۱۰۰۰cfm است، بنابراین لازم است که مقدار محاسبه‌شده با توجه به حجم هوادهی موجود اصلاح نشود.

جدول ۷ -۳: صرفه‌جویی حاصل از باز تنظیم دما در سیستم‌های سرمایشی

Relative Humidity	**50٪**	**60٪**	**70٪**
Dry Bulb Temperature	Btu /Hour /100 cfm		
72 °F	0	0	0
73 °F	2700	2433	3000
74 °F	2675	2400	3257
75 °F	3000	2572	3000
76 °F	3000	2572	3000
77 °F	3000	2572	3429
78 °F	3000	2572	2429

❖ نمونه‌ی کاربردی ۷-۳:

نتایج یک ممیزی انرژی نشان می‌دهد که در ساعات عدم حضور افراد در یک ساختمان، می‌توان دمای هوا را به میزان $۲۰^{\circ}F$ کاهش داد. با توجه به داده‌های زیر صرفه‌جویی حاصل از این راهکار را تخمین بزنید.

روز درجه‌ی گرمایشی : ۶۰۰۰

مصرف انرژی در بخش گرمایشی : $۶۰۰۰ Btu / Ft^{۲} / year$

مساحت سطح: $۱۰۰۰۰۰Ft^۲$

هزینه‌ی انرژی: $٤\$ / ۱۰^٦ Btu$

بازدهی بویلر: ۰/۶۵

پاسخ: با توجه به نمودار ۷-۳ داریم:

انرژی صرفه‌جویی شده = $۳٦۰۰۰ Btu / Ft^۲ / year$

هزینه‌ی صرفه‌جویی شده = $۳٦۰۰۰ \times \frac{٤\$}{۱۰^٦} \times ۱۰۰۰۰۰ \times \frac{۱۰۰}{٦٥} = ۲۲۱٥۳\$$

❖ **نمونه‌ی کاربردی ۷-۴:**

دمای حباب خشک طرح داخل تابستانی یک فضا $۷۳°F$ گزارش‌شده است. بررسی‌های انجام‌شده حاکی از آن است که امکان افزایش دمای هوا به $۷۸°F$ وجود دارد. در مورد صرفه‌جویی حاصل از اجرای راهکار بحث کنید.

پاسخ: با توجه به جدول ۷-۳ صرفه‌جویی حاصل از افزایش دمای فضا از $۷۳°F$ به $۷۸°F$ را تعیین می‌کنیم.

حجم هوای ورودی: ۱۵۰۰۰cfm

رطوبت نسبی: ٪۵۰

ساعات بهره‌برداری در هفته: ۴۰ ساعت

فصول گرم سال: ۲۰ هفته در سال

۲۶۵۶	۷۴
۳۰۰۰	۷۵
۳۰۰۰	۷۶
۳۰۰۰	۷۷
۳۰۰۰	۷۸
۱۴۶۵۶ Btu /Hour /1000cfm	جمع کل

$$\frac{۱٤٦٥٦Btu}{Hour}/\frac{۱۰۰۰cfm}{}\times\frac{۱۵۰۰۰cfm}{}\times\frac{٤\$}{۱۰^{٦}Btu}/\frac{۰}{٦۵}\times\frac{٤۰Hours}{week}\times\frac{۲۰weeks}{year}=\frac{۱۰۸۲\$}{year}$$

صرفه‌جویی حاصل

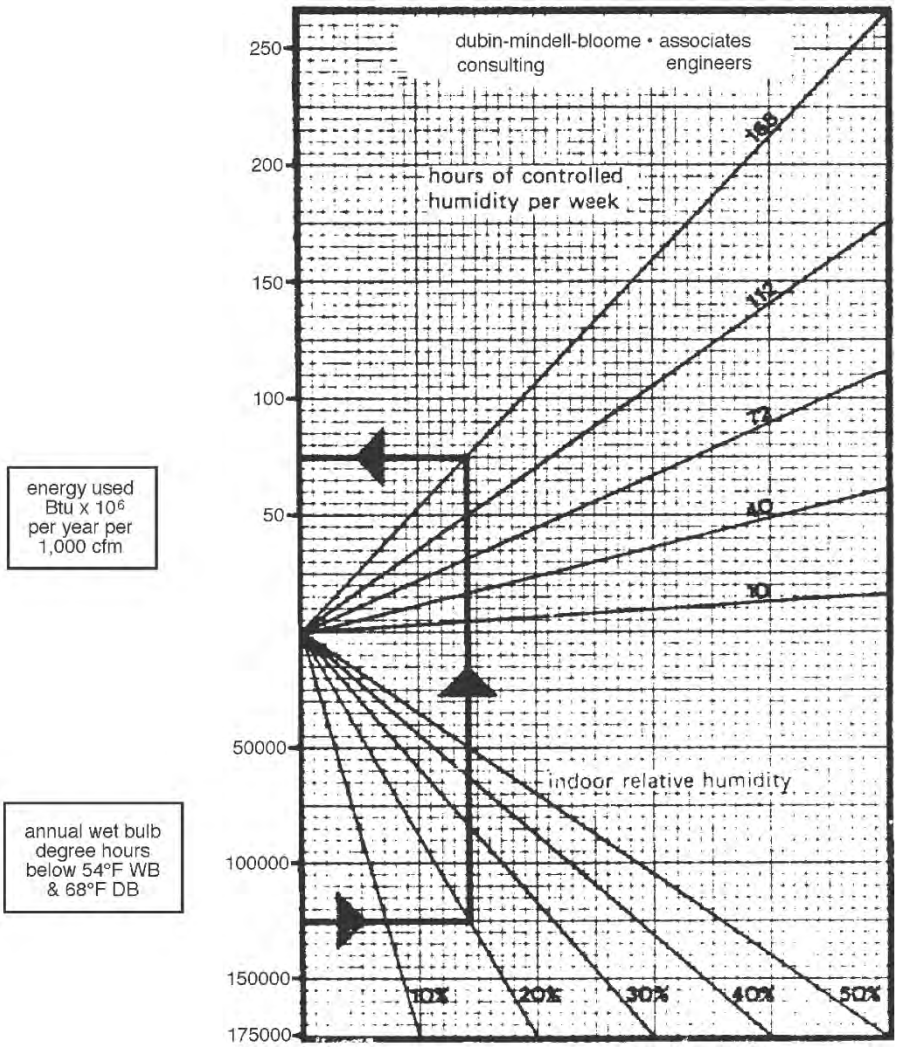
۴-۷) وارسی میزان رطوبت فضاها

پیش‌ازاین به تأثیر دمای محیط بر سطح آسایش ساکنین اشاره شد. اکنون باید گفت که رطوبت هوا فاکتور اساسی دیگری است که در کنار عامل دما بر میزان آسایش محیطی و سطح سلامت ساکنین تأثیرگذار است. به‌عنوان نمونه‌ای از تأثیرات رطوبت هوا می‌توان به نقش آن بر میزان آلرژن‌های[1] موجود در فضا، ایجاد رخوت، سستی و سردرد در افراد، پتانسیل رشد قارچ و باکتری، وضعیت تنفس ساکنین، پوسته‌شدن سطوح چوبی و ... اشاره کرد.

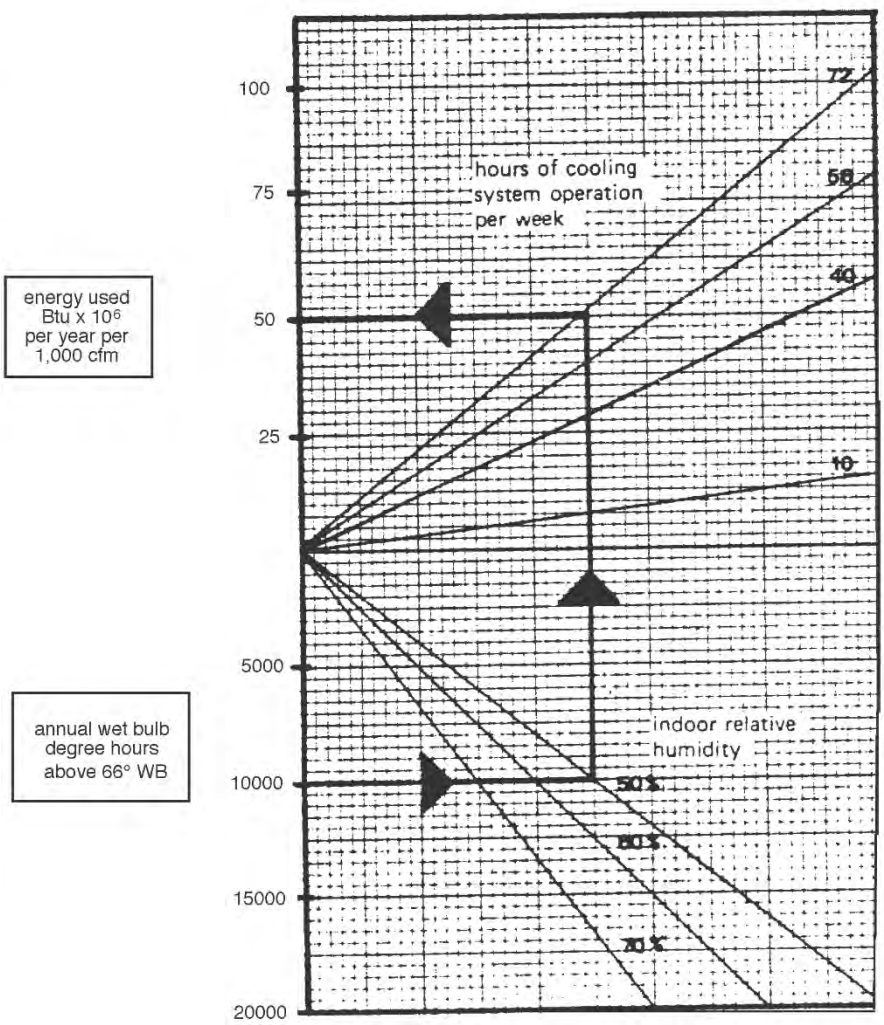
توصیه می‌شود در فضاهایی که افراد برای مدت‌زمانی بیش از چهار ساعت حضور دارند، رطوبت نسبی محیط به زیر ۲۰ درصد نرسد، چراکه تأثیرات نامناسبی بر ساکنین خواهد داشت. البته این ثمرات منفی می‌تواند در غالب موارد گریبان گیر دکوراسیون و تجهیزات داخلی فضا نیز بشود. مقادیر مناسب رطوبت نسبی برای کاربری‌های گوناگون و در فصول مختلف سال پیش‌ازاین در جدول ۷-۲ ارائه شد.

گرچه تأمین رطوبت توصیه‌شده در فضاهای ساختمان از اهمیت زیادی برخوردار است، بررسی و نظارت بر کیفیت فرآیند رطوبت زنی و رطوبت‌گیری نیز به همان نسبت اهمیت دارد؛ چراکه مقدار انرژی قابل‌توجهی در این فرآیندها به مصرف می‌رسد. صرفاً به‌عنوان یک نمونه اشاره می‌کنیم که برای تزریق هر کیلوگرم بخارآب به جریان هوای ورودی به حدود ۲۰۰۰kJ انرژی نیاز داریم.

[1] *Allergen*



نمودار ۷- ٤: مصرف سالانه‌ی انرژی برای رساندن هوای تازه‌ی ورودی به شرایط رطوبت طرح داخل زمستانی (شرایط پایه‌ی طرح داخل، و حجم هوادهی ۱۰۰۰cfm)



نمودار ۷- ٥: مصرف سالانه‌ی انرژی برای رساندن هوای تازه‌ی ورودی به شرایط رطوبت طرح داخل تابستانی (حجم هوادهی ۱۰۰۰cfm)

❖ **نمونه‌ی کاربردی ۷-۵:**

بررسی وضعیت رطوبت هوا در یک فروشگاه نشانگر آن است که می‌توان رطوبت نسبی محیط را از ۵۰٪ به ۳۰٪ کاهش داد. با بهره‌گیری از داده‌های زیر، صرفه‌جویی حاصل از اجرای راهکار فوق را ارزیابی کنید.

حجم هوای تازه‌ی ورودی + هوای نفوذ یافته	۱۰۰۰cfm
هزینه‌ی سوخت	$٤\$ / ۱۰^{٦} Btu$
بازدهی بویلر	۰/۶۵
بهره‌برداری ساختمان	۱۱۲ hours /week
روز- ساعت حباب‌تر سالیانه	۶۵۰۰۰
(پایین‌تر از $٦٨^{\circ}F, ٥٤^{\circ}F\ WB$)	

پاسخ: با مراجعه به نمودار ۷-۴ داریم:

(برای هر ۱۰۰۰Cfm) $٦٥ \times ۱۰^{٦}\ Btu / Yr$ = انرژی مصرفی در RH=۵۰٪

(برای هر ۱۰۰۰cfm) $٣٥ \times ۱۰^{٦}\ Btu / Yr$ = انرژی مصرفی در RH=۳۰٪

$$(٦٥ - ٣٥) \times ۱۰^{٦} \times ۱۰ = ٣٠٠ \times ۱۰^{٦}\ Btu / Yr$$ = انرژی صرفه‌جویی شده

$$٣٠٠ \times ۱۰^{٦} \times \frac{٤\$}{۱۰^{٦}} \times \frac{۱۰۰}{٦٥} = ١٨٤٦\$$$ = مبلغ صرفه‌جویی شده

❖ **نمونه‌ی کاربردی ۷-۶:**

ممیزی انرژی یک ساختمان اداری نشان می‌دهد که می‌توانیم رطوبت نسبی هوای محیط در فصل تابستان را از ۵۰٪ به ۷۰٪ افزایش دهیم. با توجه به داده‌های زیر بررسی کنید که چنانچه اقدام مذکور صورت پذیرد، چه میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌های ساختمانی حاصل خواهد شد.

حجم هوای تازه‌ی ورودی	۲۰۰۰۰cfm
بهره‌برداری ساختمان	٤٠$Hours/week$
مصرف انرژی سیستم تبرید	۰/۸$kw/Ton\ Hour$
هزینه‌ی انرژی الکتریکی	٥¢$/kwh$
روز- ساعت حباب تر سالیانه (بالاتر از $66°F$)	۸۰۰۰

پاسخ: با توجه به نمودار ۷-۵ داریم:

(برای هر ۱۰۰۰cfm) انرژی مصرفی در RH=۵۰٪ = $۲۲/٥\times۱۰^{٦}\ Btu/Yr$

(برای هر ۱۰۰۰cfm) انرژی مصرفی در RH=۷۰٪ = $۱٦\times۱۰^{٦}\ Btu/Yr$

انرژی صرفه‌جویی شده = $(۲۲/٥-۱٦)\times۱۰^{٦}\times۲۰=۱۳۰\times۱۰^{٦}\ Btu/Yr$

$$\frac{۱۳۰\times۱۰^{٦}}{۱۲۰۰۰\ Btu/Ton\pm Hr}\times۰/۸kw/Ton\pm Hr\times٥¢/kwh=٤۳۳\$/Yr$$

۷-۵) بازیابی انرژی

بررسی سیستم‌های تأسیساتی غالباً نشانگر آن است که مقدار انرژی قابل‌توجهی در بخش‌های گوناگون و به شکل‌هایی متفاوت هدر داده می‌شود. سیستم‌های بازیابی انرژی ابزارهایی هستند که باهدف کاهش میزان تلفات، بهبود راندمان کلی و در پی آن کاهش مصرف انرژی در صنایع و ساختمان‌ها به کار می‌روند. چند نمونه از منابع اتلاف انرژی و بازیابی‌های مربوط به آن‌ها در بخش صنعت در جدول ۷-۴ ارائه‌شده است.

جدول ۷ -٤: الگوهای صنعتی بازیابی انرژی

منبع اتلاف گرما	درجه حرارت پایین کمتر از ۲۰۰ °C	درجه حرارت متوسط ۲۰۰– ٦٥٠°C	درجه حرارت بالا بالاتر از ۶۵۰°C
نمونه‌های موجود در صنعت	✓ خروجی از خنک‌کن کمپرسورها ✓ مبدل‌های تقطیر مایعات و بخارگاز ✓ کوره‌های تنش‌گیری ✓ دودکش‌های دیگ بخار	✓ خروجی از دیگ‌های بخار ✓ دودکش واحدهای نیروگاه گازی ✓ موتورهای درون‌سوز (دیزل) ✓ کارخانه‌های سیمان ✓ خشک‌کن‌ها ✓ فرآیندهای پتروشیمیایی	✓ کوره‌های ذوب فلزات (کرم، نیکل، روی، فولاد و ...) ✓ کوره‌های پیش‌گرمایش فولاد ✓ رکتیفایرهای تولید هیدروژن ✓ زباله‌سوزها
موارد استفاده طی بازیابی انرژی	✓ تأمین آبگرم مصرفی ✓ گرمایش و سرمایش واحدهای مسکونی ✓ گرمایش و سرمایش واحدهای صنعتی	✓ تولید بخار موردنیاز فرآیند ✓ تولید برق و بخار در سیستم CHP ✓ استفاده‌ی مستقیم از حرارت موجود در خشک‌کن‌ها و ... ✓ استفاده‌ی مجدد از گازهای داغ [بارزترین نمونه نیروگاه سیکل ترکیبی است.]	✓ استفاده‌ی مستقیم در فرآیندهای خشک‌کن ✓ تولید برق و بخار در سیستم CHP ✓ پیش‌گرم‌کن هوای احتراق ✓ استفاده‌ی مجدد از گازهای داغ

۷-۵-۱) عوامل مؤثر در انتخاب یک سیستم بازیابی انرژی

به‌منظور انتخاب صحیح و اثربخش یک سیستم بازیابی انرژی، توجه به موارد زیر سودمند است.

- درجه‌ی حرارت و دبی سیال اتلافی.
- ترکیب شیمیایی هر دو سیال اتلافی و ثانویه (البته این موضوع بیش‌تر در کاربردهای صنعتی حائز اهمیت است).
- کم‌ترین درجه حرارت ممکن که می‌توان سیال را سرد نمود (دمای نقطه‌ی شبنم)

- درجه‌ی حرارت سیال ثانویه
- امکان نصب و کاربری سیستم موردنظر
- بررسی توجیه‌پذیری اقتصادی

۷-۵-۲) سیستم‌های بازیابی انرژی

پیش‌ازاین به جایگاه و اهمیت راهبرد بازیابی انرژی اشاره شد. در این بخش به معرفی برخی سیستم‌های بازیابی متداول که می‌توانند در تأسیسات ساختمانی به کار روند، پرداخته خواهد شد.

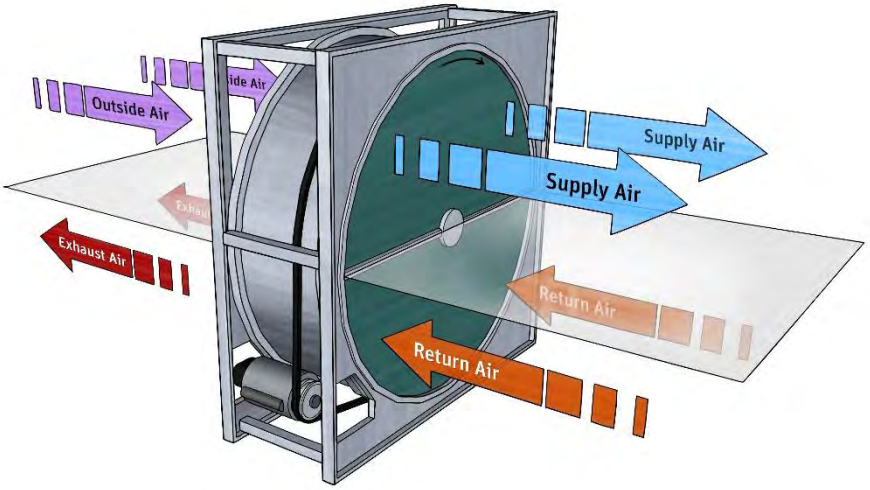
به‌طورکلی تبادل انرژی میان منبع اتلاف و گیرنده‌ی انرژی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود. در شرایط همانند بودن ترکیب شیمیایی دو سیال و وجود امکان اختلاط، چنانچه دو سیال سرد و گرم به‌طور مستقیم در تماس با یکدیگر قرار گیرند، بازیابی مستقیم و در شرایطی که از یک وسیله جهت تبادل انرژی استفاده شود، روش بازیابی غیرمستقیم نامیده می‌شود.

۷-۵-۲-۱) چرخ حرارتی[1]

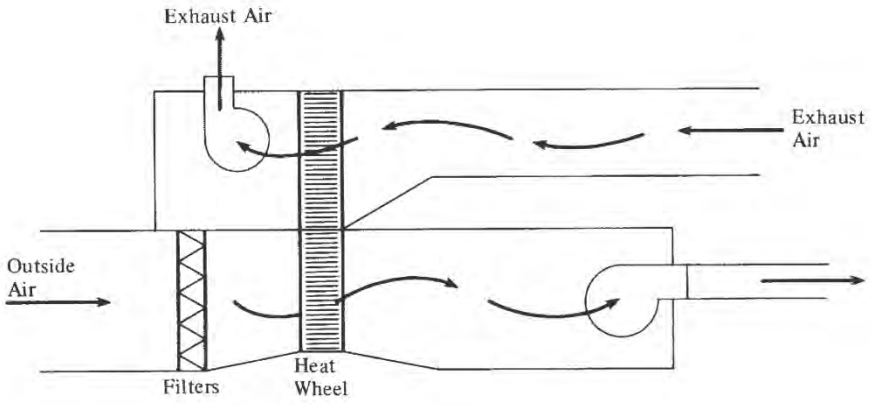
در بازار امروز دو نوع چرخ حرارتی موجود است. یکی «مبدل آنتالپی» که قادر است توأماً گرمای نهان و گرمای محسوس را بازیابی کند. دیگری «مبدل گرمای محسوس» که تنها گرمای محسوس را بازیابی می‌کند. برای هر دو نوع چرخ حرارتی لازم است کانال‌های هوای اگزاست و هوای رفت در مجاورت یکدیگر باشند. مبدل آنتالپی در شبکه‌ی کانال نصب می‌شود. دستگاه به‌آرامی بین جریان‌های هوای اگزاست و رفت دوران می‌کند. در زمستان گرما و رطوبت را از هوای اگزاست گرفته و توسط آن هوای سرد ورودی را پیش گرم می‌کند. در تابستان برعکس سرما و خشکی هوای اگزاست به‌واسطه‌ی این دستگاه موجب پیش سرمایش هوای ورودی به ساختمان می‌شود. مبدل گرمای محسوس نیز طرز کاری مشابه مبدل آنتالپی دارد، جز آن‌که فقط گرمای محسوس هوا را بازیابی می‌کند و ازاین‌رو برای سیستم‌هایی که در آن‌ها دمای هوای اگزاست بالا و رطوبت آن پایین است کاربرد دارد.

---

[1] *Heat Wheel*



(الف)



(ب)

تصویر ۷- ۵: الف و ب- چرخ حرارتی

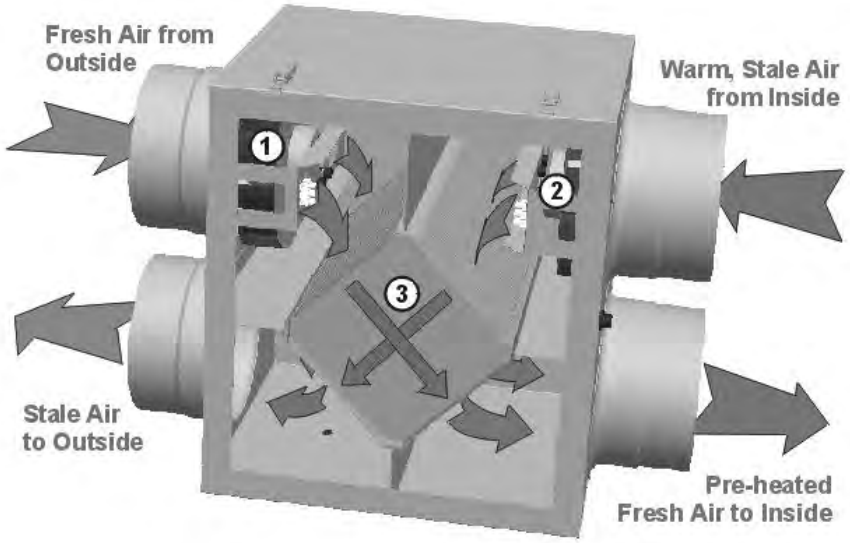
۷-۵-۲-۲) مبدل‌های حرارتی هوا به هوا[1]

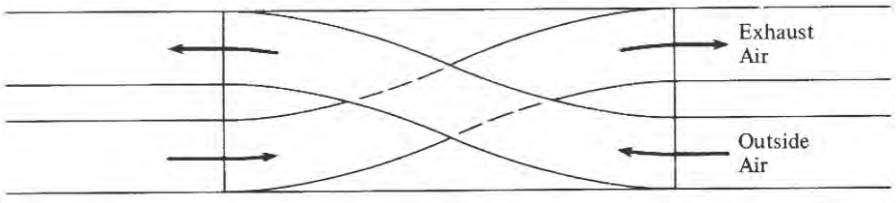
مبدل حرارتی هوا به هوا وسیله‌ای است برای تبادل گرما میان جریان‌های هوای اگزاست و هوای خارج ورودی به ساختمان، در این فرآیند جریان‌ها در خلاف جهت یکدیگرند. این دستگاه هیچ قطعه‌ی متحرکی نداشته و غالباً نیاز به تعمیر و نگهداری خاصی ندارد، مگر در

[1] *Air-to-air Heat Exchanger*

مواردی که هوای اگزاست تا زیر نقطه‌ی شبنم سرد شود که در این صورت لازم است برای تخلیه‌ی آب حاصل از تقطیر رطوبت هوا تمهیداتی صورت پذیرد. در مبدل‌های حرارتی هوا به هوا همانند چرخ‌های حرارتی لازم است کانال‌های هوای اگزاست و هوای رفت در جوار هم باشند تا انتقال حرارت میسر گردد. مزایای این سیستم عبارت است از:

- استحکام و دوام بالا
- هزینه‌ی نصب پایین
- کاهش بارهای گرمایشی و سرمایشی
- راندمان بیش از ۷۰٪
- عدم نیاز به نگهداری خاص

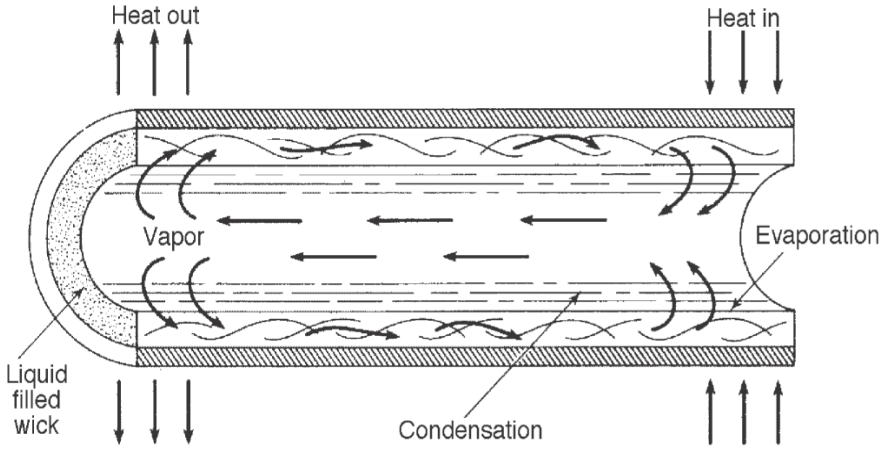




تصویر ۷- ٦: مبدل حرارتی هوا به هوا

۷-۵-۲-۳) لوله‌های حرارتی[1]

این مبدل حرارتی از لوله‌ای فلزی که طرفین آن کاملاً بسته و آب‌بندی‌شده است، تشکیل می‌شود. جدار داخلی آن دارای آستری از یک نوع ماده‌ی نفوذپذیر یا فتیله‌ی حاوی مقدار معینی مایع مبرد است. وقتی یک انتهای لوله گرم شود، مایع تبخیر شده و گرما را جذب می‌کند. بخار داغ سپس با حرکت به سمت انتهای دیگر لوله گرمای جذب‌شده را آزاد می‌کند. با نصب لوله‌های حرارتی در سیستم کانال به‌گونه‌ای که هوای اگزاست از یک سمت آن جریان یافته و هوای رفت در جهت مخالف، انتقال حرارت از یک جریان هوا به جریان دیگر صورت می‌گیرد. در زمستان جریان گرما از هوای اگزاست به هوای تازه‌ی جبرانی سبب پیش‌گرمایش هوای سرد ورودی می‌شود. در فصول گرم سال، عکس این فرآیند رخ می‌دهد.



تصویر ۷- ۷: لوله‌ی حرارتی

۷-۵-۲-۴) حلقه‌های بازیافت انرژی توسط کویل[2]

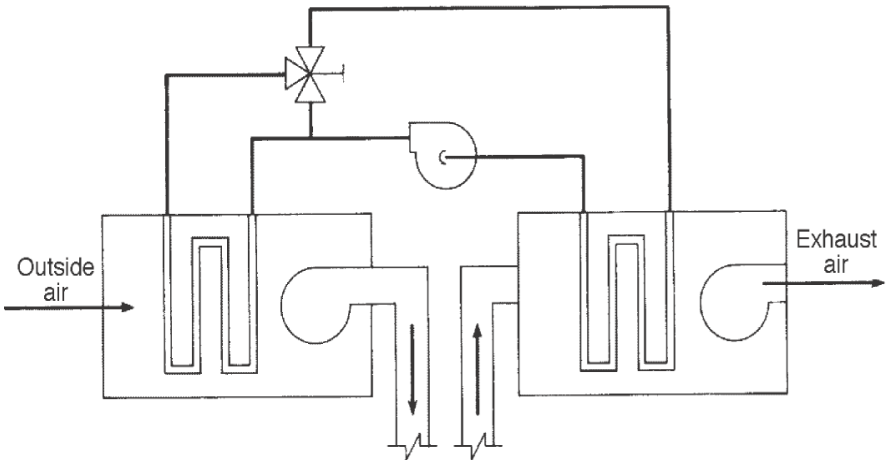
در این سیستم بازیابی دو مجموعه کویل مجزا در مسیر جریان‌های هوای تازه و هوای اگزاست قرار می‌گیرند. این کویل‌ها در یک حلقه‌ی بسته که در آن یک سیال واسط انتقال حرارت نظیر اتیلن گلیکول مایع پمپ می‌شود قرار دارند. در مکانیسم عملکرد این سیستم

---

[1] *Heat Pipe*

[2] *Coil Run -around Cycle*

بازیابی، انرژی از جریان هوای گرم‌تر به سیال واسط انتقال می‌یابد. سپس این سیال به بخش دیگر پمپ می‌شود تا حرارت دریافت شده را به جریان سردتر منتقل کند، کارایی و اثربخشی این سیستم‌ها غالباً در فصول سرد سال بیش‌تر و قابل‌توجه‌تر است.



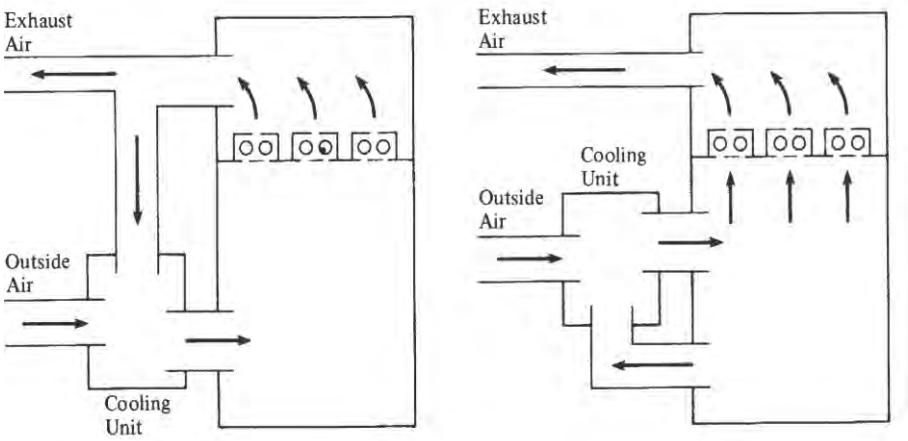
تصویر ۷- ۸: حلقه‌ی بازیابی انرژی توسط کویل

۷-۵-۲-۵) بازیابی گرما از یخچال‌ها

در تمامی سوپرمارکت‌ها و فروشگاه‌ها یخچال‌هایی برای نگهداری مواد غذایی وجود دارند که گرمای دفع شده از کندانسور آن‌ها می‌تواند منبع گرمای مناسبی برای کمک به سیستم گرمایش ساختمان باشد و به‌این‌ترتیب مصرف انرژی را به میزان نسبتاً مناسبی کاهش دهد. روش‌های بازیابی این گرما از یخچال‌ها عبارت‌اند از مبدل‌های تمام هوا، مبرد به آب (هوا) و تمام مبرد. در این میان، روش تمام هوا دارای پیچیدگی کمتری است. هوای برگشتی از فروشگاه از داخل اتاق محل نصب کمپرسورها عبور نموده، گرمای دفع شده در آنجا را جذب کرده و جهت پیش‌گرمایش هوای سرد ورودی به هواساز از آن استفاده می‌شود. در مواقعی که هوای خارج آن‌قدر گرم باشد که نیازی به پیش‌گرمایش احساس نشود، هوای برگشتی از فروشگاه اتاق کمپرسورها را میان‌بر کرده و مستقیماً به هواساز بازمی‌گردد.

۷-۵-۲-۶) سیستم‌های روشنایی و بازیابی انرژی

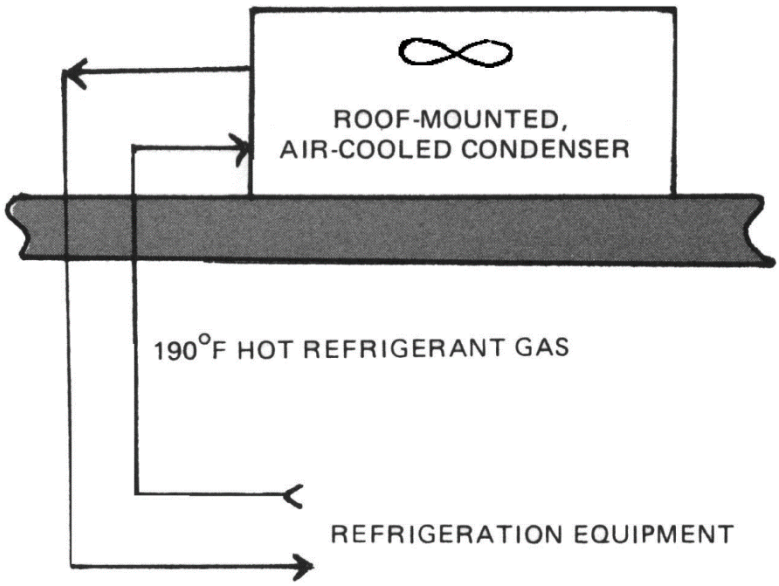
طی بهره‌برداری از سیستم‌های روشنایی حجم انرژی قابل‌توجهی در قالب حرارت وارد فضا می‌شود. این حرارت سبب افزایش بار سرمایشی در فصول گرم سال و کاهش بار حرارتی ساختمان در فصول سرد سال می‌گردد. در بازگردش مجدد هوا به فضای ساختمان حتماً باید به این تأثیر توجه شود. در تصویر ۷-۹ به دو نمونه از ساختارهای ممکن برای خروج هوای اگزاست و استفاده‌ی مجدد از هوای محیط در بازگردش اشاره شده است. ساختار ارائه‌شده در سمت راست تصویر برای فصول گرم سال مناسب‌تر است.



تصویر ۷- ۹: بازگردش هوای محیط با توجه به تأثیر سیستم‌های روشنایی

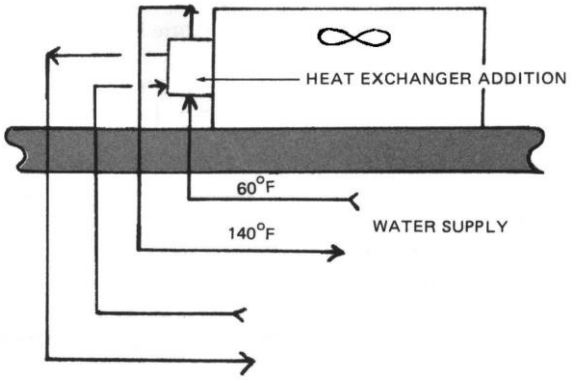
❖ **نمونه‌ی کاربردی ۷-۷:**

سیستمی سرمایشی را تصور کنید که مطابق تصویر ۷-۱۰ از یک کندانسور هوا خنک که بر روی پشت‌بام واقع‌شده بهره می‌برد. بخار مبرد با دمای $190^{\circ}F$ وارد کندانسور می‌شود تا حرارتش را از دست بدهد. برای کاهش حجم انرژی تلف‌شده در این بخش راهکاری ارائه کنید.



تصویر ۷- ۱۰: شرایط اولیه (نمونه‌ی کاربردی ۷-۷)

پاسخ: همان‌گونه که در تصویر ۷-۱۰ مشاهده می‌شود، بخار مبرد با دمای $۱۹۰°F(۸۷/۷°C)$ وارد کندانسور شده تا با تبادل انرژی قابل‌توجهی به شرایط ثانویه‌ی طراحی‌شده برسد. برای جلوگیری از اتلاف این حجم از انرژی، می‌توانیم مطابق تصویر ۷-۱۱ مبرد را پیش از این‌که وارد کندانسور شود از یک مبدل حرارتی عبور دهیم تا به‌این‌ترتیب آب مصرفی در کاربردهای گوناگون را پیش‌گرم کنیم.



تصویر ۷- ۱۱: طرح اصلاحی پیشنهادی (نمونه‌ی کاربردی ۷-۷)

۷-۶) چرخه‌ی صرفه گر[1]

پیش‌ازاین به سیستم‌های بازیابی انرژی و جایگاه آن‌ها در کاهش تلفات حرارتی اشاره کردیم. اکنون به مفهوم «چرخه‌ی صرفه گر» می‌پردازیم؛ که چنانچه به شیوه‌ای مناسب طراحی و اجرا شود، می‌تواند مصرف انرژی ساختمان را به میزان مناسبی کاهش دهد.

چرخه‌ی صرفه گر، چرخه‌ای است که در ماه‌هایی از سال که دمای هوای بیرون مناسب است، به استفاده از هوای خارج برای سرمایش ساختمان می‌پردازد تا به‌این‌ترتیب دستگاه‌های برودتی نظیر چیلرها خاموش شوند و یا این‌که از تمام ظرفیت آن‌ها استفاده نشود. چرخه‌های صرفه گر عموماً برای سیستم‌های تمام هوا به کار می‌روند. در ادامه به معرفی دو نمونه از متداول‌ترین و درعین‌حال کارآمدترین سیستم‌های صرفه گر می‌پردازیم.

۱- چرخه‌ی صرفه گر دما محور

در این سیستم‌ها، فرآیند کنترل و پاسخ بر مبنای دمای حباب خشک صورت می‌پذیرد. به‌کارگیری چنین سیستم‌هایی در مناطقی که مقادیر روز- ساعت حباب‌تر سالیانه کمتر از ۸۰۰۰ است توصیه می‌شود.

در طراحی سیستم‌های صرفه گر دمایی باید همواره دقت داشت که توجه هم‌زمان به چند پارامتر معین بر کیفیت عملکرد و کارایی مثبت این سیستم‌ها مؤثر است. برای این منظور چند راهکار زیر را ارائه می‌کنیم.

- در زمان‌هایی که دمای حباب خشک هوای خارج پایین‌تر از دمای تغذیه‌ی موردنیاز برای رساندن فضا به شرایط تعیین‌شده است، کمپرسور و پمپ‌های آب سرد خاموش شده و دمپر هوای برگشتی در وضعیتی قرار گیرد که دمای مخلوط، محیط را به شرایط مطلوب برساند.
- درصورتی‌که دمای حباب خشک هوای خارج بالاتر از دمای تغذیه‌ی موردنیاز برای رساندن فضا به شرایط تعیین‌شده و درعین‌حال پایین‌تر از دمای هوای برگشتی باشد، هوای محیط به‌صورت کامل اگزاست شده و از ۱۰۰٪ هوای تازه استفاده شود.
- چنانچه دمای حباب خشک هوای خارج بالاتر از دمای تغذیه‌ی موردنیاز و دمای هوای بازگشتی باشد، حجم هوای تازه‌ی ورودی به حداقل مقدار ممکن برسد.

---

[1] *ECONOMIZER CYCLE*

- در زمان‌هایی که از حجم هوای خارج بیشتری استفاده می‌شود، ممکن است رطوبت محیط به حدی پایین‌تر از حد مطلوب برسد، در این شرایط باید بررسی شود که با احتساب انرژی لازم برای افزایش رطوبت محیط، آیا بازهم توجیه‌پذیر است که از چرخه‌ی صرفه گر استفاده کنیم یا خیر.

۲- چرخه‌ی صرفه گر آنتالپی محور

در این نوع سیستم‌ها، فرآیند کنترل و پاسخ بر مبنای دماهای حباب خشک و حباب‌تر (درواقع بر مبنای آنتالپی) صورت می‌پذیرد. کاربرد چنین سیستم‌هایی در مناطقی که مقادیر روز ساعت حباب‌تر سالیانه بیشتر از ۸۰۰۰ است، توصیه می‌شود.

تنظیم‌ها و کنترل‌های این سیستم مانند بخش گذشته است، با این تفاوت که در این حالت معیار آنتالپی جایگزین دمای حباب خشک می‌شود.

۷-۷) تعمیر و نگهداری

بدیهی است که چنانچه فرد صاحب یک خودرو به‌صورت مداوم و در زمان‌های مناسب به سرویس بخش‌های گوناگون و اقداماتی نظیر تعویض روغن، فیلترها، تسمه‌ها و ... بپردازد، علاوه بر این‌که از کاهش راندمان موتور و افزایش مصرف سوخت جلوگیری کرده است، موجب ارتقا عمر مفید قطعات و سیستم‌های دیگر خودرو نیز خواهد شد. چنین قاعده‌ای برای تمامی سامانه‌ها و تجهیزات دیگر نیز صادق است.

پیش‌ازاین اشاره شد که سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع حدود ۴۰٪ مصرف انرژی ساختمان را به خود اختصاص می‌دهند، بنابراین با توجه به نمونه‌ای که در پاراگراف گذشته مطرح شد، تعمیر، نگهداری و مراقبت اصولی به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین و درعین‌حال کم‌هزینه و یا حتی بی هزینه‌ترین راهکارهای کنترل مصرف در دستور کار قرار می‌گیرد. بررسی‌های انجام‌شده حاکی از آن است که چنانچه فرآیند تعمیر و نگهداری به‌گونه‌ای مناسب انجام شود، می‌تواند مصرف انرژی یک سیستم تأسیساتی را در مقایسه‌ی با سیستم‌های مشابه خود در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش دهد؛ بنابراین کنترل برنامه‌ی تعمیر و نگهداری سیستم‌های تأسیساتی ساختمان و آموزش الگوی مناسب نگهداری به اپراتورها و ساکنین، می‌تواند به میزان مؤثری در بهبود وضعیت مصرف اثرگذار باشد.

فصل هشتم

سیستم‌های تهویه مطبوع، ممیزی و راهکارها (۲)

چکیده

در فصل‌های ششم و هفتم، مباحث مربوط به مبانی، سیستم‌ها و تجهیزات تهویه مطبوع و حرارت مرکزی و بخش اول روش‌ها و راهکارهای ممیزی سیستم‌های تهویه مطبوع مورد بحث قرار گرفت. در این فصل و در ادامه‌ی مباحث دو فصل گذشته به فرآیند ممیزی و بررسی وضعیت کارکرد سیستم‌های تهویه مطبوع، پرداخته خواهد شد.

بخش اول مطالب ارائه شده در فصل پیش رو با محوریت فرآیند بررسی وضعیت کارکرد سیستم (VOSP) به آنالیز و ارزیابی بخش‌های گوناگون شبکه‌ی تهویه مطبوع و حرارت مرکزی و قالب کلی گزارش نهایی و آیتم‌های مورد بررسی در آن پرداخته و در ادامه‌ی فصل نیز با هدف آشنایی با روش‌های متداول کاهش مصرف سیستم‌ها و تجهیزات، به معرفی راهکارهای عمومی کاهش مصرف پرداخته خواهد شد.

بررسی و ممیزی سیستم‌های تهویه مطبوع و حرارت مرکزی، پیچیده‌ترین بخش فرآیند ممیزی ساختمانی است، از سوی دیگر همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز مطرح شد، سیستم‌های تهویه مطبوع بخش قابل‌توجهی از مصرف انرژی ساختمان (حدود ۴۰ درصد) را به خود اختصاص می‌دهند و چنانچه بررسی و نگهداری این سیستم‌ها به‌صورت مداوم و دوره‌ای انجام نشود، می‌تواند منجر به افزایش مصرف و کاهش عمر مفید دستگاه‌ها شود.

هدف اصلی طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع، رسیدن به شرایط مطلوب محیطی است. تأمین شرایط مناسب دما و رطوبت، حفظ کیفیت مطلوب هوا و رسیدن به بازدهی انرژی مناسب، حاصل طراحی، نصب، راه‌اندازی، تعمیر و نگهداری و بهره‌برداری صحیح و اصولی سیستم‌های تهویه مطبوع است و چنانچه یکی از این مراحل به‌درستی انجام نشود، به میزان سهم خود، سیستم را در دستیابی به شرایط مطلوب محیطی و مصرفی دچار مشکل خواهد کرد.

در شرایطی که سیستم تهویه مطبوع به‌درستی طراحی و نصب‌شده باشد نیز ممکن است به دلایلی نظیر خرابی‌های معمول (آسیب دیدن شفت‌ها براثر خستگی، ایجاد نقص در یاتاقان‌ها براثر خشک کار کردن، رسوب‌گیری تجهیزات، از کالیبر خارج شدن کنترلرها و ...) و یا افزودن تجهیزات جدید به مدار، سیستم از شرایط مورد انتظار انحراف یابد. به‌هرحال و در هر شرایطی پایش وضعیت مجموعه‌ی تأسیساتی که ازاین‌پس با عنوان «بررسی وضعیت کارکرد سیستم» یا VOSP[1] از آن یاد خواهیم کرد، ضروری به نظر می‌رسد.

۸-۱) بررسی وضعیت کارکرد فن‌ها و پمپ‌ها

بررسی وضعیت کارکرد فن‌ها و پمپ‌ها طی اندازه‌گیری فشار، پیش و پس از فن یا پمپ، اندازه‌گیری فشار در شبکه‌ی توزیع آب و هوا و سنجش میزان دبی در ترمینال‌های آبی و هوایی انجام می‌شود.

همان‌گونه که می‌دانید، سیستم لوله‌کشی می‌تواند شامل اجزای زیادی نظیر شیرها، اتصالات، زانویی‌ها، چندراهی‌ها و تجهیزات مختلف دیگر باشد. پمپ جزئی از سیستم است

[1] *Verification Of System Performance*

که وظیفه‌ی تأمین هد لازم در مجموعه‌ی پمپاژ را برعهده دارد. به‌عبارت‌دیگر باید با اتلافات حاصل از اجزا و اتلافات لوله و کانال رویارویی کرده و همچنین هد موردنیاز در بخش‌ها و اجزای گوناگون شبکه را تأمین نماید. انتخاب صحیح پمپ‌ها و فن‌های سیستم تأسیساتی، فاکتور بسیار مهمی است که در کارآمدی مصرف، اثرگذار است.

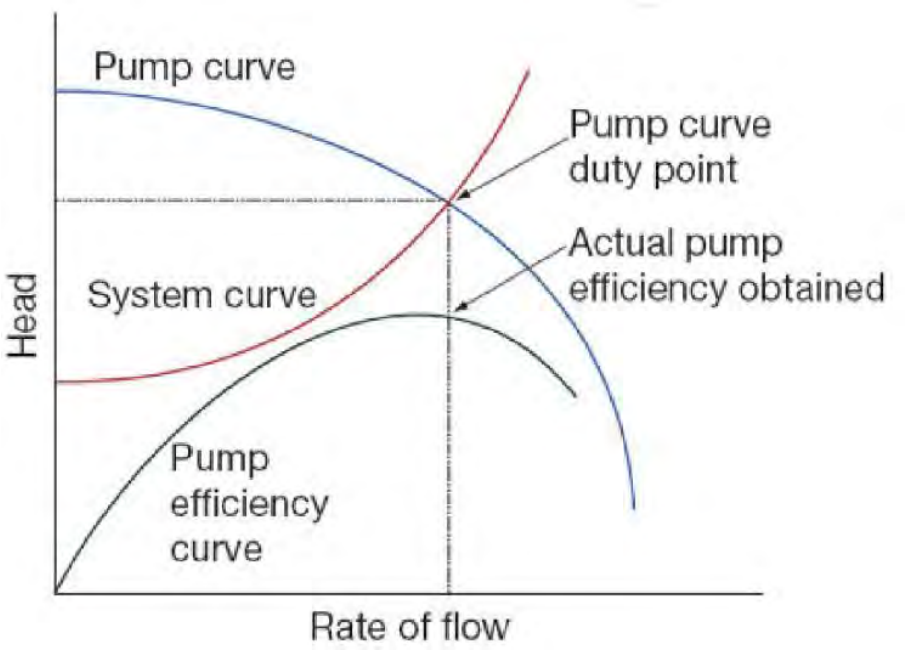
فرآیند انتخاب پمپ غالباً با رسم منحنی‌های عملکرد سیستم و پمپ در یک دستگاه مختصات و تعیین نقطه‌ی کارکرد صورت می‌گیرد. منحنی کارکرد پمپ، منحنی هد یک پمپ برحسب گستره‌ی دبی‌ها به شکل یک منحنی رو به پایین یا کاو است (گاهاً برخی پره‌ها موجب ایجاد بخش‌های غیر هموار و دره‌ها و قله‌هایی در منحنی کارکرد می‌شوند). در سوی دیگر منحنی سیستم نشانگر رابطه‌ی بین دبی و افت هد تولیدشده در یک خط دلخواه است. عناصر اصلی منحنی سیستم، عبارت‌اند از هد استاتیکی سیستم که به‌واسطه‌ی اختلاف ارتفاع بین منبعی که از آن پمپ می‌شود؛ به وجود می‌آید و اصطکاک یا افت هد در سیستم لوله‌کشی که بر اساس ضرایب اصطکاک مختلف برای لوله‌های متفاوت از نو تا کهنه باید در نظر گرفته شود. یافتن اصطکاک در خطوط لوله عموماً توسط روابط متداولی نظیر هیزن- ویلیام[1]، مانینگ[2] و دارسی-ویسباخ[3] صورت می‌پذیرد. در گام پایانی و پس از رسم منحنی مشخصه‌ی پمپ و منحنی کارکرد سیستم، نقطه‌ی کارکرد پمپ در محل تلاقی دو منحنی اتفاق می‌افتد. باید توجه داشت که نقطه‌ی کارکرد پمپ با گذر زمان تغییر می‌کند. با افزایش عمر لوله‌ها و زبر شدن آن‌ها، شیب منحنی سیستم بیشتر شده و نقطه‌ی کارکرد به سمت چپ حرکت می‌کند. همچنین با کهنه شدن پره‌ها، منحنی پمپ به پایین حرکت می‌کند؛ بنابراین با گذشت زمان ممکن است خروجی یک پمپ به میزان قابل‌توجهی کاهش پیدا کند.

---

[1] *Hazen–Williams*

[2] *Manning*

[3] *Darcy–Weisbach*



تصویر ۸- ۱: منحنی‌های کارکرد پمپ و شبکه

نکته‌ی بسیار مهمی که باید در انتخاب پمپ‌ها موردتوجه قرار گیرد، تطابق محدوده‌ی کارکرد پمپ با محدوده‌ی حداکثر بازدهی است. در بررسی وضعیت کارکرد پمپ‌ها، نقطه‌ای با عنوان «نقطه‌ی بهترین کارکرد[1]» معرفی می‌شود که این نقطه بیانگر ظرفیت و هدی است که در آن راندمان پمپ به بیشینه‌ی مقادیر خود می‌رسد.

۸-۲) بررسی وضعیت کارکرد چیلرها، برج‌های خنک‌کن، بویلرها و کویل‌ها

بررسی وضعیت کارکرد چیلرها و برج‌های خنک‌کن طی انجام بالانس حرارتی صورت می‌گیرد، به‌این‌ترتیب که حرارت دفع شده در برج خنک‌کن یا کندانسور آب خنک و یا هوا خنک می‌بایستی معادل با حاصل جمع ظرفیت سرمایشی (گرمای جذب‌شده در اوپراتور) و کار انجام‌شده در کمپرسور باشد. محاسبه‌ی ظرفیت سرمایشی و حرارت دفع شده در برج خنک‌کن و یا کندانسور با استفاده از دبی آب در جریان و اختلاف دمای آب قبل و بعد از این تجهیزات صورت می‌پذیرد.

[1] *Best Operating Point (BOP)*

اگر فرآیند انجام‌شده در برج‌های خنک‌کن را یک فرآیند سرمایش تبخیری آدیاباتیک در نظر بگیریم، تمامی گرمای دفع شده در کندانسور یا برج خنک‌کن به هوای عبوری از برج منتقل می‌شود، بنابراین بررسی‌ها و محاسبات باید نشانگر این موضوع باشند که حرارت دفع شده از آب معادل حرارت جذب‌شده توسط هواست.

سنجش بازده احتراق، اصلی‌ترین بخش بررسی وضعیت کارکرد بویلرها است. برای دست‌یابی به این منظور، می‌توان از ترمومتر[1]، کیت تست شیمیایی[2] و آنالیزگر گازهای احتراق[3] استفاده کرد. بازده احتراق، تابعی از اختلاف دمای خالص و مقدار اکسیژن و یا کربن دی‌اکسید در گازهای خروجی است. منظور از اختلاف دمای خالص اختلاف دمای هوای موجود در فضای بویلر و دمای گازهای احتراق موجود در دودکش است. آنالیزگر گازهای احتراق، ابزاری است که می‌توان از آن برای تعیین درصد اکسیژن و کربن دی‌اکسید موجود در فرآورده‌های احتراق خروجی از دودکش بهره برد. در مواقعی که نیاز به تشخیص احتراق ناقص و حضور مونوکسید کربن در فرآورده‌های احتراق احساس شود می‌توان از تست دود و تست لوله‌ی دتکتور[4] استفاده کرد.

بررسی وضعیت کارکرد کویل‌های آبی نیز، طی فرآیند بالانس حرارتی صورت می‌پذیرد، این بالانس با استفاده از دبی آب در جریان و یا دبی هوای عبوری و تغییرات دمای آب یا هوا انجام می‌شود.

۸-۳) بررسی وضعیت کیفیت هوای داخل[5]

سیستم تهویه مطبوعی که به‌درستی طراحی و نصب‌شده باشد و در شرایط مطلوبی نیز کار کند، می‌تواند در تأمین دما، رطوبت، هوای تازه و کنترل سطح ایمن آلاینده‌های محیطی به‌درستی عمل کند.

---

[1] *Thermometer*

[2] *Chemical Test Kit*

[3] *Combustion Gas Analyzer*

[4] *Detector Tube*

[5] *Indoor Air Quality (IAQ)*

بررسی کیفیت عملکرد سیستم‌های تهویه مطبوع در فراهم آوردن IAQ مطلوب، شامل تست کردن الگوهای جریان هوا و ایجاد فشار مطلوب در فضاها است که این امر طی اندازه‌گیری حجم هوای ورودی و دما و رطوبت نواحی گوناگون ساختمان انجام می‌شود. با توجه به نوع کاربری فضا و نوع سیستم تهویه مطبوع، تست می‌تواند شامل ارزیابی سطح دی‌اکسید کربن، مونواکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید سولفور، اوزون، رادون، اکسید اتیلن، بخارات مبرد، فرمال دی هاید، ذرات معلق قابل‌تنفس، ترکیبات آلی فرار و آلاینده‌های بیولوژیکی باشد.

۸-۴) بررسی وضعیت کارکرد عمومی سیستم

بررسی وضعیت کارکرد عمومی سیستم، با هدف تست کلی مجموعه و آشکارسازی معایب طراحی، نصب و بهره‌برداری و اطمینان از پایبندی به اصول طراحی انجام می‌شود. این تست بررسی وضعیت و کیفیت کارکرد سیستم در زمان راه‌اندازی را نیز شامل می‌گردد.

بررسی عملکرد عمومی سیستم، طی تغییر بارِ کاری در زمان‌های مختلف و ثبت چگونگی پاسخ سیستم به این تغییرات انجام می‌شود تا به‌این‌ترتیب فرصت مشاهده و ثبت یک مبنای عملکردی به‌منظور اطلاع از چگونگی کارکرد سیستم فراهم گردد. این مبنا و مرجع ایجادشده، فرصت مانیتورینگ سیستم را نیز فراهم می‌کند تا به‌این‌ترتیب تعیین شود که چه زمانی مجموعه نیاز به سرویس و تعمیر دارد. افزون بر این، این مبنای ایجادشده، برای اطمینان از بازگشت به حالت نرمال سیستم، پس از فرآیند سرویس و تعمیر سودمند است.

۸-۵) آیتم‌ها و گزارش فرآیند بررسی وضعیت کارکرد سیستم

سیستم‌های تهویه مطبوع مدرن امروزی با تجهیزات وابسته و کنترل‌های پیچیده، تلرانس‌های نزدیک، ساختارهای متنوع و کاربردها و طراحی‌های خاصی نظیر اتاق‌های تمیز، سبب شده‌اند فرآیند بررسی وضعیت کارکرد[1]، دشوارتر و نیازمند آیتم‌های خاص و منحصربه‌فرد هر کاربری و سیستم‌های مربوط به آن شود. بااین‌وجود می‌توان یک قالب کلی برای طرح گزارش بررسی وضعیت کارکرد ارائه کرد.

[1] *VOSP*

فرآیند بررسی وضعیت کارکرد سیستم، باید در سه بخش آنالیز سیستم‌های الکتریکی، مکانیکی و کنترلی انجام‌شده و آیتم‌هایی نظیر؛ دمپرها، شیرها، کانال‌ها و لوله‌ها، کویل‌ها و مبدل‌های حرارتی، دیفیوزرهای هوا، ترمینال یونیت‌ها، موتورها، عملگرها، فیلترها، صافی‌ها، ترموستات‌ها و ... مورد ارزیابی قرار گیرند.

افزون بر مواردی که پیش‌ازاین به لزوم بررسی آن‌ها اشاره شد، گزارش بررسی وضعیت کارکرد باید شامل آنالیز شرایط پوشش ساختمان، توان موردنیاز تجهیزات، مقادیر دما و فشار سیستم، مشخصات عملکردی پمپ‌ها، فن‌ها، موتورها، ترمینال یونیت‌ها، کنترلرها و ... نیز بشود. درواقع می‌توان گفت به میزانی که گزارش وضعیت کارکرد و آیتم‌های موردبررسی قرارگرفته بیش‌تر و کامل‌تر باشد، تحلیل و آنالیز فراگیرتر بوده و در پی آن راهکارهای کاهش مصرف با دقت، سودمندی و اثرگذاری بیشتری ارائه خواهند شد.

۸-۶) راهکارهای عمومی کاهش مصرف

همان‌گونه که می‌دانید، سیستم‌های روشنایی و سیستم‌های سرمایش و گرمایش، بخش اصلی مصرف انرژی ساختمان‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. از سوی دیگر تنوع بسیار و گستره‌ی وسیع این سیستم‌ها، نیاز به ممیزی، بازرسی و ارائه‌ی راهکارهای متفاوت و گوناگونی را ایجاد کرده است. بااین‌وجود شناخت و آشنایی با برخی راهکارهای عمومی کاهش مصرف، می‌تواند به‌عنوان نگرشی کلی برای کاهش مصرف سیستم سودمند و مؤثر باشد. در ادامه‌ی این بخش به معرفی مختصر برخی از این راهکارها پرداخته خواهد شد.

- فهرستی از موتورها، مشخصات هر یک و روتین تعمیر و نگهداری[۲،۱] مربوط به آن‌ها تهیه شود.

- ترموستات‌ها و سیستم‌های کنترلی به‌صورت منظم و دوره‌ای بازرسی‌شده و تنظیمات مربوط به تاریخ، ساعت و نقطه‌ی تنظیم آن‌ها کنترل شود.

---

[1] *Routine Maintenance*

[۲] *روتین عبارت است از مجموعه اقداماتی که به‌طور منظم در بازه‌های زمانی خاص جهت جلوگیری از خرابی‌های دستگاه‌ها انجام می‌شود.*

- در ساعت پایانی کار ساختمان‌های اداری و تجاری و یا ساعتی پیش از تخلیه‌ی فضا در ساختمان‌های مسکونی، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی را خاموش کرده و یا از درجات پایین آن استفاده شود.

- پرده و سایه‌بان پنجره‌ها و نورگیرها، در شب‌های زمستان (به‌منظور جلوگیری از تلفات حرارتی) و روزهای تابستان (به‌منظور جلوگیری از جذب تابش) در وضعیت کشیده شده قرار گیرند.

- سایه‌بان‌های آسیب‌دیده، تعمیر یا تعویض شوند.

- دیفیوزرها و شبکه‌های خروجی هوای تازه و ورودی هوای اگزاست را مشخص و ثبت کرده و به‌صورت منظم عدم انسداد آن‌ها بررسی شود.

- کانال‌ها به‌صورت منظم و دوره‌ای نظافت شوند.

- به‌منظور بازرسی وضعیت عایق‌ها و بازرسی، تنظیم و تعمیر دیگر بخش‌های مجموعه، نظیر پره‌ها و دمپرها، از امکان استفاده از دسترسی‌های محلی و عدم مسدود بودن آن‌ها اطمینان حاصل شود.

- حجم هوای تازه‌ی ورودی، بر مبنای استاندارد مورداستفاده به حداقل مقدار ممکن کاهش یابد.

- برنامه‌ی تعمیر و نگهداری مشخصی برای اکونومایزرهای هوای تازه تدوین شود.

- فهرستی از دمپرها و نوع هر یک تهیه شده و باز و بسته شدن صحیح و عملکرد مناسب آن‌ها به‌صورت دوره‌ای بررسی شود.

- در شرایطی که دمپری به‌خوبی بسته نمی‌شود، میله بندی‌ها را تنظیم کنید. اگر وضعیت آن تغییر قابل‌توجهی نکرد، در راستای تعمیر و نهایتاً تعویض آن اقدام شود.

- به هنگام تجهیز ساختمان، حتی‌الامکان از دمپرهای با تیغه‌ی مخالف و دارای هوابند استفاده شود.

- کنترلرها و عملگر دمپرها به‌صورت منظم و دوره‌ای بازرسی شوند.

- فیلترها با برنامه‌ای مشخص تمیز و یا تعویض شوند.

- کویل‌ها و مبدل‌های حرارتی به‌صورت دوره‌ای بازرسی و تمیز شوند.

- ولتاژ، جریان و فشار استاتیک فن‌ها مشخص‌شده و به‌منظور اطمینان از تأمین جریان هوای موردنیاز با منحنی عملکرد مقایسه شوند.

- سرعت فن و زاویه‌ی پره‌های آن برای دستیابی به سرعت موردنظر تنظیم شود.

- از سایز مناسب تسمه‌ها و سالم بودن آن‌ها اطمینان حاصل شود.

- هم‌محوری کوپلینگ‌ها و اتصالات بررسی شود.

- استفاده از اگزاست فن‌هایی که بهره‌برداری از آن‌ها توجیه خاصی ندارد، متوقف شود.

- اگزاست فن سرویس‌های بهداشتی مجدداً سیم‌کشی شود تا تنها در زمان روشن بودن چراغ‌ها کار کند.

- فشار مکش و تخلیه‌ی پمپ‌ها تعیین‌شده و اختلاف فشار بر منحنی کارکرد پمپ رسم و تحلیل شود.

- در شرایطی که دبی آب تغذیه در مدار، دارای مقداری بیش از ۱/۱ برابر مقدار موردنیاز باشد، شیر تخلیه‌ی پمپ با بررسی جمیع جوانب بسته شود.

- به‌منظور مصرف کمتر، سایز پروانه تا حد امکان کاهش داده شود.

- به‌منظور مدیریت مناسب‌تر مصرف، حتی‌الامکان از سیستم‌های کنترلی بیشتری استفاده شود. استفاده از سامانه‌ی مدیریت هوشمند ساختمان[1] می‌تواند بسیار سودمند و اثرگذار باشد.

[1] *Building Management System (BMS)*

- با بررسی وضعیت بهره‌برداری و وضعیت پیرامونی راهروها، لابی‌ها و فضاهایی که افراد کمتر در آن‌ها حضور دارند، داکت‌های هوای تازه و هوای برگشتی بسته شوند.

- در صورت امکان و در شرایطی که انحراف قابل‌توجهی از وضعیت مطلوب احساس نشود، سیستم‌های گرمایشی فضاهایی که در مورد قبل به آن اشاره شد، خاموش شود.

✓ **بویلرها**

- از تأمین هوای کافی برای انجام فرآیند احتراق در بویلر اطمینان حاصل شود.

- از اینکه هوای اولیه و ثانویه با مقادیر مناسب و در موقعیت صحیح وارد محفظه‌ی احتراق می‌شوند، اطمینان حاصل شود.

- وجود درز و شکاف در گسکت‌ها[1]، آجرهای نسوز و بدنه‌ی بویلر، سبب نفوذ هوا و انحراف نسبت هوا به سوخت از میزان تنظیم‌شده می‌شود؛ بنابراین بازرسی منظم و دوره‌ای بویلر برای کنترل موارد مذکور ضروری است.

- برای اطمینان از نسبت هوا به سوخت مناسب، به‌صورت منظم از یک آنالیزگر گازهای احتراق استفاده شود.

- با کنترل مقادیر اکسیژن و دمای گازهای احتراق، از عدم نشت هوا به بویلر اطمینان حاصل شود.

- پیش از اقدام به باز تنظیم نسبت هوا به سوخت، تمامی نقایص و معایب ممکن برطرف شود.

- برای بویلرهای بزرگ از آنالایزرهای اکسیژن[2] با قابلیت تنظیم خودکار نسبت هوا به سوخت استفاده شود تا با توجه به شرایط موجود نسبت هوا به سوخت مناسب را ایجاد کند.

---

[1] *Gasket*

[2] *Oxygen Analyzer*

- از عملکرد مناسب سیستم‌های کنترلی مرتبط با بویلر و پمپ‌های مربوط به آن اطمینان حاصل شود.

- در زمان خاموش شدن بویلر، به وضعیت شعله توجه شود. چنانچه مشاهده شد که آتش فوراً قطع نمی‌شود، به بررسی شیر سلونوئید پرداخته و در صورت لزوم نسبت به تعمیر و یا تعویض آن اقدام گردد.

- در تأسیساتی که از بیش از یک بویلر بهره می‌برند، سیستم کنترلی به‌گونه‌ای تنظیم شود که چنانچه یک بویلر پاسخگوی نیاز حرارتی است، بویلرهای دیگر روشن نشوند.

- از تناسب صحیح دمای آب مورداستفاده‌ی سیستم گرمایشی و دمای هوای بیرون، اطمینان حاصل شود.

- نازل‌های بویلر بررسی شده و از زاویه‌ی مناسب و عدم جرم‌گرفتگی آن‌ها، اطمینان حاصل شود.

- نازل‌های بزرگ‌تر و یا کوچک‌تر از سایز موردنیاز، با نازل‌های مناسب جایگزین شوند.

- در بویلرهایی که از سوخت مایع استفاده می‌کنند، از جریان و فشار مناسب سوخت، اطمینان حاصل شود.

- وضعیت عایق‌های بویلر و لوله‌های مرتبط با آن به‌صورت پیوسته بازرسی شده و در صورت نیاز تعمیر یا تعویض شود.

- سمت آتش[1] بویلرها، به‌منظور عدم تجمع دوده و جرم به‌صورت منظم و دوره‌ای تمیز شود.

- رسوبات سمت آب، به‌صورت دوره‌ای و منظم با روش‌های مکانیکی و یا شیمیایی تمیز شود.

- از کنترل‌گرهای خودکار برای کنترل آب بلودان استفاده شود.

[1] *Fireside*

- حرارت آب بلودان توسط یک یا چند مبدل حرارتی مورداستفاده قرار گیرد.

✓ **سیستم‌های سرمایشی**

- در سیستم‌های تبریدی که از دو یا چند کمپرسور استفاده می‌کنند، کنترلرها به‌گونه‌ای تنظیم شوند که تا زمان پاسخگو بودن یک کمپرسور، کمپرسورهای دیگر استارت نشوند.

- در کندانسورهای هوا خنک، کویل‌های کندانسور به‌صورت منظم و دوره‌ای تمیز شوند.

- کندانسورهای آب خنک به‌صورت منظم و دوره‌ای، رسوب‌گیری شوند.

- در مواردی که اواپراتور دچار برفک زدگی می‌شود، علت برفک زدگی تشخیص داده‌شده و در راستای رفع آن و اصلاح برنامه‌ی بهره‌برداری اقدام شود.

- فشار و دمای بخش‌های مختلف سیستم به‌صورت دوره‌ای بازرسی و کنترل شود.

- از شارژ بودن مبرد اطمینان حاصل شود.

- از عدم نشتی در شیرهای کمپرسور، اطمینان حاصل شود.

- صافی‌های سیستم به‌صورت مداوم و دوره‌ای بازرسی و تمیز شود.

- با افزایش دماها می‌توان مصرف انرژی کمپرسور را کاهش داد.

✓ **کنترلرها**

- فهرستی از تمامی تجهیزات کنترلی سیستم و انواع آن تهیه‌شده و برنامه‌ی بازرسی مشخصی تدوین شود.

- نسبت به کالیبراسیون منظم و دوره‌ای کنترلرها اقدام شود.

- در میان تجهیزات کنترلی، ترموستات‌ها از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند، بررسی عملکرد مناسب این سیستم‌ها با دقت بیشتری انجام شود.

- محل نصب ترموستات بر دقت و کیفیت عملکرد آن بسیار مؤثر است. قسمت‌های آفتاب‌گیر فضا و بخش‌هایی که در مجاورت سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی قرار دارند و دارای نوسانات دمایی بالایی هستند و بخش‌هایی که منجر به ایجاد لرزش در ترموستات می‌شوند، نمی‌توانند موقعیت‌های مناسبی برای نصب باشند.

- سیستم‌های کنترل پنوماتیکی به‌صورت منظم و دوره‌ای رسوب‌زدایی و جرم‌گیری شوند.

- سطوح تماس کنترلرهای الکتریکی به‌صورت دوره‌ای تمیز شوند.

- از کارکرد مناسب کنترلر و عملگر دمپرها و شیرهای کنترلی اطمینان حاصل شود.

- از نصب درست شیرهای سه‌طرفه اطمینان حاصل شود.

فصل نهم

سیستم‌های حرارت مرکزی، ممیزی و راهکارها

چکیده

در سه فصل گذشته مطالب و موضوعات مربوط به انواع سیستم‌های تهویه مطبوع و حرارت مرکزی و روش‌ها و راهکارهای ممیزی مصرف سیستم‌های تهویه مطبوع موردبحث قرار گرفت. با توجه به اهمیت و جایگاه قابل‌توجه سامانه‌ها و تجهیزات احتراق و حرارت مرکزی، موضوع پایش و بررسی وضعیت این بخش از مجموعه‌های تأسیساتی به‌صورت مجزا و در این فصل ارائه‌شده است.

در فصل پیش‌رو پس از بحثی اجمالی پیرامون اصول و مبانی احتراق، به موضوع بازدهی بویلرها، عوامل مؤثر بر سطح کارایی، برخی راهکارهای ارتقاء راندمان و چگونگی تخمین انرژی صرفه‌جویی شده حاصل از اجرای راهکارهای کاهش مصرف اشاره خواهد شد. در ادامه‌ی فصل نیز موضوعاتی نظیر اثر پیش‌گرمایش هوا و سوخت بر راندمان بویلر، فرآیندهای دوده زدایی و عایق‌کاری، کاهش تلفات بلودان و نشت بخار موردبحث قرارگرفته و در بخش پایانی نیز به سیستم‌های هوای فشرده و راهکارهای کاهش مصرف در این مجموعه‌ها پرداخته خواهد شد.

در فصل ششم به معرفی انواع اصلی دیگ‌ها، بویلرها، سیستم‌های احتراق و برخی اجزای آن‌ها پرداخته شد. سیستم‌های احتراق و شبکه‌ها و تجهیزات حرارت مرکزی بخش عمده‌ای از مصرف انرژی ساختمان‌ها را به خود اختصاص داده و غالباً در کشور ما به دلایلی نظیر طراحی نامناسب و عدم رسیدگی کافی و اصولی در وضعیت نامساعدی قرار دارند. بررسی‌های انجام‌شده نشانگر آن است که تا حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد انرژی مورداستفاده به‌منظور تأمین نیاز حرارتی و آب گرم بهداشتی ساختمان‌ها، به شیوه‌های گوناگون و در بخش‌های مختلف سیستم تلف می‌شود، با این حساب جایگاه و اهمیت آنالیز و ممیزی دقیق و آگاهانه‌ی سیستم‌های حرارت مرکزی روشن می‌شود.

نکته‌ی مثبتی که در ممیزی سیستم‌های حرارت مرکزی می‌توان به آن اشاره کرد، آن است که غالباً می‌توان با اجرای راهکارهای کم‌هزینه و یا نسبتاً کم‌هزینه مصرف انرژی این سیستم‌ها را به میزان قابل‌توجهی کاهش داد.

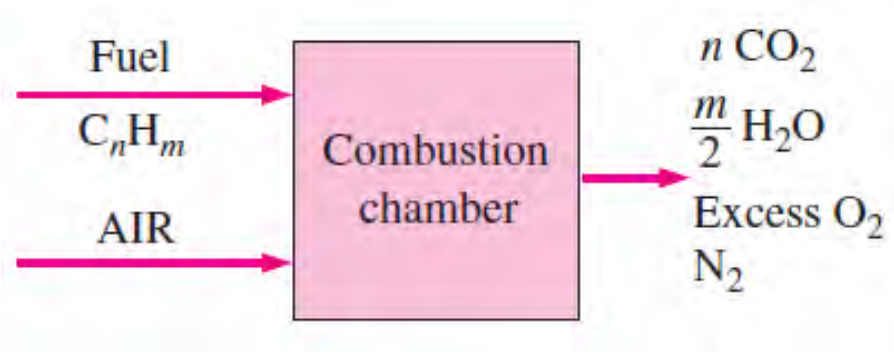
۹-۱) مروری بر اصول و مبانی احتراق

همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز اشاره شد، بویلرها سیستم‌هایی هستند که باهدف تولید آب داغ و بخار موردنیاز گرمایش فضاها و فرآیندها مورداستفاده قرار می‌گیرند. همواره قصد بر آن است که بویلرها و دیگ‌ها به‌گونه‌ای طراحی‌شده و به کار گرفته شوند که بتوانند از حداکثر حرارت قابل‌استفاده‌ی یک میزان مشخص سوخت، به‌خوبی استفاده کنند.

فرآیند احتراق، واکنش شیمیایی سوخت و هواست که منجر به تولید حرارت می‌شود. هر ماده‌ای که بتواند بسوزد و انرژی آزاد کند را سوخت می‌نامند. اکثر سوخت‌های شناخته‌شده اساساً شامل هیدروژن و کربن هستند. این سوخت‌ها، سوخت‌های هیدروکربنی نامیده شده و به‌وسیله‌ی فرمول C_nH_m مشخص می‌شوند. سوخت‌های هیدروکربنی در تمامی فازهای جامد، مایع و گاز وجود دارند که به‌عنوان نمونه می‌توان به زغال‌سنگ، بنزین و گاز طبیعی اشاره کرد.

یک فرآیند احتراق کامل است، اگر تمام کربن موجود در سوخت به CO_2، تمام هیدروژن‌ها به H_2O و تمام گوگردها (اگر چیزی موجود باشد) به SO_2 تبدیل شوند. درواقع طی یک فرآیند احتراق کامل، تمامی اجزاء قابل‌احتراق سوخت (مطابق تصویر ۹-۱)

می‌سوزند. در سوی مخالف، احتراق ناقص فرآیند احتراقی است که محصولات شامل هر مقدار سوخت نسوخته و یا اجزایی نظیر C، H_2، CO و یا OH باشند.



تصویر۹-۱: احتراق کامل

کافی نبودن اکسیژن یک دلیل آشکار برای احتراق غیر کامل است، اما تنها دلیل نیست. احتراق ناقص، حتی اگر اکسیژن بیشتر از مقدار موردنیاز برای احتراق، وجود داشته باشد، نیز رخ می‌دهد. این ممکن است به ناکافی بودن عمل مخلوط شدن در محفظه‌ی احتراق در طی مدت‌زمان محدودی که سوخت و اکسیژن در مجاورت هم هستند، مربوط باشد. دلیل دیگر احتراق ناقص، پدیده‌ی گسستگی است که عموماً در دماهای بالا رخ می‌دهد.

کمترین مقدار هوای موردنیاز برای احتراق کامل یک سوخت «هوای نظری» یا «هوای استوکیومتریک[1]» نامیده می‌شود که از ضرایب معادله‌ی واکنش شیمیایی حاصل می‌گردد. در فرآیندهای احتراق واقعی متداول است که از هوای بیشتری نسبت به مقدار هوای نظری استفاده شود تا شانس انجام احتراق کامل افزایش یابد؛ این میزان هوای مازاد بر هوای استوکیومتریک را «هوای اضافی[2]» می‌نامند. مقدار هوای اضافی معمولاً برحسب هوای استوکیومتریک و به‌صورت درصد هوای اضافی و یا درصد هوای نظری بیان می‌شود. به‌عنوان نمونه ۵۰٪ هوای اضافی معادل با ۱۵۰٪ هوای نظری و ۲۰۰٪ هوای اضافی معادل با ۳۰۰٪ هوای نظری است. البته تزریق هوای اضافی بیش‌ازحد نیاز، مشکلاتی نیز در پی دارد که

[1] *Stoichiometric Air*

[2] *Excess Air*

ازجمله‌ی آن می‌توان به افزایش تلفات دودکش، افزایش مصرف سوخت و گاهی اثر وارونه و ایجاد احتراق ناقص اشاره کرد.

فرآیندهای احتراق واقعی به‌ندرت می‌توانند کامل باشند، حتی اگر هوای اضافی قابل‌ملاحظه‌ای هم موجود باشد؛ بنابراین پیشگویی ترکیب محصولات احتراق با استفاده از اصل بقای جرم، به‌تنهایی امکان ندارد و تنها چاره این است که مقدار هر یک از اجزاء در محصولات احتراق را به‌طور مستقیم اندازه بگیریم.

متداول‌ترین وسیله جهت تجزیه، تحلیل و بررسی ترکیب گازهای حاصل از احتراق وسیله‌ای به نام تجزیه‌کننده‌ی گاز اورست[1] است. در این وسیله یک نمونه از گازهای حاصل از احتراق جمع‌آوری‌شده و تا دما و فشار اتاق سرد می‌شوند و حجم آن در این حالت اندازه‌گیری می‌گردد. سپس گاز نمونه به داخل این وسیله آورده شده و با ماده‌ای شیمیایی که جاذب CO_2 است تماس داده می‌شود. گازهای باقی‌مانده به دما و فشار اتاق برگردانده شده و حجم جدیدی که اشغال می‌کنند، اندازه‌گیری می‌شود. نسبت کاهش حجم به حجم اولیه جزء حجمی CO_2 نامیده می‌شود که چنانچه CO_2 همانند گاز ایده آل رفتار کند، برابر با جزء مولی می‌باشد.

۹-۲) بازدهی بویلرها

بازدهی کل بویلر، از بازدهی احتراق، تلفات حرارتی دودکش و تلفات حرارتی سطوح خارجی بویلر تشکیل‌شده است. منظور از بازدهی احتراق، کارایی مشعل در فراهم کردن نسبت هوا به سوخت بهینه برای احتراق کامل سوخت است. بازدهی یک بویلر به‌صورت قابل‌توجهی با بار تغییر می‌کند. درنتیجه، ارزیابی عملکرد بویلر و بازدهی آن در بازه‌ای از بارهای واقعی یا جزئی که بر بویلر اعمال می‌شود، مهم است.

- دمای دودکش[2]: به‌صورت کلی هرچقدر دمای دودکش پایین‌تر باشد، بازدهی احتراق بالاتر است. دمای بالای گازهای دودکش نشان‌دهنده‌ی انتقال حرارت نامناسب بین گازهای احتراق داغ و آب است. در سوی دیگر، دمای دودکش خیلی هم نباید پائین

[1] *Orsat*

[2] *Stack Temperature*

باشد، چراکه دمای پایین‌تر از حدی معین، موجب چگالش بخارآب درون دودکش، ترکیب آن با سولفور موجود در فرآورده‌های احتراق و ایجاد خوردگی می‌شود. حداقل دمای خروجی دودکش برای انواع گوناگون سوخت، در منابع مربوطه ارائه‌شده است.

- سطح CO_2: بالا بودن سطح CO_2 نشان‌دهنده‌ی بازدهی احتراق بیشتر است. سطح پائین قابل‌قبول برای CO_2 در بویلرهای گازسوز ۱۰٪ و در بویلرهای نفت‌سوز ۱۴٪ است. در شرایطی که سطح CO_2 از مقادیر مذکور کم‌تر باشد، به‌احتمال‌زیاد احتراق کامل نیست و نسبت هوا به سوخت و دیگر عوامل باید موردبررسی قرار گیرند.
- سطح CO: هیچ مقداری از CO نباید در گازهای دودکش موجود باشد. درواقع، وجود CO نشان‌دهنده‌ی احتراق ناقص و احتمالاً هوای اضافی ناکافی است. حضور CO در گازهای احتراق را می‌توان از نشستن دوده روی لوله‌ها و اتاقک‌های بویلر تشخیص داد.
- سطح O_2: هرچقدر سطح O_2 پایین‌تر باشد، بازدهی احتراق بالاتر است. درواقع سطح بالای O_2 نشان‌دهنده‌ی مقدار هوای بیشتر از حد لزوم است. سطح بالای قابل‌قبول برای O_2، ۱۰٪ است. در شرایطی که سطح O_2 بیش از ۱۰٪ باشد، لازم است هوای اضافی کاهش داده شود.

به‌عنوان یک رابطه‌ی کلی، می‌توان عبارت زیر را برای بازدهی بویلرها ارائه داد.

$$\%E = \frac{\text{حرارت خروجی از بویلر}}{\text{حرارت واردشده به بویلر}} \times ۱۰۰$$

رابطه‌ی ۹-۱

بر مبنای رابطه‌ی ۹-۱، برای بویلرهای تولیدکننده‌ی بخار، رابطه‌ی زیر را خواهیم داشت:

$$\%E = \frac{\text{آنتالپی بخار} \times \text{نرخ تولید بخار}}{\text{ارزش حرارتی سوخت} \times \text{نرخ مصرف سوخت}} \times ۱۰۰$$

رابطه‌ی ۹-۲

در برخی منابع، نرخ تولید بخار به نرخ مصرف سوخت را «نسبت بخار سازی» می‌نامند. با اتکا به این پارامتر، رابطه‌ی ۹-۲ به‌صورت زیر مطرح خواهد شد.

رابطه‌ی ۹-۳

$$\%E = \frac{\text{آنتالپی بخار} \times \text{نسبت بخارسازی}}{\text{ارزش حرارتی سوخت}} \times ۱۰۰$$

به طریقی مشابه، برای بویلرهای تولیدکننده‌ی آب داغ نیز، رابطه‌ی زیر را خواهیم داشت.

رابطه‌ی ۹-۴

$$\%E = \frac{\text{آنتالپی آب داغ} \times \text{نرخ تولید آب داغ (دبی جرمی آب داغ)}}{\text{ارزش حرارتی سوخت} \times \text{نرخ مصرف سوخت}} \times ۱۰۰$$

اقدامات و راهکارهای گوناگونی می‌تواند منجر به ارتقای بازدهی بویلرها شود که در ادامه‌ی بحث به طرح و بررسی آن پرداخته خواهد شد. به‌هرحال، چنانچه بازدهی بویلری ارتقاء یابد، به‌منظور محاسبه‌ی صرفه‌جویی حاصل از بهبود راندمان در مصرف سوخت، می‌توان از رابطه‌ی ۹-۵ استفاده کرد.

رابطه‌ی ۹-۵

$$\begin{matrix}\text{کاهش مصرف}\\ \text{سوخت}\\ \text{حاصل از}\\ \text{ارتقاء بویلر}\end{matrix} = \frac{\text{بازدهی قدیم} - \text{بازدهی جدید}}{\text{بازدهی جدید}} \times \begin{matrix}\text{مصرف سوخت}\\ \text{پیش از}\\ \text{بهبود بازدهی}\\ \text{بویلر}\end{matrix}$$

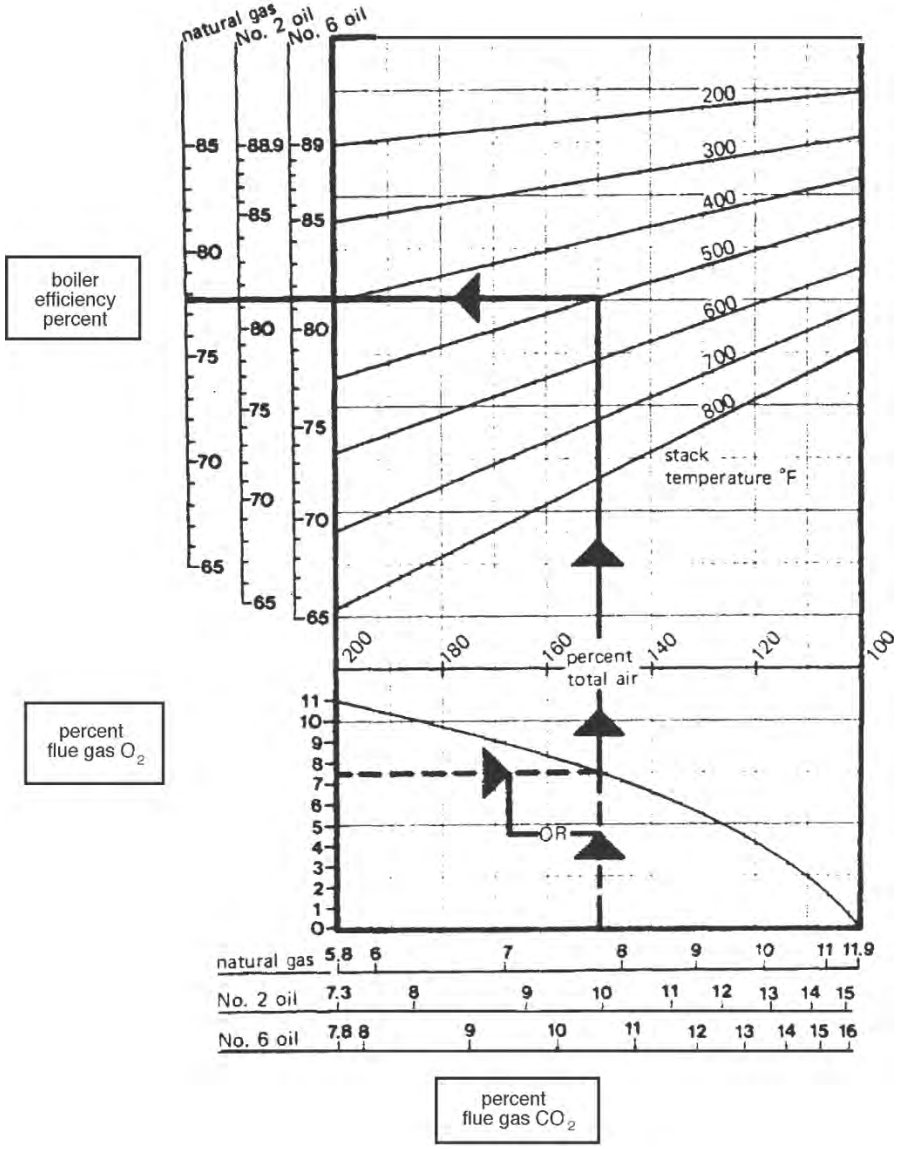
نمودار ۹-۱ می‌تواند به‌منظور بررسی اثر ترکیب گازهای خروجی، هوای اضافی و دمای دودکش بر بازدهی بویلرها مورداستفاده قرار گیرد. با توجه به ساختار چندبخشی، مراحل زیر برای به‌کارگیری این نمودار توصیه می‌شود.

۱- از پایین‌ترین خط افقی آغاز کرده و درصد CO_2 موجود در فرآورده‌های احتراق را با توجه به نوع سوخت تعیین کنید.

۲- درواقع این مرحله، جایگزینی برای مرحله‌ی اوّل است. در صورت عدم تمایل به اجرای مرحله‌ی گذشته، می‌توانید درصد O_2 موجود در فرآورده‌های احتراق را در پایین‌ترین محور عمودی سمت چپ نمودار مشخص کرده و محل تلاقی خطی افقی از این نقطه و منحنی بخش پائینی سیستم را مشخص کنید.

۳- از نقطه‌ی مشخص‌شده در مرحله‌ی اوّل یا دوّم، خطی عمودی تا محل تقاطع با خط دمای دودکش (در بویلر موردبررسی) رسم کنید.

۴- از نقطه‌ی تلاقی ایجادشده در مرحله‌ی گذشته، خطی افقی به سمت چپ و تا محل تقاطع با محور عمودی مربوط به سوخت مورداستفاده رسم کنید، این نقطه نشان‌دهنده‌ی بازدهی بویلر خواهد بود.



نمودار ۹-۱: گراف تخمین بازدهی بویلر

هوای اولیه و ثانویه تنها بایستی با مقادیر دقیق از پیش تعیین‌شده و در محل‌های مناسب وارد محفظه‌ی احتراق شوند، عواملی نظیر وجود گسکت‌های معیوب، آجرهای نسوز دارای شکاف و ترک، بدنه‌ی آسیب‌دیده و ... می‌تواند منجر به نفوذ ناخواسته‌ی هوا به محفظه‌ی احتراق و انحراف نسبت هوا به سوخت از میزان تعیین‌شده شود؛ بنابراین در

صورت عدم تطابق دمای دودکش و نتایج آنالیز با مقادیر مورد انتظار، باید پیش از باز تنظیم نسبت هوا به سوخت تمامی معایب و هدررفت‌های موجود را برطرف نمود.

همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز مطرح شد، دمای دودکش، درصد CO_2 و درصد O_2 شاخص‌های اصلی نمایانگر بازدهی بویلر هستند. در این راستا تجهیزاتی وجود دارند که به‌منظور آشکارسازی وضعیت بازدهی بویلر و ارائه‌ی اطلاعات موردنیاز برای تنظیم نسبت هوا به سوخت توسط اپراتور تأسیسات، به‌صورت پیوسته مقادیر CO_2 و میزان دمای دودکش را اندازه‌گیری می‌کنند، لازم به ذکر است که این تجهیزات غالباً برای تأسیسات کوچک و مجموعه‌هایی که با محدودیت بودجه مواجه هستند، مناسب‌اند. به‌طورکلی می‌توان گفت که ارزیابی میزان O_2 به‌جای گازهای دیگری نظیر CO و CO_2 (خصوصاً در شرایطی که بویلر چندگانه سوز است) می‌تواند سودمندتر و اثرگذارتر باشد (به نمودار ۹-۱ توجه کنید).

در بویلرهای بزرگ‌تر و تأسیسات گسترده‌تر غالباً از آنالیزگرهای اکسیژن با قابلیت تنظیم خودکار نسبت هوا به سوخت استفاده می‌شود تا به‌این‌ترتیب تطابق مناسب با شرایط گوناگون موجود حاصل شود. تجربه نشان می‌دهد که برای بخش عمده‌ی بویلرها قابلیت نصب و به‌کارگیری سیستم‌های مذکور وجود دارد.

در فرآیند آنالیز و ممیزی بویلرها و سیستم‌های احتراق، میزان آلاینده‌ها و درصد هر یک از آن‌ها بایستی مورد ارزیابی قرارگرفته و با کدها و استانداردهای مورداستفاده و محدودیت‌های منطقه مطابقت داده شود.

۹-۳) تلفات حرارتی

آشنایی با تلفات حرارتی، انواع آن و عواملی که از آن‌ها تأثیر می‌پذیرد، موضوع مهمی است که باید به‌تناسب خود به آن توجه کرد. تلفات حرارتی گازهای خروجی کوره دارای چهار بخش است که به معرفی مختصر آن‌ها پرداخته می‌شود.

- تلفات حرارتی گازهای احتراق بر مبنای خشک
- تلفات حرارتی ناشی از بخارآب موجود در هوای احتراق
- تلفات حرارتی ناشی از بخارآب تولیدشده ناشی از هیدروژن موجود در سوخت (این کمیت تابع سوخت است و با عملیات نمی‌تواند تغییر کند).

- تلفات ناشی از تولید بخارآب در فرآیند احتراق

میزان تلفات حرارتی می‌تواند با توجه به نوع سوخت و شرایط حاکم بر سیستم متفاوت باشد. عامل مهم و مؤثر، دمای گازهای خروجی و مقدار هوای اضافی است. برای به حداقل رساندن تلفات در سیستم‌های احتراق، واکنش کامل، استفاده از سوخت پاش بهتر و کنترل بهتر هوای احتراق ضروری است، از سوی دیگر سلامت مشعل‌ها و اختلاط مناسب هوای اولیه و ثانویه نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. برای سوخت‌هایی مانند زغال‌سنگ، زیست‌توده، ضایعات صنعتی و زباله‌های شهری تلفات حرارتی حاصل از رطوبت در سوخت می‌تواند قابل‌توجه باشد. برای مثال چوب می‌تواند دارای رطوبتی بالاتر از ۶۰ درصد باشد.

حرارت می‌تواند به‌وسیله‌ی احتراق ناقص سوخت نیز تلف شود که این امر به‌وسیله‌ی وجود CO مشخص می‌شود و در خصوص سوخت‌های جامد، مواد احتراق به‌صورت خاکستر باقی می‌مانند.

با کنترل مقدار دوده‌ی[1] تولیدی، مقدار CO قابل‌کنترل است. سه عامل مؤثر باعث ناقص سوزی هستند که عبارت‌اند از هوای احتراق ناکافی، مخلوط سوخت و هوای نامناسب و نشت هوای سرد به محفظه‌ی احتراق که موجب سرد شدن مخلوط سوخت و هوا می‌شود.

این تلفات به علّت تبدیل نشدن کربن به CO_2 رخ می‌دهد. چسبیدن دوده بر سطوح تبادل حرارت موجب کاهش ضریب انتقال حرارت و در پی آن پائین آمدن راندمان می‌شود.

تلفات مواد قابل‌احتراق نسوخته در سیستم‌های سوخت مایع و گاز اهمیت چندانی ندارد. درحالی‌که آنالیز و کنترل آن در تأسیسات سوخت جامد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. تلفات حرارتی ناشی از خاکستر سوخت نشانه‌ی واضح کمبود هوای احتراق است که می‌تواند به دلایلی نظیر توزیع هوای ضعیف در زیر قفسه، ضخامت زیاد بستر آتش و ضخامت ناهموار ناشی از اعمال سوخت ریزی ضعیف رخ دهد.

در زغال‌سنگ، زیست‌توده[2] و سوخت‌های جامد دیگر، مواد قابل‌احتراق نسوخته در ضایعات جمع شده (در چاله‌ی خاکستر) و وقتی عملکرد دیگ آزمایش می‌شود، این تلفات

---

[1] *Soot*

[2] *Biomass*

هم باید مشخص شود. اجرای این کار نیازمند یک روش جمع‌آوری و سنجش ضایعات تحت شرایط کنترل‌شده و سنجش آزمایشگاهی ضایعات برای ارزش حرارتی بالاست.

رابطه‌ی زیر به‌منظور محاسبه‌ی تلفات حرارتی گازهای احتراق بر مبنای خشک ارائه می‌شود (توجه شود که این رابطه، صرفاً برای سوخت‌های غیر گازی است).

رابطه‌ی ۹-۶

$$\text{Dry Flue gas loss} = \frac{K(T \pm t)}{CO_2}$$

داریم:

K: ثابت سوخت	آنتراسیت[1]	۰/۳۷
	زغال‌سنگ قیر دار[2]	۰/۳۴
	قطران زغال‌سنگ[3]	۰/۳۳
	سوخت‌های مایع	۰/۳۱

T: دمای گازهای حاصل از احتراق (°F)

t: دمای هوای تغذیه به بویلر (°F)

CO_2: درصد حجمی کربن دی‌اکسید در فرآورده‌های احتراق

۹-۴) پیش‌گرمایش هوا و سوخت

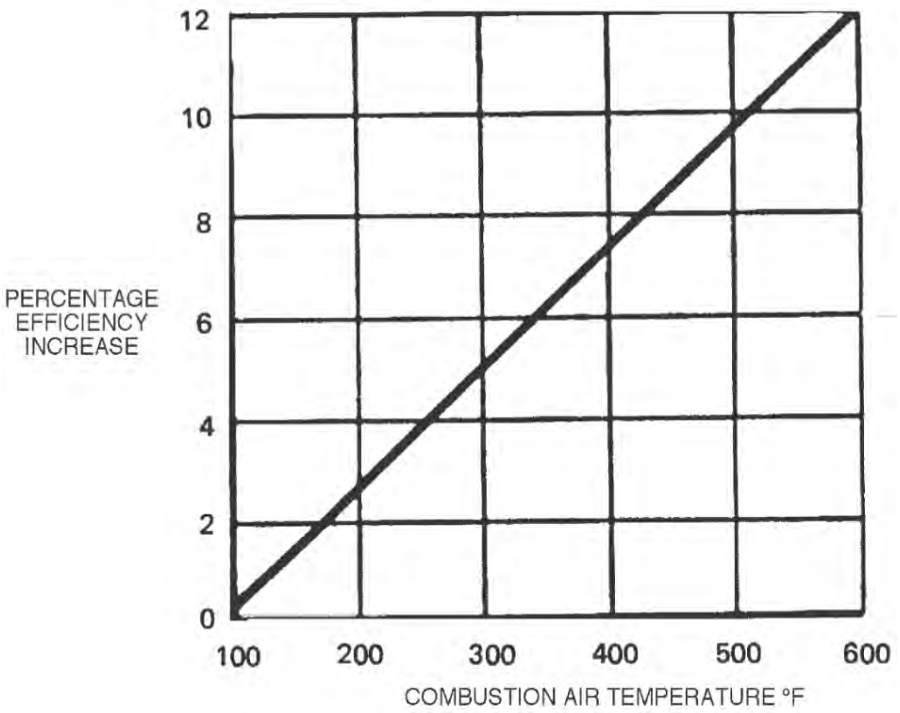
پیش‌گرمایش هوای اولیه و ثانویه‌ی ورودی به محفظه‌ی احتراق، می‌تواند اثر سرمایه‌ی اولیه‌ی هوا را پوشش داده و منجر به ارتقاء بازدهی شود. (نمودار ۹-۲ اثر افزایش دمای هوای ورودی به محفظه‌ی احتراق بر راندمان کلی بویلر را نمایش می‌دهد.)

---

[1] *Anthracite*

[2] Bituminous coal

[3] *Coal tar*



نمودار ۹- ۲: بهبود راندمان ناشی از افزایش دمای هوای احتراق

از دیگر ثمرات پیش‌گرمایش هوای ورودی، می‌توان به بهبود امکان ترکیب سوخت و هوا اشاره کرد که این نیز ارتقاء بازدهی بویلر را در پی دارد.

گرمای موردنیاز برای پیش گرم کردن سوخت و هوای تغذیه می‌تواند از راه‌های گوناگونی نظیر فرآورده‌های احتراق، بلودان[1]، کندانس و ... تأمین شود. گرم کردن سوخت می‌تواند در منابع ذخیره (خصوصاً در زمان‌هایی که درصد سولفور سوخت پائین بوده و احتمال ایجاد حالت گرفتگی براثر سرما وجود دارد.) و همچنین در نازل مشعل انجام شود.

بازیابی حرارت از فرآورده‌های احتراق خروجی می‌تواند به‌صورت مستقیم و با استفاده از مبدل‌های ثابت لوله‌ای، صفحه‌ای و مبدل‌های دوار و یا به‌صورت غیرمستقیم و به‌وسیله‌ی حلقه‌های بازیابی توسط کویل که در فصل هفتم مفصلاً موردبحث قرار گرفت انجام شود. در اتاق اغلب بویلرها هوا طی مجاورت با فضای داغ درونی بویلر و سطوح لوله‌ها، گرم شده و در

[1] *Blowdown*

زیر سقف تجمع پیدا می‌کنند. استفاده از همین هوا و متصل کردن آن به ورودی هوای اولیه و ثانویه می‌تواند منجر به پیش‌گرمایش هوای ورودی شود.

چنانچه فرآیند پیش‌گرمایش هوای تغذیه به‌صورت مناسبی انجام شود، می‌تواند ثمرات زیر را در پی داشته باشد:

- افزایش دمای شعله
- افزایش میزان هوای خروجی در فرآورده‌های احتراق طی بالا رفتن دمای شعله
- امکان کاهش میزان هوای اضافی ورودی به محفظه‌ی احتراق (با توجه به مورد قبل)
- ساده‌تر شدن فرآیند احتراق دوگانه

همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز در نمودار ۹-۲ اشاره شد، افزایش دمای هوای ورودی در حدود ۱۰۰°F می‌تواند منجر به ارتقاء ۲ درصدی راندمان بویلر شود. سوخت‌های مایع، برای اتمیزه شدن[1] مناسب، باید پیش از ورود به محفظه‌ی احتراق به میزان معینی گرم شوند.

No. 4 oil	۱۳۵°F
No. 5 oil	۱۸۵°F
No. 6 oil	۲۱۰°F

افزایش دمای سوخت‌های مایع بیش از مقادیر توصیه‌شده، می‌تواند منجر به ارتقاء بیشتر بازدهی بویلر گردد؛ اما باید به این نکته توجه داشت که پیش‌گرمایش بیش‌ازحد سوخت، می‌تواند منجر به گاز بند شدن مسیر و در پی آن انحراف شعله شود. گرچه بهبود بازدهی حاصل از پیش‌گرمایش سوخت‌های مایع وابستگی زیادی به نوع سوخت و شرایط حاکم دارد، می‌توان به‌صورت کلی گفت که چنانچه این فرآیند به شیوه‌ای مناسب صورت پذیرد، می‌تواند ارتقاء بازدهی در حدود ۲ تا ۳ درصد را در پی داشته باشد.

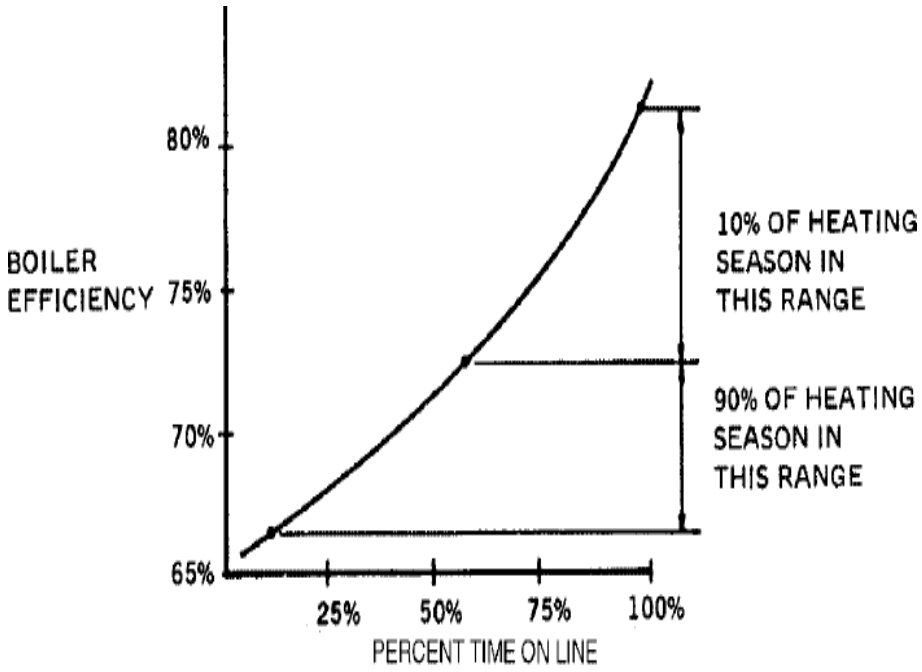
نکته‌ی مهمی که پیوسته باید موردتوجه قرار گیرد، میزان مناسب پیش‌گرمایش سوخت و هواست که بایستی با توجه به ساختار و محدودیت‌های سوخت و تجهیزات، به شیوه‌ای صحیح تعیین گردد.

---

[1] *Atomization*

۹-۵) مجموعه‌ی بویلرهای مدولار[1]

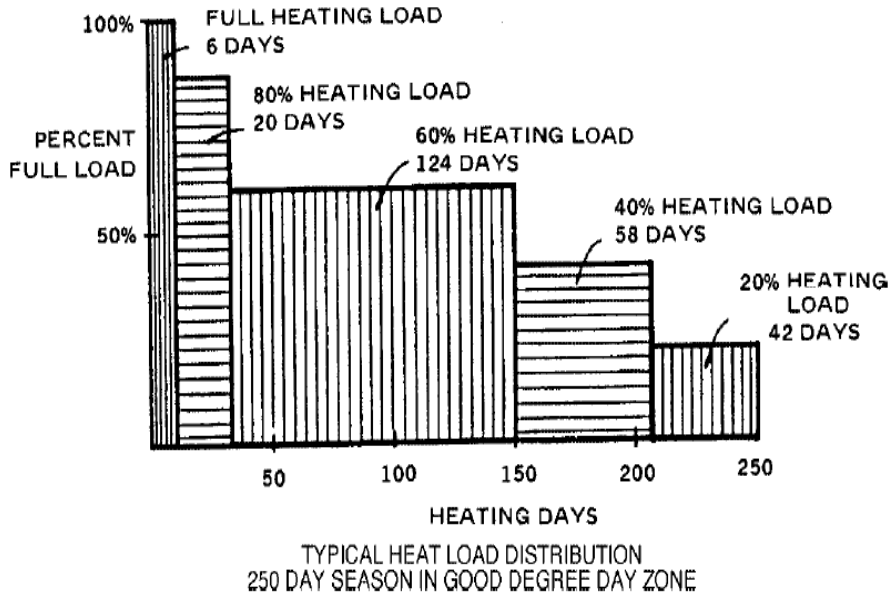
طراحی بویلرها غالباً به شیوه‌ای است که حداکثر بازدهی آن‌ها در زمان بهره‌برداری در ظرفیت طراحی‌شده حاصل می‌شود. از سوی دیگر همان‌گونه که در نمودار ۹-۳ نیز مشاهده می‌کنید، عموم بویلرها در حدود ۹۰ درصد دوره‌ی سرد سال در ظرفیتی حدود ۶۰ درصد ظرفیت طراحی‌شده و یا پایین‌تر از آن کار می‌کنند. این پدیده معضلی است که ناکارآمدی‌های قابل‌توجه بویلرها و تلفات بسیار سوخت را در پی دارد.



نمودار ۹- ۳: متوسط راندمان بهره‌برداری بویلر طی درصدهای زمانی دوره‌ی سرد سال

این پدیده در غالب شرایط و در اکثر سیستم‌های تأسیساتی مشاهده می‌شود، امّا انتخاب صحیح بویلرها، با توجه به نوسانات بار (خصوصاً در ظرفیت‌های بالا) می‌تواند تا حد زیادی به رفع این مشکل کمک کند.

[1] *Modular*



نمودار۹- ٤: توزیع متوسط بار حرارتی نسبت به ظرفیت طراحی‌شده، در روزهای دوره‌ی سرد سال

یکی از راهکارهای عمومی مقابله با مشکل افت راندمان در زمان بهره‌برداری در ظرفیت‌هایی پایین‌تر از ظرفیت طراحی‌شده، طرح شبکه‌ی تأسیساتی به‌صورت مجموعه‌ی از «بویلرهای مدولار» در ظرفیت‌های گوناگون است که می‌توانند به‌صورت مستقل شعله زده و وارد مدار شوند. هرکدام از این بویلرهای کوچک اینرسی حرارتی پایین‌تری داشته و تلفات گرم شدن و سرد شدن آن‌ها نسبت به یک بویلر بزرگ معادل، کم‌تر است. از سوی دیگر ازآنجایی‌که بهره‌برداری از این بویلرهای کوچک در ظرفیت‌هایی نزدیک به ظرفیت طراحی‌شده انجام می‌شود، راندمان عملکرد هر یک از آن‌ها، راندمان بالاتری خواهد بود. بررسی‌های انجام‌شده نشانگر آن است که چنانچه جایگزینی بویلر با مجموعه‌ای از بویلرهای مدولار به شیوه‌ای مناسب صورت پذیرد، مصرف سالانه‌ی سوخت می‌تواند تا حدود ۱۰٪ کاهش پیدا کند؛ که در درازمدت صرفه‌جویی قابل‌توجهی را در پی خواهد داشت. استفاده از مجموعه‌ی بویلرهای مدولار برای فضاهایی نظیر سالن‌های کنفرانس، مساجد و کلیساها و ... که نوسانات بار قابل‌توجهی دارند و نیازمند گرمایش سریع در زمان حضور ساکنین هستند، بسیار سودمندتر و اثرگذارتر از دیگر ساختمان‌هاست.

نکته‌ی بسیار مهمی که باید در انتخاب و طرح شبکه‌ی بویلرهای مدولار موردتوجه قرار گیرد، ظرفیت مناسب و متناسب بویلرهای انتخاب‌شده با توجه به نوسانات بار و شرایط بهره‌برداری است. شبکه‌ی بویلرهای مدولار باید به‌گونه‌ای طراحی شود که تا زمانی که یک بویلر پاسخگوی نیاز حرارتی است، بویلرهای دیگر وارد مدار نشوند.

۹-۶) عملیات دوده زدایی

گذشت زمان و کارکرد مداوم بویلرها موجب تجمّع دوده در لوله‌های جریان گازهای داغ و جرم‌گرفتگی در لوله‌های آب می‌شود. این پدیده سبب افت ضریب انتقال حرارت بین جریان سیال و گازهای داغ شده و در پی آن افزایش دمای گازهای خروجی و درنهایت کاهش راندمان را به همراه خواهد داشت؛ بنابراین لازم است عملیات دوده زدایی و رسوب‌زدایی با شکلی مشخص در برنامه‌ی تعمیر و نگهداری سیستم تأسیساتی گنجانده‌شده و به‌صورت منظّم و دوره‌ای به آن پرداخته شود. فرآیندهایی که غالباً در سیستم‌های تأسیساتی به کار گرفته می‌شوند، به‌قرار زیر هستند.

- رسوب‌زدایی مکانیکی
- دوده زدایی به‌وسیله‌ی بخار
- دوده زدایی به‌وسیله‌ی فشار هوا
- رسوب‌زدایی صوتی

عملیات دوده زدایی و تمیزکاری موجب انتقال حرارت بهتر شده و صرفه‌جویی در مصرف سوخت بویلر بین ۱ تا ۳ درصد را در پی خواهد داشت. این امر، کاهش دمای گازهای خروجی، کاهش دفعات روشن و خاموش شدن دیگ و درنهایت افزایش راندمان را به همراه دارد.

۹-۷) بلودان و کاهش تلفات مربوط به آن

بلودان فرآیندی است که طی آن میزانی از آب بویلر به دور ریخته می‌شود تا از تمرکز ناخالصی‌های موجود در آب بویلر به هنگام تبخیر جلوگیری شود. این عمل در زمان‌بندی‌های مشخص انجام‌شده و به دو صورت دستی و خودکار صورت می‌پذیرد.

بلودان به دو شکل کلی «زیرآب‌زنی[1]» و «بلودان سطحی[2]» انجام می‌شود؛ که در نوع اول با باز شدن شیر میزانی از آب از کف بویلر خارج می‌شود و در نوع سطحی، خروج آب از سطح بویلر و یا داخل درام صورت می‌گیرد.

باید توجه داشت که آب یا بخار خارج‌شده در فرآیند بلودان با همان فشار و دمای داخل بویلر بوده و نباید آن را مستقیماً به موتورخانه وارد کرد، بلکه باید آن را به داخل منبعی به نام «تانک بلودان» ارسال کرد تا پس‌ازآن وارد فاضلاب شود و یا از سیستم‌های بازیابی، برای استفاده از حرارت آب بلودان بهره برد.

تعداد دفعات انجام فرآیند بلودان تابعی از میزان ذرات جامد در آب تغذیه و نوع فرآیند تصفیه است. آبی که در فرایند بلودان از بویلر خارج می‌شود، دارای دما و انرژی بالایی است. از سوی دیگر برای رساندن آب جایگزین به شرایط سیستم باید انرژی قابل‌توجهی صرف شود. با این حساب بلودان، تلفات قابل‌توجهی به همراه دارد که این تلفات می‌تواند با بهره‌گیری از سیستم بلودان اتوماتیک به‌جای بلودان دستی و استفاده از سیستم‌های بازیابی انرژی از آب خروجی تا حدودی کاهش یابد.

سیستم‌های کنترل اتوماتیک بلودان با مانیتورینگ پیوسته‌ی رسانایی و PH آب بویلر، عمل بلودان را تنها در زمان نیاز و به میزانی مشخص برای رسیدن به شرایط مطلوب انجام می‌دهند. افزون بر این عبور دادن آب بلودان از یک مبدل حرارتی و یا مجموعه‌ی فلش تانک و مبدل حرارتی می‌تواند بازیابی قابل‌توجهی را به همراه داشته باشد.

به‌منظور تخمین انرژی قابل بازیابی از آب بلودان شده، می‌توان به شیوه‌ی کلی زیر عمل کرد:

۱- تعیین نرخ آب بلودان شده و حرارتی که با خود به همراه دارد.

۲- تخمین میزان انرژی قابل بازیابی با به‌کارگیری یک سیستم بازیاب مشخص

---

[1] *Bottom Blowdown*

[2] *Surface Blowdown*

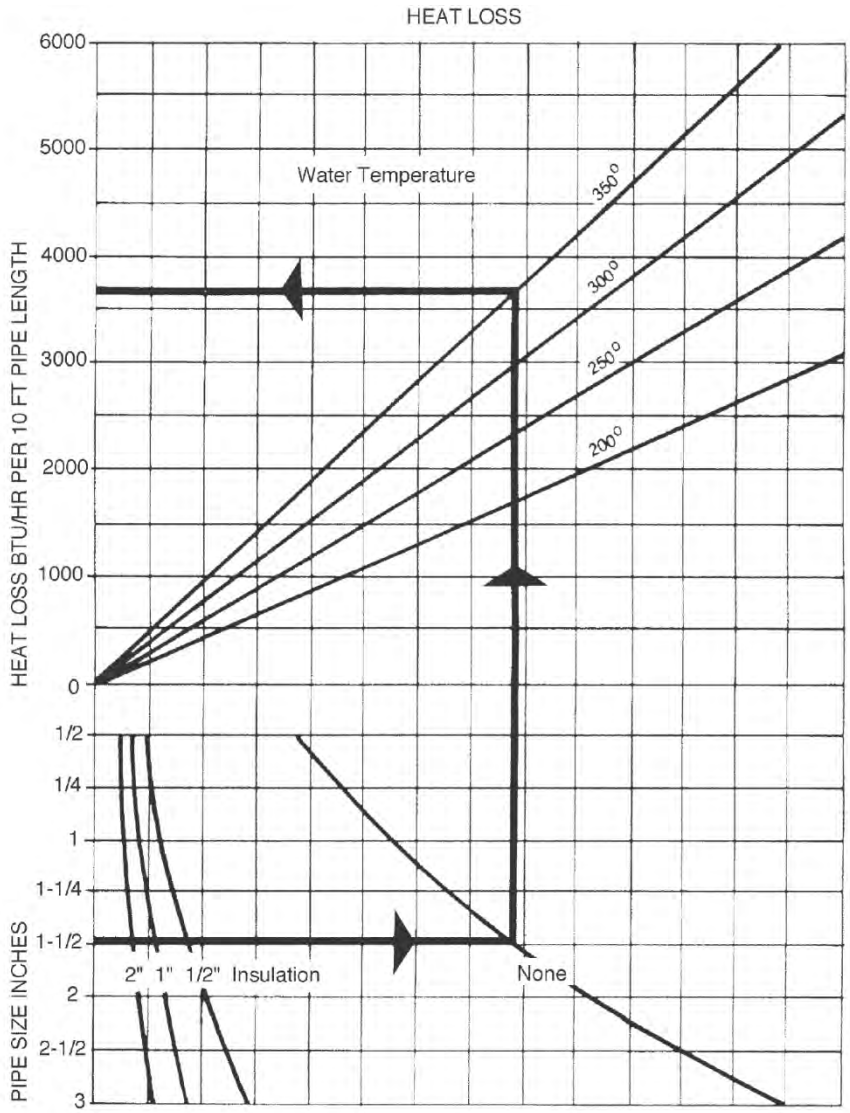
۹-۸) عایق‌بندی

عایق‌بندی فرایندی است که باهدف اصلی کاهش تلفات حرارتی، از سطوح و تجهیزاتی که در دماهای متفاوت با دمای محیط کار می‌کنند؛ انجام می‌شود. عایق‌های مرسوم عبارت‌اند از کلسیم سیلیکات، الیاف معدنی، الیاف سرامیک، سیمان، شیشه‌ی سلول دار و الیاف شیشه‌ای. چنانچه فرایند عایق‌بندی با طرحی مناسب و شیوه‌ای صحیح انجام شود، می‌تواند ثمراتی از قبیل کاهش هزینه‌های سوخت، توان و ...، ارتقا بازدهی، افزایش ظرفیت سیستم و کاهش هزینه‌های کلی مجموعه را در پی خواهد داشت. جدول زیر مقادیر توصیه‌شده‌ی ضخامت عایق برای کاربری‌های گوناگون را نمایش می‌دهد.

جدول ۹ -۱: ضخامت توصیه‌شده برای کاربری‌های گوناگون در گستره‌های دمایی متفاوت

Piping System	Temperature Range (°F)	Insulation Thickness (Inches)
Heating		
High pressure steam	306 to 400	1.5 - 2.0
Medium pressure steam	251 to 305	1.0 – 1.5
Low pressure steam	up to 250	1.0
Condensate	190 to 220	1.0
Hot water	up to 200	1.0
Hot water	Over 200	1.0
Cooling		
Chilled water	40 to 60	0.75 – 1.0
Refrigerant and Brine	Below 32	1.0 – 1.5

نمودار ۹-۵ می‌تواند، باهدف محاسبه‌ی تلفات حرارتی، با احتساب سایز لوله، ضخامت عایق و دمای سیال مورداستفاده قرار گیرد.



نمودار ۹- ۵: تلفات حرارتی از لوله‌های عایق‌کاری شده با احتساب سایز لوله، ضخامت عایق و دمای سیال

هزینه‌های حاصل از انتخاب عایقی با ضخامت معین و در یک دوره‌ی مشخص به دوشاخه‌ی هزینه‌های خرید و نصب عایق و هزینه‌ی حاصل از تلفات حرارتی از ضخامت انتخاب‌شده، تقسیم می‌شود. با این حساب انتخاب بهینه‌ی اقتصادی ضخامت و نوع عایق با توجه به عمر در نظرگرفته‌شده برای عایق و هزینه‌ی حاصل از تلفات حرارتی در این دوره‌ی معین صورت می‌پذیرد.

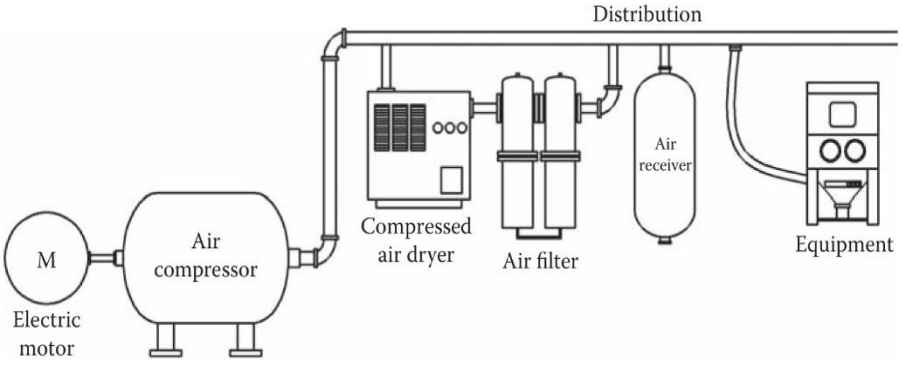
۹-۹) نشتی‌های بخار

یکی از آشکارترین گره‌های اتلاف در سیستم توزیع، نشتی بخار از شیرهای معیوب، اتصالات و فلنج‌ها می‌باشد. این نشتی‌ها که به‌سادگی قابل‌تشخیص می‌باشند، باید برطرف گردند؛ چراکه یک نشتی کوچک می‌تواند اتلاف انرژی زیادی را به همراه داشته باشد. به‌عنوان نمونه در یک سیستم بخار با فشار ۷ بار سوراخی به‌اندازه‌ی ۰/۸ میلی‌متر، اتلاف بیش از ۱۵۰۰ لیتر سوخت مایع در سال را در پی دارد.

۹-۱۰) ممیزی سیستم‌های هوای فشرده

هوای فشرده معمولاً کاربرد صنعتی داشته و سهم قابل‌توجهی از هزینه‌های تأسیساتی را به خود اختصاص می‌دهد. عموماً هوای فشرده در قسمت مرکزی تولیدشده و سپس به بخش‌های دیگر انتقال می‌یابد تا توسط سیستم‌ها و تجهیزاتی که درگیر فرآیند تولید و کنترل نیوماتیک[1] هستند مورداستفاده قرار بگیرد.

مفهوم اصلی تولید هوای فشرده، نسبتاً ساده است. جهت افزایش فشار هوای ورودی، توان مکانیکی به یک کمپرسور داده می‌شود. این هوای فشرده، در شرایط جوی محیط (فشار تقریبی ۱۰۰kPa و یا ۱ bar) دریافت می‌گردد. تصویر ۹-۲ یک سیستم ساده‌ی فشرده‌سازی هوا که با یک موتور الکتریکی کار می‌کند را نمایش می‌دهد.



تصویر ۹- ۲: نمایی ساده از یک سیستم هوای فشرده

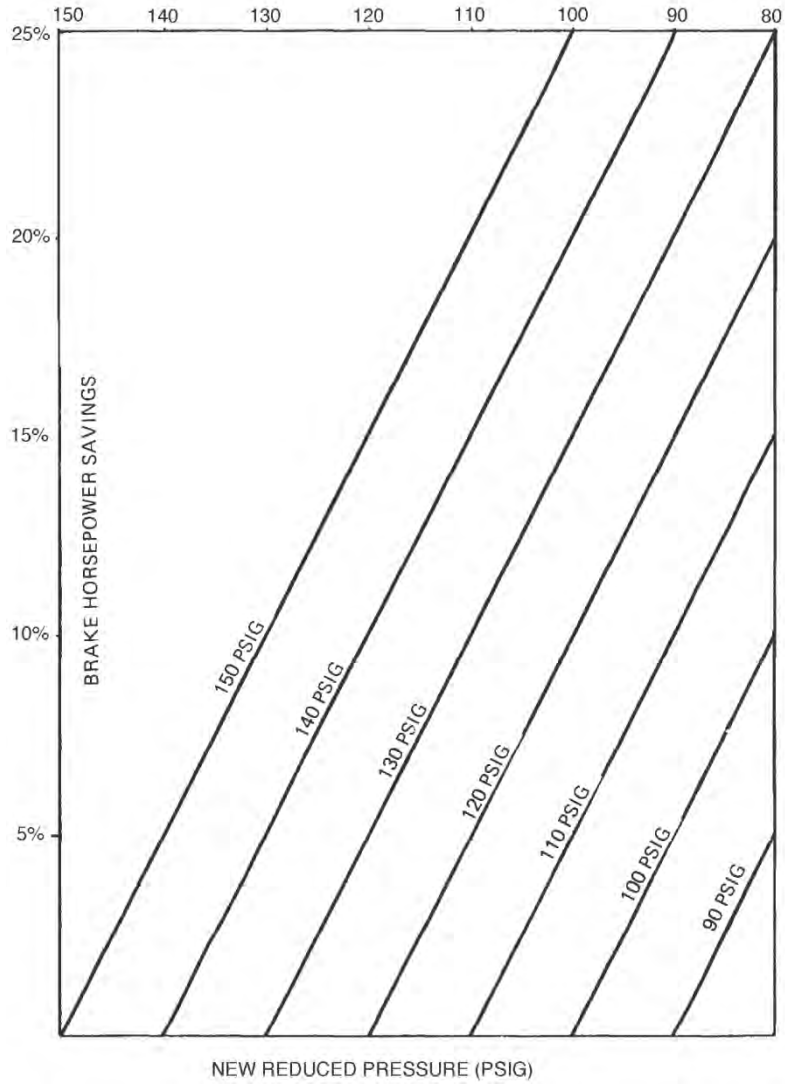
[1] *Pneumatic control*

بازدهی کلی سیستم هوای فشرده به سه مرحله بستگی دارد؛ تولید، توزیع و مصرف. در طول فرآیند ممیزی، ارزیابی هر یک از مراحل، جهت تعیین کارایی و پتانسیل بهبود بازدهی انرژی سیستم هوای فشرده از اهمیت خاصی برخوردار است.

به‌منظور بهینه‌سازی و کاهش مصرف سیستم‌های هوای فشرده می‌توان راهکارها و روش‌های گوناگونی را با توجه به شرایط موجود و ساختار مجموعه‌ی تأسیساتی در پیش گرفت. بااین‌وجود، به‌منظور واضح‌سازی بیشتر موضوع به معرفی چند راهکار عمومی برای کاهش مصرف این سیستم‌ها پرداخته خواهد شد.

- کاهش دمای هوای ورودی: در برخی سیستم‌های تولید هوای فشرده، کمپرسور مجموعه، هوای ورودی را از محیط داخل و به‌ویژه از اتاق مکانیکی یا فضایی که در آن قرار دارد دریافت می‌کند. دمای این هوای ورودی ممکن است بالا بوده (۳۰°C و یا بالاتر) و احتمالاً از هوای محیط بیرون، گرم‌تر باشد. همان‌طور که می‌دانید، بالا رفتن دمای هوای ورودی به کمپرسور، افزایش کار موردنیاز برای تأمین یک نسبت فشار معین و در پی آن افزایش مصرف انرژی الکتریکی را در پی دارد. نصب لوله‌هایی برای اتصال کمپرسور به بیرون، راهکار ساده‌ای جهت کاهش دمای هوای ورودی کمپرسور است؛ که درنتیجه‌ی این راهکار، کمپرسور هوای سردتر محیط را دریافت می‌کند. برای اطمینان از این‌که هوای محیط بیرون تا زمان رسیدن به کمپرسور خنک باقی می‌ماند، باید لوله‌ها عایق‌بندی شوند.
- کاهش فشار خروجی: زمانی که بیشینه‌ی فشار موردنیاز همه‌ی تجهیزات مصرف‌کننده‌ی نهایی موجود، به شکل قابل‌توجهی کمتر از فشار هوای تحویلی سیستم هوای کمپرسور است؛ پیشنهاد می‌شود که برای کاهش مصرف انرژی کمپرسور، فشار خروجی کاهش یابد. تخمین‌ها نشان می‌دهد که برای هر ۱۵kPa فشار خروجی بیشتر، به میزان ۱٪ انرژی ورودی بیشتری برای کمپرسور موردنیاز است.

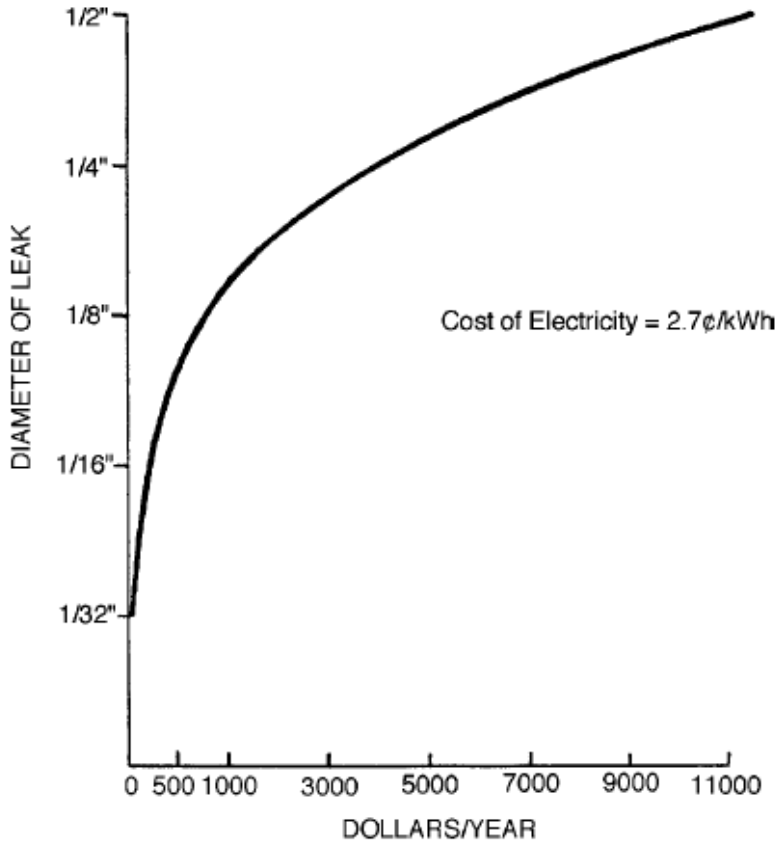
فشارهای خروجی بیشتر از اندازه‌ی نیاز، اثرات مخرب دیگری نیز روی سیستم‌های هوای فشرده دارند. فشار مازاد، موجب افزایش تلفات هوای فشرده از طریق نشتی می‌شود.



نمودار ۹- ٦: میزان کاهش توان ترمزی موردنیاز حاصل از کاهش فشار سیستم

- تعمیر نشتی‌های هوا: وجود نشتی در سیستم توزیع، منجر به هدر رفتن هوای فشرده و همچنین انرژی لازم جهت کارکرد سیستم هوای فشرده می‌شود. بعدازآن که نشتی‌ها شناسایی‌شده و اندازه‌های آن‌ها مشخص شد، پیشنهاد می‌شود که در اولین زمان ممکن تعمیر شوند.

باید اشاره شود که حتی در زمان‌هایی که تجهیزات مصرف‌کننده‌ی نهایی در حال کار نیستند، امکان نشتی هوای فشرده وجود دارد؛ چراکه هنوز هوا در سیستم توزیع وجود دارد. افزون بر این، همان‌طور که پیش‌ازاین نیز مطرح شد، افزایش فشار علاوه بر هدر دادن انرژی الکتریکی، میزان هوای اتلافی از نشتی‌ها را افزایش می‌دهد.



نمودار ۹- ۷: تلفات هزینه‌ی ناشی از ضخامت‌های گوناگون نشتی در سیستم هوای تحت‌فشار ۱۰۰ psi

فصل دهم

سیستم‌ها و تجهیزات سرمایشی، ممیزی و راهکارها

چکیده

در ادامه‌ی مباحث چهار فصل گذشته و با توجه به گستردگی، پیچیدگی و اهمیت سیستم‌ها و تجهیزات سرمایشی، در این فصل به تشریح روند ممیزی این سیستم‌ها پرداخته خواهد شد.

در ابتدا پس از معرفی ویژگی‌های سیستم‌های سرمایشی مرکزی و بیان تأثیر عوامل گوناگون بر جهت‌گیری نهایی مجموعه، به بررسی پارامترهای مؤثر در ارزیابی کیفیت و انتخاب سیستم‌های سرمایشی و تشریح راهکارهای عمومی اثرگذار در ارتقا کیفیت کارکرد این سیستم‌ها می‌پردازیم. در ادامه با توجه به گستره‌ی وسیع بهره‌برداری از سیستم‌های تهویه مطبوع انبساط مستقیم مجزا در مورد راهکارها و روش‌های بهبود عملکرد این سیستم‌ها و در بخش پایانی نیز پیرامون سیستم‌های نوین و مکمل اثربخش در ارتقا کیفیت کارکرد مجموعه‌های سرمایشی بحث خواهد شد.

همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز اشاره شد، هدف اصلی به‌کارگیری سیستم‌های تهویه مطبوع، فراهم آوردن شرایطی است که ازنظر رطوبت، دما، سرعت جریان هوا و میزان آلاینده‌ها موردتوجه طراحان و ساکنین است. حال چنانچه سیستم به هر دلیلی در شرایط مساعد کار نکند افزون بر آنکه در تأمین شرایط مطلوب دچار مشکل خواهد شد، افزایش مصرف انرژی را نیز در پی خواهد داشت.

در ادامه‌ی مباحث مطرح‌شده در چهار فصل گذشته و با توجه به گستردگی و پیچیدگی تجهیزات و سیستم‌های سرمایشی و نقش اثرگذار این سیستم‌ها در وضعیت مصرف، به معرفی بیشتر سیستم‌های سرمایشی و برخی مفاهیم وابسته با محوریت ممیزی و راهکاریابی برای سیستم‌های سرمایشی مرکزی و واحدهای اسپلیت پرداخته می‌شود. در بخش پایانی فصل نیز سیستم‌های نوین و مکمل‌های مؤثر در ارتقا کیفیت کارکرد مجموعه‌های سرمایشی موردبحث قرار خواهد گرفت. با توجه به این‌که مفاهیم اولیه و تجهیزات و سیستم‌های سرمایشی در فصل ششم معرفی‌شده‌اند، در این فصل به شرح مجدد این مباحث پرداخته نخواهد شد.

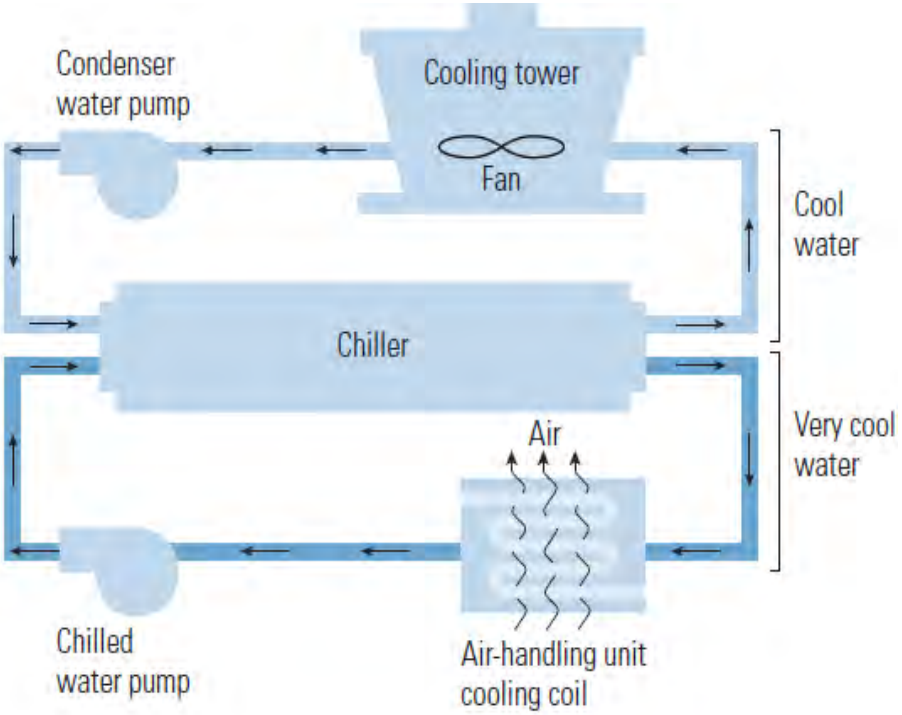
آمار و ارقام موجود نشانگر آن است که حدود ۶۰ درصد مصرف انرژی الکتریکی بخش خانگی در فصول گرم سال مربوط به کارکرد سیستم‌ها و تجهیزات سرمایشی است. از طرفی با توجه به افزایش چشمگیر تقاضاهای انرژی الکتریکی در فصل گرما و به‌کارگیری برندهای نامعتبر، بهره‌برداری غیراصولی و عدم توجه به تعمیر و نگهداری پیوسته‌ی تجهیزات، نیاز به شناخت صحیح و همه‌جانبه‌ی سیستم‌های سرمایشی و آشنایی با روند اثربخش ممیزی این سیستم‌ها احساس می‌شود.

۱۰-۱) سیستم‌های سرمایشی مرکزی

سیستم‌های سرمایشی مرکزی با هدف تأمین نیاز سرمایشی بخش‌های گوناگون ساختمان و در طرح‌ها و ساختارهای شبکه‌ای گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرند (به فصل ششم مراجعه شود).

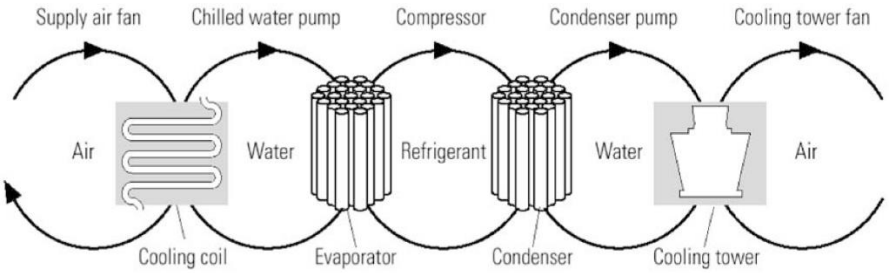
غالباً این سیستم‌ها گزینه‌ی موردعلاقه‌ی طراحان در ساختمان‌ها و مجموعه‌های بزرگ تأسیساتی هستند. آمار نشانگر آن است که حدود ۲۰ درصد ساختمان‌های تجاری آمریکا و حدود ۴۰ درصد ساختمان‌های بزرگ‌تر از ۱۰۰۰۰۰ فوت مربع این کشور از سیستم‌های سرمایش مرکزی بهره می‌برند.

تصویر ۱۰-۱ شماتیک ساده‌ای از یک سیستم سرمایشی مرکزی که به همراه مجموعه‌ی هواساز به کار رفته است را نمایش می‌دهد.



تصویر ۱۰- ۱: نمایه‌ای ساده از سیستم سرمایشی مرکزی

به‌منظور درک بهتر مجموعه و طرح سناریوهای سودمندتر و اثربخش‌تری در فرآیند آنالیز و ارزیابی سیستم‌های سرمایش مرکزی، می‌توان این سیستم‌ها را مشابه تصویر ۱۰-۲ به زیرگروه‌هایی تقسیم کرد.



تصویر ۱۰- ۲: بخش‌های اصلی سیستم‌های سرمایشی مرکزی

در تصویر فوق حرارت از سمت چپ به راست و درواقع از فضای درون ساختمان به محیط پیرامون آن جریان می‌یابد. اگرچه انتخاب مناسب و کارکرد صحیح یکایک بخش‌های سیستم فوق بر کارایی مناسب مجموعه اثرگذار است، ممیزی و ارزیابی چیلر و در مرتبه‌ی بعدی آن برج خنک‌کن بیش از تمامی بخش‌های دیگر حائز اهمیت است.

زیاد بودن تعداد بخش‌ها و اجزا سیستم سرمایش مرکزی، گوناگونی و پیچیدگی تجهیزات، گستردگی حوزه‌ی نیازمند بررسی و تنوع بالای تجهیزات و سیستم‌های کنترلی سبب شده است که از یک‌سو، ممیزی و ارزیابی این سیستم‌ها دچار پیچیدگی و دشواری منحصربه‌فردی شده و از سوی دیگر راهکارهای کاهش مصرف متنوع و گوناگونی پیش‌روی فرد ممیز قرار گیرد. بااین‌حال، فاکتور بسیار مهمی که درواقع مسیر و سمت‌وسوی فرآیند ممیزی را تعیین می‌کند، آن است که ارتقاء وضعیت یک بخش از مجموعه‌ی سرمایشی، لزوماً بهبود وضعیت کارکرد سیستم نیست. چراکه هر تغییری، اثراتی را در بخش‌های دیگر به همراه دارد؛ که این اثرات می‌توانند برآیندی مثبت یا منفی به همراه داشته و موجب ارتقا یا افت عملکرد مجموعه شوند.

بررسی یک نمونه

طی آنالیز سیستم سرمایشی یک ساختمان در یک فرآیند ممیزی انرژی، پیشنهاد شده است که به‌منظور ارتقا بازدهی چیلر، کندانسور دو پاس مجموعه با یک کندانسور چهار پاس جایگزین شود. بررسی‌های انجام‌شده، نشانگر آن است که در صورت اجرای این راهکار، انرژی مصرفی برای تأمین هر تن تبرید، از $۰/۶۲kW$ به $۰/۶kW$ کاهش می‌یابد که خود به‌تنهایی تأثیر مثبتی است. در سوی مخالف، جایگزینی سیستم چهار پاس در مجموعه،

افزایش افت فشار به میزان تقریبی ۳۰ فوت (۹ متر) را در پی خواهد داشت که موجب افزایش مصرف سیستم پمپاژ می‌گردد. البته بااین‌وجود نیز نتیجه‌ی کلی جایگزینی در شرایط کارکرد در ۱۰۰ درصد ظرفیت مثبت خواهد بود (اگرچه صرفه‌ی انرژی قابل‌توجهی نداشته و ازنظر اقتصادی نیز مقرون‌به‌صرفه نیست). نکته‌ای که اثربخشی این راهکار را تعیین می‌کند آن است که در سیستم موردبررسی، چیلر عموماً در ظرفیتی معادل ۷۵ درصد ظرفیت کل کار می‌کند که موجب می‌گردد جایگزینی پیشنهادی نه‌تنها مفید نبوده، بلکه افزایش مصرف بیش‌ازپیش سیستم را به همراه داشته باشد (جدول ۱۰-۱).

جدول ۱۰ -۱: نتایج حاصل از اجرای راهکار پیشنهادی بر عملکرد مجموعه

	Post-conversion power consumption	
Component	Full load (kW)	75٪ load (kW)
Chiller	-8.80	-6.60
Pumps	8.60	8.60
Chiller + Pumps	-0.20	2.00

همان‌طور که مشاهده شد ارائه‌ی یک راهکار به‌ظاهر سودمند، بدون توجه به نتایج حاصل از اجرا در راندمان کلی سیستم، نه‌تنها ممکن است اثرات مثبتی را به همراه نداشته باشد، بلکه امکان دارد منجر به افت کارایی و افزایش مصرف سیستم شود.

بررسی‌ها و تجارب موجود نشانگر آن است که تحلیل کامل و همه‌جانبه‌ی اثرات حاصل از اجرای راهکارهای پیشنهادی، غالباً دربرگیرنده‌ی جوانب گوناگون و معادلات و روابط پیچیده‌ای است که تحلیل را دشوار و طاقت‌فرسا می‌کند. برای رفع این مشکل و تصمیم‌گیری سریع‌تر و اثربخش‌تر، استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی نظیر Energy plus, eQuest و ... ضروری به نظر می‌رسد.

۱۰-۲) آشنایی با پارامترهای مؤثر در ارزیابی کیفیت کارکرد و انتخاب سیستم‌های سرمایشی

فرآیند انتخاب چیلر با محاسبه‌ی بارهای سرمایشی ساختمان آغازشده و تعیین نوع و ساختار آن بر مبنای بزرگی بار، نظر طراح، منابع در دسترس و قیمت حامل‌های انرژی صورت می‌پذیرد.

به‌عنوان یک روش کلی می‌توان ظرفیت سرمایشی چیلر را به کمک رابطه‌ی ۱۰-۱ تعیین کرد.

$$\mathrm{TR} = \frac{Q.C_p.\left(T_i - T_o\right)}{۳۰۲٤}$$ رابطه‌ی ۱۰-۱

TR: ظرفیت سرمایشی برحسب تن تبرید ($1TR$ =۳۰۲۴ $kCal/h$)

Q: دبی جرمی مبرد *(kg/hr)*

C_p: گرمای ویژه سرد $kCal/_{kg.°C}$

T_i: دمای ورودی سرد از اواپراتور (°C)

T_o: دمای خروجی سرد از اواپراتور (°C)

عموماً برای آنکه معیار واضحی از وضعیت کارکرد چیلر مطرح شود، پارامتری با عنوان «توان مصرفی ویژه» تعریف‌شده و به‌صورت میزان توان مصرفی برای تأمین هر تن تبرید (kW/TR) مطرح می‌گردد.

در یک سیستم سرمایش مرکزی که از چیلر تبرید تراکمی بهره می‌برد، افزون بر توان مصرفی کمپرسور، توان دیگری نیز در بخش پمپاژ آب سرد تولیدشده، آب کندانسور و فن‌های برج خنک‌کننده مصرف می‌شود که یکایک این مصرف‌کننده‌ها و توان مصرفی مربوط به هر یک از آن‌ها باید در فرآیند ممیزی و آنالیز سیستم مورد ارزیابی قرار گیرند (تمامی مقادیر مذکور می‌توانند به‌صورت توان مصرفی ویژه (kW/TR) معرفی شوند).

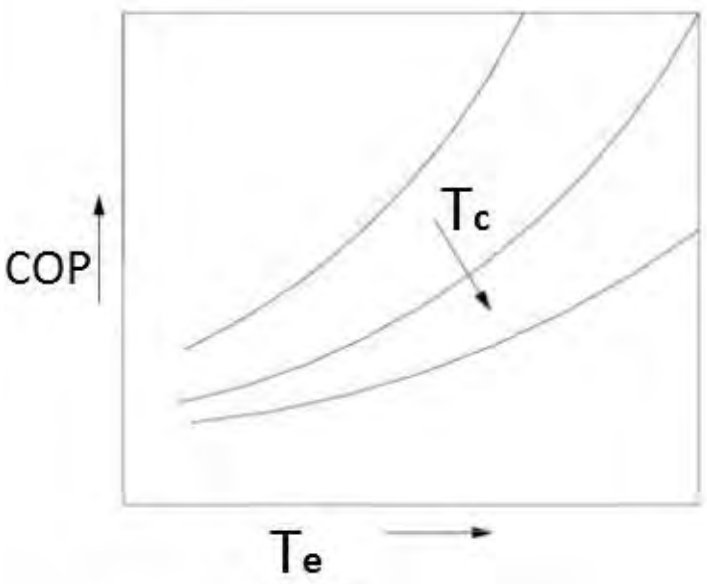
«ضریب عملکرد[1]» پارامتر آشنایی است که به‌عنوان معیاری از کیفیت کارکرد سیستم‌های سرمایشی مطرح می‌شود. درواقع می‌توان گفت که طبقه‌بندی سطوح مصرفی تجهیزات

[1] Coefficient Of Performance (COP)

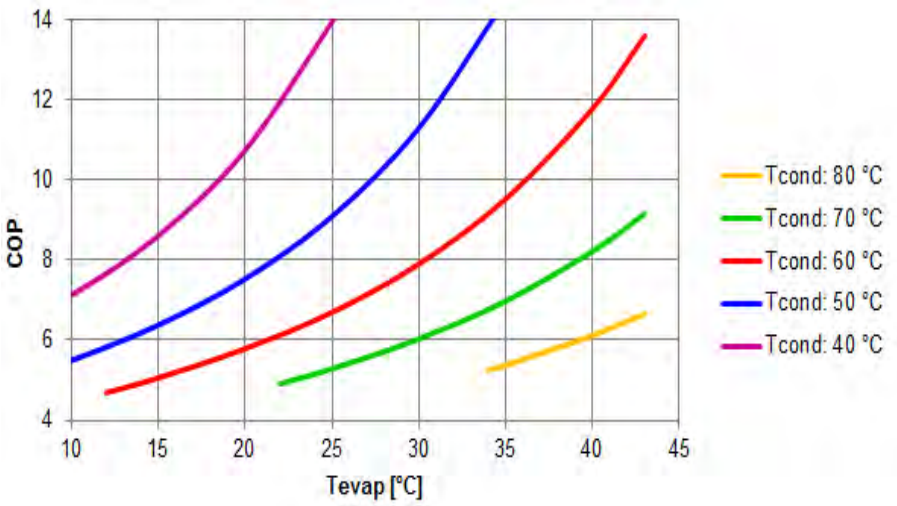
سرمایشی بر مبنای همین ضریب عملکرد صورت می‌پذیرد. به‌منظور تعیین ضریب عملکرد چیلرهای تراکمی می‌توان از رابطه‌ی زیر بهره برد.

رابطه‌ی ۱۰-۲

$$COP = \frac{\text{اثر سرمایشی (گرمای مبادله شده در اواپراتور)}}{\text{توان ورودی به کمپرسور}}$$



تصویر ۱۰- ۳: تأثیر دمای اواپراتور (T_e) و دمای کندانسور (T_c) بر COP چیلر تراکمی



نمودار ۱۰- ۱: تأثیر دمای اواپراتور بر COP چیلر تراکمی در دماهای کندانس متفاوت

در بررسی وضعیت چیلرها و سیستم‌های سرمایشی، ممکن است با پارامتر دیگری با عنوان «نسبت بازدهی انرژی[1]» مواجه شوید که این پارامتر به‌صورت نسبت اثر سرمایشی (برحسب Btu /hr) به توان ورودی کمپرسور (برحسب Watt) تعریف می‌شود.

$$EER = ۳/۴۱۳ \times COP$$ رابطه‌ی ۱۰-۳

لازم به ذکر است که EER تعریف‌شده در رابطه‌ی فوق مخصوص صنعت تهویه مطبوع ایالات‌متحده آمریکا بوده و نسبت بازدهی انرژی در اروپا به شیوه‌ای دیگر و دقیقاً مانند ضریب عملکرد معرفی می‌شود.

سه پارامتری که تاکنون موردبررسی قرار گرفت؛ می‌توانند با به‌کارگیری رابطه‌ی زیر به هم مربوط شوند.

$$\frac{kW}{ton} = \frac{۳/۵۱۶}{COP} = \frac{۱۲}{EER}$$ رابطه‌ی ۱۰-۴

همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز اشاره شد بازدهی سیستم سرمایشی تحت شرایط بار جزئی تغییر می‌کند. ازآنجایی‌که سیستم‌های سرمایشی در طول سال تحت شرایط بار جزئی کار می‌کنند، ضرایب بازدهی انرژی دیگری جهت تخمین بهتر عملکرد انرژی واحدهای سرمایشی در گستره‌ی وسیعی از شرایط عملکردی پیشنهادشده است.

یکی از این پارامترهای سنجش بازدهی انرژی، «مقدار بار جزئی یکپارچه[2]» است که با احتساب اثر تغییرات کیفیت کارکرد در ظرفیت‌های گوناگون و به شیوه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$IPLV = ۰,۰۱\times A + ۰,۴۲\times B + ۰,۴۵\times C + ۰,۱۲\times D$$ رابطه ۱۰-۵

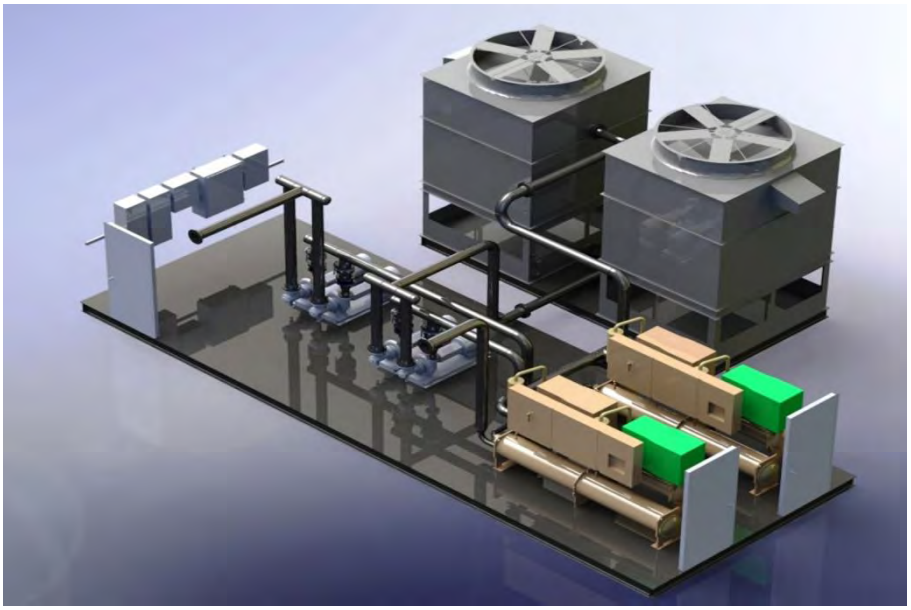
- A: COP یا EER در ۱۰۰٪ بار
- B: COP یا EER در ۷۵٪ بار
- C: COP یا EER در ۵۰٪ بار
- D: COP یا EER در ۲۵٪ بار

طراحی‌های مربوط به سالیان گذشته غالباً نشانگر آن است که در تأسیساتی که از چند چیلر استفاده شده، تمامی چیلرها به‌صورت مشابه و در ظرفیت‌هایی یکسان

[1] *Energy Efficiency Ratio (EER)*

[2] *Integrated Part Load Value (IPLV)*

انتخاب‌شده‌اند. تنها استدلال این روش طراحی، کاهش پیچیدگی‌های طراحی و بهره‌برداری و عدم توانمندی سیستم‌های کنترلی موجود در کنترل صحیح و اثربخشی چیلرهای با ظرفیت گوناگون بوده است. توسعه و پیشرفت تجهیزات و روش‌های کنترلی و رواج یافتن «کنترل‌های مستقیم دیجیتالی[۲،۱]»، دیگر توجیه چندانی برای در پیش گرفتن رویه‌ی سابق باقی نمی‌گذارد و برای اکثر ساختمان‌ها، خصوصاً ساختمان‌های تجاری و اداری استفاده از دو چیلر در ظرفیت‌های گوناگون توصیه می‌شود. تجربه نشانگر آن است که استفاده از دو چیلر با ظرفیت ۴۰ درصد و ۶۰ درصد ظرفیت موردنیاز می‌تواند بهره‌وری قابل‌توجهی را فراهم کند. درواقع می‌توان گفت که این اقدام علاوه بر این‌که توان مصرفی سیستم در حال عملکرد را کاهش می‌دهد، به دلیل کارکرد در ظرفیتی نزدیک‌تر به ظرفیت کل چیلر، منجر به ارتقا راندمان می‌گردد.



تصویر ۱۰- ٤: چیلرهای مدولار

[1] *Direct Digital control (DDC)*

[۲] *برای کسب اطلاعاتی جامع در این زمینه، می‌توانید به کتاب زیر مراجعه کنید.*

Michael J. Coffin. Direct Digital Control for Building HVAC Systems. Springer US, 1999.

۱۰-۳) آشنایی با راهکارهای عمومی ارتقا کیفیت کارکرد سیستم‌های سرمایش مرکزی

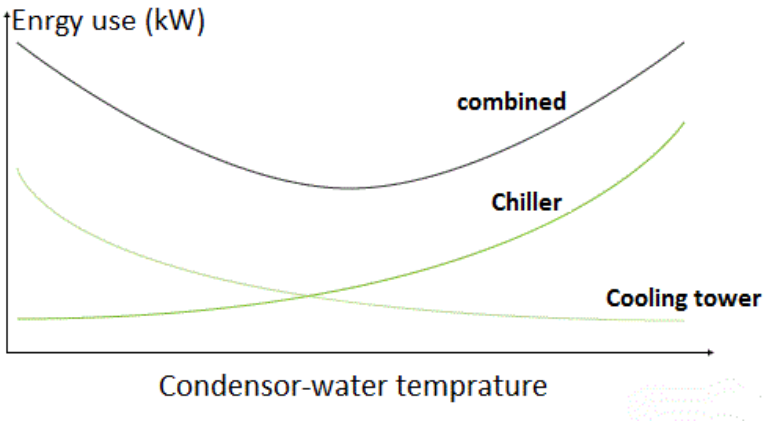
همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز اشاره شد، در فرآیند ممیزی سیستم‌های سرمایشی، راهکارهای گوناگونی پیشِ روی فرد ممیز قرار دارد که انتخاب یک یا چند راهکار مؤثر نهایی، با توجه به جوانب امر و جهت‌گیری نهایی مجموعه صورت می‌پذیرد. بااین‌وجود در این بخش به معرفی برخی راهکارها و استراتژی‌های مؤثر در کاهش مصرف و ارتقا وضعیت کارکرد سیستم‌های سرمایشی پرداخته خواهد شد.

- **مانیتورینگ پیوسته‌ی شرایط هوای خارج و تنظیم دمای آب سرد تولیدی بر مبنای این شرایط**

این استراتژی منجر به تطابق بیشتر دمای آب سرد تغذیه به سیستم با بار سرمایشی موجود می‌شود. لازم به ذکر است که این قابلیت در عموم چیلرهای جدید موجود بوده و متأسفانه اغلب توسط اپراتورهای تأسیساتی به حالت غیرفعالی درآورده می‌شود.

- **مانیتورینگ پیوسته‌ی شرایط هوای خارج و تنظیم دمای آب کندانسور بر مبنای این دما**

افزایش دمای آب کندانسور منجر به کاهش توان مصرفی برج‌های خنک‌کن از یک‌سو و افزایش توان مصرفی چیلر از سوی دیگر می‌شود؛ بنابراین دمای مناسب آب کندانسور، دمایی است که برآیند دو اثر مثبت و منفی ایجادشده را در بهینه‌ترین حالت ممکن قرار می‌دهد. مقادیر دمای مؤثر می‌تواند از پیش تعین شده و با توجه به شرایط موجود در مقدار مناسب قرار گیرد.



نمودار ۱۰- ۲: تأثیر دمای آب کندانسور بر مصرف انرژی چیلر و برج خنک‌کن

- **مانیتورینگ پیوسته‌ی ظرفیت بهره‌برداری چیلرها**

این استراتژی می‌تواند منجر به روشن و خاموش شدن هر یک از چیلرها در زمان مناسب و ایجاد امکان بهره‌برداری در محدوده حداکثر راندمان شود.

بررسی یک نمونه

به‌منظور سرمایش یک ساختمان اداری به مساحت ۱۶۲۹۳۰ فوت مربع از دو چیلر سانتریفیوژ ۲۰۰ تنی استفاده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در غالب اوقات هر دو چیلر در ظرفیتی پایین‌تر از ۴۵ درصد ظرفیت کل کار می‌کند. طی انجام یک فرآیند ممیزی پیشنهاد شده است که به‌جای استفاده از هر دو چیلر از یکی از آن‌ها و در ظرفیتی معادل ۹۰ درصد ظرفیت کلی استفاده شود.

محاسبات نشانگر آن است که این اقدام کاهش تقریبی ۵ درصدی مصرف را در پی خواهد داشت که در یک دوره‌ی یک‌ساله منجر به صرفه‌جویی ۳۴۵۰۰ کیلووات ساعت انرژی به ارزش ۲۸۰۰ دلار می‌گردد (با احتساب نرخ $۰/۰۸$ دلار / کیلووات ساعت).

چنانچه به محاسبات مذکور مقادیر صرفه‌جویی حاصل از خاموش کردن پمپ‌های آب کندانسور و آب سرد تولیدی افزوده شود، میزان صرفه‌جوی سالانه به ۴۸۶۰۰ کیلووات ساعت و معادل با ۳۹۰۰ دلار افزایش خواهد یافت.

- **جرم‌گیری و رسوب‌زدایی دوره‌ای و منظم لوله‌ها و تجهیزات**

بهره‌برداری و کارکرد سیستم‌های سرمایشی می‌تواند منجر به شکل‌گیری جرم و رسوب در سطوح انتقال شود. این پدیده علاوه بر آنکه افزایش افت فشار را در پی دارد، سبب کاهش سطح مفید انتقال گرما و افزایش مقاومت حرارتی سطح می‌گردد. تصفیه‌ی اصولی آب مورداستفاده در مجموعه به روش‌هایی نظیر تصفیه‌ی شیمیایی و عملیات ازون می‌تواند اثر رسوب‌گذاری را تا حدودی کاهش دهد.

رسوب‌زدایی اتوماتیک روش دیگری است که می‌تواند تا حد زیادی مؤثر واقع شود. در این روش برس‌های نایلونی با ساختاری خاص و ابعادی که اندکی بزرگ‌تر از قطر لوله‌هاست با جریان آب در مسیر لوله‌ها حرکت کرده و منجر به تمیزکاری سطوح می‌شود.

جدول ۱۰- ۲ نمونه‌ای از تأثیر رسوب‌گیری کندانسور و اواپراتور بر کیفیت کارکرد یک سیستم سرمایشی را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۰ -۲: اثر رسوب گرفتگی اواپراتور و کندانسور بر توان مصرفی ویژه

Condition	Evap. Temp (°C)	Cond. Temp (°C)	Refrigeration Capacity (tons)	Specific Power Consumption (kW /Ton)	Increase in (kW /ton) (٪)
Normal	7.2	40.5	17.0	0.69	-
Dirty condenser	7.2	46.1	15.6	0.84	20.4
Dirty evaporator	1.7	40.5	13.8	0.82	18.3
Dirty condenser and evaporator	1.7	46.1	12.7	0.96	38.7

- **پیشگیری از تجمع جرم و رسوب در برج‌های خنک‌کن**

خوردگی و تجمع رسوبات و جلبک‌ها موجب کاهش سطوح مفید، افت راندمان تبادل حرارت، انتقال رسوب به دیگر بخش‌های مجموعه و تحمیل هزینه‌های رسوب‌زدایی به تأسیسات می‌شود.

- **بازنگری در وضعیت شیرهای مجموعه‌ی تأسیساتی**

جایگزینی شیرهای موجود در مجموعه با نمونه‌های دارای اصطکاک پایین‌تر می‌تواند منجر به کاهش مصرف سیستم پمپاژ و انرژی اتلافی اصطکاکی تحمیلی در قالب حرارت بر چیلر شود. ازآنجایی‌که کنترل جریان در شیر طی تحمیل افت فشار بر جریان صورت می‌پذیرد، استفاده از سیستم‌های کنترلی دور متغیر و پمپ‌های چندمرحله‌ای و دارای قابلیت تنظیم، می‌تواند منجر به کنترل هدفمندانه‌تر جریان گردد تا بتوان برخی شیرها را از مدار حذف کرد و یا این‌که آن‌ها را به‌صورت مداوم در وضعیت تمام باز قرار داد.

- **عایق‌بندی لوله‌های انتقال آب سرد تولیدی**

این استراتژی منجر به کاهش میزان جذب حرارت از فضای پیرامون لوله‌های انتقال آب سرد و جلوگیری از اتلاف انرژی مصرف‌شده در چیلر می‌گردد.

- **کنترل پمپ‌های آب سرد تولیدی به‌وسیله‌ی محرکه‌های دور متغیر**

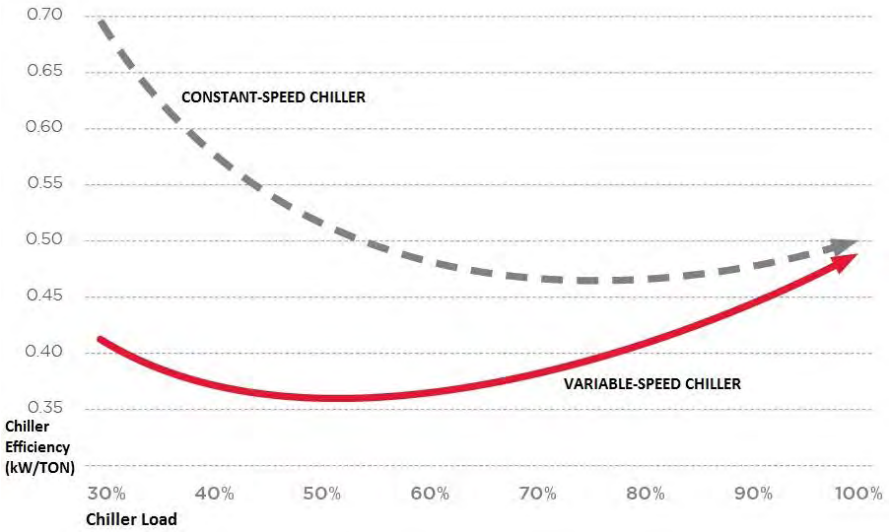
سیستم‌های «محرکه‌ی دور متغیر[1]» می‌توانند تضمین‌کننده‌ی آن باشند که پمپ‌ها در شرایط بار جزئی در بیشینه‌ی راندمان خود کار می‌کنند. در پمپ‌ها نیز همانند فن‌ها توان موردنیاز برای به کار انداختن موتور پمپ متناسب با توان سوم سرعت گردش است. به‌عنوان‌مثال در یک پمپ مجهز به سیستم VSD، کاهش باری که کاهش ۱۰ درصدی سرعت موتور را در پی داشته باشد، می‌تواند به پایین آمدن ۲۷ درصدی مصرف انرژی منجر شود (۰/۹) ^{3} =۰/۲۷ -۱). البته در به‌کارگیری سیستم‌های محرکه‌ی دور متغیر باید همواره توجه داشت که دبی سیال از محدوده‌ی مجاز و ایمن خارج نشود. چنانچه استراتژی استفاده از پمپ‌های دارای محرکه‌ی دور متغیر با بار تنظیم دمای آب سرد تولیدشده توسط چیلر همراه

[1] *Variable Speed Drives (VSD)*

شود؛ افزون بر آن‌که به‌خوبی پاسخگوی نیاز سرمایش فضاها خواهد بود، کاهش مصرف قابل‌توجهی را نیز در پی خواهد داشت.

- **ارتقا کمپرسور چیلرها و بازنگری در انتخاب کمپرسور**

استفاده از محرکه‌های دور متغیر کمپرسورهای سانتریفیوژ، امکان کارکرد در سرعت‌های پایین به هنگام شرایط بار جزئی را فراهم می‌کند؛ تا به‌این‌ترتیب فرصت دستیابی به راندمان‌هایی بالاتر از راندمان حاصل از سیستم‌های کنترلی متداول چیلرهای سانتریفیوژ فراهم شود. لازم به ذکر است که استفاده از محرک‌های دور متغیر در تأسیساتی که غالب اوقات در ظرفیت خیلی پایین کار می‌کنند (حدود ۱۰ درصد ظرفیت کل)؛ ممکن است ازنظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نباشد. در چنین مواردی بهره‌گیری از یک چیلر کوچک مجزا انتخاب معقول‌تری به شمار می‌رود.



نمودار ۱۰- ۳: نمونه‌ای از تأثیر محرکه‌ی دور متغیر بر توان مصرفی ویژه

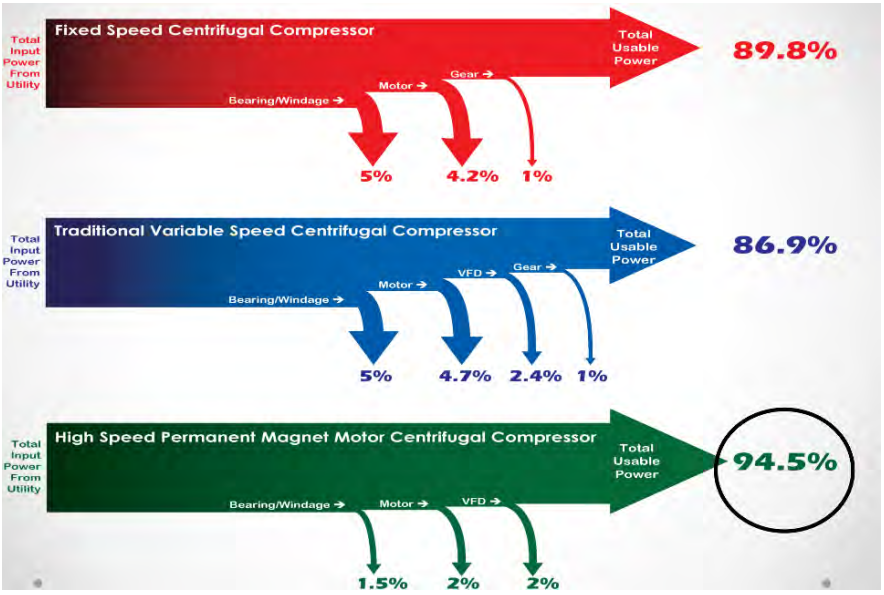
کمپرسورهای دارای «یاتاقان مغناطیسی[1]»، نسل جدیدی از کمپرسورها هستند که در یاتاقان آن‌ها هیچ‌گونه تماس مکانیکی وجود ندارد و بنابراین می‌توانند یک شفت دوار را بدون هیچ‌گونه خوردگی مکانیکی به حرکت درآورند. در این نوع یاتاقان‌ها نیازی به روانکاوی

[1] *Magnetic Bearings*

هم وجود ندارد و بنابراین از تمیزی ویژه‌ای برخوردار هستند. بررسی‌ها نشانگر آن است که استفاده از کمپرسورهای دارای یاتاقان مغناطیسی (خصوصاً در ظرفیت‌های پایین‌تر از ۳۰۰ تن تبرید) می‌تواند گزینه‌ای بسیار مناسب برای ارتقا و بهبود راندمان چیلر باشد.



تصویر ۱۰- ۵: کمپرسور دارای یاتاقان مغناطیسی



تصویر ۱۰- ٦: مقایسه‌ی بازدهی حاصل از کمپرسورهای دور ثابت، دور متغیر و دارای یاتاقان مغناطیسی در یک ظرفیت معین

بررسی یک نمونه

طی ازکارافتادن یکی از کمپرسورهای یک سیستم سرمایشی با ظرفیت ۸۸ تن تبرید که از دو کمپرسور رفت و برگشتی در طراحی آن استفاده شده بود. یک کمپرسور دارای یاتاقان مغناطیسی به ظرفیت ۸۰ تن تبرید، جایگزین هر دو کمپرسور شد. نتایج حاصل نشانگر آن بوده است که این جایگزین منجر به کاهش مصرف kW/ton ۴۱/ شده و دوره‌ی بازگشت سرمایه‌ی ۴/۵ ساله و صرفه‌ی اقتصادی سالانه ۸۰۰۰ دلار (با احتساب به نرخ $\frac{\text{دلار}}{\text{کیلووات ساعت}}$ ۰/۰۸) را در پی داشت.

- **استفاده از استارتر نرم[1] در چیلرهای فاقد محرکه‌ی دور متغیر**

راه‌اندازی موتورهای القایی به هنگام اتصال مستقیم به خط تغذیه، منجر به ایجاد گشتاور زیادی شده که موجب شکل‌گیری جریان هجومی و وارد آمدن دیگر آسیب‌های الکتریکی و مکانیکی نظیر فرسودگی تسمه، پولی‌ها، چرخ و زنجیرها، کوپلینگ‌ها و یاتاقان‌ها و درنهایت کاهش طول عمر قطعات می‌گردد.

سافت استارتر یا راه‌انداز نرم یک تجهیز الکترونیکی است که به‌منظور شتاب‌گیری و شتاب‌دهی (راه‌اندازی و توقف) موتورهای القایی سه فاز با کنترل ولتاژ اعمال‌شده به موتور در زمان راه‌اندازی و توقف، طراحی‌شده‌اند. این سیستم‌ها می‌توانند تا حد زیادی مانع ایجاد جریان هجومی و گشتاور مکانیکی زیاد شده و دیگر اثراتی نظیر محدود کردن فرورفتگی ولتاژ، شتاب‌گیری و شتاب‌دهی نرم و بدون پله، کاهش میزان نقش اعمالی بر کوپلینگ‌ها و دیگر تجهیزات مکانیکی نظیر جعبه‌دنده‌ها، شفت‌ها، تسمه‌ها و ... را در پی داشته باشند.

درواقع می‌توان گفت باوجوداینکه استفاده از استارترهای نرم بر کاهش صدمات الکتریکی و مکانیکی و افزایش عمر مفید قطعات مؤثر است، نقش قابل‌توجهی در کاهش مصرف سیستم ندارد؛ اما از سوی دیگر ازآنجایی‌که اپراتورهای تأسیساتی به دلیل نگرانی از آثار مخرب راه‌اندازی و توقف پیاپی به سیستم اجازه می‌دهند تا پیوسته کار کند، با جایگزینی استارترهای نرم، امکان خاموش کردن دستگاه در زمان عدم لزوم فراهم می‌شود.

---

[1] *Soft Starter*

- **تعیین صحیح زمان نیاز به جایگزینی چیلر و اقدام برای جایگزینی**

در شرایطی که چیلر موجود در پایان عمر مفید خود قرار داشته و یا آنکه دچار خرابی‌ها و تعمیرات پی‌درپی شده باشد، توصیه می‌شود که از مدار خارج شود تا بر صرفه‌جویی حاصل از جایگزینی آن با یک چیلر دارای راندمان بالا، سرمایه‌گذاری گردد. جالب است بدانید که هزینه کارکرد سالانه‌ی یک چیلر، در شرایطی که در وضعیت مساعدی قرار نداشته باشد، می‌تواند به میزانی تا حدود ۴۰٪ قیمت چیلر برسد. با این حساب حتی یک کاهش مصرف کوچک، می‌تواند ثمرات قابل‌توجهی را در پی داشته باشد.

به‌عنوان‌مثال، پرداخت ۶ دلار اضافی برای هر $0/01 KW/_{ton}$ ارتقا عملکرد، در شرایطی که بخواهیم راندمان یک چیلر ۵۰۰ تنی را از $0/6 KW/_{ton}$ به $0/56 KW/_{ton}$ بهبود بخشیم؛ هزینه اولیه‌ی سیستم را به میزان ۱۲۰۰۰ دلار افزایش خواهد داد. در سوی مخالف، هزینه‌ی کارکرد سیستم در حدود ۳۰۰۰ دلار در سال کاهش می‌یابد؛ که طی دوره‌ی بازگشت سرمایه‌ی چهارساله جبران خواهد شد.

استراتژی جایگزینی در شرایطی که چیلر انتخاب‌شده بزرگ‌تر از حد نیاز باشد نیز، می‌تواند سودمند باشد.

- **باز مهندسی شرایط به هنگام جایگزینی و انتخاب مجدد چیلر**

شرایط باری سیستم، ممکن است به دلایلی نظیر تغییر کاربری ساختمان، افزودن تجهیزات جدید، اجرای راهکارهای کاهش مصرف در بخش‌های گوناگون، عدم انتخاب مناسب در زمان تجهیز اولیه و یا هر دلیل دیگری عیناً با ظرفیت چیلر موجود معادل نباشد؛ بنابراین به هنگام جایگزینی چیلر لازم است باز مهندسی صورت گیرد به این معنا که انتخاب مجدد چیلر باید طی محاسبه‌ی بار موجود و با توجه به شرایط پیش روی مجموعه انجام شود.

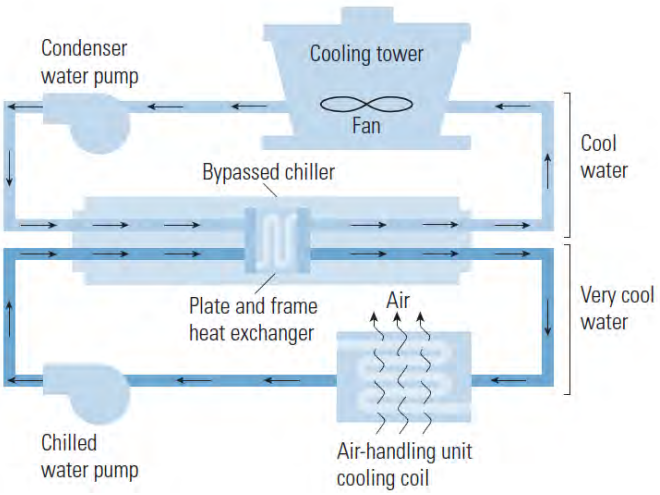
- **انتخاب مناسب چیلر یا مجموعه‌ی چیلرها با توجه به ظرفیت بهره‌برداری مجموعه**

همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز اشاره شد عملکرد چیلر تابعی از میزان بار، ظرفیت بهره‌برداری و دیگر شرایط مجموعه است. انتخاب چیلر، عموماً بر مبنای شرایط استاندارد و تمام بار صورت می‌پذیرد، درحالی‌که غالباً چیلرها در ظرفیتی میان ۴۰ تا ۷۰ درصد ظرفیت طراحی‌شده و شرایطی کاملاً متفاوت با شرایط تمام بار کار می‌کنند. بررسی جامعه‌ی آماری متشکل از ۲۱

مجموعه‌ی تأسیساتی در یک پژوهش[1] نشانگر آن بوده است که در ۱۱ مجموعه، حداقل یک چیلر در اکثر زمان‌ها در ظرفیتی پایین‌تر از ۵۰ درصد ظرفیت طراحی‌شده کار می‌کند؛ بنابراین انتخاب چیلر باید با نگاهی جامع‌تر و توجه به جمیع جوانب کارکردی سیستم صورت گیرد. استفاده از محرک‌های دور متغیر و مجموعه‌ی چیلرهای مدولار در ظرفیت‌های مناسب می‌تواند بسیار مفید و اثرگذار باشد.

- **استفاده از اکونومایزر در مجموعه‌های سرمایشی مرکزی**

اکونومایزرها مبدل‌های حرارتی (غالباً متعددی) هستند که باهدف بهبود وضعیت مصرفی سیستم‌های سرمایشی مطابق تصویر ۱۰- ۷ در مدار قرار می‌گیرد. در این سیستم‌ها به‌منظور پیش سرمایش آب موجود در شبکه و یا کاهش توان مصرفی چیلر تبادل حرارت میان آب جاری در مدار چیلر و آب موجود در مدار برج خنک‌کن صورت می‌پذیرد. در شرایطی که وضعیت هوای محیط بیرون در مجموعه‌ی معینی قرار داشته باشد، می‌توان چیلر را خاموش کرد تا تنها از آب خنک شده در برج خنک‌کن برای کاهش دمای آب موجود در مدار سرمایشی استفاده گردد. بررسی‌ها نشانگر آن است که استفاده از اکونومایزر در مجموعه‌های سرمایش مرکزی می‌تواند منجر به کاهش میزان مصرف تا ۷۵ درصد در اقلیم‌های سرد و خشک و تا حدود ۲۰ درصد در اقلیم‌های گرم شود.

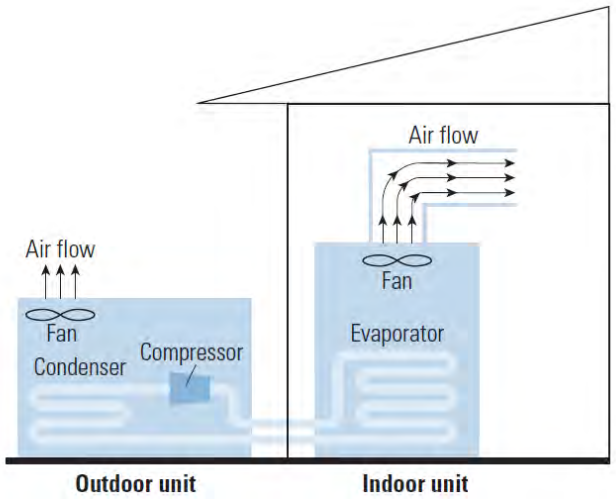


تصویر ۱۰- ۷: استفاده از اکونومایزر در سیستم سرمایش مرکزی

[1] *این مطالعه توسط کمپانی (SDG&E)* San Diego Gas & Electric *انجام‌شده است.*

۱۰-۴) آشنایی با راهکارهای عمومی ارتقا کیفیت کارکرد واحدهای تهویه مطبوع انبساط مستقیم

پیش‌ازاین در فصل ششم به معرفی انواع سیستم‌های تهویه مطبوع انبساط مستقیم و مشخصات و ویژگی‌های هر یک از آن‌ها پرداخته‌شده، ازآنجایی‌که استفاده از واحدهای تهویه مطبوع انبساط مستقیم مجزا (اسپلیت) در کشور ما نسبت به دیگر سیستم‌های تأمین‌کننده‌ی نیاز سرمایشی نظیر فن‌کویل و هواساز (حتی در ساختمان‌های بزرگ) متداول‌تر است در این بخش به معرفی تعدادی از راهکارهای مؤثر در کاهش مصرف این تجهیزات پرداخته خواهد شد.



تصویر ۱۰- ۸: واحد سرمایشی اسپلیت

- انتخاب ظرفیت سرمایشی کولر باید با توجه به خصوصیات فضا و در نظر گرفتن جمیع جوانب نظیر تعداد ساکنین، کاربری فضا، تأمین یا عدم تأمین هوای تازه و دیگر پارامترهای مؤثر بر بار برودتی صورت گیرد. متأسفانه غالباً مشاهده می‌شود که انتخاب و خریداری کولرهای گازی به‌صورت کاملاً تخمینی و بر پایه‌ی نظر فروشندگان این تجهیزات انجام می‌شود. جالب است بدانید که انتخاب نادرست ظرفیت، نه‌تنها منجر به آسیب رسیدن به کمپرسور می‌شود؛ بلکه افزایش مصرف تا حدود ۲۰ درصد را نیز در پی دارد.

- کولرهای گازی عموماً به سه کلاس کولرهای مناطق سردسیر (T1) معتدل (T2) و گرمسیر (T3) تقسیم‌بندی می‌شوند. انتخاب متناسب با آب‌وهوای محل زندگی می‌تواند تا کاهش ۱۰ درصدی مصرف انرژی اثرگذار باشد.
- پارامترهای گوناگونی نظیر رده‌ی انرژی، توان مصرفی، ظرفیت موردنیاز، سطح صدا، قدرت پرتاب باد، دارا بودن یا نبودن اینورتر، قیمت، گارانتی، خدمات و ... می‌تواند در انتخاب گزینه‌ی مناسب اثرگذار باشد. توصیه می‌شود که هنگام انتخاب، تمامی پارامترهای مؤثر را در جدولی برای برندهای گوناگون جمع‌آوری کنید تا به‌این‌ترتیب سنجش و انتخاب صحیح با شیوه‌ی ثمربخش‌تری صورت گیرد. جدول ۱۰- ۳ مقایسه‌ی برخی فاکتورهای موردنظر در انتخاب یک کولرگازی ۱/۵ تنی دیواری برای دو برند را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۰ -۳: نمونه‌ای از مقایسه‌ی دو کولرگازی دیواری هم‌ظرفیت در زمان خرید

	Weightage ٪	Daikin	Blue Star
Power Consumption	10	8.99	7.12
Total room-cooling effect	10	9.1	9.88
Dehumidification	5	3.65	4.78
Net total sensible effect	5	4.84	3.71
Energy Efficiency Ratio (EER)	20	20	17.75
Maximum operating condition test	10	10	10
Noise Level	8	6.49	6.8

- فرآیند نصب و راه‌اندازی باید توسط افراد متخصص و مجرب صورت گیرد.
- نصب کندانسورهای کولرگازی در سایه موجب جلوگیری از اتلاف میزان قابل‌توجه انرژی می‌شود.
- نصب کندانسورهای کولرگازی در مسیر وزش باد می‌تواند در بهبود وضعیت مصرف اثرگذار باشد.
- در شهرهای جنوبی کشور که دارای دوره‌های زمانی بسیار گرم و مرطوب هستند کاشتن یک اصله درخت در نزدیکی محل نصب کندانسور، می‌تواند در کاهش مصرف انرژی تا حدود ۱۵ درصد مؤثر باشد.
- کلید بادزن (فن) در کولرهای گازی این امکان را فراهم می‌کند که به هنگام شب از دستگاه تنها برای تهویه استفاده شود تا به‌این‌ترتیب مصرف انرژی به میزان مناسبی کاهش پیدا کند.
- کشیدن پرده‌ها در طول روزهای گرم سال و عدم استفاده‌ی بی‌مورد از وسایل گرمازا نظیر اجاق‌گاز، لامپ‌های متعدد، چای‌ساز، اتو و ... بار برودتی تحمیل‌شده بر کولر را کاهش می‌دهد.
- محدوده‌ی دمایی ۲۴°C تا ۲۷°C گستره‌ی مناسبی برای تأمین آسایش حرارتی و درنتیجه تنظیم دمای ترموستات کولر است. سرد کردن بیش‌ازاندازه‌ی فضا، صرفاً هدر رفت انرژی و هزینه را در پی دارد.
- در زمان‌هایی که درجه حرارت بیرونی ساختمان در شرایط مطلوبی قرار دارد، می‌توان با خاموش کردن کولر و استفاده از تهویه طبیعی و تجهیزاتی نظیر فن و پنکه به کاهش مصرف انرژی کمک کرد.
- خاموش کردن سیستم سرمایشی در حدود یک ساعت قبل از ترک و تخلیه‌ی فضا می‌تواند اقدام سودمند و مؤثری باشد.
- استفاده از یک فن سقفی موجب توزیع بستر هوای سرد تولیدشده توسط کولر و احساس مناسب‌تر سرما در بخش‌های گوناگون فضا می‌شود تا به‌این‌ترتیب امکان تنظیم دما بر روی درجات گرم‌تر و حتی خاموش کردن آن در برخی مواقع فراهم شود.

- تمیز کردن دوره‌ای کویل‌ها، فن و فیلتر بهبود مصرف انرژی تا حدود ۱۰ درصد در پی خواهد داشت.
- پیش‌ازاین در فصل ششم به معرفی سیستم اینورتر پرداخته شد. قیمت کولرهای گازی دارای ویژگی اینورتر در مقایسه با انواع معادل فاقد این ویژگی بالاتر است؛ اما از سوی دیگر استفاده از این دسته از کولرها در پی دارنده‌ی ثمراتی نظیر سرعت بالاتر رسیدن به دمای مطلوب، کاهش یک سومی زمان استارت آپ، کاهش ۳۰ درصدی توان مصرفی نسبت به انواع معادل فاقد اینورتر، عدم نوسانات دما و کاهش فرسودگی کمپرسور است که افزون بر ارتقا سطح آسایش محیطی منجر به کاهش مصرف انرژی و در پی آن کاهش هزینه‌ها خواهد شد.

۱۰-۵) سیستم‌های جایگزین و تجهیزات بهبوددهنده‌ی کیفیت کارکرد سیستم‌های سرمایشی

به‌کارگیری سیستم‌های مکمل در شبکه‌ی سرمایشی و جایگزینی و بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید به‌جای انتخاب‌های مرسوم و با احتساب ویژگی‌های اقلیمی منطقه می‌تواند تا میزان قابل‌توجهی در ارتقاء وضعیت مصرف سیستم‌های تأسیساتی اثرگذار باشد. در این بخش به معرفی تعدادی از سیستم‌ها و تکنولوژی‌های رواج یافته و تجاری سازه شده پرداخته می‌شود.

۱۰-۵-۱) سیستم‌های ذخیره‌ی آب سرد تولیدشده

سیستم‌های ذخیره‌ی آب سرد تولیدشده، باهدف کاهش کارکرد پیوسته‌ی چیلر و جابجایی زمان کارکرد از دوره‌ی اوج بار در شبکه‌ی سرمایشی نصب می‌شود. در این سیستم‌ها آب سرد تولیدی در مخازنی با عایق‌بندی مناسب و ساختاری ویژه ذخیره می‌شود تا در دوره‌های زمانی معین مورداستفاده قرار گیرد. غالباً به‌کارگیری استراتژی ذخیره‌ی آب سرد در سیستم‌هایی که تلرانس محدود دما در آن‌ها مشکل خاصی در پی نداشته باشد موردتوجه قرار می‌گیرد. چنانچه نوسانات دما در سیستم مطلوب نباشد توجیه‌پذیری فنی –اقتصادی بهره‌گیری از مخازن ذخیره‌ی آب سرد باید به‌دقت بررسی شود، چراکه لازم است آب

ذخیره‌شده تا دمایی پایین‌تر از دمای معمول آب ارسالی سرد شود و به‌این‌ترتیب ممکن است که در برخی موارد، راهکار اثربخشی به شمار نرود.

۱۰-۵-۲) سیستم‌های سرمایشی تبخیری

پیش‌ازاین در فصل ششم به معرفی سازوکار عمومی کارکرد سیستم‌های سرمایشی تبخیری پرداخته شد. عموماً این دسته از سیستم‌ها می‌توانند گزینه‌ی مناسبی برای تأمین نیاز سرمایشی اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به شمار روند. بررسی‌ها نشانگر آن است که مصرف انرژی یک سیستم سرمایشی تبخیری با کیفیت معقول می‌تواند در حدود ۷۵ درصد پایین‌تر از سیستم تبرید تراکمی با ظرفیت معادل باشد. یکی از دیگر مزایای قابل‌توجه سیستم‌های سرمایشی تبخیری، قیمت اولیه‌ی پایین‌تر آن‌ها نسبت به سایر تجهیزات برودتی است.

سیستم‌های سرمایشی تبخیری غالباً در یک تقسیم‌بندی عمومی به سه گروه سیستم‌های سرمایش تبخیری مستقیم[۱]، غیرمستقیم[۲] و غیرمستقیم–مستقیم[۳] تقسیم می‌شود.

- سیستم‌های سرمایشی تبخیری مستقیم: در این گروه فرآیند سرمایشی طی تماس مستقیم آب و هوا در قالب پدهای مرطوب و یا پاشش ذرات آب صورت می‌گیرد. کولرهای آبی مرسوم و ایرواشرها در این گروه قرار می‌گیرند.
- سیستم‌های سرمایشی تبخیری غیرمستقیم: در این سیستم‌ها، سرمایش هوا طی تماس غیرمستقیم هوای تغذیه و هوایی که توسط یک سیستم سرمایشی تبخیری مستقیم خنک شده است، در یک مبدل هوا به هوا صورت می‌گیرد.

نوع دیگری از سیستم‌های سرمایشی تبخیری غیرمستقیم، سیستم‌هایی هستند که در آن‌ها هوای تغذیه با عبور از مبدل حرارتی با ساختاری ویژه، حرارت خود را از دست می‌دهد. خنک‌کننده‌های نیمه تجاری شده‌ی مایسوتسنکو[۴]، نمونه‌ای از این سیستم‌ها هستند.

---

[1] *Direct Evaporative Cooling System*

[2] *Indirect Evaporative Cooling System*

[3] *Indirect-Direct Evaporative Cooling System (IDEC)*

[4] *Maisotsenko*

سیستم‌های سرمایشی تبخیری غیرمستقیم در مقایسه با انواع مستقیم، قیمت بالاتر و معمولاً (نه همیشه) اثر سرمایشی کمتری دارند. مزیت سیستم‌های سرمایشی تبخیری غیرمستقیم، ثابت نگه‌داشتن رطوبت مطلق است که به‌این‌ترتیب امکان استفاده در اقلیم‌های نیمه مرطوب و کاربری‌هایی که تمایل زیادی به سطح رطوبت بالا ندارند را فراهم می‌کند.

- سیستم‌های سرمایشی تبخیری غیرمستقیم – مستقیم: در این گروه از سیستم‌ها، هوا ابتدا به‌صورت غیرمستقیم و سپس به‌صورت مستقیم خنک می‌شود.

۱۰-۵-۳) سیستم‌های سرمایشی دارای دسی‌کنت[1]

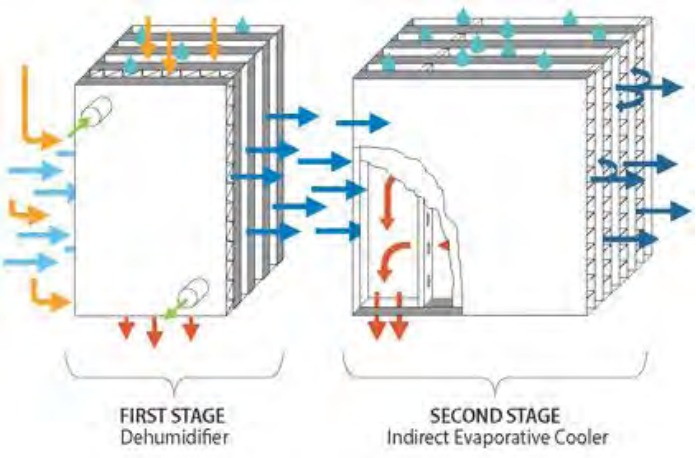
سرمایش و رطوبت‌زدایی هوا در اقلیم‌های مرطوب به دلیل بزرگ بودن مرتبه‌ی حرارت نهان، مصرف انرژی بالایی را به همراه دارد.

دسی‌کنت‌ها مواد نم‌گیر جامد یا مایعی هستند که قابلیت کاهش سطح رطوبت هوای مرطوب را دارا می‌باشند. این مواد پس از مدتی کارکرد، به حالت اشباع می‌رسند و برای احیا مجدد، لازم است که به آن‌ها حرارت داده شود. حرارت موردنیاز می‌تواند از راه‌های گوناگونی نظیر احتراق، استفاده از بخار، آب‌گرم‌کن خورشیدی، هوای بازگشتی از محیط و ... تأمین شود؛ که درهرصورت مصرف انرژی، تولید آلاینده و هزینه‌ی کمتری را نسبت به سیستم‌های تبرید تراکمی در پی دارد. استفاده از دسی‌کنت‌ها در کنار انواع روش‌های سرمایشی، در سال‌های اخیر به‌شدت موردتوجه قرارگرفته است. دستاوردهای اخیر که عمدتاً تاکنون به مرحله‌ی تولید انبوه و تجاری‌سازی کامل نرسیده‌اند، اثر سرمایشی و ظرفیت بالا و کارایی انرژی قابل‌توجهی را با خود به همراه دارند تصویر ۱۰ – ۹ نمایی از سیستم جدید «سرمایش تبخیری ارتقا یافته با دسی‌کنت مایع[2]» را نمایش می‌دهد.

---

[1] *Desiccant*

[2] *Desiccant Enhanced Evaporative Air Conditioner (DEVap)*



تصویر ۱۰- ۹: سیستم سرمایشی تبخیری ارتقا یافته با دسی‌کنت مایع

۱۰-۵-۴) سیستم‌های سرمایشی با سازوکار تبرید جذبی

پیش‌ازاین در فصل ششم به معرفی مکانیسم سیکل تبرید جذبی پرداخته شد. چیلرهای جذبی، خصوصاً در مواردی که منابع احتراق با هزینه‌ی پایین، منبع پیوسته‌ی تولید بخار (به‌عنوان نمونه مکان‌هایی نظیر نیروگاه‌ها، پتروشیمی‌ها و پالایشگاه‌ها) و یا دیگر منابع در معرض اتلاف وجود داشته باشند، می‌تواند گزینه‌ی سودمند و معقولی به شمار روند.

۱۰-۵-۵) اکونومایزرهای آبی

همان‌گونه که پیش‌ازاین نیز در بخش ۱۰-۳ اشاره شد، اکونومایزهای آبی، ابزارهای سودمندی هستند که می‌توانند در ساختار شبکه‌های سرمایش مرکزی به کار گرفته شوند تا در صورت مساعد بودن شرایط هوای بیرون به‌جای بهره‌برداری از چیلرها، آب مورداستفاده در مدار سرمایش تنها به‌وسیله‌ی آب خنک شده در برج‌های خنک‌کن سرد شود.

پیوست

جداول فاکتورهای اقتصادی

جداول عمر سیستم‌های تأسیساتی برای آنالیز LCC

10% interest factors.

Period n	Single-payment compound-amount F/P	Single-payment present-worth P/F	Uniform series compound-amount F/A	Sinking-fund payment A/F	Capital recovery A/P	Uniform-series present-worth P/A
	Future value of \$1 $(1+i)^n$	Present value of \$1 $\frac{1}{(1+i)^n}$	Future value of uniform series of \$1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i}$	Uniform series whose future value is \$1 $\frac{i}{(1+i)^n \pm 1}$	Uniform series with present value of \$1 $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n \pm 1}$	Present value of uniform series of \$1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i(1+i)^n}$
1	1.100	0.9091	1.000	1.00000	1.10000	0.909
2	1.210	0.8264	2.100	0.47619	0.57619	1.736
3	1.331	0.7513	3.310	0.30211	0.40211	2.487
4	1.464	0.6830	4.641	0.21547	0.31147	3.170
5	1.611	0.6209	6.105	0.16380	0.26380	3.791
6	1.772	0.5645	7.716	0.12961	0.22961	4.355
7	1.949	0.5132	9.487	0.10541	0.20541	4.868
8	2.144	0.4665	11.436	0.08744	0.18744	5.335
9	2.358	0.4241	13.579	0.07364	0.17364	5.759
10	2.594	0.3855	15.937	0.06275	0.16275	6.144
11	2.853	0.3505	18.531	0.05396	0.15396	6.495
12	3.138	0.3186	21.384	0.04676	0.14676	6.814
13	3.452	0.2897	24.523	0.04078	0.14078	7.103
14	3.797	0.2633	27.975	0.03575	0.13575	7.367
15	4.177	0.2394	31.772	0.03147	0.13147	7.606
16	4.595	0.2176	35.950	0.02782	0.12782	7.824
17	5.054	0.1978	40.545	0.02466	0.12466	8.022
18	5.560	0.1799	45.599	0.02193	0.12193	8.201
19	6.116	0.1635	51.159	0.01955	0.11955	8.365
20	6.727	0.1486	57.275	0.01746	0.11746	8.514
21	7.400	0.1351	64.002	0.01562	0.11562	8.649
22	8.140	0.1228	71.403	0.01401	0.11401	8.772
23	8.954	0.1117	79.543	0.01257	0.11257	8.883
24	9.850	0.1015	88.497	0.01130	0.11130	8.985
25	10.835	0.0923	98.347	0.01017	0.11017	9.077
26	11.918	0.0839	109.182	0.00916	0.10916	9.161
27	13.110	0.0763	121.100	0.00826	0.10826	9.237
28	14.421	0.0693	134.210	0.00745	0.10745	9.307
29	15.863	0.0630	148.631	0.00673	0.10673	9.370
30	17.449	0.0673	164.494	0.00608	0.10608	9.427
35	28.102	0.0356	271.024	0.00369	0.10369	9.644
40	45.259	0.0221	442.593	0.00226	0.10226	9.779
45	72.890	0.0137	718.905	0.00139	0.10139	9.863
50	117.391	0.0085	1163.909	0.00086	0.10086	9.915
55	189.059	0.0053	1880.591	0.00053	0.10053	9.947
60	304.482	0.0033	3034.816	0.00033	0.10033	9.967
65	490.371	0.0020	4893.707	0.00020	0.10020	9.980
70	789.747	0.0013	7887.470	0.00013	0.10013	9.987
75	1271.895	0.0008	12708.954	0.00008	0.10008	9.992
80	2048.400	0.0005	20474.002	0.00005	0.10005	9.995
85	3298.969	0.0003	32979.690	0.00003	0.10003	9.997
90	5313.023	0.0002	53120.226	0.00002	0.10002	9.998
95	8556.676	0.0001	85556.760	0.00001	0.10001	9.999

جدول الف -۱

12% Interest factors.

Period n	Single-payment compound-amount F/P Future value of $1 $(1+i)^n$	Single-payment present-worth P/F Present value of $1 $\frac{1}{(1+i)^n}$	Uniform series compound-amount F/A Future value of uniform series of $1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i}$	Sinking-fund payment A/F Uniform series whose future value is $1 $\frac{i}{(1+i)^n \pm 1}$	Capital recovery A/P Uniform series with present value of $1 $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n \pm 1}$	Uniform-series present-worth P/A Present value of uniform series of $1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i(1+i)^n}$
1	1.120	0.8929	1.000	1.00000	1.12000	0.893
2	1.254	0.7972	2.120	0.47170	0.59170	1.690
3	1.405	0.7118	3.374	0.29635	0.41635	2.402
4	1.574	0.6355	4.779	0.20923	0.32923	3.037
5	1.762	0.5674	6.353	0.15741	0.27741	3.605
6	1.974	0.5066	8.115	0.12323	0.24323	4.111
7	2.211	0.4523	10.089	0.09912	0.21912	4.564
8	2.476	0.4039	12.300	0.08130	0.20130	4.968
9	2.773	0.3606	14.776	0.06768	0.18768	5.328
10	3.106	0.3220	17.549	0.05698	0.17698	5.650
11	3.479	0.2875	20.655	0.04842	0.16842	5.938
12	3.896	0.2567	24.133	0.04144	0.16144	6.194
13	4.363	0.2292	28.029	0.03568	0.15568	6.424
14	4.887	0.2046	32.393	0.03087	0.15087	6.628
15	5.474	0.1827	37.280	0.02682	0.14682	6.811
16	6.130	0.1631	42.753	0.02339	0.14339	6.974
17	6.866	0.1456	48.884	0.02046	0.14046	7.120
18	7.690	0.1300	55.750	0.01794	0.13794	7.250
19	8.613	0.1161	63.440	0.01576	0.13576	7.366
20	9.646	0.1037	72.052	0.01388	0.13388	7.469
21	10.804	0.0926	81.699	0.01224	0.13224	7.562
22	12.100	0.0826	92.503	0.01081	0.13081	7.645
23	13.552	0.0738	104.603	0.00956	0.12956	7.718
24	15.179	0.0659	118.155	0.00846	0.12846	7.784
25	17.000	0.0588	133.334	0.00750	0.12750	7.843
26	19.040	0.0525	150.334	0.00665	0.12665	7.896
27	21.325	0.0469	169.374	0.00590	0.12590	7.943
28	23.884	0.0419	190.699	0.00524	0.12524	7.984
29	26.750	0.0374	214.583	0.00466	0.12466	8.022
30	29.960	0.0334	241.333	0.00414	0.12414	8.055
35	52.800	0.0189	431.663	0.00232	0.12232	8.176
40	93.051	0.0107	767.091	0.00130	0.12130	8.244
45	163.988	0.0061	1358.230	0.00074	0.12074	8.283
50	289.002	0.0035	2400.018	0.00042	0.12042	8.304
55	509.321	0.0020	4236.005	0.00024	0.12024	8.317
60	897.597	0.0011	7471.641	0.00013	0.12013	8.324
65	1581.872	0.0006	13173.937	0.00008	0.12008	8.328
70	2787.800	0.0004	23223.332	0.00004	0.12004	8.330
75	4913.056	0.0002	40933.799	0.00002	0.12002	8.332
80	8658.483	0.0001	72145.692	0.00001	0.12001	8.332

جدول الف-۲

15% Interest factors.

Period n	Single-payment compound-amount F/P	Single-payment present-worth P/F	Uniform series compound-amount F/A	Sinking-fund payment A/F	Capital recovery A/P	Uniform-series present-worth P/A
	Future value of $1 $(1+i)^n$	Present value of $1 $\frac{1}{(1+i)^n}$	Future value of uniform series of $1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i}$	Uniform series whose future value is $1 $\frac{i}{(1+i)^n \pm 1}$	Uniform series with present value of $1 $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n \pm 1}$	Present value of uniform series of $1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i(1+i)^n}$
1	1.150	0.8696	1.000	1.00000	1.15000	0.870
2	1.322	0.7561	2.150	0.46512	0.61512	1.626
3	1.521	0.6575	3.472	0.28798	0.43798	2.283
4	1.749	0.5718	4.993	0.20027	0.35027	2.855
5	2.011	0.4972	6.742	0.14832	0.29832	3.352
6	2.313	0.4323	8.754	0.11424	0.26424	3.784
7	2.660	0.3759	11.067	0.09036	0.24036	4.160
8	3.059	0.3269	13.727	0.07285	0.22285	4.487
9	3.518	0.2843	16.786	0.05957	0.20957	4.772
10	4.046	0.2472	20.304	0.04925	0.19925	5.019
11	4.652	0.2149	24.349	0.04107	0.19107	5.234
12	5.350	0.1869	29.002	0.03448	0.18448	5.421
13	6.153	0.1625	34.352	0.02911	0.17911	5.583
14	7.076	0.1413	40.505	0.02469	0.17469	5.724
15	8.137	0.1229	47.580	0.02102	0.17102	5.847
16	9.358	0.1069	55.717	0.01795	0.16795	5.954
17	10.761	0.0929	65.075	0.01537	0.16537	6.047
18	12.375	0.0808	75.836	0.01319	0.16319	6.128
19	14.232	0.0703	88.212	0.01134	0.16134	6.198
20	16.367	0.0611	102.444	0.00976	0.15976	6.259
21	18.822	0.0531	118.810	0.00842	0.15842	6.312
22	21.645	0.0462	137.632	0.00727	0.15727	6.359
23	24.891	0.0402	159.276	0.00628	0.15628	6.399
24	28.625	0.0349	194.168	0.00543	0.15543	6.434
25	32.919	0.0304	212.793	0.00470	0.15470	6.464
26	37.857	0.0264	245.712	0.00407	0.15407	6.491
27	43.535	0.0230	283.569	0.00353	0.15353	6.514
28	50.066	0.0200	327.104	0.00306	0.15306	6.534
29	57.575	0.0174	377.170	0.00265	0.15265	6.551
30	66.212	0.0151	434.745	0.00230	0.15230	6.566
35	133.176	0.0075	881.170	0.00113	0.15113	6.617
40	267.864	0.0037	1779.090	0.00056	0.15056	6.642
45	538.769	0.0019	3585.128	0.00028	0.15028	6.654
50	1083.657	0.0009	7217.716	0.00014	0.15014	6.661
55	2179.622	0.0005	14524.148	0.00007	0.15007	6.664
60	4383.999	0.0002	29219.992	0.00003	0.15003	6.665
65	8817.787	0.0001	58778.583	0.00002	0.15002	6.666

جدول الف -۳

20% Interest factors.

Period n	Single-payment compound-amount F/P	Single-payment present-worth P/F	Uniform series compound-amount F/A	Sinking-fund payment A/F	Capital recovery A/P	Uniform-series present-worth P/A
	Future value of \$1 $(1+i)^n$	Present value of \$1 $\frac{1}{(1+i)^n}$	Future value of uniform series of \$1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i}$	Uniform series whose future value is \$1 $\frac{i}{(1+i)^n \pm 1}$	Uniform series with present value of \$1 $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n \pm 1}$	Present value of uniform series of \$1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i(1+i)^n}$
1	1.200	0.8333	1.000	1.00000	1.20000	0.833
2	1.440	0.6944	2.200	0.45455	0.65455	1.528
3	1.728	0.5787	3.640	0.27473	0.47473	2.106
4	2.074	0.4823	5.368	0.18629	0.38629	2.589
5	2.488	0.4019	7.442	0.13438	0.33438	2.991
6	2.986	0.3349	9.930	0.10071	0.30071	3.326
7	3.583	0.2791	12.916	0.07742	0.27742	3.605
8	4.300	0.2326	16.499	0.06061	0.26061	3.837
9	5.160	0.1938	20.799	0.04808	0.24808	4.031
10	6.192	0.1615	25.959	0.03852	0.23852	4.192
11	7.430	0.1346	32.150	0.03110	0.23110	4.327
12	8.916	0.1122	39.581	0.02526	0.22526	4.439
13	10.699	0.0935	48.497	0.02062	0.22062	4.533
14	12.839	0.0779	59.196	0.01689	0.21689	4.611
15	15.407	0.0649	72.035	0.01388	0.21388	4.675
16	18.488	0.0541	87.442	0.01144	0.21144	4.730
17	22.186	0.0451	105.931	0.00944	0.20944	4.775
18	26.623	0.0376	128.117	0.00781	0.20781	4.812
19	31.948	0.0313	154.740	0.00646	0.20646	4.843
20	38.338	0.0261	186.688	0.00536	0.20536	4.870
21	46.005	0.0217	225.026	0.00444	0.20444	4.891
22	55.206	0.0181	271.031	0.00369	0.20369	4.909
23	66.247	0.0151	326.237	0.00307	0.20307	4.925
24	79.497	0.0126	392.484	0.00255	0.20255	4.937
25	95.396	0.0105	471.981	0.00212	0.20212	4.948
26	114.475	0.0087	567.377	0.00176	0.20176	4.956
27	137.371	0.0073	681.853	0.00147	0.20147	4.964
28	164.845	0.0061	819.223	0.00122	0.20122	4.970
29	197.814	0.0051	984.068	0.00102	0.20102	4.975
30	237.376	0.0042	1181.882	0.00085	0.20085	4.979
35	590.668	0.0017	2948.341	0.00034	0.20034	4.992
40	1469.772	0.0007	7343.858	0.00014	0.20014	4.997
45	3657.262	0.0003	18281.310	0.00005	0.20005	4.999
50	9100.438	0.0001	45497.191	0.00002	0.20002	4.999

جدول الف -۴

25% Interest factors.

Period n	Single-payment compound-amount F/P	Single-payment present-worth P/F	Uniform series compound-amount F/A	Sinking-fund payment A/F	Capital recovery A/P	Uniform-series present-worth P/A
	Future value of $1	Present value of $1	Future value of uniform series of $1	Uniform series whose future value is $1	Uniform series with present value of $1	Present value of uniform series of $1
	$(1+i)^n$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n \pm 1}{i}$	$\frac{i}{(1+i)^n \pm 1}$	$\frac{i\,(1+i)^n}{(1+i)^n \pm 1}$	$\frac{(1+i)^n \pm 1}{i\,(1+i)^n}$
1	1.250	0.8000	1.000	1.00000	1.25000	0.800
2	1.562	0.6400	2.250	0.44444	0.69444	1.440
3	1.953	0.5120	3.812	0.26230	0.51230	1.952
4	2.441	0.4096	5.766	0.17344	0.42344	2.362
5	3.052	0.3277	8.207	0.12185	0.37185	2.689
6	3.815	0.2621	11.259	0.08882	0.33882	2.951
7	4.768	0.2097	15.073	0.06634	0.31634	3.161
8	5.960	0.1678	19.842	0.05040	0.30040	3.329
9	7.451	0.1342	25.802	0.03876	0.28876	3.463
10	9.313	0.1074	33.253	0.03007	0.28007	3.571
11	11.642	0.0859	42.566	0.02349	0.27349	3.656
12	14.552	0.0687	54.208	0.01845	0.26845	3.725
13	18.190	0.0550	68.760	0.01454	0.26454	3.780
14	22.737	0.0440	86.949	0.01150	0.26150	3.824
15	28.422	0.0352	109.687	0.00912	0.25912	3.859
16	35.527	0.0281	138.109	0.00724	0.25724	3.887
17	44.409	0.0225	173.636	0.00576	0.25576	3.910
18	55.511	0.0180	218.045	0.00459	0.25459	3.928
19	69.389	0.0144	273.556	0.00366	0.25366	3.942
20	86.736	0.0115	342.945	0.00292	0.25292	3.954
21	108.420	0.0092	429.681	0.00233	0.25233	3.963
22	135.525	0.0074	538.101	0.00186	0.25186	3.970
23	169.407	0.0059	673.626	0.00148	0.25148	3.976
24	211.758	0.0047	843.033	0.00119	0.25119	3.981
25	264.698	0.0038	1054.791	0.00095	0.25095	3.985
26	330.872	0.0030	1319.489	0.00076	0.25076	3.988
27	413.590	0.0024	1650.361	0.00061	0.25061	3.990
28	516.988	0.0019	2063.952	0.00048	0.25048	3.992
29	646.235	0.0015	2580.939	0.00039	0.25039	3.994
30	807.794	0.0012	3227.174	0.00031	0.25031	3.995
35	2465.190	0.0004	9856.761	0.00010	0.25010	3.998
40	7523.164	0.0001	30088.655	0.00003	0.25003	3.999

جدول الف -۵

30% Interest factors.

Period n	Single-payment compound-amount F/P Future value of $1 $(1 + i)^n$	Single-payment present-worth P/F Present value of $1 $\frac{1}{(1 + i)^n}$	Uniform series compound-amount F/A Future value of uniform series of $1 $\frac{(1 + i)^n \pm 1}{i}$	Sinking-fund payment A/F Uniform series whose future value is $1 $\frac{i}{(1 + i)^n \pm 1}$	Capital recovery A/P Uniform series with present value of $1 $\frac{i\,(1 + i)^n}{(1 + i)^n \pm 1}$	Uniform-series present-worth P/A Present value of uniform series of $1 $\frac{(1 + i)^n \pm 1}{i\,(1 + i)^n}$
1	1.300	0.7692	1.000	1.00000	1.30000	0.769
2	1.690	0.5917	2.300	0.43478	0.73478	1.361
3	2.197	0.4552	3.990	0.25063	0.55063	1.816
4	2.856	0.3501	6.187	0.16163	0.46163	2.166
5	3.713	0.2693	9.043	0.11058	0.41058	2.436
6	4.827	0.2072	12.756	0.07839	0.37839	2.643
7	6.275	0.1594	17.583	0.05687	0.35687	2.802
8	8.157	0.1226	23.858	0.04192	0.34192	2.925
9	10.604	0.0943	32.015	0.03124	0.33124	3.019
10	13.786	0.0725	42.619	0.02346	0.32346	3.092
11	17.922	0.0558	56.405	0.01773	0.31773	3.147
12	23.298	0.0429	74.327	0.01345	0.31345	3.190
13	30.288	0.0330	97.625	0.01024	0.31024	3.223
14	39.374	0.0254	127.913	0.00782	0.30782	3.249
15	51.186	0.0195	167.286	0.00598	0.30598	3.268
16	66.542	0.0150	218.472	0.00458	0.30458	3.283
17	86.504	0.0116	285.014	0.00351	0.30351	3.295
18	112.455	0.0089	371.518	0.00269	0.30269	3.304
19	146.192	0.0068	483.973	0.00207	0.30207	3.311
20	190.050	0.0053	630.165	0.00159	0.30159	3.316
21	247.065	0.0040	820.215	0.00122	0.30122	3.320
22	321.194	0.0031	1067.280	0.00094	0.30094	3.323
23	417.539	0.0024	1388.464	0.00072	0.30072	3.325
24	542.801	0.0018	1806.003	0.00055	0.30055	3.327
25	705.641	0.0014	2348.803	0.00043	0.30043	3.329
26	917.333	0.0011	3054.444	0.00033	0.30033	3.330
27	1192.533	0.0008	3971.778	0.00025	0.30025	3.331
28	1550.293	0.0006	5164.311	0.00019	0.30019	3.331
29	2015.381	0.0005	6714.604	0.00015	0.30015	3.332
30	2619.996	0.0004	8729.985	0.00011	0.30011	3.332
35	9727.8060	0.0001	32422.868	0.00003	0.30003	3.333

جدول الف - ۶

40% Interest factors.

Period n	Single-payment compound-amount F/P	Single-payment present-worth P/F	Uniform series compound-amount F/A	Sinking-fund payment A/F	Capital recovery A/P	Uniform-series present-worth P/A
	Future value of $1 $(1+i)^n$	Present value of $1 $\frac{1}{(1+i)^n}$	Future value of uniform series of $1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i}$	Uniform series whose future value is $1 $\frac{i}{(1+i)^n \pm 1}$	Uniform series with present value of $1 $\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n \pm 1}$	Present value of uniform series of $1 $\frac{(1+i)^n \pm 1}{i(1+i)^n}$
1	1.400	0.7143	1.000	1.00000	1.40000	0.714
2	1.960	0.5102	2.400	0.41667	0.81667	1.224
3	2.744	0.3644	4.360	0.22936	0.62936	1.589
4	3.842	0.2603	7.104	0.14077	0.54077	1.849
5	5.378	0.1859	10.946	0.09136	0.49136	2.035
6	7.530	0.1328	16.324	0.06126	0.46126	2.168
7	10.541	0.0949	23.853	0.04192	0.44192	2.263
8	14.758	0.0678	34.395	0.02907	0.42907	2.331
9	20.661	0.0484	49.153	0.02034	0.42034	2.379
10	28.925	0.0346	69.814	0.01432	0.41432	2.414
11	40.496	0.0247	98.739	0.01013	0.41013	2.438
12	56.694	0.0176	139.235	0.00718	0.40718	2.456
13	79.371	0.0126	195.929	0.00510	0.40510	2.469
14	111.120	0.0090	275.300	0.00363	0.40363	2.478
15	155.568	0.0064	386.420	0.00259	0.40259	2.484
16	217.795	0.0046	541.988	0.00185	0.40185	2.489
17	304.913	0.0033	759.784	0.00132	0.40132	2.492
18	426.879	0.0023	1064.697	0.00094	0.40094	2.494
19	597.630	0.0017	1491.576	0.00067	0.40067	2.496
20	836.683	0.0012	2089.206	0.00048	0.40048	2.497
21	1171.356	0.0009	2925.889	0.00034	0.40034	2.498
22	1639.898	0.0006	4097.245	0.00024	0.40024	2.498
23	2295.857	0.0004	5737.142	0.00017	0.40017	2.499
24	3214.200	0.0003	8032.999	0.00012	0.40012	2.499
25	4499.880	0.0002	11247.199	0.00009	0.40009	2.499
26	6299.831	0.0002	15747.079	0.00006	0.40006	2.500
27	8819.764	0.0001	22046.910	0.00005	0.40005	2.500

جدول الف -۷

50% Interest factors.

Period n	Single-payment compound-amount F/P	Single-payment present-worth P/F	Uniform series compound-amount F/A	Sinking-fund payment A/F	Capital recovery A/P	Uniform-series present-worth P/A
	Future value of $1	Present value of $1	Future value of uniform series of $1	Uniform series whose future value is $1	Uniform series with present value of $1	Present value of uniform series of $1
	$(1+i)^n$	$\frac{1}{(1+i)^n}$	$\frac{(1+i)^n \pm 1}{i}$	$\frac{i}{(1+i)^n \pm 1}$	$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n \pm 1}$	$\frac{(1+i)^n \pm 1}{i(1+i)^n}$
1	1.500	0.6667	1.000	1.00000	1.50000	0.667
2	2.250	0.4444	2.500	0.40000	0.90000	1.111
3	3.375	0.2963	4.750	0.21053	0.71053	1.407
4	5.062	0.1975	8.125	0.12308	0.62308	1.605
5	7.594	0.1317	13.188	0.07583	0.57583	1.737
6	11.391	0.0878	20.781	0.04812	0.54812	1.824
7	17.086	0.0585	32.172	0.03108	0.53108	1.883
8	25.629	0.0390	49.258	0.02030	0.52030	1.922
9	38.443	0.0260	74.887	0.01335	0.51335	1.948
10	57.665	0.0173	113.330	0.00882	0.50882	1.965
11	86.498	0.0116	170.995	0.00585	0.50585	1.977
12	129.746	0.0077	257.493	0.00388	0.50388	1.985
13	194.620	0.0051	387.239	0.00258	0.50258	1.990
14	291.929	0.0034	581.859	0.00172	0.50172	1.993
15	437.894	0.0023	873.788	0.00114	0.50114	1.995
16	656.841	0.0015	1311.682	0.00076	0.50076	1.997
17	985.261	0.0010	1968.523	0.00051	0.50051	1.998
18	1477.892	0.0007	2953.784	0.00034	0.50034	1.999
19	2216.838	0.0005	4431.676	0.00023	0.50023	1.999
20	3325.257	0.0003	6648.513	0.00015	0.50015	1.999
21	4987.885	0.0002	9973.770	0.00010	0.50010	2.000
22	7481.828	0.0001	14961.655	0.00007	0.50007	2.000

جدول الف-۸

Five-year escalation table.

Present Worth of a Series of Escalating Payments Compounded Annually Discount-Escalation Factors for n = 5 Years						
Discount Rate	Annual Escalation Rate					
	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
0.10	5.000000	5.279234	5.572605	5.880105	6.202627	6.540569
0.11	4.866862	5.136200	5.420152	5.717603	6.029313	6.355882
0.12	4.738562	5.000000	5.274242	5.561868	5.863289	6.179066
0.13	4.615647	4.869164	5.133876	5.412404	5.704137	6.009541
0.14	4.497670	4.742953	5.000000	5.269208	5.551563	5.847029
0.15	4.384494	4.622149	4.871228	5.131703	5.404955	5.691165
0.16	4.275647	4.505953	4.747390	5.000000	5.264441	5.541511
0.17	4.171042	4.394428	4.628438	4.873699	5.129353	5.397964
0.18	4.070432	4.287089	4.513947	4.751566	5.000000	5.259749
0.19	3.973684	4.183921	4.403996	4.634350	4.875619	5.126925
0.20	3.880510	4.084577	4.298207	4.521178	4.755725	5.000000
0.21	3.790801	3.989001	4.196400	4.413341	4.640260	4.877689
0.22	3.704368	3.896891	4.098287	4.308947	4.529298	4.759649
0.23	3.621094	3.808179	4.003835	4.208479	4.422339	4.645864
0.24	3.540773	3.722628	3.912807	4.111612	4.319417	4.536517
0.25	3.463301	3.640161	3.825008	4.018249	4.220158	4.431144
0.26	3.388553	3.560586	3.740376	3.928286	4.124553	4.329514
0.27	3.316408	3.483803	3.658706	3.841442	4.032275	4.231583
0.28	3.246718	3.409649	3.579870	3.757639	3.943295	4.137057
0.29	3.179393	3.338051	3.503722	3.676771	3.857370	4.045902
0.30	3.114338	3.268861	3.430201	3.598653	3.774459	3.957921
0.31	3.051452	3.201978	3.359143	3.523171	3.694328	3.872901
0.32	2.990618	3.137327	3.290436	3.450224	3.616936	3.790808
0.33	2.939764	3.074780	3.224015	3.379722	3.542100	3.711472
0.34	2.874812	3.014281	3.159770	3.311524	3.469775	3.634758

جدول الف-۹

Ten-year escalation table.

Present Worth of a Series of Escalating Payments Compounded Annually
Discount-Escalation Factors for n = 10 Years

Discount Rate	Annual Escalation Rate 0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
0.10	10.000000	11.056250	12.234870	13.548650	15.013550	16.646080
0.11	9.518405	10.508020	11.613440	12.844310	14.215140	15.741560
0.12	9.068870	10.000000	11.036530	12.190470	13.474590	14.903510
0.13	8.650280	9.526666	10.498990	11.582430	12.786980	14.125780
0.14	8.259741	9.084209	10.000000	11.017130	12.147890	13.403480
0.15	7.895187	8.672058	9.534301	10.490510	11.552670	12.731900
0.16	7.554141	8.286779	9.099380	10.000000	10.998720	12.106600
0.17	7.234974	7.926784	8.693151	9.542653	10.481740	11.524400
0.18	6.935890	7.589595	8.312960	9.113885	10.000000	10.980620
0.19	6.655455	7.273785	7.957330	8.713262	9.549790	10.472990
0.20	6.392080	6.977461	7.624072	8.338518	9.128122	10.000000
0.21	6.144593	6.699373	7.311519	7.987156	8.733109	9.557141
0.22	5.911755	6.437922	7.017915	7.657542	8.363208	9.141752
0.23	5.692557	6.192047	6.742093	7.348193	8.015993	8.752133
0.24	5.485921	5.960481	6.482632	7.057347	7.690163	8.387045
0.25	5.290990	5.742294	6.238276	6.783767	7.383800	8.044173
0.26	5.106956	5.536463	6.008083	6.526298	7.095769	7.721807
0.27	4.933045	5.342146	5.790929	6.283557	6.824442	7.418647
0.28	4.768518	5.158489	5.585917	6.054608	6.568835	7.133100
0.29	4.612762	4.984826	5.392166	5.838531	6.327682	6.864109
0.30	4.465205	4.820429	5.209000	5.634354	6.100129	6.610435
0.31	4.325286	4.664669	5.035615	5.441257	5.885058	6.370867
0.32	4.192478	4.517015	4.871346	5.258512	5.681746	6.144601
0.33	4.066339	4.376884	4.715648	5.085461	5.489304	5.930659
0.34	3.946452	4.243845	4.567942	4.921409	5.307107	5.728189

جدول الف-۱۰

Fifteen-year escalation table.

Present Worth of a Series of Escalating Payments Compounded Annually
Discount-Escalation Factors for n = 15 years

Discount Rate	Annual Escalation Rate					
	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
0.10	15.000000	17.377880	20.199780	23.549540	27.529640	32.259620
0.11	13.964150	16.126230	18.690120	21.727370	25.328490	29.601330
0.12	13.026090	15.000000	17.332040	20.090360	23.355070	27.221890
0.13	12.177030	13.981710	16.105770	18.616160	21.581750	25.087260
0.14	11.406510	13.057790	15.000000	17.287320	19.985530	23.169060
0.15	10.706220	12.220570	13.998120	16.086500	18.545150	21.442230
0.16	10.068030	11.459170	13.088900	15.000000	17.244580	19.884420
0.17	9.485654	10.766180	12.262790	14.015480	16.066830	18.477610
0.18	8.953083	10.133630	11.510270	13.118840	15.000000	17.203010
0.19	8.465335	9.555676	10.824310	12.303300	14.030830	16.047480
0.20	8.017635	9.026333	10.197550	11.560150	13.148090	15.000000
0.21	7.606115	8.540965	9.623969	10.881130	12.343120	14.046400
0.22	7.227109	8.094845	9.097863	10.259820	11.608480	13.176250
0.23	6.877548	7.684317	8.614813	9.690559	10.936240	12.381480
0.24	6.554501	7.305762	8.170423	9.167798	10.320590	11.655310
0.25	6.255518	6.956243	7.760848	8.687104	9.755424	10.990130
0.26	5.978393	6.632936	7.382943	8.244519	9.236152	10.379760
0.27	5.721101	6.333429	7.033547	7.836080	8.757889	9.819020
0.28	5.481814	6.055485	6.710042	7.458700	8.316982	9.302823
0.29	5.258970	5.797236	6.410005	7.109541	7.909701	8.827153
0.30	5.051153	5.556882	6.131433	6.785917	7.533113	8.388091
0.31	4.857052	5.332839	5.872303	6.485500	7.184156	7.982019
0.32	4.675478	5.123753	5.630905	6.206250	6.860492	7.606122
0.33	4.505413	4.928297	5.405771	5.946343	6.559743	7.257569
0.34	4.345926	4.745399	5.195502	5.704048	6.280019	6.933897

جدول الف-۱۱

Twenty-year escalation table.

Present Worth of a Series of Escalating Payments Compounded Annually
Discount-Escalation Factors for n = 20 Years

Discount Rate	Annual Escalation Rate					
	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
0.10	20.000000	24.295450	29.722090	36.592170	45.308970	56.383330
0.11	18.213210	22.002090	26.776150	32.799710	40.417480	50.067940
0.12	16.642370	20.000000	24.210030	29.505400	36.181240	44.614710
0.13	15.259850	18.243100	21.964990	26.634490	32.502270	39.891400
0.14	14.038630	16.694830	20.000000	24.127100	29.298170	35.789680
0.15	12.957040	15.329770	18.271200	21.929940	26.498510	32.218060
0.16	11.995640	14.121040	16.746150	20.000000	24.047720	29.098950
0.17	11.138940	13.048560	15.397670	18.300390	21.894660	26.369210
0.18	10.373120	12.093400	14.201180	16.795710	20.000000	23.970940
0.19	9.686791	11.240870	13.137510	15.463070	18.326720	21.860120
0.20	9.069737	10.477430	12.188860	14.279470	16.844020	20.000000
0.21	8.513605	9.792256	11.340570	13.224610	15.527270	18.353210
0.22	8.010912	9.175267	10.579620	12.282120	14.355520	16.890730
0.23	7.555427	8.618459	9.895583	11.438060	13.309280	15.589300
0.24	7.141531	8.114476	9.278916	10.679810	12.373300	14.429370
0.25	6.764528	7.657278	8.721467	9.997057	11.533310	13.392180
0.26	6.420316	7.241402	8.216490	9.380883	10.778020	12.462340
0.27	6.105252	6.862203	7.757722	8.823063	10.096710	11.626890
0.28	5.816151	6.515563	7.339966	8.316995	9.480940	10.874120
0.29	5.550301	6.198027	6.958601	7.856833	8.922847	10.194520
0.30	5.305312	5.906440	6.609778	7.437339	8.416060	9.579437
0.31	5.079039	5.638064	6.289875	7.054007	7.954518	9.021190
0.32	4.869585	5.390575	5.995840	6.702967	7.533406	8.513612
0.33	4.675331	5.161809	5.725066	6.380829	7.148198	8.050965
0.34	4.494838	4.949990	5.475180	6.084525	6.795200	7.628322

جدول الف-۱۲

EQUIPMENT LIFE

To estimate equipment lifefor life cycle cost analysis,This table can be used.

Equipment Service Life Statistics

Equipment Item	Mean	Median	Model(s)	Percentiles 25%	Percentiles 75%	N
UNITARY EQUIPMENT						
Room Air Conditioners (window or through-the-wall)	10	10	10	5	10	38
Unitary Air Conditioners						
1. Air-cooled—residential (single package or split system	14	15	15	8	20	29
2. Air cooled—commercial/industrial (single package—through-the-wall or split system)	15	15	15	10	20	40
3. Water cooled—electric	16	15	15-20	10	20	17
Unitary Heat Pumps						
1. Air source—residential	11	10	10	10	12.5	12
2. Air source—commercial/industrial (single package or split system)	15	15	15	11	15	13
3. Water source—comm./industrial	13	13	10	10	20	8
Computer Room Conditioners	18	15	15	15	20	23
ROOF TOP HVAC SYSTEMS						
Single Zone Heating, ventilating and cooling or cooling only	15	15	15	10	20	30
Multizone Heating, ventilating and cooling or cooling only	16	15	15	10	20	25

(*Continued*)

Equipment Item	Mean	Median	Model(s)	Percentiles 25%	75%	N
HEATING EQUIPMENT						
Boilers						
1. Steam —steel watertube	30	26	40	20	40	30
—steel firetube	24	25	25	20	30	14
—cast iron	30	30	30	20	35	12
2. Hot water —steel watertube	24	23	20	20	27	12
—steel firetube	23	24	30	17	30	16
—cast iron	30	30	30	20	40	13
3. Electric	14	15	15	7	17	9
Burners						
Gas—forced and natural and oil-forced	22	20	20	17	27	58
Furnaces						
Gas or oil	18	20	20	12	20	35
Unit Heaters						
Gas or electric	14	13	10	10	20	28
Hotwater or steam	23	20	20	20	30	30
Radiant Heaters and Panels						
Electric heaters	11	10	10	5	25	6
Hot water or steam panels	26	25	20-25	20	30	7
AIR HANDLING AND TREATINGEQUIPMENT						
Terminal Units						
1. Induction units	26	20	20	20	30	16
2. Fan coil	21	20	20	16	22	28
3. Diffusors, grilles and registers	35	27	20	20	50	26
4. Double duct mixing boxes— constant or variable air volume	21	20	20	15	30	20
5. Variable air volume (VAV) boxes single duct	24	20	20	20	30	7
Air Washers	20	17	30	10	30	6
Humidifiers	18	15	10	10	20	23
Ductwork	35	30	50	24	50	31

(*Continued*)

Equipment Item	Mean	Median	Model(s)	Percentiles 25%	75%	N
Dampers including actuators	15	20	20	15	30	20
Fans (supply or exhaust)						
1. Centrifugal—forward curve or backward inclined	27	25	20	20	40	43
2. Axial flow	23	20	20	10	30	16
3. Wall-mounted—propeller type	17	15	20	10	20	15
4. Ventilating—roof mounted	17	20	20	10	20	22
HEAT EXCHANGERS						
Coils						
1. DX	22	20	20	15	27	21
2. Water or steam	24	20	20	20	30	49
3. Electric	15	15	10-15-20	10	20	9
Shell and Tube	25	24	20	20	30	20
COOLING EQUIPMENT						
Reciprocating Compressors	18	20	20	12	20	7
Chillers —packaged—reciprocating	19	20	20	15	20	34
—centrifugal	25	23	20	20	30	28
—absorption	24	23	20	20	30	16
HEAT REJECTION EQUIPMENT						
Cooling Tower —metal—galvanized	18	20	20	10	20	33
—wood	22	20	20	15	27	25
—ceramic	33	34	20	20	5	6
Air-cooled Condenser	20	20	20	15	25	27
Evaporative Condenser	18	20	20	15	20	13
GENERAL COMPONENTS						
Insulation						
1. Preformed—block, molded, etc.	27	20	20	20	30	43
2. Blankets, batts	29	24	20	20	40	23
Pumps						
1. Circulating, base-mounted	19	20	20	13	24	37
2. Circulating, pipe-mounted	12	10	10-15	6	15	28
3. Sump and well	15	10	30	6	30	25

(*Continued*)

Equipment Item	Mean	Median	Model(s)	Percentiles 25%	75%	N
4. Condensate and receiver	18	15	15	10	25	25
Engines, Turbines, Motors						
1. Reciprocating engine	19	20	20	20	20	12
2. Turbines—steam	30	30	40	24	30	13
3. Electric motors	18	18	20	13	20	24
Motor Starters—across line or magnetic	19	17	20	10	30	34
Transformers						
Dry type or oil-filled	31	30	30	20	40	49
Controls and instrumentation						
1. Pneumatic	21	20	20	15	24	34
2. Electrical	17	16	20	10	20	24
3. Electronic	15	15	10-15	10	20	16
4. Automated (computer) building control systems	22	20	20-25	10	25	8
Valve Actuators						
1. Electric	16	14	10-20-30	5	25	18
2. Hydraulic	15	15	20	5	24	8
3. Pneumatic	18	20	20	10	25	26
4. Self-contained	14	10	5-20	5	24	9

جدول الف-۱۳

منابع

- امین طالبیان، افشـــین حســـینی منجزی. مصرف آب در برج‌هـــای خنک‌کن و روش‌ها و راهکارهای کاهش آن. دومین کنفرانس بین‌المللی نقش مهندسی مکانیک در ساخت‌وساز شهری. ۱۳۹۷.
- بهرام خاکپور. سیستم‌های تأسیسات تهویه مطبوع. یزدا. ۱۳۹۰.
- وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴. ۱۳۹۶.
- موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی. ترازنامه هیدروکربوری کشور: سال ۱۳۸۶. ۱۳۸۷.
- تعرفه و قوانین و مقررات فروش برق. برگرفته از http://tariff.moe.gov.ir
- تعرفه‌های برق و شرایط عمومی آن‌ها. برگرفته از http://tariff.moe.gov.ir
- حامد کاملی، مجید سلطانی، آرش قلمی. نیازسنجی به‌کارگیری تجهیزات تهویه مطبوع با تکیه بر مطالعه آماری شرایط اقلیمی و محاسبات سایکرومتریک، نمونه محاسبات در شهر تهران. ششمین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع. ۱۳۹۴.
- حسن کلهر. مهندسی روشنایی. شرکت سهامی انتشار. ۱۳۹۲.
- حسین بزم‌آرا، مصطفی سفیدگر، مجید سلطانی. مدل‌سازی پارامترهای آسایش حرارتی در سیســـتم گرمایش کف و مقایسه‌ی آن با سیســـتم گرمایش رادیاتور. چهاردهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک. ۱۳۸۵.
- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. مقررات ملی ساختمان ایران: مبحث نوزدهم: صرفه‌جوئی در مصرف انرژی. نشر توسعه ایران. ۱۳۹۰.
- دفتر مقررات ملی ساختمان. مقررات ملی ساختمان: راهنمای مبحث چهاردهم: تأسیسات مکانیکی. نشر توسعه ایران. ۱۳۹۵.
- دفتر مقررات ملی ساختمان. مقررات ملی ساختمان: راهنمای مبحث شانزدهم: تأسیسات بهداشتی. نشر توسعه ایران. ۱۳۹۵.
- رامش زروانی، بهناز کاشانی، احمد نوید، وحید سعیدی، کرم الله رومی پور، فریبا شاه‌بداغلو، سپیده خطیبی، مصطفی برزگر، مازیار زند، لطف‌الله تشکریان جهرمی، سعید یوسفی، ثریا پیش‌قدم. ترازنامه هیدروکربوری کشور: سال ۱۳۹۴. فرهنگ صبا. ۱۳۹۶.
- رامین تابان. مرجع کاربردی تهویه مطبوع. نوآور. ۱۳۹۶.
- سعید همتی، مسعود ضیابشـــرحق، مجید سلطانی، علیرضا محبی فرید. بررسی هم‌زمان مصـــرف انرژی و آســـایش حرارتی در ســـاختمان‌ها، نمونه مطالعاتی: بررســـی عددی یک ســـاختمان مسکونی در تهران. ســـومین کنفرانس ملی تهویه مطبوع و تأسیسات حرارتی و برودتی. ۱۳۹۶.
- سورنا ستاری، رقیه لطفی، حامد حوری جعفری. ممیزی انرژی در سیستم‌های ساختمانی:

یک رهیافت مهندسی. هزاره سوم اندیشه. ۱۳۸۸.
- علی ســوهانی، حســین صیادی. معرفی سیستم سرمایش تبخیری ارتقا یافته با دسیکنت مایع و مقایسه آن با سیستم تبرید تراکمی. دومین کنفرانس بین‌المللی دستاوردهاي نوین در علوم مهندسي و پایه. ۱۳۹۳.
- غلامرضا ملک‌زاده، محمدحســین کاشــانی حصار. راهنمای طراحی سیســتم‌های تهویه مطبوع. استاد. ۱۳۹۲.
- قیمت‌گذاری گاز. برگرفته از http://mgd.nigc.ir
- مجتبی طباطبایی. محاسبات تأسیسات ساختمان شامل: حرارت مرکزی، تهویه مطبوع، آب‌رسانی و دفع فاضلاب ساختمانی. روزبهان. ۱۳۹۰.
- مجید سلطانی، حامد یوسفی کیا. بررسی اثر استفاده از پنجره‌های با کارایی حرارتی بالا در تغییر هزینه‌ها و انرژی مصرفی ساختمان. چهارمین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان. ۱۳۸۴.
- مجید سلطانی، مصطفی سفیدگر، حسین بزم‌آرا. بررسی تأثیر جهت نصب پنجره بر میزان مصرف انرژی. پنجمین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان. ۱۳۸۵.
- مجید سلطانی، مهران فریامنش. افزایش ضریب عملکرد چیلر جذبی آب-آمونیاکی با استفاده از پیش سردکن. چهاردهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک. ۱۳۸۵.
- محمدرضا علیخانی، سعید عباســیان، مجید سلطانی، مجتبی موسوی نایینیان. کاهش مصرف انرژی سرمایشی با استفاده از سیستم‌های سقف سرد. همایش ملی سوخت، انرژی و محیط‌زیست. ۱۳۸۷.
- محمدمهدی اسکو نژاد. اقتصاد مهندسی، یا ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی. دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران). ۱۳۸۸.
- معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظارت بودجه. مشــخصات فنی عمومی و اجرایی روشنایی راه‌ها: نشــریه شماره ۶۱۴. ســازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشــور، مرکز اسناد، مدارک و انتشارات. ۱۳۹۵.
- یونسا. سنجل، مایکل بولز، محمود ابراهیمی. علم ترمودینامیک: رهیافتی در مهندسی. دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز انتشارات. ۱۳۸۶.

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Standard: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE; 2010.
- Arora RC. Refrigeration and air conditioning. PHI Learning Pvt. Ltd.; 2012 Mar 30.
- ASHRAE HA. HVAC Applications Handbook. IP Edition. 2011.
- Banerjee A, Solomon BD. Eco-labeling for energy efficiency and sustainability: a meta-evaluation of US programs. Energy policy. 2003 Jan 1;31(2):109-23.
- Bokalders V, Block M. The whole building handbook: how to design healthy, efficient and sustainable buildings. Earthscan; 2010.
- Burdick A. Strategy guideline: Accurate heating and cooling load calculations. US Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy, Building Technologies Program; 2011 Jun 1.
- Cengel YA, Boles MA. Thermodynamics: an engineering approach. Sea. 2002;1000:8862.
- Claridge DE, Krarti M, Bida M. A validation study of variable-base degree-day cooling calculations. ASHRAE Transactions. 1987;93(2):90-104.
- Crawley DB, Lawrie LK, Winkelmann FC, Buhl WF, Huang YJ, Pedersen CO, Strand RK, Liesen RJ, Fisher DE, Witte MJ, Glazer J. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. Energy and buildings. 2001 Apr 1;33(4):319-31.
- Dehghani-Sanij AR, Soltani M, Raahemifar K. A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015 Feb 1;42:182-95.
- DiLaura DL, Houser KW, Mistrick RG, Steffy GR. The lighting handbook: Reference and application. New York: Illuminating Engineering Society of North America; 2011 Jul 30.
- Donnelly M, Kummer J, Drees K. LEAN Energy Analysis Using Regression Analysis to Assess Building Energy Performance Issue Brief. no. March. 2013.
- Doty S, Turner WC. Energy management handbook. Lilburn, GA: Fairmont Press; 2009.
- Dreyfus G. Neural networks: methodology and applications. Springer Science & Business Media; 2005 Dec 6
- EIA U. International energy outlook. US Energy Information Administration, Washington, DC. 2012.
- EMSD A. Guidelines on Energy Audit.; 2012.

- Energy Information Administration (US), editor. Annual Energy Outlook 2012: With Projections to 2035. Government Printing Office; 2012 Oct 3
- Erbs DG, Beckman WA, Klein SA. Estimation of degree-days and ambient temperature bin data from monthly-average temperatures. ASHRAE J.;(United States). 1983 Jun 1;25(6).
- Eto JH. On using degree-days to account for the effects of weather on annual energy use in office buildings. Energy and Buildings. 1988 Sep 21;12(2):113-27.
- Fanger PO. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.. 1970.
- Fumo N. A review on the basics of building energy estimation. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014 Mar 1;31:53-60.
- Galante A, Torri M. A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale. Energy and Buildings. 2012 May 1;48:211-9.
- Grant EL, Ireson WG. Principles of engineering economy; 1970.
- Greely KM, Harris JP, Hatcher AM. Measured savings and cost-effectiveness of conservation retrofits in commercial buildings. Lawrence Berkeley Lab., CA (USA); 1990 Apr 1.
- Haberl JS, Reeves G, Gillespie K, Claridge DE, Cowan J, Culp C, Frazell W, Heinemeier K, Kromer S, Kummer J, Mazzucchi R. ASHRAE's Proposed Guideline 14P for Measurement of Energy and Demand Savings: How to Determine What Was Really Saved by the Retrofit.
- Haines RW. Ventilation air, the economy cycle, and VAV. Heating, Piping and Air Conditioning;(United States). 1994 Oct 1;66(10).
- Handbook AS. Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2001;111.
- Handbook AS. Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2001;111.
- Handbook AS. HVAC systems and equipment. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA. 1996:1-0.
- Handbook AS. Refrigeration. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2002.
- IECC A. International Energy Conservation Code 2012. C403. 2012;2.
- Katipamula S, Reddy TA, Calridge DE. Development and application of regression models to predict cooling energy consumption in large commercial buildings. InProceedings of the 1994 ASME/JSME/JSES International Solar Energy

Conference 1994. Publ by ASME.
- Kissock JK, Haberl JS, Claridge DE. Inverse modeling toolkit: numerical algorithms. ASHRAE transactions. 2003 Dec 1;109:425.
- Kissock JK, Reddy TA, Claridge DE. Ambient-temperature regression analysis for estimating retrofit savings in commercial buildings. Journal of Solar Energy Engineering. 1998 Aug 1;120(3):168-76.
- Knapp AF. Lean energy audits: rethinking common management practices of multi-building energy audits.
- Krarti M. Energy audit of building systems: an engineering approach. CRC press; 2012.
- Krarti M. Weatherization and energy efficiency improvement for existing homes: an engineering approach. CRC Press; 2012.
- Kreider JF, Haberl JS. Predicting hourly building energy use: The great energy predictor shootout--Overview and discussion of results. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA (United States); 1994 Dec 31.
- Kreith F, Goswami DY. Energy management and conservation handbook. CRC Press; 2016.
- Manual TA. The Trane Company. LaCrosse, Wi. 1977
- McDowall R. Fundamentals of HVAC systems: SI edition. Academic Press; 2007.
- Mitchell JW, Braun JE. Principles of heating, ventilation, and air conditioning in buildings. Hoboken: Wiley; 2013.
- Mo K, Burt L, Hao B, Cheng J, Burr A, Kemkar S. Comparative Analysis of US and China Building Energy Rating and Labeling Systems China's MOHURD Rating and Labeling Program. ACEEE Summer Study Energy Effic. Build. 2010:256-69.
- Namieśnik J, Górecki T, Łukasiak J. Indoor air quality (IAQ), pollutants, their sources and concentration levels. Building and Environment. 1992 Jul 1;27(3):339-56.
- None N. Building Technologies Program: Planned Program Activities for 2008-2012. EERE Publication and Product Library, Washington, DC (United States); 2008 Jan 1.
- Outlook AE. with Projections to 2030. US Energy Information Administration, US Department of Energy, DOE/EIA, Washington, DC. 2011 Apr;20585:2011.
- Patrick SR, Patrick DR, Fardo SW. Energy conservation guidebook. The Fairmont Press, Inc.; 1993.
- Pérez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption

information. Energy and buildings. 2008 Jan 1;40(3):394-8.

- Piñero E. ISO 50001: setting the standard for industrial energy management. Green Manufacturing News. 2009:21-4.
- Safa M, Allen J, Safa M. Predicting Energy Usage Using Historical Data and Linear Models. InISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction 2014 Jan 1 (Vol. 31, p. 1). Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property.
- Seamonds D, Lowell D, Balon T, Leigh R, Silverman I. The bottom of the barrel: How the dirtiest heating oil pollutes our air and harms our health.
- Star E, Lighting C. Energy Star building upgrade manual. US Environmental Protection Agency and the US Department of Energy. 2008.
- Star E. Energy Star® Performance Ratings Technical Methodology. Energy Star. from: http://www. energystar. gov/index. cfm. 2011.
- Sullivan WG, Wicks EM, Luxhoj JT. Engineering economy. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall; 2003.
- Tamura GT, Shaw CY. Studies on exterior wall air tightness and air infiltration of tall buildings. ASHRAE Trans.;(United States). 1976 Jan 1;82.
- Thumann A, Younger WJ. Handbook of energy audits. The Fairmont Press, Inc.; 2008.
- Toolbox ES. an Energy Audit Manual and Tool. Technical Supplement/Energy Fundamental. 2002:124-63.
- Underwood C, Yik F. Modelling methods for energy in buildings. John Wiley & Sons; 2008 Apr 15.
- US Energy Information Administration, editor. Annual Energy Outlook 2011: With Projections to 2035. Government Printing Office; 2011 Jun 14.
- Webber CA, Brown RE, Koomey J. Savings estimates for the Energy Star® voluntary labeling program. Energy policy. 2000 Dec 1;28(15):1137-49.
- Zhao HX, Magoulès F. A review on the prediction of building energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012 Aug 1;16(6):3586-92.