



سامانه‌های غیرفعالِ خورشیدی

تألیف: ریما فیاض

عضو هیئت علمی دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر

سرشناسه	فیاض، ریما، ۱۳۳۴
عنوان و نام پدیدآور	سامانه‌های غیرفعال خورشیدی / تألیف ریما فیاض.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه هنر، ۱۴۰۰
مشخصات ظاهری	۱۹۴ص.: مصور(بخشی رنگی)، جدول.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۵۱۳-۴۲-۳
وضعیت فهرست نویسی	فیفا
یادداشت	کتابنامه: ص. ۱۷۳-۱۸۰.
موضوع	انرژی خورشیدی - سیستم‌های غیرفعال
موضوع	Solar energy - Passive systems
موضوع	ساختمان‌سازی - صنعت و تجارت - صرفه‌جویی در انرژی
موضوع	Construction industry - Energy conservation
موضوع	معماری و صرفه‌جویی در انرژی
موضوع	Architecture and energy conservation
شناسه افزوده	دانشگاه هنر
رده‌بندی کنگره	TH۷۴۱۳
رده‌بندی دیویی	۶۹۷/۷۸
شماره کتابشناسی ملی	۷۴۱۳۱۴۳
وضعیت رکورد	فیفا
نام کتاب	سامانه‌های غیرفعال خورشیدی
تألیف	ریما فیاض / عضو هیئت علمی دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر
یونیفرم جلد و صفحات	علی عبدی
صفحه‌آرایی	رامین حکیمی آرا
چاپ اول	۱۴۰۰
بها	۸۵۰۰۰ ریال
شمارگان	۲۵۰ نسخه
قطع	وزیری
شابک	ISBN: 978-600-6513-42-3 ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۱۳-۴۲-۳



ناشر

تهران، خیابان حافظ، خیابان شهید سرهنگ سخایی،
بعد از تقاطع ۳۰ تیر، شماره ۵۶

تلفن: ۵۶۸۲ ۷۲ ۶۶ (۰۲۱)

*** کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

*** مسئولیت مطالب به عهده نویسنده است و لزوماً دیدگاه‌های دانشگاه هنر را منعکس نمی‌کند.

فهرست مطالب

فصل اول: تعاریف

۱- تعاریف	۳
۱-۱- ثابت خورشیدی	۳
۲-۱- توده جو	۳
۳-۱- آلبيدو	۴
۴-۱- محاسبه انتقال حرارت	۴
۵-۱- تبادل گرما	۶
۶-۱- شار گرما	۶
۷-۱- ضریب انتقال حرارت تابشی	۶
۸-۱- ضریب دشارژ (C_h)	۷
۹-۱- ضریب سایه (SC)	۷
۱۰-۱- ضریب بهره گرمای خورشیدی (SHGC)	۸
۱۱-۱- عدد پراوتل	۹
۱۲-۱- عدد رایلی	۹
۱۳-۱- عدد رینولدز	۱۰

فصل دوم: نمادها

۲- نمادها	۱۵
انديس‌ها	۱۷

فصل سوم: تابش خورشید

۳- تابش خورشید	۲۱
مثال ۱-۳	۲۳
مثال ۲-۳	۲۴

فصل چهارم: سامانه‌های غیرفعال

۴- سامانه‌های غیرفعال	۲۹
۱-۴- سامانه‌های مستقیم	۲۹

۲۹	--- ۲-۴ - سامانه‌های غیرمستقیم
	فصل پنجم: پنجره آفتابی
۳۳	--- ۵- پنجره آفتابی
۳۳	--- ۱-۵ - محاسبات انتقال حرارت در پنجره
۴۰	--- ۲-۵ - ویژگی‌های پنجره آفتابی
۴۳	--- مثال ۱-۵
	فصل ششم: دیوار خازن گرما
۴۷	--- ۶- دیوار خازن گرما
۴۷	--- ۱-۶ - هدایت گرما در دیوار خازن گرما
۶۱	--- ۲-۶ - دریافت انرژی در دیوار خازن گرما
۶۴	--- ۳-۶ - ویژگی‌های دیوار خازن گرما
۶۶	--- مثال ۱-۶
۶۷	--- مثال ۲-۶
	فصل هفتم: دیوار ترومب
۷۳	--- ۷- دیوار ترومب
۷۵	--- ۱-۷ - دریافت انرژی در دیوار ترومب
۷۹	--- ۲-۷ - ویژگی‌های دیوار ترومب
۸۲	--- مثال ۱-۷
	فصل هشتم: گلخانه خورشیدی
۸۹	--- ۸- گلخانه خورشیدی
۹۰	--- ۱-۸ - دریافت انرژی در گلخانه
۹۴	--- ۲-۸ - ویژگی‌های گلخانه
۹۶	--- مثال ۱-۸
	فصل نهم: دودکش خورشیدی
۱۰۱	--- ۱-۹ - دودکش خورشیدی
۱۰۳	--- ۱-۹ - دریافت انرژی در دودکش خورشیدی
۱۰۷	--- ۲-۹ - ویژگی‌های دودکش خورشیدی
۱۱۰	--- مثال ۱-۹
	فصل دهم: پنجره تهویه شونده
۱۱۵	--- ۱۰- پنجره تهویه شونده
۱۱۶	--- ۱-۱۰ - دریافت انرژی در پنجره دمنده هوا
۱۱۹	--- ۲-۱۰ - ویژگی‌های پنجره تهویه شونده

--- مثال ۱۰-۱	۱۲۳
فصل یازدهم: بام حوضچه‌ای	
--- ۱۱- بام‌های حوضچه‌ای	۱۲۷
--- ۱-۱۱- انواع بام‌های حوضچه‌ای	۱۲۷
--- ۲-۱۱- دریافت انرژی در بام حوضچه‌ای	۱۳۶
--- ۳-۱۱- ویژگی‌های بام حوضچه‌ای	۱۴۰
فصل دوازدهم: سامانه باران-کاستانتینی	
--- ۱۲- سامانه باران-کاستانتینی	۱۴۵
--- ۱-۱۲- دریافت انرژی در سامانه باران-کاستانتینی	۱۴۶
--- ۲-۱۲- ویژگی‌های سامانه باران-کاستانتینی	۱۴۹
فصل سیزدهم: نمای دوپسته	
--- ۱۳- نمای دوپسته	۱۵۳
--- ۱-۱۳- انواع نمای دوپسته	۱۵۴
--- ۲-۱۳- دریافت انرژی در نمای دوپسته	۱۵۶
--- ۳-۱۳- ویژگی‌های نمای دوپسته	۱۵۸
--- مثال ۱۳-۱	۱۶۰
فصل چهاردهم: ناقوس سیلوسترینی	
--- ۱۴- ناقوس سیلوسترینی	۱۶۵
--- ۱-۱۴- دریافت انرژی در ناقوس سیلوسترینی	۱۶۶
--- مثال ۱۴-۱	۱۷۰
فهرست منابع	۱۷۳

فهرست شکل‌ها و جدول‌ها

--- شکل ت-۱- مقادیر توده جو	۴
--- شکل ت-۲- انتقال حرارت تک بعدی (راست)، دوبعدی (وسط) و چندبعدی (چپ)	۶
--- شکل ۱-۳- زاویه برخورد تابش خورشید بر یک صفحه شیب‌دار	۲۱
--- شکل ۱-۵- محدوده لبه شیشه دارای انتقال حرارت دوبعدی	۳۵
--- شکل ۲-۵- تعادل گرمایی در یک لحظه برای شیشه‌ای در معرض تابش خورشید	۳۵
--- شکل ۱-۶- شیب دما در شرایط پایدار در یک دیوار	۴۸
--- شکل ۲-۶- تغییر شیب دما در یک دیوار، ناشی از تغییر دمای یک سطح	۴۹
--- شکل ۳-۶- شار گرمایی در یک دیوار که روی یک سطح آن افزایش دما به صورت شیب تدریجی اتفاق می‌افتد	۵۱
--- شکل ۴-۶- دمای سطح و شار گرمایی یک دیوار	۵۲
--- شکل ۵-۶- تغییرات دما روی سطح دیوار	۵۳
--- شکل ۶-۶- مقایسه شار گرمایی واقعی و شار گرمایی محاسبه شده با معادلات شرایط پایدار	۵۳
--- شکل ۷-۶- انرژی ذخیره شده در دیوارهای با مصالح مختلف به ازای یک درجه کلون تغییر در دمای سطح- تغییرات دمای سینوسی در دوره یک ساعته	۵۵
--- شکل ۸-۶- انرژی ذخیره شده در دیوارهای با مصالح مختلف به ازای یک درجه کلون تغییر در دمای سطح- تغییرات دمای سینوسی در یک دوره ۲۴ ساعته	۵۶
--- شکل ۹-۶- افزایش دمای هوا و جرم هنگامی که جرم از طریق همرفت گرم می‌شود	۵۸
--- شکل ۱۰-۶- افزایش دمای هوا و جرم ناشی از تابش بر جرم	۶۰
--- شکل ۱۱-۶- جریان انرژی در دیوار خازن گرما	۶۲
--- شکل ۱۲-۶- دیوار خازن گرما حاوی آب	۶۵
--- شکل ۱۳-۶- عبور تابش خورشید از عایق حرارتی شفاف	۶۶
--- شکل ۱۴-۶- عایق حرارتی شفاف در مقابل دیوار خازن گرما	۶۶
--- شکل ۱-۷- دیوار پیشنهادی مورس	۷۳
--- شکل ۲-۷- اجزای تشکیل دهنده دیوار ترومب	۷۴
--- شکل ۳-۷- دیوار ترومب	۷۵
--- شکل ۴-۷- نسبت Δ مربوط به اختلاف دمای تجمع شده داخل و خارج، زمانی که تهویه برقرار است به مقدار در کل مرحله محاسبه، به عنوان تابعی از نسبت	۷۸

دریافت/ بار مربوط به لایه هوا، Δ_{ai}	
شکل ۷-۵- نسبت Ω مربوط به کل تابش خورشیدی بر روی عنصر زمانی که هنگام محاسبه تمام لایه هوا در معرض تابش خورشید قرار دارد به عنوان تابعی از نسبت تعادل گرمایی لایه هوا، γ_{ai}	۷۹
شکل ۷-۶- سرمایه‌ش فضا با استفاده از دیوار ترومب	۸۱
شکل ۷-۷- استفاده از دیوار ترومب برای گرمایش و سرمایه‌ش تبخیری	۸۲
شکل ۸-۱- دریافت مستقیم (راست)، دریافت غیر مستقیم (چپ)	۸۹
شکل ۸-۲- انواع گلخانه	۹۰
شکل ۸-۳- تبادل حرارت در گلخانه و عوامل مؤثر بر انتقال حرارت در آن	۹۱
شکل ۸-۴- ابعاد گلخانه	۹۷
شکل ۹-۱- دودکش خورشیدی در مانتانارس اسپانیا، بالا دودکش ساخته شده، پایین مقطع شماتیک از دودکش	۱۰۲
شکل ۹-۲- تبادل حرارت در دودکش خورشیدی	۱۰۳
شکل ۹-۳- سه کارکرد دودکش خورشیدی	۱۰۹
شکل ۹-۴- دودکش خورشیدی در یک ساختمان چند طبقه	۱۱۰
شکل ۹-۵- دودکش خورشیدی	۱۱۰
شکل ۱۰-۱- پنجره دمنده هوا برای کمک به گرمایش فضای داخل، بالا: برش شماتیک، پایین: برش پنجره واقعی مطابق یک نمونه ساخته شده در سوئد	۱۱۷
شکل ۱۰-۲- بالا: پنجره دمنده هوا، پایین راست: بخش پایینی پنجره، پایین چپ: بخش بالایی پنجره	۱۲۰
شکل ۱۰-۳- انواع پنجره‌های تهویه شونده	۱۲۱
شکل ۱۱-۱- بام حوضچه‌ای باز: سمت راست با پاشش آب، سمت چپ بدون پاشش آب	۱۲۹
شکل ۱۱-۲- بام حوضچه‌ای با عایق متحرک	۱۲۹
شکل ۱۱-۳- بام اسکای ترم	۱۳۰
شکل ۱۱-۴- بام سرد	۱۳۱
شکل ۱۱-۵- بام حوضچه‌ای با عایق حرارتی درون آن	۱۳۱
شکل ۱۱-۶- بام حوضچه‌ای دارای گردش آب شبانه	۱۳۲
شکل ۱۱-۷- بام حوضچه‌ای با گونی خیس	۱۳۳
شکل ۱۱-۸- بام حوضچه‌ای سایه‌دار	۱۳۳
شکل ۱۱-۹- بام حوضچه سرد	۱۳۴
شکل ۱۱-۱۰- بام حوضچه‌ای تهویه شونده	۱۳۵
شکل ۱۱-۱۱- بام حوضچه‌ای بسته	۱۳۵
شکل ۱۱-۱۲- تبادل حرارت در بام حوضچه‌ای از نوع RPWGB	۱۳۶
شکل ۱۲-۱- سامانه بار-کاستانتینی در نمای جنوبی ساختمان (راست)، برش ساختمان (چپ)	۱۴۶
شکل ۱۲-۲- تبادل حرارت در سامانه بار-کاستانتینی	۱۴۷
شکل ۱۳-۱- نمای کارخانه اشتایف	۱۵۳

۱۵۴	--- شکل ۱۳-۲- انواع دسته‌بندی نمای دوپوسته براساس هندسه نما
۱۵۵	--- شکل ۱۳-۳- انواع دسته‌بندی نمای دوپوسته براساس نوع تهویه
۱۵۵	--- شکل ۱۳-۴- انواع دسته‌بندی نمای دوپوسته براساس شکل جریان هوا
۱۵۵	--- شکل ۱۳-۵- انواع دسته‌بندی نمای دوپوسته براساس عرض لایه هوا
۱۵۶	--- شکل ۱۳-۶- انواع ترکیب لایه هوا، تهویه و هندسه نمای دوپوسته
۱۶۶	--- شکل ۱۴-۱- مقطع ساختمان با ناقوس سیلوسترینی روی بام
۱۶۶	--- شکل ۱۴-۲- ناقوس سیلوسترینی زمستان (راست) و تابستان (چپ)
۱۶۷	--- شکل ۱۴-۳- بالا، راست: ۱ بخش شفاف ناقوس و ۲ بازشو در بخش کدر؛ بالا، چپ: ۱ بخش افقی بازشو، ۳ بخش مایل بازشو، ۲ وتر؛ پایین: اجزای ناقوس برای محاسبه انرژی دریافتی از آن

جدول‌ها

۴۱	--- جدول ۵-۱- درصد سطح پنجره بهینه نسبت به مساحت کف اتاق در ۴ اقلیم ایران
۵۷	--- جدول ۶-۱- ضخامت دیوار برای کسب بیشینه انرژی ذخیره شده، هنگامی که سطح دیوار در معرض تغییرات دمای سینوسی دارای دوره‌های ۲۴ ساعته و ۱ ساعته باشد

مقدمه

در زمینه کاربرد انرژی خورشید مطالعات بسیاری صورت گرفته و چندین کتاب نوشته شده است. کتاب سامانه‌های غیرفعال خورشیدی به این منظور تألیف شده است که بخشی از دانش مورد نیاز برای محاسبات خورشیدی را در اختیار دانشجویان دوره تحصیلات تکمیلی، به‌ویژه دانشجویان کارشناسی ارشد رشته معماری و انرژی و دانشجویان دکتری علاقه‌مند به مسائل انرژی قرار دهد. با توجه به این که سامانه‌های غیرفعال خورشیدی به سادگی با معماری ساختمان تلفیق می‌شوند، کتاب حاضر می‌تواند برای مهندسين معمار که خواستار درک بهتری از عملکرد سامانه‌های غیرفعال و استفاده از این سامانه‌ها در طراحی خود هستند مفید واقع شود. هدف اصلی کتاب ارائه محاسبات ساده برای سامانه‌های خورشیدی غیرفعال است. با استفاده از مطالب کتاب، افراد علاقه‌مند به استفاده از انرژی خورشیدی غیرفعال در ساختمان‌ها، ضمن آشنایی با انواع سامانه‌های غیرفعال مرسوم، قادر خواهند بود با استفاده از محاسبات ارائه شده در کتاب، تخمینی از آنچه بعداً از طریق شبیه‌سازی به‌دست خواهند آورد، داشته باشند. ضمن این که می‌توانند پی‌بیرند کدام عامل در افزایش کارایی سامانه مورد نظر تأثیر بیشتری دارد و چگونه می‌توان با افزایش یک عامل مؤثر، کارایی سامانه را ارتقا بخشید.

مطالعات و پژوهش‌ها درباره بسیاری از این سامانه‌ها مانند دیوار ترومب، گلخانه، دودکش خورشیدی و ... چنان زیاد است که به هر کدام از عناوین آنها می‌توان یک کتاب کامل اختصاص داد. در اینجا سعی شده است تا مطالب به اختصار آورده شود و دستورالعمل‌های کلی و داده‌های اصلی در اختیار خواننده قرار گیرد. برای محاسبات سرانگشتی هر یک از سامانه‌ها منابع بسیاری وجود دارند که خواننده می‌تواند به آنها مراجعه کند. در اینجا سعی شده تا بین محاسبات سرانگشتی و محاسبات پیچیده که در شرایط ناپایدار انجام می‌شود، محاسبات در شرایط پایدار ارائه شود. بدیهی است که نتایج این محاسبات نمی‌تواند آنچه را که در واقعیت اتفاق می‌افتد بیان کند، اما درکی از رفتار حرارتی سامانه مورد نظر را فراهم خواهد آورد.

در این کتاب علاوه بر نتایج پژوهش‌های خارجی برخی نتایج پژوهش‌های مفید داخلی نیز که می‌تواند در طراحی مورد استفاده قرار گیرد اضافه شده‌اند. پژوهش‌های داخلی نشان می‌دهد که در زمینه برخی سامانه‌های غیرفعال خورشیدی چه اقداماتی انجام شده و دستاوردها چه بوده‌اند. امید است در سال‌های آتی و در بازنگری‌های بعدی کتاب بتوان اطلاعات مفیدی را بر بخش مربوط به مطالعات انجام یافته در ایران افزود.

مؤلف بر خود لازم می‌داند از همه کسانی که در تهیه این کتاب نقش داشتند سپاسگزاری نماید،
به ویژه از سرکار خانم مهندس مهرآفرین نعمتی که با حوصله بسیار، زحمت ترسیم بخش عمده
تصاویر کتاب را بر عهده داشتند.

ریما فیاض

عضو هیئت علمی دانشگاه هنر

بهار ۱۴۰۰