



Design of a System for Constructing a Swimming Pool using Solar Energy Case Study: Ten Provincial Capitals of the Country

Seyed Esmail Mirheidari¹, Masoud Torabi Azad^{2*}

1. Instructor, Imam Hussein Officers and Guard Training University, Tehran, Iran.

2. Professor, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received:2025/02/08

Accepted:2025/03/01

Abstract

This study presents a dynamic system for calculating pool heating using sunlight in various types of pools. Using Excel software, calculations are made regarding the required thermal capacity for a pool. Thermal capacity calculations are made in several dimensions, the first of which is based on entering information related to the dimensions of the pool and jacuzzi bowl, pool usage, construction location, type of sauna, etc. Then, the software calculates the number of people allowed to use the pool, then the number of showers and toilets, and then the thermal capacity of the hot tub. In the next step, by entering the specifications of the space under study, the sensible thermal capacity was calculated by Carrier software. Using the daily dollar price, gas tariff for sports venues, and the global natural gas tariff, calculations related to the required heating capacity for the pool, boiler(s), burner(s), filter(s), balance source volume, etc. were made by this software. Accordingly, by entering information about the solar panel, the user of this software can obtain an estimate of a solar pool system and the return on initial investment. Therefore, the employer, designer, or user can use this software to decide whether a project is cost-effective or not, as well as the return on investment time, and if justified, proceed with simulation and detailed studies.

Keywords: Swimming Pool, Pool Heating Engine Room, Solar Energy, Solar Swimming Pool, Solar Pool Calculation Software.

1. Corresponding author email: M_Azad@iau.ac.ir





طراحی سامانه جهت احداث استخر شنا با استفاده از انرژی خورشیدی (مطالعه موردی ده مرکز استان کشور)

سید اسمعیل میرحیدری^۱، مسعود ترابی آزاد^{۲*}

۱. مدرس، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین علیه السلام، تهران، ایران.

۲. استاد، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۳

چکیده

در این تحقیق یک سامانه پویای محاسبات گرمایش استخر با استفاده از نور خورشید را در انواع استخرها ارائه می‌دهد. با استفاده از برنامه نویسی در نرم افزار اکسل محاسبات مربوط به ظرفیت حرارتی مورد نیاز برای یک استخر انجام می‌شود. محاسبات ظرفیت حرارتی در چند بعد انجام گرفته که اولین آن با توجه به ورود اطلاعات مربوط به ابعاد کاسه استخر و جکوزی، کاربری استخر، محل احداث، نوع سانس و... سپس توسط نرم افزار تعداد نفرات مجاز استفاده کننده از استخر و سپس تعداد دوش ها و سرویس های بهداشتی و سپس در ادامه ظرفیت گرمایی آب گرم بهداشتی محاسبه می‌گردد. در مرحله ی بعد با وارد نمودن مشخصات فضای مورد مطالعه، توسط نرم افزار کریر ظرفیت گرمایی محسوس محاسبه شد. با استفاده از قیمت روز دلار، تعرفه گاز جهت مکان های ورزشی و تعرفه جهانی گاز طبیعی، محاسبات مربوط به ظرفیت گرمایشی مورد نیاز برای استخر، دیگ (ها)، مشعل (ها)، فیلتر (ها)، حجم منبع بالانس و... توسط این نرم افزار انجام شد. بر این اساس کاربر این نرم افزار با وارد کردن اطلاعات مربوط به پنل خورشیدی می تواند برآوردی از یک سیستم استخر خورشیدی و همچنین میزان بازگشت سرمایه اولیه را بدست آورد. بنابراین کارفرما، طراح و یا کاربر می توانند توسط این نرم افزار نسبت به مقرون بصرفه بودن و یا نبودن یک پروژه و همچنین زمان بازگشت سرمایه تصمیم گیری به عمل آورند و در صورت توجیه پذیر بودن نسبت به شبیه سازی و مطالعات دقیق اقدام نمایند.

واژه های کلیدی: استخر شنا، موتورخانه گرمایشی استخر، انرژی خورشیدی، استخر شنای خورشیدی، نرم افزار محاسبات استخر خورشیدی.

۲. پست الکترونیک نویسنده مسئول: M_Azad@iau.ac.ir





۱- مقدمه

استخر خورشیدی، سیستمی است که از انرژی خورشید به عنوان یک منبع رایگان استفاده می کند و گرمای خورشید را به آب منتقل می کند. آبگرمکن خورشیدی استخر روشی است که علاوه بر این که اقتصادی است برای حفظ محیط زیست نیز از بهترین گزینه ها می باشد. چراکه با استفاده از انرژی خورشید می تواند جایگزین مناسبی برای مصرف سوخت های فسیلی در ساختمان ها باشد و یکی از موثرترین راه های کاهش تولید گازهای گلخانه ای به حساب می آید. استفاده از این انرژی پاک به دلیل رایگان بودن آن می تواند در کاهش هزینه های انرژی خانوارها تاثیر بسزایی بگذارد.

یکی از مکان های استفاده کننده از انرژی، استخرهای شنا می باشند که می توان در گرمایش آب استخر، گرمایش فضای استخر از انرژی خورشیدی استفاده نمود (شکل ۱).



شکل ۱- شماتیک تاسیسات یک استخر خورشیدی

گرمایش خورشیدی برای استخرهای روباز و سرپوشیده چندین دهه مورد استفاده قرار گرفته است و در دنیا فناوری تثبیت شده ای می باشد و مزایای زیادی نسبت به دیگر سیستم های گرمایشی دارد:

-میزان دما: میزان دمای مورد نیاز به طور کلی پایین می باشد، در حدود ۲۵-۳۰ درجه سانتیگراد این مقدار امکان استفاده از جاذب های ارزان قیمت را می دهد.

-تابش خورشیدی و زمان استفاده: فصل شنا همزمان با زمانی است که بالاترین تابش خورشیدی وجود دارد. معمولاً در فصول تابستان، ۶۵-۷۵٪ تابش خورشیدی سالانه ارائه می شود. در عرض های جغرافیایی پایین تر، فصول شنا طولانی تر می باشد و به این دلیل با یک کلکتور کوچک بازده بالایی قابل دستیابی است.

-طراحی ساده سیستم: آب استخر مستقیماً میان جاذب ها توسط پمپ فیلتر جریان می یابد. تانک های ذخیره متداول برای سیستم های انرژی خورشیدی، در این سیستم مورد نیاز نمی باشد و استخر این نقش را ایفا می کند.

اکثر سیستم های گرمایش خورشیدی استخرها (استخر خورشیدی) شامل اجزای زیر می باشد:

الف) کلکتور خورشیدی: این وسیله باعث جذب گرما از خورشید به منظور گرمایش آب در حال جریان در سیستم می باشد.

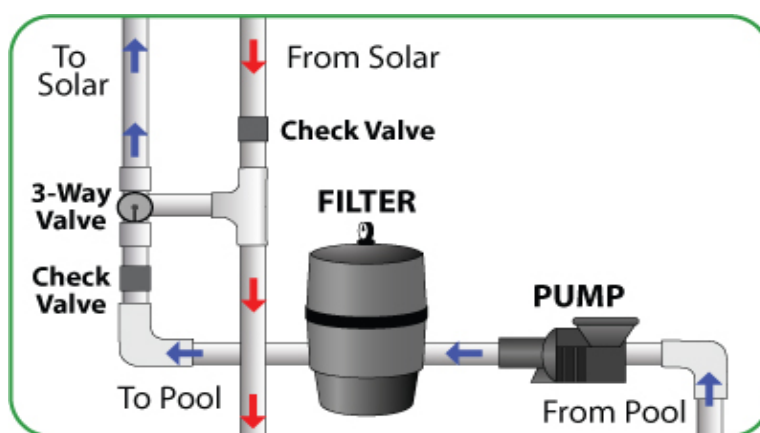
ب) فیلتر: حذف ضایعات و خاک و شن قبل از پمپاژ آب داخل کلکتورها



ج) پمپ: گردش آب در میان فیلتر و کلکتورها و برگشت آن به استخر

د) شیر کنترل جریان: ابزارهای خودکار و یا دستی که آب استخر را به کلکتورهای خورشیدی می فرستد.

آب استخر از طریق فیلتر و داخل کلکتورهای خورشیدی به میزانی پمپ شده، که آب قبل از برگشت به استخر گرم شده باشد. در آب و هوای گرم، کلکتورها همچنین می توانند برای خنک سازی استخر در طول ماه های تابستان توسط گردش آب در میان کلکتورها در شب استفاده شوند. برخی از سیستم ها شامل سنسورها و شیرهای اتوماتیک و دستی برای فرستادن آب داخل کلکتورها می باشند زمانی که درجه حرارت کلکتورها به اندازه کافی بالاتر از دمای استخر است. زمانی که دمای استخر مشابه دمای کلکتورها است، آب فیلتر شده به سادگی از انشعاب فرعی کلکتورها گذشته و به استخر برمی گردد (شکل ۲).



شکل ۲- نحوه اجرای لوله کشی به سمت کلکتورهای خورشیدی

برای این مهم نرم افزاری برای محاسبات بار گرمایشی و سیستم خورشیدی یک استخر در فاز صفر طراحی تهیه گردید که می توان با وارد نمودن اطلاعات اولیه نسبت به مقرون به صرفه بودن و یا نبودن یک پروژه و همچنین زمان بازگشت سرمایه اطلاعات اولیه بدست آورد و در صورت توجیه پذیر بودن پروژه نسبت به شبیه سازی و مطالعات دقیق اقدام نمود. با توجه به اینکه در یک استخر به دماهای بالا نیاز نمی باشد، گرمایش آب استخر بوسیله انرژی خورشیدی دارای ویژگی زیر می باشد: الف- می توان از کلکتورهای بدون پوشش استفاده نمود، ب- راندمان سیستم بسیار بالاست. عملکرد این سیستم به دو گونه است: اول اینکه در ظرفیت های پایین، آب استخر در دمای پایین پمپاژ شده و در سرتاسر کلکتور به گردش درآمده و گرم می شود، آب پس از گرم شدن به استخر بر می گردد. در سیستم دوم که در ظرفیت های بالاتر استفاده می شود، آب استخر در مبدل های واسط از نوع شلنگ تیوپ و یا صفحه ای توسط آبی که توسط کلکتور خورشیدی گرم شده، گرم می گردد.

دو سوسور طبیعت شناس مشهور سوئسی، در دهه ۱۷۶۰ یک جعبه مستطیل شکل از چوب کاج نیم اینچی ساخت، داخل آن را عایق بندی کرد و روی آن را با شیشه پوشاند و دو جعبه کوچکتر در داخل آن قرار داد. این جعبه هنگامی که در معرض نور خورشید قرار می گیرد، جعبه زیرین تا دمای ۲۲۸ درجه فارنهایت (۱۰۹ درجه سانتیگراد) یا ۱۶ درجه فارنهایت (۹ درجه سانتیگراد) بالاتر از نقطه جوش آب گرم می شود. دو سوسور مطمئن نبود که چگونه خورشید جعبه های شیشه ای را گرم می کند. امروز می توانیم بهتر توضیح دهیم که چه اتفاقی افتاده است. آفتاب به پوشش های شیشه ای نفوذ کرد. پوشش داخلی مشکی نور خورشید را جذب کرده و آن را به گرما تبدیل می کند. اگرچه شیشه شفاف به اشعه های خورشید اجازه می دهد تا به راحتی از درون آن وارد شوند، اما از اتلاف گرما



نیز جلوگیری می‌کند. همانطور که شیشه گرمای خورشیدی را در جعبه به دام انداخت، گرم شد. مخترع آن متوجه شد که روزی جعبه داغ ممکن است کاربردهای عملی مهمی داشته باشد، زیرا "بسیار کوچک، ارزان و آسان است". در واقع، جعبه داغ به نمونه اولیه کلکتورهای خورشیدی تبدیل شده است که از سال ۱۸۹۲ آب گرم شده خورشیدی را برای میلیون‌ها نفر فراهم کرده است.

در قرن نوزدهم، قرار دادن یک مخزن فلزی آب رنگ مشکی برای جذب هرچه بیشتر انرژی خورشیدی در زیر نور خورشید. اینها اولین آبگرمکن‌های خورشیدی ثبت شده بودند. نکته منفی این بود که حتی در روزهای روشن و گرم معمولاً از صبح تا اوایل بعد از ظهر طول می‌کشید تا آب گرم شود و به محض غروب خورشید، مخزن‌ها به سرعت گرمای خود را از دست دادند زیرا هیچ حفاظتی در برابر هوای شب نداشتند.

در سال ۱۸۹۱ کلارنس کمپ^۱، روشی را برای ترکیب روش قدیمی - قرار دادن مخازن فلزی در برابر خورشید - با اصل علمی جعبه داغ به ثبت رساند و در نتیجه توانایی مخازن برای جمع‌آوری و حفظ گرمای خورشیدی را افزایش داد. او آبگرمکن خورشیدی جدید خود - اولین آبگرمکن خورشیدی تجاری جهان - را Climax نامید.

از آغاز قرن تا سال ۱۹۱۱، بیش از دوازده مخترع حق ثبت اختراعاتی را ثبت کردند که در اوج بهبود یافت. اما هیچ کدام این واقعیت را تغییر نداد که واحد گرمایش و واحد ذخیره‌سازی یکی بودند و هر دو در معرض هوا و هوای سرد شب قرار داشتند. از این رو، آبی که روز قبل توسط خورشید گرم شده بود، در شب هرگز آنقدر داغ نمی‌ماند که بتواند صبح روز بعد شستشو را انجام دهد یا حمام را گرم کند. در سال ۱۹۰۹، ویلیام جی بیلی^۲ یک آبگرمکن خورشیدی را به ثبت رساند که انقلابی در تجارت ایجاد کرد. او آبگرمکن خورشیدی را به دو قسمت تقسیم کرد: یک عنصر گرمایشی که در معرض نور خورشید قرار دارد و یک واحد ذخیره‌سازی عایق که در خانه قرار دارد تا خانواده‌ها بتوانند آب گرم کن خورشیدی را در روز و شب و صبح زود روز بعد داشته باشند. المنت حرارتی شامل لوله‌هایی بود که به ورق فلزی سیاه رنگی که در جعبه‌ای شیشه‌ای قرار داده شده بود متصل شده بود. از آنجایی که آبی که قرار است گرم شود، به جای نشستن در یک مخزن بزرگ، از لوله‌های باریک عبور می‌کرد، بیلی در هر لحظه حجم آبی را که در معرض نور خورشید قرار می‌گرفت کاهش داد و بنابراین، آب سریعتر گرم می‌شد. تامین آب گرمتر برای مدت طولانی‌تر، آبگرمکن خورشیدی بیلی را که روز و شب نامیده می‌شود، نسبت به رقبا در یک مزیت بزرگ قرار می‌دهد.

گرمایش استخر یک کاربرد ایده‌آل برای گرمایش خورشیدی است زیرا اوج استفاده، به‌ویژه برای استخرهای روباز، همزمان با اوج در دسترس بودن آفتاب است.

سیستم‌های گرمایش آب خورشیدی فعال شامل پنج عنصر اصلی است: یک کلکتور یا کلکتورهایی که تشعشعات خورشیدی را جذب می‌کنند، یک پمپ برای فعال کردن گردش سیال در حال کار، یک سیستم ذخیره برای آب گرم، یک سیستم گرمایش آب کمکی یا پشتیبان برای استفاده در مواقعی. آب گرم کافی نمی‌تواند توسط سیستم خورشیدی تامین شود و مجموعه‌ای از کنترل‌ها برای تنظیم عملکرد کل سیستم. هنگامی که نور خورشید یک یا چند کلکتور را برای گرم کردن کافی گرم می‌کند، حسگرها و یک کنترلر پمپ را برای گردش آب از مخزن ذخیره یا محلول ضد یخ فعال می‌کنند. هنگامی که از محلول ضد یخ استفاده می‌شود، گرمای خورشیدی از طریق یک مبدل حرارتی به آب در مخزن ذخیره می‌شود. سیال داغ را می‌توان مستقیماً برای نیازهای آب گرم یا نیازهای گرمایش / سرمایش فضا مورد استفاده قرار داد. همچنین انرژی گرم شده را می‌توان در یک مخزن ذخیره مناسب برای استفاده در ساعاتی که نور

1. Clarence Kemp

2. William J. Bailey





خورشید در دسترس نیست ذخیره کرد. ضروری است که مخزن ذخیره و اتصالات لوله از کلکتور به مخزن به خوبی عایق بندی شده باشند تا از اتلاف گرما جلوگیری شود. مقدار گرمای خورشیدی تولید شده به طراحی کلکتور، مساحت سطح لوله های کلکتور، نوع سیال کار، و آب و هوای محلی و شرایط محل بستگی دارد. در طول زمستان که دمای انجماد رخ می دهد، از مواد شیمیایی ضد یخ و همچنین انرژی کمکی برای رفع نیازهای آب گرم کافی استفاده می شود. علاوه بر این، انرژی کمکی می تواند توسط یک تقویت کننده گاز یا برق در داخل مخزن آب یا در خروجی آب از مخزن تامین شود. از سوی دیگر، در طول تابستان، اگر انرژی در مدت زمان کافی برداشت نشود، گرمای بیش از حد ممکن است رخ دهد. در چنین شرایطی، یک سیستم کنترل برای خاموش کردن پمپ گردش ضروری است.

استفاده از سیستم گرمایش جهت استخرهای شنا اغلب یک طراحی ساده و اولیه دارد. از این گذشته، واحد ذخیره سازی مورد نیاز قبلاً وجود نداشت. چند خانه سیستم گرمایش استخر را برای گرم کردن استخرهای خود فقط برای ساعات روز نصب کردند. اما در دهه ۱۹۷۰ شخصی به نام فریمن فورد دوباره طراحی را تغییر داد. او به جای استفاده از جعبه هایی با لوله های فلزی، از پلاستیک نازک سیاه رنگ با مجاری باریک برای گرم کردن آب استفاده کرد. این اساس سیستم گرمایش استخر خورشیدی Heliocol است.

در ویرایش دوم کتاب Comprehensive Renewable Energy یک مدل پویا برای پیش بینی عملکرد یک استخر شای المپیک هیبریدی-خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این کار از نرم افزار شبیه سازی TRNSYS (TRANSOL) استفاده شده است. تعادل انرژی برای یافتن انرژی حرارتی مورد نیاز و در نتیجه طراحی سیستم انجام شده است. شایان ذکر است که آبگرمکن های خورشیدی تولید شده در الجزایر در نظر گرفته شده است. مطابق با اعلام سایت وزارت نیرو آمریکا، در پایان سال ۲۰۱۰ در کشور آمریکا ۱۵/۳ میلیون کیلووات آبگرمکن خورشیدی نصب گردیده که ۸۵ درصد از این ظرفیت، صرف استخرهای شنا شده است. در واقع تعداد استخرهای خورشیدی در کشور آمریکا بیشتر از هر مدل دیگری از انرژی های خورشیدی است. با به کارگیری سیستم های گرمایش خورشیدی می توان با کمترین استفاده از سوخت های فسیلی و سایر منابع انرژی مانند انرژی الکتریکی، ظرفیت مورد نیاز برای گرمایش آب استخر را تأمین کرد. البته گاهی اوقات برای دستیابی به شرایط عملکرد بهینه استخر لازم می شود در کنار سیستم خورشیدی از سیستم های گرمایشی سنتی نیز استفاده شود که در چنین مواقعی سیستم های سنتی معمولاً به عنوان پشتیبان در هنگامی که امکان بهره برداری از انرژی خورشیدی وجود ندارد مورد استفاده قرار می گیرد. در آمریکا جهت بازگشت سرمایه ی استفاده از انرژی خورشیدی حداکثر ۳ تا ۷ سال بیان می گردد که رقم بسیار عالی و قابل توجیهی می باشد لذا این رشد در روی آوردن صاحبان استخر توجیه اقتصادی و فنی دارد. در ایران نیز پروژه های استخر خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته و کارهای متعددی که بیشتر جنبه ی تحقیقاتی داشته است انجام شده که می توان به طراحی و ساخت استخر خورشیدی کوچک با گرادیان نمک به مساحت متوسط ۱/۸ متر مربع در دانشکده ژئوفیزیک دانشگاه تهران و طراحی و ساخت استخر خورشیدی با گرادیان نمک به عمق ۱/۰۸ متر و مساحت ۴ متر مربع در دانشگاه فردوسی مشهد اشاره کرد. نتیجه تعدادی از تحقیق های صورت گرفته در ایران به شرح زیر می باشد:

اعدل و شاهرودی در سال ۱۳۹۳ در تحقیقی یک استخر عمومی با دیدگاه اکولوژیکی را طراحی کرده اند. در طراحی استخر از ساختار چند استخر اکولوژیکی در قاره های مختلف دنیا استفاده شد و تفاوت های اقلیمی ایران (منطقه شاهرود) و کشورهای مربوط به این استخرها در طراحی لحاظ شده است. از ویژگی های طراحی انجام شده می توان به ایجاد چرخه بازیافت آب مصرفی، سیستم تصفیه آب طبیعی، سیستم آموزش مردمی و ایجاد فرهنگ حفاظت از محیط زیست و احترام به آن، صرفه جویی در مصرف منابع انرژی





فسیلی و کاهش آلودگی محیط زیست و در نهایت ایجاد انگیزه برای ترویج جایگزینی آبگرمکن های خورشیدی به جای آبگرمکن های سوخت فسیلی (خصوصاً گاز) به عنوان یک کار فرهنگی اشاره کرد.

استفاده از کلکتورهای خورشیدی برای گرم کردن آب استخر در فصول گرم سال شیوه خوبی برای کاهش هزینه ها می باشد اما برای فصول سرد سال توصیه نمی گردد. بازده کلکتورهایی که مجهز به لوله های مارپیچ هستند به میزان ۲۲٪ رسید که برای کلکتورهای تخت بازده مناسبی است. به منظور افزایش بازده سیستم، کلکتور دیگری نیز مورد بررسی قرار گرفت که در داخل آن فقط آب حرکت می کرد و بخش هوا حذف شده بود. این کلکتور ساختمان ساده ای دارد، اما آب بندی نمودن آن کار مشکلی است. در مورد سایه کلکتورها روی همدیگر بایستی فاصله هر ردیف از دیگری به اندازه ای باشد که در هیچ موقع از سال، سایه یکی بر روی دیگری قرار نگیرد. بهترین حالت در زاویه ۲۹/۲ درجه است (سلطانی نژاد و مرتضی پور، ۱۴۰۰).

بیشترین انرژی مصرفی مربوط به سامانه ی گرمایش مرسوم، در ماه دی، حدود ۷۱۴ گیگاژول و کمترین آن در سامانه ی مجهز به جمع کننده ی خورشیدی صفحه تخت در تیرماه و حدود ۲۲ گیگاژول می باشد. جمع سالانه ی انرژی در سامانه های متداول، ۴۱۹۷ گیگاژول به دست آمد که این مقدار برای سامانه ی فتوولتائیک- گرمایی، با کاهش ۱۱ درصدی، ۳۷۳۲ گیگاژول و در سامانه ی مجهز به جمع کننده های خورشیدی با ۱۴ درصد صرفه جویی، حدود ۳۶۲۲ گیگاژول است. بر این اساس میتوان گفت، مصرف سالانه ی گاز طبیعی در سامانه ی گرمایش مرسوم ۱۱۶/۶ هزار متر مکعب و در سامانه های مجهز به جمع کننده ی فتوولتائیک- گرمایی و صفحه -تخت معمولی، به ترتیب حدود ۱۰۳/۷ و ۱۰۰/۶ هزار متر مکعب می باشد (سلطانی نژاد و مرتضی پور، ۱۴۰۰).

تعداد دیگری از تحقیق ها نیز به استخرهای ذخیره گرمایش خورشیدی با فناوری گرا دیان نمک می باشند و هیچ یک از تحقیق ها به تولید نرم افزار مشابه در محاسبات و برآورد یک سیستم منجر نگردیده است.

۲- روش تحقیق

بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۲۰۳ دمای هوای استخرهای سرپوشیده باید ۱ تا ۲ درجه بالاتر از دمای آب باشد اما نباید بیشتر از ۳۰ درجه سلسیوس شود. دمای مناسب برای آب و هوای محیط استخرهای مختلف مطابق جدول ۱ می باشد.

جدول ۱- دمای آب و هوای محیط استخر سرپوشیده

نوع استخر	دمای آب (درجه سلسیوس)	دمای هوا (درجه سلسیوس)
استخرهای تفریحی	۲۶ تا ۲۸	۲۷ تا ۲۹
استخرهای درمانی	۲۹ تا ۳۵	۲۹ تا ۳۰
استخرهای خردسالان	۲۹ تا ۳۲	۲۹ تا ۳۰
استخرهای مسابقه شنا	۲۵ تا ۲۸	۲۷ تا ۳۰
استخرهای شیرجه	۲۷ تا ۳۲	۲۸ تا ۳۰
استخرهای آبگرم	۳۶ تا ۴۰	۲۹ تا ۳۰





میزان رطوبت در محوطه استخر باید در محدوده ۵۰ تا ۶۰ درصد کنترل گردد. در استخرها سیستم تهویه مکانیکی نه تنها باید برای فضای پیرامونی کاسه استخر به دلیل میزان بالای رطوبت و مواد شیمیایی موجود پیش بینی گردد بلکه برای دیگر فضاهای وابسته به استخر قبیل رختکن ها دوش ها و ان های شستشو نظافت و سایر فضاهای موجود نیز باید در نظر گرفته شود. برای هر شناگر در منطقه کم عمق باید محدوده ای به مساحت حداقل ۴/۵ مربع پیش بینی شده باشد. برای هر شناگر در منطقه عمیق باید محدوده ای به مساحت حداقل ۲/۲۵ متر مربع پیش بینی شده باشد. در استخر آب گرم حداقل فضای مورد نیاز برای هر شناگر ۰/۹ مترمربع است. هر مجموعه استخر شنا باید دارای تعداد مناسبی اتاق تعویض و نگه داری لباس و نیز امکانات مناسب بهداشتی نظیر توالی و دوش باشد. همچنین متناسب با آن آینه مایع شستشوی دست تن و سر کاغذ توالی و یا خشک کننده الکتریکی و سطل باید در محیط اطراف استخر و با فاصله مناسب از آن نصب شود تا امکان رعایت بهداشت شناگران به راحتی فراهم آید (جدول ۲). بر اساس استاندارد ملی ایران ۱۱۲۰۳، سرعت جریان هوا در محوطه و اطراف استخر باید حداکثر ۱ متر بر ثانیه و در اطراف جایگاه تماشاچیان باید حداکثر ۰/۳ متر بر ثانیه باشد.

جدول ۲: تعداد امکانات بهداشتی در انواع استخرهای شنا

حداقل تعداد مورد نیاز			تجهیزات بهداشتی	
سانس ۴ ساعته	سانس ۳ ساعته	سانس ۲ ساعته	در استخرهای سانس	دوش مجهز به آب گرم و سرد
به ازاء هر ۱۰ شناگر یک عدد	به ازاء هر ۷ شناگر یک عدد	به ازاء هر ۵ شناگر یک عدد		
به ازاء هر ۱۰ شناگر یک عدد			در استخرهای زمان آزاد	
به ازاء هر ۴۰ شناگر یک عدد و حداقل ۲ عدد			توالی مجهز به آب سرد و گرم	
به ازاء هر ۷۵ شناگر یک عدد و حداقل ۲ عدد			روشویی مجهز به آب سرد و گرم	

میزان گردش آب در یک استخر عنصری اساسی در تعیین ابعاد تجهیزات تصفیه آب ها فیلترها و غیره بوده و هزینه و ظرفیت دستگاهها را تحت تاثیر قرار می دهد این مطلب باید از همان ابتدای طراحی استخر به کمک کارشناسان مربوطه مشخص گردد. اما مهمتر از آن اثری است که بر میزان گندزدایی و زلال شدن آب خواهد گذاشت برای طراحی اولیه باید برای زمان گردش آب یعنی مدت زمان لازم برای این که کل آب استخر از فیلتر عبور کند از داده های جدول ۳ استفاده نمود.





جدول ۳- نرخ گردش آب انواع استخرهای شنا

انواع استخر	حداکثر مدت زمان گردش آب
استخر کودکان	۱ ساعت
استخرهای آموزشی	۱٫۵ ساعت
استخرهای تفریحی	۳ ساعت
استخرهای مسابقه	۶ ساعت
استخر آبگرم	۷٫۵ ساعت

منظور از اینکه در استخرهای عمومی هر ۶ ساعت یک بار گردش کامل دارد یعنی در هر ۲۴ ساعت ۴ مرتبه به طور کامل آب این استخر تصفیه و چرخش آب انجام می شود.

برای محاسبه ظرفیت گرمایشی یک پروژه طراحی استخر ظرفیت گرمایشی مواردی را در نظر گرفت از جمله؛ آب گرم بهداشتی، گرمایش آب استخر، گرمایش آب جکوزی، گرمایش فضای پروژه، تلفات حرارتی از سطح آب.

اولین مرحله محاسبه تعداد شناگران مجاز استخر است که در ناحیه عمیق به ازای هر ۲/۷ مترمربع و در ناحیه های کم عمق و نیمه عمیق با ازای هر ۴/۵ مترمربع از سطح استخر یک نفر محاسبه می گردد. رابطه (۳-۱)

$$N = \frac{A.F}{2.7} + \frac{(B+C).F}{4.5} \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

A = طول قسمت عمیق استخر

B = طول قسمت نیمه عمیق شیب دار استخر

C = طول قسمت کم عمق استخر

D = عمق قسمت کم عمق استخر

E = عمق قسمت عمیق استخر

F = عرض استخر

Nperson = تعداد نفرات مجاز

حال با توجه به تعداد مجاز شناگر، تعداد دوش، سرویس بهداشتی و روشویی استخر محاسبه می گردد:

$$N_{\text{shower}} = \frac{N_{\text{person}}}{5}$$

Two-hour session

$$N_{\text{shower}} = \frac{N_{\text{person}}}{7}$$

Three-hour session

$$N_{\text{shower}} = \frac{N_{\text{person}}}{10}$$

Other session

$$N_{\text{toilet}} = 2 \text{ or } \frac{N_{\text{person}}}{40}$$

All session

$$N_{\text{washbasin}} = 2 \text{ or } \frac{N_{\text{person}}}{75}$$

All session





سپس توسط مجموع S.F.U های آب گرم بهداشتی محاسبه می شود. [۵]

$$S.F.U_{showers} = 3N_{shower}$$

$$S.F.U_{toilets} = 1.5N_{toilets}$$

$$S.F.U_{washbasins} = 1.5N_{washbasins}$$

$$S.F.U_T = S.F.U_{showers} + S.F.U_{toilets} + S.F.U_{washbasins} \quad (۲-۳)$$

پس از یافتن مجموع S.F.U های آب گرم مصرفی از طریق جدول های مربوطه نسبت به یافتن میزان GPM مصرف اقدام شد. در صورت موجود نبودن عدد S.F.U محاسبه شده در جدول از طریق میان یابی اقدام می گردد. برای دقیق شدن کار نسبت به یافتن رگرسیون اعداد جدول اقدام و بر اساس فرمول بصورت رابطه (۳-۳) محاسبات انجام شد.

$$Y = 7E-16X^5 - 1E-11X^4 + 5E-8X^3 - 0.001X^2 + 0.2899X + 12.053 \quad (۳-۳)$$

که Y میزان GPM آب گرم مصرفی و S.F.U_T، X می باشد.

برای محاسبه ظرفیت حرارتی آب گرم بهداشتی بایستی میزان GPH را برای هر SFU محاسبه و بر این اساس ظرفیت منبع ذخیره آب گرم بهداشتی را مشخص نمود. مهمترین پارامتر برای محاسبه ظرفیت گرمایش آب استخر حجم آب آن استخر می باشد.

$$V_s = F \cdot [(A \cdot E) + (C \cdot D) + (B \cdot (\frac{E + D}{2}))] \quad (۳-۴)$$

V_s = حجم آب استخر

$$Q_p = \frac{V_s}{60T_c} \quad (۳-۵)$$

V = حجم آب استخر بر حسب Ft³

Q_p = دبی گردش آب پمپ gpm

T_c = زمان گردش آب hour

پارامتر بعدی برای محاسبه ظرفیت گرمایشی استخر زمان پیش راه اندازی استخر می باشد. این مدت زمان دارای استاندارد ویژه بوده و هرچه این زمان کوچکتر شود ظرفیت حرارتی دیگ ظرفیت پمپ و غیره بزرگتر می شود.

$$Q_{Water\ SP} = \frac{8.33V_s \cdot \Delta T}{T_p} \quad \text{رابطه (۳-۶)}$$





$$Q_{\text{Water SP}} = \text{ظرفیت حرارتی گرمایش آب استخر بر حسب BTU/hr}$$

$$\Delta T = T_{\text{Water SP}} - T_c \quad \text{مدت زمان پیش راه اندازی بر حسب ساعت} = T_p$$

دمای استاندارد آب استخر دارای حداقل و حداکثر دمای استاندارد بوده و برای کاربری های مختلف آن استخر متفاوت می باشد که با توجه به استاندارد مربوطه نسبت به طراحی آن استخر اقدام می شود. برای مطالعه موردی اطلاعات زیر برای یک استخر دلخواه در نرم افزار Excel وارد شده و خروجی آن ثبت شده است. (جدول ۴)

جدول ۴: اطلاعات ورودی به نرم افزار

شرح	مقادیر	واحد	شرح	مقادیر	واحد
طول کاسه استخر	۳۵	متر	قطر بزرگ جکوزی	۳/۲	متر
عرض کاسه استخر	۱۸	متر	قطر کوچک جکوزی	۲/۴	متر
کم عمق	۱/۴	متر	قیمت روز دلار	۵۱۳۸۶۰	ریال
عمیق	۴	متر	قیمت روز گاز (ورزشی)	۹۲۶	Rial/m3
طول ساختمان	۴۵	متر	قیمت روز گاز (جهانی)	۳,۹۴۰	\$/term
عرض ساختمان	۲۷	متر	تعداد تماشاگران	۰	نفر
ارتفاع ساختمان	۱۰	متر	راندمان محفظه دیگ	۹۰	درصد
نوع سانس	۲	ساعته	ضریب اطمینان	۱۰	درصد
زمان پیش راه اندازی	۲۴	ساعت	ضریب رسوب و استهلاک دیگ	۱۰	درصد
نوع مشعل	گازسوز	شهری	راندمان مشعل	۹۰	درصد
ارزش حرارتی گاز	۹۴۰۰	Kcal/hr	قیمت هر پیل خورشیدی	۱۰۵	\$
ظرفیت هر پیل خورشیدی	۰/۹	KW/m2	مساحت هر پیل خورشیدی	۲	m2
بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر تهران)	۴۶۴,۲۰۷	BTU/hr	بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر مشهد)	۵۴۲,۲۴۸	BTU/hr
بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر شیراز)	۴۳۵,۲۳۰	BTU/hr	بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر اصفهان)	۴۷۵,۱۰۸	BTU/hr
بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر رشت)	۴۴۵,۹۷۱	BTU/hr	بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر اهواز)	۳۶۹,۷۸۶	BTU/hr
بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر بندرعباس)	۲۸۱,۸۲۲	BTU/hr	بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر قم)	۴۵۴,۲۲۵	BTU/hr
بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر شهرکرد)	۵۸۵,۳۷۱	BTU/hr	بار گرمایشی محاسبه شده فضا (شهر همدان)	۶۴۸,۱۵۵	BTU/hr



برای وارد کردن مقادیر ابعاد مخزن استخر ابتدا قسمت‌های مختلف اعم از عمیق، نیمه عمیق و کم عمق وارد می‌شود. بدین منظور بایستی ارتفاع مخزن استخر در قسمت‌های کم عمق و عمیق و همچنین عرض استخر وارد نرم افزار شود. ابعاد مخزن جکوزی هم از قطر بزرگ قطر کوچک و همچنین ارتفاع جکوزی در قسمت‌های بزرگ و کوچک الزامی است. در این نرم افزار از واحدهای متر و یا فوت می‌توان استفاده به عمل آورد.

برای وارد کردن کاربری استخر از منوی مربوطه کاربری‌های تفریحی، آموزشی، کودکان، مسابقه و خانگی انتخاب می‌گردد. (شکل ۳)

ابعاد مخزن استخر																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

شکل ۳: محیط نرم افزار - ورودی اطلاعات اندازه کاسه و ساختمان استخر

در خصوص محل احداث استخر از منوی مربوطه می‌توانیم یکی از ۱۰ شهر موجود مانند تهران، مشهد، شیراز، اصفهان، رشت، اهواز، بندرعباس، قم، شهرکرد و یا همدان را انتخاب کرد. جهت اطلاعات مربوط به موقعیت ارتفاعی و طول و عرض جغرافیای شهر ها، رطوبت نسبی، دمای هوا، دما..... از سایت سازمان هواشناسی استفاده به عمل آمد.

با توجه به اهمیت نوع سانس استخر در استانداردها و محاسبات مربوط به بار گرمایشی استخر نوع سانس را در منوی مربوطه دو ساعته یا سه ساعته یا ۴ ساعته و یا زمان آزاد انتخاب می‌شود. زمان پیش راه اندازی دارای استانداردهای مخصوص به خود می‌باشد. بدین منظور در منوی مربوطه زمان پیش راه اندازی را ۸ ساعت، ۱۲ ساعت، ۲۴، ۳۶، ۴۸ و یا ۷۲ ساعت می‌توان انتخاب کرد. وارد کردن تعداد تماشاچیان استخر بر روی سکو یکی دیگر از مقادیر الزامی برای ورود به نرم افزار می‌باشد. که این مقدار برای استخرهای بدون تماشاگر صفر منظور می‌گردد (شکل ۴).



کاربری استخر	تفریحی	
محل احداث استخر	تهران	شهر
نوع سانس استخر	2 ساعته	
زمان پیش راه اندازی استخر	36	ساعت
زمان پیش راه اندازی جکوزی	8	ساعت
تعداد تماشاگران استخر (سکو)	0	نفر

شکل ۴: محیط نرم افزار - ورود اطلاعات کاربری، محل وقوع و راه اندازی استخر به نرم افزار

وارد کردن بار حرارتی سرمایشی و گرمایشی استخراج شده از نرم افزار کریر در این قسمت الزامی است. بار حرارتی شهرهای پیش فرض در نرم افزار که ده مرکز استان می باشد در استخر محاسبه شده به شرح در ادامه آمده است.

در قسمت دیگر از ورودی های نرم افزار باید قیمت روز دلار همچنین قیمت جهانی گاز وارد شود. قیمت تعرفه گاز مجموعه های ورزشی در داخل کشور نیز ورودی قسمت دیگر این نرم افزار است. قیمت روز دلار از سایت TGJU.ORG که سایت معتبر در این زمینه می باشد پیشنهاد می گردد.

کاربری استخر	تفریحی				
محل احداث استخر	تهران	شهر			
نوع سانس استخر	2 ساعته				
زمان پیش راه اندازی استخر	36	ساعت			
زمان پیش راه اندازی جکوزی	8	ساعت			
تعداد تماشاگران استخر (سکو)	0	نفر			
Sensible design Cooling	=	363,386	BTU/h		
Sensible design Heating	=	464,207	BTU/h		
قیمت روز دلار	=	513,860	ریال		
قیمت روز گاز (جهانی)	=	3.940	\$/ترم	2.74 m3/ترم	= 1.437956 \$/m3
قیمت گاز (تعرفه ورزشی)	=	926	Rial/m3		

شکل ۵: محیط نرم افزار، ورود اطلاعات شهر، تعرفه گاز، قیمت روز دلار و گاز جهانی، نوع سانس و...

مصرف کننده های آبگرم در استخر دوش ها و توالت ها و دستشویی ها می باشد که در این زمینه محاسبه SFU مربوطه به نسبت استاندارد آن مورد نظر می باشد. با توجه به اینکه میزان SFU با مقدار جریان جی پی ام متناسب بوده و دارای جدول استاندارد مربوطه می باشد. برای مقدار SFU هایی که در جدول موجود نمی باشد فرمول مربوطه محاسبه گردیده است که از این طریق نرم افزار نسبت به محاسبه آن اقدام می نماید.

جدول مشخصات ۱۰ مرکز استان شامل عرض جغرافیایی ارتفاع از سطح دریا دمای خشک و مرطوب و رطوبت نسبی تابستانه و همینطور زمستان و همچنین دمای طرح داخل استخرها در وضعیت های مختلف وارد شده است (جدول ۴).



جدول ۴: شرایط جغرافیایی، و مشخصات اقلیمی هریک از ۱۰ مرکز استان

نام شهر	عرض جغرافیایی deg	ارتفاع از سطح دریا ft	طرح خارج						طرح داخل		
			تابستانه			زمستانه			نسبت رطوبت هوای استخر		
			دمای خشک F	دمای مرطوب F	رطوبت نسبی %	دمای خشک F	دمای مرطوب F	رطوبت نسبی %	استخر کودگان	استخر مسابقه	سایر استخرها
تهران	35.68	4000	104	80.51	44	23	20.88	74	0.0182	0.0143	0.0152
مشهد	36.27	3180	95.5	69.27	32.5	15	12.98	67	0.0176	0.0138	0.0147
شیراز	29.6	4900	100.5	60.72	16	26	24	78	0.0188	0.0148	0.0157
اصفهان	32.6	5250	97.5	62.64	17	21	18.83	72.5	0.0191	0.015	0.0159
رشت	37.27	-12	89.5	78.31	67	28	27.32	92	0.0156	0.0123	0.0131
اهواز	31.32	40	115.5	82	30	37	35.49	87	0.0156	0.0123	0.0131
بندرعباس	27.2	33	105	89.47	57.5	45.5	42.69	80	0.0156	0.0123	0.0131
قم	34.63	3045	104	68.91	20.5	24	21.44	69	0.0175	0.0138	0.0146
شهرکرد	32.32	6750	92	65.23	18.5	6.5	5.58	81	0.0202	0.0159	0.0169
همدان	34.85	5500	94	62.72	25.5	2.5	1.89	84.5	0.0192	0.0151	0.0161

برای محاسبه هزینه به روز دیگ های آب گرم دیگ های آب گرم فولادی و یا چدنی و همچنین مشعل ها از فهرست بهای مربوط استفاده گردیده است. (جدول ۵)

جدول ۵: محیط نرم افزار، اطلاعات دیگ ها و مشعل ها و محاسبات دلاری آن ها

شماره ردیف فهرست بها	نوع	ظرفیت	واحد	بهای واحد (ریال)	بهای واحد \$	قیمت محاسبه ای دلار (ریال)
120101	چدنی	65000	هزار کیلو کالری در ساعت	3,902,000	9.687	402,800
120102	چدنی	<130000 & >65000	هزار کیلو کالری در ساعت	2,967,000	7.366	
120103	چدنی	<130000	هزار کیلو کالری در ساعت	2,301,000	5.713	
120201	فولادی	<400000	هزار کیلو کالری در ساعت	3,918,000	9.727	
120202	فولادی	>400000 & <650000	هزار کیلو کالری در ساعت	3,486,000	8.654	
120203	فولادی	>650000 & <1000000	هزار کیلو کالری در ساعت	3,372,000	8.371	
120204	فولادی	>1000000 & <1500000	هزار کیلو کالری در ساعت	3,087,000	7.664	
120205	فولادی	<1500000	هزار کیلو کالری در ساعت	3,128,000	7.766	
140101	گازوفیلی	35000 >	دستگاه	63,189,000	157	
140102	گازوفیلی	80000 >	دستگاه	63,767,000	158	
140103	گازوفیلی	200000 > & <80000	دستگاه	72,842,000	180.839	
140104	گازوفیلی	300000 > & <130000	دستگاه	107,951,000	268.001	
140105	گازوفیلی	650000 > & <300000	دستگاه	195,022,000	484.166	
140106	گازوفیلی	1000000 > & <500000	دستگاه	244,363,000	606.661	
140201	گازی	<40500	دستگاه	79,861,000	198.265	
140202	گازی	91500 > & <33500	دستگاه	93,120,000	231.182	
140203	گازی	183000 > & <75500	دستگاه	109,272,000	271.281	
140204	گازی	366000 > & <150500	دستگاه	164,139,000	407.495	
140205	گازی	581500 > & <323000	دستگاه	296,296,000	735.591	
140206	گازی	969000 > & <409000	دستگاه	297,643,000	738.935	
140207	گازی	1238000 > & <420000	دستگاه	380,414,000	944.424	
140208	گازی	2153000 > & <1076500	دستگاه	488,393,000	1,212.495	

استاندارد دمای آب گرم مصرفی ۶۰ درجه سانتیگراد دمای آب جکوزی ۴۰ درجه سانتیگراد می باشد. حداقل دمای مجاز آب استخر بر اساس نوع کاربری آن تعیین می گردد که در فرمول مربوطه بر اساس استاندارد استخر محاسبه گردیده است. دمای آب سرد ورودی به استخر نیز بر اساس میانگین دمای آب لوله کشی شهری ۱۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است.

حداکثر تعداد نفراتی که می توانند در یک استخر به شنا بپردازند بر اساس استاندارد مربوطه محاسبه می گردد. تعداد دوش توالی و حمام روشویی های مورد نیاز برای یک استخر بر مبنای تعداد شناگرهای آن استخر محاسبه می گردد. محاسبه میزان آب سرد مصرفی آبگرم مصرفی و کل آب مصرفی یک استخر بر اساس میزان SFU یک استخر می باشد. بر اساس تعداد دوش، توالی و روشویی ها با جدول ۶ محاسبه شد.

برای محاسبه آبگرم مصرفی ابتدای امر میزان GPH یک استخر را محاسبه و با توجه به استاندارد ASHREA ضریب تقاضای ۰/۳ را در آن ضرب نموده و GPH واقعی منبع ذخیره محاسبه گردید. به دلیل اینکه حجم منبع ذخیره شده با حجم منابع موجود در بازار

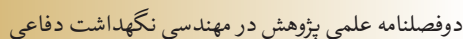


متفاوت می باشد ما حجم منبع محاسبه واقعی را که بر اساس منابع موجود در بازار می باشد در نرم افزار وارد شد. سپس GPH واقعی را بر اساس منبع مورد مطالعه که از بازار تهیه شد، محاسبه گردید.

جدول ۶: محیط نرم افزار - قسمت محاسبات آب گرم بهداشتی

دمای آبگرم مصرفی	60 C	}		140 F
حداقل دمای آب مجاز استخر	26 C			78.8 F
دمای آب سرد ورودی به استخر	15 C			59 F
دمای آب جکوزی	40 C			104 F
تعداد شناگر مجاز				170 نفر
تعداد دوش مورد نیاز				34 عدد
تعداد توالت مورد نیاز				4 عدد
تعداد روشویی مورد نیاز				2 عدد
آب سرد مصرفی	131.00 S.F.U	}		48.4 gpm
آب گرم مصرفی	111.00 S.F.U			43.1 gpm
کل آب مصرفی	168 S.F.U			58.2 gpm
آب گرم مصرفی GPH	5136 GPH			
GPH واقعی	1540.8 GPH			ضریب تقاضا = 0.3
حجم منبع آب گرم GAL	1540.8 GAL			
حجم منبع آبگرم Lit	5800 Lit			
حجم منبع محاسبه واقعی Lit	6000 Lit			
حجم منبع محاسبه واقعی GAL	1587 GAL			
GPH واقعی محاسبه شده	1587 GPH			
تعداد شناگر مجاز جکوزی				8 نفر

محاسبه ظرفیت گرمایش آب استخر حجم آب استخر GPM مربوطه را محاسبه می کنیم زمان پیش راه اندازی در این مورد بسیار مهم می باشد سپس برای محاسبه فیلترهای شنی استخر اقدام می نماییم با توجه به اینکه اگر استخر ما از نوع سرریزی باشد بایستی منبع بالانس بر آن در نظر گرفت حجم خالی منبع بالانس حجم پر و حجم کل منبع بالانس محاسبه می گردد که بر اساس تعداد شناگر مجاز آن استخر می باشد. (جدول ۷)

[illegible]

محاسبات مربوط به گرمایش آب جکوزی نیز بر اساس گرمایش آب استخراج انجام شد. (شکل ۶)

گرمایش آب استخر	V=	1701	m3	449356.6	gallon				
	GPM=	2496	سطح فیلتر شی تصفیه	=	124.8	ft2	11.59392	m2	
	m3/h	566.592							
	Qsp=	2,990,000	BTU/h		750,000	Kcal/h	$Q = \frac{V * 8.33 * \Delta T}{T}$ زمان پیش اندازی		
گرمایش آب جکوزی	V=	4.82304	m3	1274.112	gallon				
	GPM=	42	سطح فیلتر شی تصفیه	=	2.8	ft2	0.26012	m2	
	m3/h	9.534							
	Qsp=	70,000	BTU/h		20000	kcal/hr	$Q = \frac{V * 8.33 * \Delta T}{T}$ زمان پیش اندازی		
گرمایش آب مصرف	GPH=	1587							
	ΔT=	90							
	Qwh=	1,190,000	BTU/h						

برای محاسبه میزان گرمایش آب مصرفی نیز بر اساس GPH و ΔT مربوطه محاسبه صورت گرفت. در این قسمت مجموع میزان ظرفیت حرارتی مورد نیاز برای آب گرم مصرفی، آب استخر جکوزی و گرمایش محیط محاسبه شد.

بر مجموع ظرفیت محاسبه شده ضریب اطمینان ضریب رسوب و استهلاک و راندمان محفظه دیگ را محاسبه و مجموع آن را به دست آورده شد. بر اساس مجموع ظرفیت محاسبه شده تعداد دیگ‌ها را وارد می‌نماییم بر این اساس در صورتی که دو دیگ در نظر گرفته شود هر دیگ ۷۵ درصد ظرفیت کل می‌باشد اگر سه دیگ در نظر گرفته شود، هر دیگ ۵۰ درصد ظرفیت کل می‌باشد. در این قسمت ظرفیت هر دیگ به صورت خودکار محاسبه شده و برآورد اولیه هر دیگ به صورت دلاری و ریالی با قیمت روز دلار محاسبه می‌گردد و در انتها برآورد کلیه دیگ‌ها به صورت دلاری و ریالی محاسبه می‌گردد. در این قسمت لازم است مشعل مورد نیاز هر دیگ نیز محاسبه گردد بر این اساس راندمان هر مشعل را وارد نموده و سپس با توجه به شهر انتخابی نرم‌افزار افت راندمان ارتفاع از سطح دریا



را محاسبه می‌نماید. برای محاسبه دقیق مشعل مورد نیاز بایستی ارزش حرارتی گاز و یا گازوئیل مورد استفاده در هر مشعل را وارد شود. در این قسمت نرم‌افزار ظرفیت هر مشعل و همچنین مصرف گاز و یا گازوئیل هر مشعل را محاسبه می‌نماید. پس از انتخاب نوع مشعل برآورد اولیه هر مشعل بر اساس فهرست بها و قیمت دلاری و ریالی مربوطه تعیین می‌گردد. در این قسمت نرم‌افزار ظرفیت فن هوای مورد نیاز برای احتراق را محاسبه می‌نماید. (شکل ۸)

Qt	=	3,654,207	BTU/h	920,000	kcal/h
ضریب اطمینان	=	10%			
ضریب رسوب و استهلاک	=	10%			
راندمان محفظه دیگ	=	90%			
QT	=	4,470,000	BTU/h	1,130,000	kcal/h
تعداد دیگ	=	3			
ظرفیت هر دیگ	=	2,235,000	BTU/h	560,000	kcal/h
نوع دیگ انتخابی	=	جدنی			
برآورد اولیه هر دیگ	=	4,569	\$	2,329,000,000	ریال
برآورد اولیه همه دیگ ها	=	13,708	\$	6,986,000,000	ریال
راندمان مشعل	=	90%			
افت راندمان ارتفاع از سطح دریا	=	0%			51
ارزش حرارتی گاز	=	9400	kcal/h		
ارزش حرارتی گازوئیل	=	10200	kg/h		
ظرفیت هر مشعل انتخابی	=	2,240,000	BTU/h	560,000	kcal/h
مصرف گاز هر مشعل گازسوز	=	59.57	m3/h		
مصرف گازوئیل هر مشعل گازوئیل سوز	=	54.90	kg/h		
نوع مشعل انتخابی	=	گازی			
برآورد اولیه هر مشعل	=	1,051	\$	535,000,000	ریال
برآورد اولیه همه مشعل ها	=	3,152	\$	1,606,000,000	ریال
ظرفیت فن تامین هوای احتراق	=	2800	cfm		

شکل ۸: محیط نرم‌افزار، محاسبات دیگ و مشعل مورد نیاز پروژه به همراه برآورد اولیه آن‌ها

برای محاسبه مشخصات پمپ تصفیه استخر به محاسبه هد و دبی جریان نیاز است. در نرم‌افزار در صورت وارد نمودن طول لوله کشی‌ها در مکش و دهش پمپ و همچنین ضریب افت اتصالات مربوطه می‌توان مجموع افت در لوله کشی و اتصالات و کلکتورها را به دست آورد. برای محاسبه افت کل، نیاز به وارد نمودن افت در موگیرها و مبدل‌ها است، که این مقادیر از کاتالوگ‌های مربوطه استخراج و در نرم‌افزار وارد شد. پس از محاسبه مجموع کل افت‌ها و وارد کردن ضریب اطمینان هد پمپ محاسبه گردید. دبی پمپ نیز بر اساس محاسبات قبلی در این قسمت وارد می‌شود. در ادامه با هد و دبی محاسبه شده می‌توان مشخصات پمپ مورد نیاز مربوطه را از کاتالوگ انتخاب کرد. (شکل ۹)



</					

شکل ۹: محیط نرم افزار، خروجی مشخصات پمپ های مورد نیاز

بر اساس استاندارد ی که مشخصات پمپ تصفیه استخر دارد، بطور مشابه برای تعیین مشخصات پمپ تصفیه جکوزی نیز برآورد اولیه به عمل آمد. برای محاسبه پمپ جت جکوزی نیاز به افت بدنه، افت رینگ و افت نازل و فشار سرعتی نیز است که این افت نیز طبق استانداردهای مربوطه که در کاتالوگ شرکتهای سازنده می باشد محاسبه و در نرم افزار وارد می گردد. پس از تکمیل محاسبات مربوط به بار گرمایشی مورد نیاز استخر، بایستی از کاتالوگ مربوط به پنل های خورشیدی اطلاعات مورد نیاز شامل مساحت (m^2)، ظرفیت (KW/m^2) و قیمت هر پنل (\$) وارد نرم افزار شد.

نرم افزار بصورت خودکار تعداد پنل مورد نیاز را برای تامین بار گرمایشی مورد نیاز استخر را محاسبه می نماید. سپس هزینه ی مورد نیاز برای سرمایه گذاری سیستم گرمایش خورشیدی بصورت دلاری و ریالی محاسبه گردید. در ردیف بعدی هزینه دیگ ها و مشعل های مورد نیاز این سیستم محاسبه شده و در ردیف بعدی هزینه ی سرمایه گذاری برای این سیستم خورشیدی با کم کردن هزینه ی دیگ و مشعل ها محاسبه می گردد.

برای محاسبه مدت زمان بازگشت این سرمایه گذاری نوبت به محاسبه ی میزان مصرف گاز توسط مشعل ها می رسد. با توجه به میزان مصرف گاز هر مشعل برحسب $hr/ریال$ یا $hr/\$$ محاسبه می گردد. سپس با توجه به میزان هزینه یک سیستم خورشیدی در دو حالت حذف دیگ ها و یا نگه داشتن دیگ ها، میزان زمان بازگشت سرمایه گذاری برحسب ساعت محاسبه می گردد. حال نوبت به برآورد حدود زمان بازگشت سرمایه به سال می باشد. که با توجه به حدود کارکرد هر مشعل به طور متوسط ۶ ساعت در روز مدت زمان بازگشت سرمایه محاسبه شد. (شکل ۱۰)



				1130000 kcal/h	4470000 BTU/h	=	ظرفیت حرارتی مورد نیاز استخر
							پنل خورشیدی منتخب
							کارخانه سازنده
					2 m ²	=	مساحت هر پنل
					0.9 KW/m ²	=	ظرفیت
							تعداد ساعت استفاده در روز
					عدد	=	تعداد پنل
					\$	=	قیمت هر پنل
			ریال	39,007,000,000	\$	76,545	= هزینه کل یک سیستم خورشیدی
				8,592,000,000	\$	16,860	= کسر هزینه دیگ ها و مشعل ها
				30,415,000,000	\$	59,685	= میزان سرمایه گذاری
							بازگشت سرمایه در صورتی که دیگ ها حذف گردند
نرخ امکان ورزشی					ریال/hr	165,497.87	= هزینه مصرف گاز مشعل ها
					hr	183,778.80	میزان بازگشت سرمایه
			year	83.92	30,629.80		
نرخ جهانی گاز					\$/hr	257.00	= هزینه مصرف گاز مشعل ها
					hr	232.24	= میزان بازگشت سرمایه
			year	0.11	38.71		
							بازگشت سرمایه در صورتی که دیگ ها حذف نگردند
نرخ امکان ورزشی					ریال/hr	165,497.87	= هزینه مصرف گاز مشعل ها
					hr	235,694.87	میزان بازگشت سرمایه
			year	107.62	39,282.48		
نرخ جهانی گاز					\$/hr	257.00	= هزینه مصرف گاز مشعل ها
					hr	297.84	= میزان بازگشت سرمایه
			year	0.14	49.64		

شکل ۱۰: محیط نرم افزار، محاسبات سیستم خورشیدی، برآورد استخر خورشیدی و مدت زمان بازگشت سرمایه

نتایج

توجه زیاد به ساخت استخرهای شنای خورشیدی در دنیا مشاهده می شود، بطوریکه بیش از ۸۵ درصد از استخرهای شنای آمریکا از انرژی خورشیدی استفاده می شود. بطوریکه به اندازه ی ۱۰ نیروگاه اتمی در زمینه گرمایش استخر از انرژی خورشیدی استفاده می کنند. در ایران به دلایل مختلف تاکنون این مهم اجرا و به نتیجه قابل توجهی منجر نشده است. یکی از دلایلی که صاحبان سرمایه و سازندگان استخرهای شنا را برای استفاده از انرژی خورشیدی ترغیب نمی کند، دورنمای مبهم و تاریک سرمایه گذاری می باشد. چراکه بایستی در روز اول حدود سرمایه گذاری اولیه و همچنین مدت زمان بازگشت این سرمایه مشخص شده و با توجه کارفرمایان نسبت به این مهم اقدام گردد.



در نرم افزار طراحی شده پس از انتخاب شهر و ورود اطلاعات اولیه شامل ابعاد و مشخصات استخر، قیمت های روز دلار، تعرفه گاز در ایران و تعرفه ی صادراتی گاز و ... برآورد اولیه ی میزان ظرفیت حرارتی مورد نیاز استخر تبرآورد گردیده و با توجه به پنل خورشیدی انتخابی نسبت به برآورد تعداد و هزینه این سیستم خورشیدی اقدام شد. لذا قابلیت توجه پذیری و یا توجه ناپذیری اقتصادی این مهم نیز مشخص گردید. با توجه به پویا بودن این نرم افزار در امکان تغییر هر ورودی و مشاهده ی آن بدون اتلاف زمان در خروجی، قابلیت رصد و انتخاب بهترین سیستم فراهم می باشد. با محاسبات صورت گرفته هزینه ی اجرای پروژه برای استفاده از انرژی خورشیدی جهت گرمایش یک استخر سرپوشیده با ابعاد ارائه شده در این تحقیق، حدود ۷۶۵۰۰ دلار است. این هزینه در صورت کسر ۱۶۸۰۰ دلار بابت هزینه خرید و نصب دیگ و مشعل به ۵۹۷۰۰ دلار کاهش می یابد. حال در صورتی که هزینه صرفه جویی در مصرف گاز را به عنوان بازگشت سرمایه به حساب آورده شود، با نرخ واحد گاز در سرانه ورزشی ایران و یا نرخ صادراتی گاز در کشورهای وارد کننده گاز، مدت زمان بازگشت سرمایه در این تحقیق محاسبه شد. مشاهده می شود با دلار ۶۳۰/۰۰۰ ریالی و تعرفه ۹۲۶ ریالی برای هر مترمکعب گاز با نرخ فضا های ورزشی و تعرفه ی صادراتی با نرخ حدودی ۱/۵ دلاری برای هر مترمکعب در ایران بازگشت سرمایه بیش از ۴۰ سال است، و در آمریکا در بدبینانه ترین حالت ۳ تا ۷ سال و در برخی از کشورها با تعرفه جهانی گاز کمتر از یکسال می باشد. البته این اختلاف را می توان در اختلاف حدود ۸۶۰ برابری تعرفه گاز مکان های ورزشی با تعرفه گاز صادراتی نیز مشاهده و تصدیق نمود. با توجه به محاسبه انجام گرفته مقایسه ی ظرفیت حرارتی مورد نیاز استخرهای شنا در هریک از شهرها انجام شد. ارتباط بین ارتفاع هر شهر از سطح دریا و میزان بار حرارتی محاسبه شد. پس از محاسبات انجام گرفته توسط نرم افزار مشاهده می شود در صورت در دسترس بودن گاز طبیعی برای هیچیک از شهرهای ایران استفاده از آبگرمکن های خورشیدی به صرفه نمی باشد. چرا که در ایران حتی بدون توجه به تورم غیرقابل پیش بینی امکان توجه پذیر کردن کارفرما با توجه به بازگشت سرمایه ی نزدیک به چهار دهه، امکان پذیر و عاقلانه نمی باشد چرا که با نزدیک به رایگان بودن تعرفه گاز طبیعی در ایران و همچنین تعرفه ی فوق پایین آن در تعرفه ی ورزشی هیچ کارفرمایی به این سمت نمی رود مگر برای تبلیغات و گزارش کار. با این تفاسیر هیچ راه گریزی برای محاسبات بالادستی به منظور خورشیدی نمودن گرمایش در استخرها وجود ندارد چه از لحاظ مصرف بالا و بی رویه گاز طبیعی، چه از نظر تولید کربن و گازهای گلخانه ای، چه از نظر هزینه های درمان، چه از نظر روزهای تعطیل مدارس و ادارات به دلیل آلودگی هوا و تعداد زیادی دلیل دیگر که هر صاحب تفکر عاقلی را به این تصمیم گیری مهم سوق می دهد. در صورت ورود دولت به حمایت از این صنعت که در محاسبات دولتی به لحاظ اقتصادی، زیست محیطی، سلامت، بهداشت و درمان توجه پذیر است امکان خورشیدی نمودن گرمایش استخرها میسر می گردد. در صورتی که میزان یارانه ای که به مصرف گاز یک استخر در دو تا سه سال داده می شود، بصورت یک جا به تجهیز همان استخر به سیستم خورشیدی داده شده و پس از نصب سیستم خورشیدی، تعرفه مصرف گاز آن استخر تا حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد قیمت جهانی می گردد، که مسیری هموار برای تبدیل استخرها به سیستم هایی با انرژی پاک است و همچنین می توان به چشم انداز زمین پاک نیز امید داشته و موضوعات زیست محیطی را نیز در کنار مباحث اقتصادی مدنظر قرار داد.





منابع

منابع فارسی

۱. طباطبائی، سید مجتبی، کتاب محاسبات تأسیسات ساختمان، انتشارات روزبهان، چاپ نوزدهم، ۱۳۹۵.
۲. وکیل الرعایا، وحید، ۱۳۹۰، کتاب مرجع محاسبات تأسیسات مکانیکی ساختمان، انتشارات صناعی، چاپ دوم، ص ۱۵۴
۳. ثمالی، بیژن و وکیل الرعایا، وحید، کتاب طراحی سیستم های تهویه مطبوع با نرم افزار Carrier v4/5، انتشارات صناعی، چاپ سوم، ۱۳۹۳.
۴. عظمتی، علی اکبر و خاتمی فیروزآبادی، سیدرضا، کتاب طراحی سیستم های حرارت مرکزی و تهویه مطبوع با استفاده از نرم افزار Carrier، انتشارات دانشگاه هرمزگان، ۱۳۸۱.
۵. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد شماره ۱۱۲۰۳ ملی ایران، استخرهای شنا-الزامات عمومی
۶. عدل، فضل الله و شاهرودی، سیما، ۱۳۹۳، طراحی استخر شنای عمومی با رویکرد انرژی پاک، دومین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی، تهران، <https://civilica.com/doc/320173>
۷. غیبی، رضا و کلانتر، ولی، ۱۳۹۳، بررسی شبیه سازی عددی گرمایش خورشیدی آب استخر شنا در حالت دوبعدی، اولین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی انرژی خورشیدی، تهران.
۸. سلطانی نژاد، مجتبی و مرتضی پور، حمید، ۱۴۰۰، مقایسه استفاده از آبگرمکن های خورشیدی مرسوم و فتوولتائیک-گرمائی برای گرمایش آب استخر در کرمان، هفتمین کنگره سالانه بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران
۹. دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان، مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان، تأسیسات بهداشتی، ۱۳۹۶
۱۰. دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان، مبحث چهاردهم مقررات ملی ساختمان، تأسیسات مکانیکی، ۱۳۹۶
۱۱. سازمان برنامه و بودجه کشور، نشریه شماره ۲۷۱، شرایط طراحی (DESIGN CONDITIONS) برای محاسبات تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع ویژه تعدادی از شهرهای کشور، ۱۳۸۲
۱۲. سازمان برنامه و بودجه کشور، فهرست بهای واحد پایه، رشته تأسیسات مکانیکی ساختمان، ۱۴۰۲
۱۳. ری بد، آرمان، آموزش گام به گام توابع و فرمول نویسی در اکسل، چاپ دوم، ۱۳۹۴، نشر طاهریان

منابع انگلیسی

1. Service Water Heating, 2019, Ashrae Hvac Applications, Chapter 50.
2. J. Gong and K. Sumathy, 2017, Electrospun Tin Oxide Nanofiber/Titania Nanoparticle Composites for Use as Photoanode in Dye-sensitized Solar Cells, International Conference cum Exhibition on Renewable and Sustainable Energy (ICRSE-2017), Coimbatore, India
3. Cutler J. Cleveland, 2014, Encyclopedia of Energy, Book, Massachusetts, United States.





4. A.A.M. Sayigh, 1991, Energy Conservation in Buildings, University of Reading, UK, <https://doi.org/10.1016/C2009-0-14771-2>
5. R.Z. Wang and T.S. Ge, 2016, Advances in Solar Heating and Cooling, Wood head Publishing, <https://doi.org/10.1016/C2014-0-03661-1>
6. Dennis A. Snow, 2003, Plant Engineer's Reference Book, Second Edition, Engineering Consultant, Former Teaching Fellow, Loughborough, Butterworth-Heinemann.
7. Muhammad Asif Hanif and Farwa Nadeem, 2022, Renewable and Alternative Energy Resources, Book, Academic Press.
8. A.E. Dixon and J.D. Leslie, 1979, Solar Energy Conversion, Pergamon press, <https://doi.org/10.1016/C2013-0-05919-1>
9. S.C. Bhatia, 2014, Advanced Renewable Energy Systems, Wood head Publishing India, Pp.743
10. J.C. McVeigh, 1983, Sun Power: an introduction to the applications of solar energy, Second Edition, Pergamon press, Pp 259.

