DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.2.5.4

سال هفتم، شماره دوم، پائیز و زمستان ۱۳۹۹، ص ص ۳۵- ۴۵

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۱۴

تجزیه و تحلیل انرژی مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شرکت گاز استان آذربایجان غربی

وحید بیگ زاده*[۱]، شهرام خلیل آریا[۲]، محمدعلی شریفان[۳]، قادر علیزاده[۴]، سامان قره پاشا[۵] ، علی محمودی[۶]، عطا چیت‌ساز[۷]

۱- دکتری تخصصی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

۲- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- مسئول پشتیبانی نیرو و تاسیسات، مهندسی مکانیک، شرکت مخابرات استان آذربایجان غربی، ارومیه

۴- رئیس امور پژوهش، مهندسی شیمی، شرکت گاز استان آذربایجان غربی، ارومیه

۵- مسئول امور مهندسی، مهندسی مکانیک، شرکت گاز استان آذربایجان غربی، ارومیه

۶- مسئول پروژه‌های ساختمانی، مهندسی عمران، شرکت گاز استان آذربایجان غربی، ارومیه

۷- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

* ارومیه، صندوق پستی ۱۶۵، vbeygzadeh@gmail.com

چکیده

در این مقاله، تجزیه و تحلیل جامع انرژی برای مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شنای شرکت گاز استان آذربایجان غربی انجام شده است. تجزیه و تحلیل‌های انرژی به منظور مشخص کردن اتلافات انرژی در مجتمع و ارزیابی عملکرد آن انجام شده است. هدف اصلی این مقاله، تجزیه و تحلیل انرژی بخش‌های مختلف مجتمع و مشخص کردن بخش‌هایی است که بیش‌ترین اتلافات انرژی را دارند. برای مدل‌سازی مجتمع از نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که بیش‌ترین مقدار اتلافات انرژی در استخر شنا و به دلیل تبخیر سطحی روی می‌دهد. همچنین، نشان داده شده که در مورد مجتمع و استخر شنا، بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های موجود می‌تواند مصرف انرژی مجتمع را حداقل ۲۰٪ در سال کاهش دهد و باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها گردد. در خاتمه هم نویسندگان مقاله استفاده از سلول‌های فتوولتائیک برای تولید برق و استفاده از گردآورنده خورشیدی صفحه تخت برای گرمایش آب استخر مجتمع فرهنگی، ورزشی شرکت گاز آذربایجان غربی را پیشنهاد داده‌اند.

کلیدواژگان: انرژی، مجتمع، استخر شنا، آذربایجان غربی، تبخیر

Energy analysis of the west Azerbaijan gas company sport and cultural complex and swimming pool

Vahid Beygzadeh[1*], Shahram Khalilarya[2], Mohammadali Sharifan[3], Ghader Alizadeh[4], Saman Gharehpasha[5], Ali Mahmoudi[6], Ata Chitsaz[7]

1- Department of Mechanical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
3- Power and Facility Support Responsible, West Azerbaijan Telecommunication Company, Urmia, Iran
4- Head of Research Affairs, West Azerbaijan Gas Company, Urmia, Iran
5- Engineering Affairs Responsible, West Azerbaijan Gas Company, Urmia, Iran
6- Construction Projects Responsible, West Azerbaijan Gas Company, Urmia, Iran
7- Department of Mechanical Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
* P.O.B. 165 Urmia, Iran, vbeygzadeh@gmail.com

Received: 23 June 2019 Accepted: 5 December 2019

Abstract

A comprehensive energy analysis is reported for the west Azerbaijan gas company sport and cultural complex and swimming pool. Energy analysis are used to characterize the energy losses in the complex and estimate complex energy performance. The primary objectives of this paper are to analyze the west Azerbaijan gas company sport and cultural complex and swimming pool components to identify and quantify the sites having largest energy losses. A computer

www.SID.ir

modeling program using Design builder software is developed to model the complex. The results showed that the main source of the energy losses is the swimming pool due to the surface evaporation. It has been demonstrated that in this specific case the improvement of the sport and cultural complex and swimming pool and the optimization of the performances of the existing systems can reduce energy consumption at least 20% per year and save on costs. Finally, the authors have suggested using the solar PV system for electricity generation and solar flat plate collector for swimming pool water heating in the west Azerbaijan gas company sport and cultural complex.

Keywords: Energy, Complex, Swimming Pool, West Azerbaijan, Evaporation

www.SID.ir

۱- مقدمه

مصرف انرژی در مجتمع‌ها و ساختمان‌های کشور به عنوان یک بخش غیرمولد بیشترین سهم را در بین کلیه بخش‌های مصرف به خود اختصاص داده است، با توجه به ترازنامه انرژی کشور، سالانه بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی مستقیماً صرف تأمین نیازهای این بخش می‌گردد. این در حالی است که اکثر مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهند که بیش از نیمی از این میزان مصرف به دلایل مختلفی تلف می‌گردد و در صورت رسیدگی به وضعیت مجتمع‌ها و ساختمان‌ها و با اجرای راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی، ارتقای کارآیی و اصلاح الگوی بهره‌برداری می‌توان با کمتر از نصف این میزان انرژی مصرفی، آسایش مورد نظر در مجتمع‌ها و ساختمان‌ها را فراهم نمود. اتلاف انرژی در اغلب مجتمع‌ها و ساختمان‌های دولتی و عمومی در رتبه بالاتری قرار می‌گیرد و شاید عمده دلیل این ضعف، علاوه بر سایر مسائل و نقاط ضعف مشترک در اکثر مجتمع‌ها و ساختمان‌ها، به عدم انگیزه کافی و نبود فرد یا افراد متولی برای پیگیری مسائل بهینه‌سازی مصرف می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع، در این مطالعه، تجزیه و تحلیل انرژی مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شرکت گاز استان آذربایجان غربی انجام شده است. در ادامه نیز چندین تحقیق مرتبط با این موضوع آورده شده است.

فوونتس و همکارانش، به بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه پروفیل مصرف آب گرم در انواع مختلف ساختمان‌ها پرداخته‌اند و سپس اطلاعات جمع شده را ترکیب کرده و برآورد دقیقی از مصرف آب گرم به دست آورده‌اند [۱]. مارینوپولوس و همکارانش، بهینه‌سازی مصرف آب و انرژی را در یک استخر شنا انجام داده‌اند. ایشان روش‌هایی را برای پایداری استخرهای شنا از طریق کاهش مصرف انرژی و آب، تجزیه و تحلیل و مقایسه کرده‌اند [۲]. زیوکری و همکارانش، تجزیه و تحلیل انرژی استخرهای شنای با کاربری ورزشی را انجام داده‌اند و روش‌های مقرون به صرفه برای کاهش مصرف انرژی ارائه داده‌اند [۳]. جان گوان و همکارانش، مطالعه موردی به منظور برنامه‌ریزی انرژی مجتمع‌های ساختمانی یک دانشگاه را انجام داده‌اند [۴]. جیان پائولو باربتا و همکارانش، تاثیر ممیزی انرژی بر روی سرمایه‌گذاری برای بازده انرژی توسط مالکان عمومی را در ایتالیا بررسی کرده‌اند [۵]. ولفگانگ کمپل و همکارانش، به بررسی و مقایسه مصرف انرژی در سالن‌های شنای نروژ پرداخته‌اند [۶]. غفوریان و همکارانش، بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک مجتمع ورزشی آبی را با استفاده از سیستم‌های CCHP انجام داده‌اند [۷].

در این مطالعه، مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شرکت گاز استان آذربایجان غربی از لحاظ مصرف انرژی، مدل‌سازی و ارزیابی شده است. هدف اصلی از این ارزیابی، بهبود عملکرد استخر و شناسایی نقاط پرمصرف انرژی در مجتمع و ارائه راهکارهایی برای ارتقای کارآیی آن است که بدین منظور، مراحل زیر انجام شده است:

- بازدید، اندازه‌گیری و ثبت اطلاعات اولیه مجتمع و تکمیل فرم‌های ممیزی انرژی شامل اطلاعات عمومی مجتمع، اطلاعات ساکنین و مالکین، وضعیت بکارگیری فضاهای مختلف و میزان تراکم ساکنین، سیستم سرمایش و گرمایش، بررسی نقشه‌های معماری و تاسیسات مجتمع، بررسی مشخصات دیوارها، درب‌ها، پنجره‌ها، سقف و کف، آب گرم مصرفی، اطلاعات انرژی مصرفی در سه سال گذشته، سیستم روشنایی، اطلاعات اقلیمی مجتمع، اندازه‌گیری و ثبت اطلاعات اولیه مجتمع، بررسی راندمان سیستم‌های احتراقی، بررسی میزان هوای نفوذی به مجتمع، بررسی وضعیت عایق‌کاری جداره‌ها، بررسی وضعیت روشنایی داخل مجتمع، ثبت اطلاعات شمارشگر انرژی مجتمع (برق، گاز و آب) در بازه‌های زمانی مشخص
- مدل‌سازی مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شرکت گاز استان آذربایجان غربی با استفاده از نرم‌افزار Design Builder
- انجام تجزیه و تحلیل انرژی مجتمع به منظور تعیین مصارف انرژی آن
- ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی

نوآوری این تحقیق کاربردی، ارائه راهکارهایی جهت ساماندهی، کاهش و بهبود رویه مصرف انرژی در یک مجتمع فرهنگی ورزشی مهم در استان آذربایجان غربی و همچنین ترویج استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و نو در چنین مجتمع‌هایی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش، به توصیف مجتمع پرداخته شده و در بخش بعدی، نحوه مدل‌سازی و روابط مربوط به مدل‌سازی و در انتها اعتبارسنجی نتایج، نتایج و بحث و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲-۱- توصیف مجتمع

مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شرکت گاز استان آذربایجان غربی با زیر بنای حدود ۳۰۱۰ متر مربع در طبقات زیرزمین، همکف، اول و موتورخانه است که در سال ۱۳۸۹ عملیات ساخت آن شروع شده و در سال ۱۳۹۲ به بهره‌برداری رسیده است. این مجتمع دارای یک پارکینگ، یک سالن بدن‌سازی، یک سالن تیراندازی، سالن یوگا و ژیمناستیک، سالن بوکس، یک سالن تکواندو و یک مجموعه استخر شنا شامل سونا خشک، سونا بخار، جکوزی، اتاق ماساژ، اتاق ناجیان، انبار تنظیفات، انبار وسایل، یک سالن تنیس، یک سالن غذاخوری، اتاق مسئول مجتمع، دو عدد رختکن، یک سالن ورزشی و مامورسرا است. میزان مصرف سالانه انرژی مجتمع (سوخت وبرق) درسال ۱۳۹۴، شامل سوخت گاز طبیعی ۵۴۷۳۹ مترمکعب و برق ۱۵۵۳۴۰ کیلووات ساعت بوده است. میانگین سالانه دمای آب داخل استخر مجتمع حدود ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه دمای هال استخر حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه رطوبت نسبی استخر ۶۳/۵ درصد محاسبه شده است. وضعیت آب و هوای بیرون مجتمع هم طبق شرایط آب و هوایی شهر ارومیه می‌باشد. اطلاعات ورودی به نرم‌افزار نیز شامل موارد زیر بوده است:

- زیربنای ۳۰۱۰ متر مربع مجتمع در طبقات زیرزمین، همکف، اول و موتورخانه
- مساحت، دما، رطوبت، نحوه عملکرد و ابعاد بخش‌های مختلف مجتمع
- مشخصات مصالح به کار رفته در مجتمع (مطابق پیوست‌های ۲ تا ۶)
- ضریب فعالیت استخر در زمان فعالیت آن، با توجه به اینکه استخر کاربری عمومی دارد، یک و در زمان غیرفعال بودن استخر برابر ۰/۵ لحاظ شده است [۱۱].
- اطلاعات آب و هوای ارومیه برای بیرون مجتمع که از نرم‌افزار فراخوانی شده است.
- اطلاعات انرژی مصرفی مجتمع در سه سال گذشته، اطلاعات عملکرد تاسیسات مجتمع و الگوی بهره‌برداری مجتمع

۲-۲- تجزیه و تحلیل انرژی

www.SID.ir

غالباً به منظور مقایسه میزان مصرف انرژی یک مجتمع با سایر مجتمع‌های مشابه خود و یا با شرایط استاندارد، از شاخص‌های مفیدی استفاده می‌گردد که عبارتند از:

شاخص مصرف ویژه انرژی یا شاخص کارآیی انرژی که به صورت زیر تعریف شده است:

$$EPI = \frac{AEC}{A_S} \quad (1)$$

در رابطه فوق، EPI شاخص عملکرد انرژی بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع بر سال، AEC مصرف انرژی سالانه مجتمع بر حسب کیلووات ساعت بر سال و A_S مساحت زیربنا بر حسب متر مربع است.

شاخص مصرف ویژه انرژی الکتریکی که به صورت زیر تعریف شده است:

$$SEC_e = \frac{AEEC}{A_S} \quad (2)$$

در رابطه فوق، AEEC مصرف انرژی الکتریکی سالانه مجتمع بر حسب کیلووات ساعت بر سال، SEC_e مصرف ویژه انرژی الکتریکی بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع بر سال و A_S مساحت زیربنا بر حسب متر مربع است.

شاخص مصرف انرژی حرارتی (غیرالکتریکی) که به صورت زیر تعریف شده است:

$$SEC_f = \frac{ATEC}{A_S} \quad (3)$$

در رابطه فوق، ATEC مصرف انرژی گرمایی سالانه مجتمع بر حسب کیلووات ساعت بر سال، SEC_f مصرف ویژه انرژی حرارتی بر حسب کیلووات ساعت بر متر مربع بر سال و A_S مساحت زیربنا بر حسب متر مربع است.

تبخیر در استخرهای شنای سرپوشیده به وسیله دو مکانیزم جابجایی طبیعی و جابجایی اجباری به دلیل جریان هوای ایجاد شده به وسیله سیستم تهویه استخر انجام می‌شود. معتبرترین رابطه برای محاسبه تبخیر سطحی با مکانیزم جابجایی طبیعی، رابطه‌ای است که در کتاب گرمایش، تهویه هوا و تهویه مطبوع اشری [۹] در سال ۲۰۰۷ به دست آمده است و به صورت زیر است:

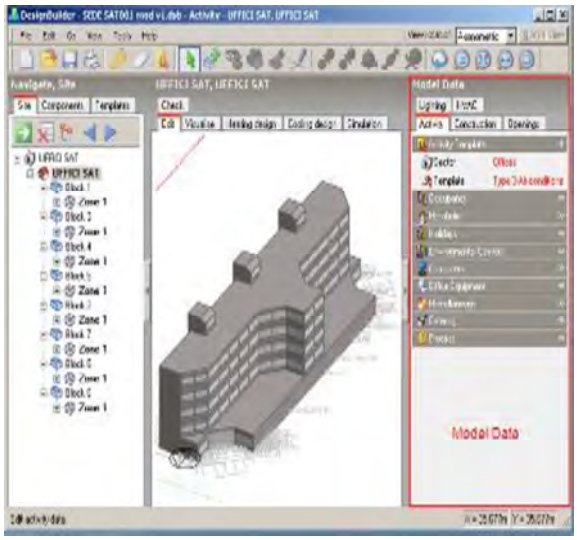
$$SER = ۳۶۰۰ \times ۴ \times ۱۰^{-۵} \times A_P(P_w - P_r)F_a \quad (4)$$

در رابطه فوق، SER نرخ تبخیر سطحی در نتیجه جابجایی طبیعی (بر حسب کیلوگرم بر ساعت، P_w فشار جزئی بخار آب در هوای اشباع در دمای سطح آب (بر حسب کیلوپاسکال) و P_r فشار جزئی بخار آب در هوا در دما و رطوبت هال استخر (بر حسب کیلوپاسکال) است. A_P (سطح استخر بر حسب مترمربع که برابر ۲۵۰ مترمربع است) و F_a ضریب فعالیت استخر است که برای استخرهای تفریحی در زمان فعال بودن استخر برابر ۱ و در زمان غیرفعال بودن استخر برابر ۰/۵ است [۱۱]. برای استخر مجتمع فرهنگی ورزشی شرکت گاز استان آذربایجان غربی، با توجه به شرایط کارکرد استخر، مقدار متوسط ضریب فعالیت برابر ۰/۶۲۵ می‌باشد. معتبرترین رابطه برای محاسبه تبخیر سطحی در نتیجه تهویه هوا (که سبب اتلاف حرارت از طریق تهویه هوا می‌شود) رابطه‌ای است که توسط میرزا ام شاه [۸] در سال ۲۰۱۲ به دست آمده است و به صورت زیر است:

$$VSER = ۰.۰۵ \times A_P(P_w - P_r) \quad (5)$$

در رابطه فوق، VSER نرخ تبخیر سطحی در نتیجه تهویه هوا (بر حسب کیلوگرم بر ساعت)، P_w فشار جزئی بخار آب در هوای اشباع در دمای سطح آب (بر حسب کیلوپاسکال)، A_P (سطح استخر بر حسب مترمربع که برابر ۲۵۰ مترمربع است) و P_r فشار جزئی بخار آب در هوا در دما و رطوبت هال استخر (بر حسب کیلوپاسکال) است. سایر روابط مربوط به تجزیه و تحلیل انرژی مجتمع از کتابخانه نرم‌افزار Design Builder فراخوانده شده‌اند که شامل تمام روابط مربوط به موازنه انرژی مجتمع از جنبه‌های مختلف مثل فیزیک مجتمع (مصالح مجتمع)، معماری، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و بطور کلی تمامی جزئیات مربوط به آن می‌باشد. لازم به ذکر است که این نرم‌افزار توانایی مدل‌سازی بار گرمایشی و سرمایشی ساختمان، مصارف مختلف انرژی ساختمان از قبیل مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، لوازم خانگی، آب گرم مصرفی، محاسبه میزان روشنایی روز و حتی مدل‌سازی CFD و نحوه توزیع دما و سرعت هوای داخلی هر فضا و توزیع سرعت و فشار خارج ساختمان را دارد. از دیگر ویژگی‌های این نرم افزار می‌توان به داده‌های آب و هوایی مورد استفاده در آن اشاره کرد که این داده‌ها بر اساس داده‌های ۳۰ ساله آب و هوایی منطقه مورد نظر طراحی و ساخته شده و به صورت فایل اقلیمی برای کاربران تدوین گردیده است. مدل‌سازی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر با استفاده از فایل اقلیمی شهرهای مختلف ایران، محاسبات دریافت و اتلاف و مصرف انرژی را دقیقاً بر اساس شرایط اقلیمی محل قرارگیری ساختمان انجام می‌دهد. محیط کاربری نرم‌افزار Design Builder که شامل مدل‌سازی مجتمع است، در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مطالعه، چون هدف ما تجزیه و تحلیل انرژی مجتمع موجود (مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شرکت گاز استان آذربایجان غربی) بود، با استفاده از نقشه‌های معماری و تاسیسات مجتمع و وارد کردن داده‌های مربوط به کل مجتمع شامل اطلاعات عمومی مجتمع، اطلاعات اقلیمی مجتمع (اطلاعات اقلیمی شهر ارومیه که از کتابخانه نرم‌افزار فراخوانی شده است)، اطلاعات انرژی مصرفی در سه سال گذشته، اطلاعات عملکرد تاسیسات مجتمع و الگوی بهره‌برداری مجتمع به نرم‌افزار دیزاین بیلدر بر اساس استانداردهای ASHRAE و با استفاده از موازنه حرارتی، این تجزیه و تحلیل انجام شده و مجتمع در شرایط اقلیمی واقعی شبیه‌سازی شده و مشخص گردیده که مجتمع مورد نظر در واقعیت چگونه کار می‌کند. نتایج خروجی هر نرم‌افزار مدل‌سازی مستقیماً متأثر از اطلاعات ورودی برای آن است و هر چه دقت و صحت این اطلاعات ورودی بیشتر بوده و با مقادیر واقعی انطباق بیشتری داشته باشد، نتایج خروجی مدل‌سازی دقیق‌تر بوده و به مقادیر واقعی نزدیک‌تر است. در مدل‌سازی مربوط به این مطالعه تلاش شده از واقعی‌ترین و دقیق‌ترین اطلاعات مربوط به مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شرکت گاز استان آذربایجان غربی استفاده شود.

www.SID.ir



شکل ۱ مدل‌سازی مجتمع در نرم‌افزار Design Builder

۳- نتایج

در این بخش، ابتدا اعتبارسنجی نتایج و سپس نتایج و بحث حاصل از تجزیه و تحلیل انرژی مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شرکت گاز استان آذربایجان غربی، ارائه شده است.

۳-۱- اعتبارسنجی نتایج

برای اعتبارسنجی نتایج تجزیه و تحلیل انرژی، چون هدف ما تجزیه و تحلیل انرژی مجتمع موجود (مجتمع فرهنگی ورزشی و استخر شرکت گاز استان آذربایجان غربی) بود، از قبض‌های گاز و برق که نشان دهنده مصرف واقعی انرژی مجتمع هستند، استفاده شده است. جدول‌های ۱ و ۲ اعتبارسنجی نتایج را نشان می‌دهند.

جدول ۱ اعتبارسنجی نتایج مصرف برق مجتمع بر اساس قبض‌ها و نرم‌افزار

فصل	مصرف برق مجتمع بر اساس قبض‌ها (kwh)	مصرف برق مجتمع بر اساس نرم‌افزار (kwh)	درصد اختلاف
بهار	۶۱۲۷۶	۵۵۳۱۶/۳۷	۱۰/۷۷
تابستان	۹۶۱۲۱	۸۵۶۳۹/۵۹	۱۲/۲۴
پاییز	۸۴۷۶۵	۷۷۳۱۳/۲۸	۹/۶۴
زمستان	۶۰۴۰۹	۵۳۱۳۴/۷۸	۱۳/۶۹
کل فصل‌ها	۳۰۲۵۷۱	۲۷۱۴۰۴/۰۲	۱۱/۴۸

جدول ۲ اعتبارسنجی نتایج مصرف گاز مجتمع بر اساس قبض‌ها و نرم‌افزار

فصل	مصرف گاز مجتمع بر اساس قبض‌ها (kwh)	مصرف گاز مجتمع بر اساس نرم‌افزار (kwh)	درصد اختلاف
بهار	۳۰۱۷۳۶	۳۰۲۵۴۳/۷۲	-۰/۲۶۷
تابستان	۱۸۴۵۶۳	۲۴۱۵۵۵/۹۶	-۲۳/۶
پاییز	۴۶۲۴۹۴	۴۳۹۷۷۰/۴۸	۵/۱۷
زمستان	۷۳۷۵۲۳	۶۵۳۶۸۷/۱۸	۱۲/۸۲
کل فصل‌ها	۱۶۸۶۰۰۰	۱۶۳۸۰۰۰	۲/۹۳

با توجه به اینکه با یک مدل ساخته شده مواجه هستیم و مدل‌سازی بر اساس مدل اطلاعات محور بوده لذا احتمال وجود خطاهایی چه در ورود اطلاعات و چه خطاهای ناشی از تغییرات نوع مصالح و عدم تطبیق کامل با طرح اولیه دور از انتظار نمی‌باشد.

۳-۲- اتلاف انرژی ناشی از تبخیر سطحی و تهویه هوا

در جدول ۳ متوسط اتلاف حرارتی ناشی از تبخیر سطحی و تهویه هوا و هزینه ریالی آن‌ها در یک شبانه روز و با زمان فعالیت متوسط استخر ۶ ساعت و زمان عدم فعالیت متوسط ۱۸ ساعت در شبانه روز، ارائه شده است.

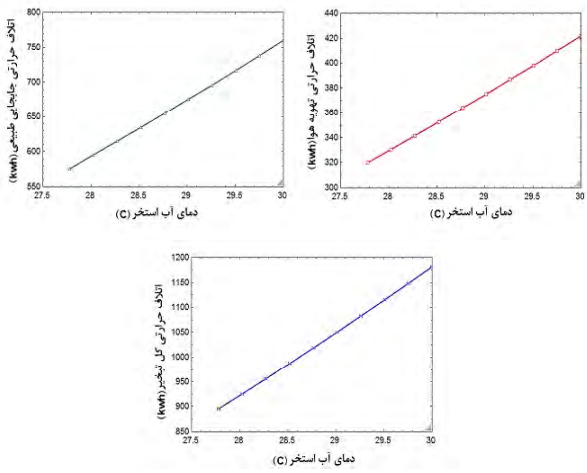
جدول ۳ متوسط اتلاف حرارتی ناشی از تبخیر سطحی و تهویه هوا و هزینه ریالی آن‌ها در یک شبانه روز

نرخ تبخیر ناشی از جابجایی طبیعی (Kg/hr)	۳۹/۵۵
تبخیر ناشی از جابجایی طبیعی (Kg)	۹۴۹/۳
نرخ تبخیر ناشی از تهویه هوا (Kg/hr)	۲۱/۹۷
تبخیر ناشی از تهویه هوا (Kg)	۵۲۷/۴
نرخ تبخیر ناشی از جابجایی طبیعی و تهویه هوا (Kg/hr)	۶۱/۵۳
تبخیر ناشی از جابجایی طبیعی و تهویه هوا (Kg)	۱۴۷۷
گرمای اتلافی ناشی از جابجایی طبیعی (Kwh)	۶۳۲/۹
گرمای اتلافی ناشی از تهویه هوا (Kwh)	۳۵۱/۶
کل گرمای اتلافی ناشی از تهویه هوا و تبخیر سطحی (Kwh)	۹۸۴/۵
هزینه ریالی گرمای اتلافی ناشی از جابجایی طبیعی (ریال)	۵۸۵۹۵/۹
هزینه ریالی گرمای اتلافی ناشی از تهویه هوا (ریال)	۳۲۵۵۲/۲
هزینه ریالی کل گرمای اتلافی ناشی از تهویه هوا و تبخیر سطحی(ریال)	۹۱۱۴۸/۱

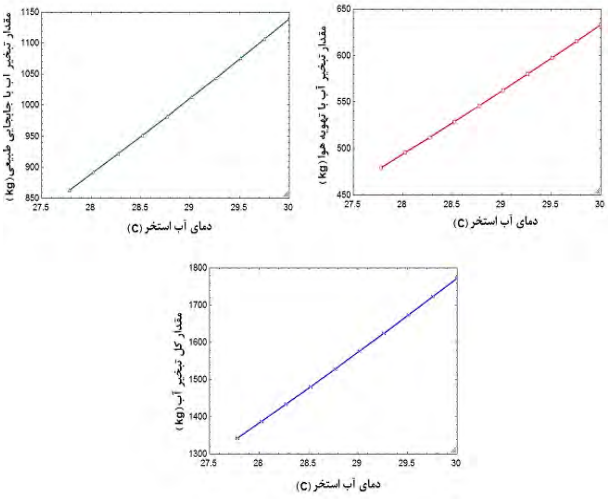
۳-۳- تاثیر تغییر دمای آب استخر و دمای هال استخر بر مقدار تبخیر و اتلاف انرژی

در شکل‌های ۲ تا ۵، تاثیر تغییر دمای آب استخر و دمای هال استخر بر مقدار تبخیر و اتلاف حرارتی استخر نشان داده شده است.

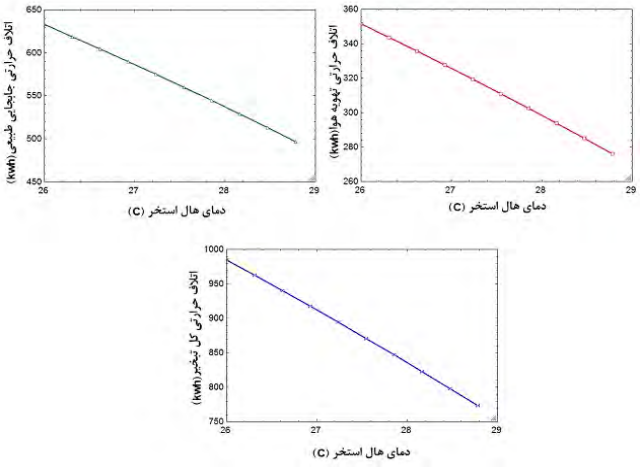
www.SID.ir



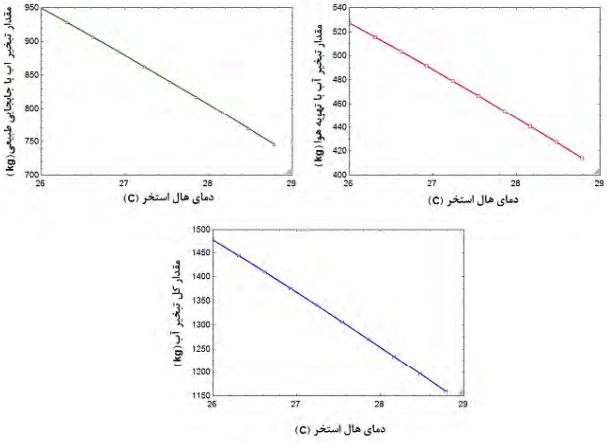
شکل ۲ تاثیر افزایش دمای آب استخر بر اتلاف حرارتی استخر



شکل ۳ تاثیر افزایش دمای آب استخر بر مقدار تبخیر آب از استخر



شکل ۴ تاثیر افزایش دمای هال استخر بر اتلاف حرارتی استخر



شکل ۵ تاثیر افزایش دمای هال استخر بر مقدار تبخیر آب از استخر

با توجه به شکل‌های ۲ تا ۵ مشاهده می‌شود که افزایش دمای آب داخل استخر سبب افزایش مقدار تبخیر آب با جابجایی طبیعی (و در نتیجه افزایش اتلاف حرارتی ناشی از جابجایی طبیعی) و افزایش مقدار تبخیر آب با تهویه هوا (و در نتیجه افزایش اتلاف حرارتی ناشی از تهویه هوا) می‌شود و افزایش دمای هال استخر سبب کاهش مقدار تبخیر آب با جابجایی طبیعی (و در نتیجه کاهش اتلاف حرارتی ناشی از جابجایی طبیعی) و کاهش مقدار تبخیر آب با تهویه هوا (و در نتیجه کاهش اتلاف حرارتی ناشی از تهویه هوا) می‌شود. در نتیجه باید دمای هال استخر مجتمع که حدود ۳/۵ درجه سانتی‌گراد کمتر از حالت استاندارد طراحی استخرهای داخل ساختمانی است (با توجه به اینکه میانگین سالانه دمای آب داخل استخر مجتمع حدود ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالانه دمای هال استخر مجتمع حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی سالانه استخر مجتمع ۶۳/۵ درصد است در حالی که طبق پیوست ۷ باید دمای هال استخر مجتمع، بین ۲۹/۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد.) به حالت شرایط استاندارد برسد و از افزایش بیشتر دمای آب داخل استخر جلوگیری شود تا استانداردهای مربوط به طراحی استخرهای داخل ساختمانی، در استخر مجتمع رعایت شود. همچنین با توجه به شرایط فصول و کاربران استخر، اقدامات لازم برای تنظیم دمای آب استخر، تنظیم دمای هال استخر و تنظیم رطوبت استخر (در محدوده استاندارد طراحی حدود ۵۰ الی ۶۰ درصد) و نزدیک کردن این پارامترها به حالت طراحی استاندارد انجام شود، چون دو عدد فن دمنده بزرگ در نزدیکی کاسه استخر وجود دارند که سبب می‌شوند دمای هال استخر، دمای آب استخر و رطوبت نسبی استخر وابسته به شرایط هوای بیرون باشند و برای نگه داشتن دمای آب استخر در حالت طراحی متناسب با نوع کاربری استخر (۲۸/۵ سانتی‌گراد) مقدار انرژی بیشتری به‌خصوص در ماه‌های سرد سال لازم باشد و به همین دلیل مصرف انرژی مجتمع نیز بیشتر می‌شود. همچنین دمای هال استخر نیز در ماه‌های سرد سال بسیار پایین می‌آید (گاهی تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد) و همین موضوع باعث احساس عدم آسایش در کاربران استخر شده و به دلیل اختلاف دمای زیاد ایجاد شده بین هال استخر و آب داخل استخر (که معمولاً در حدود ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد نگه داشته می‌شود) میزان تبخیر آب استخر نیز زیاد می‌شود.

www.SID.ir
www.jrenew.ir..... /..... info@jrenew.ir

۳-۴- محاسبه مصارف سالانه آب گرم مصرفی، گرمایش، سرمایش و برق مجتمع

مصارف سالانه آب گرم مصرفی، گرمایش، سرمایش و برق مجتمع در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴ مصارف سالانه آب گرم مصرفی، گرمایش، سرمایش و برق مجتمع

مصرف انرژی آب گرم مصرفی (kwh)	۹۴۷۹۹۱
مصرف انرژی گرمایش(kwh)	۷۳۸۳۲۳
مصرف انرژی گرمایش اسپلیت‌ها (kwh)	۷۰۵۰
مصرف انرژی سرمایش (kwh)	۴۳۶۷۳/۷
مصرف انرژی برق (kwh)	۳۰۲۵۷۱

۳-۵- مقایسه مصارف سالانه انرژی مجتمع بر اساس قبض‌ها و نرم‌افزار

مقایسه مصارف سالانه انرژی مجتمع بر اساس قبض‌ها و نرم‌افزار در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ مقایسه مصارف سالانه انرژی مجتمع بر اساس قبض‌ها و نرم‌افزار

مصرف برق مجتمع بر اساس قبض‌ها (kwh)	۳۰۲۵۷۱
مصرف برق مجتمع بر اساس نرم‌افزار (kwh)	۲۷۱۴۰۴/۰۲
مصرف گاز استخر بر اساس قبض‌ها (kwh)	۹۴۷۹۹۱
مصرف گاز استخر بر اساس نرم‌افزار (kwh)	۸۹۹۲۳۴/۳۴
مصرف گاز مجتمع بر اساس قبض‌ها (kwh)	۱۶۸۶۰۰۰
مصرف گاز مجتمع بر اساس نرم‌افزار (kwh)	۱۶۳۸۰۰۰

۳-۶- مقایسه مصارف سالانه انرژی مجتمع با استانداردهای جهانی

مقایسه مصارف سالانه انرژی مجتمع با استانداردهای جهانی بر اساس شاخص‌های مصرف انرژی، در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶ مقایسه مصارف سالانه انرژی مجتمع با استانداردهای جهانی

شاخص	مقدار $(kWh.m^{-2}yr^{-1})$
EPI	۶۶۰/۸
SEC_e	۱۰۰/۵
SEC_f	۵۶۰/۲

با مقایسه این شاخص‌ها با استانداردهای جهانی (پیوست ۱)، مشاهده می‌شود رده انرژی مجتمع در رده G قرار دارد و مصرف انرژی آن بیشتر از شرایط استاندارد بوده و لازم است که اقدامات بهینه‌سازی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مورد توجه جدی قرار گیرد و نسبت به رفع مشکلات موجود در مجتمع اقدام شود و محاسبات مذکور برای شرایط پیشنهادی مجدداً انجام گیرد. با توجه به نتایج ممیزی انرژی مجتمع، پتانسیل صرفه‌جویی در انرژی مجتمع (با بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های موجود) حداقل ۲۰٪ در سال برآورده شده است. همچنین، میزان متوسط صرفه‌جویی انرژی در صورت استفاده از سلول‌های فتوولتائیک برای تولید برق و استفاده از گردآورنده خورشیدی صفحه تخت برای گرمایش آب استخر مجتمع، حدود ۴۵٪ پیش‌بینی می‌شود اما قبل از راه‌اندازی و استفاده از این سیستم‌ها، باید علل بالابودن مصرف انرژی مجتمع، تا حد امکان برطرف شوند.

۴- نتیجه‌گیری

علل بالابودن مصرف انرژی سالیانه مجتمع عبارتند از:

۱- عدم استفاده از سیستم‌های موثر کنترلی هوشمند که دمای داخل را بر اساس دمای بیرون، تنظیم مجدد نموده و تجهیزات مرتبط (مانند مشعل‌ها، پمپ‌ها و مبدل‌ها و ...) را براساس نقطه تنظیم مطمئن بکار گیرد و در نهایت گاز مصرفی را به نقطه ایده‌آل نزدیکتر نماید.

۲- تبخیر سطحی زیاد آب استخر به دلیل اینکه دمای هال استخر با دمای حالت طراحی حدود ۳ الی ۵ درجه سانتی‌گراد تفاوت دارد.

۳- وجود دو عدد فن دمنده بزرگ در در نزدیکی کاسه استخر که سبب تسریع تبخیر آب از استخر شده و اتلاف انرژی را زیاد می‌کند. همچنین، این فن‌ها باعث ورود هوای جایگزین تعدیل نشده (از لحاظ دما و رطوبت) از طریق ورودی‌ها و منفذها به محیط استخر شده و ضمن افزایش میزان تبخیر سطحی و مصرف گاز و آب، احساس عدم آسایش را در زمستان و تابستان ایجاد می‌کند.

۴- استفاده نکردن از روکش استخر در زمان غیرفعال بودن استخر (روکش استخر باعث کاهش تبخیر آب و به تبع آن کاهش مصرف آب و کاهش مواد شیمیایی ضدعفونی کننده آب استخر می‌شود و با استفاده از آن، هزینه‌های گرمایش استخر به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و همچنین در صورت استفاده از سیستم گرمایش با انرژی‌های نو، به کاهش اندازه سیستم گرمایش کمک خواهد کرد.) به منظور کاهش مصرف انرژی در مجتمع، راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- تعیین فردی مسئول به عنوان مدیر انرژی مجتمع برای نظارت، کنترل و بازرسی فضاها و تأسیسات در پایان روز و آخر هفته
- برنامه‌ریزی مدیریت مصرف آب که مرتبط با مصرف انرژی است (مخصوصاً آب گرم) و اصلاح و نصب وسایل اندازه‌گیری دمای آب و فضای استخر و نصب شیر کنترل بر روی مسیر آب گرم و استفاده از سامانه کنترل هوشمند موتورخانه جهت تنظیم دمای آب گرم متناسب با هوای خارج
- استفاده از روکش استخر
- تدوین برنامه زمانی کارکرد برای بویلرها و تنظیم نقطه کارکرد پمپ‌ها
- استفاده از تجهیزات ساختمانی و تاسیساتی با راندمان بالاتر
- به کارگیری کامل مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان
- استفاده از سرویس منظم و دوره‌ای تاسیسات و رسوب‌زدایی دیگ بخار و سایر تاسیسات مجتمع
- هوشمندسازی روشنایی وگرمایش با سیستم کنترل مرکزی (هوشمندسازی مجتمع و نصب تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل و مدیریت، مانیتورینگ و رصد مصارف انرژی و تحلیل اطلاعات انرژی به همراه کنترل دقیق فرآیندها)

www.SID.ir

- انتخاب وسایل متناسب با نیاز حرارتی فضای مجتمع و عدم گرمایش اتاق‌ها یا فضاهای غیر قابل استفاده و استفاده از تاسیسات متناسب با شرایط آب و هوایی شهر ارومیه
- استفاده از سامانه های گرمایش تابشی در سالن‌های ورزشی
- ثبت گزارش روزانه یا حتی الامکان ماهانه عملکرد تاسیسات به منظور بررسی عملکرد و شرایط کاری تاسیسات
- استفاده از انرژی‌های نو و یا تکنولوژی CCHP و سایر انرژی‌های قابل دسترسی و نیز ترکیبی از آنها در مجتمع مخصوصاً انرژی خورشیدی برای تولید برق و گرمایش آب استخر، این نوع انرژی معایب سوخت‌های فسیلی مانند افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و در نتیجه افزایش دمای کره زمین و تغییرات آب و هوایی و آلودگی زیست محیطی را ندارد.

۵- فهرست علائم

AEEC	مصرف انرژی الکتریکی سالانه مجتمع $(kWh.yr^{-1})$
AEC	مصرف انرژی سالانه مجتمع $(kWh.yr^{-1})$
ATEC	مصرف انرژی گرمایی سالانه مجتمع $(kWh.yr^{-1})$
A_s	مساحت زیربنا (m^2)
A_p	مساحت سطح استخر (m^2)
BTU	واحد انرژی در سیستم انگلیسی
CCHP	تولید همزمان سرمایش، گرمایش و توان
EPI	شاخص عملکرد انرژی $(kWh.m^{-2}yr^{-1})$
e	الکتریکی
f	سوخت
F_a	ضریب فعالیت استخر
hr	ساعت
j	ژول
Kg	کیلوگرم
kWh	کیلووات ساعت
K	کلوین
m	متر
p_w	فشار جزئی بخار آب در هوای اشباع در دمای سطح آب $(kgm^{-1}s^{-2})$
P_r	فشار جزئی بخار آب در هوا در دما و رطوبت هال استخر $(kgm^{-1}s^{-2})$
SEC	مصرف ویژه انرژی $(kWh.m^{-2}.yr^{-1})$
SER	نرخ تبخیر سطحی در اثر جابجایی $(kg.hr^{-1})$
VSER	نرخ تبخیر سطحی در اثر تهویه هوا $(kg.hr^{-1})$
W	وات
yr, Y	سال

زیرنویس‌ها

a	فعالیت
p	استخر
r	هال استخر
s	زیربنا
w	آب

۶- تقدیر و تشکر

از شرکت گاز استان آذربایجان غربی که حمایت مالی این پروژه را بر عهده داشته است و معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه سپاسگزاری می‌شود.

۷- مراجع

[1] E.Fuentes, L.Arce, J.Salom, A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, No. 1, pp. 1530-1547, 2018.

[2] I.S.Marinopoulos, K.L.Katsifarakis, Optimization of energy and Water Management of swimming pools. A case Study in Thessaloniki, Greece, *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 38, No. 1, pp. 773-780, 2017.

[3] F.Zuccari, A.Santiangeli, F.Orecchini, Energy analysis of swimming pools for sports activities: cost effective solutions for efficiency improvement, *Energy Procedia*, Vol. 126, No. 1, pp. 123-130, 2017.

[4] Jun Guan, Natasa Nord, Shuqin Chen, Energy planning of university campus building complex: Energy usage and coincidental analysis of individual buildings with a case study, *Energy and Buildings*, Vol. 124, No. 1, pp. 99-111, 2016.

[5] Gian Paolo Barbetta, Paolo Canino, Stefano Cima, The impact of energy audits on energy efficiency investment of public owners. Evidence from Italy, *Energy*, Vol. 93, No. 1, pp. 1199-1209, 2015.

[6] Wolfgang Kampel, B.A, Amund Bruland, Energy-use in Norwegian swimming halls, *Energy and Buildings*, Vol. 59, No. 1, pp. 181-186, 2013.

[7] M.ghafuoryan, *2nd International Conference & 3rd National Conference on New Technologies Application in Engineering*, Vol. 49, No. 1, pp. 306–309, 2016.

[8] Mirza M.Shah, Improved method for calculating evaporation from indoor water pools, *Energy and Buildings*, Vol. 49, No. 1, pp. 306-309, 2012.

[9] *Ashrae Handbook, HVAC Applications.* ASHRAE, Atlanta, GA, 2007.

[۱۰] راهنمای انجام ممیزی انرژی سریع در ساختمان، پرتال سازمان بهره وری انرژی ایران (سابا)

[11] *Lund, John W. Design considerations for pools and spas (natatoriums).* GHC bulletin, September 2000.

www.SID.ir

www.jrenew.ir..... /..... info@jrenew.ir

پیوست‌ها

پیوست ۱ بازه‌بندی برچسب و شاخص مصرف استاندارد انرژی ساختمان در کشورهای جهان [۱۰]

محدوده برچسب	پارامتر ارزیابی	واحد	بازه A	بازه B	بازه C	بازه D	بازه E	بازه F	بازه G
بریتانیا	بهره‌وری	درصد	۱۰۰-۸۶	۸۵-۷۱	۷۰-۵۶	۵۵-۴۱	۴۰-۲۶	۲۵-۱۱	۱۰-۱
فرانسه	کل مصرف انرژی	kWh/Y/m2	۵۰-۰	۹۰-۵۱	۱۵۰-۹۱	۲۳۰-۱۵۱	۳۳۰-۲۳۱	۴۵۰-۳۳۱	>۴۵۰
آلمان	کل مصرف انرژی	kWh/Y/m2	محدود پیوسته ۵۵۰ - ۰ با رده‌بندی A تا I						
آمریکا (کالیفرنیا)	کل مصرف انرژی	Btu/Y/m2	حداکثر مجاز برای اکتساب استاندارد = ۱۰۸۰۰۰						
آمریکا (فلوریدا)	کل مصرف انرژی	Btu/Y/m2	حداکثر مجاز برای اکتساب استاندارد = ۱۳۲۰۰۰						
آمریکا (نیویورک)	کل مصرف انرژی	Btu/Y/m2	حداکثر مجاز برای اکتساب استاندارد = ۱۱۴۰۰۰						
استرالیا	تولید CO_2	ستاره	۰ تا ۵ ستاره						
ایتالیا (میلان)	کل مصرف انرژی	kWh/Y/m2	۷۵-۰	۱۰۰-۷۵	۱۲۵-۱۰۰	۱۵۵-۱۲۵	۱۸۵-۱۵۵	۲۲۰-۱۸۵	۲۲۰ >
ایتالیا (پروجا)	کل مصرف انرژی	kWh/Y/m2	۵۰-۰	۷۰-۵۰	۹۰-۷۰	۱۱۰-۹۰	۱۳۰-۱۱۰	۱۵۰-۱۳۰	۱۵۰ >
ایتالیا (بولزانو)	کل مصرف انرژی	kWh/Y/m2	۳۰-۰	۵۰-۳۰	۷۰-۵۰	۹۰-۷۰	۱۲۰-۹۰	۱۶۰-۱۲۰	۱۶۰ >
سوئد (جنوب)	کل مصرف انرژی	kWh/Y/m2	حداکثر مجاز برای اکتساب رده A: ۱۰۰						
سوئد (شمال)	کل مصرف انرژی	kWh/Y/m2	حداکثر مجاز برای اکتساب رده A: ۱۲۰						

پیوست ۲ جنس مصالح و ویژگی‌های فیزیکی مصالح مجتمع

نام ماده	ضریب انتقال حرارت هدایت (W/m.K)	گرمای ویژه (j/Kg.K)	چگالی (Kg/m3)
آجر ۳۵ سانتیمتر	۰/۸۳۳	۸۳۷	۱۹۰۰
آجر ۲۰ سانتیمتر	۰/۷۸۵	۸۳۷	۱۸۵۰
گچ وخاک	۱/۱۰	۶۲۸	۱۵۰۰
گچ	۰/۵۷	۶۲۸	۱۱۵۰
بتن سبک (بتن با پوکه معدنی)	۰/۳۴	۸۴۰	۱۳۶۰
ملات ماسه و سیمان	۱/۱۵	۸۷۹	۱۷۰۰
سنگ چینی	۱/۷	۸۷۹	۲۰۰۰-۲۱۹۵
بتن دال	۲/۳۰	۷۹۵	۲۴۰۰
عایق پلی یورتان	۰/۰۳۳	۱۰۰۰	۵۰
ایزوگام	۰/۲۳	۱۰۰۰	۱۰۰۰-۱۱۰۰
بلوکاژ (سنگ لاشه سلیسی)	۲/۳	۸۷۹	۲۴۰۰
رنگ روغن	۰/۱	۱۵۰۰	۱۰۰۰

www.SID.ir

پیوست ۳ مشخصات دیوارهای بیرونی

تعداد لایه‌ها	ضخامت (متر)	نوع لایه	
۵	۰/۰۲	سنگ	خارجی‌ترین لایه
	۰/۰۳	ملات سیمان	
	۰/۳۵	آجر	
	۰/۰۳	ملات سیمان	داخلی‌ترین لایه
	۰/۰۰۵	کاشی سرامیکی	

پیوست ۴ مشخصات سقف استخر(کف طبقات)

تعداد لایه‌ها	ضخامت (متر)	لایه	
۴	۰/۰۰۵	کاشی سرامیکی	بالاترین لایه
	۰/۰۳	ملات سیمان	
	۰/۱	بتن پیش ساخته سبک وزن	
	۰/۱۵	دال بتنی	پایین‌ترین لایه

پیوست ۵ مشخصات طبقات عمومی (کف طبقات)

تعداد لایه‌ها	ضخامت (متر)	لایه	
۷	۰/۰۰۱	رنگ روغنی	خارجی ترین لایه
	۰/۰۰۵	گچ	لایه درونی
	۰/۰۲	گچ و خاک	
	۰/۱۵	دال بتنی	
	۰/۱۵	بتن پیش ساخته سبک وزن	
	۰/۰۳	ملات سیمان	
	۰/۰۳	موزاییک	

پیوست ۶ مشخصات پشت بام

تعداد لایه‌ها	ضخامت (متر)	لایه	
۲	۰/۰۵	پلی یورتان	بالاترین لایه
	۰/۰۲	گچ و خاک	پایین‌ترین لایه

www.SID.ir

پیوست ۷ استانداردهای لازم طراحی استخرهای داخل ساختمانی ارائه شده در مرجع [۱۱] بر اساس کتاب‌های

"American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers"

نوع استخر	دمای هال استخر (درجه سانتی‌گراد)	دمای آب استخر (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی هال استخر (٪)
تفریحی	۲۴ تا ۲۹	۲۴ تا ۲۹	۵۰ تا ۶۰
درمانی	۲۷ تا ۲۹	۲۹ تا ۳۵	۵۰ تا ۶۰
مسابقه	۲۶ تا ۲۹	۲۴ تا ۲۸	۵۰ تا ۶۰
شیرجه	۲۷ تا ۲۹	۲۷ تا ۳۲	۵۰ تا ۶۰
آب‌گرم	۲۷ تا ۲۹	۳۶ تا ۴۰	۵۰ تا ۶۰
توضیح: دمای هال استخر در استخرهای عمومی و سازمانی، باید ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای آب استخر (اما نه بیشتر از آستانه آسایش دمایی ۳۰ درجه سانتی‌گراد) نگه داشته شود تا نرخ تبخیر آب استخر کاهش یابد و از سرد شدن بدن شناگران جلوگیری شود.			

www.SID.ir