نشریه ISSN: 2476-3667

تحلیل ویژگی‌های کالبدی و ساختاری حوضچه‌های سقفی

پروین محمدی[1]

چکـیده

مفاهیم معماری پایدار و انرژی در ساختمان سازی با توجه به بحران آلودگی محیط زیست و کمبود سوخت های فسیلی در سالیان اخیر اهمیت و جایگاه ویژه ای یافته است، به صورتی که پیامدهای ناشی از استفاده روزافزون از سوخت‌های فسیلی به منظور دستیابی به آسایش کاربران استفاده از سامانه‌های ایستا در ساختمان‌ها را در کانون توجه قرار داده است. در این رابطه حوضچه‌های سقفی به عنوان کارامدترین سامانه‌های ایستا جهت کاهش و یا افزایش دما در فضاهای داخلی قلمداد شده و با بهره گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در ساختمان‌ها، رابطه مستقیمی دارد. بدین ترتیب، در این پژوهش سعی بر آن است که با معرفی انواع این حوضچه‌ها و همچنین مشخصه‌های تأثیرگذار در انتخاب هر یک از آن‌ها بر اساس نیازها و شرایط اقلیمی قدم مؤثری برداشته شود.

واژگـان کلـیدی: انرژی، معماری پایدار، سامانه ایستا، حوضچه سقفی

۱- کارشناسی ارشد رشته معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران
P.mohammadi773@gmail.com

www.SID.ir

۱- مقدمه

بحران محیط زیست در سالیان اخیر زندگی بشر بر کره زمین را با چالش های جدیدی روبرو ساخته است. پیامدهای ناشی از روش‌های زندگی ماشینی و صنعتی و استفاده روزافزون از سوخت های فسیلی به منظور دستیابی به آسایش حرارتی، روز به روز توجه به مسائل زیست محیطی و مصرف بهینه انرژی را در کانون توجه اندیشمندان قرار داده است(پوردیهمی، ۱۳۷۸) که البته در این راستا بخش اعظمی از مصرف انرژی سالانه هر کشور مربوط به بخش ساختمان سازی است و همواره مهمترین عامل حیات از ابتدای زندگی بشر تا به امروز مقوله ی انرژی جهت بهبود کیفیت فضاهای معماری بوده است(حیدری نژاد، ۱۳۸۸). از این رو در برنامه ریزی ها و سیاست گذاری های بین المللی، توجه هرچه بیشتر به مفاهیم معماری و انرژی در ساختمان سازی اهمیت و جایگاه ویژه ای یافته است(مهدوی نژاد، ۱۳۹۲).

در این راستا، کاربرد مفاهیم انرژی در معماری مباحث تازه ای را به نام های معماری پایدار، معماری اکولوژیکی و معماری سبز، که همگی دارای مفاهیم یکسان و سازگار با محیط زیست و اقلیم می باشند، را مطرح می نماید (Pearce, 1993 ,Warford) و در چند دهه اخیر متفکران حوزه معماری وجهی از نگرش خود را به جهان پیرامونی با اهمیت بخشیدن به مقوله اقلیم سامان بخشیدند و ساختمان را با شرایط محیطی سنجیده اند(معماریان،۱۳۹۳). به گونه ای که در این ساختمان ها اجزا ساختمانی خود باعث جمع آوری، ذخیره، انتقال و دفع انرژی گرمایی شده(Moore, 2003) و کلیه اجزا علاوه بر ایجاد فضا، به عنوان عامل مهمی در سرمایش و یا گرمایش ساختمان عمل می کنند(حاج سقطی، ۱۳۸۰). بنابراین هدف این ساختمان ها ایجاد پایداری حرارتی بر اساس سازگاری با خصوصیات اقلیمی منطقه ازطریق استفاده از پتانسیل های اقلیمی است(Moore, 2003). بدین ترتیب، معماری همساز با اقلیم با توجه به شرایط ذکر شده حاصل نتایج توسعه پایدار است و استفاده از سامانه های ایستا نوعی حرکت در جهت طول چرخه این گونه معماری است (Pearce, Warford, 1993).

در این راستا استفاده از حوضچه های سقفی به عنوان کارامد ترین و مهم ترین روش سرمایشی و گرمایشی ایستا، در فضاهای داخلی قلمداد می شود(Amer, 2006). به گونه ای که در این روش گرما و یا سرمای دریافت شده به سقف ساختمان منتقل شده و از طریق آن به فضای داخلی انتقال می یابد(قیابکلو،۱۳۹۳). بنابراین، با توجه به دورنمایی از اتمام انرژی های فسیلی در جهان و بحران های محیطی، بازگشت انسان به طبیعت و توجه به همسازی با اقلیم در زمره مهم ترین راهکار هایی است که باید در الویت طراحی محیط های انسانی قرار گیرد. لذا در این نوشتار، سعی بر این است که با تمرکز بر نقش معماری برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار، به بررسی حوضچه های روی بام و مشخصه های تأثیرگذار بر انتخاب هر یک از آن ها بر اساس نیازهای اقلیمی و شرایط موجود پرداخته شود. این حوضچه ها دارای انواع مختلفی است و هرکدام دارای ویژگی های ساختاری و کارکردی متفاوتی است که در این نوشتار به آن پرداخته خواهد شد.

۲- پیشینه

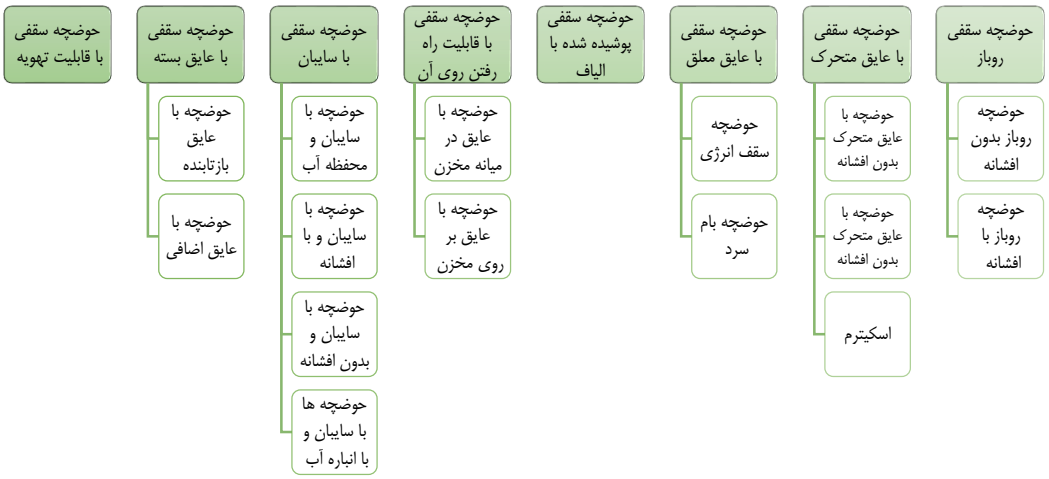
پیشینه تاریخی بحث تأمین آسایش کاربران در ساختمان ها با توجه به شرایط آب و هوایی، به پیش از میلاد مسیح باز می گردد. سقراط در حدود ۴۰۰ سال قبل از میلاد در مورد طراحی مناسب خانه ها از نظر اقلیمی ایده هایی را مطرح کرد. او در مورد این که چگونه باید ساختمان هایی ساخت تا در آن احساس راحتی کرد، رساله ای تدوین کرده است. مارکوس ویتروویوس پولیو در حدود ۱۰۰ سال قبل از میلاد، در مورد لزوم در نظر گرفتن شرایط اقلیمی در طراحی خانه ها به منظور دستیابی به سلامت و آسایش نوشته هایی را ارایه داده است. اما هیچ یک از این پژوهش ها نتوانست به صورت کاربردی در ساختمان ها مورد استفاده قرار گیرد و تحقیقات انجام شده به صورت جدی و کاربردی در خصوص توجه به معماری همساز با اقلیم در سال ۱۸۳۳ میلادی توسط لوک هووارد در لندن سرآغاز بسیاری از پژوهش ها در رابطه با تأثیر متقابل انسان و اقلیم شد (Emmanuel، 2005). در همین راستا برای اولین بار در سال ۱۹۲۰ در دانشگاه تگزاس تأمین آسایش حرارتی از طریق حوضچه های سقفی مورد توجه قرار گرفت و Yallot در سال ۱۹۴۰ بر نقش حوضچه سقفی روباز و با افشانه و تأثیر آن بر فضا های معماری معطوف شد(Spanaki, 2007). دو سال پس از آن نیز Yallot و Hay در محیط آزمایشگاه ضمن بررسی تأثیر وجود افشانه و عایق حرارتی متحرک، به بررسی حوضچه ها با عایق های بسته و ثابت پرداختند(Hay, Yellott, 1969). Niles نیز در سال ۱۹۷۲ به بررسی مجدد حوضچه با عایق متحرک و مقایسه آن ها با ساختمان های بدون حوضچه پرداخت و تحقیقات بسیار گسترده ای جهت بهبود عملکرد این سیستم ها ارایه داد، و برای اولین بار حوضچه های پوشیده شده با الیاف نیز توسط وی مورد آزمایش قرار گرفت(Ahmed,1976). همچنین حوضچه های سقف انرژی توسط La Roche طراحی و با عایق های شفاف و متخلخل بررسی شد(Yannas, Erell, Molina, 2006). Sodha در سال ۱۹۸۰ با بررسی حوضچه هایی سقفی با سایبان، به این نکته پی برد که گردش آب حوضچه توسط وسایل مکانیکی عملکرد حوضچه را بهبود می بخشد(Sodha, Govind,Bansal, 1980). در سال ۱۹۹۲ نیز حوضچه ها بام سرد توسط Richard Bourne و David Spinger که یک حوض بام خنک

www.SID.ir

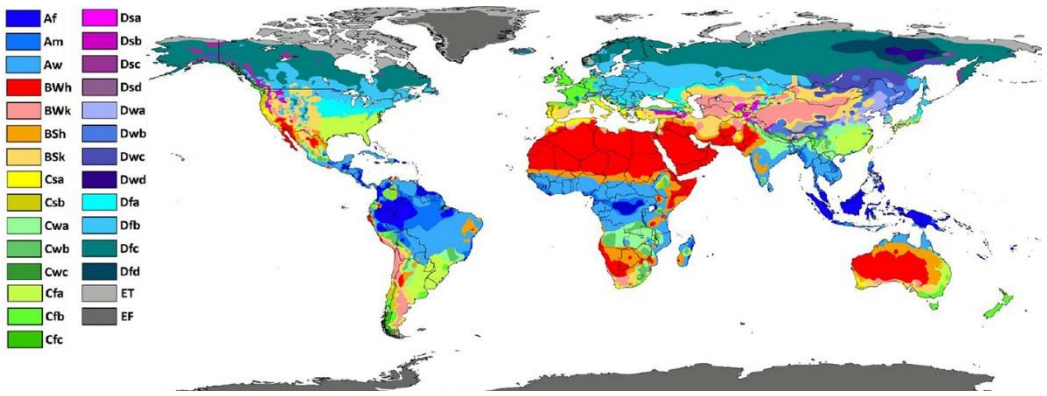
استخر سقف با عایق شناور است، طراحی شد وبا افشانه و بدون افشانه مورد بررسی قرار گرفت. در دهه ها بعدی نیز مفهوم استفاده از حوضچه ها بیش از پیش مورد توجه قرار گرفت و ابزار های لازم جهت بهره بری از این سامانه ها در دسترس قرار گرفت. تحقیقات مذکور همچنان در حال پیگیری و انجام است و در سال های اخیر نتایج این تحقیقات به اوج خود رسیده است، به طوری که مدل های جدیدی برای این سامانه ها به جامعه علمی و مهندسی معرفی شدند. (Spanaki, 2007)

۳- حوضچه سقفی[1]

سامانه های حوضچه های سقفی که اجزا اصلی آن شامل تکیه گاه حوضچه، محفظه آب، پوشش حفاظتی و سیستم پاشش و گردش آب می باشد(Lechner, 2009)؛ از سامانه های وابسته به انرژی های تجدید پذیر هستند؛ اما این انرژی ها در این سامانه ها به صورت مستقیم جریان پیدا نمی کنند؛ بلکه عمل انتقال انرژی از طریق فرایند های طبیعی مثل رسانش، همرفت و تابش انجام میشود و عناصر حوضچه به گونه ای عمل می کنند که انرژی را از منبع جذب کرده، در مخزن آب ذخیره کرده و سپس انرژی را در فضای داخلی ساختمان منتشر می کنند(Chan, Riffat, Zhu, 2010). به عبارتی، در طراحی حوضچه های سقفی با اهمیت به تکنیک های خاص ساختمانی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان از جریان های انرژی طبیعی برای ایجاد شرایط آسایش در ساختمان ها استفاده می شود، به گونه ای که ساختمان هایی که بر این اساس طراحی می شوند ضرورت سرمایش و گرمایش ساختمان با بهره گیری از انرژی های فسیلی را به حداقل می رسانند(Lechner, 2009) البته نظر به این که میزان ترکیب عوامل آب و هوایی حوزه های اقلیمی متفاوتی در سراسر جهان پدید آورده است؛ لذا حوضچه ها نیز ضمن هماهنگی با محیط طبیعی پیرامون خود و بهره گیری هر چه بیشتر از نیروی طبیعی موجود با خصوصیات کارکردی و ساختاری متفاوتی در اقلیم های مختلف به وجود آمده است. شکل۱ دسته بندی این حوضچه ها را نشان می دهد و در جدول۱به کارکرد انواع این حوضچه ها در اقلیم های متفاوت پرداخته می شود.



شکل ۱– دسته بندی حوضچه های سقفی(مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)



شکل ۲–تقسیم بندی اقلیمی در جهان (مأخذ:www.britannica.com, 2020)

[1] *Roof Pond*

www.SID.ir

جدول ۱- بررسی کارکرد انواع حوضچه ها(تهیه و تنظیم: نگارنده،۱۳۹۹)

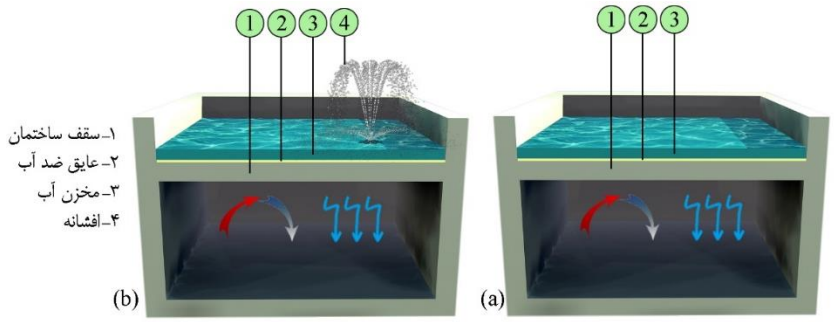
نام حوضچه	نوع حوضچه	گرمایی	سرمایی	نوع اقلیم	منابع
حوضچه روباز	بدون افشانه			Bsk, Bsh, Cfa, Csb, Cwa	(Yang, Wang, Zhao, 2015) (Spanaki,Tsoutsos, Kolokotsa,2011) (Vorster, Dobson,2011)
	با افشانه			Csb,Cwa, Bsk, Bsh	(Yang, Wang, Zhao, 2015) (Spanaki,Tsoutsos, Kolokotsa,2011) (Vorster, Dobson,2011)
حوضچه با عایق متحرک	با عایق وافشانه			Bsh,Bwh, Cs, Cw, Cf	(Rincón, Almao, González,2001)
	با عایق و بدون افشانه			Bsh,Bwh, Cs, Cw, Cf	(Rincón, Almao, González,2001)
	اسکیترم			Aw, Bsh, Bwh,Csa, Csb, Cfa, Cwa,	(Spanaki,Tsoutsos, Kolokotsa,2011) (Raeissi, Taheri, 2000)
حوضچه با عایق معلق	سقف انرژی			Csa	(Spanaki,Tsoutsos, Kolokotsa,2011)
	بام سرد			Af, Aw	(Givoni, 2011)
حوضچه پوشیده با الیاف	–			Bsh, Bw	(Runsheng, Etzion, Erell, 2003)
حوضچه با قابلیت راه رفتن روی آن	عایق در میانه مخزن			BWh,BSh	(Givoni, 2011)
	عایق بر روی مخزن			BWh,BSh	(Givoni, 2011)
حوضچه با سایبان	با محفظه آب			Csa, Csb	(Yadav, Rao, 1983)
	با افشانه			Csa, Csb	(Yadav, Rao, 1983)
	بدون افشانه			Csa, Csb, Cwa	(Yadav, Rao, 1983)
	با انباره			Bsk, Bsh, Cwa, Csa	(Ponni, Baskar,2007)
حوضچه با عایق بسته	با عایق بازتابنده			Bwk	(Bencheikh, Bouchair, 2004)
	با عایق اضافی			Bsh,Bwh, Bwk,Cfa	(Runsheng, Etzion, Erell, 2003)
حوضچه با قابلیت تهویه	–			Bsh, Bsk, BSh,BWh	(Givoni, 2011)

۳-۱- حوضچه سقفی روباز[1]

این حوضچه ها که بر روی سقف بتنی ساخته می شوند، به دو صورت حوضچه روباز بدون افشانه و حوضچه روباز با افشانه تقسیم میشوند. حوضچه روباز و بدون افشانه ساده ترین نوع حوضچه می باشد و بیشترین استفاده را در ساختمان ها دارد. طرز کار این حوضچه به صورتی است که در طول روز انرژی حرارتی خورشید را جذب و ذخیره کرده و مانع از نفوذ گرمای بیش از حد به فضاهای داخلی میشود و بدین صورت گرم شدن فضاهای داخلی را به تعویق می اندازد. این در حالی است که دما آب از ۵ درجه سانتی گراد بیشتر نمیشود؛ چرا که افزایش دما با تبخیر آب حوضچه ها جبران می شود(Yang,Wang,Zhao, 2015). در نوع دیگر این حوضچه ها، افشانه ای جهت کسب بیشتر انرژی حرارتی خورشید و افزایش تبخیر تعبیه شده است که در نتیجه آن عملکرد حوضچه بهبود میابد(Yannas, Erell, Molina ,2006).

1 Open Roof Pond

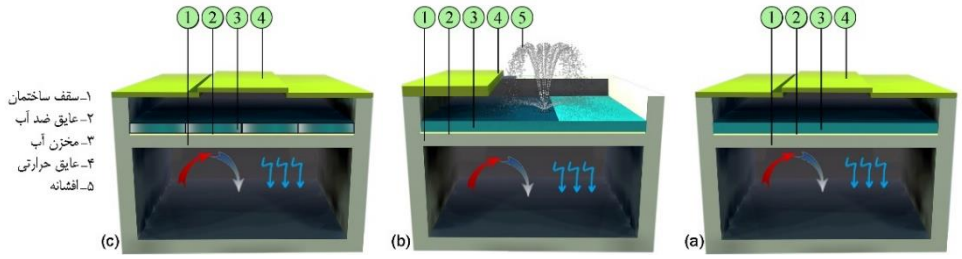
www.SID.ir



شکل ۳–(a) حوضچه سقفی روباز بدون افشانه (b)حوضچه سقفی روباز با افشانه (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

۳-۲- حوضچه سقفی با عایق متحرک[1]

این نوع از حوضچه های سقفی توسط عایق های متحرک پوشش داده می شوند و صفحات عایق به رنگ کدر می باشند؛ تا بدین وسیله بیشترین میزان جذب انرژی گرمایی خورشید توسط عایق فراهم شود و انرژی گرمایی به مخزن آب و به طبع فضاهای داخلی ساختمان نفوذ نکند، البته این در حالی است که اثرات تبخیر خود به خودی باعث کاهش دما آب و در نتیجه بهبود فرایند حوضچه می شود. این حوضچه ها به سه دسته کلی حوضچه با عایق متحرک بدون افشانه، حوضچه با عایق متحرک و با افشانه و اسکیترم طبقه بندی می شوند که در نوع اول و دوم صفحات عایق از جنس پلی استایرن و استایروفوم می باشند و سقف پشتیبان بتنی و فلزی است (Spanaki,Kolokotsa,Tsoutsos,2014) و در نوع سوم بر خلاف دیگر حوضچه ها با عایق متحرک سقف پشتیبان یک عرشه فلزی است و جهت انتقال حرارت از حوضچه به عرشه فلزی تا حد امکان بالا عرشه را با یک ورق پلاستیکی نازک مانند پلی اتیلن دولایه در لبه ها و با صفحات عایق از جنس فایبرگلاس یا پلی اتیلن پوشش داده شود. همچنین در این نوع از حوضچه ها آب در کیسه های پلی اتیلن شفاف محصور شده است و جهت بهبود عملکرد حوضچه می توان یک لایه آب روی کیسه ها اضافه کرد (Raeissi, Taheri, 2000).



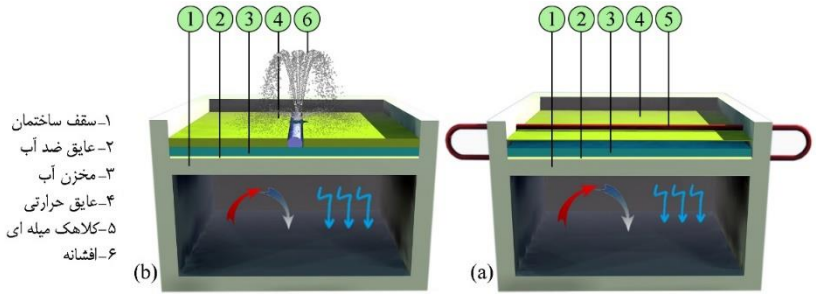
شکل ٤–(a) حوضچه سقفی با عایق متحرک و بدون افشانه(b) حوضچه سقفی با عایق متحرک و با افشانه (c) اسکیترم (مأخذ:نگارنده،۱۳۹۹)

۳-۳- حوضچه سقفی با عایق معلق[2]

حوضچه ها با عایق معلق به دو دسته حوضچه های سقف انرژی و بام سرد تقسیم می شوند. در نوع اول آب درون محفظه توسط عایق حرارتی از جنس آلومینیوم پوشیده شده است و در قسمت فوقانی آن جهت محدود کردن حرکت عایق، کلاهک میله ای در سراسر حوضچه تعبیه می شود. این میله فلزی صفحه عایق را به مخزن آب نیز متصل می کند و از طریق پمپی که در کنار عایق تعبیه شده مقداری از آب درون مخزن را بر روی عایق پمپ می کند(La Roche, 2012). در نوع دوم حوضچه که دارای افشانه نیز می باشد لایه عایق در تماس با سطح مخزن آب قرار گرفته است، این عایق ازجنس پلی استایرن می باشد و سطح خارجی آن جهت انعکاس انرژی خورشیدی می بایست به رنگ روشن باشد. همچنین در قسمت میانی این عایق روزنه ای جهت ارسال آب ازمخزن بر روی عایق در نظر گرفته می شود، تا ازطریق آب گرمای خود را از دست داده و پس از سرد شدن به منظور سرمایش فضای داخلی مجدداً به زیر پانل عایق رفته و در آنجا ذخیره شود(Spanaki,2007) (Tepox,Gonzalez,Elizondo, 2013).

1 Roof Pond With Moveable Insulation
2 Roof Pond With Floating Insulation

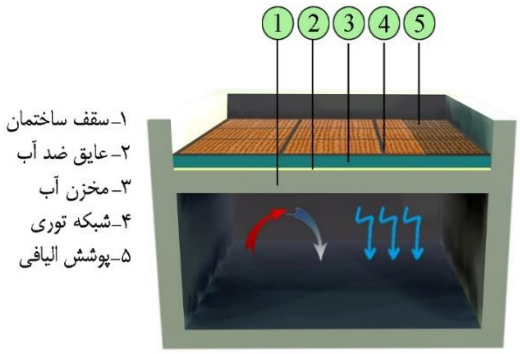
www.SID.ir



شکل ۵- (a)حوضچه سقف انرژی (b) حوضچه بام سرد (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

۴-۳- حوضچه سقفی پوشیده شده با الیاف[1]

این نوع از حوضچه ها بر روی سقف های فلزی و بتنی تعبیه می شوند. عمق مخزن آب برای سقف های فلزی ۲۰ سانتی متر و برای سقف های بتنی ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته می شود. در این نوع از حوضچه ها پوشش الیاف در تماس مستقیم با سطح آب قرار می گیرد و الیاف به کمک شبکه توری از جنس پلی استایرن روی سطح آب شناور نگه داشته می شود. در این حوضچه به دلیل بسته بودن سطح آن، آب درون مخزن لایه بندی می شود به صورتی که آب با دمای بیشتر در سطح فوقانی و آب با دمای کمتر در سطح تحتانی مخزن قرار می گیرد؛ لذا این طبقه بندی آب از طریق فرایند همرفت موجب بهبود عملکرد حوضچه میشود(alrowaished,2013)(Spanaki, Kolokotsa,Tsoutsos, 2012)(Tang, Etzion,2004).



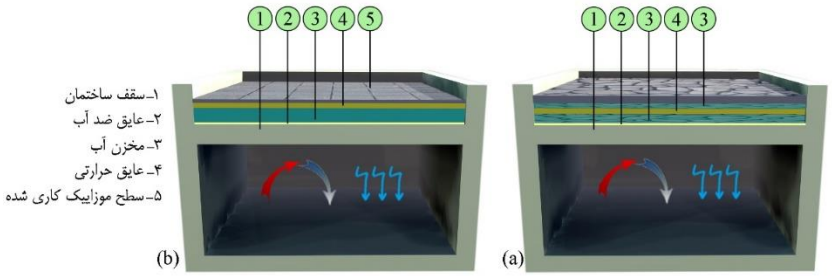
شکل ٦- حوضچه سقفی پوشیده شده با الیاف (مأخذ:نگارنده ، ۱۳۹۹)

۵-۳- حوضچه سقفی با قابلیت راه رفتن روی آن[2]

این حوضچه ها به دلیل پوشش مستحکم روی مخزن آب، امکان راه رفتن روی آن بدون ایجاد مزاحمت در عملکرد سیستم حوضچه وجود دارد و توسط سقف بتنی مسلح که توانایی حمل بار ۴۰۰ کیلوگرم در متر مربع را دارد، پشتیبانی می شود. این حوضچه ها به دو دسته کلی، حوضچه با قابلیت راه رفتن با عایق در میانه مخزن آب و حوضچه با قابلیت راه رفتن با عایق بر روی مخزن تقسیم می شوند. در نوع اول که از لایه متعدد تشکیل شده؛ پس از لایه بتن مسلح سقف و عایق ضد آب، مخزن آب به ضخامت ۳ تا ۲ سانتی متر همرا با سنگریزه وجود دارد و پس از آن عایق از جنس پلی استایرن با ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی متر قرار گرفته و روی آن مجدداً مخزن آب با ضخامت۳ تا ۲ سانتی متر همرا با سنگریزه موجود می باشد(Givoni، 1994). نوع دوم این حوضچه ها عملکردی مشابه با نوع اول دارند البته با این تفاوت که در قسمت فوقانی عایق، مخزن آب و سنگریزه وجود نخواهد داشت و کف تمام شده بر روی عایق نیز جهت سهولت در استفاده، موزاییک کاری می‌شود(Dabaieh,Wanas,Hegazy,2015).

1 Roof Pond With Gunny Bags
2 Walkable Roof Pond

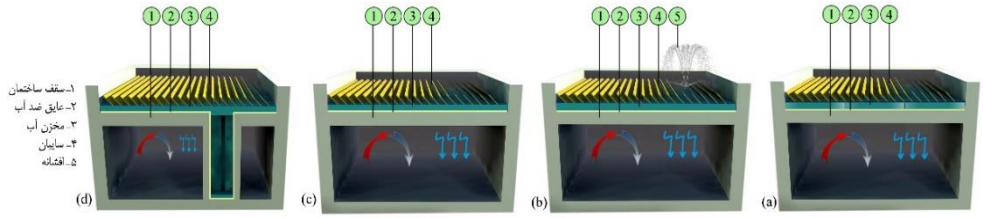
www.SID.ir



شکل ۷– (a)حوضچه سقفی با قابلیت راه رفتن روی آن با عایق در میانه مخزن (b) حوضچه سقفی با قابلیت راه رفتن روی آن با عایق بر روی مخزن (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

۳-۶- حوضچه سقفی با سایبان[1]

این نوع از حوضچه که بر روی سقف فلزی و بتنی اجرا میشود، دارای مخزن آب سرپوشیده است که کرکره هایی سبب جدایی سطح آب با محیط پیرامون شده و باعث حداکثر جلوگیری برخورد اشعه های خورشیدی به سطح آب خواهند شد(Kasaeian,Sameti, Eshghi, 2014) .صفحات کرکره ای اغلب به صورت متحرک می باشند و در روز جهت جلوگیری از ورود نور خورشید به داخل مخزن آب بسته خواهند شد و در شب باز می شوند، در نتیجه میزان قابل توجهی گرما از طریق تابش از دست میرود(La Roche, 2012). این حوضچه ها به چهار دسته حوضچه های سقفی با سایبان و با محفظه آب، حوضچه با سایبان و با افشانه، حوضچه با سایبان و بدون افشانه، حوضچه ها با سایبان و با انباره آب طبقه بندی میشوند. در این میان حوضچه ها با سایبان و با افشانه نسبت به حوضچه ها بدون افشانه و حوضچه ها با محفظه آب به دلیل تماس بیشتر آب با محیط و کسب بیشتر انرژی خورشیدی و افزایش تبخیر عملکرد بهتری دارند(Bainbridge, Haggard ,2011) در نوع چهارم از این حوضچه ها مخزن آب درون اسکلت و بدنه ساختمان قرار دارد و انباره آب بخشی جدایی ناپذیر از بنا را تشکیل میدهد، بنابراین پیش از طراحی بنا باید به حوضچه و تأثیرات ناشی از آن بر ساختمان از جمله میزان سطح اشغال فضا و الویت بندی فضاها در مجاورت با انباره توجه شود (Kasaeian,Sameti, Eshghi, 2014) (Spanaki, Tsoutsos, Kolokotsa, 2011).



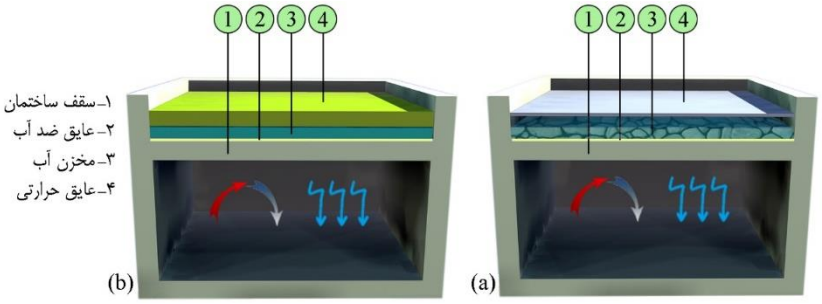
شکل ۸–(a) حوضچه سقفی با سایبان و محفظه آب(b) حوضچه سقفی با سایبان و با افشانه (c) حوضچه سقفی با سایبان و بدون افشانه(d) حوضچه سقفی با سایبان و با انباره آب (مأخذ:نگارنده،۱۳۹۹)

۳-۷- حوضچه سقفی با عایق بسته[2]

این نوع حوضچه سقفی که بر روی یک سقف بتنی اجرا می شود(Bencheikh, Bouchair, 2004)، به دو دسته کلی حوضچه با عایق بازتابنده و حوضچه با عایق اضافی تقسیم می شود. در نوع اول عایقی از ورقه های فلزی با خاصیت بازتابندگی مخزن آب همراه با سنگریزه را از یک لایه هوا به صورت دائمی پوشش می دهد و هوا می تواند بین سطح آب و پنل عایق به صورت آزادانه جریان یابد و عمل تبخیر را تسریع بخشد(Cheikh, Bouchair, 2004). در نوع دوم عایق پلی استایرن به صورت دائمی بر روی حوضچه قرار گرفته و بخار آب سیستم را ترک نمی کند لذا آب تبخیر شده متراکم شده و مجدداً به درون مخزن آب باز می گردد و در عمل هیچ خنک کننده تبخیری توسط این نوع از حوضچه ها حاصل نمی شود و حوضچه تنها به عنوان یک لایه عایق اضافی بر روی سقف عمل می کند (Yang, Wang, Zhao, 2015).

1 Shaded Roof Pond
2 Closed Roof Pond

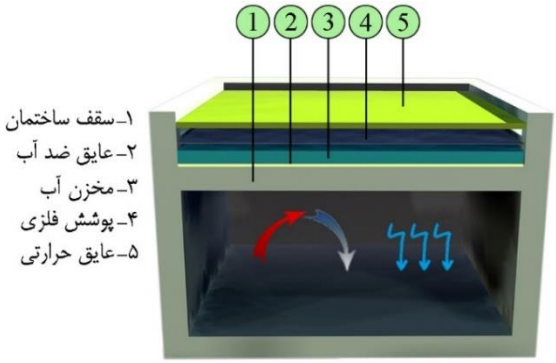
www.SID.ir



شکل ۹- (a) حوضچه سقفی با عایق بازتابنده (b) حوضچه سقفی با عایق اضافی (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

۳-۸- حوضچه سقفی با قابلیت تهویه [1]

حوضچه ها با قابلیت تهویه بر روی یک سقف بتنی و یا سقف فلزی مسطح و یا شیب دار تعبیه می شود (Santamouris,Nicol, Roaf, 2007) (Kruger,Cruz,Givoni,2010) و پوششی از ورقه های فلزی با خاصیت بازتابندگی سطح آب را از یک لایه عایق با جنس پلی استایرن و یا استایروفوم به فاصله ۳۰ سانتی متر جدا می کند(Cruz, Kruger, 2015). از آن جایی که این حوضچه ها توسط صفحات عایق به صورت دائمی پوشانده می شوند عمل سرمایش فقط از طریق تبخیر و همرفت صورت می گیرد. اگرچه هوا می تواند در فضا بین سطح آب و پنل عایق به صورت آزادانه جریان یابد، سیستم را می توان با نصب سیستم های مکانیکی مانند فن کویل در یک یا دو طرف حوضچه جهت کاهش دما آب و تشدید عمل تبخیر تکمیل کرد(Bravo, Gonzalez, 2013).



شکل ۱۰- حوضچه سقفی با قابلیت تهویه (مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹)

۴- بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد حوضچه های سقفی

شناخت الگوی طراحی حوضچه های سقفی موجب می گردد که با درک بهتر، اجزای مختلف آن را طراحی نموده و در پی استفاده حداکثری از انرژی های طبیعی در ساختمان و یا حتی کنترل اثر مکانیکی آن در شرایط نامطلوب قدم هایی برداشته شود. سه مورد اساسی استفاده مؤثر از حوضچه های سقفی برای اهداف سرمایشی و گرمایشی را تحت تأثیر قرار می دهد: اول نوع سقف انواع حوضچه های سقفی، دوم عایق حرارتی انواع حوضچه های سقفی و سوم عمق مخزن آب انواع حوضچه های سقفی.

۴-۱- بررسی نوع سقف انواع حوضچه های سقفی

بام ساختمان به عنوان واسطه اصلی بین فضای داخلی وحوضچه، نقش قابل توجهی در تعدیل شرایط آب و هوایی و کاهش بارهای سرمایشی و گرمایشی در اقلیم های مختلف و در نتیجه تأمین آسایش حرارتی ساکنان دارد به صورتی که طراحی و اجرای پوسته بام، می تواند تا حد زیادی سبب صرفه جویی در مصرف انرژی گردد. لذا طراحی بام متناسب با نوع و هدف حوضچه به عنوان عاملی جهت ایجاد ارتباط حرارتی بین حوضچه و فضا داخلی نقش مهمی در تعیین بهبود عملکرد حوضچه خواهد داشت؛ و نوع مصالح مورد استفاده در سقف در جذب و دفع گرما و همچنین انعکاس انرژی تابشی خورشید نقش اساسی دارد و در صورت

[1] *Ventilated Roof Pond*

www.SID.ir

عدم توجه به مشخصات فیزیکی بام هدررفت انرژی بسیار قابل ملاحظه خواهد بود. بر همین اساس حوضچه های سقفی با بام های بتنی، فلزی و یا به هر دو صورت طراحی و اجرا می شوند که شرح آن در جدول۲ آمده است.

جدول ۲- بررسی نوع سقف انواع حوضچه های سقفی(تهیه و تنظیم: نگارنده،۱۳۹۹)

نام حوضچه	نوع حوضچه	سقف بتنی	سقف فلزی	منابع
حوضچه روباز	بدون افشانه			(Yang, Wang, Zhao, 2015)
	با افشانه			(Yang, Wang, Zhao, 2015)
حوضچه با عایق متحرک	با عایق و افشانه			(Spanaki,Kolokotsa,Tsoutsos,2014)
	با عایق و بدون افشانه			(Spanaki,Kolokotsa,Tsoutsos,2014)
	اسکیترم			(Raeissi, Taheri, 2000)
حوضچه با عایق معلق	سقف انرژی			(Yannas, Erell, Molina, 2006)
	بام سرد			(Tepox,Gonzalez,Elizondo, 2013)
حوضچه پوشیده با الیاف	–			(Spanaki, Zacharopoulos, 2012) (alrowaished ,2013)
حوضچه با قابلیت راه رفتن روی آن	عایق در میانه مخزن			(Spanaki, 2007) (Givoni, 1994) (Yannas, Erell, Molina ،2006)
	عایق بر روی مخزن			(Spanaki, 2007) (Givoni, 1994) (Yannas, Erell, Molina ،2006)
حوضچه با سایبان	با محفظه آب			(Kasaeian,Sameti, Eshghi, 2014)
	با افشانه			(Kasaeian,Sameti, Eshghi, 2014)
	بدون افشانه			(Kasaeian,Sameti, Eshghi, 2014)
	با انباره			(Kasaeian,Sameti, Eshghi, 2014)
حوضچه با عایق بسته	با عایق بازتابنده			(BencheikhBouchair, 2004)
	با عایق اضافی			(BencheikhBouchair, 2004)
حوضچه با قابلیت تهویه	–			(Kruger, Cruz, Givoni, 2010) (Ono,2002) (Gupta, Tiwari,2016)

۴-۲- بررسی عایق انواع حوضچه های سقفی

انتخاب نوع عایق حرارتی به عنوان یکی از اصلی ترین اجزا حوضچه سقفی، نقش بسزایی در میزان هدررفت انرژی در انواع حوضچه ها دارد.در همین راستا نتایج بررسی شده در جدول ۳ در خصوص عملکرد بام با عایق های مختلف نشان می دهد که عایق های پلی استایرن با ضخامت های مختلف با پایه پلاستیکی به علت استحکام، مقاومت بالاحرارتی، قیمت پایین، دسترسی آسان، تولید راحت و وزن کم به ازای واحد حجم، بیشترین کاربرد را در در شرایط آب و هوایی۱۴ تا ۵۴ درجه سانتی گراد دارند(اشرفی،۱۳۹۶).

www.SID.ir

جدول ۳- بررسی عایق انواع حوضچه های سقفی(تهیه و تنظیم: نگارنده،۱۳۹۹)

نام حوضچه	نوع حوضچه	جنس عایق	ضخامت عایق(cm)	منابع
حوضچه روباز	بدون افشانه	–	–	–
	با افشانه	–	–	–
حوضچه با عایق متحرک	با عایق و افشانه	پلی استایرن پلی اورتان	۱۰-۲۵	(Yannas, Erell, Molina ،2006) (Tang, Etzion, 2005)
	با عایق و بدون افشانه	پلی استایرن پلی اورتان	۱۰-۲۵	(Yannas, Erell, Molina ،2006) (Tang, Etzion, 2005)
	اسکیترم	پلی اتیلن فایبرگلاس	۱۰-۳۰	(Raeissi, Taheri, 2000)
حوضچه با عایق معلق	سقف انرژی	الومینیوم	۹	(Almodovar, La Roche, 2019)
	بام سرد	پلی استایرن	۸-۱۰	(Tepox,Gonzalez,Elizondo, 2013) (Spanaki, 2007)
حوضچه پوشیده با الیاف	–	–	–	–
حوضچه با قابلیت راه رفتن روی آن	عایق در میانه مخزن	پلی استایرن	۵-۱۰	(Givoni, 1994)
	عایق بر روی مخزن	پلی استایرن پلی تن	۵-۱۰	(Givoni, 1994)
حوضچه با سایبان	با محفظه آب	پلی استایرن	۲-۶	(Gutierrez,Amador,Sanchez, 2016)
	با افشانه	پلی استایرن	۶-۲	(Gutierrez,Amador,Sanchez, 2016)
	بدون افشانه	پلی استایرن	۲-۶	(Gutierrez,Amador,Sanchez, 2016)
	با انباره	پلی استایرن	۲-۶	(Gutierrez,Amador,Sanchez, 2016)
حوضچه با عایق بسته	با عایق بازتابنده	آلومینیوم	۰/۵	(Cheikh, Bouchair, 2004)
	با عایق اضافی	پلی استایرن	۲,۷۵	(Dabaieh, Wanas, Hegazy, 2015)
حوضچه با قابلیت تهویه	–	پلی استایرن استایروفوم	۱	(Cruze, Krüger, 2015) (Kharrufa, Adil, 2012) (Fernandes, Krüger, 2017) (Kruger, Cruz, Givoni, 2010)

۳-۴- بررسی عمق مخزن آب انواع حوضچه های سقفی

حوضچه بام سیستمی متشکل از حجم مشخصی آب است که امکان جمع آوری، ذخیره و تبادل انرژی حرارتی را از طریق سه فرایند تابش، جابه جایی و هدایت به فضاهای داخلی فراهم می کند و از این طریق موجب حفظ دمای یکنواخت فضاهای درونی شده و از تغییرات دمایی جلوگیری می کند؛ که در این خصوص نوع حوضچه سقفی، نوع عرشه سقف(فلزی یا بتنی)، شرایط آب و هوایی و همچنین هدف استفاده(سرمایش و گرمایش) از حوضچه از اصلی ترین عوامل هنگام تعیین بهینه عمق آب برای استخرهای بام می باشد. در این راستا مقادیر عمق مخزن آب با توجه به جدول۴ بین ۲ تا۵۰ سانتی متر برای سیستم های مختلف حوضچه سقفی توصیه می شود.

www.SID.ir

جدول ٤- بررسی عمق مخزن آب انواع حوضچه های سقفی (تهیه و تنظیم: نگارنده،۱۳۹۹)

نام حوضچه	نوع حوضچه	ضخامت مخزن آب (cm)	منابع
حوضچه روباز	بدون افشانه	۳۰	(Yang, Wang, Zhao, 2015)
	با افشانه	۵۰- ۳۰	(Yang, Wang, Zhao, 2015)
حوضچه با عایق متحرک	با عایق و افشانه	۵۰-۳۰	(Yannas, Erell, Molina ،2006)
	با عایق و بدون افشانه	۱۰-۱۵	(Ricon, Almao, Gonza, 2001) (Yannas, Erell, Molina ،2006)
	اسکیترم	۲۵ - ۱۰	(Tang, Etzion, 2005)
حوضچه با عایق معلق	سقف انرژی	۴۰	(Yannas, Erell, Molina, 2006)
	بام سرد	۹	(La Roche, 2012)
حوضچه پوشیده با الیاف	-	۲۰-۵۰	(Spanaki, Zacharopoulos, 2012) (Tang, Etzion, 2004) (alrowaished ,2013)
حوضچه با قابلیت راه رفتن روی آن	عایق در میانه مخزن	۲-۳	(Givoni, 1994)
	عایق بر روی مخزن	۳-۲	(Givoni, 1994)
حوضچه با سایبان	با محفظه آب	۱۰-۵	(Fernández-González ،2007)
	با افشانه	۱۰-۵	(Fernández-González ،2007)
	بدون افشانه	۱۰-۵	(Fernández-González ،2007)
	با انباره	۱۰-۵	(Fernández-González ،2007)
حوضچه با عایق بسته	با عایق بازتابنده	۷	(Cheikh,Bouchair, 2004)
	با عایق اضافی	۱۰	(Yang, Wang, Zhao, 2015)
حوضچه با قابلیت تهویه	-	۹	(Santamouris,Nicol, Roaf, 2007)

۵- نتیجه‌گیری

طراحی حوضچه های سقفی به عنوان یکی از بهترین سامانه های ایستا، در کاهش مصرف سوخت های فسیلی و همچنین حفظ منابع طبیعی نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. برای رسیدن به این هدف با در نظر گرفتن رویکردهای اقلیمی می توان الگوهای متداول ساخت و ساز را بهبود بخشید. به صورتی که استفاده از حوضچه های سقفی با توجه به شرایط آب و هوایی و طراحی آن ها متناسب با اقلیم از دو نظر حائز اهمیت است: از یک سو هماهنگی ساختمان با شرایط اقلیمی تلفات حرارتی و برودتی و نیاز به سرمایش و گرمایش مکانیکی را به حداقل می رساند که در این راستا ساختمان از پتانسیل های طبیعی موجود در محل استفاده می کند و به طبع مصرف انرژی فسیلی را به حداقل می رساند، از سوی دیگر موجب می گردد که ساختمان به طور طبیعی در حد آسایش انسان تنظیم شود و دارای شرایط آسایش حرارتی بهتری باشد. البته بدیهی است در نظر گرفتن این اصول از ابتدا فرایند طراحی، با هماهنگی کامل طرح معماری و عناصر لازم جهت ایجاد آسایش کاربران مؤثر خواهد بود، به صوتی که برای ایجاد معماری مطلوب لازم است طراحی ساختمان در مراحل اولیه با رعایت اصول و روش های طراحی حوضچه های سقفی صورت گرفته و سامانه مورد نیاز همزمان با طراحی عناصر و جزییات طرح معماری پیش برده شود.

منابع

۱. اشرفی، ع.(۱۳۹۶)، مطالعه ی تجربی دیواره های پیش ساخته به منظور کاهش اتلافات گرمایی آنها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی محقق اربیلی، اردبیل.
۲. پوردیهمی، ش. (۱۳۷۸)، ساخت و ساز همساز با اقلیم، نشریه صفه، شماره ۲۸، ص ۶۲-۷۱.
۳. حاج سقطی ا. (۱۳۸۰). اصول و کاربرد انرژی خورشیدی ، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.
۴. حیدری نژاد، ق. (۱۳۸۸)، آسایش حرارتی، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
۵. قیابکلو، ز.(۱۳۹۳). مبانی فیزیک ساختمان ۴ سرمایش غیر فعال ، تهران: انتشارات جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیر کبیر.

www.SID.ir

۶. معماریان غ. (۱۳۹۳)، سیری در مبانی نظری معماری، تهران: انتشارات سروش دانش.
۷. مهدوی نژاد م. (۱۳۹۲)، الگو انرژی دوستی در ساختمان براساس رفتار حرارتی بام، نشریه نقش جهان، سال سوم، شماره۲، ص۴۲- ۳۵ .
8. Ahmed, I. (1976). The roof pool and its influence on the internal thermal environment, Ph.D. thesis, University of Queensland Australia. Australia.
9. Almodovar, M. , La Roche, P.(2019). Roof ponds combined with a water-to-air heat exchanger as a passive cooling system: Experimental comparison of two system variants, Journal of Renewable Energy141, .pp.143-148.
10. Alrowaished, A. (2013).The development and application of solar pond, Journal of Desalination and Water Treatment 53, .pp.2437-2449.
11. Amer, E.H. (2006) Passive options for solar cooling of buildings in arid areas, Journal of Energy 31.pp.1332–1344.
12. Bainbridge, D.A. , Haggard, K.L. (2011). Passive solar architecture: heating, cooling, ventilation, daylighting, and more using natural flows,Vermont: Chelsea Green Press.
13. Bencheikh, H. , Bouchair, A. (2004). Passive cooling by evapo-reflective roof for hot dry climates, Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviw 29. pp.1877–86.
14. Bravo, G. , Gonzalez, E. (2013). Thermal comfort in naturally ventilated spaces and under indirect evaporative passive cooling conditions in hot-humid climate, Journal of Energy Build 63. pp.79–86.
15. Chan, H. Y. , Riffat, S.B. , Zhu, J. (1994).Review of passive solar heating and cooling technologies, Journal of Renewable. Sustainable 14 .pp. 781-789.
16. Cheikh, H.B. , Bouchair, A. (2004). Passive cooling by evapo-reflective roof for hot dry climates, Journal of Renewable Energy 29.pp. 1877–1886
17. Cruze, E.G., Kruger, E. (2015). Evaluating the potential of an indirect evaporative passive cooling system for Brazilian Dwellings, Journal of Build Environment 87.pp. 265–273.
18. Dabaieh, M. , Wanas, O. , Hegazy M.A. , Johansson, E. (2015). Reducing cooling demands in a hot dry climate: a simulation study for non-insulated passive cool roof thermal performance in residential buildings, Journal of Energy Build 89.pp.142–52.
19. Emmanuel, R. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. Journal of Building and Environment40.pp.1591-1601.
20. Fernandes, L.C., Krüger, E. (2017). Thermal Performance of a Roof-Pond System Under Subtropical Conditions, In Proceedings of 32nd International Conference on Passive Low Energy Architecture Conference . 3-5 July, Edinburgh, U.K.; pp.1009-1015.
21. Fernández, G.A. (2007). Analysis of the thermal performance and comfort conditions produced by five different passive solar heating strategies in the United States Midwest, Journal of Energy 81. pp.581–593.
22. Givoni, B. (1994). Passive and low energy cooling of buildings, New York: Van Nostrand Reinhold press.
23. Givoni, B. (2011) . Indoor temperature reduction by passive cooling systems, Journal of Energy 85.pp.1692–1726.
24. Gupta, N., Tiwari G.N. (2016). Review of passive heating/cooling systems of buildings, Journal of Energy Science and Engineering4(5).pp. 305–333.
25. Gutierrez, E.V. , Amador, A.G. , Sanchez, J.O.(2016). Comparative Thermal Performance of Three upper deck devices as Passive Solar Control Strategy in a hot Subhumid Climate, In Proceedings of 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, July 11-13, California, U.S.A. ; pp.151-158.
26. Hay, H.R. , Yellott, J.I. (1969). ASHRAE 75, Part 1, 165.
27. Kasaeian, A. , Sameti, M. , Eshghi, AT. (2014). Simplified method for night sky radiation analysis in a cool-pool system, Journal of Sustainable Energy2.pp.29–34.
28. Kharrufa, S.N. , Adil, Y. (2012). Upgrading the building envelope to reduce cooling loads, Journal of Energy Build 55.pp.389–96.
29. Krüger, E. , Cruz, E.G. , Givoni, B. (2010), Effectiveness of indirect evaporative cooling and thermal mass in a hot arid climate, Journal of Building and Environment45.pp.1422-1433.
30. La Roche, P. (2012). Carbon-neutral architectural design, Florida: CRC Press.

www.SID.ir

31. Lechner, N. (2009). Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects, 4th Edition, New York: Wiley Press.
32. Moore, F. (2003). Environmental ControlSystem,Tabriz:TabrizIslamic ArtUniversity.
33. Ono, M.A (2002). Passive Cooling System with Evaporation of Water above the Ceiling, Journal of Fujita Technical Research Report 38.pp.131–137.
34. Pearce, D.W. , Warford, J.J. (1993).Word Without end: economics, environment, and sustainable development, New York:Oxford University Press.
35. Ponni, M.M. , Baskar, R. (2007). Comparative study of different types of roof and indoor temperatures in tropical climate, In Proceedings of 2nd International Conference on Palenc Conference and 28th Aivc Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, Crete, Greece, 27–29 September; pp. 530–536.
36. Raeissi, S. , Taheri, M. (2000). Skytherm: an approach to year-round thermal energy sufficient houses, Journal of Renewable Energy 19.pp.527–43.
37. Ricon, J. , Almao, N., Gonza, E. (2001). Experimental and numerical evaluation of a solar passive cooling system under hot and humid climatic conditions, Journal of Solar Energy 71.pp.71–80.
38. Runsheng, T. , Etzion, Y. , Erell, E. (2003). Experimental studies on a novel roof pond configuration for the cooling of buildings, Journal of Renewable Energy 28.pp.1513–1522.
39. Santamouris, M. ,Nicol, F. , Roaf, S. Akbari, H. (2007). Advances in passive cooling, London: Earthscan Press Earthscan.
40. Sodha, M. S. , Govind B. , Bansal, P.K. , Kaushik, S.C. (1980). Reduction of heat flux by a flowing water layer over an insulated roof, Journal of Building Environment 15(2). pp.133-140.
41. Spanaki, A. (2007). Comparative studies on different type of roof ponds for cooling purposes, literature review, In Proceedings of 2nd International Conference on Palenc Conference and 28th Aivc Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, 27–29 September, Crete island, Greece; pp.1009-1015.
42. Spanaki, A. , Kolokotsa, D. , Tsoutsos, T. , Zacharopoulos, I. (2014). Assessing the passive cooling effect of the ventilated pond protected with a reflecting layer, Journal of Appl Energy123. pp.273–280.
43. Spanaki, A. , Kolokotsa, D. , Tsoutsos, T. , Zacharopoulos, I. (2012). Theoretical and experimental analysis of a novel low emissivity water pond in summer, Journal of Energy 86. pp. 3331–3344.
44. Spanaki, A., Tsoutsos, T. , Kolokotsa, D. (2011). On the selection and design of the proper roof pond variant for passive cooling purposes. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviw 15. pp.3523–3533.
45. Tang, R. , Etzion, Y. (2005). Cooling performance of roof ponds with gunny bags floating on water surface as compared with a movable insulation, Journal of Renewable Energy30. pp. 1373–1385.
46. Tang, R. , Etzion, Y. (2005). Cooling performance of roof ponds with gunny bags floating on water surface as compared with a movable insulation, Journal of Renewable Energy 30 .pp.1373–1385.
47. Tang, R., Etzion, Y. (2004). On thermal performance of an improved roof pond for cooling buildings, Journal of Building and Environment 39. pp.201 – 209.
48. Tepox, E.V. , Gonzalez, E.M. , Elizondo, M. (2013). Roof pond as a passive cooling system of buildings: types and classification in hot climate, Journal of Palapa 1.pp.97–110.
49. Vorster, J., Dobson, R. (2011). Sustainable cooling alternatives for buildings, Journal of Energy Southern Africa 22. pp.48–66.
50. Yadav, R., Rao, D. (1983). Ditigal simulation of indoor temperatures of buildings with roof ponds, Journal of Energy 31. pp.205–215 .
51. Yang, W.S. , Wang, Z.Y. , Zhao, X.D.(2015). Experimental investigation of the thermal isolation and evaporative cooling effects of an exposed shallow-water-reserved roof under the sub-tropical climatic condition, Journal of Sustain Cities14. pp. 293–304.
52. Yannas, S. , Erell, E. , Molina, J.L. (2006). Roof cooling techniques: a design handbook, London:Earthscan Press.
53. WWW. britannica.com [Accessed March 2020]

www.SID.ir

www.SID.ir