INSO
7129
1st. Edition
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۷۱۲۹
چاپ اول
۱۳۹۵

# انرژی خورشیدی – کلکتورهای حرارتی خورشیدی – روش‌های آزمون

# Solar energy —Solar thermal collectors — Test methods

ICS: 27.160

shaghool.ir

**سازمان ملی استاندارد ایران**

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج ، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

**Iranian National Standardization Organization (INSO)**

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri .gov.ir



shaghool.ir

## به نام خدا

## آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به‌موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن‌ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به‌موجب یک‌صد و پنجاه و دومین نشست شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به‌عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین‌شده تهیه می‌کنند در کمیتهٔ ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به‌عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته‌شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک(IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به‌عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی‌شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به‌منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی نظام‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تائید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تائید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گران‌بها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

---

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission



shaghool.ir

## کمیسیون فنی تدوین استاندارد

## «انرژی خورشیدی – کلکتورهای حرارتی خورشیدی – روش‌های آزمون»

| رئیس: | سمت و/یا محل اشتغال |
|---|---|
| جعفرکاظمی، فرزاد<br>(دکتری مهندسی مکانیک) | عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب |
| **دبیر:** | |
| محتسبی، سیدسعید<br>(دکتری مهندسی مکانیک) | عضو هیات علمی دانشگاه تهران |
| **اعضا:** (اسامی به ترتیب حروف الفبا) | |
| بنائی، امیرحسین<br>(کارشناسی ارشد سرامیک) | مدیرعامل شرکت هماون |
| پاسدارشهری، هادی<br>(دکتری مهندسی مکانیک) | عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس |
| توکل مقدم، محمد<br>(کارشناسی مهندسی مکانیک) | کارشناس شرکت ابزار کنترل ارشیا |
| توکلی گلپایگانی، علی<br>(دکتری مهندسی پزشکی) | عضو هیات علمی سازمان ملی استاندارد ایران-پژوهشگاه استاندارد |
| جعفرزاده، مسعود<br>(کارشناسی ارشد MBA) | مشاور طراحی و توسعه شرکت سایان |
| حسن‌بگی، شیرزاد<br>(کارشناسی ارشد مهندسی انرژی) | سازمان ملی استاندارد ایران-پژوهشگاه استاندارد |
| خانکی، منصور<br>(دکتری مهندسی مکانیک) | عضو هیات علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) |
| سلیمانیان بروجنی، صدیقلی<br>(کارشناسی مهندسی مکانیک) | کارشناس شرکت هماون |
| ضرغامی، سید مرتضی<br>(کارشناسی مهندسی مکانیک) | کارشناس شرکت مپنا |
| عبدالملکی، حمید<br>(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم) | کارشناس دانشگاه تهران |



shaghool.ir

ورشاویان، وحید
(دکتری هواشناسی کشاورزی)
مدیرعامل شرکت باران سازه کشت

هلالی، جلیل
(کارشناسی ارشد هواشناسی)
عضو هیات مدیره شرکت زمین سولار سیستم

**ویراستار:**

حبیبی، شهلا
(دکتری فیزیک دریا)
عضو هیات علمی سازمان ملی استاندارد ایران-پژوهشگاه استاندارد



shaghool.ir

## فهرست مندرجات


| عنوان | | صفحه |
|---|---|---|
| پیش‌گفتار | | هـ |
| مقدمه | | و |
| **۱** | هدف و دامنه کاربرد | ۱ |
| **۲** | مراجع الزامی | ۱ |
| **۳** | اصطلاحات و تعاریف | ۲ |
| **۴** | نمادها و واژگان اختصاری | ۵ |
| **۵** | کلیات | ۱۰ |
| ۱-۵ | مرور کلی آزمون - مراحل آزمون‌ها | ۱۰ |
| ۲-۵ | جنبه‌های خاص کلکتورهای استفاده‌کننده از منابع توان بیرونی و تمهیدات فعال و غیرفعال برای عملکرد عادی و خودمحافظتی | ۱۱ |
| **۶** | آزمون‌های فشار درونی برای کانال‌های سیال | ۱۲ |
| ۱-۶ | کانال‌های سیال غیر آلی | ۱۲ |
| ۲-۶ | کانال‌های سیال ساخته‌شده از مواد آلی (پلاستیک‌ها یا الاستومرها) | ۱۲ |
| ۳-۶ | دستگاه و روش اجرا | ۱۲ |
| ۴-۶ | نتایج | ۱۴ |
| **۷** | آزمون نشتی (مختص کلکتورهای گرمایشی هوا مداربسته) | ۱۴ |
| ۱-۷ | هدف | ۱۴ |
| ۲-۷ | دستگاه و روش اجرا | ۱۴ |
| ۳-۷ | شرایط آزمون | ۱۴ |
| ۴-۷ | نتایج | ۱۵ |
| **۸** | آزمون شکستگی و تخریب (مختص کلکتورهای گرمایشی هوا) | ۱۵ |
| ۱-۸ | هدف | ۱۵ |
| ۲-۸ | دستگاه و روش اجرا | ۱۵ |
| ۳-۸ | شرایط آزمون | ۱۶ |
| ۴-۸ | نتایج و گزارش‌دهی | ۱۷ |
| **۹** | آزمون مقاومت در برابر دمای بالا | ۱۷ |
| ۱-۹ | هدف | ۱۷ |
| ۲-۹ | دستگاه و روش اجرا | ۱۷ |
| ۳-۹ | شرایط آزمون | ۱۸ |
| ۴-۹ | نتایج | ۱۹ |
| **۱۰** | دمای سکون استاندارد کلکتورهای گرمایشی مایع | ۱۹ |




shaghool.ir

| | | |
|---|---|---|
| ۱-۱۰ | کلیات | ۱۹ |
| ۲-۱۰ | اندازه‌گیری و برون‌یابی دمای سکون استاندارد | ۲۰ |
| ۳-۱۰ | تعیین دمای سکون استاندارد با استفاده از پارامترهای بازده | ۲۰ |
| **۱۱** | آزمون نوردهی | ۲۱ |
| ۱-۱۱ | هدف | ۲۱ |
| ۲-۱۱ | دستگاه و روش اجرا | ۲۱ |
| ۳-۱۱ | شرایط آزمون | ۲۲ |
| ۴-۱۱ | نتایج | ۲۳ |
| **۱۲** | آزمون شوک حرارتی خارجی | ۲۳ |
| ۱-۱۲ | هدف | ۲۳ |
| ۲-۱۲ | دستگاه و روش اجرا | ۲۳ |
| ۳-۱۲ | شرایط آزمون | ۲۴ |
| ۴-۱۲ | نتایج | ۲۴ |
| **۱۳** | آزمون شوک حرارتی داخلی | ۲۴ |
| ۱-۱۳ | هدف | ۲۴ |
| ۲-۱۳ | دستگاه و روش اجرا | ۲۴ |
| ۳-۱۳ | شرایط آزمون | ۲۵ |
| ۴-۱۳ | نتایج | ۲۵ |
| **۱۴** | آزمون نفوذ باران | ۲۵ |
| ۱-۱۴ | هدف | ۲۵ |
| ۲-۱۴ | دستگاه و روش اجرا | ۲۵ |
| ۳-۱۴ | شرایط آزمون | ۲۶ |
| ۴-۱۴ | نتایج | ۲۸ |
| **۱۵** | آزمون مقاومت در برابر یخزدگی | ۲۸ |
| ۱-۱۵ | هدف | ۲۸ |
| ۲-۱۵ | دستگاه و روش اجرا | ۲۹ |
| ۳-۱۵ | شرایط آزمون | ۲۹ |
| ۴-۱۵ | نتایج | ۲۹ |
| **۱۶** | آزمون بار مکانیکی با فشار مثبت یا منفی | ۳۰ |
| ۱-۱۶ | هدف | ۳۰ |
| ۲-۱۶ | دستگاه و روش اجرا | ۳۰ |
| ۳-۱۶ | شرایط آزمون | ۳۱ |
| ۴-۱۶ | نتایج | ۳۲ |




shaghool.ir

| | | |
|---|---|---|
| **۱۷** | آزمون مقاومت در برابر ضربه | ۳۲ |
| ۱-۱۷ | هدف | ۳۲ |
| ۲-۱۷ | روش آزمون | ۳۲ |
| ۳-۱۷ | مکان ضربه | ۳۲ |
| ۴-۱۷ | روش ۱: با استفاده از گلوله یخی | ۳۳ |
| ۵-۱۷ | روش ۲: با استفاده از گلوله‌های فولادی | ۳۴ |
| ۶-۱۷ | نتایج | ۳۵ |
| **۱۸** | بازبینی نهایی (مربوط به بندهای ۵ و ۱۷) | ۳۵ |
| **۱۹** | گزارش آزمون (مربوط به بندهای ۵ و ۱۸) | ۳۵ |
| **۲۰** | آزمون عملکرد کلکتورهای گرمایشی سیال | ۳۶ |
| ۱-۲۰ | کلیات | ۳۶ |
| ۲-۲۰ | آزمون بازده حالت پایا با استفاده از شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی | ۳۶ |
| **۲۱** | نصب و تعیین مکان کلکتور | ۳۸ |
| ۱-۲۱ | کلیات | ۳۸ |
| ۲-۲۱ | چهارچوب کلکتور | ۳۸ |
| ۳-۲۱ | زاویه شیب | ۳۹ |
| ۴-۲۱ | راستای کلکتور در فضای باز | ۴۰ |
| ۵-۲۱ | سایه‌اندازی ناشی از شدت تابش مستقیم خورشید | ۴۰ |
| ۶-۲۱ | شدت تابش انعکاسی و پراکنده خورشید | ۴۰ |
| ۷-۲۱ | شدت تابش گرمایی | ۴۰ |
| ۸-۲۱ | سرعت هوای محیط | ۴۱ |
| **۲۲** | ابزار اندازه‌گیری | ۴۱ |
| ۱-۲۲ | اندازه‌گیری تابش خورشیدی | ۴۲ |
| ۲-۲۲ | اندازه‌گیری تابش حرارتی | ۴۵ |
| ۳-۲۲ | اندازه‌گیری دما | ۴۷ |
| ۴-۲۲ | اندازه‌گیری نرخ جریان | ۴۹ |
| ۵-۲۲ | اندازه‌گیری سرعت هوای محیط | ۵۰ |
| ۶-۲۲ | اندازه‌گیری زمان صرف شده | ۵۲ |
| ۷-۲۲ | اندازه‌گیری فشار | ۵۲ |
| ۸-۲۲ | اندازه‌گیری رطوبت | ۵۳ |
| ۹-۲۲ | سطح ناخالص کلکتور | ۵۳ |
| ۱۰-۲۲ | ظرفیت سیال کلکتور | ۵۳ |




shaghool.ir

| | | |
|---|---|---|
| **۲۳** | تأسیسات آزمون | ۵۳ |
| ۱-۲۳ | کلکتورهای گرمایشی مایع | ۵۳ |
| ۲-۲۳ | کلکتورهای گرمایشی هوا | ۵۷ |
| **۲۴** | روش‌های انجام آزمون عملکرد | ۶۰ |
| ۱-۲۴ | کلیات | ۶۰ |
| ۲-۲۴ | نصب آزمون | ۶۰ |
| ۳-۲۴ | آماده‌سازی کلکتور | ۶۰ |
| ۴-۲۴ | شرایط آزمون | ۶۱ |
| ۵-۲۴ | روش آزمون | ۶۳ |
| ۶-۲۴ | اندازه‌گیری‌ها | ۶۶ |
| ۷-۲۴ | دوره آزمون | ۶۸ |
| ۸-۲۴ | ارائه نتایج | ۷۳ |
| **۲۵** | محاسبه پارامترهای کلکتور | ۷۴ |
| ۱-۲۵ | کلکتورهای گرمایشی مایع | ۷۴ |
| ۲-۲۵ | کلکتورهای گرمایشی هوا تحت شرایط حالت پایا | ۷۸ |
| **۲۶** | تعیین ظرفیت حرارتی مؤثر و ثابت زمانی کلکتور | ۷۹ |
| ۱-۲۶ | اندازه‌گیری ظرفیت حرارتی مؤثر (اندازه‌گیری جداگانه) | ۷۹ |
| ۲-۲۶ | اندازه‌گیری ظرفیت حرارتی مؤثر (روش شبه دینامیک) | ۸۲ |
| ۳-۲۶ | روش محاسبه | ۸۲ |
| ۴-۲۶ | محاسبه ثابت زمانی کلکتور (اختیاری) | ۸۳ |
| **۲۷** | تعیین ضریب تصحیح زاویه تابش کلکتور | ۸۵ |
| ۱-۲۷ | مدل‌سازی | ۸۵ |
| ۲-۲۷ | روش آزمون | ۹۰ |
| ۳-۲۷ | محاسبه ضریب تصحیح زاویه تابش کلکتور | ۹۱ |
| **۲۸** | تعیین افت فشار در کلکتور (مایع) (اختیاری) | ۹۳ |
| ۱-۲۸ | کلیات | ۹۳ |
| ۲-۲۸ | تأسیسات آزمون | ۹۳ |
| ۳-۲۸ | پیش آماده‌سازی کلکتور | ۹۳ |
| ۴-۲۸ | روش آزمون | ۹۳ |
| ۵-۲۸ | اندازه‌گیری‌ها | ۹۴ |
| ۶-۲۸ | افت فشار ایجادشده توسط اتصالات | ۹۴ |
| ۷-۲۸ | شرایط آزمون | ۹۴ |
| ۸-۲۸ | محاسبه و نتایج آزمون | ۹۵ |




shaghool.ir

۹-۲۸ افت فشار کلکتورهای هوا ۹۵
پیوست الف (الزامی) نتایج آزمون ۹۷
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) مدل‌های ریاضی کلکتورهای گرمایشی مایع ۱۲۳
پیوست ج (الزامی) خصوصیات آب ۱۲۸
پیوست د (آگاهی‌دهنده) راهنماهای کلی برای ارزیابی عدم قطعیت در آزمون بازده کلکتور خورشیدی ۱۳۱
پیوست هـ (آگاهی‌دهنده) اندازه‌گیری دمای میانگین سرعت وزنی ۱۳۶
کتابنامه ۱۳۸



shaghool.ir

## پیش‌گفتار

استاندارد « انرژی خورشیدی – کلکتورهای حرارتی خورشیدی – روش‌های آزمون » که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در پنجاه و نهمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد مورخ ۹۵/۸/۱۶ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.
با انتشار این استاندارد، استانداردهای ملی ایران به شرح زیر باطل و این استاندارد جایگزین آن‌ها می‌شود:
استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱-۷۱۲۹ : سال۱۳۸۳، روش‌های آزمون کلکتورهای خورشیدی – قسمت اول: عملکرد حرارتی کلکتورهای شیشه ای گرم کننده مایع شامل افت فشار
استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲-۷۱۲۹ : سال ۱۳۸۳، روش‌های آزمون کلکتورهای خورشیدی - قسمت دوم : روش های آزمون تأئید شرایط کیفی
استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۳-۷۱۲۹ : سال ۱۳۸۳، روش‌های آزمون کلکتورهای خورشیدی – قسمت سوم: عملکرد حرارتی کلکتورهای بدون شیشه گرم کننده مایع ( صرفاً با انتقال حرارت قابل حس ) شامل افت فشار.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی تدوین مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.
منبع و مأخذی (منابع و مآخذی) که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 9806: 2013, Solar energy — Solar thermal collectors — Test methods



shaghool.ir

## مقدمه

این استاندارد روش‌های اجرای آزمون کلکتورهای خورشیدی گرمایشی سیال (بر مبنای سیال)[۱] را از نظر عملکرد، قابلیت اطمینان، دوام و ایمنی، تحت شرایط تعریف‌شده و قابل تکرار، معین می‌کند که شامل روش های آزمون عملکردی برای انجام آزمون ها در فضای باز تحت تابش طبیعی خورشید و وزش طبیعی و شبیه‌سازی‌شده باد و برای انجام آزمون‌ها در فضای بسته تحت تابش خورشیدی و وزش باد شبیه‌سازی شده است. آزمون‌های فضای باز را می‌توان هم در حالت پایا یا اندازه‌گیری در تمام طول روز[۲] در حین تغییر شرایط آب‌وهوایی، انجام داد.

کلکتورهایی که مطابق با این استاندارد، آزمون می‌شوند دارای طیف گسترده‌ای از کاربردها مانند کلکتورهای متمرکزکننده با ردیاب[۳] برای تولید توان حرارتی و گرمای فرآیندی[۴]، کلکتورهای صفحه تخت شیشه‌ای[۵] و کلکتورهای لوله خلاء[۶] برای آب گرم و سامانه گرمایشی منازل و کلکتورهای بدون شیشه[۷] برای برای گرمایش استخرهای شنا یا دیگر کاربردها در دمای پایین، می‌باشند. این استاندارد، شامل کلکتورهای گرمایشی هوا (بر مبنای هوا) [۸] نیز می‌شود. همچنین در این استاندارد، کلکتورهایی که از منابع توان بیرونی برای کارکرد عادی و یا اهداف ایمنی (محافظت از بیش‌گرمایی، خطرات زیست‌محیطی و غیره) استفاده می‌کنند نیز در نظر گرفته شده است.

1- Fluid heating solar collector
2- All-day measurement
3- Tracking concentrating collector
4- Thermal power generation and process heat
5- Glazed flat plate collector
6- Evacuated tube collector
7- Unglazed collector
8- Air heating collector



shaghool.ir

# انرژی خورشیدی – کلکتورهای حرارتی خورشیدی – روش‌های آزمون

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش‌های آزمون ارزیابی دوام[۱]، قابلیت اطمینان و ایمنی[۲] کلکتورهای گرمایشی سیال[۳] است.

همچنین این استاندارد شامل روش‌های آزمون تعیین مشخصات عملکرد حرارتی[۴] کلکتورهای گرمایشی سیال، برای مثال عملکرد حرارتی در حالت پایا و شبه دینامیکی[۵] کلکتورهای شیشه‌ای و بدون شیشه‌ای خورشیدی گرمایشی مایع[۶] و عملکرد حرارتی در حالت پایا کلکتورهای شیشه‌ای و بدون شیشه‌ای خورشیدی گرمایشی هوا می‌باشد (باز به محیط[۷] و مداربسته[۸]).

این استاندارد برای کلکتورهای هیبریدی تولیدکننده توان الکتریکی[۹] و گرما کاربرد دارد. با این حال ایمنی الکتریکی و یا سایر ویژگی‌های خاص مربوط به تولید توان الکتریکی را پوشش نمی‌دهد.

همچنین این استاندارد در مورد کلکتورهایی که از منابع توان خارجی برای عملیات عادی و یا اهداف ایمنی استفاده می‌کنند، کاربرد دارد.

این استاندارد در مورد کلکتورهایی که بخش ذخیره‌سازی حرارتی آن‌ها جزئی جدانشدنی از کلکتور است، به صورتی که نتوان فرآیند جمع‌آوری را از فرآیند ذخیره‌سازی به‌منظور اندازه‌گیری این دو فرآیند جدا نمود، کاربرد ندارد.

## ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

درصورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ارجاع داده شده است همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها موردنظر است.

**۲-۱** استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۵۳۶: سال ۱۳۸۷، انرژی خورشیدی –واژگان

1- Durability
2- Reliability and safety
3- Fluid heating collector
4- Thermal performance
5- Steady-state and quasi-dynamic thermal performance
6- Glazed and unglazed liquid heating solar collectors
7- Open to ambient
8- Closed loop
9- Electric power



shaghool.ir

**۲-۲** استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۲۵: سال ۱۳۸۱، الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون

2-3 ISO 9060, Solar energy — Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation

2-4 ASTM E330-02, Standard Test method for Structural performance of Exterior Windows, Doors, Skylights and Curtain Wallsby Uniform Static Air Pressure Difference

2-5 EN 779, Particulate air filters for general ventilation – Determination of the filtration performance

2-6 EN 13142, Ventilation for buildings - Components/products for residential ventilation - Required and optionalperformance characteristics

2-7 EN l3779, Ventilation for non-residential buildings Performance requirements for ventilation and roomconditioning systems

2-8 VDI 4670, Thermodynamic properties of humid air and combustion gases

## ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ملی ایران به شماره ۱۱۵۳۶ اصطلاحات با تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

### ۳-۱

### زاویه طولی تابش

**longitudinal angle of incidence**

زاویه بین اشعه تابشی خورشید[1] که بر صفحه طولی تصویر شده و خط عمود بر صفحه کلکتور[2]

**یادآوری**- عدم کاربرد برای کلکتورهای دارای کانون نقطه‌ای و دریافت‌کننده‌های مرکزی

### ۳-۲

### صفحه طولی

**longitudinal plane**

صفحه تعریف‌شده توسط خط عمود بر صفحه کلکتور و محور متمرکزکننده یا بزرگ‌ترین خط تقارن برای شکل‌های هندسی دومحوره تخت[3]

1- Incident sun beam
2- Normal to the plane of the collector
3- Flat biaxial geometries



shaghool.ir

**۳-۳**

**بیشینه دمای کاری**

**maximum operating temperature**

بیشینه دمای به‌دست‌آمده در طول عملکرد معمول کلکتور یا سامانه (سیستم) که معمولا توسط سازنده اعلام می‌شود.

**یادآوری**- کاربرد برای کلکتور متمرکزکننده

**۴-۳**

**ماژول**

**module**

کوچک‌ترین واحدی که به‌عنوان یک وسیله جمع‌آوری انرژی خورشیدی کار می‌کند.

**۵-۳**

**وضعیت عدم جریان**

**no-flow condition**

هنگامی این وضعیت رخ می‌دهد که سیال انتقال گرما[1] به دلیل خاموشی یا خرابی، از آرایه کلکتور[2] جریان پیدا نمی‌کند و کلکتور تحت همان شرایط کاری طبیعی در معرض تابش خورشید قرار گرفته است.

**۶-۳**

**محور نوری**

**optical axis**

خط تقارن عمود بر خط فاصله کانونی و صفحه کلکتورهایی با کانون خطی[3]

**۷-۳**

**تولید گاز**

**outgassing**

فرایندی که در آن، ماده جامد، هنگامی‌که در معرض دماهای بالا و یا کاهش فشار قرار می‌گیرد، گازهایی رها می‌کند.

**۸-۳**

**بازده بیشینه**

**peak efficiency**

1- Heat transfer fluid
2- Collector array
3- Line-focus collectors



shaghool.ir

بازده کلکتور در اختلاف دما ($\vartheta_m$-$\vartheta_a$ = 0) بر اساس تابش عمودی اشعه خورشیدی[۱] و شدت تابش مستقیم[۲] یا نیمکره‌ای[۳]

### ۹-۳
### توان بیشینه

**peak power**

توان خروجی از کلکتور در اختلاف دما ($\vartheta_m$-$\vartheta_a$ = 0) بر اساس برخورد عمودی تابش خورشیدی و شدت تابش نیمکره‌ای یا ترکیب‌های مشخصی از شدت تابش اشعه‌ای و پراکنده[۴] (پخشیده)

### ۱۰-۳
### غیرفعال

**passive**

شرایط کاری که در آن برای عملیات موردنظر، نیازی به دخالت انسان یا ابزار مکانیکی نیست.

**یادآوری**- کاربرد برای کلکتور متمرکزکننده

### ۱۱-۳
### منعکس‌کننده یا سطح منعکس‌کننده

**reflector or reflective surface**

سطحی که وظیفه اصلی آن انعکاس انرژی تابشی است.

**یادآوری ۱**- کاربرد برای کلکتور متمرکزکننده

**یادآوری ۲**- همچنین شامل متمرکزکننده ثانویه که به‌صورت اختیاری است، می‌باشد.

### ۱۲-۳
### بام شبیه‌سازی‌شده

**simulated roof**

سازه‌ای که از موادی با کیفیت مشابه مصالح استفاده‌شده در بام‌ها ساخته شده، از خود بام گرفته تا پوشش آن

### ۱۳-۳
### زاویه عرضی تابش

1- Normal incidence of solar radiation
2- Beam irradiance
3- Hemispherical
4- Diffuse



shaghool.ir

**transversal angle of incidence**

زاویه بین اشعه تابشی خورشید که بر صفحه عرضی تصویر شده و خط عمود بر صفحه کلکتور

**یادآوری**- عدم کاربرد برای کلکتورهای دارای کانون نقطه‌ای[1] و دریافت‌کننده‌های مرکزی

**۱۴-۳**

**صفحه عرضی**

**transversal plane**

صفحه تعریف‌شده توسط خط عمود بر صفحه کلکتور و خط عمود بر محور متمرکزکننده یا کوتاه‌ترین خط تقارن برای شکل‌های هندسی دومحوره تخت

**۱۵-۳**

**دمای راه‌انداز یا فعال‌سازی ایمنی**

**trigger or safety activation temperature**

دمایی که در آن کنترل‌های ایمنی در صورت عدم عملکرد ایمن، فعال می‌شوند.

**یادآوری**- کاربرد برای کلکتور متمرکزکننده

## ۴ نمادها و واژگان اختصاری

| نماد | شناسه | یکا |
|---|---|---|
| $A_G$ | سطح ناخالص کلکتور | $m^2$ |
| $AM$ | توده هوای نوری[2] | - |
| $a_1$ | ضریب اتلاف گرمایی در $(\vartheta_m-\vartheta_a) = 0$ | $W/(m^2 \cdot K)$ |
| $a_2$ | ضریب اتلاف گرمایی وابسته به دما | $W/(m^2 \cdot K^2)$ |
| $B$ | موقعیت زمین حول خورشید در طول سال<br>۰ تا ۳۶۰ درجه | درجه |
| $b_u$ | ضریب بازده کلکتور (وابسته به سرعت باد) | s/m |
| $b_0$ | عدد ثابت برای محاسبه ضریب تصحیح زاویه تابش (فرود) | |
| $b_1$ | ضریب اتلاف گرمایی در $(\vartheta_m-\vartheta_a) = 0$ | $W/(m^2 \cdot K)$ |
| $b_2$ | ضریب اتلاف گرمایی وابسته به سرعت باد | $Ws/(m^3 \cdot K)$ |
| $C$ | ظرفیت حرارتی مؤثر کلکتور | J/K |

1- Point-focus collector
2- Optical air mass



shaghool.ir

| | | |
|---|---|---|
| $C_R$ | ضریب تمرکز[1] | |
| $c_1$ | ضریب اتلاف گرمایی در $(\vartheta_m-\vartheta_a) = 0$ | $W/(m^2 \cdot K)$ |
| $c_2$ | ضریب اتلاف گرمایی وابسته به دما | $W/(m^2 \cdot K^2)$ |
| $c_3$ | ضریب اتلاف گرمایی وابسته به سرعت باد | $J/(m^3 \cdot K)$ |
| $c_4$ | ضریب اتلاف گرمایی وابسته به دمای آسمان | - |
| $c_5$ | ظرفیت حرارتی مؤثر | $J/(m^2 \cdot K)$ |
| $c_6$ | وابستگی به سرعت باد در بازده بیشینه (اتلاف صفر) | s/m |
| $c_f$ | ظرفیت گرمایی ویژه سیال انتقال گرما | $J/(kg \cdot K)$ |
| $C_{f,I}$ | ظرفیت گرمایی ویژه سیال انتقال گرما در ورودی کلکتور | $J/(kg \cdot K)$ |
| $C_{f,e}$ | ظرفیت گرمایی ویژه سیال انتقال گرما در خروجی کلکتور | $J/(kg \cdot K)$ |
| $C_{f,a}$ | ظرفیت گرمایی ویژه هوای محیط | $J/(kg \cdot K)$ |
| $D$ | تاریخ | YYMMDD |
| $E$ | فرمول اصلاح زمان ناشی از مسیر خارج از مرکزی زمین | دقیقه (دقایق زمین به دور خورشید) |
| $E_L$ | شدت تابش با طول‌موج بلند $(\lambda > 3\mu m)$ | $W/m^2$ |
| $E\beta$ | شدت تابش با طول‌موج بلند روی سطح شیب‌دار در فضای باز | $W/ m^2$ |
| $E_s$ | شدت تابش با طول‌موج بلند | $W/ m^2$ |
| $F$ | ضریب شکل تابش[2] | |
| $F'$ | ضریب بازده کلکتور | |
| $G$ | شدت تابش خورشیدی نیمکره‌ای | $W/ m^2$ |
| $G''$ | شدت تابش خالص | $W/m^2$ |
| $G_b$ | شدت تابش مستقیم خورشیدی (شدت تابش اشعه‌ای) | $W/m^2$ |
| $G_d$ | شدت تابش خورشیدی پراکنده (پخشیده) | $W/m^2$ |
| $H$ | تابش کل نیمکره‌ای در صفحه کلکتور | $MJ/m^2$ |
| $h_{f,a}$ | آنتالپی مخلوط بخار آب-هوا و هوای محیط | J/kg |

1- Concentration ration
2- Radiation view factor



shaghool.ir

| | | |
|---|---|---|
| $h_{f,e}$ | آنتالپی مخلوط بخار هوا-آب در خروجی کلکتور هوا | J/kg |
| $h_{f,i}$ | آنتالپی مخلوط بخار هوا-آب در ورودی کلکتور هوا | J/kg |
| $h_L$ | آنتالپی مخلوط بخار هوا-آبِ نشت شده | J/kg |
| $K_{\mathrm{hem}}(\theta_L,\theta_T)$ | ضریب تصحیح زاویه تابش | - |
| $K_{\mathrm{b}}(\theta_L,\theta_T)$ | ضریب تصحیح زاویه تابش برای تابش مستقیم | - |
| $K_{\theta L,\,coll}$ | ضریب تصحیح زاویه تابش در طول منعکس‌کننده‌ها و لوله‌های کلکتور | - |
| $K_{\theta T,\,coll}$ | ضریب تصحیح زاویه تابش عمود بر منعکس‌کننده‌ها و لوله‌های کلکتور | - |
| $K_{\mathrm{d}}$ | ضریب تصحیح زاویه تابش برای تابش پراکنده | - |
| $m$ | جرم فعال حرارتی کلکتور | kg |
| $\dot{m}$ | نرخ جریان جرمی سیال انتقال گرما | kg/s |
| $\dot{m}_{min}$ | کمینه نرخ جریان جرمی در آزمون عملکرد | kg/h |
| $\dot{m}_{max}$ | بیشینه نرخ جریان جرمی در آزمون عملکرد | kg/h |
| $\dot{m}_{pe}$ | نرخ جریان جرمی هوای پایین‌دست | kg/s |
| $\dot{m}_{pi}$ | نرخ جریان جرمی هوای بالادست | kg/s |
| $\dot{m}_{pl}$ | نرخ جریان جرمی هوای نشت شده | kg/s |
| $p_{f,e}$ | فشار استاتیکی سیال (هوا) انتقال گرما در خروجی کلکتور خورشیدی | Pa |
| $p_{f,i}$ | فشار استاتیکی سیال (هوا) انتقال گرما در ورودی کلکتور خورشیدی | Pa |
| $P_{abs}$ | فشار مطلق هوای محیط | Pa |
| $\dot{Q}$ | توان مفید دریافتی از کلکتور | W |
| $\dot{Q}_{peak}$ | توان خروجی ماژول کلکتور خورشیدی برای تابش عمودی، $\vartheta_m$-$\vartheta_a$ = 0 K و G=1000 W/m$^2$ | W |
| $\dot{Q}_{\mathrm{t}}$ | میانگین توان خروجی در طول یک گام زمانی | W |
| $\dot{Q}/A_G$ | توان مفید ویژه دریافتی از کلکتور | W/m$^2$ |
| $Q_{\mathrm{module}}$ | انرژی مفید دریافتی از کلکتور، انرژی دریافتی سالانه | kWh در هر ماژول |
| $\dot{Q}_L$ | افت توان کلکتور | W |
| $R_D$ | ثابت گاز بخارآب | 461.4 J/(kgK) |
| $rH_{amb}$ | رطوبت (نسبی) هوای محیط | % |



shaghool.ir

| | | |
|---|---|---|
| $rH_e$ | رطوبت (نسبی) سیال (هوا) در خروجی کلکتور خورشیدی | % |
| $rH_i$ | رطوبت (نسبی) سیال (هوا) در ورودی کلکتور خورشیدی | % |
| $R_L$ | ثابت گاز هوا | 287.1 J/(kgK) |
| $T$ | دمای مطلق | K |
| $T^*_m$ | اختلاف دمای کاهیده (برابر است با $(\vartheta_m-\vartheta_a)/G$) | $m^2K/W$ |
| $\vartheta_{m,max}$ | بیشینه دمای کاری مشخص‌شده توسط سازنده | |
| $T_s$ | دمای تابش جوی یا آسمان[1] | K |
| $t$ | زمان | s |
| $U$ | ضریب اتلاف گرمایی کلی اندازه‌گیری شده کلکتور نسبت به $T^*_m$ | $W/(m^2K)$ |
| $U_L$ | ضریب اتلاف گرمایی کلی کلکتور با دمای یکنواخت جذب‌کننده $\vartheta_m$ | $W/(m^2K)$ |
| $u$ | سرعت هوای محیط | m/s |
| $V_f$ | حجم سیال کلکتور | $m^3$ |
| $\dot{V}_p$ | نرخ جریان حجمی | $m^3/s$ |
| $\dot{V}_{p,e}$ | نرخ جریان حجمی در خروجی کلکتور خورشیدی | $m^3/s$ |
| $\dot{V}_{p,i}$ | نرخ جریان حجمی در ورودی کلکتور خورشیدی | $m^3/s$ |
| $\dot{V}_{p,L}$ | نرخ جریان حجمی نشت شده | $m^3/s$ |
| $X_{W,a}$ | نسبت رطوبت هوای محیط[2] | kg $H_2O$/kg dry air |
| $X_{W,e}$ | نسبت رطوبت هوا در خروجی کلکتور خورشیدی | kg $H_2O$/kg dry air |
| $X_{W,i}$ | نسبت رطوبت هوا در ورودی کلکتور خورشیدی | kg $H_2O$/kg dry air |
| $\alpha$ | ضریب جذب خورشیدی | % |
| $\alpha_s$ | زاویه ارتفاع خورشیدی | درجه |
| $\beta$ | زاویه شیب یک صفحه نسبت به صفحه افقی | درجه |
| $\gamma$ | زاویه سمت کلکتور (جنوب = صفر، شرق منفی) | درجه |
| $\gamma_s$ | زاویه سمت خورشید (جنوب = صفر، شرق منفی) | درجه |
| $\Delta p$ | اختلاف فشار بین سیال خروجی و ورودی | Pa |

1- Atmospheric or equivalent
2- Water content of the ambient air



shaghool.ir

| | | |
|---|---|---|
| $\Delta t$ | فاصله زمانی | s |
| $\Delta T$ | اختلاف دمای بین سیال خروجی و ورودی $\vartheta_e$-$\vartheta_{in}$ | K |
| $\delta$ | زاویه میل (انحراف) خورشیدی | درجه |
| $\varepsilon$ | ضریب صدور (شدت نشر) نیمکره‌ای | % |
| $\eta$ | بازده کلکتور بر مبنای $T^*_m$ | – |
| $\eta_b$ | بازده کلکتور بر مبنای $T^*_m$ و شدت تابش مستقیم $G_b$ | – |
| $\eta_{hem}$ | بازده کلکتور نسبت به $T^*_m$، بر مبنای شدت تابش نیمکره‌ای $G$ | – |
| $\eta_{0,b}$ | بازده بیشینه کلکتور ($\eta_b$ در $T^*_m = 0$)، نسبت به $T^*_m$، بر مبنای شدت تابش مستقیم $G_b$ | – |
| $\eta_{0,hem}$ | بازده بیشینه کلکتور ($\eta_{hem}$ در $T^*_m = 0$)، نسبت به $T^*_m$، بر مبنای شدت تابش نیمکره‌ای $G$ | |
| $\eta_{max,0\ m/s}$ | بازده بیشینه کلکتور (در سرعت صفر و یک نرخ جریان جرمی ثابت) | |
| $\eta_m$ | بازده بیشینه کلکتور بر مبنای $\eta_{max,0\ m/s}$ | |
| $\theta$ | زاویه تابش (برخورد) | درجه |
| $\theta_{T,def}$ | زاویه مرجع در جهت عرضی T برای تعیین IAM که معمولا صفر است. | درجه |
| $\theta_{L,def}$ | زاویه مرجع در جهت طولی L برای تعیین IAM که معمولا صفر است. | درجه |
| $\theta_Z$ | زاویه سمت الراس خورشیدی (مساوی 90- $\theta H$) | درجه |
| $\theta_{II}$ یا $\theta_L$ | زاویه تابش طولی | درجه |
| $\theta_\perp$ یا $\theta_T$ | زاویه تابش عرضی | درجه |
| $\vartheta_a$ | دمای هوای محیط یا اطراف | °C |
| $\vartheta_{dp}$ | دمای نقطه شبنم جوی | °C |
| $\vartheta_e$ | دمای خروجی کلکتور | °C |
| $\vartheta_{in}$ | دمای ورودی کلکتور | °C |
| $\vartheta_m$ | میانگین دمای سیال انتقال گرما | °C |
| $\vartheta_{max_op}$ | بیشینه دمای کاری | °C |
| $\vartheta_s$ | دمای جو یا آسمان | °C |
| $\vartheta_{stg}$ | دمای سکون استاندارد | °C |



shaghool.ir

| | | |
|---|---|---|
| $\vartheta_{trigger}$ | دمای راه‌انداز برای فعال شدن ایمنی | °C |
| $\vartheta_{m,th}$ | میانگین دمای وزنی جریان حجمی[1] | °C |
| $\vartheta_{max,start}$ | بیشینه دمای شروع | °C |
| $\vartheta_{mp,e}$ | دمای سیال جریان‌سنج جرمی هوا در پایین‌دست | °C |
| $\vartheta_{mp,i}$ | دمای سیال جریان‌سنج جرمی هوا در بالادست | °C |
| λ | طول‌موج | µm |
| ρ | چگالی سیال انتقال گرما | $kg/m^3$ |
| $\rho_l$ | چگالی هوا | $kg/m^3$ |
| σ | ثابت استفان-بولتزمن | $W/(m^2K^4)$ |
| $\tau_c$ | ثابت زمانی کلکتور | s |
| τ | ضریب عبور | |
| (τα) | حاصل‌ضرب ضریب جذب در ضریب عبور مؤثر | - |
| Φ | عرض جغرافیایی کلکتور و موقعیت داده آب و هوایی | درجه |
| ω | زاویه ساعتی خورشید[2] | درجه |

**یادآوری ۱**- در زمینه انرژی خورشیدی، برای مشخص کردن شدت تابش خورشیدی به جای نماد کلی E تابش، از نماد $G$ استفاده می‌شود.

**یادآوری ۲**- نماد C در متون اصلی معمولا با $(mC)_e$ مشخص شده است (به بند ۲۶ مراجعه شود).

**یادآوری ۳**- برای اطلاعات بیشتر درباره ضرایب (پارامترهای) عملکرد حرارتی $c_1$ تا $c_6$ به بند ب-۱ مراجعه شود.

**یادآوری ۴**- کلکتورهایی که برای تولید بخار یا آب فوقِ گرم[3] در نظر گرفته نشده‌اند بیشینه دمای کاری $\vartheta_{m,max} \leq 110\ ^oC$ دارند.

1- Volume flow weighted mean temperature
2- Solar hour angle
3 -Steam or super-heated water



shaghool.ir

## ۵ کلیات

### ۵ -۱ مرور کلی آزمون - مراحل آزمون‌ها

در بعضی آزمون‌های کیفی[1] (جدول ۱)، ممکن است به نحوی، بر روی بخشی از کلکتور کار شود، مثلا ممکن است برای اتصال حس‌گر دما به جذب‌کننده لازم باشد سوراخی در پشت کلکتور ایجاد شود. در این موارد بهتر است دقت شود صدمه ایجادشده، بر نتایج آزمون‌های کیفی بعدی تأثیر نگذارد؛ به‌طور مثال، وارد شدن آب به کلکتور که قبلاً در برابر باران، درزبندی شده بود.

**جدول ۱- فهرست آزمون**

| زیربند | آزمون |
|---|---|
| ۶ | آزمون فشار داخلی برای کانال‌های سیال [g, f] |
| ۷ | آزمون نشتی [h] |
| ۸ | آزمون شکستگی و تخریب [h] |
| ۹ | آزمون مقاومت در برابر دمای بالا [a, b] |
| ۱۱ | آزمون نوردهی [b] |
| ۱۲ | آزمون شوک حرارتی خارجی [c] |
| ۱۳ | آزمون شوک حرارتی داخلی [c] |
| ۱۴ | آزمون نفوذ باران [d, h] |
| ۱۵ | آزمون مقاومت در برابر یخزدگی [e, h] |
| ۱۶ | آزمون بار مکانیکی [h] |
| ۱۷ | آزمون مقاومت در برابر ضربه [i] |
| ۲۰ | آزمون عملکرد حرارتی [j] |
| ۲۸ | اندازه‌گیری افت فشار [h, l] |
| ۱۸ | بازبینی نهایی [k] |

[a] در مورد جذب‌کننده‌های آلی، ابتدا باید آزمون مقاومت در برابر دمای بالا انجام شود تا دمای سکون استاندارد کلکتور که برای آزمون فشار داخلی لازم است، تعیین شود.

[b] آزمون مقاومت در برابر دمای بالا و آزمون نوردهی کلکتور باید در همان کلکتور انجام شود.

[c] آزمون‌های شوک حرارتی داخلی و خارجی ممکن است با آزمون نوردهی کلکتور یا آزمون مقاومت در برابر دمای بالا ترکیب شوند.

1- Qualification test



shaghool.ir

**ادامه جدول ۱- فهرست آزمون**

[d] آزمون نفوذ باران باید تنها برای کلکتورهای شیشه‌ای انجام شود.

[e] آزمون مقاومت در برابر یخ‌زدگی باید تنها برای کلکتورهایی که ادعا می‌شود در برابر یخ‌زدگی مقاوم هستند، انجام شود.

[f] فقط برای کلکتورهای گرمایشی مایع قابل‌اجرا است.

[g] برای کانال‌های سیال که از مواد آلی ساخته شده‌اند، آزمون نوردهی کلکتور قبل از آزمون موردنیاز است، به بند ۱۱ مراجعه شود.

[h] آزمون پیش‌نوردهی یا نوردهی کلکتور قبل از آزمون موردنیاز است، به بند ۱۱ مراجعه شود.

[i] در صورت وجود پوشش پلیمری، آزمون پیش‌نوردهی یا نوردهی کلکتور قبل از آزمون موردنیاز است، به بند ۱۱ مراجعه شود.

[j] آزمون نوردهی کلکتور قبل از آزمون عملکرد کلکتورهای لوله‌ای گرمایی موردنیاز است.

[k] همه کلکتورهای مورد آزمون به انجام بازبینی نهایی نیاز دارند.

[l] تنها برای کلکتورهای گرمایشی هوا، اجباری است.

## ۵-۲ جنبه‌های خاص کلکتورهای استفاده‌کننده از منابع توان بیرونی و تمهیدات فعال و غیرفعال برای عملکرد عادی و خودمحافظتی

کلکتورها باید به‌گونه‌ای آزمون شوند که به دلیل شرایط به وجود آمده در عملکرد استاندارد، قادر به نمایش عملکرد مناسب و توانایی محافظت از خود در برابر خرابی‌های معمول باشند.

کلکتور باید مونتاژ شده (اگر لازم است) و از اجزای آن، با توجه به مشخصات سازنده استفاده کرد. اگر کلکتور دارای مکانیزم‌های فعالی[1] است که انتظار می‌رود در طول عملکرد عادی کار کنند، این مکانیزم‌ها باید در طول انجام آزمون در حال کار باشند. اگر وسیله ردیابی موجود باشد، باید توسط سازنده کلکتور عرضه شده و در طول آزمون به کار برده شود. در کلکتور متمرکزکننده که شامل یک محفظه آب‌بندی‌شده توسط سازنده است و با یک مبرد[2] یا سیال دیگری پر و برای جمع‌آوری گرما به کار برده می‌شود، باید بدون برداشتن این اجزا آزمون شوند.

سامانه‌های حفاظت، می‌توانند فعال[3] مانند عملگر، موتور و تجهیزات دیگر، یا غیرفعال[4] مانند موادی که به گرما یا موارد دیگر واکنش نشان می‌دهند، باشند. سازنده باید به‌روشنی ویژگی‌های محافظت از تجهیزات را تعریف کرده و باید مشخص کند که آیا تجهیزات برای به کار افتادن نیازی به منبع انرژی خارجی دارند یا خیر.

1- Active mechanism
2- Refrigerant
3- Active
4- Passive



shaghool.ir

کلکتور می‌تواند ترکیبی از کنترل‌کننده‌های فعال و غیرفعال را داشته باشد که در این صورت، توالی آزمون به‌منظور بررسی عملیات مناسب مکانیزم‌های فعال و غیرفعال در شرایط کار عادی، باید انتخاب شود.

## ۶ آزمون‌های فشار درونی برای کانال‌های سیال

### کانال‌های سیال غیر آلی

#### ۶-۱-۱ هدف

کانال‌های سیال باید برای ارزیابی میزان تحمل آن در برابر فشارهایی که ممکن است در هنگام کار رخ دهد، مورد آزمون فشار قرار گیرند.

#### ۶-۱-۲ دستگاه و روش اجرا

دستگاه[۱] از منبع فشار هیدرولیکی (پمپ دستی یا برقی)، شیر اطمینان، شیر تخلیه هوا[۲] و فشارسنجی با عدم قطعیت استاندارد[۳] بهتر از ٪ ۵، تشکیل شده است. پیش از ایجاد فشار، باید از شیر تخلیه هوا، برای تخلیه هوای درون کانال‌های سیال استفاده کرد. کانال‌های سیال غیر آلی[۴] باید در دمای اتاق با آب پر شده و در طول دوره آزمون، تحت‌فشار آزمون قرار گیرند. این فشار باید در حین بازبینی کانال‌های سیال ازنظر تورم[۵]، تغییر شکل[۶] یا شکستگی[۷]، حفظ شود.

#### ۶-۱-۳ شرایط آزمون

کانال‌های سیال غیر آلی باید در دمای محیط در گستره $^{o}C$ ۵ تا $^{o}C$ ۴۰، محافظت شده در برابر نور، مورد آزمون فشار قرار گیرند. فشار آزمون باید ۱٫۵ برابر بیشینه فشار کاری کلکتور[۸] که سازنده مشخص کرده است، باشد.

فشار آزمون (٪ ۵±) باید به مدت ۱۵ دقیقه حفظ شود.

### ۶-۲ کانال‌های سیال ساخته‌شده از مواد آلی (پلاستیک‌ها یا الاستومرها)

#### ۶-۲-۱ هدف

کانال‌های سیال برای ارزیابی میزان تحمل آن‌ها در برابر فشارهایی که ممکن است در حین کار و در حین دماهای بالا رخ دهد، باید مورد آزمون فشار قرار گیرند. آزمون‌ها باید در دماهای بالا انجام شوند، زیرا ممکن است مقاومت به فشار کانال‌های سیال آلی، با افزایش دما کاهش یابد.

---

1- Apparatus
2- Air-bleed valve
3- Standard uncertainty
4- Inorganic fluid channel
5- Swelling
6- Distortion
7- Rupture
8- Collector operating pressure



shaghool.ir

## ۶-۳ دستگاه و روش اجرا

### ۶-۳-۱ کلیات

دستگاهاز منبع فشار هیدرولیکی یا پنوماتیکی و همچنین وسیله‌ای برای گرمایش کانال‌های سیال تا رسیدن به دمای موردنیاز برای آزمون، تشکیل شده است.

شرایط آزمون مشخص‌شده در بند ۶-۳-۴ باید حداقل به مدت ۳۰ دقیقه پیش از آزمون و در تمام مدت آزمون حفظ شود.

فشار در کانال‌های سیال باید طبق بند ۶-۳-۴ به‌صورت مرحله‌ای افزایش یابد. در صورت امکان بهتر است فشار در هنگام بازبینی کانال‌های سیال، حفظ شود.

به دلایل ایمنی، کلکتور باید در جعبه شفاف قرار گیرد تا پرسنل، در صورت بروز انفجار در طول این آزمون، محافظت شوند.

یکی از روش‌های شرح داده شده در بندهای ۶-۳-۲ و ۶-۳-۳ باید انتخاب شود.

### ۶-۳-۲ کانال‌های سیال آلی - آزمون فشار هیدرولیکی در دمای بالا

کانال‌های سیال را می‌توان به مدار سیال داغ متصل کرد. سپس کانال‌های سیال و مدار سیال داغ، تحت‌فشار قرار می‌گیرند. کانال‌های سیال با یکی از روش‌های زیر گرم می‌شوند:

الف- غوطه‌ور کردن کانال‌های سیال در حمام آب گرم و سپس انجام آزمون فشار. منبع تغذیه سیالِ تحت‌فشار به جذب‌کننده، باید مجهز به شیر اطمینان، شیر تخلیه هوا (در صورت لزوم) و فشارسنجی با عدم قطعیت استاندارد بهتر از ٪ ۵، باشد.

ب- متصل کردن گرمکن به مدار مایع (سیال باید در فاز مایع باشد)؛

پ- گرم کردن تمام کلکتور در شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی؛

ت- گرم کردن تمام کلکتور در فضای باز تحت شدت تابش طبیعی خورشید.

برای محافظت پرسنل از سیال داغ در صورت بروز انفجار در طول آزمون، بهتر است اقدامات ایمنی به کار گرفته شوند.

### ۶-۳-۳ کانال‌های سیال آلی - آزمون فشار پنوماتیکی در دمای بالا

هرگاه کانال‌های سیال به یکی از روش‌های زیر گرم شده باشند، با استفاده از هوای تحت‌فشار می‌توان آن‌ها را مورد آزمون قرار داد:

الف- گرم کردن تمام کلکتور در شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی؛

ب- گرم کردن تمام کلکتور در فضای باز تحت شدت تابش طبیعی خورشید.

منبع تغذیه هوای تحت‌فشار به کانال‌های سیال، باید مجهز به شیر اطمینان و فشارسنجی با عدم قطعیت استاندارد بهتر از ٪ ۵، باشد.



shaghool.ir

### ۶-۳-۴ شرایط آزمون

دمای آزمون باید بیشینه دمای آزمون اعلامی از طرف سازنده یا دمای سکون استاندارد[1]، هرکدام که بزرگ‌تر است، باشد (به بند ۱۰ مراجعه شود). فشار آزمون باید ۱٫۵ برابر بیشینه فشار کاری کلکتور که سازنده مشخص کرده است، باشد. برای کانال‌های سیال ساخته‌شده از مواد آلی، فشار باید در گام‌های برابر (حدود پنج گام) تا فشار آزمون افزایش یابد و در هر فشار میانی، به مدت ۵ دقیقه حفظ شود. فشار آزمون باید حداقل به مدت ۱ ساعت حفظ شود.

### ۶-۴ نتایج

کلکتور باید ازنظر نشتی[2]، تورم و تغییر شکل بازبینی شود. اگر کاهش فشار بیشتر از ۵٪ فشار آزمون یا ۱۷ kPa باشد، می‌توان آن را نشانه نشتی دانست. نتایج این بازبینی باید به همراه مقادیر فشار و دمای مورداستفاده و مدت آزمون، گزارش شود.

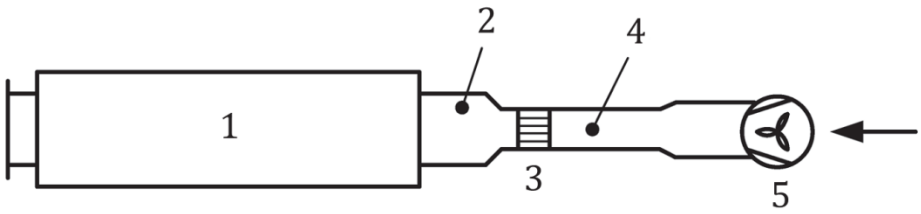
## ۷ آزمون نشتی (مختص کلکتورهای گرمایشی هوایی مداربسته)

### ۷-۱ هدف

این آزمون برای تعیین مقدار نرخ جریان حجمی نشت شده کلکتورهای گرمایشی هوا، در نظر گرفته شده است. در برخی از انواع کلکتورها، مانند کلکتورهای باز به محیط، آزمون نشتی قابل‌اجرا نیست.

### ۷-۲ دستگاه و روش اجرا

آزمون نشتی را می‌توان با جریان‌سنج حجمی، مانند شکل ۱، مشخص کرد. نشتیِ به‌دست‌آمده از منابع دیگر غیر از موضوع مورد آزمون، باید تعیین شده و از نتایج آزمون کلکتور کم شود.




**راهنما:**

| | |
|---|---|
| 1 | گرمکن هوایی خورشیدی |
| 2 | فشارسنج |
| 3 | جریان‌سنج (فلومتر) |
| 4 | حس‌گر دما |
| 5 | دمنده |

**شکل ۱- طرح کلی دستگاه مورداستفاده برای اندازه‌گیری نشتی هوا در کلکتورهای هوا**

1- Standard stagnation temperature

۲- در مورد کلکتور گرمایشی هوا، وجود نشتی مشکلی ایجاد نمی‌کند. مقدار نرخ جریان حجمی نشت شده باید مطابق بند ۷ تعیین شود.



shaghool.ir

کلکتور باید به نحوی نصب شود که خروجی هوا نشتی نداشته باشد و ورودی به جریان‌سنج حجمی و همچنین به دمنده سرعت متغیر متصل شود. اختلاف فشار بین ورودی و محیط باید با ابزار اندازه‌گیری فشار تفاضلی، اندازه‌گیری شود. آزمون شامل دو بخش است، آزمون نشتی مثبت و آزمون نشتی منفی. آزمون باید با فشار مثبت و فشار منفی انجام شود. عدم قطعیت استاندارد برای اندازه‌گیری جریان حجمی هوا باید بهتر از ٪ ۲± و برای اندازه‌گیری فشار اختلافی بهتر ازPa ۱۰± باشد.

### ۷-۳ شرایط آزمون

آزمون باید در دمای محیط، بدون تابش، انجام شود. بهتر است دمای محیط در مدت‌زمان آزمون بیشتر از K ۵± تغییر نکند. آزمون حداقل باید در ۴ فشار مثبت و ۴ فشار منفی انجام شود. بیشینه فشار درونی باید ۱٫۵ برابر بیشینه فشار کاری که سازنده مشخص کرده است، باشد. فشار باید در گام‌های برابر (حدود پنج گام) تا بیشینه فشار آزمون افزایش یابد. مدت آزمون برای هر گام نباید کمتر از ۱۰ دقیقه باشد.

در مورد کانال‌های سیال ساخته شده از مواد آلی، توصیه می‌شود که آزمون در بیشینه دمای کاری مشخص شده توسط سازنده یا دمای سکون استاندارد، هر کدام که بزرگ‌تر است، تکرار شود.

### ۷-۴ نتایج

نتایج باید مطابق بند الف-۴ گزارش شوند.

## ۸ آزمون شکستگی و تخریب (مختص کلکتورهای گرمایشی هوا)

### ۸-۱ هدف

این آزمون برای تعیین قابلیت کلکتورهای خورشیدی گرمایشی هوا برای تحمل سطوح فشار مورد انتظار، در سامانه‌های کانال هوایی که با آن‌ها به کار برده می‌شوند، در نظر گرفته شده است.

### ۸-۲ دستگاه و روش اجرا

#### ۸-۲-۱ کلیات

دستگاه باید از منبع فشار پنوماتیکی، ابزار اندازه‌گیری فشار و ابزار اندازه‌گیری نرخ جریان هوای بیرون کلکتور، تشکیل شده باشد. برای کلکتورهای با مواد آلی (پلاستیک یا الاستومر) که در تماس مستقیم با سیال کاری هستند، آزمون‌ها باید در دماهای بالا انجام شود که برای انجام آن، وسیله‌ای برای گرمایش جذب‌کننده تا رسیدن به دمای موردنیاز آزمون، الزامی است.

بعد از آن توصیه می‌شود مجموعه کلکتور با استفاده از یکی از روش‌های زیر گرم شود:

الف- متصل کردن گرمکن به مدار سیال و گردش هوای داغ از طریق کلکتور قبل از آب‌بندی کردن خروجی کلکتور؛

ب- گرم کردن مجموعه کلکتور در یک شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی؛

ج- گرم کردن تمام کلکتور در فضای باز تحت شدت تابش طبیعی خورشید.

اقدامات ایمنی مناسب باید برای محافظت پرسنل، در صورت بروز انفجار در طول این آزمون، در نظر گرفته شود.



shaghool.ir

دستگاه اصلی می‌تواند شبیه یا کاملا همانند دستگاه مورداستفاده در آزمون‌های نشتی کلکتور هوا باشد و دقت اندازه‌گیری، باید الزامات یکسانی را برآورده کند (به بند ۷-۲ مراجعه شود).

**۸-۲-۲ کلکتورهای مداربسته**

کلکتور باید مانند آزمون‌های نشتی کلکتور هوا، نصب شده باشد (به بند ۷-۲ مراجعه شود). دهانه دیواره جانبی[1] معرفی‌شده برای آزمون‌های بار یکنواخت باید آب‌بندی شود.

روش اجرا باید به‌صورت زیر باشد:

الف- فشارسنج را در مجرای خروجی کلکتور آب‌بندی کنید و مجرای ورودی را از طریق جریان‌سنج و تنظیم‌کننده فشار (رگلاتور) به منبع هوا وصل کنید.

ب- مطمئن شوید که منبع هوا برای اعمال فشار نسبی منفی یا مثبت موردنیاز، مناسب است.

پ- رگلاتور فشار را روی فشار محیط تنظیم کرده و توجه کنید که فشارسنج فشار صفر را نشان دهد.

ت- اگر آزمون در دمایی غیر از دمای محیط انجام می‌شود، در این صورت کلکتور باید با یکی از روش‌های اشاره‌شده در بند ۸-۲-۱ گرم شود.

ث- منبع هوا را فعال کنید و شیر رگلاتور را تا رسیدن به فشاری مساوی با ۱٫۵ برابر بیشینه فشار کاری کلکتور(مثبت و/یا منفی) مشخص‌شده توسط سازنده، باز کرده و این فشار را برای ۱۰ دقیقه حفظ کنید.

ج- کلکتور را بازبینی کرده و هرگونه نشانه‌ای از صدمه سازه‌ای را ثبت کنید.

چ- مقدار نرخ جریان را یادداشت کنید.

ح- اجازه دهید فشار به فشار محیط برگردد.

خ- آخرین قرائت فشار نسبی را یادداشت کنید.

**۸-۲-۳ کلکتورهای باز به محیط**

روش اجرا باید به‌صورت زیر باشد:

الف- مجرای خروجی کلکتور را به سامانه مناسب هواکش[2] وصل کنید. یک انشعاب[3] در مجرای خروجی کلکتور برای اندازه‌گیری فشار نسبی نسبت به فشار جوی ایجاد نمایید.

انشعاب بیرونی باید مانند شکل ۸ در بند ۳-۲-۲۳ ، قرار داده شود.

ب- مطمئن شوید که منبع هوا برای اعمال نرخ جریان موردنیاز آزمون، مناسب است.

پ- اگر آزمون در دمایی غیر از دمای محیط انجام می‌شود، در این صورت کلکتور باید با یکی از روش‌های اشاره‌شده در بند ۸-۲-۱ گرم شود.

ت- در صورت عدم وجود جریان هوا در کلکتور، فشارسنج باید عدد صفر را نشان دهد.

1- Side wall aperture
2- Suitable air extraction system
3- Pressure tap



shaghool.ir

ث- منبع هوا را فعال کنید و آن را در یک دوره زمانی بیشتر از ۱۵ s تا رسیدن به نرخ جریان مساوی با ۱٫۵ برابر بیشینه نرخ جریان مشخص‌شده توسط سازنده، زیاد کنید. کلکتور در وضعیت عادی کارکرد، آزمون می‌شود و فشار هوا در کلکتور نیز فشار اتمسفری است.

ج- جریان هوا باید بیشتر از ۱۰ دقیقه حفظ شود. در پایان ۱۰ دقیقه، درحالی‌که نرخ جریان هوا حفظ‌شده، کلکتور را بازبینی و هرگونه نشانه‌ای از تغییر شکل و خرابی[1] را ثبت کنید.

چ- اجازه دهید جریان هوا به صفر برگردد.

ح- آخرین قرائت فشارسنج را یادداشت کنید.

خ- کلکتور را از نظر تغییر شکل دائمی[2]، اعوجاج و خرابی اجزای آن بازبینی کنید.

## ۸-۳ شرایط آزمون

### ۸-۳-۱ دما

برای کلکتورهای ساخته شده از مواد آلی (پلاستیک یا الاستومر) که در تماس مستقیم با سیال کاری هستند، آزمون‌ها باید در دمای بیشینه انجام شود تا جذب‌کننده به شرایط زیر برسد:

الف- کمینه نرخ جریان هوای توصیه‌شده توسط سازنده کلکتور خورشیدی؛

ب- $1000\ W/m^2$؛ و

پ- دمای هوای محیط $30^oC$.

دیگر کلکتورهای خورشیدی گرمایشی هوا باید در دمای محیط آزمون شوند.

## ۸-۴ نتایج و گزارش‌دهی

نتایج باید مطابق با موارد الزام شده در بند الف-۵ گزارش شوند.

# ۹ آزمون مقاومت در برابر دمای بالا

## ۹-۱ هدف

این آزمون برای ارزیابی سریع مقاومت کلکتور در برابر دمای بالا و سطوح بالای شدت تابش، بدون بروز نقایصی مانند شکستن شیشه، از بین رفتن پوشش پلاستیکی، ذوب شدن جذب‌کننده پلاستیکی یا رسوبات عمده بر روی پوشش کلکتور بر اثر تولید گاز توسط مواد کلکتور یا هرگونه اثر دیگر کاهش‌دهنده عملکرد، طول عمر، ایمنی یا تغییر شکل نمای ظاهری کلکتور، می‌باشد.

بهتر است در مورد اجزای کلکتورهای خورشیدی گرمایشی مستقیم هوا[3]، الزامات مربوط به تهویه در استانداردهای EN 13779 و EN 13142 رعایت شود.

1- Collapse.
2- Permanent displacement
3- Direct heating solar air collector



shaghool.ir

## ۹-۲ دستگاه و روش اجرا

کلکتور باید در فضای باز یا در شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی مورد آزمون قرار گیرد.

ویژگی‌های شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی مورداستفاده برای آزمون مقاومت در برابر دمای بالا، باید مانند شبیه‌ساز مورداستفاده برای آزمون بازده کلکتورهای خورشیدی گرمایشی سیال باشد.

کلکتور باید در فضای باز یا در شبیه‌ساز خورشیدی نصب شود. کلکتورهای گرمایشی مایع نباید از سیال پر شوند و باید تمام لوله‌هایی که سیال در آن‌ها در جریان است، به‌جز یکی از آن‌ها، درزبندی شده تا از سرمایش از طریق گردش طبیعی هوا، جلوگیری شود.

برای پایش دمای جذب‌کننده در طول آزمون، باید حس‌گر دما به آن متصل شود. حس‌گر باید در داغ‌ترین ناحیه جذب‌کننده قرار داده شود. مکان حس‌گر باید همراه با نتایج گزارش شود. در مورد کلکتورهای صفحه تخت مایع، می‌توان داغ‌ترین ناحیه را در مکان دوسوم ارتفاع و نصف عرض جذب‌کننده در نظر گرفت. این حس‌گر باید در موقعیتی که تماس حرارتی خوبی با جذب‌کننده دارد، به‌طور محکم ثابت شده باشد. حس‌گر باید از تابش خورشیدی محافظت شود.

در مورد کلکتورهایی که از منبع توان بیرونی و وسایل فعال و غیرفعال برای عملکرد عادی و خودحفاظتی استفاده می‌کنند، آزمون مقاومت در برابر دمای بالا باید در طول آزمون نوردهی[1] انجام شود. اگر کنترل‌هایی برای مدیریت هر دو وضعیت عدم جریان و دمای بالا وجود داشته باشد، کلکتور باید با سیال انتقال گرما مطابق با روش اجرای معین‌شده در بند ۲۸-۳ پر شود و همان‌گونه که موردنظر است به کار انداخته شود. اگر کارکرد مناسب باشد سیال انتقال گرما نباید قادر به رسیدن به شرایط سکون باشد. در این حالت، کنترل‌ها باید بررسی‌شده و کلکتور باید در نزدیک به بیشینه دمای کاری مشخص‌شده توسط سازنده (کمتر از دمای راه‌انداز سامانه کنترل) کار کند. در گزارش آزمون، باید مشخصات نرخ جریان، دمای سیال و مدت‌زمان آزمون داده شده باشد.

در زمان آزمون، کلکتورهایی مانند کلکتورهای لوله خلاء که در آن‌ها اندازه‌گیری دمای سکون استاندارد در جذب‌کننده لازم نیست، بهتر است حس‌گر دما در مکان مناسبی در کلکتور قرار گیرد و توصیه می‌شود این مکان به‌طور کامل به همراه نتایج آزمون ذکر گردد.

در بعضی موارد، مانند کلکتورهای لوله خلاء، ممکن است اتصال حس‌گر دما به جذب‌کننده مشکل باشد. در این موارد، به‌جای اتصال حس‌گر دما به جذب‌کننده، آزمایشگاه آزمون‌کننده ممکن است جذب‌کننده را تا قسمتی با سیال مناسبی پر کند و پس از درزبندی آن، مستقیما دمای سیال یا فشار را در جذب‌کننده اندازه‌گیری کند. بهتر است رابطه بین فشار داخل جذب‌کننده و دمای آن از رابطه استاندارد دما / فشار بخار برای سیال به دست آید. همچنین روش دیگر برای تعیین دمای جذب‌کننده کلکتور لوله‌ای گرمایی[2] ممکن است به‌طور قابل‌قبولی از طریق اضافه کردن حس‌گر دما به کندانسور در زمان مونتاژ، اندازه‌گیری شود.

1- Exposure
2- Heat pipe tubular collector



shaghool.ir

توصیه می‌شود آزمون تعیین دمای سکون استاندارد به همراه آزمون مقاومت در برابر دمای بالا، انجام شود.
در مورد کلکتور خورشیدی گرمایشی هوا، برای اندازه‌گیری بیشینه دمای شروع، نرخ جریان جرمی باید با همان کمترین نرخ جریان جرمی در آزمون بازده حرارتی کلکتور، برابر باشد.
آزمون باید به مدت حداقل یک ساعت، پس از برقراری شرایط حالت پایا (اگر دمای جذب کننده کمتر از $\pm 5$ K تغییر کند، شرایط را می توان پایا در نظر گرفت)، انجام شود و سپس کلکتور باید ازنظر علائم آسیب‌دیدگی که در بند ۱۸ مشخص شده است، بازبینی گردد.

### ۹-۳ شرایط آزمون

مجموعه شرایط داده‌شده در جدول ۲ یا شرایطی که منجر به دمایِ کلکتورِ بالاتر یا یکسانی نسبت به دمای سکون استاندارد مطابق بند ۱۰ شوند، باید برای تمام رده‌های اقلیمی مورداستفاده قرار گیرد (به جدول ۴ مراجعه شود).

**جدول ۲- شرایط اقلیمی مرجع برای آزمون مقاومت در برابر دمای بالا**

| پارامتر اقلیمی | مقدار رده اقلیمی |
|---|---|
| شدت تابش کل نیمکره‌ای خورشیدی بر روی صفحه کلکتور، $G\ (W/m^2)$ | بیشتر از ۱۰۰۰ |
| دمای هوای محیط، $\vartheta_a\ (^oC)$ | ۲۰-۴۰ |
| سرعت هوای محیط (m/s) | کمتر از ۱ |

هنگام آزمون کلکتورهای بدون شیشه و فاقد عایق‌کاری پشتی، کلکتور باید برای بالا بردن دماهای بیشینه در بدترین وضعیت، بر روی سطحی تیره ($\alpha > 80$ ٪) نصب شود.

### ۹-۴ نتایج

کلکتور باید ازنظر صدمه، جمع شدگی، تولید گاز و تغییر شکل بازبینی شود.
نتایج بازبینی باید به همراه مقادیر متوسط شدت تابش خورشیدی (طبیعی یا شبیه‌سازی‌شده) بر روی صفحه کلکتور، سرعت و دمای هوای محیط و دمای جذب‌کننده (و فشار سیال مناسب در جذب‌کننده، در صورتی که آن روش به‌کار رود) که در طول آزمون ثبت شده‌اند، مطابق بند الف-۶ ثبت شود. کارکردها و تنظیمات کنترلی که تایید شده‌اند باید شرح داده و با نتایج آزمون، گزارش شوند.
برای کلکتورهای خورشیدی گرمایشی هوا، بیشینه دمای شروع در خروجی کلکتور باید اندازه‌گیری و گزارش شود.

## ۱۰ دمای سکون استاندارد کلکتورهای گرمایشی مایع

### ۱۰-۱ کلیات

این بند روش‌هایی را برای تعیین دمای سکون استاندارد کلکتور، یعنی دمای کلکتور در طول دوره‌های عدم برداشت گرمای مفید از کلکتور در مقادیر تابش بالای خورشیدی و محیط اطراف، فراهم می‌کند. از این



shaghool.ir

روش‌ها برای بررسی اینکه دمای سکون استاندارد در برچسب و کتابچه راهنمای نصب کلکتور بالاتر از دمای سکون استاندارد تعیین شده است، استفاده می‌شود.

بهتر است دمای سکون استاندارد داده شده توسط سازنده با تفکیک‌پذیری[1] ۱۰ درجه (گرد شده به سمت بالا) باشد.

توصیه می‌شود دمای سکون استاندارد برای شدت تابش خورشیدی انتخاب شده $G_s$ و دمای محیط انتخاب شده $\vartheta_{as}$ تعیین شود.

دمای سکون استاندارد تعیین‌شده، در آزمون‌های زیر استفاده می‌شود:

- آزمون فشار داخلی کلکتورهایی با جذب‌کننده آلی (به بند ۶-۲ مراجعه شود)؛
- آزمون مقاومت در برابر دمای بالا با استفاده از چرخه سیال داغ[2] (به بند ۹-۲ مراجعه شود).

برای انواع مختلف کلکتورها، روش‌های متفاوتی برای تعیین دمای سکون استاندارد وجود دارد (جدول ۳).

**جدول ۳- راهنمای روش تعیین دمای سکون استاندارد**

| نوع کلکتور | | بند ۱۰-۲ | بند ۱۰-۳ |
|---|---|---|---|
| کلکتور صفحه تخت | جذب‌کننده غیر آلی | X | X |
| | جذب‌کننده آلی | X | X |
| کلکتور لوله خلاء | لوله گرمایی | X | X |
| | جریان مستقیم | X | X |

برای کلکتورهایی با جذب‌کننده‌های ساخته شده از مواد آلی، آزمون فشار داخلی در دمای سکون استاندارد انجام می‌شود.

## ۱۰-۲ اندازه‌گیری و برون‌یابی دمای سکون استاندارد

دمای سکون استاندارد $\vartheta_{stg}$، برای مقادیر انتخاب شده شدت تابش خورشیدی $G_s$ و دمای محیط $\vartheta_{as}$، با برون‌یابی از مقادیر حالت پایای اندازه‌گیری شدهٔ زیر به دست می‌آید:

- شدت تابش خورشیدی $G_m$ (طبیعی یا شبیه‌سازی‌شده) بر روی صفحه کلکتور؛
- دمای هوای محیط $\vartheta_{am}$؛
- دمای جذب‌کننده $\vartheta_{sm}$.

این آزمون، هنگامی‌که کلکتور در معرض شدت تابش خورشیدی و دمای محیط قرار می‌گیرد (در فضای باز یا در شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی) تحت شرایط حالت پایا بدون استخراج گرما از کلکتور (شرایط سکون)، انجام می‌شود.

1- Resulotion
2- Hot fluid loop



shaghool.ir

برای تعیین دمای سکون استاندارد، برای پارامترهای انتخاب شده ($G_s$ و $\vartheta_{as}$) از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$\vartheta_{stg} = \vartheta_{as} + \frac{G_s}{G_m}(\vartheta_{sm} - \vartheta_{am}) \quad (۱)$$

که بر اساس این تقریب است که نسبت $(\vartheta_{sm} - \vartheta_{am})/G_m$، تحت شرایط سکون حالت پایای کلکتور، ثابت می‌ماند.

این تقریب تنها در صورتی قابل‌قبول است که سطح شدت تابش ($G_m$) مورداستفاده در مدت آزمون، در بازه ٪ ۱۰ شدت تابش مشخص‌شده ($G_s$) برای شرایط سکون باشد.

برای کلکتورهای صفحه تخت، حس‌گر دما را باید در دوسوم ارتفاع و نصف عرض جذب‌کننده قرار داد. برای اطمینان از تماس حرارتی خوبی با جذب‌کننده این حس‌گر باید در موقعیتی به‌طور محکم ثابت شده باشد. حس‌گر باید از تابش خورشیدی محافظت شود.

بهتر است برای کلکتورهای لوله خلاء، حس‌گر دما در مکان مناسبی از کلکتور، مانند جایی که بالاترین دمای مربوط به سیال انتقال گرما را دارد، قرار داده شود. توصیه می‌شود این مکان به‌روشنی در نتایج آزمون شرح داده شود.

### ۱۰-۳ تعیین دمای سکون استاندارد با استفاده از پارامترهای بازده

از عملکرد حرارتی کلکتور گرمایشی مایع، برای محاسبه دمای سکون استاندارد آن استفاده می‌شود. اگر عملکرد حرارتی معلوم نباشد، باید با آزمون کلکتور آن را مشخص کرد.

بهتر است از معادله (۲)، برای بازده حرارتی لحظه‌ای کلکتور، برای تعیین دمای سکون استاندارد استفاده کرد:

$$\eta = \eta_0 - a_1 T_m^* - a_2 G \left(T_m^*\right)^2 \quad (۲)$$

لازم به ذکر است که اختلاف دمای کاهیده[1] $T_m^*$، بر مبنای دمای میانگین سیال انتقال گرما ($t_m$) تعریف می‌شود. بازده لحظه‌ای بر اساس سطح ناخالص $A$ است. ممکن است دو سری مختلف از اعداد ثابت $\eta_0$، $a_1$ و $a_2$ برای بیان بازده لحظه‌ای کلکتور، موجود باشد.

دمای سکون استاندارد برای مقادیر انتخاب شده شدت تابش خورشیدی $G_s$ و دمای محیط $\vartheta_{as}$، با استفاده از معادله (۳) محاسبه می‌شود:

$$\vartheta_{stg} = \vartheta_{as} + \frac{-a_1 + \left(a_1^2 + 4\eta_0 a_2 G_s\right)^{1/2}}{2a_2} + 20°C \quad (۳)$$

که می‌توان از هر سری موجود اعداد ثابت $\eta_0$، $a_1$ و $a_2$ استفاده کرد.

1- Reduced temperature difference



shaghool.ir

این روش بر مبنای برون‌یابی معادله بازده کلکتور نسبت به وضعیت سکون است؛ بنابراین ضروری است که فرمول بازده تا $\eta$ تقریبا صفر، معتبر باشد. برای اطمینان، بهتر است ارزیابی معادله بازده کلکتور، شامل داده‌های آزمون در مقادیر $T_m^*$ به سمت $T_{m,\text{stagnation}}^*$ باشد. اگر تمام داده‌های آزمون بازده در مقادیر $T_m^*$ کمتر از نصف $T_{m,\text{stagnation}}^*$، به دست آمده‌اند، بهتر است از بند ۱۰-۲ برای تعیین $\vartheta_{\text{stg}}$ استفاده کرد.

**یادآوری**- اندازه‌گیری‌های عملکرد، در سرعت بالاتر باد نسبت به شرایط سکون انجام می‌شود. برای جبران کردن اثر سرعت بالاتر باد، $^{o}C$ ۲۰ به فرمول اضافه شده است.

### ۱۰-۴ نتایج

نتایج اندازه‌گیری‌های سکون باید مطابق موارد الزام شده در بند الف-۶-۴ گزارش شود.

## ۱۱ آزمون نوردهی و پیش‌نوردهی

### ۱۱-۱ هدف

آزمون نوردهی، مراحل آزمونِ قابلیت اطمینان و کم‌هزینه‌ای را برای نشان دادن (شبیه‌سازی کردن) شرایط عملیاتی که به‌احتمال‌زیاد در طول کارکرد واقعی اتفاق می‌افتد، فراهم می‌کند. همچنین این آزمون به کلکتور امکان "استقرار[1]" می‌دهد، به‌طوری‌که آزمون‌های تائید کیفی بعدی به‌احتمال بیشتری نتایج تکرارپذیر بدهند. برای رسیدن به هدف دوم، مراحل آزمون پیش‌نوردهی[2]، با حدود نیمی از زمان آزمون کامل تعریف شده است. هرکدام از این دو آزمون که باید یا می‌تواند قبل از آزمون کیفی خاص اعمال شود در جدول ۱ توضیح داده شده است.

### ۱۱-۲ دستگاه و روش اجرا

کلکتور باید در فضای باز نصب شود، اما خالی از سیال باشد (در مورد کلکتور گرمایشی مایع)، مگر اینکه، از کنترل‌هایی برای مدیریت هر دو وضعیت عدم جریان و دمای بالا مطابق دستورالعمل‌های سازنده استفاده شود. در این مورد، کلکتورها باید با سیال انتقال گرما پر و چنین کنترل‌هایی ارزیابی شوند. گونه‌هایی از کلکتور که شامل محفظه آب‌بندی‌شده توسط سازنده است و با یک مبرد یا سیال دیگری پر می‌شود که برای جمع‌آوری گرما به کار برده می‌شوند، باید بدون جریان سیال انتقال گرما در بین آن‌ها آزمون شوند مگر اینکه از کنترل‌هایی برای محافظت از بیش‌دمایی[3] استفاده شود. در مورد کلکتور گرمایشی مایع، تمام لوله‌های سیال باید برای جلوگیری از سرمایش ناشی از گردش طبیعی هوا درزبندی شوند. در مورد گرمکن‌های خورشیدی هوا، همهٔ لوله‌های سیال باید درزبندی شود. یکی از آن‌ها؛ باید برای امکان انبساط آزادانه هوا در جذب‌کننده، باز نگه داشته شود. کارکرد تمام اجزا و زیرمجموعه‌ها، همان‌طوری که توسط

1- Settle
2- Pre-exposure test
3- Over temperature protection



shaghool.ir

سازنده طراحی شده و در دفترچه راهنما شرح داده شده است، باید برای عملکرد در طول دوره آزمون نوردهی، تائید شوند. اگر کلکتور سامانه‌های فعالی برای محافظت از خود داشته باشد، باید این‌گونه محافظت‌ها فعال شوند و در طول آزمون نوردهی مشغول کار باشند.

دمای هوای محیط باید با عدم قطعیت استاندارد ۱ K و شدت تابش کل بر روی صفحه کلکتور، با استفاده از پیرانومتر رده I یا بهتر مطابق با استاندارد ISO9060، ثبت شود. پرتوگیری[1] (تابش کل) و میانگین مقادیر دمای هوا باید هر ۵ دقیقه ثبت شود. کلکتور تا زمانی که شرایط آزمون برقرار شود، باید در شرایط آزمون نوردهی باشد.

کلکتورها باید حداقل یک‌بار در هفته مورد بازبینی چشمی قرار گیرند و هرگونه علائم آسیب‌دیدگی طبق بند ۱۱-۴ یا تغییر در ظاهر فیزیکی، ثبت شده و با نتایج آزمون گزارش شود.

هنگام آزمون کلکتورهای بدون شیشه و فاقد عایق‌کاری پشتی، کلکتور باید برای بالا بردن دماهای بیشینه در بدترین وضعیت، بر روی سطحی تیره ($\alpha > ۸۰\ \%$) نصب شود.

### ۱۱-۳ شرایط آزمون

مجموعه شرایط مرجع ارائه شده در جدول ۴ باید مورداستفاده قرار گیرد. رده‌ای که کلکتور باید بر مبنای آن آزمون شود توسط سازنده کلکتور تعریف شده است.

کلکتور باید حداقل به مدت ۳۰ روز (یا ۱۵ روز برای آزمون پیش‌نوردهی) و با کمینه سطح تابش کل $H$ تعیین شده در جدول ۴، در شرایط آزمون قرار گیرد. تابش کل با ثبت اندازه‌گیری‌های شدت تابش با استفاده از پیرانومتر، تعیین می‌شود.

همچنین اگر دمای هوای محیط بیشتر از مقدار نشان داده شده در جدول ۴ باشد و یا شرایطی برقرار باشد که منجر به دمایِ کلکتورِ مطابق بند ۱۰ شود، در این صورت کلکتور باید حداقل ۳۰ ساعت (۱۵ ساعت برای آزمون پیش‌نوردهی) در کمینه سطح شدت تابش $G$ ارائه شده در جدول ۴ که توسط پیرانومتر ثبت می‌شود، در شرایط آزمون قرار گیرد. این ساعات باید متشکل از دوره‌های حداقل ۳۰ دقیقه‌ای باشد.

آزمون فضای بسته نوردهی با استفاده از شبیه‌ساز خورشیدی ممکن است برای رسیدن به ۳۰ یا ۱۵ ساعت و/یا تابش کل در فضای باز زمانی که به ۳۰ یا ۱۵ روز رسیده باشد، به کار رود. دوره‌های بیشتر از ۸ ساعت، توصیه نمی‌شود. اگر یک دوره بیشتر از ۸ ساعت شد، فقط ۸ ساعت آن در نظر گرفته شود. حداقل باید ۴ ساعت بین هر دو دوره وجود داشته باشد تا کلکتور خنک شده و دمای آن به دمای محیط نزدیک شود.

1- Irradiation



shaghool.ir

**جدول ۴- شرایط مرجع اقلیمی برای آزمون نوردهی و نیز برای آزمون‌های شوک حرارتی داخلی و خارجی**

| پارامتر اقلیم | مقدار رده اقلیمی | | |
|---|---|---|---|
| | رده C معتدل | رده B آفتابی | رده A خیلی آفتابی |
| شدت تابش نیمکره‌ای خورشیدی بر روی صفحه کلکتور در مدت حداقل ۳۰ ساعت (یا ۱۵ ساعت برای آزمون پیش‌نوردهی) $G$ (W/m$^2$) / کمینه دمای محیط $\vartheta_a$(°C) | ۸۰۰/۱۰ | ۹۰۰/۱۵ | ۱۰۰۰/۲۰ |
| تابش کل خورشیدی بر روی صفحه کلکتور برای آزمون نوردهی به مدت حداقل ۳۰ روز، $H$ (MJ/m$^2$) | ۴۲۰ | ۵۴۰ | ۶۰۰ |
| تابش کل خورشیدی بر روی صفحه کلکتور برای مراحل مختلف انجام آزمون پیش‌نوردهی به مدت حداقل ۱۵ روز، $H$ (MJ/m$^2$) | ۲۱۰ | ۲۷۰ | ۳۰۰ |
| مقادیر داده شده، حداقل مقادیر آزمون می‌باشند. باید از رده یکسانی برای مقادیر شدت تابش و تابش کل استفاده شود. | | | |

### ۱۱-۳-۱ شرایط آزمون اضافی برای کنترل‌های فعال و غیرفعال

سازنده باید تمام کنترل‌های فعال و غیرفعال، مانند موتورها، عملگرها، کنترلرها یا دیگر اجزایی را که در کلکتور برای اهداف حفاظتی تعبیه شده‌اند، مشخص کند. سازنده باید به آزمایشگاه‌ها، پارامترها و نقاط کنترلی مرجع را به‌منظور تأیید عملکرد مناسب کلکتور در طول شرایط کاری عادی که در آن اتفاقاتی مانند بیش‌دمایی، باد و غیره می‌تواند بر طول عمر و عملکرد کلکتور اثر بگذارد، ارائه دهد.

آزمایشگاه باید چرخه آزمونی را طراحی کند که در آن بتواند، تمام کنترل‌های فعال و/یا غیرفعالی (اگر وجود دارند) که برای ادامه فعالیت صحیح کلکتور ضروری هستند، در طول آزمون نوردهی تأیید کند. عملکرد آن‌ها باید از نظر کارکردی اعتبارسنجی شود به‌نحوی‌که هر خرابی را بتوان تشخیص داد. چرخه آزمون باید شامل ثبت همه وقایع، قطع برق و اختلال در حرکت مکانیزم ردیاب (اگر وجود دارد) باشد. آزمایشگاه باید رفتار کلکتور و توانایی کلکتور در رفع (یا عدم رفع) چنین اتفاقاتی را بررسی کند.

اگر در هنگام انجام آزمون، سیال در جریان بوده باشد در گزارش آزمون باید مشخصات نرخ جریان، دمای سیال و مدت جریان، ارائه شود.

### ۱۱-۴ نتایج

نتایج بازبینی باید مطابق با موارد الزام شده در بند الف-۷ گزارش شوند.

## ۱۲ آزمون شوک حرارتی خارجی

### ۱۲-۱ هدف

کلکتورها ممکن است در بعضی مواقع، در معرض رگبارهای ناگهانی در روزهای خیلی گرم آفتابی قرار گیرند که موجب ایجاد شوک حرارتی خارجی شدیدی می‌شود. این آزمون به‌منظور ارزیابی توانایی تحمل کلکتور در برابر چنین شوک‌های حرارتی، بدون ایجاد هرگونه خرابی می‌باشد.



shaghool.ir

### ۱۲-۲ دستگاه و روش اجرا

کلکتور باید در فضای باز یا در شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی نصب شود. کلکتورهای گرمایشی مایع نباید از سیال پر شوند. در مورد کلکتور گرمایشی مایع، تمام لوله‌های سیال باید برای جلوگیری از سرمایش ناشی از گردش طبیعی هوا درزبندی شوند. در مورد گرمکن‌های خورشیدی هوا باید تمام لوله‌های سیال آن‌ها درزبندی شوند، به‌جز یکی از آن‌ها که برای امکان انبساط آزادانه هوا در جذب‌کننده، باز نگه داشته می‌شود. در مورد کلکتور گرمایشی هوا، ورودی و خروجی باید در برابر نفوذ آب مقاوم باشند.

تعدادی آبفشان[1]، باید برای فراهم کردن پاشش یکنواخت آب، در بالای سطح جلویی کلکتور قرار داده شود.

کلکتور باید پیش از آغاز پاشش آب به مدت یک ساعت، در معرض شرایط اقلیمی مطابق جدول ۴ (سازنده رده را مشخص کرده است) قرار گیرد. سپس با پاشش آب به مدت ۱۵ دقیقه خنک می‌شود و بعد از آن بازبینی صورت می‌گیرد.

کلکتور باید در معرض دو شوک حرارتی خارجی قرار گیرد.

### ۱۲-۳ شرایط آزمون

از مجموعه شرایط مرجع ارائه شده در جدول ۴ باید استفاده شود. شرایط کاری مشخص شده باید:

- شدت تابش خورشیدی (یا خورشیدی شبیه‌سازی‌شده) $G$ بزرگ‌تر از مقدار ارائه شده در جدول ۴؛
- دمای هوای محیط $\vartheta_a$ بیشتر از مقدار ارائه شده در جدول ۴؛

یا شرایطی که منجر به دمایِ کلکتورِ مشابه بند ۱۰ شوند، باشند.

دمای پاشش آب باید کمتر از $25\ ^{o}C$ و نرخ جریان آب در گستره $0{,}03\ kg/s$ تا $0{,}05\ kg/s$ در هر مترمربع از سطح ناخالص کلکتور باشد.

اگر احتمال آن می رود که دمای آبی که ابتدا کلکتور را خنک می‌کند از $25\ ^{o}C$ بیشتر باشد (به‌طور مثال اگر آب داخل لوله مدتی در معرض آفتاب بوده باشد)، باید قبل از ارسال آن به کلکتور و برای رسیدن به دمای کمتر از $25\ ^{o}C$، از مسیر دیگری عبور داد.

### ۱۲-۴ نتایج

نتایج باید مطابق با موارد الزام شده در بند الف-۸ گزارش شوند.

## ۱۳ آزمون شوک حرارتی داخلی

### ۱۳-۱ هدف

در بعضی مواقع، به‌طور مثال پس از یک دوره عدم کارکرد[2]، زمانی که تجهیزات مجددا به کار گرفته می‌شوند و کلکتور هنوز در دمای سکون خود است، ممکن است کلکتور در معرض ورود ناگهانی سیال سرد[3]

1- Array of water jets
2- A period of shutdown
3- Sudden intake of cold heat transfer fluid



shaghool.ir

در روزهای خیلی گرم آفتابی قرار گیرد که موجب بروز شوک حرارتی داخلی شدید می‌شود. این آزمون به‌منظور ارزیابی توانایی تحمل کلکتور در برابر چنین شوک‌های حرارتی، بدون ایجاد هرگونه خرابی است.

### ۱۳-۲ دستگاه و روش اجرا

کلکتور باید در فضای باز یا در شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی نصب شود. کلکتورهای گرمایشی مایع نباید از سیال پر شوند. یکی از لوله‌های سیال باید از طریق یک شیر قطع‌کننده به منبع سیال انتقال گرما متصل شده و دیگری ابتدا باز نگه داشته می‌شود تا امکان انبساط آزادانه هوا در جذب‌کننده وجود داشته باشد و همچنین سیال انتقال گرما از جذب‌کننده خارج شود (و جمع‌آوری گردد). اگر کلکتور بیش از دو محل اتصال سیال[1] داشته باشد، مابقی محل‌های اتصال[2] باید به‌گونه‌ای بسته شوند که الگوی جریان طراحی شده را درون کلکتور تامین نمایند.

کلکتور باید به مدت یک ساعت در معرض شرایط اقلیمی مطابق جدول ۴ (سازنده، رده را مشخص کرده است) قرار گیرد و سپس توسط سیال انتقال گرما به مدت حداقل ۵ دقیقه خنک شود.

کلکتور باید در معرض دو شوک حرارتی داخلی قرار گیرد.

این آزمون برای بخش‌هایی از کلکتور که توسط سازنده آب‌بندی شده است و همچنین برای کلکتورهایی که در آن، سیال انتقال گرما برای اهداف محافظتی به‌طور مستمر جریان دارد، قابل‌استفاده نیست. در چنین مواردی، کنترل‌هایی که برای مدیریت وضعیت عدم جریان به کار می‌رود باید از نظر عملکردی و اینکه هرگونه آسیبی قابل‌تشخیص است، تایید شوند.

### ۱۳-۳ شرایط آزمون

جدول ۴ باید استفاده شود. شرایط کاری مشخص شده باید:

- شدت تابش خورشیدی (یا خورشیدی شبیه‌سازی‌شده) $G$ بزرگ‌تر از مقدار ارائه شده در جدول ۴؛
- دمای هوای محیط $\vartheta_a$ ، بزرگ‌تر از مقدار ارائه شده در جدول ۴؛

یا شرایطی که منجر به همان دمایِ کلکتورِ مطابق بند ۱۰ شود، باشند.

در مورد کلکتور گرمایشی مایع، سیال انتقال گرما باید دمایی کمتر از $25^{o}C$ داشته باشد. نرخ جریان سیال باید برابر با بیشینه نرخ جریان آزمون عملکرد حرارتی و حداقل $0{,}02\ kg/s$ در هر مترمربع از سطح ناخالص کلکتور، باشد (مگر اینکه سازنده شرایط دیگری را مشخص کرده باشد). در مورد کلکتور گرمایشی هوا، سیال انتقال گرما باید در دمای محیط یا کمتر از آن بوده و نرخ جریان، باید برابر با بیشینه نرخ جریان توصیه شده توسط سازنده باشد.

### ۱۳-۴ نتایج

نتایج باید مطابق با موارد الزام شده در بند الف-۹ گزارش شوند.

1- Two fluid pipes
2- Opening



shaghool.ir

## ۱۴ آزمون نفوذ باران

### ۱-۱۴ هدف

این آزمون فقط برای کلکتورهای شیشه‌ای قابل‌استفاده بوده و به‌منظور ارزیابی میزان مقاومت کلکتورهای شیشه‌ای در برابر نفوذ باران است. کلکتورها باید در حالت عادی اجازه ورود باران آرام یا شدید[1] را ندهند. کلکتورها ممکن است دارای سوراخ‌های تخلیه و تهویه باشند، اما نباید به آب ناشی از باران اجازه ورود دهند. توصیه می‌شود هنگامِ آزمون کلکتور متمرکزکننده، روش اجرایی متناظر با آن انجام شود.

### ۲-۱۴ دستگاه و روش اجرا

کلکتور باید روی میز آزمون و با کمترین زاویه نسبت به افق که سازنده توصیه کرده است، نصب شود. اگر این زاویه مشخص نباشد، کلکتور باید با شیب $۳۰^{o}$ نسبت به افق قرار گیرد (به شکل ۲ مراجعه شود). کلکتورهایی که به‌عنوان بخشی از سازه بام طراحی شده‌اند باید در بام شبیه‌سازی‌شده نصب شوند و وجه پایینی آن‌ها پوشش‌دار باشد. سایر کلکتورها باید به روش متداول بر روی چارچوب باز یا بام شبیه‌سازی‌شده نصب شوند.

دمای آب اسپری شده بر روی کلکتور باید کمتر از $^{o}C$ ۳۰ باشد. مدت‌زمان فرآیند پاشش باید حداقل ۴ ساعت باشد. در طول فرآیند پاشش، جذب‌کننده باید گرم نگه داشته شود. این کار باید با گردش سیال داغ در دمای $۵۵^{o}C$ ($\pm ۵K$) از طریق جذب‌کننده انجام شود.

اگر تشخیص ورود آب در بازبینی نهایی صورت می‌گیرد (بند ۱۸)، کلکتور باید برای آزمون نفوذ باران و برای حداقل ۴ ساعت بعد از خاتمه پاشش، بدون گرم کردن جذب‌کننده، در میز آزمون نگه داشته شود. بعدازاین تا زمانی که تشخیص ورود آب انجام شود، کلکتور باید به روشی که نتایج تحت تأثیر قرار نگیرد، نگه‌داری شود. تشخیص ورود آب در مرحله بازبینی نهایی باید حداقل ۴ ساعت و حداکثر ۴۸ ساعت بعد از پایان پاشش انجام شود. اگر روش وزنی انتخاب شده باشد، کلکتور باید بین ۴ تا ۵ ساعت بعد از فرآیند پاشش، وزن شود. بهتر است از جابجایی غیرضروری کلکتور جلوگیری شود.

در مورد آزمون نفوذ باران در فضای باز، توصیه می‌شود برای نگه‌داشتن دمای جذب‌کننده در حدود $۵۵^{o}C$، کلکتور در زیر سایه‌بان قرار داده شود.

نفوذ آب درون کلکتور باید با بازبینی نهایی یا وزن کردن کلکتور تعیین شود.

اگر روش وزنی منجر به قضاوت اشتباه شود، بازبینی نهایی باید برای ارزیابی نهایی نتیجه، انجام شود.

اگر روش وزنی انتخاب شده باشد، کلکتور باید پیش از شروع آزمون، سه بار متوالی بر روی ترازو قرار داده شود. اختلاف سه وزن نباید بیشتر از $\pm ۵g/m^2$ سطح ناخالص کلکتور باشد. پس از پایان فرآیند پاشش، باید دوباره کلکتور سه بار متوالی وزن شود. باز هم اختلاف سه وزن نباید بیشتر از $\pm ۵g/m^2$ سطح ناخالص

1- Free-falling rain or driving rain



shaghool.ir

کلکتور باشد. مقدار آب نفوذ کرده باید کمتر از $۳۰ g/m^2$ سطح ناخالص کلکتور باشد. عدم قطعیت استاندارد ترازو باید بهتر از $۵ g/m^2$ سطح ناخالص کلکتور باشد.

در حین بازبینی نهایی (مطابق بند ۱۸)، کلکتور باید با تمرکز بر معیارهای زیر، بازبینی شود:

- آب درون قاب[1]؛
- عایق‌کاری رطوبتی (با فشردن عایق، بیش از ۱۰ ml بیرون می‌آید)؛
- رد و اثر مشخص حرکت رو به پایین قطرات آب (در پوشش، جذب‌کننده و قاب).

هنگام آزمون کلکتورهای لوله خلاء، بهتر است اتصالات ثابت لوله‌های خلاء، اگر امکان تخلیه آب در آن‌ها وجود دارد، بررسی شود.

در روش وزنی ضروری است سطح بیرونی کلکتور قبل و بعد از فرآیند پاشش، خشک و تمیز شود. اگر از کمپرسور باد استفاده می‌شود، بهتر است این کار به روشی انجام شود که آب را به درون یا بیرون قاب کلکتور انتقال ندهد.

## ۱۴-۳ شرایط آزمون

فشار آب باید در ۳۰۰kPa (±۵۰kPa) ثابت نگه داشته شود. الزامات مشخصات نوک افشانه‌ها عبارتند از:

- نرخ نازل‌های افشانه‌ای تمام مخروطی؛
- نرخ جریان جرمی ۲ kg/min (±۰٫۵ kg/min) برای هر نازل؛
- زاویه افشانه $۶۰^{o} \pm ۵^{o}$.

اگر اندازه قطره در برگه مشخصات نازل افشانه مشخص باشد، بهتر است حداقل ۱۵۰ µm باشد.

موقعیت‌دهی نازل‌های افشانه باید مطابق شکل ۲ باشد، یعنی:

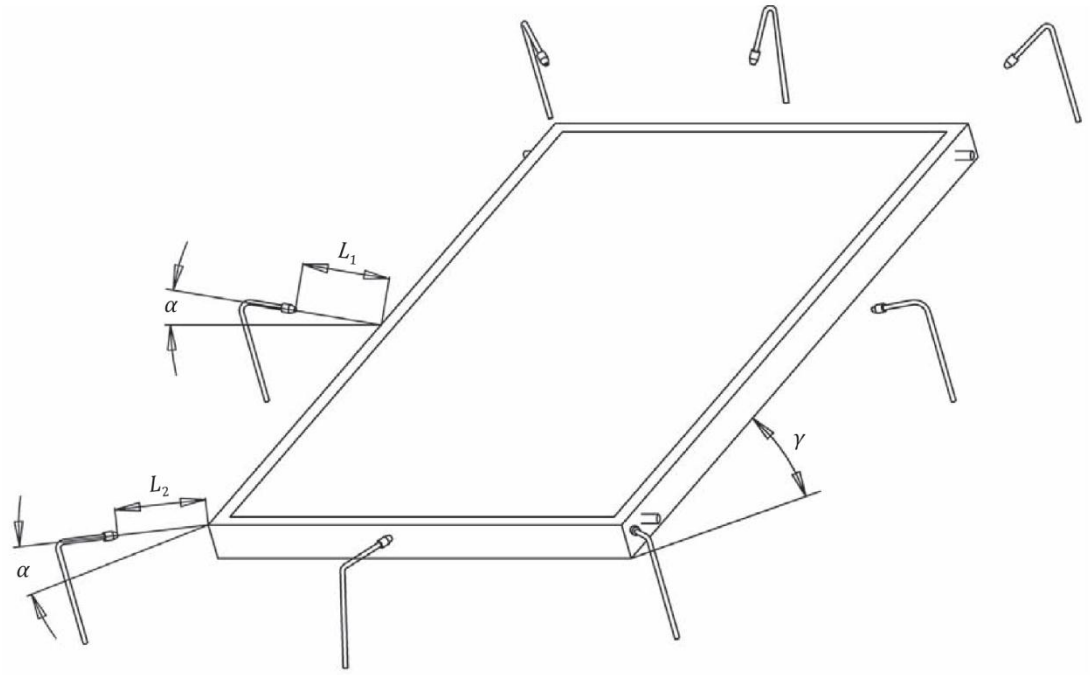
- باید در هر گوشه بدنه، مستقیما پاشش انجام شود؛
- بهتر است پاشش در سطوح نمایش داده شده در شکل‌های ۳ و ۴ انجام شود؛
- اگر فاصله نازل‌های موجود در گوشه نسبت به هم بیشتر از ۱۵۰ cm باشد، باید نوک افشانه‌ها نیز در کناره کلکتور قرار داده شوند؛
- نازل افشانه‌ها باید با زاویه $۳۰^{o}$ ($\pm ۵^{o}$) نسبت به صفحه کلکتور قرار گیرند؛
- نوک افشانه‌ها باید در فاصله ۲۵۰ mm (±۵۰mm) از گوشه‌ها و ۲۵۰mm تا ۴۰۰mm از کناره‌های کلکتور قرار گیرند (به شکل ۲ مراجعه شود)؛
- بیشترین فاصله بین دو نازل باید ۱۵۰ cm باشد.

برای پاشش بر تیرک‌های میانی بهتر است از نوک‌های (نازل‌های) پاششی بالایی و با فاصله ۴۰۰ mm تا ۶۰۰mm انجام شود. در این حالت زاویه $۳۰^{o}$ لازم نیست.

1- Casing



shaghool.ir




**راهنما:**

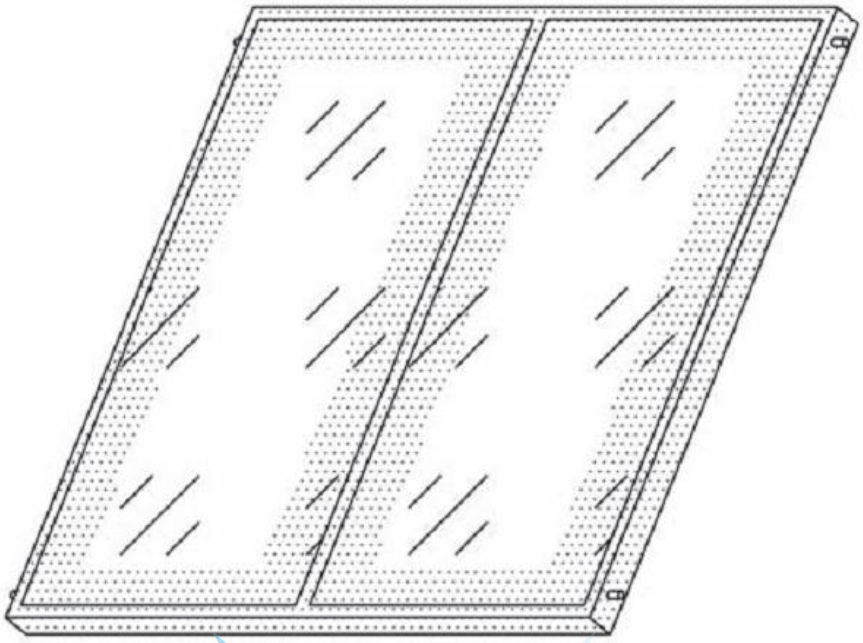
$L_1$ ۲۵۰mm تا ۴۰۰mm

$L_2$ ۲۵۰ mm

α زاویه $30^{\circ}$ نازل افشانه نسبت به سطح کلکتور

γ کمترین زاویه شیب نسبت به افق توصیه شده توسط سازنده، اگر این زاویه مشخص نشده است از ۳۰ درجه استفاده کنید.

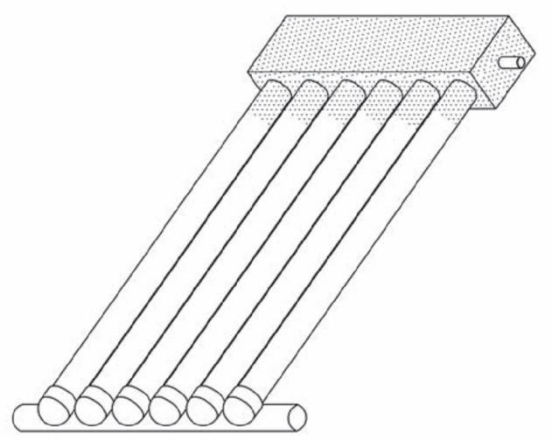
**شکل ۲- موقعیت کلکتور و نازل‌های افشانه برای آزمون نفوذ باران**



**شکل ۳- سطوح پاشش در کلکتورهای صفحه تخت (به همراه تیرک میانی)**



shaghool.ir



**شکل ۴- سطوح پاشش در کلکتورهای لوله خلاء**

### ۴-۱۴ نتایج

نتایج باید مطابق با موارد الزام شده در بند الف-۱۰ گزارش شوند.

## ۱۵ آزمون مقاومت در برابر یخزدگی

### ۱-۱۵ هدف

این آزمون در مورد کلکتورهایی که در دفترچه راهنمای نصب آن‌ها به‌صراحت گفته شده که می‌تواند تنها با سیال ضدیخ یا هوا کار کنند، کاربرد ندارد. همچنین این آزمون وقتی‌که از روش‌های ویژه‌ای به‌عنوان مثال الگوی ضدانجماد، برای جلوگیری از یخزدگی آب در چرخه همیشه پر کلکتور، استفاده شده است، کاربرد ندارد، مگر اینکه از مایعات دیگری با ریسک یخزدگی استفاده شده باشد به‌عنوان مثال در بیشتر لوله‌های گرمایی.

دو روش اجرا برای آزمون توصیه می‌شود:

- یک روش برای کلکتورهایی که ادعا می‌شود هنگامی‌که با آب پر می‌شوند در برابر یخزدگی مقاوم هستند و
- روش دیگر برای کلکتورهایی که ادعا می‌شود پس از تخلیه، در برابر یخزدگی مقاوم هستند.

### ۲-۱۵ دستگاه و روش اجرا

#### ۱-۲-۱۵ کلیات

کلکتور باید در یک اتاقک سرد[1] نصب شود. کلکتور باید به درستی قرار داده شده و کاملا مهار شود و زاویه شیب آن نسبت به افق باید در کمترین زاویه‌ای که سازنده توصیه کرده است، تنظیم شود. اگر سازنده زاویه‌ای را مشخص نکرده باشد زاویه شیب کلکتور با افق باید در $۳۰^{o}$ تنظیم شود. کلکتورهای بدون شیشه باید در موقعیت افقی آزمون شوند مگر آنکه سازنده این کار را منع کرده باشد.

1- Cold chamber



shaghool.ir

### ۱۵-۲-۲ کلکتورهای مقاوم در برابر یخ‌زدگی

کلکتور باید در فشار کاری با آب پر شود. دمای اتاقک سرد، باید به‌طور چرخه‌ای تغییر کند و در پایان هر چرخه، کلکتور باید مجددا در فشار کاری با آب پر شود. دمای آب در سراسر آزمون باید مورد پایش قرار گیرد.

### ۱۵-۲-۳ کلکتورهای محافظت شده از طریق تخلیه

کلکتور باید با آب پرشده، در فشار کاری به مدت ۱۰ دقیقه نگه داشته شود و آنگاه با استفاده از وسیله‌ای که سازنده نصب کرده است تخلیه شود. اگر ۵ دقیقه بعد از شروع فرآیند تخلیه، مقدار آب تخلیه شده از کلکتور، تقریبا برابر ٪ ۹۵ کل آب ریخته شده در کلکتور باشد، آزمون در اتاقک سرد لازم نیست. دما باید در داخل جذب‌کننده در نزدیکی ورودی، اندازه‌گیری شود. پس از آخرین چرخه[1]، کلکتور باید مجددا با آب در فشار کاری پر شود.

## ۱۵-۳ شرایط آزمون

آب موجود در جذب‌کننده یا لوله گرمایی باید در بخش یخ‌زدگی چرخه به مدت حداقل ۳۰ دقیقه در دمای $^{o}C$ (۲۰±-۲۰) نگه داشته شده و در بخش آب شدن یخ[2] چرخه تا دمای $^{o}C$ ۱۰ افزایش یابد. مدت بخش آب شدن یخ باید حداقل ۳۰ دقیقه باشد.

کلکتور باید در معرض سه چرخه یخ‌زدگی – آب شدن یخ قرار گیرد.

## ۱۵-۴ نتایج

نتایج باید مطابق با موارد الزام شده در بند الف-۱۱ گزارش شوند.

# ۱۶ آزمون بار مکانیکی با فشار مثبت یا منفی

## ۱۶-۱ هدف

آزمون بار مکانیکی با فشار مثبت، برای ارزیابی میزان مقاومت پوشش شفاف کلکتور، قاب (جعبه) کلکتور[3]، و اتصالات آن در برابر بار فشارِ مثبتِ به وجود آمده به علت اثر باد و برف، در نظر گرفته شده است.

آزمون بار مکانیکی با فشار منفی برای ارزیابی تغییرشکل و میزان مقاومت قاب کلکتور و ارتباط سازه‌ای بین پوشش کلکتور، قاب کلکتور و پایه کلکتور، در برابر نیروهای بالابرنده ناشی از باد، در نظر گرفته شده است.

## ۱۶-۲ دستگاه و روش اجرا

### ۱۶-۲-۱ آزمون بار مکانیکی با فشار مثبت

1- Last cycle
2- Thawing
3- Collector box



shaghool.ir

برای آزمون بار مکانیکی با فشار مثبت، کلکتور باید با استفاده از تجهیزات پیشنهادی سازنده برای نصب، بر روی سطحی موازی زمین، مهار شود. ممکن است روش‌های مختلفی برای اعمال بار به کلکتور استفاده شود. اگر از وزنه، برای اعمال بار استفاده می‌شود، کلکتور باید افقی قرار گیرد.

**یادآوری**- تجهیزات نصب کلکتور، تجهیزاتی برای اتصال پایه کلکتور به چارچوب پشتیبان[1] دارد (مانند قلاب و گیره‌های سقف). اتصالات پایه کلکتور تجهیزاتی برای بستن قاب/ چارچوب کلکتور به تجهیزات پایه کلکتور دارد (مانند پیچ‌ها و گیره‌ها).

- استفاده از یک ورقه[2] و سنگریزه یا آب

بر روی کلکتور باید ورقه کشیده شده و بر روی چارچوب کلکتور، باید چارچوبی چوبی یا فلزی قرار داد و ارتفاع آن برای قرارگیری مقادیر لازم سنگریزه یا مواد مشابه به‌اندازه کافی بلند باشد. سنگریزه، ترجیحا نوع ۲mm تا ۳۲ mm، باید وزن شده (در مقادیر مشخص) و سپس روی چارچوب به نحوی پخش شود که همه جای آن دارای بار یکسانی باشد (به خمش شیشه توجه کنید) تا بدین ترتیب ارتفاع مطلوب حاصل گردد.

- استفاده از پیاله‌های مکشی

آزمون با استفاده از پیاله‌های مکشی نیز قابل انجام است. توزیع پیاله‌های مکشی روی سطح کلکتور باید تا حد امکان به‌صورت یکنواخت باشد. پیاله‌های مکشی نباید از جابجایی پوشش کلکتور در اثر بار مکانیکی، جلوگیری کنند.

- استفاده از فشار هوا بر روی پوشش کلکتور

اگر آب‌بندی نسبت به محیط اطراف ضروری باشد، آب‌بندی نباید درهرحال از جابجایی پوشش کلکتور در اثر بار جلوگیری کند.

### ۱۶-۲-۲ آزمون بار مکانیکی با فشار منفی

برای آزمون بار مکانیکی با فشار منفی، کلکتور می‌تواند افقی قرارگرفته و باید از تجهیزات اصلی پیشنهادی سازنده برای نصب، استفاده کرد. ممکن است از روش‌های مختلفی برای اعمال بار به کلکتور استفاده شود.
نیروی بالابرنده که معادل بار فشار منفی مشخص شده است، باید به‌صورت یکنواخت بر روی پوشش یا لوله‌ها وارد شود. اگر در فشار نهایی، پوشش شل نشده یا هرگونه آسیب دیگری که می‌تواند به‌عنوان عیب عمده تعریف شود، رخ ندهد، در این صورت فشار ممکن است تا ایجاد آسیب، همچنان گام‌به‌گام بالا رود. زمان بین هر گام فشاری، باید زمان موردنیاز برای تثبیت فشار، باشد.

- روش الف: بار ممکن است با استفاده از مجموعه‌ای از پیاله‌های مکشی با توزیع یکنواخت، به پوشش کلکتور وارد شود.

1- Supporting framework
2- Foil



shaghool.ir

- روش ب: برای کلکتورهایی که قابِ کلکتور آن‌ها تقریبا هوابندی شده است، ممکن است روشی که در ادامه می‌آید، برای ایجاد فشار منفی در پوشش استفاده شود. دو سوراخ در قاب کلکتور در فاصله هوایی بین پوشش کلکتور و جذب‌کننده ایجاد شده و منبع هوا و فشارسنج از طریق این دو سوراخ به کلکتور متصل می‌شوند. فشار منفی در پوشش، با ورود هوای فشرده، به داخل قاب کلکتور ایجاد می‌شود. به دلایل ایمنی، کلکتور باید در جعبه شفاف قرار گیرد تا پرسنل، در صورت بروز شکستگی در طول این آزمون، محافظت شوند.
- روش پ: برای کلکتورهای با لوله خلاء می‌توان از طناب، تسمه یا تجهیزات مناسب برای توزیع نیرو در طول لوله‌ها استفاده کرد.
- روش ت: برای کلکتورهای با لوله خلاء و صفحه تخت، می‌توان روش مطابق با استاندارد ASTM E330-02 را که از فشار هوا استفاده می‌کند، انجام داد.

وقتی مجموعه آب‌بندی یا درزبندی‌ها[1] که بخش جدایی‌ناپذیری از کلکتور هستند، به هر نحوی مقاومت در بالابرنده ایجاد کنند، بهتر است در آزمون در نظر گرفته شوند.

### ۱۶-۲-۳ مشخصات ویژه برای کلکتورهای متمرکزکننده

چون کلکتورهای متمرکزکننده شکل‌های هندسی مختلفی دارند، آزمایشگاه مجری آزمون، ممکن است روش‌های مناسب و مخصوصی را برای انجام آزمون مقاومت در برابر بار مکانیکی، طراحی کند. این شرایط و روش اجرای انجام شده باید به‌روشنی به همراه نتایج آزمون، شرح داده شوند. وقتی مطابق دستورالعمل‌های سازنده، کنترل‌هایی برای حفاظت از کلکتور در برابر بار برف یا باد[2] وجود دارد، باید در صورت امکان عملکردهای کنترلی، بررسی شده و باید آن‌ها در برابر وقوع خرابی‌هایی که مربوط به عملکرد معمول کلکتور است، مقاومت نشان دهند.

## ۱۶-۳ شرایط آزمون

فشار آزمون باید ۲۴۰۰ Pa (مثبت و منفی) یا مطابق نظر سازنده باشد. مساحت مرجع مورد استفاده، سطح ناخالص کلکتور است.

بهتر است تغییر شکل دائمی[3] به مقدار بار تخصیص داده شود. به‌عبارت‌دیگر، بعد از هر افزایش موقتی بار، بار کاملا برداشته شده و سپس تغییر شکل، اندازه‌گیری شده و با مرحله شروع آزمون مقایسه شود.

## ۱۶-۴ نتایج

نتایج باید مطابق با موارد الزام شده در بند الف-۱۲ گزارش شوند.

1- Flashings or sealing kits
2- Wind or snow load
3- Permanent deformation



shaghool.ir

## ۱۷ آزمون مقاومت در برابر ضربه

### ۱۷-۱ هدف

این آزمون به‌منظور ارزیابی میزان تحمل کلکتور در برابر اثرات ضربه‌های ناشی از تگرگ می‌باشد.

### ۱۷-۲ روش آزمون

دو روش آزمون وجود دارد. در روش اول از گلوله‌های[1] یخی و در روش دوم از گلوله‌های فولادی استفاده می‌شود. روش آزمون مورداستفاده باید توسط سازنده انتخاب شود.

روش آزمون شامل اعمال یک سری از مجموعه ساچمه‌ها[2] روی کلکتور است. هر مجموعه ساچمه، از ۴ ساچمه با شدت ضربه[3] یکسان، تشکیل شده است. برای گلوله‌های یخی، شدت ضربه ساچمه با توجه به قطر و سرعت آن، مطابق جدول ۵، تعیین می‌شود. برای گلوله‌های فولادی، شدت ضربه ساچمه با توجه به ارتفاع سقوط آن، مطابق بند ۱۷-۵، تعیین می‌شود.

باید یک سری از مجموعه ساچمه‌ها به ترتیب افزایش شدت ضربه گلوله‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

برای اولین مجموعه ساچمه، کوچک‌ترین قطر گلوله یخی مشخص شده توسط سازنده یا کمترین ارتفاع سقوط برای گلوله فولادی که توسط سازنده مشخص شده است باید استفاده شود.

آخرین مجموعه ساچمه باید با بزرگ‌ترین قطر گلوله یخی یا بالاترین ارتفاع سقوط گلوله فولادی که توسط سازنده مشخص شده است باشد، مگر اینکه کلکتور قبل از انجام این بخش از آزمون، آسیب دیده باشد.

مکان ضربه‌ها باید مطابق بند ۱۷-۳ انتخاب شود. برای هر مکان ضربه، نقطه ضربه باید از تمام نقاط ضربه قبلی چند میلی‌متر جابه‌جا شود، درحالی‌که راستای ساچمه، بر سطح کلکتور در این مکان، عمود باقی می‌ماند.

برای کلکتورهای با لوله خلاء، از قاعده‌ای که در ادامه می‌آید استفاده می‌شود: اگر لوله‌ای شکسته شد، آزمون باید با لوله دوم انجام شود. اگر این لوله هم شکست، آزمون مردود شناخته می‌شود.

### ۱۷-۳ مکان ضربه

الف- کلکتورهای صفحه تخت شیشه‌ای

مکان نقاط ضربه باید در فاصله ۷۵ mm از هر کدام از دو گوشه شیشه یا سطح جذب‌کننده باشد. برای هر گلوله یخی با قطر معین و برای هر گلوله فولادی با ارتفاع آزمون مشخص، باید گوشه‌های متفاوتی انتخاب شود.

ب- کلکتورهای صفحه تخت بدون شیشه

1- Ball
2- Succession of shot series
3- Impact strength



shaghool.ir

برای انتخاب نقاط ضربه، از همان قاعده مربوط به کلکتورهای صفحه تخت شیشه‌ای استفاده شود. کلکتورهای بدون شیشه باید با سیالی در فشار جو پر شوند.

پ- کلکتورهای با لوله خلاء

برای هر قطر یا ارتفاع سقوط گلوله یخی، یک لوله از کلکتور که به‌صورت تصادفی انتخاب شده، تحت آزمون قرار می‌گیرد. مکان نقاط ضربه باید در فاصله ۷۵ mm از هر انتها بوده و راستای ضربه باید بر محور لوله عمود باشد. باید دو بار به سمت بالایی لوله و دو بار به سمت پایینی، ضربه زده شود.

ت- کلکتورهایی که در دسته‌های الف، ب یا پ قرار نمی‌گیرند:

خود آزمایشگاه مجری آزمون، باید دو مکان ضربه را مشخص کند. هر مکان باید دو بار مورد ضربه قرار گیرد. مختصات نقاط ضربه باید قبل از انجام آزمون تعیین شود.

## ۱۷-۴ روش ۱: با استفاده از گلوله یخی

### ۱۷-۴-۱ دستگاه

الف- محفظه برای نگه‌داری گلوله‌های یخی در دمای $-4\ ^{o}C \pm 2\ ^{o}C$.

ب- چارچوب صلب برای نگه‌داری کلکتور، با سطح ضربه عمود بر مسیر گلوله یخی پرتاب‌شده؛ نگه‌دارنده باید به‌اندازه کافی محکم باشد تا تغییر شکل یا تغییر مکان در زمان اعمال ضربه قابل‌چشم‌پوشی باشد.

پ- ترازو برای تعیین جرم گلوله یخی با عدم قطعیت استاندارد $\pm 2\ \%$.

ت- پرتاب‌کننده[1] باقابلیت پرتاب گلوله یخی مطابق بند ۱۷-۴-۲.

ث- وسیله برای اندازه‌گیری سرعت گلوله یخی با عدم قطعیت استاندارد $\pm 2\ m/s$. فاصله حس‌گر سرعت، با سطح کلکتور باید حداکثر ۱ m باشد.

### ۱۷-۴-۲ گلوله‌های یخی

گلوله‌های یخی باید از آب غیر معدنی[2] و بدون هرگونه افزودنی تهیه شوند. گلوله‌های یخی باید از یخ تمیز تشکیل شده و در آن هیچ حباب هوایی وجود نداشته باشد. در گلوله‌های یخی نباید هیچ‌گونه ترکی با چشم غیرمسلح دیده شود. قطر گلوله باید یکی از مقادیر جدول ۵ باشد. گلوله‌های یخی مورداستفاده برای ضربه‌ها باید دمای $-4\ ^{o}C \pm 2\ ^{o}C$ داشته باشند.

1- Launcher
2- Demineralized water



shaghool.ir

**جدول ۵- جرم‌ها و سرعت‌های آزمون گلوله یخی**

| قطر (mm ± ۵ ٪) | جرم (gr ± ۵ ٪) | سرعت آزمون (m/s ± ۵ ٪) |
|---|---|---|
| ۱۵ | ۱٫۶۳ | ۱۷٫۸ |
| ۲۵ | ۷٫۵۳ | ۲۳٫۰ |
| ۳۵ | ۲۰٫۷ | ۲۷٫۲ |
| ۴۵ | ۴۳٫۹ | ۳۰٫۷ |

### ۳-۴-۱۷ نکات مهم در روش اجرای آزمون با استفاده از گلوله‌های یخی

الف- گلوله‌ها را در محفظه نگه‌داری قرار داده و برای حداقل ۱ ساعت قبل از استفاده، آن‌ها را به حال خود رها کنید.

ب- مطمئن شوید دمای تمام سطوح پرتاب‌کننده که در تماس با گلوله‌های یخی قرار می‌گیرند، نزدیک دمای اتاق است.

پ- چند گلوله آزمایشی را مطابق مرحله ث به سطح آزمایشی دیگر، شلیک کنید و پرتاب‌کننده را طوری تنظیم کنید تا سرعت گلوله یخی که با حس‌گر سرعت در مکان از پیش تعریف شده اندازه‌گیری می‌شود، در بازه ٪ ۵ ± سرعت مناسب آزمون تگرگ در جدول ۵ باشد.

ت- کلکتور را در دمای اتاق بر روی چارچوب صلب نصب کنید.

ث- باید زمان بین برداشتن گلوله یخی از محفظه و پرتاب گلوله به‌طرف کلکتور، کمتر از ۶۰ s باشد.

ج- به تعداد لازم مجموعه گلوله را به سمت کلکتور شلیک کنید. کلکتور را در نقاط ضربه، بازبینی و به هر نشانه‌ای از آسیب‌دیدگی و اثر مشهود گلوله‌ها توجه کنید.

### ۵-۱۷ روش ۲: با استفاده از گلوله‌های فولادی

کلکتور باید به‌طور عمودی یا افقی بر روی یک تکیه‌گاه[1] نصب شود. تکیه‌گاه باید آن‌قدر محکم باشد تا در زمان ضربه، تغییر مکان یا تغییر شکل آن قابل‌چشم‌پوشی باشد.

در روش ۲ برای شبیه‌سازی ضربه تگرگ باید از گلوله‌های فولادی استفاده شود. اگر کلکتور به‌طور افقی نصب شده باشد، گلوله‌های فولادی به‌طور عمودی رها می‌شوند. اگر در جهت عمودی نصب شده باشد، ضربات در جهت افقی به‌وسیله آونگ[2] ایجاد خواهند شد. در هر دو حالت، ارتفاع سقوط؛ فاصله عمودی بین نقطه رهایی و صفحه افقی شامل نقطه اعمال ضربه، می‌باشد.

1- Support.
2- Pendulum.



shaghool.ir

اگر آزمون با استفاده از این روش اجرا شود، گلوله فولادی باید دارای جرم ۱۵۰ gr ±۱۰ gr باشد. مجموعه ارتفاع‌های آزمون که باید مورداستفاده قرار گیرند عبارتند از: ۰٫۴m، ۰٫۶m، ۰٫۸m، ۱٫۰m، ۱٫۲m، ۱٫۴m، ۱٫۶m، ۱٫۸m و ۲٫۰m.

### ۱۷-۶ نتایج

نتایج باید مطابق با موارد الزام شده در بند الف-۱۳ گزارش شوند.

## ۱۸ بازبینی نهایی (مربوط به بندهای ۵ تا ۱۷)

با کامل شدن آزمون‌ها، از همان کلکتور برای انجام آزمون عملکرد استفاده نشود، باید قطعات کلکتور مورداستفاده در آزمون جدا شده و بازبینی شوند. تمام موارد غیرعادی باید به همراه تصاویر، مستندسازی شوند. مشخصات کلکتور و تمام اجزای آن باید تشریح شده و بهتر است عکس‌برداری صورت گیرد (مانند شیشه، جذب‌کننده، پوشش جذب‌کننده، عایق‌کاری، محفظه، مجراهای ورودی و خروجی، تکیه‌گاه و گیره‌های نگه‌دارنده شیشه، آب‌بندی‌ها، درزبندها، ورقه پشتی و غیره).

معیارهای سنجش و ارزیابی ویژه برای هر آزمون در جدول ۱ بند ۵-۱ در بندهای آزمون مربوطه آورده شده است. اصطلاح " عدم نقص کلی " به این اشاره دارد که موارد زیر رخ نمی‌دهد:

- نشتی کانال سیال (برای کلکتورهای گرمایشی مایع) و برقراری تماس دائمی بین جذب‌کننده و پوشش، ناشی از تغییر شکل؛
- شکستگی یا تغییر شکل دائمی پوشش یا اتصالات آن؛
- شکستگی یا تغییر شکل دائمی نقاط اتصال کلکتور یا قاب کلکتور؛
- کاهش خلاء، به اندازه‌ای که کلکتورهای لوله خلاء یا کلکتورهای زیر فشار جو، باید مطابق تعریف موجود در استاندارد ISO 9488 رده‌بندی شوند (تنها قابل کاربرد برای کلکتورهای لوله خلاء و زیر فشار جوی).
- انباشتگی رطوبت به‌صورت میعان درون پوشش شفاف کلکتور به میزان بیشتر از ٪ ۱۰ سطح پوشش شفاف قابل‌مشاهده[1]. در مورد کلکتور گرمایشی هوای حلقه باز[2]، این معیار ممکن است برای دوره‌های محدودی از زمان، بیشتر شود.
- هر مورد غیرعادی دیگر که منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد یا طول عمر کاری شود.

بهتر است ارزیابی انباشتگی رطوبت برای کاربرد معیارهای پذیرش، تنها برای آزمون‌های زیر استفاده شود:

- شوک حرارتی خارجی

1- Visible transparent cover area
2- Open loop



shaghool.ir

- آزمون نفوذ باران

## ۱۹ گزارش آزمون (مربوط به بندهای ۵ تا ۱۸)

برای هر آزمون، نمونه برگه‌های موجود در پیوست الف، به همراه نمونه برگه مقدماتی الف-۲ برای گزارش خلاصه‌ای از نتایج اصلی، به انضمام روش‌های آزمون، باید تکمیل شود.

## ۲۰ آزمون عملکرد کلکتورهای گرمایشی سیال

### ۲۰-۱ کلیات

آزمون عملکرد شامل ارزیابی توان گرمایی تحویلی توسط کلکتور تحت شرایط کاری مختلف و همچنین ارزیابی پارامترهای دیگری از کلکتور (مانند افت فشار، ضریب تصحیح زاویه تابش، ظرفیت گرمایی، ثابت زمانی) که برای محاسبه خروجی گرمایی کلکتور لازم هستند، می‌باشد.

برای کلکتورهای هیبریدی تولیدکننده گرما و توان الکتریکی، حالت کاری تولید برق (با تعقیب‌کننده نقطه توان بیشینه[1] (MPP)، مدار اتصال کوتاه یا مدار باز) می‌تواند اثر قابل‌توجهی بر عملکرد حرارتی داشته باشد و لازم است در گزارش ذکر شود. اگر صفحه جاذب کلکتور هیبریدی به طور مستقیم به بخش تولید برق متصل شده باشد و قسمت جلویی کلکتور وجود نداشته باشد، باید این کلکتور را مانند کلکتورهای بدون شیشه در نظر گرفت. در طول آزمون عملکرد حرارتی، اگر بخش تولید برق در حالت کاری MPP است باید در بازه

٪ ۱۵ بیشینه نقطه توان ماژول MPP، نگه داشته شود.

### ۲۰-۲ آزمون بازده حالت پایا با استفاده از شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی

#### ۲۰-۲-۱ کلیات

عملکرد اغلب کلکتورها در تابش مستقیم خورشیدی از تابش پراکنده بهتر است و در حال حاضر در خصوص شبیه‌سازی خورشیدی پراکنده[2] تجربه کمی وجود دارد؛ بنابراین، این روش آزمون صرفا در شبیه‌سازهایی به کار می‌رود که بتوان اشعه تقریبا مستقیم تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده[3] را بر کلکتور تاباند.

در عمل، تولید اشعه یکنواخت[4] تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده کار مشکلی است و بنابراین باید میزان شدت تابش میانگین را در سطح ناخالص کلکتور اندازه‌گیری کرد.

#### ۲۰-۲-۲ شبیه‌ساز پرتودهی خورشیدی برای آزمون بازده حالت پایا

شبیه‌ساز برای آزمون بازده در حالت پایا باید دارای مشخصات زیر باشد:

1- Maximum Power Point (MPP) tracked
2- Diffuse solar simulation
3- Incidence beam of simulated solar radiation
4- Uniform beam



shaghool.ir

لامپ‌ها باید قادر به تولید شدت تابش میانگین حداقل $700 W/m^2$ در سطح ناخالص کلکتور باشند. می‌توان از مقادیر موجود در گستره $300 W/m^2$ تا $1000 W/m^2$ نیز، برای آزمون‌های خاص[1] استفاده کرد به‌شرط آنکه بتوان به الزامات مربوط به درستی[2] موردنیاز ارائه شده در جدول ۹، دست یافت و مقادیر شدت تابش، در گزارش آزمون نیز ذکر شوند.

در هر زمانی، شدت تابش در هر نقطه‌ای روی سطح ناخالص کلکتور، نباید با میانگین شدت تابش روی سطح ناخالص، بیش از ٪ ۱۵± اختلاف داشته باشد. توزیع طیفی تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده باید تقریباً برابر با طیف خورشیدی در توده هوای نوری[3] ۱٫۵ باشد.

هرگاه کلکتورها حاوی پوشش‌ها یا جذب‌کننده‌های انتخاب‌گر طیف باشند، تعیین اثر اختلاف طیف بر حاصل‌ضرب ($\tau\alpha$) برای کلکتور، باید بررسی انجام گیرد. اگر مقادیر مؤثر[4] ($\tau\alpha$) (معادله ۴) تحت شبیه‌سازی و تحت طیف تابش خورشیدی در توده هوای نوری ۱٫۵، بیش از ٪ ۱± اختلاف داشته باشند، نتایج آزمون باید تصحیح شوند.

$$\text{Effective}(\tau\alpha) = \frac{\int_{0,3\mu m}^{3\mu m} \tau(\lambda)\alpha(\lambda)G(\lambda)d\lambda}{\int_{0,3\mu m}^{3\mu m} G(\lambda)d\lambda} \qquad (۴)$$

به طریق دیگر بیشینه بازده $\eta_0$ را می‌توان با اندازه‌گیری در فضای باز تعیین کرد. اگر این مقدار بیشتر از ٪ ۱± اختلاف داشته باشد، باید تصحیح انجام شود.

اندازه‌گیری کیفی طیفی شبیه‌ساز خورشیدی[5] باید در صفحه کلکتور و در گستره طول‌موج $0,3\ \mu m$ تا $3\ \mu m$ بوده و باید در پهنای باند $0,1\ \mu m$ یا کمتر تعیین شود.

برای بعضی از انواع لامپ‌ها، به‌عنوان‌مثال لامپ‌های متال هالید[6]، توصیه می‌شود که تعیین مقادیر طیفی اولیه، بعد از دوره گرم کردن لامپ‌ها[7]، انجام شود. مقدار انرژی حرارتی فروسرخ در صفحه کلکتور باید به نحو مناسبی اندازه‌گیری (در صورت امکان، اندازه‌گیری در گستره طول‌موج بیشتر از حدود $2,5\mu m$ انجام شود، اما در شروع بیش از $4\mu m$ نباشد) و گزارش شود (به بند ۲۲-۲ مراجعه شود).

شدت تابش حرارتی در کلکتور نباید از شدت تابش حرارتی حفره جسم سیاه[8] در دمای محیط، بیش از ٪ ۵ ۵ از شدت تابش نیم‌کره‌ای، فراتر رود.

1- Specialized test
2- Accuracy
3- Optical air mass
4- Effective
5- Solar simulator’s spectral qualities
6- Metal halide designs
7- Burn-in period
8- Blackbody cavity



shaghool.ir

موازی‌سازی اشعه‌ای در شبیه‌ساز باید طوری باشد که زاویه‌های تابشِ حداقل ٪ ۸۰ شدت تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده، در گستره‌ای قرار گیرند که ضریب تصحیح زاویه تابش کلکتور نسبت به تابش عمودی، حداکثر ٪ ۲± تفاوت نماید. در مورد کلکتورهای صفحه تخت، این شرایط معمولاً در صورتی صدق می‌کند که حداقل ٪ ۸۰ شدت تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده که در هر نقطه‌ای بر روی کلکتور مورد آزمون دریافت می‌شود، در صورت مشاهده از آن نقطه، باید از منطقه‌ای از شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی در زاویه تحت پوشش $60^{o}$ یا کمتر ساطع شود.

**یادآوری ۱** - الزامات بیشتر مربوط به موازی‌سازی، در مورد اندازه‌گیری ضریب تصحیح زاویه تابش، به‌کار می‌رود (به بند ۲۷-۱-۲ مراجعه شود).

روش مورداستفاده برای اندازه‌گیری شدت تابش در طول دوره آزمون باید منجر به مقادیری از شدت تابش میانگین شود که با مقادیر تعیین شده توسط انتگرال‌گیری فضایی در محدوده ٪ ۱± سازگار باشند.

**یادآوری ۲**- پخش طیفی لامپ‌ها (فضای بسته) و آسمان (فضای باز) باعث اختلاف بسیار زیادی از نظر طیفی در پوشش‌ها و جذب‌کننده‌های انتخابی می‌شود.

### ۲۰-۲-۳ شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی برای اندازه‌گیری ضرایب تصحیح زاویه تابش

برای اندازه‌گیری ضریب تصحیح زاویه تابش، فقط شبیه‌سازهای شدت تابش خورشیدی با مشخصات موازی‌سازی زیر باید مورداستفاده قرار گیرند. موازی‌سازی باید طوری باشد که در هر نقطه از کلکتور مورد آزمون، حداقل ٪ ۹۰ شدت تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده از منطقه‌ای از شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی با زاویه تقریبی $20^{o}$ یا کمتر، در صورت مشاهده از آن نقطه، ساطع شود.

## ۲۱ نصب و تعیین مکان کلکتور

### ۲۱-۱ کلیات

نحوه نصب کلکتور بر نتایج آزمون‌های عملکرد حرارتی تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین کلکتورهای مورد آزمون باید مطابق با بندهای ۲۱-۲ تا ۲۱-۸ نصب شوند.

کلکتورهای متمرکزکننده دارای ردیاب[1] باید با استفاده از وسیله ردیاب مشخص شده توسط سازنده، آزمون شود.

### ۲۱-۲ چارچوب کلکتور

#### ۲۱-۲-۱ کلیات

کلکتور باید به روشی که سازنده مشخص کرده، نصب شود. چارچوب نصب کلکتور به‌هیچ‌وجه نباید مانع شدت تابش بر صفحه کلکتور شود و نباید تأثیر عمده‌ای بر عایق‌بندی کناری یا پشتی داشته باشد. مگر آنکه

1- Tracking concentrating collectors



shaghool.ir

طور دیگری مشخص شده باشد (به‌طور مثال، هرگاه کلکتور، بخشی از بام باشد)، باید سازه متناسب با نصب در محیط باز طراحی شود تا هوا بتواند آزادانه حول قسمت پشتی و جلویی کلکتور جریان داشته باشد. کلکتور باید طوری نصب شود که لبه پایینی آن حداقل ۰٫۵m بالاتر از سطح زمین باشد. جریان‌های هوای گرم، مانند جریان‌هایی که از دیوارهای ساختمان بالا می‌روند، نباید اجازه عبور از روی کلکتور را داشته باشند. هرگاه کلکتورها بر روی بام ساختمان آزمون می‌شوند، فاصله آن‌ها از لبه بام باید حداقل دو متر باشد.

### ۲۱-۲-۲ کلکتورهای گرمایشی هوا/کلکتورهای بدون شیشه

#### ۲۱-۲-۲-۱ کلیات

کلکتورهایی که برای نصب مستقیم بر روی بام استاندارد یا دیوار طراحی شده‌اند را می‌توان بر روی بخش شبیه‌سازی‌شده‌ای از بام یا دیوار نصب کرد. در مورد کلکتورهایی که بخشی از نمای ساختمان هستند بهتر است مدلی شامل کلکتور در مقیاس کوچک که بر روی بام/دیوار مصنوعی قرار داده شده است، برای آزمون‌ها تهیه شود.

اگر دستورات نصب مشخص نشده باشد، کلکتور باید بر روی تکیه‌گاه عایق با نسبت ضریب هدایت به ضخامت آن (۱ ±۰/۳)W/(m$^2$·K) نصب شود که سطح بالایی آن به رنگ سفید مات بوده و پشت آن محلی برای عبور هوا داشته باشد.

یادآوری- به‌عنوان نمونه، ماده مناسب برای تکیه‌گاه عایق، ۳۰ mm فوم پلی استایرین است.

عملکرد بعضی انواع کلکتورهای خورشیدی بدون شیشه و گرمایشی هوا، تابعی از اندازه ماژول است. اگر کلکتور در واحدهای ثابت با مساحت کمتر از ۱m$^2$ عرضه شده باشد، بهتر است تعداد کافی از ماژول‌ها به یکدیگر مرتبط شده باشند تا سطح ناخالص سامانه آزمون، حداقل ۳m$^2$ شود. توصیه می‌شود بزرگ‌ترین اندازه نمونه آزمون انتخاب شود.

#### ۲۱-۲-۲-۲ کلکتورهای بدون شیشه

در کلکتورهای ساخته‌شده از اجزای لوله‌ای یا تیغه‌ای[1]، باید با لوله‌ها (یا تیغه‌ها) نصب شده و فاصله لوله‌ها (یا تیغه‌ها) از یکدیگر ده میلی‌متر یا به‌اندازه یک قطر (پهنای تیغه)، هرکدام که کوچک‌تر است، باشد. اگر در دستورالعمل‌های نصب سازنده، فاصله دیگری برای لوله‌ها یا تیغه‌ها مشخص شده باشد، باید از فاصله توصیه شده استفاده شود. اگر کلکتور به همراه جداکننده‌های نصب[2] یا هر وسیله‌ای که فواصل لوله‌ها (یا تیغه‌ها) را تثبیت می‌کند، تحویل داده شود، باید کلکتور همان‌طور که تحویل داده شده آزمون گردد و چیدمان اجزای آن در گزارش آزمون آورده شود.

**یادآوری ۱**- به‌طورکلی، کلکتورها در محل نصب مونتاژ می‌شوند و تیغه‌های جذب‌کننده را به مانیفولدها وصل می‌کنند. سطوح واقعی جذب‌کننده غالبا بین ۱۰ تا صد مترمربع هستند.

1- Strip
2- Mounting spacer



shaghool.ir

برای کلکتورهایی که در محل نصب، ساخته‌شده و به‌صورت اندازه از پیش تعیین شده، عرضه نمی‌شوند، بهتر است بررسی شود که در طول آزمون‌های عملکردی، سرعت و الگوی جریانِ مشابهِ شرایط واقعی به کار می‌رود.

**یادآوری ۲**- برای کلکتورهای با ردیاب خطی مانند کلکتورهای سهموی خطی، می‌توان با راستای شرقی-غربی[1] که آزمون ضریب تصحیح زاویه تابش را برای تمام زوایا در یک روز ممکن می‌سازند، به این مورد به سهولت دست یافت.

## ۲۱-۳ زاویه شیب

کلکتور باید در زوایای شیبی آزمون شود که ضریب تصحیح زاویه تابش برای کلکتور از مقدار آن در تابش عمودی بیشتر از ٪ ۲ اختلاف نداشته باشد. کلکتورهای بر مبنای هوا ممکن است در زوایای شیبی که سازنده توصیه کرده یا برای شرایط نصب‌های واقعی[2] مشخص شده، آزمون شوند. در غیر این صورت کلکتور باید در زوایای شیبی آزمون شود که ضریب تصحیح زاویه تابش از مقدار آن در تابش عمودی کمتر از ٪ ۲ اختلاف داشته باشد.

**یادآوری ۱**- برای کلکتورهای صفحه تخت تک شیشه‌ای، این وضعیت معمولا وقتی محقق می‌شود که زاویه تابش مستقیم خورشیدی روی سطح کلکتور کمتر از ۲۰ درجه باشد.

پیش از تصمیم‌گیری در مورد زاویه شیب، ممکن است لازم باشد پیش از شروع آزمون‌ها، ضریب تصحیح زاویه تابش در دو زاویه بررسی گردد.

**یادآوری ۲**- در بسیاری از کلکتورها، تأثیر زاویه شیب اندک است اما می‌تواند متغیر مهمی برای کلکتورهای خاصی مانند کلکتورهایی که لوله‌های گرمایی دارند، باشد.

**یادآوری ۳**- در بیشتر کلکتورهای بدون شیشه، زاویه شیب و زاویه تابش تأثیر اندکی بر بازده دارند و کلکتورهای بدون شیشه عموما با زوایای شیب کم نصب می‌شوند؛ اما بهتر است دقت نمود تا از متوقف شدن جریان به علت وجود هوا[3] در شیب‌های کم جلوگیری شود.

## ۲۱-۴ راستای کلکتور[4] در فضای باز

کلکتور در فضای باز ممکن است در وضعیتی ثابت رو به استوا قرار گیرد، اما این کار موجب محدود شدن زمان آزمون به گستره قابل‌قبول زوایای تابش می‌شود. روش بهتر ، حرکت دادن کلکتور به‌گونه‌ای است که با ردیابی دستی یا خودکار، خورشید را در زاویه سمت خود دنبال کند. کلکتورهای متمرکزکننده دارای ردیاب باید به‌گونه‌ای نصب شوند که آزمون عملکرد را تا زاویه تابش $۶۰^{\circ}$ ممکن سازند.

بهتر است، انحراف سمتی کلکتور (یا پیرانومتر) از جنوب را در هنگام محاسبه زاویه تابش نور خورشید بر روی سطح کلکتور، در نظر گرفت. انحراف بیشتر از سمت جنوب ممکن است قابل‌قبول باشد، اما باعث عدم

1- East-west orientation
2- Actual installation
3- Air locks
4- Collector orientation



shaghool.ir

تقارن پخش زاویه‌ای تابش مستقیم[1] نشان داده شده در شکل ۱۰ خواهد شد. این امر ممکن است موجب انحراف کمی در وابستگی زاویه تابش[2] کلکتور شود.

بهتر است، زاویه تابش واقعی با عدم قطعیت استاندارد بهتر از $\pm 1^{o}$ محاسبه شود. در مورد کلکتورهای ثابت خاص مانند کلکتورهای متمرکزکننده سهموی ترکیبی CPCs[3]، توصیه می‌شود به‌گونه‌ای نصب شوند که تابش اشعه‌ای خورشید در گستره موردپذیرش زاویه طراحی قرار گیرد.

زاویه شیب می‌تواند بر روی عملکرد حرارتی اثر بگذارد و بهتر است در طول آزمون موردتوجه قرار گیرد.

### ۲۱-۵ سایه‌اندازی ناشی از شدت تابش مستقیم خورشید

موقعیت محل آزمون باید طوری باشد که در طول آزمون بر روی کلکتور، سایه نیفتد.

### ۲۱-۶ شدت تابش انعکاسی و پراکنده خورشید

برای تجزیه‌وتحلیل نتایج آزمون در فضای باز، چنان فرض می‌شود که شدت تابش خورشیدی که مستقیماً ناشی از قرص خورشید نیست، به‌طور همگن از میدان نیمکره‌ای دید کلکتور می‌آید. برای به حداقل رساندن خطاهای ناشی از این تقریب، کلکتور باید در جایی نصب شود که در مدت آزمون‌ها، تابش خورشیدی قابل‌توجهی از ساختمان‌ها یا سطوح اطراف بر روی آن‌ها منعکس نشود و همچنین در جایی که موانع عمده‌ای در میدان دید وجود نداشته باشد. در بعضی از انواع کلکتورها، مثل کلکتورهای با لوله خلاء، لازم است که انعکاس از میدان‌های دید پشتی و جلویی نیز به حداقل برسند. نباید بیش از ٪ ۵ میدان دید کلکتور مسدود شود و به‌ویژه مهم است تا از ساختمان‌ها یا موانع بزرگ در جلوی کلکتور که با خط افق زاویه بزرگ‌تر از $15^{o}$ می‌سازند، اجتناب شود. ضریب انعکاس اغلب سطوح زبر مانند چمن، بتون فرسوده یا سنگ‌فرش[4] معمولا آن‌قدر کم است که در طول آزمون کلکتور ایجاد مشکل نمی‌کند.

سطوح وسیع شیشه‌ای، فلزی یا آب، نباید در میدان دید کلکتور باشند. در اغلب شبیه‌سازهای خورشیدی، اشعه شبیه‌سازی‌شده، فقط شدت تابش مستقیم خورشیدی را شبیه‌سازی می‌کند. برای اندازه‌گیری آسان شدت تابش شبیه‌سازی‌شده، لازم است شدت تابش انعکاسی[5] به حداقل برسد. این کار را می‌توان با رنگ‌آمیزی تمام سطوح اتاقک آزمون با رنگی تیره (با ضریب انعکاس پایین) انجام داد. ضریب انعکاس خورشیدی پس‌زمینه[6] مورداستفاده در حین آزمون عملکرد کلکتورها، که از پشت غیر تیره[7] است، باید کمتر کمتر از ٪ ۲۰ باشد. ضریب انعکاس خورشیدی پس‌زمینه، باید در گزارش آزمون آورده شود.

1- Non-symmetrical angular distribution of beam radiation
2- Incidence angle dependence
3- Compound parabolic concentrating
4- Chippings
5- Reflected irradiance
6- Solar reflectance of the background
7- Non-opaque



shaghool.ir

## ۲۱-۷ شدت تابش حرارتی

عملکرد بعضی کلکتورها نسبت به سطوح شدت تابش حرارتی، بسیار حساس است. برای به حداقل رساندن تأثیر تابش حرارتی، دمای سطوح مجاور کلکتور باید حتی‌الامکان به دمای محیط نزدیک باشد. برای مثال، میدان دید کلکتور در فضای باز نباید نزدیک دودکش‌ها، برج‌های خنک‌کننده یا مکان‌های خروج هوای داغ باشد. در مورد آزمون در فضای بسته و با شبیه‌ساز، کلکتور باید از سطوح داغ مانند رادیاتورها، کانال‌ها و دستگاه‌های تهویه مطبوع و نیز از سطوح سرد مانند پنجره‌ها و دیواره‌های خارجی، محفوظ بماند. عمل محافظت[1] هم در جلو و هم در پشت کلکتور مهم است.

اختلاف اساسی بین آزمون در فضای بسته و فضای باز کلکتورهای بدون شیشه، در شدت تابش حرارتی با طول‌موج بلند است. تابش با طول‌موج بلند نسبی در شبیه‌ساز نباید از $W/m^2$ ۵۰ بیشتر شود (به‌طور نمونه برای فضای باز $W/m^2$ ۱۰۰- است).

## ۲۱-۸ سرعت هوای محیط

### ۲۱-۸-۱ کلیات

عملکرد بیشتر کلکتورها به سرعت هوای محیط، حساس است. برای بیشینه کردن تکرارپذیری نتایج، کلکتورها باید طوری نصب شوند که هوا بتواند آزادانه از روی کلکتور، پشت و کناره‌های آن عبور کند. میانگین سرعت هوا، به‌موازات روی کلکتور[2]، باید در محدوده اشاره شده در بند ۲۴-۴ باشد. در مواقع ضروری، برای رسیدن به سرعت‌های هوای موردنظر باید از مولدهای باد مصنوعی استفاده کرد. پشت کلکتورهایی که بخشی از نمای ساختمان[3] هستند ممکن است در برابر باد محافظت شده باشند؛ در این صورت، این موضوع باید به همراه نتایج آزمون، گزارش شود.

### ۲۱-۸-۲ کلکتورهای گرمایشی هوا

در مواردی که سیال انتقال گرما با ورقه پوشش شفاف در تماس است، باید از هوا با سرعت متغیر برای آزمون استفاده کرد. می‌توان راستا را از بند ۲۴-۵-۴، جدول ۷ مشخص کرد.

### ۲۱-۸-۳ کلکتورهای بدون شیشه

میانگین سرعت هوا در فاصله ۱۰۰ میلی‌متر بالاتر و به‌موازات روی کلکتور، باید در گستره صفر تا ۳٫۵ m/s با رواداری اشاره شده در جدول ۷ باشد. اگر این شرایط در حالت طبیعی، قابل‌دستیابی نیست، باید از مولد باد مصنوعی استفاده کرد. در صورت استفاده از مولد باد، برای شبیه‌سازی شرایط باد طبیعی، سطح اغتشاش[4] باید در گستره ٪۲۰ تا ٪۴۰ باشد. سطح اغتشاش باید در لبه جلویی کلکتور و در فاصله صد میلی‌متری

1- Shielding
2- Collector front side
3- Building envelope
4- Turbulence level



shaghool.ir

بالای سطح کلکتور بررسی شود. سطح اغتشاش باید با استفاده از بادسنج سیم داغ خطی شده[1] یا ابزار اندازه‌گیری مناسب دیگر که پاسخ بسامدی حداقل ۱۰۰Hz دارند، مورد پایش قرار گیرد. سطح اغتشاش، به‌صورت انحراف استاندارد[2] سرعت هوا تقسیم بر سرعت میانگین هوا، تعریف شده است.

اگر جذب‌کننده مستقیماً بر روی سقف یا ورقه نگه‌دارنده[3] نصب نشده باشد، سرعت هوای باید در رو و پشت جذب‌کننده مورد کنترل و پایش قرار گیرد.

در صورت استفاده از مولد باد، بهتر است برای عملکرد کلکتور بدون شیشه با باد مصنوعی و با باد طبیعی، بررسی متقابل[4] انجام شود. با هر تغییری در مولد باد، این بررسی متقابل باید انجام شود. استفاده از باد مصنوعی باید در گزارش آزمون کلکتور، ذکر شود.

## ۲۲ ابزار اندازه‌گیری

### ۲۲-۱ اندازه‌گیری تابش خورشیدی

#### ۲۲-۱-۱ پیرانومتر

##### ۲۲-۱-۱-۱ کلیات

برای اندازه‌گیری تابش خورشیدی نیمکره‌ای باید از پیرانومتر[5] (های) رده I یا بهتر، طبق استاندارد ISO 9060 استفاده شود. بهتر است روش استفاده توصیه شده در استاندارد ISO/TR 9901 مراعات شود.

توصیه می‌شود قبل از هر آزمون، پیرانومتر (ها) از نظر گردوغبار، کثیف بودن و غیره بر روی حباب بیرونی[6]، بررسی شود و بهتر است در صورت نیاز، تمیز شود. باید از پیرانومتر (های) رده I یا بهتر؛ مجهز به حلقه سایه‌انداز[7] یا پیرهلیومتر[8] به همراه پیرانومتر، برای اندازه‌گیری تابش موج کوتاه پراکنده استفاده کرد.

در مورد کلکتورهای متمرکزکننده، شدت تابش عمودی مستقیم[9] (DNI) باید توسط پیرهلیومتر نصب شده بر روی سامانه ردیابی کلکتور، اندازه‌گیری شود. شدت تابش پراکنده و مستقیم باید از روابط زیر محاسبه شوند:

$$G_b = DNI \cdot \cos\theta$$

$$G_d = G - G_b$$

**یادآوری**- استفاده از ترکیب پیرهلیومتر و پیرانومتر برای تعیین تابش پراکنده، نتایج دقیق‌تری دارد.

1- Linearized hot wire anemometer
2- Standard deviation
3- Sheet of backing material
4- Cross checke
5- Pyranometer
6- Outer dome
7- Shading ring
8- Pyrheliometer
9- Direct Normal Irradiance (DNI)



shaghool.ir

**۲۲-۱-۱-۲ مراقبت‌های لازم برای اثرات گرادیان دما**

پیرانومتر مورداستفاده در طول آزمون (ها) باید در موقعیت موردنظر آزمون[1] قرار گرفته و حداقل طی ۳۰ دقیقه امکان رسیدن به تعادل پیش از شروع اندازه‌گیری‌ها را داشته باشد.

**۲۲-۱-۱-۳ مراقبت‌های لازم برای اثرات رطوبت و نم**

پیرانومتر باید تمهیداتی برای جلوگیری از تجمع نم که ممکن است بر روی سطوح وسیله اندازه‌گیری مایع شود و بر قرائت آن تأثیر بگذارد، داشته باشد. وسیله اندازه‌گیری با دسیکاتور قابل بازبینی، موردنیاز است. وضعیت دسیکاتور باید به‌صورت دوره‌ای کنترل شود.

**۲۲-۱-۱-۴ مراقبت‌های لازم برای اثرات تابش فروسرخ بر روی درستی پیرانومتر**

پیرانومترهای مورداستفاده برای اندازه‌گیری شدت تابش مربوط به شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی باید طوری نصب شوند تا اثرات تابش فروسرخ با طول‌موج بالاتر از $\mu m$ ۳ از منبع نور شبیه‌ساز[2]، بر روی قرائت‌های آن را به حداقل برساند.

**۲۲-۱-۱-۵ نصب پیرانومتر در فضای باز**

پیرانومتر باید طوری نصب شود که حس‌گر آن با صفحه کلکتور، در گستره رواداری $^{o}$۱، در یک صفحه قرار گیرد. پیرانومتر هرگز نباید در طول آزمون بر روی سطح کلکتور سایه ایجاد کند.

پیرانومتر باید طوری نصب شود که به اندازه کلکتور، تابش مستقیم، پراکنده و انعکاسی خورشیدی دریافت کند.

**یادآوری**- برای زوایای تابش $^{o}$۵۰، هنگام اندازه‌گیری شدت تابش خورشیدی، انحراف $^{o}$۱± باعث خطای ٪ ۲ می‌شود.

بدنه پیرانومتر و سیم‌های اتصال‌دهنده[3] باید طوری محافظت شوند تا اثر گرمایش خورشیدی روی اتصالات الکتریکی، به حداقل برسد. همچنین برای به حداقل رساندن انرژی انعکاسی و بازتابشی[4] از کلکتور خورشیدی بر روی پیرانومتر، باید توجه لازم صورت گیرد.

**۲۲-۱-۱-۶ استفاده از پیرانومترها در شبیه‌سازهای شدت تابش خورشیدی**

برای اندازه‌گیری توزیع شدت تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده بر روی صفحه کلکتور و همچنین تغییرات شدت تابش شبیه‌سازی‌شده نسبت به زمان، می‌توان از پیرانومترها استفاده نمود. به طریق دیگر، می‌توان از انواع دیگر آشکارساز تابشی استفاده کرد به‌شرط آنکه برای تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده، ارزیابی و واسنجی شده باشند.

پیرانومتر باید طوری نصب شود که حس‌گر آن با صفحه کلکتور، در گستره رواداری $^{o}$۱± ، در یک صفحه قرار گیرد. پیرانومتر هرگز نباید در طول آزمون بر روی سطح کلکتور سایه ایجاد کند. پیرانومتر (ها) باید

1- Typical test position
2- Simulator light source
3- Emerging leads of the connector
4- Reradiated



shaghool.ir

طوری نصب شود که به اندازه کلکتور، تابش مستقیم، پراکنده و انعکاسی خورشیدی دریافت کند. روش و ابزار مورداستفاده برای اندازه‌گیری هر تغییری در شدت تابش شبیه‌سازی‌شده نسبت به زمان، در مدت دوره آزمون باید برای حصول درستی موردنیاز آزمون شوند.

**یادآوری**- در بیشتر شبیه‌سازهای خورشیدی رایج که از قوس الکتریکی در یک منعکس‌کننده سهموی به‌عنوان منبع نور استفاده می‌کنند، نصب پیرانومتر در یک موقعیت آزمون نمونه و در وسط ارتفاع کلکتور که برای آزمون در فضای باز شرح داده شد، کافی نخواهد بود. مخصوصا وقتی‌که مجموعه لامپ‌ها به‌صورت ناپایدار از سه فاز مختلف، تغذیه می‌شود. برای این نوع شبیه‌سازهای خورشیدی که به منبع تغذیه پایدار مجهز نیستند، یکپارچه کردن ولتاژ منبع تغذیه در طول هر دوره آزمون توصیه می‌شود. شبیه‌سازهای خورشیدی مجهز به منبع تغذیه پایدار، با قابلیت پایدارسازی ولتاژ منبع تغذیه در محدوده ٪ ۰٫۵±، معمولا به یکپارچه کردن تابش شبیه‌سازی‌شده در طول (هر) دوره آزمون، نیاز نخواهند داشت. برای بیشتر انواع شبیه‌سازهای خورشیدی، می‌توان رابطه بین مقدار یکپارچه سازی تابش شبیه‌سازهای خورشیدی و ولتاژ منبع تغذیه یکپارچه در طول هر دوره آزمون را به دست آورد. در تمام موارد، دانش کافی درباره مشخصات زمان گرم شدن و طول عمر لامپ استفاده شده، مفروض است.

### ۲۲-۱-۱-۷ اندازه‌گیری زاویه تابش مستقیم خورشیدی

برای اندازه‌گیری زاویه تابش مستقیم خورشیدی می‌توان با نصب نشانگر، عمود بر صفحه تختی که حلقه‌های هم‌مرکز مدرجی بر روی آن علامت‌گذاری شده‌اند، وسیله ساده‌ای ساخت. طول سایه نشانگر را می‌توان با استفاده از حلقه‌های هم‌مرکز اندازه‌گیری کرد و از آن برای تعیین زاویه تابش استفاده کرد. این وسیله باید در صفحه کلکتور و در یک طرف آن قرار گیرد.

## ۲۲-۲ اندازه‌گیری تابش حرارتی

### ۲۲-۲-۱ اندازه‌گیری شدت تابش حرارتی در فضای باز

معمولا تغییرات شدت تابش حرارتی در فضای باز برای آزمون کلکتور در نظر گرفته نمی‌شود؛ اما می‌توان در صفحه کلکتور و نصف ارتفاع یک طرف آن، پیرجیومتری[1] نصب کرد تا بتوان شدت تابش حرارتی را در سطح کلکتور تعیین کرد.

### ۲۲-۲-۲ محاسبه شدت تابش حرارتی با استفاده از دمای نقطه شبنم

درصورتی‌که برای اندازه‌گیری شدت تابش با طول‌موج بلند، $E_{\mathrm{L}}$، ابزار اندازه‌گیری موجود نبود، برای تعیین ضریب انتشار آسمان[2]، $\varepsilon_{\mathrm{S}}$، از دمای نقطه شبنم[3] اندازه‌گیری شده، $\vartheta_{\mathrm{dp}}$، می‌توان از مدل طول‌موج بلند در آسمان صاف[4] استفاده کرد:

1- Pyrgeometer
2- Sky emittance
3- Dew point temperature
4- Clear sky



shaghool.ir

$$\varepsilon_s = 0{,}711 + 0{,}56\frac{\vartheta_{dp}}{100} + 0{,}73\left(\frac{\vartheta_{dp}}{100}\right)^2 \quad (۵)$$

که در آن دمای نقطه شبنم، $\vartheta_{dp}$، باید با عدم قطعیت استاندارد کمتر از ۰٫۵ K اندازه‌گیری شود. شدت تابش با طول‌موج بلند از عبارت زیر محاسبه می‌شود:

$$E_s = \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (۶)$$

اگر کلکتور دارای شیب باشد، تبادل تابش حرارتی، با آسمان و زمین، وجود دارد. شدت تابش با طول‌موج بلند نسبی، $E_\beta$، بر روی کلکتوری با زاویه شیب $\beta$، از معادله زیر تعیین می‌شود:

$$E_\beta = \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot T_a^4 \frac{1+\cos\beta}{2} + \varepsilon_g \cdot \sigma \cdot T_a^4 \frac{1-\cos\beta}{2} \quad (۷)$$

دمای زمین، تأثیر اندکی بر تابش با طول‌موج بلند بر روی کلکتوری با زاویه شیب کمتر از $45^o$، دارد؛ زیرا ضریب شکل[1] بین کلکتور و زمین برای $\beta = 45^o$ فقط ۰٫۱۵ است. در این حالت، معادله (۷) را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$E_\beta = \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot T_a^4 \frac{1+\cos\beta}{2} \quad (۸)$$

بنابراین، هرگاه کلکتور در فضای باز قرار داشته باشد در معادله ۲۳، شدت تابش با طول‌موج بلند، $E_L$، در صفحه کلکتور مساوی با $E_\beta$ است.

**یادآوری**- مقادیر مثبت $E_L$، شدت تابش رو به پایین بر روی سطحی با دمای صفر درجه کلوین است.

بهتر است هنگام محاسبه $E_S$، از فرمول ۶ استفاده شود.

### ۲۲-۲-۳ محاسبه شدت تابش از طول‌موج بلند در دمای آسمان

برای آزمون‌هایی که از آسمان مصنوعی[2] (در شبیه‌سازهای شدت تابش خورشیدی) استفاده می‌کنند، تابش با طول‌موج بلند را می‌توان از ضریب انتشار آسمان مصنوعی، $\varepsilon_S$، و دمای میانگین آسمان، $T_s$، که با مجموعه‌ای از حس‌گرهای تماسی روی سطح کلکتور و در معرض آسمان مصنوعی تعیین می‌شود محاسبه کرد. حس‌گرها باید از تابش محافظت شده و از نظر حرارتی عایق‌کاری شوند. فرمول مشابه فرمول ۹ است (وقتی‌که کلکتور به سمت آسمان مصنوعی است، $\beta = 0^o$):

$$E_s = \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (۹)$$

به این ترتیب، در معادله ۲۳، شدت تابش با طول‌موج بلند، $E_L$، در صفحه کلکتور مساوی با $E_s$ است.

### ۲۲-۲-۴ اندازه‌گیری شدت تابش حرارتی در فضای بسته

1- View factor
2- Artificial sky



shaghool.ir

### ۲۲-۲-۴-۱ اندازه‌گیری

شدت تابش حرارتی را می‌توان با استفاده از پیرجیومتری که در بند ۲۲-۲-۱ برای اندازه‌گیری در فضای باز مشخص گردید، اندازه‌گیری کرد. پیرجیومترها باید برای به حداقل رساندن تأثیر شدت تابش خورشیدی یا شبیه‌سازی‌شده، به‌خوبی تهویه شوند. برای آزمون در فضای بسته، شدت تابش حرارتی باید با عدم قطعیت استاندارد $10\,W/m^2$ تعیین شود.

تابش نیمکره‌ای کل با طول موج بلند[1] را می‌توان با نصب پیرجیومتر در صفحه کلکتور اندازه‌گیری کرد. پیرجیومتر مورداستفاده در طول آزمون‌ها، باید در همان سطح جذب‌کننده کلکتور قرار گیرد و پیش از اندازه‌گیری حداقل طی ۳۰ دقیقه امکان رسیدن به تعادل را داشته باشد.

پیرجیومتر باید تمهیداتی برای جلوگیری از تجمع نم که ممکن است بر روی سطوح وسیله اندازه‌گیری مایع شود و بر قرائت آن تأثیر بگذارد، داشته باشد. وسیله اندازه‌گیری با دسیکاتور قابل بازبینی ، موردنیاز است. وضعیت دسیکاتور باید قبل و بعد از هر مرحله اندازه‌گیری روزانه مشاهده شود. بهتر است اثرات گرمایشی خورشیدی با طول‌موج کوتاه[2] به حداقل برسد.

### ۲۲-۲-۴-۲ محاسبه

به‌شرط آنکه بتوان تمام چشمه‌ها و چاه‌های تابش حرارتی[3] در میدان دید کلکتور را تشخیص داد، شدت تابش حرارتی در صفحه کلکتور را می‌توان با اندازه‌گیری‌های دما، انتشار سطحی و ضرایب شکل تابش محاسبه کرد. تابش شدت تابش حرارتی $E_L$ بر روی سطح کلکتور (که عدد ۱ به آن داده شده) از یک سطح داغ‌تر (که عدد ۲ به آن داده شده) عبارت است از:

$$E_L = \sigma \cdot \varepsilon_2 \cdot \mathrm{F}_{12} \cdot \mathrm{T}_2^4 \qquad (۱۰)$$

به‌عبارت‌دیگر، شدت تابش حرارتی اضافی (در مقایسه با حالتی که سطح ۲ یک جسم سیاه کامل در دمای محیط باشد) با فرمول زیر تعیین می‌شود:

$$E_L = \sigma \cdot \mathrm{F}_{12} \cdot \varepsilon_2 \left( \mathrm{T}_2^4 - \mathrm{T}_\mathrm{a}^4 \right) \qquad (۱۱)$$

ضرایب شکل تابش در کتب دانشگاهی انتقال حرارت تابشی ارائه شده است. همچنین شدت تابش حرارتی در سطح کلکتور ممکن است با مجموعه اندازه‌گیری‌های انجام شده برای زوایای فضایی کوچک[4] در میدان دید، محاسبه شود. چنین اندازه‌گیری‌هایی را می‌توان با استفاده از پیرهلیومتر، با یا بدون فیلتر شیشه‌ای، برای شناسایی اجزا حرارتی شدت تابش کلی انجام داد.

برای کلکتورهای بدون شیشه، باید از وسیله‌ای برای تعیین تابش نیمکره‌ای کل با طول موج بلند در سطح کلکتور، استفاده کرد.

1- Global hemispherical long wave radiation
2- Short wave solar heating effect
3- Sources and sinks of thermal radiation
4- Small solid angles



shaghool.ir

## ۲۲-۳ اندازه‌گیری دما

### ۲۲-۳-۱ کلیات

برای آزمون کلکتور خورشیدی، سه اندازه‌گیری دما شامل اندازه‌گیری دماهای سیال در ورودی و خروجی کلکتور و هوای محیط، لازم است. درستی موردنیاز و مکان این اندازه‌گیری‌ها متفاوت است ؛ بنابراین ممکن است برای اندازه‌گیری دما، نوع حس‌گر و تجهیزات مربوطه متفاوت باشند.

### ۲۲-۳-۲ اندازه‌گیری دمای ورودی سیال (مایع) انتقال گرما ($\vartheta_{in}$)

#### ۲۲-۳-۲-۱ درستی موردنیاز

دمای سیال انتقال گرما در ورودی کلکتور ($\vartheta_{in}$) باید با عدم قطعیت استاندارد ۰٫۱ K اندازه‌گیری شود، اما برای بررسی اینکه دما نسبت به زمان تغییر نمی‌کند، سیگنال دمایی با تفکیک‌پذیری بسیار بهتری تا ۰٫۰۲ K± موردنیاز است.

این تفکیک‌پذیری برای تمام دماهای موردنیاز جهت آزمون کلکتور لازم است (در گستره ۰°C تا ۱۰۰°C) که در واقع درستی موردنیاز برای ثبت توسط داده‌پرداز[1] است زیرا به تفکیک‌پذیری یک بخش در ۴۰۰۰ یا سامانه دیجیتالی ۱۲ بیتی نیاز دارد.

#### ۲۲-۳-۲-۲ نصب حس‌گرها

حس‌گر اندازه‌گیری دما باید در فاصله حداکثر ۲۰۰mm از ورودی و خروجی کلکتور نصب شود و عایق‌کاری باید قبل و پس از بالادست و پایین‌دست حس‌گر در اطراف لوله‌ها و اتصالات[2] انجام شود. اگر لازم باشد که حس‌گر در فاصله بیش از ۲۰۰mm از کلکتور قرار گیرد، باید آزمونی برای ارزیابی اینکه اندازه‌گیری دمای سیال تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد، انجام شود. برای اطمینان از اختلاط سیال در محل اندازه‌گیری دما، باید در بالادست حس‌گر، یک زانویی، سوراخ[3] یا مخلوط کننده سیال در مسیر لوله‌ها و اتصالات قرار گیرد. پروب حس‌گر باید به سمت بالادست و در جایی از یک لوله که سیال (برای جلوگیری از به دام افتادن هوا در نزدیکی حس‌گر) بالا می‌آید، قرار گیرد.

#### ۲۲-۳-۲-۳ تعیین اختلاف دمای سیال انتقال گرما ($\Delta T$)

اختلاف بین دمای ورودی و خروجی کلکتور ($\Delta T$) باید با عدم قطعیت استاندارد کمتر از ۰٫۰۵ $K$ تعیین شود. حس‌گرهای دلتا-تی[4] باید در گستره دمایی مربوطه، واسنجی شوند.

### ۲۲-۳-۳ دمای میانگین وزنی سرعت واقعی[5] (کلکتورهای گرمایشی هوا)

1- Data logger
2- Pipe work
3- Orifice
4- Delta-T sensor
5- Objective Velocity weighted mean temperature



shaghool.ir

### ۲۲-۳-۳-۱ کلیات

دمای میانگین وزنی سرعت؛ جریان حجمی، ظرفیت گرمایی و دمای وزنی چگالی[1] را مشخص می‌کند که نشان‌دهنده دمای میانگین واقعی در کانال هوا است.

اگر جریان هوا با $\vartheta > \vartheta_a$ در حال عبور از یک کانال تهویه[2] باشد، توزیع دمایی معین و در نتیجه توزیع ظرفیت گرمایی و چگالی به علت تلفات دمایی کانال تهویه و توزیع سرعت جریان معینی در کانال تهویه، ایجاد می‌شود. دماهای میانگین حرارتی $\vartheta_{m,th,out}$ و $\vartheta_{m,th,in}$، دماهای معرف تراز حرارتی[3] در کلکتور خورشیدی گرمایشی هوا هستند.

$$\vartheta_{m,th} = \frac{\iint \vartheta(x,y) v(x,y) \rho(x,y) c(x,y) dxdy}{\iint v(x,y) \rho(x,y) c(x,y) dxdy} \qquad (۱۲)$$

به دلیل تأثیر کمِ چگالی و ظرفیت گرمایی، فرمول ۱۲ را می‌توان کوتاه‌تر کرد:

$$\vartheta_{m,th} = \frac{1}{A v_m} \iint \vartheta(x,y) v(x,y) dxdy \qquad (۱۳)$$

چون توزیع جریان مشخص نیست، جریان در سطح مقطع کانال، باید همگن شود. اندازه‌گیری دما باید به‌گونه‌ای طراحی شود که شیب‌های دمایی در سطح مقطع کانال تراز شده باشند. برای مثال، توزیع جریان را می‌توان با قرار دادن توری[4] در کانال تهویه همگن کرد. با استفاده از حس‌گر دمای متوسط توزیع‌شده یکنواخت[5] (مارپیچ ارشمیدس[6]) در کانال، دمای میانگین حرارتی را می‌توان تعیین کرد.

### ۲۲-۳-۳-۲ درستی موردنیاز

دمای سیال انتقال گرما در ورودی کلکتور باید با عدم قطعیت استاندارد ۰٫۲ K± اندازه‌گیری شود. برای بررسی اینکه دما نسبت به زمان تغییر نمی‌کند، سیگنال دمایی با تفکیک‌پذیری بالاتر از ۰٫۰۴ K± موردنیاز است.

### ۲۲-۳-۳-۳ نصب حس‌گرها

دمای میانگین حرارتی باید با توجه به ضرایب مشخص‌شده در بند ۲۲-۳-۳، تعیین شود. حس‌گر اندازه‌گیری دما باید در فاصله حداکثر ۲۰۰mm از ورودی/خروجی کلکتور نصب شود و عایق‌کاری باید قبل و پس از بالادست و پایین‌دست حس‌گر در اطراف کانال‌ها انجام شود. اگر لازم باشد که حس‌گر در فاصله بیش از ۲۰۰mm از کلکتور قرار گیرد، باید آزمونی برای ارزیابی اینکه اندازه‌گیری دمای سیال تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد، انجام شود که می‌توان با محاسبه مجدد اختلاف دمای ورودی و خروجی این کار را انجام داد.

1- Density weighted temperature
2- Ventilation channel
3- Caloric balance
4- Fine-mesh net
5- Evenly distributed
6- Archimedean spiral



shaghool.ir

**یادآوری**- مثالی از چیدمان یک حس‌گر در پیوست هـ داده شده است.

### ۲۲-۳-۳-۴ تعیین اختلاف دمای سیال انتقال گرما ($\Delta T$)

اختلاف بین دمای ورودی و خروجی کلکتور ($\Delta T$) باید با عدم قطعیت استاندارد کمتر از ۰٫۱ K تعیین شود.

حس‌گرهای دلتا-تی باید با استفاده از هوا، در گستره مربوطه جریان و دما، واسنجی شوند.

**یادآوری**- با رسیدن به این عدم قطعیت استاندارد، اندازه‌گیری اختلاف دمای سیال انتقال گرما تا ۵ K با درستی قابل‌قبول، امکان‌پذیر می‌شود.

### ۲۲-۳-۴ اندازه‌گیری دمای هوای محیط ($\vartheta_a$)

#### ۲۲-۳-۴-۱ درستی موردنیاز

دمای هوای اطراف یا محیط باید با عدم قطعیت استاندارد کمتر از ۰٫۵ K اندازه‌گیری شود.

#### ۲۲-۳-۴-۲ نصب حس‌گرها

برای انجام اندازه‌گیری‌ها در فضای باز، حس‌گر باید توسط یک حفاظ سفیدرنگ و تهویه‌شده، ترجیحا با تهویه اجباری، از تابش مستقیم و انعکاسی خورشیدی محفوظ بماند. خود حفاظ باید در سایه بوده و در ارتفاع میانی کلکتور و حداقل یک متر بالای سطح زمین قرار گیرد تا گرمایش زمین روی آن تأثیر نگذارد.

حفاظ باید در یک طرف کلکتور قرار گیرد و فاصله آن از کلکتور بیشتر از ده متر نباشد. اگر جریان هوا به‌صورت اجباری توسط مولد باد بر روی کلکتور وزیده شود، دمای هوا باید در خروجی مولد باد اندازه‌گیری شود و باید برای اطمینان، بررسی شود که این دما با دمای هوای محیط بیش از ۱ K± اختلاف نداشته باشد.

## ۲۲-۴ اندازه‌گیری نرخ جریان

### ۲۲-۴-۱ اندازه‌گیری نرخ جریان سیال (مایع) کلکتور

نرخ جریان جرمی را می‌توان مستقیما یا در صورت مشخص بودن چگالی، با اندازه‌گیری دما و نرخ جریان حجمی جریان اندازه‌گیری نمود. عدم قطعیت استاندارد اندازه‌گیری نرخ جریان مایع باید در محدوده ٪ ۱ ± مقدار اندازه‌گیری شده بوده، و واحد آن، جرم بر واحد زمان می‌باشد. جریان‌سنج باید در گستره دمایی و نیز نرخ جریان‌های سیال مورداستفاده در طول آزمون کلکتور، واسنجی شود.

بهتر است دمای سیال در جریان‌سنج‌های حجمی با درستی کافی، معلوم باشد تا اطمینان حاصل شود که نرخ جریان جرمی را می‌توان با درستی داده شده تعیین کرد.

### ۲۲-۴-۲ اندازه‌گیری نرخ جریان سیال کلکتور (کلکتورهای گرمایشی هوا)

عدم قطعیت استاندارد اندازه‌گیری نرخ جریان جرمی باید در محدوده ٪ ۲± مقدار اندازه‌گیری شده باشد و واحد آن، جرم بر واحد زمان باشد. با تعیین فشار و دما، می‌توان نرخ جریان حجمی را به نرخ جریان جرمی تبدیل کرد. با قرار گرفتن دما در گستره‌های عدم قطعیت؛ فشار و نرخ جریان حجمی در جدول ۶ داده شده است.



shaghool.ir

**جدول ۶- بیشینه مجاز عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری**

| فرمول | مقدار اندازه‌گیری | عدم قطعیت اندازه‌گیری |
|---|---|---|
| $V_p$ | جریان حجمی | ± ۱ ٪ |
| $\vartheta_{mp}$ | دمای جریان هوا در ابزار اندازه‌گیری نرخ جریان حجمی | ± ۱ K |
| $P_{abs}$ | فشار مطلق هوای محیط | ± ۵۰ Pa |
| $m_p$ | نرخ جریان جرمی | ± ۲ ٪ |

بهتر است هرکدام از حس‌گرها در گستره کامل کاربرد، واسنجی شوند.

نرخ جریان جرمی را می‌توان با فرمول زیر تعیین کرد:

$$m_p = V_p \cdot \rho_I \qquad (۱۴)$$

برای تعیین چگالی باید از فرمول زیر استفاده کرد:

$$\rho_I = \frac{1+\frac{X_W}{1000}}{R_L+\frac{X_W}{1000}\cdot R_D}\cdot\frac{\left(P_{abs}+p_f\right)}{\left(\vartheta_{mp}+273{,}15\right)} \qquad (۱۵)$$

برای تعیین نرخ جریان، باید از روش‌های اندازه‌گیری مانند روش فشار تفاضلی[1] (صفحات اوریفیس، لوله‌های ونتوری یا جریان سنج جریان آرام[2]) یا روش‌های مکانیکی (نوع توربینی) استفاده کرد. روش‌های اندازه‌گیری حرارتی، به علت خطاهای زیاد اندازه‌گیری ناشی از رطوبت موجود درون هوا، کاربردی نیستند.

## ۲۲-۵ اندازه‌گیری سرعت هوای محیط

### ۲۲-۵-۱ کلیات

تلفات گرمایی کلکتور با افزایش سرعت هوا بر روی کلکتور افزایش می‌یابد، اما تأثیر جهت سرعت هوا به‌خوبی مشخص نیست؛ بنابراین از اندازه‌گیری‌های جهت سرعت هوا برای آزمون کلکتور استفاده نمی‌شود. رابطه بین سرعت باد در محیط[3] و سرعت هوا بر روی کلکتور بستگی به مکان تجهیزات آزمون دارد، لذا سرعت باد در محیط، پارامتر مفیدی برای آزمون کلکتور نیست. با استفاده از سرعت بادِ اندازه‌گیری شده بر روی کلکتور، تعیین دقیق شرایط انجام آزمون‌ها امکان‌پذیر است.

### ۲۲-۵-۲ درستی موردنیاز

برای انجام آزمون در هر دو فضای باز و بسته، سرعت هوای محیط بر روی سطح رویی کلکتور باید با عدم قطعیت استاندارد کمتر از ۰٫۵m/s ( ۰٫۲۵m/s برای کلکتورهای بدون شیشه) اندازه‌گیری شود. در شرایط

1- Differential pressure method
2- Laminar-flow-elements
3- Meteorological wind speed



shaghool.ir

فضای باز، سرعت هوای محیط به‌ندرت ثابت است و غالبا بادهای ناگهانی می‌وزد؛ بنابراین لازم است تا سرعت میانگین هوا در طول دوره آزمون اندازه‌گیری شود. این کار از طریق محاسبه میانگین حسابی مقادیر نمونه‌برداری شده یا انتگرال‌گیری زمانی در طول دوره آزمون، انجام می‌شود.

لازم به ذکر است بادسنج‌ها دارای محدوده‌های راه‌اندازی بین ۰٫۵ m/s تا ۱ m/s هستند؛ بنابراین، خطاهای قابل‌توجهی ممکن است در سرعت‌های باد کمتر از ۱ m/s رخ دهد.

### ۲۲-۵-۲-۱ نصب حس‌گرهای اندازه‌گیری سرعت هوای روی کلکتور

#### ۲۲-۵-۲-۱-۱ کلیات

در طول آزمون در فضای بسته، سرعت هوا ممکن است از یک سر کلکتور تا سر دیگر آن تغییر کند؛ بنابراین، باید یک سری اندازه‌گیری‌های سرعت هوا در فاصله ۱۰mm تا ۵۰mm روی سطح کلکتور و در فواصل مساوی بر روی آن انجام شود و سپس مقدار میانگین تعیین شود. اندازه‌گیری‌های سرعت هوا در شرایط ثابت در فضای بسته باید قبل و بعد از نقاط آزمون عملکرد انجام شوند تا از سایه انداختن روی سطح کلکتور جلوگیری شود.

هنگام آزمون در فضای باز، در مکان‌هایی که میانگین سرعت باد زیر ۲m/s است باید از مولد باد مصنوعی استفاده شود و می‌توان از اندازه‌گیری‌های انجام‌شده توسط بادسنج برای تعیین مداوم سرعت هوا، استفاده کرد.

برای بررسی صحت کارکرد مولد باد، بادسنج (های) دائمی باید در لبه کلکتور، نصب شوند. این بادسنج‌ها باید بر روی صفحه[1] نصب شوند، به‌نحوی‌که سطحی پیوسته[2] وجود خواهد داشت که به‌طرف مولد باد متمرکز بوده و از کلکتور تا ۰٫۳ متر پشت بادسنج ادامه دارد. اگر مولد باد در طول لبه کوتاه کلکتور نصب شده است، باید از دو بادسنج استفاده کرد. یکی از بادسنج‌ها در یک‌طرف کلکتور و در یک‌سوم ارتفاع کلکتور و دیگری در کناره دیگر و در دوسوم ارتفاع کلکتور نصب شود. اگر مولد باد در طول لبه‌بلند کلکتور نصب شده باشد، باید حداقل از یک بادسنج استفاده کرد. بادسنج (ها) باید در جریان هوای مولد باد در سر (های) کلکتور، در نصف عرض کلکتور یا در طول لبه کلکتور، در کناره مخالف مولد باد در یک‌سوم یا دوسوم طول کلکتور نصب شود. اگر مولد باد دور از کلکتور قرار دارد، بادسنج باید برای اندازه‌گیری سرعت باد در سرتاسر صفحه کلکتور، نصب شود. یکنواختی سرعت هوا در میدان دید سطح کلکتور باید بررسی شود چرا که ممکن است سرعت هوا از یک سر کلکتور تا سر دیگر آن تغییر کند. سرعت باد باید در حین تنظیم مولد باد، با استفاده از بادسنج دستی در ارتفاع ۱۰ mm تا ۵۰mm بالای صفحه سطح کلکتور، اندازه‌گیری شود.

در مناطق بادخیز، اندازه‌گیری سرعت باد باید در نزدیکی کلکتور و در فاصله نصف ارتفاع آن انجام شود. در طول آزمون‌ها، حس‌گرها نباید از باد محافظت شوند و نیز نباید بر کلکتور سایه بیندازند.

**یادآوری**- مقدار ثبت شده سرعت باد با سرعت هوای بالای صفحه کلکتور متفاوت است.

1- Board
2- Continuous surface



shaghool.ir

در کلکتورهای متمرکزکننده قواعد زیر اجرا می‌شود:

الف- توصیه می‌شود کلکتورهای متمرکزکننده بدون پوشش شفاف و با ضریب تمرکز $C_R < ۱۰$ مانند کلکتورهای بدون شیشه در نظر گرفته شوند.

ب- توصیه می‌شود کلکتورهای متمرکزکننده با پوشش شفاف و ضریب تمرکز $C_R < ۳$ مانند کلکتورهای غیر متمرکزکننده[1] در نظر گرفته شوند.

پ- در کلکتورهای متمرکزکننده با پوشش شفاف و ضریب تمرکز $C_R > ۳$، می‌توان وابستگی به سرعت باد را نادیده گرفت.

ت- در کلکتورهای متمرکزکننده با لوله خلاء می‌توان وابستگی به سرعت باد را، بدون توجه به مقدار ضریب تمرکز $C_R$، نادیده گرفت.

### ۲۲-۵-۲-۱-۲ کلکتورهای بدون شیشه

دو بادسنج نصب شده دائمی، باید در طرفین کلکتور، برای پایش صحت کارکرد مولد باد، قرار گیرند. این بادسنج‌ها باید بر روی صفحه نصب شوند، به‌نحوی‌که سطحی پیوسته به وجود آید که به‌طرف مولد باد متمرکز بوده و از کلکتور تا ۰٫۳ متر پشت بادسنج ادامه یابد. بهتر است یکی از بادسنج‌ها در یک‌طرف کلکتور و در یک‌سوم ارتفاع آن و دیگری در کناره دیگر و در دوسوم ارتفاع کلکتور نصب شود.

باید در بالای سطح کلکتور و در تعداد ۹ موقعیت بافاصله یکسان، یک سری اندازه‌گیری انجام شود. سپس مقدار میانگین باید تعیین شود. در مورد کلکتوری که عایق‌کاری پشتی ندارد یا بر روی سطح شبیه‌سازی‌شده با بام نصب نشده است، سرعت هوا باید در بالای سطوح رویی و پشتی اندازه‌گیری شود. از میانگین سرعت هوا در بالای سطوح پشتی و رویی، باید در همبسته نمودن داده‌ها استفاده شود. در طول آزمون، سرعت هوا باید در نقطه مناسبی که نسبت به میانگین سرعت هوا در بالای کلکتور واسنجی شده است، مورد پایش قرار گیرد.

در صورت استفاده از مولد باد، یک سری اندازه‌گیری سطح اغتشاش در تعداد ۹ موقعیت بافاصله یکسان بر روی سطح کلکتور، باید انجام شود. سطح اغتشاشی باید در گستره ٪ ۲۰ تا ٪ ۴۰ باشد.

در طول آزمون، سطح اغتشاش باید مطابق بند ۲۲-۵-۲-۱ بازبینی شود.

## ۲۲-۶ اندازه‌گیری زمان صرف شده

زمان صرف شده باید با عدم قطعیت استاندارد کمتر از ٪ ۰٫۲ اندازه‌گیری شود.

## ۲۲-۷ اندازه‌گیری فشار

اندازه‌گیری فشار برای تعیین اطلاعات مختلفی در کلکتور استفاده می‌شود:

- افت فشار

1- Non-concentrating collectors



shaghool.ir

- سطح فشار در مدت آزمون بازده
- نرخ نشتی (ناشی از اختلاف فشار)

دستگاه در بند ۷ شرح داده شده است.

فشار ورودی به کلکتور و افت فشار در سراسر آن باید با ابزار اندازه‌گیری که دارای خطای کمتر از ٪ ۵ مقدار اندازه‌گیری شده یا Pa ۱۰± است، اندازه‌گیری شود. اگر کلکتور به‌صورت ماژول عرضه شده است، افت فشار باید در هر ماژول تعیین شود. برای جذب‌کننده‌های تیغه‌ای یا نواری، فشار باید در هر متر از تیغه، تعیین شود.

### ۲۲-۸ اندازه‌گیری رطوبت

وقتی‌که هوا به‌عنوان سیال انتقال گرما به‌کار رود، نسبت رطوبت آن برای تعیین صحیح ظرفیت حرارتی ویژه لازم است. نسبت رطوبت $X_W$ باید با درستی ۰٫۰۰۱ ± ( کیلوگرم آب تقسیم بر کیلوگرم هوای خشک) و در دمای سیال °C ۲۵ اندازه‌گیری شود (به شکل‌های ۵ و ۶ مراجعه شود).

### ۲۲-۹ سطح ناخالص کلکتور

سطح ناخالص کلکتور باید با عدم قطعیت استاندارد ٪ ۰٫۳ اندازه‌گیری شود. اگر جذب‌کننده از مواد آلی ساخته شده باشد، اندازه‌گیری سطوح باید در دمای کلکتور °C (۱۰±۲۰) و تحت‌فشار کاری انجام شود.

### ۲۲-۱۰ ظرفیت سیال کلکتور

ظرفیت سیال کلکتور باید با عدم قطعیت استاندارد کمتر از ٪ ۱۰ اندازه‌گیری شود.

اندازه‌گیری‌ها ممکن است با وزن کردن کلکتور در حالت خالی و مجدداً در حالت پر از سیال؛ یا با پر و خالی کردن کلکتور برای تعیین محتوای جرم سیال، انجام شوند.

دمای سیال باید در محدوده K ۲± از دمای محیط، باشد.

تعیین ظرفیت را می‌توان از طریق محاسبه بر مبنای شرایط هندسی نیز انجام داد.

## ۲۳ تأسیسات آزمون

### ۲۳-۱ کلکتورهای گرمایشی مایع

#### ۲۳-۱-۱ کلیات

نمونه‌هایی از چیدمان آزمون، برای آزمون کلکتورهای خورشیدی که از مایع به‌عنوان سیال انتقال گرما استفاده می‌کنند، در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. این شکل‌ها صرفا شماتیک بوده و مطابق مقیاس رسم نشده‌اند.

#### ۲۳-۱-۲ سیال انتقال گرما

سیال انتقال گرمای مورداستفاده برای آزمون کلکتور ممکن است آب یا سیالی باشد که سازنده کلکتور توصیه کرده است. ظرفیت گرمایی ویژه و چگالی سیال در گستره دماهای سیال مورداستفاده در حین انجام آزمون‌ها، باید در حدود ٪ ۱± معلوم باشد. این مقادیر برای سیال آب در پیوست ج ارائه است.



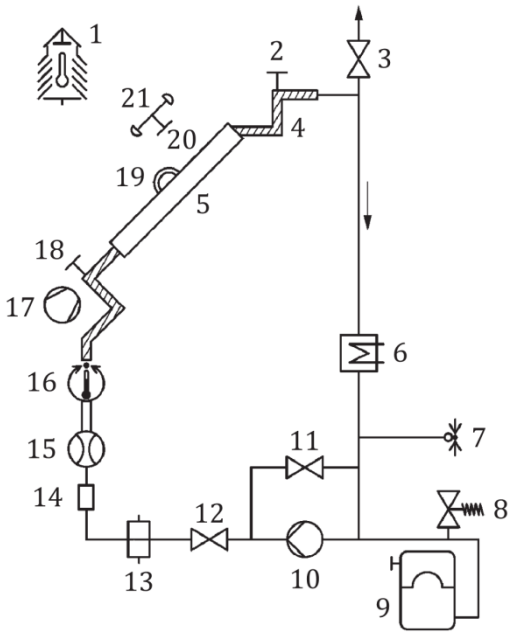
shaghool.ir

برای اطمینان یافتن از ثابت ماندن خواص، ممکن است برخی از سیال‌ها نیاز به تعویض دوره‌ای داشته باشند.

نرخ جریان جرمی سیال انتقال گرما باید برای کلکتور موردنظر، در حین انجام تمام آزمون‌های تعیین منحنی توان، ثابت زمانی و ضرایب تصحیح زاویه تابش، یکسان (٪ ۱۰±) باشد.



shaghool.ir




**راهنما:**

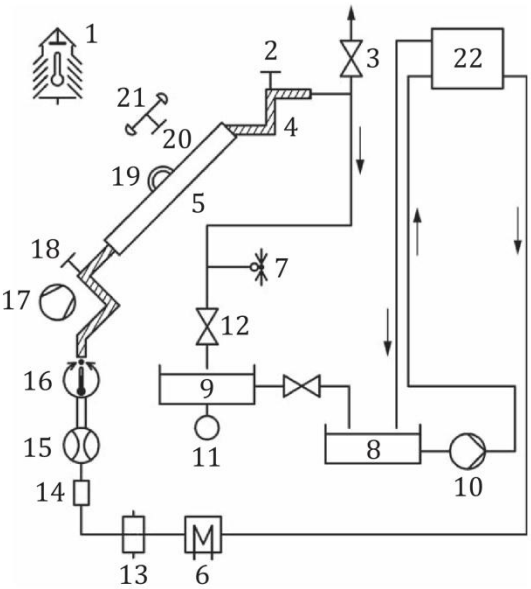
| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | حس‌گر دمای محیط | 12 | شیر کنترل جریان |
| 2 | حس‌گر دما ($\vartheta_e$) | 13 | فیلتر (۲۰μm) |
| 3 | مجرای تخلیه هوا | 14 | شیشه بازرسی |
| 4 | لوله عایق شده | 15 | جریان‌سنج |
| 5 | کلکتور خورشیدی | 16 | تنظیم‌کننده دمای ثانویه |
| 6 | گرم‌کن/خنک‌کن برای کنترل دمای اولیه | 17 | مولد باد مصنوعی |
| 7 | فشارسنج | 18 | حس‌گر دما ($\vartheta_{in}$) |
| 8 | شیر ایمنی | 19 | پیرجیومتر |
| 9 | مخزن انبساط | 20 | پیرانومتر |
| 10 | پمپ | 21 | بادسنج |
| 11 | سوپاپ کنارگذر[1] | | |

**شکل ۵- مثالی از آزمون مداربسته**

1- Bypass valve



shaghool.ir




**راهنما:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | حس‌گر دمای محیط اطراف | 12 | شیر کنترل جریان |
| 2 | حس‌گر دما ($\vartheta_e$) | 13 | فیلتر (۲۰۰μm) |
| 3 | مجرای تخلیه هوا | 14 | شیشه بازرسی |
| 4 | لوله عایق شده | 15 | جریان‌سنج |
| 5 | کلکتور خورشیدی | 16 | تنظیم‌کننده دمای ثانویه |
| 6 | گرم‌کن/خنک‌کن برای کنترل دمای اولیه | 17 | مولد باد مصنوعی |
| 7 | فشارسنج | 18 | حس‌گر دما ($\vartheta_{in}$) |
| 8 | مخزن | 19 | پیرجیومتر |
| 9 | مخزن توزین | 20 | پیرانومتر |
| 10 | پمپ | 21 | بادسنج |
| 11 | ترازو | 22 | مخزن با هد ثابت |

**شکل ۶- مثالی از آزمون مدار باز**

### ۳-۱-۲۳ لوله و اتصالات

درصورتی‌که از سیال‌های غیرآبی[1] استفاده شود، باید پیش از شروع آزمون‌ها، سازگاری آن‌ها با جنس مواد سامانه، مورد تائید قرار گیرد. طول لوله‌ها باید عموماً کوتاه باشد. به‌ویژه، طول لوله‌کشی بین خروجی تنظیم‌کننده دمای سیال و ورودی کلکتور باید به حداقل برسد تا اثرات محیط بر روی دمای ورودی سیال کاهش یابد. برای اطمینان از نرخ اتلاف گرمایی کمتر از ۰٫۲ W/K، این قسمت از لوله، باید عایق‌بندی شده و توسط پوشش انعکاسی مقاوم در برابر عوامل جوی[2] محافظت شود. لوله‌کشی بین نقاط حس‌کننده دما[3] و

1- Non-aqueous fluid
2- Reflective weather proof coating
3- Temperature sensing point



shaghool.ir

کلکتور (ورودی و خروجی) و تا بعد از موقعیت حسگرهای دما باید با عایق‌بندی و پوشش‌های انعکاسی، محافظت شوند همچنین برای اندازه‌گیری‌ها در فضای باز، باید در برابر عوامل جوی نیز مقاوم باشند به‌طوری‌که بهره یا افت دمایی محاسبه‌شده در طول هر بخش از لوله در شرایط آزمون از ۰٫۰۱K± فراتر نرود. وسایل مخلوط کننده‌های جریان[1] مانند زانویی‌ها بلافاصله قبل از حس‌گرهای دما موردنیاز می‌باشند (به بند ۲۲-۳ مراجعه شود).

در مدار سیال باید از لوله شفافی با طول کوتاه استفاده شود تا در صورت وجود حباب‌های هوا و سایر آلاینده‌ها، این مواد قابل‌مشاهده باشند. بهتر است لوله شفاف نزدیک ورودی کلکتور قرار گیرد ولی توصیه می‌شود بر اندازه‌گیری‌های دما یا کنترل دمای ورودی سیال تأثیر نگذارد. به این منظور، وجود جریان‌سنج با سطح متغیر[2] (مانند روتامتر) مناسب است زیرا این جریان‌سنج به‌طور همزمان، جریان سیال را مستقلاً و به‌صورت دیداری نیز نشان می‌دهد. بهتر است در خروجی کلکتور و سایر نقاط سامانه که امکان حبس شدن هوا وجود دارد، یک جداکننده هوا و مجرای تخلیه هوا قرار داده شود.

بهتر است فیلترها پس از وسیله اندازه‌گیری جریان و پمپ، مطابق با شیوه معمول نصب شوند (معمولا فیلتری با اندازه اسمی ۲۰۰ µm کافی است).

### ۲۳-۱-۴ پمپ و وسایل کنترل جریان

در مدار آزمون کلکتور، پمپ سیال باید در موقعیتی قرار گیرد که گرمای اتلافی انتقالی از آن به سیال، روی کنترل دمای ورودی کلکتور یا اندازه‌گیری افزایش دمای سیال در کلکتور، تأثیری نگذارد. در مورد بعضی از انواع پمپ‌ها، با مدار کنارگذر ساده و شیر سوزنی با کنترل دستی، می‌توان جریان را به‌طور مناسب کنترل کرد. در صورت لزوم می‌توان با افزودن وسیله مناسب کنترل جریان، نرخ جریان جرمی جریان را تثبیت کرد. پمپ و کنترل‌کننده جریان باید علی‌رغم تغییرات دمایی، در دماهای ورودی انتخاب شده در گستره کاری، قادر به ثابت نگه‌داشتن نرخ جریان جرمی یا حجمی در کلکتور در گستره ٪ ۱ باشند.

### ۲۳-۱-۵ تنظیم دمای سیال انتقال گرما

مدار آزمون کلکتور باید قادر به ثابت نگه‌داشتن دمای ورودی کلکتور در دمای انتخاب شده در گستره کاری باشد. از آنجا که نرخ دریافت انرژی در کلکتور با اندازه‌گیری مقادیر لحظه‌ای دماهای خروجی و ورودی سیال به دست می‌آید، در نتیجه تغییرات کوچک دمای ورودی، منجر به خطاهایی در نرخ دریافت انرژی دریافتی خواهد شد. به‌ویژه لازم است تا از تغییرات دمای ورودی کلکتور جلوگیری شود.

ممکن است مدارهای آزمون شامل دو مرحله کنترل دمای ورودی سیال، مطابق با شکل‌های ۵ و ۶ باشند. بهتر است کنترل‌کننده دمای اولیه پس از جریان‌سنج و کنترل‌کننده جریان قرار گیرد. توصیه می‌شود برای تنظیم دمای سیال، درست پیش از ورودی کلکتور، از تنظیم‌کننده دمای ثانویه استفاده شود. معمولا توصیه نمی‌شود این تنظیم‌کننده ثانویه برای تنظیم دمای سیال بیشتر از ۲K±، مورداستفاده قرار گیرد.

1- Flow mixing device
2- Variable area flow meter



shaghool.ir

کنترل‌کننده دمای ثانویه در نزدیکی ورودی کلکتور، به‌شرطی که مشکلاتی را برای اندازه‌گیری دمای ورودی «دمای متوسط فنجانی[1]» ایجاد نکند، مفید خواهد بود. از طرف دیگر، بهتر است کنارگذرها همچنان همانند وسیله‌ای، مجاز به کاهش اثر اتلاف گرمایی و بهبود مشخصات کنترلی مدارهای گرمایشی باشند. نرخ جریان زیاد و ثابت از طریق گرم‌کن‌ها، به کنترل PID امکان کنترل سریع را با عملگرهای I و D می‌دهد، درحالی‌که عبور هر جریانی از کلکتور را می‌توان انتخاب کرد.

## ۲۳-۲ کلکتورهای گرمایشی هوا

### ۲۳-۲-۱ کلیات

به‌طور اساسی دو نوع کلکتور هوا وجود دارد.

الف- کلکتورهای خورشیدی گرمایشی هوا که در یک مداربسته هوا کار می‌کنند (مداربسته)؛

ب- کلکتورهای خورشیدی گرمایشی هوا که با مکش هوای محیط کار می‌کنند (باز به محیط[2])؛

**یادآوری**- از نظر سطح فنّاوری، نوع ب را می‌توان به دو زیرمجموعه مختلف تقسیم‌بندی کرد:

۱- کلکتورهای مدار باز، با نام کلکتورهای متخلخل مکشی[3]. وقتی‌که مکش هوای محیط با استفاده از مواد جذب‌کننده یا پوشش کلکتور شیشه‌ای سوراخ‌دار صورت می‌گیرد.

۲- کلکتورهای مدار باز وقتی‌که مکش هوای محیط با استفاده از کانال ورودی مشخص یا پوشش کلکتور شیشه‌ای سوراخ‌دار صورت می‌گیرد.

### ۲۳-۲-۲ مداربسته

اگر کلکتورها در یک جریان هوای بسته، با دمنده دارای سرعت کنترل‌شده (تنظیم دور بر دقیقه RPM) مورد آزمون قرار گیرند، باید در ورودی و خروجی از یک جریان‌سنج استفاده کرد. این نوع کلکتور باید در فشار محیط مورد آزمون قرار گیرد که ممکن است با استفاده از دو دمنده قابل انجام باشد. می‌توان بین دو دمنده، بخشی را که هوا در آن به دمای مورد نظر می رسد، نصب کرد (شکل ۷).

### ۲۳-۲-۳ آزمون مدار باز برای کلکتورهای خورشیدی گرمایشی هوای باز به محیط

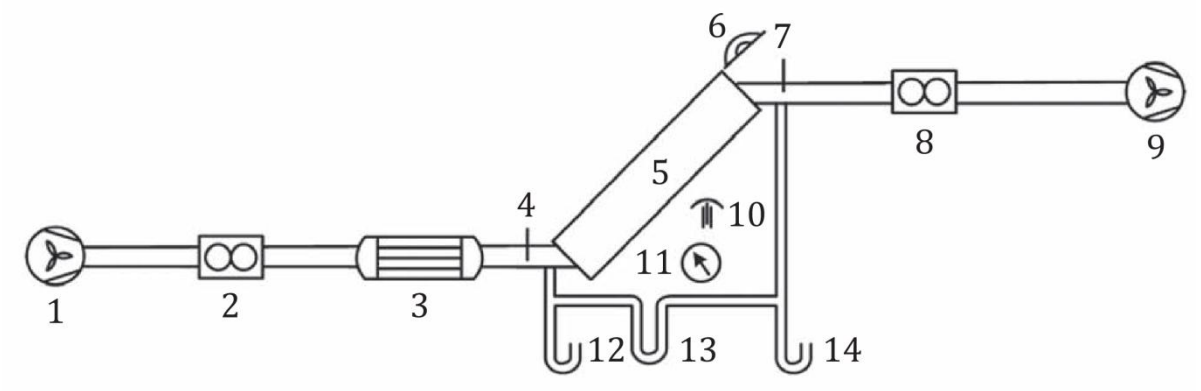
برای آزمون کلکتورهای خورشیدی گرمایشی هوای باز به محیط، لازم است جریان جرمی تنها در خروجی کلکتور تعیین گردد. دمای ورودی کلکتور متناسب با دمای محیط است.

نمونه‌ای از چیدمان آزمون برای آزمون کلکتورهای خورشیدی گرمایشی هوای باز به محیط در شکل ۸ نشان داده شده است.

1- Mean cup
2- Open to ambient
3- Transpired collectors



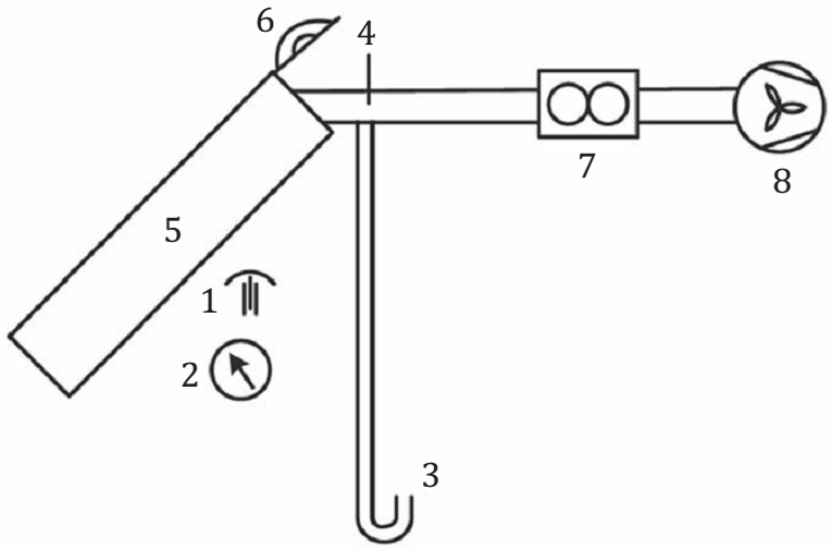
shaghool.ir




**راهنما:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | دمنده | 8 | جریان‌سنج ($\dot{m}_e = f(\dot{V}_e, \vartheta_{mp,e}, rH_e, P_e)$) |
| 2 | جریان‌سنج ($\dot{m}_i = f(\dot{V}_i, \vartheta_{mp,i}, rH_i, P_i)$) | 9 | دمنده |
| 3 | گرمکن برقی هوا | 10 | حس‌گر دما هوای محیط ($\vartheta_a$) |
| 4 | حس‌گر دما ($\vartheta_{in}$) | 11 | فشارسنج برای هوای محیط ($P_{abs}$) |
| 5 | گرمکن هوای خورشیدی | 12 | فشارسنج ($P_{f,i}$) |
| 6 | پیرانومتر (G) | 13 | فشار تفاضلی ($\Delta P = P_{f,i} - P_{f,e}$) |
| 7 | حس‌گر دما ($\vartheta_e$) | 14 | فشارسنج ($P_{f,e}$) |

**شکل ۷- نمونه‌ای از آزمون مداربسته**




**راهنما:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | حس‌گر دما هوای محیط ($\vartheta_a$) | 5 | گرمکن هوای خورشیدی |
| 2 | فشارسنج هوای محیط ($P_{abs}$) | 6 | پیرانومتر (G) |
| 3 | فشارسنج ($P_{f,e}$) | 7 | جریان‌سنج ($\dot{m}_e = f(\dot{V}_e, \vartheta_{mp,e}, rH_e, P_e)$) |
| 4 | حس‌گر دما ($\vartheta_e$) | 8 | دمنده |

**شکل ۸- نمونه‌ای از مدار آزمون باز**



shaghool.ir

**۲۳-۲-۴ سیال انتقال گرما**

سیال انتقال گرما برای کلکتورهای گرمایشی هوا، هوا است. برای تعیین ظرفیت گرمایی ویژه هوا در هر نقطه مورد نظر، دانستن مقدار رطوبت و دما لازم است که می‌توان آن را با دمای سیال که در بند ۲۵-۲ داده شده است، محاسبه کرد. چگالی باید مطابق بند ۲۲-۴-۲ محاسبه شود.

**۲۳-۲-۵ کانال‌های آزمون**

کانال‌های هوای بالادست و پایین‌دست کلکتور، باید دارای سطح مقطع یکسان به ترتیب، با ورودی و خروجی کلکتور باشند. الگوی جریان هوا درون کلکتور، برای سنجش صحیح عملکرد بسیار مهم است. الگوی جریان هوا درون کلکتور (مخصوصا قسمت نزدیک به ورودی) بیشتر به اتصالات بین سامانه کانال و کلکتور مرتبط است. در آزمون‌های استانداردشده، تنها ماژول کلکتور تکی آزمون می‌شود که ممکن است مطابق حالت نصب مرسوم نباشد.

برای رسیدن به الگوی جریان هوای یکنواخت در سرتاسر کلکتور در هر آزمون کلکتور، بهتر است از کانال‌های توزیع منظم هوا که توسط سازنده در ورودی و خروجی تعبیه شده است، استفاده شود. با استفاده از جعبه‌های دارای ورقه‌های فلزی سوراخ‌دار در ورودی و خروجی، می‌توان به توزیع جریان هوای مطلوب، دست یافت. به‌عبارت‌دیگر جریان هوای یکنواخت از خط مرکزی کلکتور به‌طرف لبه‌ها از ورودی تا خروجی وجود دارد. مقطع بین دمای خروجی و ورودی مجموعه حس‌گر و ورودی و خروجی کلکتور باید برای محدود کردن تلفات گرمایی به ۰٫۲ W/K± عایق‌کاری شود. برای انجام آزمون‌ها در فضای باز، عایق‌کاری باید با استفاده از پوششِ مقاوم در برابر عوامل جوی، محافظت شود.

بهتر است فیلترها پس از وسیله اندازه‌گیری جریان و دمنده، مطابق با حالت عادی قرار گیرند (معمولا یک فیلتر با اندازه اسمی ۲۰۰ µm کافی است).

باید آزمون نشتی برای هر لوله، اتصالات کانال و ابزار اندازه‌گیری انجام شود. مطابق بند ۷، از روش یکسانی باید استفاده شود. بهتر است هیچ‌کدام از اجزاء، دارای نرخ نشتی بالاتر از ۲ $m^3/h$ در فشار ۲۵۰ Pa، نباشند. قبل از اندازه‌گیری عملکرد، باید آزمون نشتی خروجی و ورودی کلکتور انجام شده و نرخ نشتی در گزارش آزمون آورده شود.

**۲۳-۲-۶ دمنده و وسایل کنترل جریان**

دمنده باید در مدار آزمون کلکتور، در موقعیتی نصب شود که گرمای منتقل‌شده از آن به سیال، روی دمای ورودی کلکتور یا اندازه‌گیری افزایش دمای سیال در کلکتور، تأثیری نگذارد. دمنده و کنترل‌کننده جریان باید علی‌رغم تغییرات دمایی، در هر دمای ورودی انتخاب شده در گستره کاری، قادر به ثابت نگه‌داشتن نرخ جریان جرمی در کلکتور تا حدود ٪۱٫۵± باشند.



shaghool.ir

### ۲۳-۲-۷ تجهیزات پیش آماده‌سازی هوا

دستگاه پیش آماده‌سازی هوا[1]، باید دمای حباب خشک هوای ورودی به کلکتور خورشیدی را، در محدوده ۱٫۰ K± مقادیر آزمون موردنظر، در تمام مدت‌زمان انجام آزمون، کنترل کند. ازآن‌جاکه نرخ انرژی در کلکتور با اندازه‌گیری مقادیر لحظه‌ای دماهای خروجی و ورودی سیال به دست می‌آید، در نتیجه تغییرات کوچک دمای ورودی، منجر به بروز خطاهایی در نرخ انرژی دریافتی خواهد شد. لذا جلوگیری از تغییرات دمای ورودی کلکتور، دارای اهمیت خاصی است.

برای مطابقت با شرایط انجام آزمون بند ۲۴-۵-۳ ، ظرفیت گرمایشی و سرمایشی دستگاه پیش آماده‌سازی هوا باید به نحوی انتخاب شود تا امکان افزایش و یا کاهش دمای حباب خشک هوایِ ورودی به دستگاهِ پیش آماده‌سازی تا دمای مطلوب، امکان‌پذیر باشد.

### ۲۳-۲-۸ نسبت رطوبت

وقتی هوا، سیال انتقال است و مجموعه آزمون[2] در فشار منفی کار می‌کند، نسبت رطوبت سیال باید با نسبت رطوبت دمای محیط مجموعه آزمون برابر باشد.

یادآوری- اندازه‌گیری و کنترل رطوبت در نقاط مختلف، مخصوصا برای جلوگیری از ایجاد مایع در مدار آزمون، مهم است.

## ۲۴ روش‌های انجام آزمون عملکرد

### ۲۴-۱ کلیات

بهتر است عملکرد حرارتی کلکتورهای خورشیدی مطابق یکی از روش‌های زیر، آزمون شود. برای کلکتورهای هیبریدی تولیدکننده گرما و توان الکتریکی PVT، حالت کاری تولید برق (با تعقیب‌کننده نقطه توان بیشینه MPP، مدار اتصال کوتاه یا مدار باز) می‌تواند اثر قابل‌توجهی بر عملکرد حرارتی داشته باشد و لازم است در گزارش ذکر شود. اگر صفحه جاذب کلکتور هیبریدی به طور مستقیم به بخش تولید برق متصل شده باشد و قسمت جلویی کلکتور وجود نداشته باشد، باید این کلکتور را مانند کلکتورهای بدون شیشه در نظر گرفت.

آزمون عملکرد حرارتی کلکتورهای متمرکزکننده باید مطابق روش آزمون شبه دینامیکی، انجام شود.

اگر تمایزی بین شدت تابش پراکنده و مستقیم در نظر گرفته شود، ممکن است روش حالت پایا استفاده شود. درهرحال در این صورت، الزامات آزمون شبه دینامیکی مربوط به کلکتورهای متمرکزکننده (شامل رابطه ۲۷) باید رعایت شود.

### ۲۴-۲ تأسیسات آزمون

مشخصه جریانی سیال انتقال گرما (مانند الگوی جریان و نرخ جریان جرمی) باید طبق توصیه سازنده باشد.

1- Air Preconditioning apparatus
2- Test panel



shaghool.ir

## ۳-۲۴ پیش آماده‌سازی کلکتور

کلکتور باید به مدت ۵ ساعت در معرض مقادیر تابش کل بیشتر از $W/m^2$ ۷۰۰ قرار گیرد. اگر کلکتور به وسیله‌ای برای جلوگیری از سکون[1] سیال مجهز شده باشد، کلکتور درحالی‌که با یک دمای ورودی مساوی با بیشینه دمای کاری مشخص‌شده توسط سازنده منهای K ۱۰ کار می‌کند، باید یک دوره پیش آماده‌سازی ۵ ساعته را در مقداری بیشتر از $W/m^2$ ۷۰۰ بگذراند.

کلکتور باید به‌صورت چشمی بررسی شده و هرگونه آسیب‌دیدگی ثبت شود. پوشش سطح کلکتور باید کاملا تمیز شود. اگر رطوبت روی اجزای کلکتور جمع شده باشد، در این صورت سیال انتقال گرما باید با دمای حدوداً $80^oC$ و زمان کافی در کلکتور گردش کند تا محفظه[2] کلکتور و عایق آن خشک شوند.

اگر این نوع پیش‌آماده‌سازی انجام شود، این موضوع باید به همراه نتایج آزمون، گزارش شود. در مواقع ضروری، لوله‌های کلکتور، به‌وسیله شیر تخلیه هوا یا از طریق گردش سیال با نرخ جریان بالا، باید از هوای محبوس شده تخلیه شود. سیال باید توسط لوله شفافی که در مسیر لوله‌کشی مدار سیال تعبیه شده است ازنظر وجود ذرات آلاینده یا هوا، بررسی و حذف شود.

در مورد کلکتوری که تحت آزمون کامل یا کوتاه نوردهی قرار می‌گیرد، پیش آماده‌سازی لازم نیست.

## ۴-۲۴ شرایط آزمون

### ۱-۴-۲۴ کلیات

در بعضی کلکتورها، ممکن است نرخ جریان سیال توصیه شده، به منطقه گذار بین جریان متلاطم و آرام نزدیک شده باشد که ممکن است باعث ناپایداری ضریب انتقال گرمای داخلی[3] شده و درنتیجه تغییراتی در اندازه‌گیری بازده کلکتور ایجاد کند. برای تعیین مشخصات چنین کلکتوری که قابلیت تکرار هم داشته باشد، ممکن است لازم باشد تا از نرخ جریان بالاتری استفاده شود، اما این موضوع باید به‌وضوح در نتایج آزمون گزارش شود. اندازه‌گیری‌های اختلاف دمای منفی[4] سیال نباید در نتایج آزمون قید شوند.

در شرایط گذار[5]، بهتر است در ابتدا نرخ جریان بالا (متلاطم) باشد و سپس تا مقدار تنظیم‌شده، کاهش یابد. این امر از گذار آرام به متلاطم[6] در طول اندازه‌گیری جلوگیری خواهد کرد.

### ۲-۴-۲۴ حالت پایا

#### ۱-۲-۴-۲۴ کلیات

زاویه تابش مستقیم خورشیدی در صفحه کلکتور باید در گستره‌ای باشد که در آن ضریب تصحیح زاویه تابش بیشتر از ٪ ۲± از مقدار آن در تابش عمودی، متفاوت نباشد. برای کلکتورهای صفحه تخت با یک

1- Stagnation
2- Enclosure
3- Internal heat transfer coefficient
4- Negative fluid temperature difference
5- Transition regime
6- Transition from laminar to turbulent



shaghool.ir

شیشه[1]، اگر زاویه تابش مستقیم خورشیدی در صفحه کلکتور کمتر از $^{\circ}$۲۰ باشد، این وضعیت قابل‌قبول خواهد بود. هرچند، ممکن است زوایای خیلی کمتر برای طراحی‌های خاص موردنیاز باشد. برای مشخص کردن عملکرد کلکتور در زوایای دیگر، ممکن است ضریب تصحیح زاویه تابش تعیین شود (به بند ۲۷ مراجعه شود).

زمانی که شدت تابش خورشیدی پراکنده کمتر از ٪ ۳۰ است، می‌توان اثر آن را نادیده گرفت. کلکتور نباید در سطوح شدت تابش پراکنده بیشتر از ٪ ۳۰ آزمون شود.

**۲۴-۴-۲-۲ کلکتورهای گرمایشی شیشه‌ای مایع**

در زمان آزمون، شدت تابش خورشیدی نیمکره‌ای در صفحه کلکتور باید بیشتر از $W/m^2$ ۷۰۰ باشد.

اگر سازنده محدودیت‌هایی در خصوص عملکرد در بیشترین شدت تابش دارد، اما کمتر از $W/m^2$ ۸۰۰ نمی‌باشد، این امر می‌تواند در آزمون درخواست شود. بهتر است بیشترین مقدار به‌روشنی گزارش شود.

میانگین سرعت هوا موازی با صفحه کلکتور، با در نظر داشتن تغییرات مکانی[2] بر روی کلکتور و همچنین اختلافات زمانی در مدت دوره آزمون، باید $m/s$ ۱± $m/s$ ۳ باشد.

در صورتی که برای نرخ جرمی جریان سیال عددی معین نشده باشد، مقدار آن باید تقریبا $kg/s$ ۰٫۰۲ در هر مترمربع از سطح ناخالص کلکتور درنظر گرفته شود. این نرخ جریان باید در هر دوره آزمون، در محدوده ٪ ۲± مقدار تنظیم‌شده باشد و نباید بیشتر از ٪ ۱۰± مقدار تنظیم‌شده، از یک دوره آزمون به دوره آزمون دیگر تغییر کند.

**۲۴-۴-۲-۳ کلکتورهای گرمایشی هوا**

در زمان آزمون، شدت تابش خورشیدی در صفحه کلکتور باید بیشتر از $W/m^2$ ۶۵۰ باشد.

برای کلکتورهای شیشه‌ای گرمایشی هوا، میانگین سرعت هوا موازی با صفحه کلکتور، با در نظر داشتن تغییرات مکانی بر روی کلکتور و همچنین اختلافات دمایی در مدت دوره آزمون، باید $m/s$ ۱± $m/s$ ۳ باشد.

برای کلکتورهای گرمایشی بدون شیشه هوا، سرعت باد موازی با صفحه کلکتور باید مطابق بند ۲۴-۵-۴ و جدول ۷ باشد.

اگر گستره دمای سیال ورودی توسط سازنده مشخص شده باشد، داده‌ها باید الزامات زیر را برآورد کرده و حداقل برای چهار دمای ورودی که به‌صورت یکسان در گستره دمایی کلکتور انتخاب شده‌اند، به دست آیند. در صورت امکان، یک دمای ورودی به نحوی انتخاب شود که متوسط دمای ورودی نسبت به دمای محیط در محدوده $K$ ۳± باشد تا تعیین درستی از $\eta_{0,hem}$ به دست آید.

**یادآوری**- در مورد کلکتور باز به محیط، لازم است فقط یک نقطه کاری[3] که برابر با دمای محیط است اندازه‌گیری شود.

1- Single glazed flat plate collector
2- Spatial variation
3- Operation point



shaghool.ir

مگر اینکه محدوده دیگری توسط سازنده مشخص شده باشد، بهتر است نرخ جریان سیال در سه عدد بین $kg/(h.m^2)$ ۳۰ تا $kg/(h.m^2)$ ۳۰۰ (به ازای هر مترمربع از سطح مقطع ناخالص کلکتور) که به‌طور مساوی تقسیم شده است، تنظیم شود. در این حالت نرخ جریان سیال در مقادیر بیشینه، کمینه و متوسط پیشنهادی سازنده تنظیم شود.

نرخ جریان سیال در هر دوره آزمون باید در محدوده٪ ۲± مقدار تنظیم‌شده، پایدار باشد و نباید بیش از ٪ ۵± مقدار تنظیم‌شده، از یک آزمون به آزمون بعدی تغییر کند.

برای کلکتور مستقل[1] (مثلا فتوولتائیک یکپارچه که اختصاصا برای تغذیه[2] فن و کنترل‌کننده نرخ جریان سیال به کار می‌رود) گستره نرخ جریان حجمی تولیدشده که به مقدار شدت تابش وابسته است، باید داده شود.

بهتر است کلکتور خورشیدی گرمایشی هوا در فشار محیط (قدر مطلق فشار ورودی = قدر مطلق فشار خروجی، نرخ جریان جرمی ورودی= نرخ جریان جرمی خروجی ) اندازه‌گیری شود تا نشتی حجمی به حداقل برسد.

### ۲۴-۴-۲-۴ کلکتورهای گرمایشی بدون شیشه مایع

در زمان آزمون، شدت تابش خالص در صفحه کلکتور باید بیشتر از $W/m^2$ ۶۵۰ باشد.

اگر سازنده محدودیت‌هایی در خصوص عملکرد در بیشترین شدت تابش دارد، اما کمتر از $W/m^2$ ۸۰۰ نمی‌باشد، این امر می‌تواند در آزمون درخواست شود. بهتر است بیشترین مقدار به‌روشنی گزارش شود.

میانگین سرعت هوای اطراف، با در نظر داشتن تغییرات مکانی بر روی کلکتور و همچنین اختلافات زمانی در مدت دوره آزمون، باید در محدوده تعریف‌شده در بند ۲۱-۸-۳ باشد.

در صورتی که برای نرخ جرمی جریان سیال عددی معین نشده باشد، مقدار آن باید تقریبا kg/s ۰٫۰۲ در هر مترمربع از سطح ناخالص کلکتور درنظر گرفته شود. این نرخ جریان باید در هر دوره آزمون، در محدوده ٪ ۲± مقدار تنظیم‌شده باشد و نباید بیشتر از ٪ ۱۰± مقدار تنظیم‌شده، از یک دوره آزمون به دوره آزمون دیگر تغییر کند.

### ۲۴-۴-۳ آزمون شبه دینامیک

مقدار میانگین سرعت هوای محیط، با در نظر گرفتن تغییرات مکانی بر روی کلکتور و همچنین اختلافات زمانی در مدت دوره آزمون، باید بیشتر از m/s ۱ و کمتر از m/s ۴ باشد. در صورت ضرورت می‌توان از مولدهای باد نیز استفاده کرد.

**یادآوری**- برای کلکتورهای متمرکزکننده، از قواعد داده‌شده در بند ۲۲-۵-۱ پیروی کنید.

1- Standalone collector
2- Integrated PV for power supply



shaghool.ir

در صورتی که برای نرخ جرمی جریان سیال عددی معین نشده باشد، مقدار آن باید تقریبا kg/s ۰٫۰۲ در هر مترمربع از سطح ناخالص کلکتور ($A_G$) درنظر گرفته شود. این نرخ جریان باید در هر دوره آزمون، در محدوده ٪ ۱± مقدار تنظیم‌شده باشد و نباید بیشتر از ٪۱۰± مقدار تنظیم‌شده، از یک دوره آزمون به دوره آزمون دیگر تغییر کند. می‌توان آزمون در مقادیر نرخ جریان دیگر را با منطبق با مشخصات اعلام‌شده سازنده، انجام داد.

## ۲۴-۵ روش آزمون

### ۲۴-۵-۱ کلیات

بهتر است آزمون برای تعیین مشخصات عملکرد کلکتور، تا دمای مشخص شده توسط سازنده، انجام شود. در صورت امکان، برای به دست آوردن دقیق $\eta_0$، دمای ورودی باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که میانگین دمای سیال در کلکتور در محدوده ۳ K± از دمای هوای محیط باشد.

بهتر است در صورت امکان کلکتور در تمام گستره دماهای کاری داده‌شده توسط دفترچه راهنمای سازنده، آزمون شود.

هنگام انجام آزمون در بالاترین دما، در بعضی انواع جذب‌کننده، ممکن است در اثر توزیع جریان غیریکنواخت، جوشش موضعی[1]، رخ دهد. در صورت پیش‌بینی این مورد، بهتر است بالاترین دما به یک مقدار ایمن محدود شود.

برای اینکه از میعان آب در جذب‌کننده جلوگیری شود، دمای ورودی، باید بالای نقطه شبنم نگه داشته شود، در غیر این صورت منجر به حصول نتایج نادرست آزمون می‌شود.

در مدت آزمون، اندازه‌گیری‌ها باید مطابق بند ۲۴-۶ انجام شود.

هنگام آزمون کلکتورهای دارای لوله‌های گرمایی، آزمون عملکرد باید بعد از آزمون نوردهی کامل مطابق بند ۱۱، انجام شود.

### ۲۴-۵-۲ کلکتور گرمایشی شیشه‌ای مایع تحت شرایط حالت پایا

باید به ازای حداقل چهار دمای ورودی مختلف سیال در فواصل یکسان در گستره دمای کاری کلکتور، نقاط داده‌گیری که واجد الزامات داده‌شده زیر هستند، در نظر گرفته شوند.

برای هر دمای ورودی سیال، باید حداقل چهار نقطه داده‌گیری مستقل در نظر گرفته شود (برای آزمون در فضای بسته، دو نقطه لازم است) و لذا در مجموع ۱۶ نقطه داده‌گیری موجود است. اگر شرایط آزمون اجازه دهد، باید برای هر دمای ورودی سیال تعداد مساوی از نقاط داده‌گیری برای قبل و بعدازظهر در نظر گرفته شود. اگر کلکتورها در سمت و ارتفاع[2] خورشید و با استفاده از ردیابی خودکار، حرکت داده شوند نیازی به مورد اخیر نیست.

1- Local boiling
2- Azimuth and altitude



shaghool.ir

### ۲۴-۵-۳ کلکتورهای گرمایشی هوا

کلکتور باید در گستره دما و نرخ جریان‌های کاری، مطابق بندهای زیر آزمون شوند.

### ۲۴-۵-۴ کلکتورهای بدون شیشه

نقاط داده‌گیری که واجد الزامات داده‌شده زیر هستند، باید مطابق جدول ۷ به دست آیند.

با توجه به اینکه دمای ورودی سیال باید از دمای نقطه شبنم هوای محیط بیشتر باشد، بهتر است دمای ورودی به نحوی انتخاب شود که $\vartheta_m = \vartheta_a \pm ۳$ K باشد. هرچند، بهتر است دمای ورودی در هیچ موردی کمتر از دمای نقطه شبنم نباشد.

$\Delta T_{max}$، بیشینه اختلاف دمای مورد انتظار بین دمای میانگین جذب‌کننده و دمای محیط در یک کارکرد واقعی است.

**یادآوری**- در کاربردهای مربوط به یک استخر شنای نمونه، معمولا $\Delta T_{max}$ به حدود ۱۰ K یا کمتر محدود می‌گردد.

برای هر دمای ورودی سیال، باید حداقل دو نقطه داده‌گیری مستقل در نظر گرفته شود. اگر شرایط آزمون اجازه دهد، باید برای هر دمای ورودی سیال تعداد مساوی از نقاط داده‌گیری برای قبل و بعدازظهر در نظر گرفته شود. اگر کلکتورها در سمت و ارتفاع خورشید و با استفاده از ردیابی خودکار، حرکت داده شوند نیازی به مورد اخیر نیست.

**جدول ۷- گستره شرایط آزمون عملکرد حرارتی**

| نقاط آزمون | شدت تابش خالص $W/m^2$ | $T_m$ (دمای میانگین) K | سرعت هوای موازی صفحه کلکتور m/s |
|---|---|---|---|
| ۱ | بیشتر از ۶۵۰ | $\vartheta_m = \vartheta_a \pm ۳$ K | کمتر از ۱ |
| ۲ | بیشتر از ۶۵۰ | $\vartheta_m = \vartheta_a \pm ۳$ K | ۱٫۵ ±۰٫۵ |
| ۳ | بیشتر از ۶۵۰ | $\vartheta_m = \vartheta_a \pm ۳$ K | ۳ ±۰٫۵ |
| ۴ | بیشتر از ۶۵۰ | $\vartheta_m = \vartheta_a + ۰٫۵(\Delta T_{max}) \pm ۳$ K | کمتر از ۱ |
| ۵ | بیشتر از ۶۵۰ | $\vartheta_m = \vartheta_a + ۰٫۵(\Delta T_{max}) \pm ۳$ K | ۱٫۵ ±۰٫۵ |
| ۶ | بیشتر از ۶۵۰ | $\vartheta_m = \vartheta_a + ۰٫۵(\Delta T_{max}) \pm ۳$ K | ۳ ±۰٫۵ |
| ۷ | بیشتر از ۶۵۰ | $\vartheta_m = \vartheta_a + \Delta T_{max} \pm ۳$ K | کمتر از ۱ |
| ۸ | بیشتر از ۶۵۰ | $\vartheta_m = \vartheta_a + \Delta T_{max} \pm ۳$ K | ۱٫۵ ±۰٫۵ |
| ۹ | بیشتر از ۶۵۰ | $\vartheta_m = \vartheta_a + \Delta T_{max} \pm ۳$ K | ۳ ±۰٫۵ |

### ۲۴-۵-۵ آزمون شبه دینامیکی

باید به ازای حداقل چهار دمای ورودی سیال در فواصل یکسان در گستره دمای کاری کلکتور، نقاط داده‌گیری که واجد الزامات داده‌شده زیر هستند، در نظر گرفته شوند.



shaghool.ir

شرایط جوی باید مطابق بند ۲۴-۷-۲، مراحل نوع ۱ و ۲، باشند. دمای ورودی دومی و سومی وقتی‌که در حدود ظهرِ خورشیدی اندازه‌گیری می‌شوند باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که میانگین دمای سیال در کلکتور در فواصل یکسانی بین پایین‌ترین و بالاترین گستره کاری کلکتور باشد. برای کلکتورهای بدون شیشه، فقط سه دمای ورودی سیال لازم است که دومی باید در نزدیکی میانه گستره کاری انتخاب شود. شرایط جوی باید مطابق بند ۲۴-۷-۲، مراحل نوع ۳، باشد.

بهتر است تغییر در دمای ورودی بعد از تکمیل شدن هر مرحله آزمون[1] انجام شود. داده‌های ثبت شده در طی «تغییر مرحله»[2] نباید در داده‌های آزمون باشند. دمای ورودی در طول هر مراحل آزمون باید در محدوده K ۱± ثابت نگه داشته شود.

اگر مقایسه با پارامترهای حالت پایا انجام می‌شود، بهتر است حداقل چهار نقطه داده‌گیری با مدت موردنیاز، برای هر دمای ورودی سیال، در نظر گرفته شود. اگر شرایط آزمون اجازه دهد، بهتر است قبل و بعدازظهر خورشیدی برای هر دمای ورودی سیال از تعداد مساوی از نقاط داده‌گیری گرفته شود.

چون مدل کلکتور استفاده‌شده، عملکرد کلکتور را به‌صورت خیلی دقیق شرح می‌دهد، اهمیت چهار نقطه اندازه‌گیری و همچنین نقاط داده‌گیری مستقل تا حدود زیادی کاهش یافته یا حذف شده است؛ بنابراین بهتر است در تجدیدنظر بعدی این روش، فقط سه نقطه اندازه‌گیری در نظر گرفته شود. همچنین توصیف کامل‌تر شخصات کلکتور، باعث محدودیت‌های کمتری در طراحی کلکتور و گستره وسیع‌تری از کلکتورهایی که توسط این روش پوشش داده می‌شود، خواهد شد.

## ۲۴-۶ اندازه‌گیری‌ها

### ۲۴-۶-۱ کلیات

مطابق روش آزمون انتخاب‌شده، بهتر است مقادیر ذکرشده در جدول ۸ اندازه‌گیری شوند.

1- Each test sequence
2- Step-change



shaghool.ir

**جدول ۸- مقادیر اندازه‌گیری شده در طی آزمون**

| | گرمایشی مایع تحت شرایط حالت پایا | گرمایشی هوا تحت شرایط حالت پایا | کلکتورهای بدون شیشه | آزمون شبه دینامیک |
|---|---|---|---|---|
| سطح ناخالص کلکتور $A_G$ | X | X | X | X |
| ظرفیت سیال | X | - | X | X |
| شدت تابش خورشیدی نیمکره‌ای در صفحه کلکتور | X | X | X | X |
| شدت تابش خورشیدی پراکنده در صفحه کلکتور (مختص فضای باز) | X | X | X | X |
| زاویه تابش مستقیم خورشیدی (مختص فضای باز) (این زاویه ممکن است از طریق محاسبه نیز تعیین شود) | X | X | X | X |
| سرعت هوای موازی با صفحه کلکتور | X | X | X | X |
| دمای سیال انتقال گرما در ورودی کلکتور | X | X | X | X |
| دمای سیال انتقال گرما در خروجی کلکتور | X | X | X | X |
| نرخ جریان سیال انتقال گرما | X | - | X | X |
| دمای نقطه شبنم هوای محیط | - | X | - | - |
| رطوبت (نسبی) سیال در ورودی کلکتور ٪ | - | X | - | - |
| رطوبت (نسبی) سیال در خروجی کلکتور ٪ | - | X | - | - |
| نرخ جریان جرمی سیال انتقال گرما در ورودی کلکتور (مختص مداربسته) | - | X | - | - |
| نرخ جریان جرمی سیال انتقال گرما در خروجی کلکتور | - | X | - | - |
| فشار استاتیکی سیال انتقال گرما در خروجی کلکتور خورشیدی | - | X | - | - |
| فشار استاتیکی سیال انتقال گرما در ورودی کلکتور خورشیدی | - | X | - | - |
| فشار مطلق هوای محیط | - | X | - | - |
| شدت تابش حرارتی با طول‌موج بلند در صفحه کلکتور (یا دمای نقطه شبنم) | - | - | X | - |
| زاویه شیب و سمت صفحه کلکتور (عدم قطعیت استاندارد بهتر از $\pm 1^\circ$) | - | - | - | X |

**۲-۶-۲۴ اندازه‌گیری‌های بیشتر در طول آزمون‌ها در شبیه‌سازهای شدت تابش خورشیدی**



shaghool.ir

**۲۴-۶-۲-۱ اندازه‌گیری‌های شبیه‌سازهای شدت تابش خورشیدی**

می‌توان از پیرانومتر برای اندازه‌گیری شدت تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده، مطابق بند ۲۲-۱، استفاده کرد. به طریق دیگر، می‌توان از انواع دیگر آشکارسازهای تابشی[1] استفاده کرد به‌شرط آنکه برای تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده، واسنجی شده باشند.

جزئیات ابزار و روش‌های به‌کار رفته برای واسنجی آن‌ها، باید با نتایج آزمون گزارش شود.

باید اندازه‌گیری توزیع شدت تابش بر روی صفحه کلکتور، با استفاده از یک شبکه[2] با بیشینه فاصله ۱۵۰ mm انجام شود و میانگین فضایی با میانگین‌گیری ساده، به دست آید.

**یادآوری**- شدت تابش خورشیدی شبیه‌سازی‌شده در طول آزمون معمولا روی سطح کلکتور نسبت به موقعیت فضایی و نیز زمان تغییر می‌کند. بنابراین ضروری است تا روشی برای انتگرال‌گیری شدت تابش روی سطح کلکتور به کار گرفته شود. تغییرات زمانی شدت تابش، معمولا در اثر نوسانات برق و تغییرات خروجی لامپ نسبت به دما و زمان کار به وجود می‌آیند. رسیدن به وضعیت کاری پایدار، حین گرم شدن از حالت سرد، برای بعضی لامپ‌ها بیش از ۳۰ دقیقه زمان می‌برد.

**۲۴-۶-۲-۲ اندازه‌گیری شدت تابش حرارتی در شبیه‌سازها**

شدت تابش حرارتی در شبیه‌ساز خورشیدی احتمالا از شدت تابش حرارتی که به‌صورت مرسوم در فضای باز رخ می‌دهد، بیشتر است؛ بنابراین، برای اطمینان از اینکه در محدوده مجاز داده شده در بند ۲۲-۲-۴ بیشتر نباشد باید اندازه‌گیری شود.

میانگین شدت تابش حرارتی در سطح آزمون کلکتور باید حداقل به‌صورت سالانه و هر زمانی که تغییراتی در شبیه‌ساز ایجاد می‌شود و می‌تواند بر شدت تابش حرارتی تأثیر بگذارد، تعیین گردد. میانگین شدت تابش حرارتی در سطح آزمون کلکتور و همچنین زمان آخرین اندازه‌گیری، باید با نتایج آزمون کلکتور گزارش شوند.

**۲۴-۶-۲-۳ دمای هوای محیط در شبیه‌سازها**

دمای هوای محیط در شبیه‌سازها $\vartheta_a$، باید اندازه‌گیری شود که در صورت نیاز، میانگین مقادیر مختلف محاسبه شود. برای کم کردن تبادل تابش، حس‌گرها باید محافظت شوند[3]. از دمای هوای محیط در خروجی مولد باد باید برای محاسبات عملکرد کلکتور استفاده کرد.

**۲۴-۶-۳ الزامات داده‌برداری برای آزمون شبه دینامیکی**

نرخ داده‌برداری: ۱ s تا ۱۰ s. در موردی که داده‌ها میانگین‌گیری می‌شوند، زمان میانگین باید در گزارش داده شود. هر خط داده[4] (رکورد) باید برچسب زمانی منحصربه‌فرد (عدم قطعیت استاندارد بهتر از ۱± min)

1- Radiation detector
2- Grid
3- Shielded
4- Data line



shaghool.ir

داشته باشد که امکان محاسبه زاویه تابش خورشیدی بر کلکتور را برای این قبیل خط داده (دوره زمانی[1]) بدهد.

بهتر است موارد زیر درباره محاسبات برخط[2]، انجام شده و در پایگاه داده اندازه‌گیری باشد:

- توان مفید خروجی کلکتور یا $\dot{Q}$
- مشتق $\vartheta_m$ نسبت به زمان، یعنی $d\vartheta_m/dt$ مانند:

(فاصله زمانی داده‌برداری برای $\vartheta_e$ و $\vartheta_{in}$)/(قبلی$\vartheta_m$ − فعلی $\vartheta_m$)

بهتر است محاسبه مشتق $\vartheta_m$ نسبت به زمان، $d\vartheta_m/dt$، به‌صورت برخط انجام شود، چون اثر زیادی بر نتایج نهایی دارد.نرخ داده‌برداری و فاصله زمانی میانگین‌گیری مانند مقادیر اندازه‌گیری شده است.

**یادآوری**- اگر در سامانه اندازه‌گیری، امکان محاسبه برخط خروجی مدل کلکتور با استفاده از پارامترهای مورد انتظار کلکتور، وجود داشته باشد، این امکان، ابزار مفیدی برای شناسایی هرگونه مشکل و خطای اندازه‌گیری خواهد بود. در صورت عدم وجود این امکان و در حالت کلی، بعد از هرروز آزمون، توصیه می‌شود نموداری از خروجی اندازه‌گیری شده در برابر خروجی مدل، رسم شود.

## ۷-۲۴ دوره آزمون

### ۱-۷-۲۴ حالت پایا

#### ۱-۱-۷-۲۴ کلیات

در یک دوره اندازه‌گیری معین، در صورتی فرض می‌شود کلکتور در شرایط حالت پایا کار کرده است که اختلاف هیچ‌کدام از پارامترهای آزمون با مقادیر متوسط خود در دوره اندازه‌گیری، بیشتر از حدود تعیین شده در جدول ۹ نباشند. برای اطمینان از وجود حالت پایا، باید مقادیر متوسط هر پارامتر که طی دوره‌های متوالی ۳۰ ثانیه‌ای به‌دست‌آمده‌اند با مقدار متوسط دوره اندازه‌گیری مقایسه شود.

محیط پایدارتر دستگاه آزمون در فضای بسته، ممکن است حفظ شرایط حالت پایا را نسبت به آزمون در فضای باز به‌صورت راحت‌تری فراهم کند، اما باید زمان کافی نیز برای اطمینان از کارکرد حالت پایای مناسب کلکتور، مطابق این بند، فراهم باشد.

1- Time period
2- On line calculation



shaghool.ir

**جدول ۹- انحراف مجاز پارامترهای اندازه‌گیری شده در طول یک دوره اندازه‌گیری**

| پارامتر | انحراف مجاز از مقدار میانگین | | |
|---|---|---|---|
| | کلکتور شیشه‌ای | کلکتور گرمایشی هوا | کلکتور بدون شیشه |
| شدت تابش خورشیدی در طی آزمون (کل) | ± ۵۰ $W/m^2$ | ± ۵۰ $W/m^2$ | ± ۵۰ $W/m^2$ |
| شدت تابش خورشیدی با طول‌موج کوتاه | - | - | ± ۵۰ $W/m^2$ |
| شدت تابش حرارتی | - | - | ± ۲۰ $W/m^2$ |
| دمای هوای محیط | ±۱٫۵ K | ±۱٫۵ K | ±۱٫۵ K |
| نرخ جریان جرمی سیال | ± ۱ ٪ | ± ۲ ٪ | ± ۱ ٪ |
| دمای سیال در ورودی کلکتور | ±۰٫۱ K | ±۱٫۵ K | ±۰٫۱ K |
| دمای سیال در خروجی کلکتور | ±۰٫۵ K | ±۱٫۵ K | ±۰٫۵ K |
| سرعت هوای محیط | - | - | ±۰٫۵ m/s اما ± ۱٫۰ m/s تا ۱۰ ٪ از دوره اندازه‌گیری |

### ۲۴-۷-۲ آزمون شبه دینامیکی

#### ۲۴-۷-۲-۱ کلیات

دوره آزمون شامل ۴ تا ۵ مرحله[1] (روز) است. تعداد روزهای واقعی برای تمام آزمون‌های کلکتور در فضای باز، به شرایط جوی واقعی در مکان انجام آزمون، بستگی دارد. ثبت داده‌ها باید شامل داده‌های معادل با تمام شرایط کاری عادی و مهم (قابلیت تغییر کافی[2] و گستره دینامیک[3]) برای بیان پارامترهای مستقل کلکتور[4] باشد. این مورد با تغییر دمای ورودی کلکتور، در گستره طراحی‌شده، انجام می‌شود. اگر داده‌های کافی بعد از ۴ تا ۵ روز ثبت شده باشد، باید این داده‌ها با استفاده از دستورالعمل‌های داده شده در بند ۲۴-۷-۲-۴، برای هرروز آزمون، ارزیابی شود.

**یادآوری**- اگر انحراف استاندارد پارامتر کمتر از ۱۰ ٪ مقدار آن پارامتر باشد، معمولا قابلیت تغییر کافی داده شده است.

#### ۲۴-۷-۲-۲ شرح مراحل آزمون

کوتاه‌ترین مدت زمان هر مرحله آزمون مطابق الزامات بند ۲۴-۴-۳ باید سه ساعت باشد. لازم نیست که این سه ساعت متوالی باشد (مراحل آزمون می‌تواند شامل چند بخش غیر متوالی[5] باشد).

**روز نمونه[1] ۱**

1- Sequence
2- Enough variability
3- Dynamic range
4- Decoupled collector parameters
5- Non-consecutive part



shaghool.ir

مرحله آزمون تحت شرایط $\eta_0$ (مطابق بند ۲۴-۵-۵)، بهتر است در زمان صاف بودن تقریبی آسمان[۲] انجام شود. این مرحله باید شامل مقادیر زاویه تابش بیشتر از $60^\circ$ تا مقادیر کمتری که اختلاف ضریب تصحیح زاویه تابش شدت تابش مستقیم نسبت به مقدار تابش عمودی بیشتر از ٪۲ تغییر نکند، باشد.

**روز نمونه ۲**

حداقل یک مرحله آزمون باید تحت شرایط نسبتا ابری[۳]، شامل ابر منقطع[۴] و شرایط آسمان صاف[۵]، انجام شود. این روز نمونه می‌تواند مرحله آزمون تحت دمای کاری بالا یا تحت شرایط $\eta_0$ مطابق بند ۲۴-۵-۵ باشد.

**روز نمونه ۳ (۱ یا ۲ روز)**

اندازه‌گیری‌ها تحت شرایط دمای کاری میانگین مطابق بند ۲۴-۵-۵، شامل ابر منقطع و همچنین شرایط آسمان صاف است.

**روز نمونه ۴**

اندازه‌گیری‌ها تحت شرایط دمای کاری بالا[۶] مطابق بند ۲۴-۵-۵، شامل ابر منقطع و همچنین شرایط آسمان صاف است.

توالی نسبی[۷] مراحل آزمون مختلف مهم نیست اما ممکن است مطابق آب‌وهوای واقعی در مکان آزمون، تنظیم شود.

**۲۴-۷-۲-۳ آزمون اختیاری: وابستگی به زاویه شیب**

اگر باید وابستگی به زاویه شیب مورد ارزیابی قرار گیرد، یک روز آزمون اضافی باید در نظر گرفته شود. در طی این روز، کلکتور باید در زاویه شیب خواسته‌شده و در دمای کاری بالا (روز نمونه ۴) آزمون شود. این پایگاه داده آزمون اضافی ممکن است با MLR توسعه‌یافته[۸] و در همان زمان و به همراه تمام پارامترهای دیگر کلکتور برای تعیین وابستگی پارامتر اتلاف گرمایی $c_1$ به زاویه شیب، ارزیابی شود.

---

1- Day type
2- Mostly clear sky
3- Partly cloudy condition
4- Broken cloud
5- Clear sky
6- High operating temperature
7- Relative order
8- Extended MLR



shaghool.ir

**یادآوری**- در مورد MLR توسعه‌یافته، به یادآوری ۲ در بند ۲۵-۱-۴-۱ مراجعه شود.

### ۲۴-۷-۲-۴ ارزیابی داده‌های آزمون

در ادامه، کلیات دستورالعمل‌های ارزیابی میزان مناسب بودن[1] داده‌های ثبت شده، آمده است. لازم به یادآوری است که هنگام ارزیابی، بهتر است معیارهای زیر رعایت شوند:

- $\vartheta_{out}-\vartheta_{in} > 0$ K
- $\vartheta_{in}$ در محدوده ۱ K± پایدار باشد.
- نرخ جریان در محدوده ٪ ۲± مقدار تنظیم‌شده در مدت روز آزمون یا مرحله آزمون و ٪۱۰ از یک مرحله‌به‌مرحله دیگر پایدار باشد.

در طول ارزیابی داده‌های آزمون، با دمای مناسب سیال در ورودی، باید دوره زمانی حداقل برابر با ۴ برابر ثابت زمانی کلکتور (در صورت مشخص بودن) و حداقل ۱۵ min (در صورت مشخص نبودن ثابت زمانی)، طی شود تا از عدم تاثیر حالت اولیه کلکتور و همچنین عدم تأثیر بر نتایج شناسایی پارامتر[2] اطمینان حاصل حاصل گردد. همچنین باید توجه کرد نتایجی را که نمی‌توان توضیح داد، نباید از مجموعه داده‌ها حذف کرد. برای شفاف‌سازی، بیشتر الزامات به‌صورت نمودارهای ایده‌آل داده شده‌اند تا روابط مهم بین شرایط آزمون مختلف را نشان دهند و شامل گستره‌های دینامیکی است که باید در داده‌ها برای رسیدن به پارامترهای قابل‌اطمینان و مستقل کلکتور باشند. این نمودارها باید برای ارزیابی میزان انطباق داده‌های آزمون[3] که برای برای شناسایی پارامتر استفاده شده‌اند رسم شوند و باید در گزارش آزمون آورده شوند.

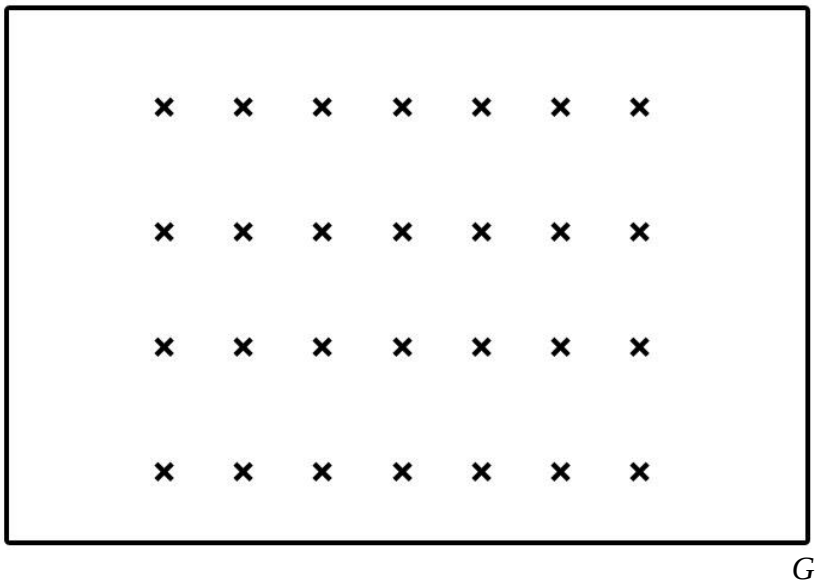
شکل ۹، منحنی $\vartheta_m - \vartheta_a$ را برحسب $G$ نشان می‌دهد و برای بررسی اینکه آیا داده‌های کافی تحت شرایط $\eta_0$ و در دماهای بالا گرفته شده‌اند، به‌کار می‌رود. این داده‌ها، تمام اطلاعات لازم برای تشخیص $\eta_{0,b}$ و تلفات گرمایی کلکتور را ارائه می‌دهند.

$\vartheta_m - \vartheta_a$

1- Suitability
2- Parameter identification
3- Goodness of the test data

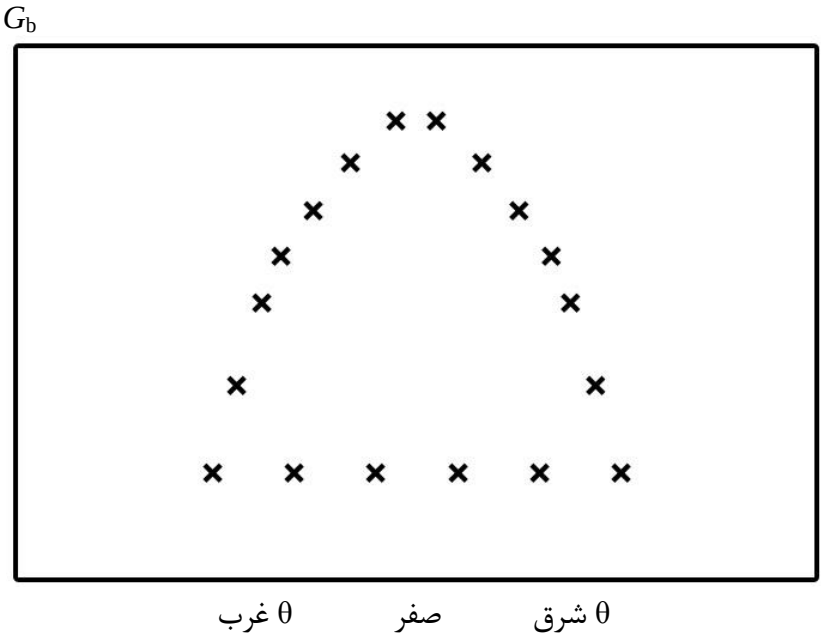


shaghool.ir




**شکل ۹- $\vartheta_m - \vartheta_a$ برحسب $G$**

شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهند که آیا داده‌ها شامل داده‌های زاویه تابش کم و زیاد برای تعیین $K\theta_b(\theta)$ و همچنین مقادیر زیاد تابش پراکنده[1]، برای تعیین $K_d$ کافی هستند یا خیر.




**شکل ۱۰- $G_b$ برحسب $\theta$**

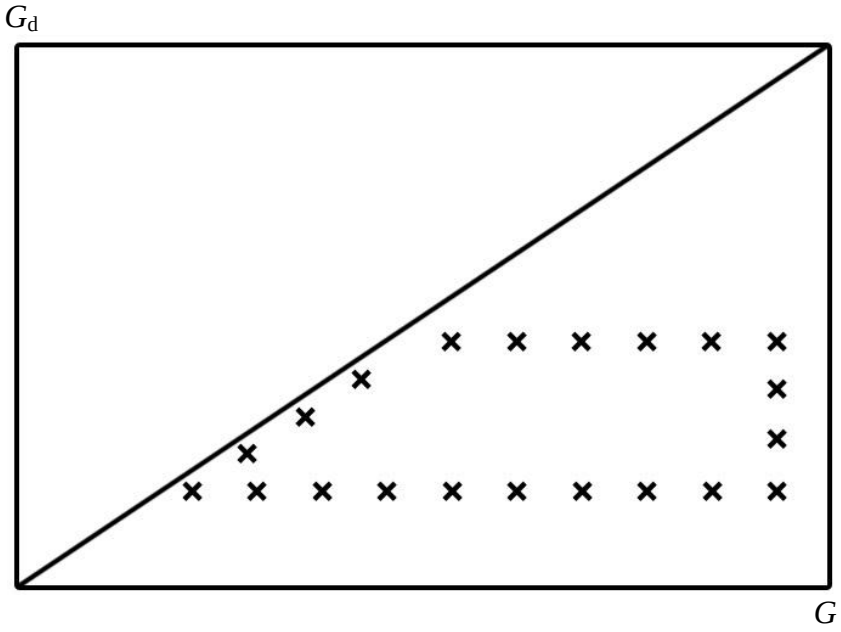
1- High diffuse radiation levels



shaghool.ir

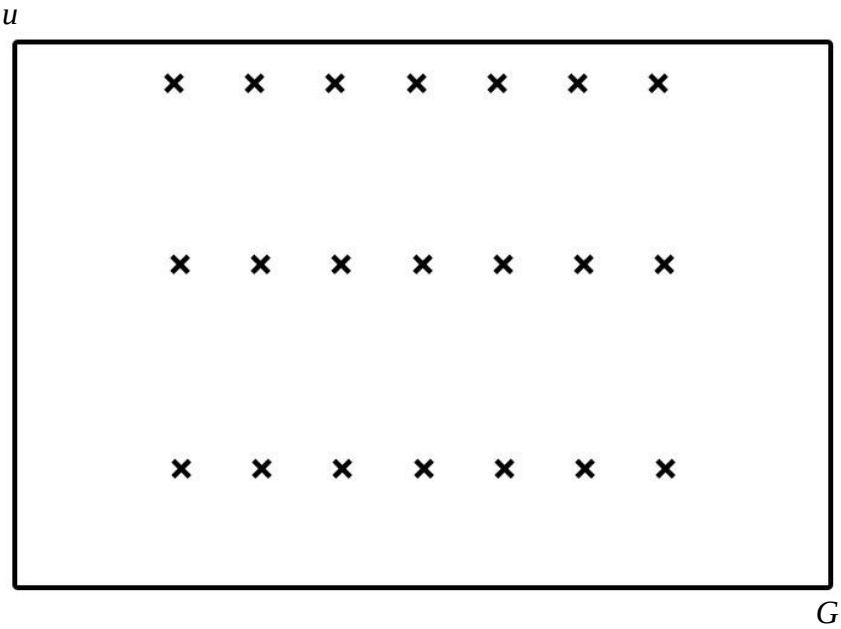
یادآوری- داده‌های اندازه‌گیری با مقادیر بالاتر $G_b$ (منحنی بالایی)، $K\theta_b(\theta)$ را می‌دهد.

مقادیر پایین‌تر، $K_d$ را می‌دهد.




**شکل ۱۱- $G_d$ برحسب $G$**

اگر وابستگی به سرعت باد برای کلکتور در نظر گرفته شده است، شکل ۱۱ را باید به کار برد. شکل ۱۲ توزیع ایده‌آل رابطه سرعت باد بر حسب $G$ را نشان می‌دهد. بهتر است سرعت‌های باد بیان شده در بند ۲۴-۴-۳ را در نظر گرفت.




**شکل ۱۲-سرعت باد برحسب $G$**

## ۲۴-۸ ارائه نتایج

### ۲۴-۸-۱ کلیات



shaghool.ir

ارائه نتایج تنها باید تا اختلاف دمای بیشینه بین میانگین سیال و محیط اطراف به اضافه بیشینه ۳۰K که کلکتور در آن دما آزمون شده است، صورت گیرد.

### ۲۴-۸-۲ حالت پایا

اندازه‌گیری‌ها باید برای ایجاد مجموعه‌ای از نقاط داده‌گیری که شرایط آزمون را برآورده کرده و شامل نقاط عملکرد حالت پایا باشند، انجام شوند (به بند ۲۴-۴-۲ مراجعه شود). این اندازه‌گیری‌ها باید با استفاده از الگوی[1] داده شده در بند الف-۱۶ ارائه شوند.

### ۲۴-۸-۳ آزمون شبه دینامیکی

نتایج آزمون باید در گزارشی با الگوی داده‌شده در بند الف-۱۶-۷ و با متن و محتوایی مطابق بند۲۴-۷-۲-۴ ارائه شوند. اندازه‌گیری‌ها باید برای ایجاد مجموعه‌ای از نقاط داده‌گیری که الزامات شرایط آزمون را دارا هستند، انجام شوند و اطلاعات کافی در داده آزمون موجود باشد.

علاوه بر موارد داده شده در بند الف-۱۶-۷، داده‌های اندازه‌گیری شده مورد استفاده برای شناسایی پارامتر کلکتور باید در چهار نمودار (۱ تا ۴) که در بند ۲۴-۷-۲-۴، شکل‌های ۹ تا ۱۲، آمده است، ارائه شوند. نمودار ۵ که خروجی کلکتور را برحسب خروجی مدل شده نمایش می‌دهد نیز باید در گزارش آزمون باشد. نمودار ۵ باید تمام داده‌های آزمون مورداستفاده برای شناسایی پارامتر کلکتور را دارا باشد. ضریب تصحیح زاویه تابش$K\theta_b(\theta)$ ,[IAM] باید در نمودار ۶ و مطابق شکل ۱۴ یا ۱۵ ارائه شود.

علاوه بر ضرایب عملکرد کلکتور که در بند الف-۱۶-۷ خواسته شده، بهتر است مجموعه کامل ضرایب عملکردی شبه دینامیکی که با معادله ۲۷ مشخص شده، در گزارش آزمون باشد.

## ۲۵ محاسبه پارامترهای کلکتور

### ۲۵-۱ کلکتورهای گرمایشی مایع

#### ۲۵-۱-۱ کلیات

توان مفید واقعی $\dot{Q}$، از معادله ۱۶ محاسبه می‌شود:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_f \cdot \Delta T \qquad (۱۶)$$

مقداری از $c_f$ که متناظر با میانگین دمای سیال است، باید استفاده شود. اگر $\dot{m}$ از اندازه‌گیری نرخ جریان حجمی به دست آمده است چگالی باید برای دمای سیال داخل جریان‌سنج، تعیین شود.

انرژی خورشیدی تابیده‌شده، $A_G \cdot G$ است که در آن $A_G$ سطح ناخالص کلکتور است. با توجه به بازده کلکتور، $\eta_{hem}$، توان مفید واقعی، $\dot{Q}$، به‌صورت معادله ۱۷ بازنویسی می‌شود.

$$\dot{Q} = A_G \cdot G \cdot \eta_{hem} \qquad (۱۷)$$

1- Data format sheet



shaghool.ir

هرگاه از میانگین دمای سیال انتقال گرما، $\vartheta_m$، استفاده شود که عبارت است از:

$$\vartheta_m = \vartheta_{in} + \frac{\Delta T}{2} \qquad (۱۸)$$

اختلاف دمای کاهیده به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$T_m^* = \frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G} \qquad (۱۹)$$

در صورت لزوم، جداول اندازه‌گیری‌های عملکرد کلکتور پذیرفته می‌شود.

برای بعضی از انواع کلکتور، نشان داده شده است که جداسازی بین شدت تابش پراکنده و مستقیم در مدل کلکتور برای پیش‌بینی دقیق عملکرد آن‌ها، لازم است. از آنجایی که آزمون حالت پایا پاسخگوی این ویژگی نیست، مدلی برای تخمین $\eta_{0,b}$ و $K\theta_{,d}$ بر مبنای داده‌های آزمون حالت پایا ، $\eta_{0,hem}$ و $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$، تهیه شده است. این «تبدیل حالت پایا به شبه دینامیکی» باید در پارامترهای حالت پایا معادله ۲۰ یا ۲۴ و معادلات ۴۴ و ۴۵ به‌کار برده شود. محاسبات در بند ب-۲ شرح داده شده‌اند.

### ۲۵-۱-۲ کلکتورهای گرمایشی شیشه‌ای مایع تحت شرایط حالت پایا

#### ۲۵-۱-۲-۱ مدل‌سازی بازده لحظه‌ای

برای بدست آوردن منحنی بازده لحظه‌ای مانند معادله ۲۰، بازده لحظه‌ای[1] $\eta_{hem}$ باید با برازش منحنی آماری با استفاده از روش حداقل مربعات ۲۰ محاسبه شود.

$$\eta_{hem} = \eta_{0,hem} - a_1\frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G} - a_2 \cdot G\left(\frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G}\right)^2 \qquad (۲۰)$$

به طور معمول، منحنی درجه دوم که می‌تواند با رگرسیون حداقل مربعات به دست آید، باید استفاده شود. اگر مقدار به‌دست‌آمده برای $a_2$ منفی است یا از نظر آماری معنی‌دار نیست (اگر نسبت T [2](مقدار پارامتر تقسیم بر انحراف استاندارد مقدار پارامتر) از ۳ بزرگ‌تر باشد)، نباید از برازش درجه دوم استفاده شود. شرایط آزمون باید در الگوی[3] داده شده در بند الف-۱۶-۳ ثبت شود.

#### ۲۵-۱-۲-۲ مدل‌سازی توان خروجی کلکتور

با استفاده از معادلات ۱۷ و ۲۰، توان خروجی کلکتور به ازای هر ماژول به‌صورت معادله ۲۱ نوشته می‌شود:

1- Instantaneous efficiency
2- T-ratio
3- Data format sheets



shaghool.ir

$$\dot{Q} = A_G \cdot G \cdot \left( \eta_{0,hem} - a_1 \frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G} - a_2 \cdot G \left( \frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G} \right)^2 \right) \qquad (۲۱)$$

که در آن $A_G$ سطح ناخالص کلکتور است. خروجی کلکتور به ازای هر ماژول باید به‌صورت ترسیمی و تابعی از میانگین اختلاف دمای بین دمای محیط و سیال ($\vartheta_m - \vartheta_a$) با استفاده از $G = 1000 \quad W/m^2$ نشان داده شود. حاصل‌ضرب $A_G \cdot G \cdot \eta_{0,hem}$ باید به‌عنوان بیشینه توان، $\dot{Q}_{peak}$، در نظر گرفته شود.

### ۲۵-۱-۳ کلکتورهای گرمایشی بدون شیشه مایع تحت شرایط حالت پایا

#### ۲۵-۱-۳-۱ مدل‌سازی بازده لحظه‌ای

انرژی خورشیدی تابیده‌شده برابر $A \cdot G''$ است و در این حالت

$$\eta_{hem} = \frac{\dot{Q}}{A_G \cdot G''} \qquad (۲۲)$$

که $G''$ شدت تابش خالص مشخص شده توسط معادله ۲۳ است.

$$G'' = G + \frac{\varepsilon}{\alpha}\left(E_L - \sigma T_a^4\right) \qquad (۲۳)$$

مقدار $\varepsilon / \alpha$ باید ۰٫۸۵ در نظر گرفته شود مگر اینکه سازنده بتواند مقدار اندازه‌گیری شده را ارائه کند. $E_L$ شدت تابش با طول‌موج بلند اندازه‌گیری شده در صفحه کلکتور است. مشخصات داده شده در بند ۲۵-۱-۱ با جایگزینی $G$ به‌جای $G''$، اعمال می‌شود.

داده‌های آزمون باید با برازش منحنی با استفاده از روش حداقل مربعات، برای تعیین تابع بازده به‌صورت معادله ۲۴، به‌کار برده شوند.

$$\eta_{hem} = \eta_{0,hem}\left(1 - b_u u\right) - \left(b_1 + b_2 u\right)\frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G''} \qquad (۲۴)$$

$\eta_{0,hem}$، $b_u$، $b_1$ و $b_2$ ضرایبی هستند که باید با برازش منحنی، مشخص شوند.

شرایط آزمون باید مطابق الگوی داده شده در بند الف-۱۶-۴ ثبت شود.

#### ۲۵-۱-۳-۲ مدل‌سازی توان خروجی کلکتور

با استفاده از معادلات ۲۲ و ۲۴، توان خروجی کلکتور به ازای هر کلکتور به‌صورت معادله ۲۵ نوشته می‌شود:

$$\dot{Q} = A_G \cdot G'' \cdot \left( \eta_{0,hem}\left(1 - b_u u\right) - \left(b_1 + b_2 u\right)\frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G''} \right) \qquad (۲۵)$$

### ۲۵-۱-۴ کلکتورهای گرمایشی شبه دینامیکی مایع



shaghool.ir

### ۲۵-۱-۴-۱ ابزار شناسایی پارامتر کلکتور

رگرسیون خطی چندگانه (MLR)[1] روش ماتریسی خیلی سریع غیرتکراری[2] است که در بیشتر نرم‌افزارهای استاندارد دارای توابع آماری مانند نرم‌افزارهای صفحه گسترده[3] و یا برنامه‌های آماری خیلی تخصصی مانند مینی‌تب یا سیس[4] وجود دارد. در این مثال، "خطی[5]"، به معنای این است که مدل از جمع جملاتی نوشته شده است که پارامترهای $p_n$ به‌عنوان ضریب در جلوی جملات قرار دارد. برای مثال:

$$Yout = p0 + p1 \cdot f(x1,x2) + p2 \cdot g(x1, x3,x4) + p3 \cdot h(x2, x5) \qquad (۲۶)$$

زیر مدل‌های[6] f(x..)، g(x..) و h(x..) در هر جمله می‌توانند غیرخطی باشند. روش رگرسیون خطی چندگانه به‌طور کامل اجازه انتخاب آزادانه داده‌ها را از پایگاه داده آزمون، مطابق هرگونه ویژگی آزمون قبل از انجام تعیین پارامتر رگرسیون خطی چندگانه، می‌دهد. این انتخاب می‌تواند در طول چند روز بعد از انجام اندازه‌گیری‌ها صورت پذیرد.

**یادآوری**- برای مثال، اگر الزامات آزمون در نظر گرفته شده باشد، داده‌های آزمون با $G>700 W/m^2$، $d\vartheta_m / dt < 0.002 \quad K/s$ ، $u > 2$ m/s و $\vartheta_a - \vartheta_s > 10 \quad K$ می‌توانند برای تعیین پارامتر رگرسیون خطی چندگانه انتخاب شوند. حتی برای تعداد زیادی داده، تعیین پارامتر تنها اندکی از وقت کامپیوتر را می‌گیرد و این ویژگی، سبب کاربرد زیاد رگرسیون خطی چندگانه در تحقیق و توسعه شده است.

دیگر روش‌های غیرخطی، به‌شرطی که بتوانند مشابه روش MLR خطای توان خروجی کلکتور کمینه کنند نیز می‌توانند به‌عنوان ابزار تعیین پارامتر در کنار روش MLR، مورداستفاده قرار گیرند.

### ۲۵-۱-۴-۲ مدل‌سازی توان خروجی لحظه‌ای کلکتور

این مدل به‌طورکلی شبیه مدل حالت پایا است اما چند جمله اصلاحی بیشتر دارد. در اینجا وابستگی تابش پراکنده و مستقیم، سرعت باد، دمای آسمان، اثرات زاویه تابش و ظرفیت حرارتی مؤثر، مدل شده‌اند. برای اطلاعات بیشتر به پیوست ب مراجعه کنید.

$$\frac{\dot{Q}}{A_G} = \eta_{0,b} \cdot K_b(\theta_L,\theta_T) \cdot G_b + \eta_{0,b} \cdot K_d \cdot G_d - c_6 \cdot u \cdot G - c_1 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_a) - c_2 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - c_3 \cdot u \cdot (\vartheta_m - \vartheta_a) + c_4 \cdot \left(E_L - \sigma \cdot T_a^4\right) - c_5 \cdot \frac{d\vartheta_m}{dt} \qquad (۲۷)$$

که در آن $A_G$ سطح ناخالص کلکتور است (به بند الف-۱۶-۷ مراجعه شود).

**یادآوری**- در ترم تابش، از درجه کلوین استفاده شده است. در جاهای دیگر از درجه سلسیوس استفاده شده است (به بند ۴ مراجعه شود).

1- Multiple linear regression
2- Non-iterative very fast matrix method
3- Spread sheet
4- MINITAB or SISS
5- Linear
6- Sub model



shaghool.ir

### ۲۵-۱-۴-۳ استفاده از مدل کلکتور برای انواع دیگر کلکتور

بهتر است مدل کلکتور مطابق بند ۲۵-۱-۴-۲ بیشتر طرح‌های موجود در بازار را، غیر از کلکتورهای ICS[1]، شامل شود. اگر لازم باشد که مدل کلی کلکتور برای نوع خاصی از کلکتور (یا طرح کلکتور) به‌کار برده شود یا نه، این موضوع از نتایج شناسایی پارامتر تعیین می‌گردد. اما برای تمام انواع کلکتورها، استفاده از $\eta_{0,b}$، $K_{\theta}(\theta_L,\theta_T)$، $K_d$ و ضرایب $c_1$، $c_2$ و $c_5$ اجباری بوده و لذا بهتر است تعیین شوند. در موارد استثنا که ضریب $c_2$ منفی می‌شود یا از نظر آماری معنی‌دار نیست اگر نسبت T [2] (مقدار پارامتر تقسیم بر انحراف استاندارد مقدار پارامتر) از ۳ بزرگ‌تر باشد، بهتر است شناسایی پارامتر بدون وجود $c_2$ در مدل تکرار شود.

**یادآوری**- برای کلکتورهای دارای ردیاب خورشیدی و تمرکز بالا، $K_d$ ممکن است همیشه معنی‌دار نباشد و بنابراین بهتر است با نسبت T شناسایی پارامتر که در ادامه مشخص شده، تعیین شود. اگر $K_d$ استفاده نشود، بهتر است مقدار آن در معادله ۲۷ برابر صفر قرار داده شده $K_d = 0$ و شناسایی پارامتر تکرار شود.

اگر ضرایب $c_3$، $c_4$ و $c_6$ باید در مدل باشند، می‌توانند با نسبت T (مقدار پارامتر تقسیم بر انحراف استاندارد مقدار پارامتر) شناسایی پارامتر تعیین شوند. بهتر است نسبت T، برای پارامترهای ارائه شده در نتایج آزمون، بزرگ‌تر از ۳ باشد. اگر نسبت T کمتر از ۳ باشد (با فرض تنوع کافی در داده‌های ورودی)، ضرایب باید برابر صفر قرار داده شوند و بهتر است شناسایی پارامتر با مدل اصلاح‌شده کلکتور[3] تکرار شود.

برای کلکتورهای متمرکزکننده (بند ۲۲-۵-۲-۱-۱ را در نظر بگیرید) و برای کلکتورهای شیشه‌ای که با مولد باد مصنوعی در سرعت بین ۲ m/s و ۴ m/s آزمون شده‌اند، می‌توان ضرایب $c_3$، $c_4$ و $c_6$ را دقیقا از ابتدا، نادیده گرفت. برای کلکتورهای بدون شیشه، استفاده از مدل کامل کلکتور اجباری است.

### ۲۵-۱-۴-۴ ارائه ترسیمی نتایج آزمون

هنگام آزمون مطابق روش حالت پایا، برای یکسان‌سازی نحوه ارائه نتایج، نتایج آزمون باید به شکل منحنی توانی به‌صورت تابعی از اختلاف دمای بین دمای محیط و سیال ($\vartheta_m - \vartheta_a$) ارائه شوند. این مورد باید از تابع توان، معادله ۲۷، با فرض $G$=۱۰۰۰ $W/m^2$ و ٪ ۱۵ تابش پراکنده، یعنی $G_d$=۱۵۰ $W/m^2$، محاسبه شود. پارامتر $d\vartheta_m/dt$ برابر صفر قرار داده می‌شود ($d\vartheta_m/dt = 0$).

$\theta$ برای تمام انواع کلکتورها صفر درجه قرار داده می‌شود.

$K_b(\theta)$ برای تمام انواع کلکتورها یک قرار داده می‌شود.

اگر وابستگی به سرعت باد به اتلاف گرمایی و بازده اتلاف صفر در مدل کلکتور برای کلکتورهای شیشه‌ای ($c_3 > 0$ و $c_6 > 0$) طبق بند ۲۵-۱-۴-۳ مورداستفاده قرار گیرد، بهتر است از سرعت باد $u = ۳\,m/s$ در معادله استفاده شود. اگر وابستگی دمای آسمان به ضرایب اتلاف گرمایی در مدل کلکتور ($c_4 > 0$) استفاده شود، بهتر است در معادله از $(E_L-\sigma\cdot T_a^4)$ = -۱۰۰ $W/m^2$ استفاده شود.

$$\dot{Q} = A_G\Big(G\big(\eta_{0,b}\cdot K_b(\theta)\cdot 0.85+\eta_{0,b}\cdot K_d\cdot 0.15-c_6(3\,m/s)\big)-c_1(\vartheta_m-\vartheta_a)-c_2(\vartheta_m-\vartheta_a)^2 \\ -c_3(3\,m/s)(\vartheta_m-\vartheta_a)+c_4\cdot\big(-100\,W/m^2\big)\Big) \qquad (۲۸)$$

1- Integral cc
2- T-ratio
3- Adjusted c



shaghool.ir

حاصل‌ضرب $(A_G \cdot G)(\eta_{0,b} \cdot K_b(\theta) \cdot 0{,}85 + \eta_{0,b} \cdot K_d \cdot 0{,}15)$ باید به‌عنوان توان بیشینه، $\dot{Q}_{peak}$، در نظر گرفته شود.

**یادآوری**- معمولا اگر دمای مؤثر تابشی آسمان[1] کمتر از دمای محیط اطراف باشد، $(E_L - \sigma \cdot T_a^4)$ مقداری منفی است. شدت تابش خالص با طول‌موج بلند $-100\ W/m^2$ با حدود شرایط آسمان صاف وقتی‌که $\vartheta_a = 20\ °C$ و $\vartheta_s = 0\ °C$ باشد، متناظر است.

## ۲۵-۲ کلکتورهای گرمایشی هوا تحت شرایط حالت پایا

### ۲۵-۲-۱ کلیات

بازده لحظه‌ای کلکتور خورشیدی در حالت پایا، به‌صورت نسبت توان مفید واقعی دریافتی به انرژی خورشیدی تابیده‌شده به کلکتور، تعریف می‌شود.

توان مفید واقعی، $\dot{Q}$ طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{Q} = (\dot{m}_{pe} c_{f,e} \cdot \vartheta_e) - (\dot{m}_{pi} \cdot c_{f,i} \cdot \vartheta_i) - ((\dot{m}_{pe} - \dot{m}_{pi}) \cdot c_{f,amb} \cdot \vartheta_a) \qquad (۲۹)$$

مقدار $c_f$ باید در میانگین دمای سیال خروجی و ورودی و دمای محیط، محاسبه شود. اگر $\dot{m}$ از اندازه‌گیری نرخ جریان حجمی به دست آمده است، چگالی باید برای دمای سیال داخل جریان‌سنج، تعیین شود.

**یادآوری**- اگر اندازه‌گیری در فشار نسبی مثبت انجام شود، معادله ۲۹ دارای عدم قطعیت خواهد بود زیرا دمای دقیق نرخ جریان حجمی نشتی مشخص نیست. در فشار مثبت، با توجه به اینکه در ابتدا یا در انتهای کلکتور نشتی رخ می‌دهد، دمای نرخ جریان حجمی نشتی متفاوت خواهد بود.

به‌شرط آنکه زاویه تابش، کمتر از $۲۰^o$ باشد، برای کلکتورهای تخت تک شیشه‌ای نیازی به استفاده از ضریب تصحیح زاویه تابش مطابق بند ۲۷ نمی‌باشد.

انرژی خورشیدی تابیده‌شده، $A_G \cdot G$ است که $A_G$ سطح ناخالص بوده و بازده کلکتور عبارت است از:

$$\eta_{hem} = \frac{\dot{Q}}{A_G \cdot G} = \frac{\left(\dot{m}_{pe} \cdot c_{f,e} \cdot \vartheta_e\right) - \left(\dot{m}_{p} \cdot c_{f,i} \cdot \vartheta_i\right) - \left(\left(\dot{m}_{pe} - \dot{m}p_i\right) \cdot c_{f,a} \cdot \vartheta_a\right)}{A_G \cdot G} \qquad (۳۰)$$

میانگین دمای سیال انتقال گرما، $\vartheta_m$، عبارت است از:

$$\vartheta_m = \vartheta_{in} + \frac{\Delta T}{2} \qquad (۳۱)$$

بازده لحظه‌ای، $\eta_{hem}$، باید مطابق بند ۲۵-۱-۲-۱ محاسبه شود.

1- Effective sky radiation temperature



shaghool.ir

کلکتورهای باز به محیط که دارای وابستگی به سرعت باد قابل‌اندازه‌گیری هستند، می‌توانند به‌صورت زیر مدل‌سازی شوند:

$$\frac{\dot{Q}_m}{A_G \cdot G''} = \eta_{\max,0m/s} - b_u \cdot u \qquad (۳۲)$$

بازده کلکتور باید به‌صورت ترسیمی و تابعی از سرعت باد (در نرخ جریان جرمی ثابت) ارائه شود.

### ۲۵-۲-۲ مدل‌سازی توان خروجی کلکتور

توان خروجی کلکتور به ازای هر ماژول باید مطابق بند ۲۵-۱-۲-۲ محاسبه شود.

## ۲۶ تعیین ظرفیت حرارتی مؤثر و ثابت زمانی کلکتور

### ۲۶-۱ اندازه‌گیری ظرفیت حرارتی مؤثر (اندازه‌گیری جداگانه)

#### ۲۶-۱-۱ تأسیسات آزمون

کلکتور باید مطابق پیشنهاد بند ۲۱ نصب شده و برای اندازه‌گیری ظرفیت حرارتی[1] به دستگاه آزمون متصل شود.

اندازه‌گیری ظرفیت حرارتی مؤثر[2] می‌تواند در فضای بسته که در آن تنها اتلاف گرما اندازه‌گیری می‌شود صورت گیرد. همچنین این اندازه‌گیری را می‌توان در فضای باز و تحت شرایط آسمان صاف و حالت پایا[3]، انجام داد.

#### ۲۶-۱-۲ روش اجرای آزمون فضای بسته

##### ۲۶-۱-۲-۱ کلیات

سیال انتقال گرما با دمای ورودی ثابت، باید از بالا به پایین کلکتور و با استفاده از نرخ جریان مشابه با آزمون بازده کلکتور گردش کند تا زمانی که شرایط حالت پایا ایجاد شود.

دمای ورودی سیال باید به سرعت در حدود ۱۰ K افزایش یابد و اندازه‌گیری‌ها به‌طور پیوسته انجام شوند تا زمانی که مجددا شرایط حالت پایا ایجاد شود. این فرآیند باید چهار مرتبه انجام شود تا مقدار میانگین حسابی[4] ظرفیت حرارتی مؤثر به دست آید.

##### ۲۶-۱-۲-۲ اندازه‌گیری‌ها

کمیت‌های زیر اندازه‌گیری می‌شوند:

الف) نرخ جریان جرمی سیال انتقال گرما؛

ب) دمای سیال انتقال گرما در ورودی کلکتور؛

1- Thermal capacity
2- Effective thermal capacity
3- Steady-state clear sky condition
4- Arithmetic mean value



shaghool.ir

پ) دمای سیال انتقال گرما در خروجی کلکتور؛

ت) دمای هوای محیط.

**یادآوری**- هنگام آزمون کلکتورهای دارای ظرفیت حرارتی پایین، ممکن است لازم باشد که فرکانس نمونه‌برداری انتخابی برای اندازه‌گیری دماهای سیال، از آنچه که معمولا برای آزمون بازده کلکتور استفاده می‌شود، بیشتر باشد تا بتوان به‌طور مناسبی رفتار گذرای کلکتور را دنبال کرد.

### ۲۶-۱-۲-۳ محاسبه ظرفیت حرارتی مؤثر

رفتار گذرای کلکتور بین دو حالت پایای ۱ و ۲ در فضای بسته، با معادله زیر نشان داده می‌شود:

$$C\frac{d\vartheta_m}{dt} = -\dot{m}\cdot c_f\cdot\Delta T - A_G\cdot U\left(\vartheta_m - \vartheta_a\right) \qquad (۳۳)$$

که در آن:

$$\Delta T = \left(\vartheta_e - \vartheta_{in}\right) \quad \text{(منفی)} \qquad (۳۴)$$

و $\vartheta_{in}$ و $\vartheta_e$ به ترتیب دماهای سیال انتقال گرما در ورودی و خروجی کلکتور در جهت جدید (از بالا به پایین) جریان سیال انتقال گرما می‌باشند.

با انتگرال‌گیری از معادله بین دو حالت پایا خواهیم داشت:

$$C\left(\vartheta_{m2} - \vartheta_{m1}\right) = \int_{t1}^{t2}\dot{m}\cdot c_f\cdot\Delta T dt - A_G\cdot U\int_{t1}^{t2}\left(\vartheta_m - \vartheta_a\right)dt \qquad (۳۵)$$

ازآنجاکه:

$$\vartheta_m = \vartheta_{in} + \frac{\Delta T}{2} \qquad (۳۶)$$

می‌توان $(\vartheta_m - \vartheta_a)$ را به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\vartheta_m - \vartheta_a = (\vartheta_{in} - \vartheta_a) + \frac{\Delta T}{2} \qquad (۳۷)$$

با ترکیب معادلات فوق و بازنویسی آن‌ها، معادله زیر برای ظرفیت حرارتی کلکتور به دست می‌آید:

$$C = \frac{-\dot{m}\,c_f\int_{t1}^{t2}\Delta T dt - A_G\cdot U\left[\int_{t1}^{t2}(\vartheta_{in} - \vartheta_a)dt + \frac{1}{2}\int_{t1}^{t2}\Delta T dt\right]}{\vartheta_{m2} - \vartheta_{m1}} \qquad (۳۸)$$



shaghool.ir

### ۲۶-۱-۲-۴ تعیین ظرفیت حرارتی مؤثر از طریق داده‌های تجربی

با استفاده از نتایج آزمون، $(\vartheta_{in} - \vartheta_a)$ و $\Delta T$ باید به‌صورت تابعی از زمان رسم شوند. سطوح زیر منحنی‌ها بین دو حالت پایا به ترتیب برابر است با:

$$\int_{t1}^{t2} (\vartheta_{in} - \vartheta_a)\,dt \quad \text{و} \quad \int_{t1}^{t2} \Delta T dt .$$

ضریب انتقال حرارت کلکتور، $U$، ممکن است قبلاً در طول اندازه‌گیری اتلاف حرارت کلکتور در فضای بسته تعیین شده باشد؛ اما $A_G \cdot U$ را می‌توان مستقیماً از دو حالت پایا به دست آورد زیرا در حالت پایا داریم:

$$0 = -\dot{m} \cdot c_f \cdot \Delta T - A_G \cdot U\,(\vartheta_m - \vartheta_a) \qquad (۳۹)$$

و بنابراین:

$$A_G \cdot U = -\frac{\dot{m} \cdot c_f \cdot \Delta T}{(\vartheta_m - \vartheta_a)} \qquad (۴۰)$$

$A_G \cdot U$ را باید برای هر دو حالت پایا ارزیابی نمود و مقدار میانگین حسابی آن را به دست آورد.

مقدار ظرفیت حرارتی مؤثر را باید با افزودن این مقادیر تجربی به معادله ۳۸ تعیین کرد.

### ۲۶-۱-۳ روش اجرای آزمون در شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی یا فضای باز

سیال باید با دمای ثابت با استفاده از نرخ جریان مشابه با آزمون بازده کلکتور، گردش کند تا زمانی که شرایط حالت پایا ایجاد شود. سطح کلکتور باید توسط پوشش منعکس‌کننده خورشیدی از تابش خورشید (طبیعی یا شبیه‌سازی‌شده) محافظت شود.

پوشش باید برداشته شده و اندازه‌گیری‌ها به‌طور مداوم انجام شوند تا زمانی که مجددا شرایط حالت پایا ایجاد گردد. این فرایند باید چهار بار انجام شده و مقدار میانگین حسابی ظرفیت حرارتی مؤثر به دست آید.

اندازه‌گیری‌های اشاره شده در بند ۲۶-۱-۲-۲ باید انجام شوند. به‌علاوه، شدت تابش خورشیدی (طبیعی یا شبیه‌سازی‌شده)، G، اندازه‌گیری شود.

رفتار گذرای کلکتور بین دو حالت پایای ۱ و ۲ با معادله زیر نشان داده می‌شود:

$$C \frac{d\vartheta_m}{dt} = A \cdot \eta_{0,hem} \cdot G - \dot{m} \cdot c_f \cdot \Delta T - A_G \cdot U\,(\vartheta_m - \vartheta_a) \qquad (۴۱)$$

که مانند بند ۲۶-۱-۲-۳:

$$\Delta T = (\vartheta_e - \vartheta_{in}) \quad \text{(مثبت)}$$

با انتگرال‌گیری از معادله ۴۱ بین دو حالت پایا، معادله زیر برای ظرفیت گرمایی کلکتور به دست می‌آید:

$$C = \frac{A \cdot \eta_{0,hem} \int_{t1}^{t2} G\,dt - \dot{m} \cdot c_f \int_{t.}^{t.} \Delta T\,dt - A_G \cdot U \left[ \int_{t1}^{t2} (\vartheta_{in} - \vartheta_a)\,dt + \frac{1}{2} \int_{t1}^{t2} \Delta T dt \right]}{\vartheta_{m2} - \vartheta_{m1}} \qquad (۴۲)$$



shaghool.ir

از نتایج آزمون‌های قبلی، $(\vartheta_{in} - \vartheta_a)$، $\Delta T$ و $G$ به‌صورت تابعی از زمان رسم می‌شوند. سطوح زیر منحنی‌ها بین دو حالت پایا به ترتیب عبارتند از:

$$\int_{t1}^{t2} (\vartheta_{in} - \vartheta_a)dt \quad ، \quad \int_{t1}^{t2} \Delta T dt \quad و \quad \int_{t1}^{t2} G dt \quad .$$

عرض از مبدا y، یعنی $\eta_{0,hem}$ و شیب حالت خطی بازده لحظه‌ای، $U$، با استفاده از نتایج آزمون بازده معلوم هستند. مقدار ظرفیت حرارتی مؤثر با اعمال این مقادیر تجربی در معادله ۴۲ تعیین می‌شود.

## ۲۶-۲ اندازه‌گیری ظرفیت حرارتی مؤثر (روش شبه دینامیکی)

ظرفیت حرارتی مؤثر، مدل شده با $c_5$ و برابر با $C / A$، بخش اجباری از مدل کلکتور، معادله ۲۷، است و همزمان به همراه تمام پارامترهای دیگر کلکتور مشخص می‌شود.

ضروری است که در طول آزمون تغییرات قابل ملاحظه ای در شدت تابش خورشید وجود داشته باشد تا اثرات ظرفیت حرارتی معنی‌دار شود. طبق اطلاعاتی که تاکنون از داده های تجربی بدست آمده‌اند، شرایط تا حدی ابری سبب ایجاد قابلیت تغییر کافی در $d\vartheta_m / dt$ برای تعیین $c_5$ می‌شود. بهتر است $d\vartheta_m / dt$ در طول روزهایی که آسمان تا حدی ابری است از $\pm ۰/۰۰۵ \ K / s$ بیشتر باشد. اگر اتفاق غیرمنتظره‌ای رخ دهد، که مطابق در طول آزمون نباشد، یک روز آزمون اضافه، نوع ۲، مطابق بند ۲۴-۷-۲ با شرایط تا حدی ابری، باید به داده‌های مورداستفاده برای شناسایی پارامترها، اضافه شود.

## ۲۶-۳ روش محاسبه

### ۲۶-۳-۱ کلیات

ظرفیت حرارتی مؤثر و ثابت زمانی کلکتور، پارامترهای مهمی هستند که عملکرد گذرای آن را تعیین می‌کنند.

معمولا می‌توان کلکتور را به‌صورت ترکیبی از جرم‌ها که هر کدام دارای دماهای متفاوتی هستند، در نظر گرفت. زمانی که کلکتور کار می‌کند هر جزء آن پاسخ متفاوتی به تغییرات شرایط کاری می‌دهد؛ بنابراین در نظر گرفتن ظرفیت حرارتی مؤثر برای کل کلکتور، مفید است.

متأسفانه، ظرفیت حرارتی مؤثر بستگی به شرایط کاری دارد و در واقع پارامتری از کلکتور با مقدار منحصربه‌فردی نمی‌باشد. برای اندازه‌گیری یا محاسبه ظرفیت حرارتی مؤثر کلکتورها از روش‌های آزمون متفاوتی استفاده شده و نشان داده شده است که با استفاده از روش‌های کاملاً متفاوت می‌توان به نتایج مشابهی دست یافت. دقیقاً به علت اینکه مقدار منحصربه‌فردی برای ظرفیت حرارتی مؤثر وجود ندارد، ثابت زمانی کل منحصربه‌فردی[1] برای کلکتور، موجود نیست. برای بیشتر کلکتورها مؤثرترین عامل در زمان پاسخ،

1- Unique overall time constant



shaghool.ir

زمان گذرای جریان سیال است و ازاین‌رو پاسخ مرتبه اول با نرخ جریان سیال تغییر می‌کند. زمان پاسخ سایر اجزاء کلکتور، برای به دست آوردن ثابت زمانی کل مؤثر، بسته به شرایط کاری، متفاوت است.

### ۲۶-۳-۲ تعیین ظرفیت حرارتی مؤثر

ظرفیت حرارتی مؤثر کلکتور، C، (برحسب ژول بر کلوین) به‌صورت مجموع حاصل‌ضرب جرم $m_i$ (برحسب کیلوگرم)، گرمای ویژه آن $c_i$ (برحسب ژول بر کیلوگرم کلوین) و فاکتور وزنی[1] $p_i$ به ازای هر جزء سازنده کلکتور (شیشه، جذب‌کننده، مایع انتقال گرما، عایق) محاسبه می‌شود:

$$C = \sum_i p_i \cdot m_i \cdot c_i \qquad (۴۳)$$

این امر که اجزا خاصی در اینرسی گرمایی کلکتور صرفاً تا حدی دخیل می‌باشند، در فاکتور وزنی $p_i$ (بین صفر و ۱) لحاظ شده است. مقادیر $p_i$ در جدول ۱۰ ارائه شده‌اند.

**جدول ۱۰- مقادیر فاکتورهای وزنی**

| اجزای کلکتور | $p_i$ |
|---|---|
| جذب‌کننده | ۱ |
| عایق | ۰/۵ |
| مایع انتقال گرما | ۱ |
| شیشه خارجی | ۰/۰۱ |
| دومین شیشه | ۰/۲ |
| سومین شیشه | ۰/۳۵ |
| شیشه سوراخ‌دار و شیشه کلکتور جلوگذر (در صورت وجود) | ۱ |
| شیشه یکپارچه در کلکتور عقب گذر[2] (در صورت وجود) | ۰/۲ |

برای سامانه‌هایی با تخلیه برون‌ریز[3] و تخلیه بازگشتی[4]، توصیه می‌شود ظرفیت حرارتی کلکتور وقتی‌که پر از آب و هنگامی‌که خالی است، گزارش شود.

### ۲۶-۳-۳ محاسبه برای کلکتورهای خورشیدی گرمایشی هوا

ظرفیت سیال کلکتور باید مطابق VDI 4670 محاسبه شود. تمام قسمت‌های کلکتور که در تماس مستقیم با جریان هوا[5] هستند، باید ضریب وزنی یک بگیرند.

1- Weighting factor
2- Back-pass collector
3- Drain-down
4- Drain-back
5- Flux shall



shaghool.ir

## ۲۶-۴ محاسبه ثابت زمانی کلکتور (اختیاری)

### ۲۶-۴-۱ روش اجرای آزمون برای ثابت زمانی کلکتور

آزمون باید در فضای باز یا در شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی انجام شود. در هر حالت، شدت تابش خورشیدی در صفحه کلکتور باید بیشتر از $W/m^2$ ۷۰۰ باشد. سیال انتقال گرما باید در کلکتور با کمترین نرخ جریان مورداستفاده در آزمون‌های بازده حرارتی، گردش کند.

کلکتور باید به‌وسیله پوشش منعکس‌کننده خورشیدی از تابش خورشید محافظت شود و دمای سیال انتقال گرما در ورودی کلکتور باید تقریبا برابر با دمای هوای محیط تنظیم شود. پس از ایجاد شرایط حالت پایا، پوشش باید برداشته شده و اندازه‌گیری‌ها ادامه یابند تا زمانی که مجددا شرایط حالت پایا برقرار شود. در این آزمون هنگامی‌که تغییرات دمای خروجی سیال کمتر از ۰٫۵ K در دقیقه باشد، شرایط حالت پایا برقرار شده است.

روش جایگزین دیگری که نتایج یکسانی را در شبیه‌ساز خورشیدی فراهم می‌کند، اندازه‌گیری ثابت زمانی در طول یک دوره سرد کردن[1] به‌جای یک دوره گرم کردن[2] است. برای انجام این کار، ابتدا شرایط حالت پایا با شدت تابش و دمای ورودی یکنواخت، ایجاد شده و سپس با خاموش کردن منبع تابش، همزمان کمیت‌های فهرست زیر پایش می‌شوند. ثابت زمانی کلکتور، درواقع زمان صرف شده بین خاموش کردن منبع تابش و نقطه‌ای است که در آن کاهش دمای کلکتور به ٪ ۶۳٫۲ مقدار حالت پایای خود کاهش می‌یابد زیرا در حالت پایای نهایی، تغییر دمایی وجود نخواهد داشت (یعنی در حالت پایا، دما ثابت باقی می‌ماند).

کمیت‌های زیر باید طبق بند ۲۲ اندازه‌گیری شوند:

الف) دمای ورودی سیال در کلکتور ( $\vartheta_{in}$ )؛

ب) دمای خروجی سیال در کلکتور ( $\vartheta_e$ )؛

پ) دمای هوای محیط ( $\vartheta_a$ ).

### ۲۶-۴-۲ محاسبه ثابت زمانی کلکتور

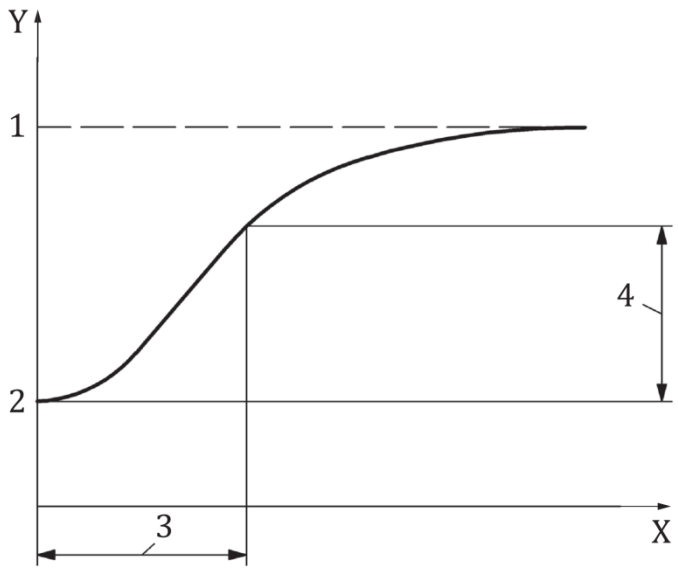
اختلاف بین دمای سیال در خروجی کلکتور و دمای هوای محیط ( $\vartheta_e - \vartheta_a$ ) باید برحسب زمان ترسیم شود که شروع آن در شرایط حالت پایای اولیه $(\vartheta_e - \vartheta_a)_0$ است و تا زمان رسیدن به حالت پایای ثانویه در دمای بالاتر $(\vartheta_e - \vartheta_a)_2$ ادامه می‌یابد (به شکل ۱۳ مراجعه شود).

ثابت زمانی کلکتور، $\tau_c$، زمان طی شده بین برداشتن پوشش و نقطه‌ای که در آن افزایش دمای خروجی کلکتور به ٪ ۶۳٫۲ اختلاف بین $(\vartheta_e - \vartheta_a)_0$ تا $(\vartheta_e - \vartheta_a)_2$ می‌رسد، تعریف می‌شود. اگر زمان پاسخ حس‌گرهای دما در مقایسه با مقدار اندازه‌گیری شده برای کلکتور، معنی‌دار باشد این موضوع باید در محاسبه نتایج آزمون مدنظر قرار گیرد.

1- Cool down
2- Heat up



shaghool.ir




**راهنما:**

| | |
|---|---|
| X | زمان |
| Y | $\vartheta_e - \vartheta_a$ |
| 1 | $(\vartheta_e - \vartheta_a)_2$ |
| 2 | $(\vartheta_e - \vartheta_a)_0$ |
| 3 | $\tau_c$ |
| 4 | ۰٫۶۳۲ $\left((\vartheta_e - \vartheta_a)_2 - (\vartheta_e - \vartheta_a)_0\right)$ |

**شکل ۱۳- ثابت زمانی کلکتور**

## ۲۷ تعیین ضریب تصحیح زاویه تابش کلکتور

### ۲۷-۱ مدل‌سازی

#### ۲۷-۱-۱ کلیات

ضریب تصحیح زاویه تابش کلکتور، به‌صورت نسبت بازده بیشینه در زاویه تابش مشخص به بازده بیشینه در زاویه تابش مرجعِ[1] تعریف شده و به ترتیب مطابق معادلات ۴۴ و ۴۵ به دست می‌آیند.

$$K_b(\theta_L,\theta_T)=\frac{\eta_{0,b}(\theta_L,\theta_T)}{\eta_{0,b}(\theta_{L,def},\theta_{T,def})} \qquad (۴۴)$$

1- Reference angle of incidence



shaghool.ir

$$K_{hem}(\theta_L,\theta_T)=\frac{\eta_{0,hem}(\theta_L,\theta_T)}{\eta_{0,hem}(\theta_{L,def},\theta_{T,def})} \quad (۴۵)$$

تابش عمودی (زاویه تابش برابر با صفر) معمولا به‌عنوان زاویه‌های تابش $\theta_{L,def}$ و $\theta_{T,def}$ استفاده می‌شود، هرچند مقادیر دیگر را در صورت مناسب بودن، می‌توان انتخاب کرد، مثلا در موردی که عملکرد حرارتی را نتوان تحت تابش عمودی تعیین کرد.

### ۲۷-۱-۲ کلکتورهای گرمایشی هوا و کلکتورهای شیشه‌ای تحت شرایط حالت پایا

با استفاده از معادلات ۴۵ و ۲۰، ضریب تصحیح زاویه تابش $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ به‌صورت معادله ۴۶ معرفی می‌شود.

$$\eta_{\text{hem}}=\eta_{0,\text{hem}}\cdot K_{hem}(\theta_L,\theta_T)-a_1\cdot\frac{\vartheta_m-\vartheta_a}{G}-a_2\cdot G\cdot\left(\frac{\vartheta_m-\vartheta_a}{G}\right)^2 \quad (۴۶)$$

شکل ۱۴ تغییرات $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ را نسبت به زاویه تابش برای دو کلکتور خورشیدی نشان می‌دهد. برای کلکتورهایی که اثرات زاویه تابش نسبت به جهت تابش متقارن نیست (کلکتورهای لوله خلاء و کلکتورهای CPC)، برای توصیف کامل ضریب تصحیح زاویه تابش، ضروری است که اثرات زاویه تابش در بیش از یک‌جهت اندازه‌گیری شود.

ضریب تصحیح زاویه تابش مرکب[1] منحصر به فرد را می‌توان با در نظر گرفتن اینکه این ضریب حاصل‌ضرب ضریب تصحیح زاویه تابش جداگانه، $K_{\theta T}$ و $K_{\theta L}$، برای دو صفحه متقارن عمود بر هم است، تخمین زد (معادله ۴۷).

$$K_{hem}(\theta_L,\theta_T)=K_{hem}(\theta_L,0)\cdot K_{hem}(0,\theta_T) \quad (۴۷)$$

صفحه طولی (با اندیس $L$) موازی با محور نوری کلکتور است و صفحه عرضی (با اندیس T) بر محور نوری عمود است. زوایای $\theta_L$ و $\theta_T$ به ترتیب تصاویر زاویه تابش، $\theta$، در صفحات طولی و عرضی هستند (شکل ۱۴).

معادله زیر بین $\theta$، $\theta_L$ و $\theta_T$ برقرار است:

$$\tan^2\theta=\tan^2\theta_L+\tan^2\theta_T \quad (۴۸)$$

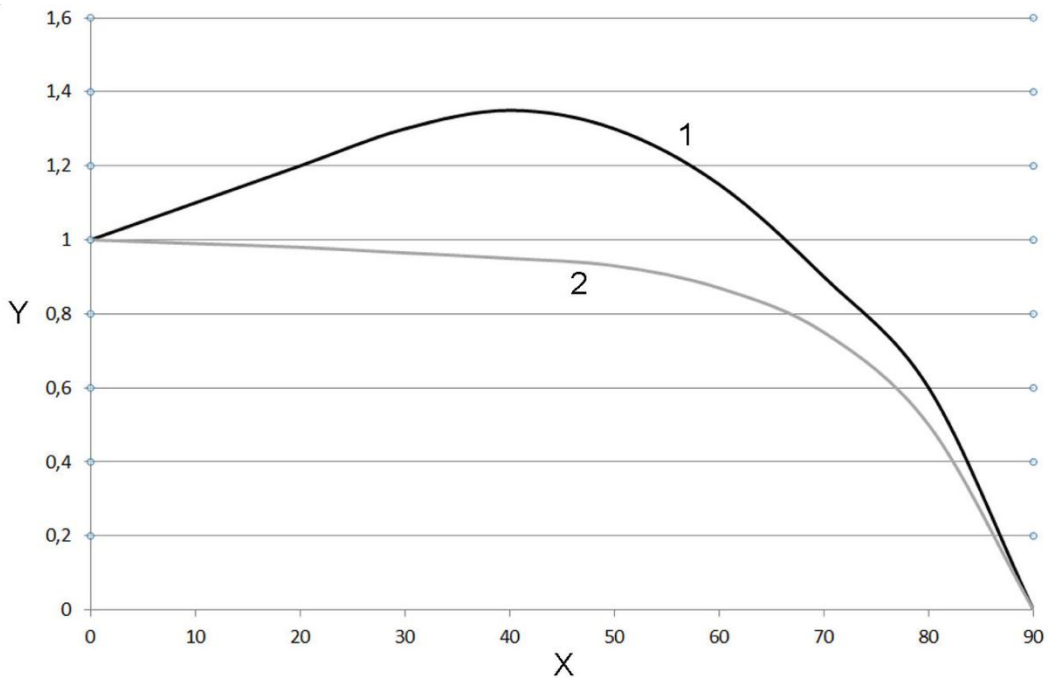
ضریب تصحیح زاویه برخورد در روش‌های آزمون این استاندارد ازآن‌جهت اهمیت دارد که مقادیر بازده حرارتی برای کلکتور در شرایط تابش عمود یا نزدیک به عمود تعیین می‌شود. بنابراین برای کلکتور تخت، عرض از مبدا محور y منحنی بازده، $\eta$، مساوی با $\eta_{0,hem}$ است. برای تعیین مقدار $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ باید

1- Complex individual incident angle modifier



shaghool.ir

اندازه‌گیری جداگانه‌ای انجام شود تا بتوان عملکرد کلکتور را تحت گستره وسیعی از شرایط و/یا ساعت روز با استفاده از معادله ۴۶ پیش‌بینی کرد.




**راهنما:**

| | |
|---|---|
| X | زاویه تابش (درجه) |
| Y | ضریب تصحیح زاویه تابش $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ |
| 1 | IAM عرضی |
| 2 | IAM طولی |

**شکل ۱۴- نمونه‌ای از ضرایب تصحیح زاویه تابش**

### ۳-۱-۲۷ کلکتورهای گرمایشی بدون شیشه مایع تحت شرایط حالت پایا (اختیاری)

برای تابش مستقیم خورشیدی که نزدیک حالت عمودی (نرمال) نیست، بازده $\eta_{0,hem}$ در معادله ۲۵ می‌تواند با $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)\cdot\eta_{0,hem}$ جایگزین شود که در آن $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ ضریب تصحیح زاویه تابش است (معادله ۴۹).

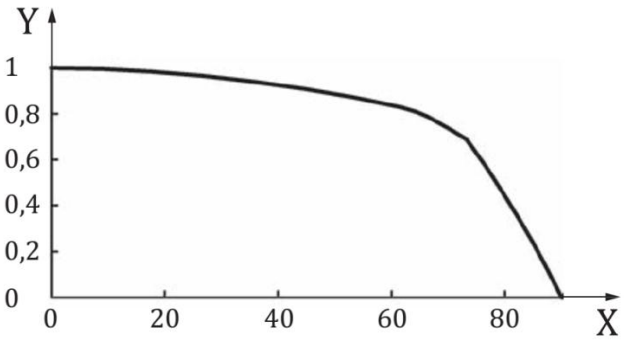
$$\eta_{hem} = K_{hem}(\theta_L,\theta_T)\cdot\eta_{0,hem}.(1-b_u.u)-(b_1-b_2.u).\frac{\vartheta_m-\vartheta_a}{G''} \qquad (۴۹)$$

شکل ۱۵ نمونه تغییرات $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ را با زاویه تابش برای یک کلکتور خورشیدی بدون شیشه نشان می‌دهد.

برای کلکتورهایی که اثرات زاویه تابش نسبت به جهت تابش متقارن نیست مشخصات داده شده در بند ۲-۱-۲۷ به‌کار برده می‌شود.



shaghool.ir




**راهنما:**

X زاویه تابش (درجه)

Y ضریب تصحیح زاویه تابش $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$

**شکل ۱۵- نمونه‌ای از ضریب تصحیح زاویه تابش**

برای تعیین مقدار $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ باید اندازه‌گیری جداگانه‌ای انجام شود تا بتوان عملکرد کلکتور را تحت گستره وسیعی از شرایط و/یا ساعت روز با استفاده از معادله ۴۹ پیش‌بینی کرد.

### ۴-۱-۲۷ شبه دینامیکی

ضرایب تصحیح زاویه تابش (IAM) که با $K_b(\theta_L,\theta_T)$ برای تابش مستقیم و با $K_d$ برای تابش پراکنده (به یادآوری ۱ در بند ۳-۴-۱-۲۵ مراجعه شود) مدل شده‌اند، بخش‌های ضروری مدل کلکتور هستند (معادله ۲۷). این ضرایب همزمان به همراه تمام پارامترهای دیگر کلکتور مشخص می‌شوند. مدل‌سازی اصلی وابسته به ضرایب تصحیح زاویه تابش[1] کلکتورهای صفحه تخت باید با معادله ۵۰، مطابق ASHARE 93-77، انجام شود.

$$K_b(\theta_L,\theta_T)=1-b_0\cdot\left(\frac{1}{\cos\theta}-1\right) \qquad (۵۰)$$

برای کلکتورهایی که اثرات زاویه تابش نسبت به جهت تابش متقارن نیست (کلکتورهای لوله خلاء و کلکتورهای CPC)، برای توصیف کامل ضریب تصحیح زاویه تابش، ضروری است که اثرات زاویه تابش در بیش از یک‌جهت اندازه‌گیری شود.

ضریب تصحیح زاویه تابش مرکب منحصر به فرد را می‌توان با در نظر گرفتن اینکه این ضریب حاصل‌ضرب ضریب تصحیح زاویه تابش جداگانه، $K_{\theta T}$ و $K_{\theta L}$، برای دو صفحه متقارن عمود بر هم است، تخمین زد (معادله ۵۱).

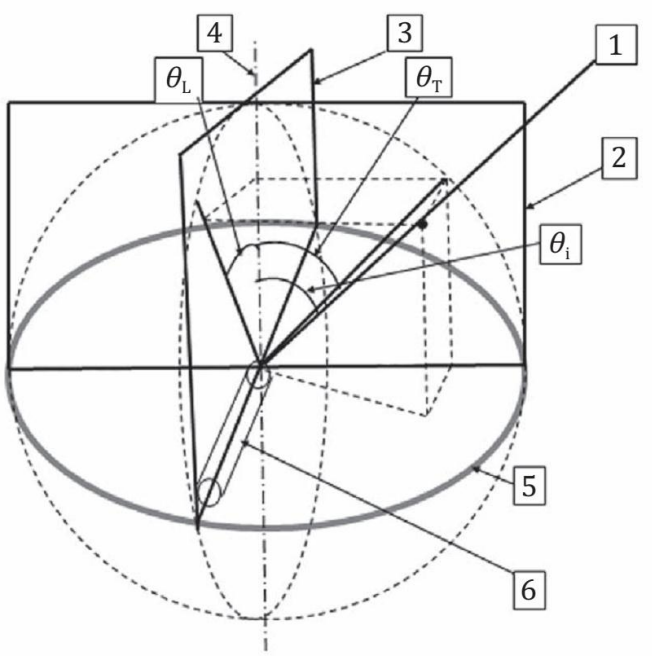
$$K_b(\theta_L,\theta_T)=K_b(\theta_L,0)\cdot K_b(0,\theta_T) \qquad (۵۱)$$

صفحه طولی (با اندیس L) موازی با محور نوری کلکتور حرکت می‌کند و صفحه عرضی (با اندیس T) بر محور نوری عمود است. زوایای $\theta_L$ و $\theta_T$به ترتیب تصاویر زاویه تابش، $\theta$، بر صفحات طولی و عرضی هستند.

1- IAM-dependence



shaghool.ir




**راهنما:**

| | |
|---|---|
| 1 | موقعیت خورشید |
| 2 | صفحه عرضی |
| 3 | صفحه طولی |
| 4 | محور عمود بر صفحه کلکتور |
| 5 | صفحه کلکتور |
| 6 | لوله خلاء نمونه |

**شکل ۱۶- زوایا و صفحات تقارن مربوط به تعیین ضریب تصحیح زاویه تابش IAM دو یا چند محوری**

معادله زیر بین $\theta$، $\theta_L$ و $\theta_T$ برقرار است:

$$\tan^2\theta = \tan^2\theta_L + \tan^2\theta_T \qquad (۵۲)$$

هنگام اندازه‌گیری ضریب تصحیح زاویه تابش در یک صفحه از کلکتور غیرمتقارن نوری[1]، بهتر است زاویه تابش درون صفحه دیگر، مقداری باشد که ضریب تصحیح زاویه تابش نسبت به تابش عمود، حداکثر ٪ ۲ اختلاف داشته باشد. برای کلکتورهای دارای وابستگی خاص به ضریب تصحیح زاویه تابش IAM به یادآوری بند ۲۵-۱-۴-۱ نیز مراجعه کنید، $K_d$ باید با توجه به ثابت کلکتور مدل شود.

برای اطلاعات کلی، به بند ۲۷-۱-۲ مراجعه کنید.

## ۲۷-۲ روش‌های اجرای آزمون

### ۲۷-۲-۱ کلکتورهای گرمایشی مایع تحت شرایط حالت پایا

1- Optical unsymmetrical collector



shaghool.ir

**۲۷-۲-۱-۱ کلیات**

آزمون کلکتور خورشیدی برای تعیین ضریب تصحیح زاویه تابش را می‌توان به یکی از دو روش زیر انجام داد. به‌هرحال، در طول هر دوره آزمون، راستای کلکتور باید طوری باشد که کلکتور در محدوده $\pm ۲/۵^{\circ}$ از زاویه تابشی که آزمون برای آن انجام می‌شود، حفظ شود. شدت تابش خورشیدی بر صفحه کلکتور باید بیشتر از $۳۰۰ W/m^2$ باشد.

بهتر است دقت شود که زوایای شیب نامناسب، اندازه‌گیری ضریب تصحیح زاویه تابش را تحت تأثیر قرار ندهد.

**یادآوری**- برای زاویه تابش $۵۰^{\circ}$، انحراف $\pm ۱^{\circ}$ هنگام اندازه‌گیری شدت تابش خورشیدی منجر به خطای ٪ ۲ می‌شود.

**۲۷-۲-۱-۲ روش ۱**

این روش برای انجام آزمون در فضای بسته با استفاده از شبیه‌ساز خورشیدی با ویژگی‌های قید شده در بند ۲۰-۲، یا در فضای باز با استفاده از میز متحرک[1] (با ردیاب دومحوره[2]) به‌صورتی‌که بتوان راستای کلکتور را نسبت به جهت تابش خورشید تنظیم کرد، به‌کار می‌رود.

راستای کلکتور باید به‌گونه‌ای باشد که زاویه تابش بین عمود بر صفحه کلکتور و تابش مستقیم خورشید در شرایط آزمون، $۵۰^{\circ}$ باشد. برای کلکتورهای صفحه تخت رایج، این زاویه کافی است. در مورد بعضی کلکتورها با ویژگی‌های عملکرد نوری غیرمعمول یا در صورت لزوم برای شبیه‌سازی سامانه، ممکن است زوایای $۲۰^{\circ}$، $۴۰^{\circ}$ و $۶۰^{\circ}$ و سایر زوایای دیگر، لازم باشد.

میانگین دمای سیال انتقال گرما باید تا حد امکان به دمای هوای محیط نزدیک باشد (ترجیحا در حدود $\pm ۱K$). مقدار بازده باید مطابق با بند ۲۴-۵-۲ تعیین شود.

**۲۷-۲-۱-۳ روش ۲**

این روش برای آزمون در فضای باز با استفاده از میز ثابت که راستای کلکتور را نتوان نسبت به جهت تابش خورشید تنظیم کرد (به‌جز تنظیم شیب) به‌کار می‌رود.

میانگین دمای سیال انتقال گرما باید در صورت امکان تا $\pm ۱K$ نسبت به دمای هوای محیط کنترل شود. مقدار بازده باید به روشی تعیین شود که یک مقدار بازده پیش از ظهر خورشیدی و یک مقدار دیگر پس از ظهر خورشیدی محاسبه شود. زاویه تابش متوسط بین کلکتور و اشعه خورشیدی برای هر دو نقطه داده‌گیری، یکسان است. بازده کلکتور برای زاویه تابش خاص باید برابر با متوسط دو مقدار، در نظر گرفته شود.

مقدار بازده باید به‌صورت کلی مطابق با روش شرح داده شده در بند ۲۴-۵-۲ تعیین شود. همچون روش ۱، داده‌برداری باید در زاویه تابش $۵۰^{\circ}$ انجام شود. در مورد بعضی کلکتورها با ویژگی‌های عملکرد نوری

1- Movable test rack
2- Altazimuth collector mount



shaghool.ir

غیرمعمول یا در صورت لزوم برای شبیه‌سازی سامانه، ممکن است زوایای $20^{o}$، $40^{o}$ و $60^{o}$ و سایر زوایای دیگر، لازم باشد.

**یادآوری**- برای تائید اینکه آیا این روش برای ساختارهای هندسی خاص، مانند کلکتورهای لوله‌ای، کاربرد دارد یا خیر، به تجربه بیشتری نیاز است.

### ۲-۲-۲۷ کلکتورهای هوا

به بند ۱-۲-۲۷ مراجعه کنید، همچنین توجه کنید که یکی از سه نرخ جریان مورداستفاده برای اندازه‌گیری بازده، باید در این اندازه‌گیری نیز استفاده شود.

### ۳-۲-۲۷ کلکتورهای گرمایشی بدون شیشه مایع تحت شرایط حالت پایا

به بند ۱-۲-۲۷ مراجعه کنید، اما مقدار بازده باید مطابق بند ۴-۵-۲۴ تعیین شود.

## ۳-۲۷ محاسبه ضریب تصحیح زاویه تابش کلکتور

### ۱-۳-۲۷ کلکتورهای شیشه‌ای تحت شرایط حالت پایا

صرف‌نظر از روش تجربی مورداستفاده در بند ۱-۲-۲۷، مقادیر بازده حرارتی کلکتور باید برای همه زوایای تابش اشاره شده تعیین شود. در مورد کلکتورهای تخت رایج، تنها یک زاویه تابش موردنیاز است، یعنی $50^{o}$ (لازم به ذکر است که استاندارد رده‌بندی که از این روش آزمون استفاده می‌کند ممکن است لازم شود که $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ به ازای مقادیر متفاوت زوایای تابش اندازه‌گیری شود). میانگین دمای سیال، باید بسیار نزدیک به دمای هوای محیط حفظ شود به‌طوری‌که $(\vartheta_m - \vartheta_a)$ تقریبا صفر شود. رابطه بین $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ و بازده عبارت است از:

$$K_{hem}(\theta_L,\theta_T)=\frac{\eta_{0,hem}(\theta_L,\theta_T)}{\eta_{0,hem}(\theta_{L,def},\theta_{T,def})} \qquad (۵۳)$$

چون $\eta_{hem}(\theta_{L,def},\theta_{T,def})$ قبلا از عرض از مبدا محور y منحنی بازده به‌دست‌آمده است، می‌توان مقادیر $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ را برای زوایای تابش مختلف محاسبه کرد (به بند ۲-۲۷ مراجعه شود). اگر نتوان میانگین دمای سیال را در محدوده $\pm 1K$ دمای هوای محیط کنترل کرد، مقادیر $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ باید از معادله ۵۴ محاسبه شود:

$$K_{hem}(\theta_L,\theta_T)=\frac{\eta_{hem}(\theta_L,\theta_T)+a_1\cdot\frac{\vartheta_m-\vartheta_a}{G}+a_2\cdot G\left(\frac{\vartheta_m-\vartheta_a}{G}\right)^2}{\eta_{0,hem}(\theta_{L,def},\theta_{T,def})} \qquad (۵۴)$$

برای حصول نتایج دقیق‌تر بهتر است از معادله ۵۴ استفاده شود.

### ۲-۳-۲۷ کلکتورهای گرمایشی هوا



shaghool.ir

صرف‌نظر از روش تجربی مورداستفاده در بند ۲۷-۲-۲، مقادیر بازده حرارتی کلکتور باید برای همه زوایای تابش اشاره شده تعیین شود. در مورد کلکتورهای تخت رایج، تنها یک زاویه تابش موردنیاز است، یعنی $50^{o}$ (لازم به ذکر است که استاندارد رده‌بندی که از این روش آزمون استفاده می‌کند ممکن است لازم شود که $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ به ازای مقادیر متفاوت زوایای تابش اندازه‌گیری شود). میانگین دمای سیال، باید بسیار نزدیک به دمای هوای محیط حفظ شود به‌طوری‌که $(\vartheta_m - \vartheta_a)$ تقریبا صفر شود. رابطه بین $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ و بازده عبارت است از:

$$K_{hem}(\theta_L,\theta_T)=\frac{\eta_{0,hem}(\theta_L,\theta_T)}{\eta_{0,hem}(\theta_{L,def},\theta_{T,def})} \qquad (۵۵)$$

چون $\eta_{0,hem}(\theta_{L,def},\theta_{T,def})$ قبلا از عرض از مبدا محور y منحنی بازده به‌دست‌آمده است، می‌توان مقادیر $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ را برای زوایای تابش مختلف محاسبه کرد (به بند ۲۷-۲ مراجعه شود). اگر نتوان میانگین دمای سیال را برابر دمای هوای محیط در محدوده $\pm 1K$ کنترل کرد، هر مقدار $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ باید از معادله ۵۴ محاسبه شود.

برای حصول نتایج دقیق‌تر بهتر است از معادله ۵۴ استفاده شود.

به‌عنوان روش جایگزین، می‌توان هر نقطه داده را بر روی همان نمودار منحنی بازده تعیین شده طبق بند ۲۴-۵-۳ رسم کرد و از هر نقطه، منحنی به‌موازات منحنی بازده رسم کرده و آن را با محور y تقاطع داد. اگر میانگین دما، مساوی دمای هوای محیط کنترل شده باشد، مقادیر عرض از مبدا y، مقادیر بازده هستند. بنابراین از این مقادیر می‌توان در معادله ۵۴ برای محاسبه مقادیر متفاوت $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ استفاده کرد.

### ۲۷-۳-۳ کلکتورهای گرمایشی مایع تحت شرایط حالت پایا

صرف‌نظر از روش تجربی مورداستفاده در بند ۲۷-۱-۳، مقادیر بازده حرارتی کلکتور باید برای همه زوایای تابش اشاره شده تعیین شود.

در مورد کلکتورهای بدون شیشه، تنها یک زاویه تابش، یعنی $50^{o}$، موردنیاز است،

**یادآوری**- استاندارد رده‌بندی که از این روش آزمون استفاده می‌کند ممکن است لازم باشد که $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ به ازای مقادیر متفاوت زوایای تابش اندازه‌گیری شود.

میانگین دمای سیال، باید بسیار نزدیک به دمای هوای محیط حفظ شود به‌طوری‌که $(\vartheta_m - \vartheta_a)$ تقریبا صفر شود. رابطه بین $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ و بازده عبارت است از:

$$K_{hem}(\theta_L,\theta_T)=\frac{\eta_{0,hem}(\theta_L,\theta_T)}{\eta_{0,hem}(\theta_{L,def},\theta_{T,def})} \qquad (۵۶)$$



shaghool.ir

چون $\eta_0$ قبلا از عرض از مبدا محور y منحنی بازده به‌دست‌آمده است، می‌توان مقادیر $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ را برای زوایای تابش مختلف محاسبه کرد (به بند ۳-۲-۲۷ مراجعه شود). اگر نتوان میانگین دمای سیال را برابر دمای هوای محیط در محدوده ۱K± کنترل کرد، هر مقدار $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ باید از معادله ۵۷ محاسبه شود.

$$K_{hem}(\theta_L,\theta_T)=\frac{\eta_{hem}(\theta_L,\theta_T)+(b_1+b_2\cdot u)\cdot\left(\frac{\vartheta_m-\vartheta_a}{G''}\right)}{\eta_{0,hem}(\theta_{L,def},\theta_{T,def})\cdot(1-b_u\cdot u)} \qquad (۵۷)$$

برای حصول نتایج دقیق‌تر بهتر است از معادله ۵۷ استفاده شود. به‌عنوان روش جایگزین، می‌توان هر نقطه داده‌گیری را بر روی منحنی نمودار یکسانی با منحنی بازده تعیین شده طبق بند ۴-۵-۲۴ رسم کرد و از هر نقطه، یک منحنی به‌موازات منحنی بازده رسم و آن را با محور y تقاطع داد.

مقادیر عرض از مبدا y، مقادیر بازده هستند که موجب کنترل میانگین دمای سیال به‌طور مساوی با دمای هوای محیط می‌شوند. ؛ بنابراین، این مقادیر را می‌توان در ارتباط با معادله ۵۷ برای محاسبه مقادیر متفاوت $K_{hem}(\theta_L,\theta_T)$ استفاده کرد.

## ۲۸ تعیین افت فشار در کلکتور (مایع)(اختیاری)

### ۲۸-۱ کلیات

میزان افت فشار در سراسر کلکتور برای طراحان سامانه‌های کلکتور خورشیدی اهمیت دارد. سیال مورداستفاده در آزمون کلکتور ، باید آب یا ترکیبی از آب:گلیکول (٪۶۰ آب: ٪۴۰ گلیکول)، یا ترکیب پیشنهادی سازنده باشد.

دمای سیال باید °C (۲±۲۰) باشد.

### ۲۸-۲ تأسیسات آزمون

کلکتور باید طبق توصیه‌های بند ۲۱ نصب شود و به مدار آزمونی مطابق با توصیه‌های بند ۲۳ متصل شود، هرچند ابزارهای اندازه‌گیری موردنیاز این آزمون (تعیین افت فشار) از آزمون بازده کلکتور کمتر است.

سیال انتقال گرما باید از پایین به بالای کلکتور جریان یابد و در انتخاب اتصالات مناسب لوله‌ها از ورودی کلکتور و خروجی‌ها مطابق با بند ۳-۱-۲۳ توجه خاصی صورت گیرد. در مورد کلکتورهای بدون شیشه جهت جریان سیال می‌تواند مطابق نظر سازنده باشد.

### ۲۸-۳ پیش آماده‌سازی کلکتور

تمیز بودن سیال باید بررسی شود. کلکتور باید توسط شیر تخلیه هوا یا تمهیدات مناسب دیگری مانند افزایش نرخ جریان سیال برای یک دوره کوتاه هواگیری شود.

### ۲۸-۴ روش اجرای آزمون

الف- کلکتورهای خورشیدی شیشه‌ای



shaghool.ir

افت فشار بین اتصالات ورودی و خروجی کلکتور باید برای نرخ جریان‌هایی که احتمال دارد در شرایط واقعی سامانه گرمایش خورشیدی استفاده شوند، تعیین شود.

درصورتی‌که سازنده کلکتور، در مورد نرخ جریان توصیه خاصی را ارائه نکرده باشد، اندازه‌گیری‌های افت فشار باید در گستره نرخ جریان‌هایی از ۰٫۰۰۵ kg/s تا ۰٫۰۳ kg/s در مترمربع از مساحت ناخالص کلکتور انجام شوند. بهتر است مبدا نمودار افت فشار هم، نقطه (0,0)، در نظر گرفته شود.

حداقل پنج اندازه‌گیری باید در مقادیری بافاصله مساوی در گستره نرخ جریان مذکور انجام شود.

ب- کلکتورهای خورشیدی بدون شیشه

افت فشار بین اتصالات ورودی و خروجی کلکتور باید در حالتی تعیین شود که کلکتور و سیال آن در دمای نزدیک به دمای محیط قرار دارند و نرخ جریان‌ها در گستره‌ای باشند که احتمال دارد در کاربرد موردنظر کلکتور استفاده شود.

چون چیدمان تیغه‌ها و منیفلدهای مورداستفاده در آزمون، معمولا با تأسیسات مرسوم فرق دارد، افت فشار در تیغه‌ها و منیفلدها باید جداگانه محاسبه شود. این کار را می‌توان با دو اندازه‌گیری متوالی افت فشار در یک تیغه جذب‌کننده کوتاه، شامل منیفلدها (حداقل ۳ متر) و یک تیغه جذب‌کننده بلند شامل منیفلدها (مثلا ۱۵ متر) انجام داد.

بعدازآن می‌توان تفاوت منحنی‌های دو افت فشار را بر اختلاف طول تیغه بین دو جذب‌کننده تقسیم کرد. منحنی به دست آمده افت فشار مختل نشده[1] در هر متر تیغه است.

بهتر است آزمون در فشار ثابتی که متناظر با فشار کاری معمول است، انجام شود.

درصورتی‌که سازنده توصیه‌های خاصی را در مورد نرخ جریان ارائه نکرده باشد، اندازه‌گیری‌های افت فشار باید در گستره نرخ جریان از ۰٫۰۲ kg/s تا ۰٫۱ kg/s بر مترمربع از مساحت ناخالص کلکتور، انجام شوند.

حداقل ۵ اندازه‌گیری باید در مقادیری بافاصله یکسان در گستره نرخ جریان انجام شود. همچنین اختلاف فشار باید در نرخ جریان صفر بررسی شود.

### ۲۸-۵ اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری‌های زیر باید مطابق بند ۲۲ انجام شوند:

الف) دمای سیال در ورودی کلکتور؛

ب) نرخ جریان سیال؛

پ) افت فشار سیال انتقال گرما بین اتصالات ورودی و خروجی کلکتور.

افت فشار سیال انتقال گرما در سراسر کلکتور باید با وسیله‌ای که دارای عدم قطعیت استاندارد ٪ ۵ مقدار اندازه‌گیری یا ۱۰Pa±، هرکدام که کمتر بود، اندازه‌گیری شود.

### ۲۸-۶ افت فشار ایجادشده توسط اتصالات

1- Undisturbed pressure drop



shaghool.ir

اتصالات مورداستفاده برای اندازه‌گیری فشار سیال ممکن است خود باعث افت فشار شوند. با برداشتن کلکتور از مدار سیال و تکرار آزمون‌ها درحالی‌که اتصالات اندازه‌گیری فشار مستقیماً به همدیگر متصل شده‌اند، افت فشار مسیر بدون کلکتور باید بررسی شود. افت فشار به وجود آمده در اثر اتصالات باید برای تصحیح افت فشار اندازه‌گیری شده کلکتور به کار برده شود.

### ۲۸-۷ شرایط آزمون

نرخ جریان سیال باید در حدود ٪ ۱± مقدار نامی در طول دوره اندازه‌گیری آزمون، ثابت نگه داشته شود.

دمای ورودی سیال انتقال گرما باید در حدود K ۵± (K ۱± برای کلکتورهای بدون شیشه) در طول اندازه‌گیری‌های آزمون، ثابت نگه داشته شود. آزمون باید با کلکتوری که در دمای حدود K ۱۰± نسبت به دمای محیط قرار دارد انجام شود. آزمون‌های افت فشار در سایر دماها برای سیال‌های انتقال گرمای پایه نفتی، اهمیت دارد.

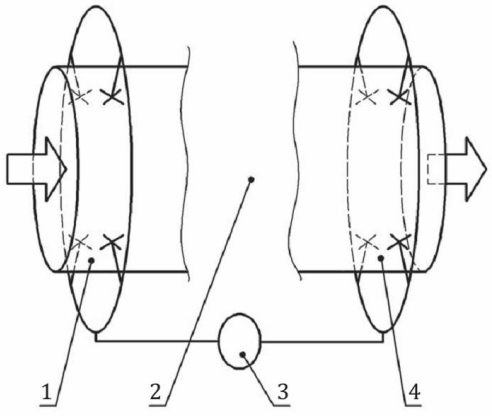
### ۲۸-۸ محاسبه و ارائه نتایج آزمون

افت فشار باید به‌صورت ترسیمی و تابعی از نرخ جریان سیال برای هرکدام از آزمون‌های انجام شده، با استفاده از برگه‌های نتایج آزمون داده شده در بند الف-۱۶-۸ ارائه شود.

### ۲۸-۹ افت فشار کلکتورهای هوا

#### ۲۸-۹-۱ کلیات

موقعیت نقاط اندازه‌گیری باید در پایین‌دست و بالادست کلکتور مطابق شکل ۱۷ باشد. برای کلکتورهای مورد آزمون تحت‌فشار منفی، فشار ورودی کلکتور باید کمتر از فشار جو باشد.




**راهنما:**

1 کانال آزمون ورودی هوا
2 کلکتور خورشیدی
3 وسیله اندازه‌گیری فشار تفاضلی
4 کانال آزمون خروجی هوا

**شکل ۱۷- نمایش شماتیک اندازه‌گیری افت فشار در کلکتور گرمایشی خورشیدی هوا**



shaghool.ir

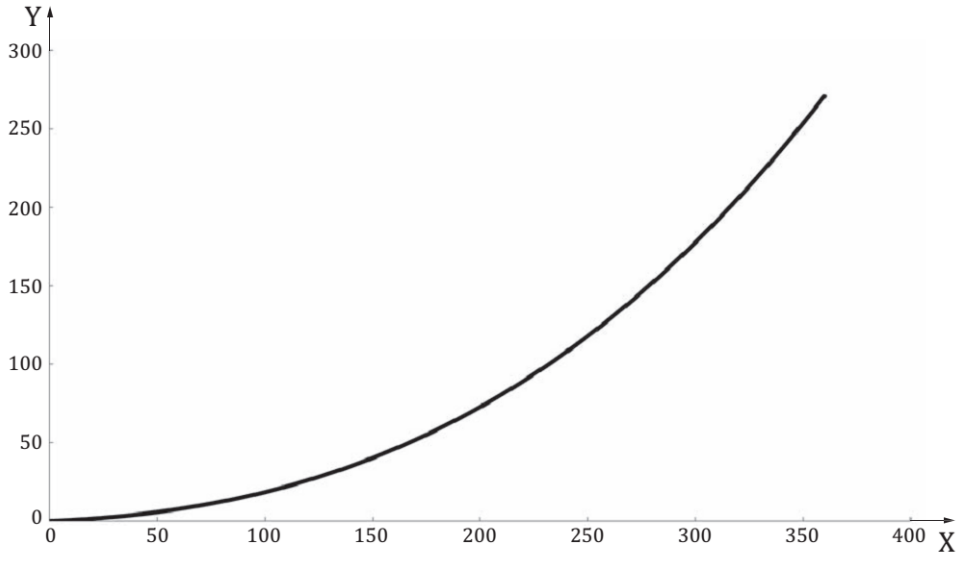
### ۲۸-۹-۲ دستگاه‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری

نقاط اندازه‌گیری فشار، باید دارای چهار سوراخ فشار منیفلد بیرونی[1]، مانند شکل ۱۷، باشند. فشار در مدار آزمون و افت فشار کلکتور خورشیدی باید با استفاده از سوراخ‌های فوق‌الذکر و توسط مانومتر یا مبدل فشار تفاضلی اندازه‌گیری شود. لبه‌های سوراخ‌ها در سمت داخلی سطح کانال باید عاری از پلیسه و برآمدگی باشند. قطر سوراخ نباید بیشتر از ٪ ۴۰ ضخامت دیواره یا ۱٫۶ mm باشد. برای تعیین فشار مطلق سیال انتقال ورودی، باید اقدامات لازم صورت گیرد.

افت فشار استاتیکی کلکتور گرمایشی هوا و فشار استاتیکی بالادست و پایین‌دست کلکتور باید با ابزاری که درستی ۱۰ ± Pa دارد، تعیین شود.

### ۲۸-۹-۳ شرایط مرزی و روش بررسی

اندازه‌گیری باید در گستره ۵ ± K دمای محیط انجام شود. حداقل ۵ نرخ جریان جرمی باید اندازه‌گیری شود. توزیع این اندازه‌گیری‌ها باید در گستره کارکرد تعریف شده توسط سازنده که در بند ۲۴-۴-۲-۳ مشخص شده، باشد. مقدار بیشترین نقطه باید $1{,}5 \times mp_{max}$ اعلامی از طرف سازنده باشد. در هر نقطه کارکردی، فشار باید برای حداقل ده دقیقه به حالت پایا رسیده باشد. منحنی افت فشار باید مطابق شکل ۱۸ ارائه شود.




**راهنما:**

X نرخ جریان جرمی (kg/h)

Y افت فشار (Pa)

**شکل ۱۸- یک نمونه از منحنی افت فشار کلکتور گرمایشی هوا**

1- External manifold pressure tap



shaghool.ir

**۲۸-۹-۴ محاسبه و ارائه نتایج**

افت فشار اندازه‌گیری شده در طول شرایط کاری معمول، مطابق آزمون عملکرد حرارتی، باید در بند الف-۱۶-۸ گزارش شود.



shaghool.ir

## پیوست الف

## (الزامی)

## گزارش‌های آزمون

گزارش‌های آزمون باید مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۷۰۲۵ تهیه شود. گزارش‌های آزمون ممکن است به‌صورت آزمون‌های تکی یا مراحل کامل آزمون تهیه شود.

**الف-۱**

برای شناسایی کلکتور خورشیدی، توضیح آن باید تا حد امکان کامل بوده و باید شامل حداقل ویژگی‌های ذکرشده در زیر باشد. در مواردی که اطلاعات از طرف سازنده ارائه شده باشد، این مورد باید به‌صورت روشن ذکر شود.

نام سازنده: .....

علامت تجاری: ..... شماره‌سریال: .....

نوع کلکتور: ..... شماره نقشه فنی: .....

سال تولید: .....

نرخ جریان آزمون (kg/s): .....

دمای سکون استاندارد در $1000\ W/m^2$ و در دمای محیط ۳۰ °C (°C): .....

نوع نصب کلکتور: .....

**کلکتور:**

نام نوع: .....

مثلا صفحه تخت، لوله خلاء و غیره.

**ابعاد کلکتور**

طول (mm): .....

عرض (mm): .....

ارتفاع (mm): ..... سطح ناخالص ($m^2$): .....

وزن خالی: .....

سیال محتوی: .....



shaghool.ir

جنس مواد محفظه جانبی: .....

جنس مواد محفظه پشتی: .....

روش‌های مونتاژ چارچوب (پرچ‌کاری، پیچ و مهره و غیره): .....

تصفیه هوا:

☐ بله

☐ خیر

در صورت مثبت بودن جواب، درجه فیلتر را مطابق استاندارد EN 779 مشخص کنید: .....

**جذب‌کننده**

جنس ماده: .....

عرض پره[1] (mm): .....

ضخامت پره (mm): .....

ضریب جذب خورشیدی $\alpha$ (٪): .....

ضریب انتشار نیمکره‌ای $\varepsilon$ (٪):

عملیات سطح: .....

نوع اتصال لوله[2] و پره/صفحه (مثلا مکانیکی، لحیم‌کاری، جوش فراصوت، لیزر): .....

تعداد لوله‌ها: .....

ابعاد یا قطر لوله (mm): .....

فاصله بین لوله‌ها (mm): .....

ابعاد (طول، عرض، ارتفاع) (mm): .....

قطر یا ابعاد لوله اصلی[3] (mm): .....

الگوی جریان: .....

سطح جذب‌کننده (مختص کلکتورهای هوا) ($m^2$): .....

1- Fin
2- Riser
3- Header diameter or dimensions



shaghool.ir

نوع جذب‌کننده (مختص کلکتورهای هوا): جریان از بالا[1] / جریان از زیر[2] / جریان سراسری[3]: .....

سطح مبدل گرمایی جذب‌کننده (برای کلکتورهای گرمایشی هوا، عرض و ضخامت پره نوشته شود): .....

**شیشه:**

ضخامت (mm): .....

ضریب عبور خورشیدی (٪): .....

ویژگی سطح شیشه (مثال: تمیز، بافت‌دار، روکش شده): .....

**لوله گرمایی:**

قطر خارجی لوله (mm): .....

قطر خارجی کندانسور (mm): .....

**منعکس‌کننده:**

نوع منعکس‌کننده: .....

ابعاد (mm): .....

جنس: .....

**محدودیت‌ها:**

بیشینه دمای کاری (°C): .....

بیشینه فشار کاری در ۴۵ °C (Pa): .....

بیشینه فشار کاری در بیشینه دمای کاری (Pa): .....

سایر محدودیت‌ها: .....

تصویری از کلکتور: .....

اظهارنظر درباره طراحی کلکتور: .....

نمودار شماتیک نصب کلکتور: .....

واسط انتقال گرما: ..... آب / روغن / سایر

1- Overflow
2- Underflow
3- Flow through



shaghool.ir

ویژگی‌ها (مواد افزودنی و غیره): .....

سیال‌های انتقال گرمای قابل‌قبول جایگزین: .....

برای کلکتورهای خورشیدی دارای اجزا اضافی (هواکش، پنل PV و غیره) تمام آن‌ها باید ذکرشده و داده‌های فنی هرکدام آورده شود: .....

اگر هواکش یا اجزا تولیدکننده نویز دیگری در دستگاه وجود دارد میزان تولید صدای کلکتور نصب شده و نصب نشده (داخل / خارج ساختمان) باید توسط سازنده، طبق استاندارد EN 13142، ذکر شود.

### الف-۲ ثبت توالی و خلاصه نتایج اصلی آزمون

تمام آسیب‌های جدی به کلکتور، شامل نفوذ باران، بهتر است در جدول الف-۱ به‌طور خلاصه ذکر شود. توصیه می‌شود جزئیات کامل نتایج آزمون در برگه‌های جداگانه، داده شود.

**جدول الف-۱ – جدول خلاصه نتایج**

| آزمون | | تاریخ | | خلاصه نتایج اصلی آزمون |
|---|---|---|---|---|
| | | شروع | خاتمه | |
| فشار داخلی | | | | |
| آزمون نشتی | | | | |
| آزمون شکستگی و تخریب | | | | |
| مقاومت در برابر دمای بالا | | | | |
| نوردهی یا پیش‌نوردهی | | | | |
| آزمون کنترل‌های فعال و غیر فعال | | | | |
| شوک حرارتی خارجی | اول | | | |
| | دوم | | | |
| شوک حرارتی داخلی | اول | | | |
| | دوم | | | |
| نفوذ باران | | | | |
| مقاومت در برابر یخزدگی | | | | |
| بار مکانیکی | | | | |
| مقاومت در برابر ضربه (اختیاری) | | | | |
| بازبینی نهایی | | | | |
| عملکرد حرارتی | | | | |
| اندازه‌گیری افت فشار | | | | |

ملاحظات:

### الف-۳ آزمون‌های فشار داخلی برای کانال‌های سیال

#### الف-۳-۱ کلیات



shaghool.ir

روش آزمون انتخابی طبق بند ۶ و سیال انتقال گرما مورداستفاده به همراه فشار کاری بیشینه کلکتور که سازنده مشخص کرده، باید گزارش شود.

**الف-۳-۲ شرایط آزمون**

دمای آزمون (°C):

فشار آزمون (kPa):

مدت‌زمان آزمون (min):

**الف-۳-۳ نتایج آزمون**

جزئیات هرگونه نشتی اندازه‌گیری شده و مشاهده‌شده، تورم یا تغییر شکل و هرگونه عیب مبنی بر «نقص کلی»، تعریف شده در بند ۱۸، شرح داده شود.

**الف-۴ آزمون نشتی برای کلکتورهای گرمایشی مداربسته هوا**

**الف-۴-۱ کلیات**

جزئیات کامل روش آزمون مورداستفاده، شامل نرخ جریان حجمی، دمای محیط، فشار متوسط و دوره‌های آزمون مورداستفاده، باید با نتایج آزمون گزارش شود.

**الف-۴-۲ شرایط آزمون**

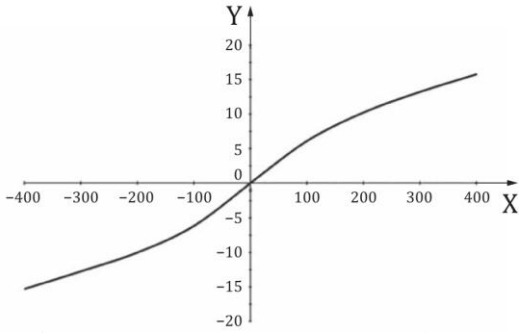
دمای (محیط) آزمون (°C):

دمای (سیال) آزمون (°C):

مدت‌زمان آزمون در هر فشار (s):

**الف-۴-۳ نتایج آزمون**

جریان نشتی اندازه‌گیری شده در حداقل ۴ مقدار فشار مثبت و ۴ مقدار فشار منفی:




**راهنما:**

X فشار کلکتور (Pa)

Y نرخ جریان حجمی نشتی ($m^3/h$)

**شکل الف-۱ - منحنی نرخ نشتی کلکتور گرمایشی هوا**



shaghool.ir

**جدول الف-۲ مقادیر جریان نشتی و فشار نسبی حجمی**

| فشار نسبی | نرخ جریان حجمی نشتی ($V_{p.L}$) |
|---|---|
| Pa | $m^3/s$ |
| | |
| | |

## الف-۵ آزمون شکستگی و تخریب

### الف-۵-۱ کلیات

گزارش آزمون باید شامل جزئیات کامل روش اجرای آزمون، شرایط آزمون مثل فشار هوا، دما و دوره آزمون باشد.

هر نشانه‌ای مبنی بر تخریب کلکتور، تغییر شکل دائمی کلکتور یا تغییر مکان دائمی اجزای کلکتور باید گزارش شود.

### الف-۵-۲ شرایط آزمون

دمای (محیط) آزمون (°C):

دمای (سیال) آزمون (°C):

فشار آزمون (Pa):

شدت تابش آزمون (در صورت به‌کارگیری) ($W/m^2$):

مدت‌زمان آزمون (s):

### الف-۵-۳ نتایج آزمون

هر نشانه‌ای مبنی بر تخریب کلکتور، تغییر شکل دائمی کلکتور یا تغییر مکان دائمی اجزای کلکتور باید گزارش شود.

## الف-۶ آزمون مقاومت در برابر دمای بالا و تعیین دمای سکون استاندارد

### الف-۶-۱ روش مورداستفاده برای گرم کردن کلکتورهای

آزمون در فضای باز ☐

در شبیه‌ساز خورشیدی ☐

### الف-۶-۲ روش مورداستفاده برای تعیین دمای سکون استاندارد

اندازه‌گیری و برون‌یابی (پیوست ج ۲)

محاسبه ویژگی‌های عملکردی (پیوست ج ۳)

### الف-۶-۳ شرایط آزمون



shaghool.ir

**الف-۶-۳-۱ کلیات**

زاویه شیب کلکتور (نسبت به افق) (درجه):

میانگین شدت تابش در طول آزمون ($W/m^2$):

میانگین دمای هوای اطراف (°C):

میانگین سرعت هوای اطراف (m/s):

میانگین دمای جذب‌کننده (°C):

مدت‌زمان آزمون (min):

اگر در هنگام انجام آزمون‌های مقاومت در برابر دمای بالا، سیال در جریان بوده باشد در گزارش آزمون باید مشخصات نرخ جریان، دمای سیال و مدت جریان، ارائه شود.

**یادآوری**- اگر دمای سکون استاندارد به همراه آزمون مقاومت در برابر دمای بالا تعیین نشده است، داده‌های بیشتری برای قابل‌قبول بودن شرایط آزمون انجام شده و این موارد در درون براکت پرانتز قرار دهید.

**الف-۶-۳-۲ اطلاعات تکمیلی موردنیاز در صورت آزمون کلکتور لوله خلاء**

دمای کلکتور در مکان نشان داده شده در زیر اندازه‌گیری شده است:

**الف-۶-۳-۲-۱ اطلاعات تکمیلی موردنیاز در صورت اندازه‌گیری دمای جذب‌کننده با استفاده از سیال مناسب (طبق یادآوری ۲ در بند ۹-۲)**

جذب‌کننده اندکی با ..... پر شد و میانگین فشار ..... پاسکال بود که متناظر با میانگین دمای جذب‌کننده است که در بند الف-۶-۳-۱ نشان داده شده است.

**الف-۶-۴ نتایج تعیین دمای سکون استاندارد**

دمای سکون استاندارد در ۱۰۰۰ $W/m^2$ و دمای محیط ۳۰ °C

اعلامی از طرف سازنده (°C):

تعیین‌شده توسط آزمایشگاه (°C):

□ دمای سکون استاندارد اعلامی از طرف سازنده برای درج در دفترچه راهنمای نصب، مناسب است.

□ دمای سکون استاندارد اعلامی از طرف سازنده برای درج در دفترچه راهنما مناسب نیست و باید از مقدار تعیین شده توسط آزمایشگاه استفاده شود.

**الف-۶-۵ نتایج آزمون مقاومت در برابر دمای بالا**

بهتر است بازبینی مطابق بند ۱۸ انجام شود. توصیه می‌شود ارزیابی و شرح کامل هر مشکل یا خرابی مشاهده‌شده، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، به همراه تصاویر مناسب ارائه شود.



shaghool.ir

## الف-۷ آزمون نوردهی

### الف-۷-۱ شرایط آزمون

زاویه شیب کلکتور (نسبت به افق) (درجه):

در جداول الف-۳ و الف-۴ باید جزئیات کامل شرایط اقلیمی در تمام روزها در طول آزمون شامل موارد زیر ارائه شود:

- تابش کل روزانه[1]، $H$ ($MJ/m^2$)؛

- دوره‌هایی که مقادیر شدت تابش کل $G$ و دمای هوای محیط $\vartheta_a$ بیش ازآنچه در جدول ۴ مشخص شده است، باشند؛

- دمای هوای محیط ، $\vartheta_a$ ($^oC$)؛

اگر در هنگام انجام آزمون‌های نوردهی، سیال در جریان بوده باشد در گزارش آزمون باید مشخصات نرخ جریان، دمای سیال و مدت جریان، ارائه شود.

### الف-۷-۲ شرایط اقلیمی در تمام‌روزها در طول آزمون

**جدول الف-۳ ثبت داده‌های آزمون نوردهی**

| تاریخ | H<br>$MJ/m^2$ | $\vartheta_a$<br>$^oC$ |
|---|---|---|
| | | |
| جمع کل: ..... روز که در آن H>..... $MJ/m^2$. | | |

### الف-۷-۳ دوره‌های زمانی که مقادیر شدت تابش و دمای هوای محیط بیش از مقادیر جدول ۴ است

**جدول الف-۴ - ثبت داده‌های الزامات آزمون نوردهی انجام شده**

| تاریخ | $G$<br>$W/m^2$ | $\vartheta_a$<br>$^oC$ | دوره‌های زمانی<br>min |
|---|---|---|---|
| | | | |
| جمع کل: | | | |

1- Daily global irradiation



shaghool.ir

**الف-۷-۴ نتایج آزمون**

بهتر است بازبینی مطابق بند ۱۸ انجام شود. توصیه می‌شود ارزیابی و شرح کامل هر مشکل یا خرابی مشاهده‌شده، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، به همراه تصاویر مناسب ارائه شود.

## الف-۸ آزمون شوک حرارتی خارجی

### الف-۸-۱ شرایط آزمون

#### الف-۸-۱-۱ کلیات

آزمون انجام شده:

در فضای باز ☐ در شبیه‌ساز شدت تابش خورشیدی ☐

آزمون توأم با آزمون نوردهی:

بله ☐ خیر ☐

آزمون توأم با آزمون مقاومت در برابر دمای بالا:

بله ☐ خیر ☐

زاویه شیب کلکتور (نسبت به افق) (درجه):

میانگین شدت تابش در طول آزمون ($W/m^2$):

حداقل شدت تابش در طول آزمون ($W/m^2$):

میانگین دمای هوای محیط ($^oC$):

حداقل دمای هوای محیط ($^oC$):

مدتی که پیش از شوک حرارتی خارجی، شرایط حالت پایا حفظ شده است (min):

نرخ جریان پاشش آب ( $(kg/(s·m^2)$):

دمای پاشش آب ($^oC$):

مدت پاشش آب (min):

دمای جذب‌کننده درست پیش از پاشش آب ($^oC$):

**الف-۸-۱-۲ اطلاعات تکمیلی موردنیاز در صورت آزمون کلکتورهای با لوله خلاء**

دمای کلکتور در مکان نشان داده شده در زیر اندازه‌گیری شده است:

**الف-۸-۱-۳ اطلاعات تکمیلی موردنیاز در صورت اندازه‌گیری دمای جذب‌کننده با استفاده از سیال مناسب (طبق بند ۱۲-۲)**

جذب‌کننده تا حدودی با ..... پر شد و میانگین فشار ..... پاسکال بود که متناظر با دمای جذب‌کننده است که در بند الف-۸-۱-۱ ارائه شده است.



shaghool.ir

**الف-۸-۲ نتایج آزمون**

بهتر است بازبینی مطابق بند ۱۸ انجام شود. توصیه می‌شود ارزیابی و شرح کامل هر هر مشکل یا خرابی مشاهده‌شده، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، به همراه تصاویر مناسب ارائه شود.

## الف-۹ آزمون شوک حرارتی داخلی

### الف-۹-۱ شرایط آزمون

#### الف-۹-۱-۱ کلیات

محل انجام آزمون:

در فضای باز ☐ در شبیه‌ساز پرتودهی خورشیدی ☐

آزمون توأم با آزمون نوردهی:

بله ☐ خیر ☐

آزمون توأم با آزمون مقاومت در برابر دمای بالا:

بله ☐ خیر ☐

زاویه شیب کلکتور (نسبت به افق) (درجه):

میانگین پرتودهی در طول آزمون ($W/m^2$):

حداقل شدت تابش در طول آزمون ($W/m^2$):

میانگین دمای هوای محیط (°C):

حداقل دمای هوای محیط (°C):

مدتی که پیش از شوک حرارتی خارجی، شرایط حالت پایا حفظ شده است (min):

نرخ جریان جرمی سیال انتقال گرما ($kg/(s·m^2)$):

دمای سیال انتقال گرما ($^oC$):

مدت جریان سیال انتقال گرما (min):

دمای جذب‌کننده درست پیش از جریان سیال انتقال گرما ($^oC$):

**الف-۹-۱-۲ اطلاعات تکمیلی موردنیاز در صورت آزمون کلکتورهای با لوله خلاء**

دمای کلکتور در مکان نشان داده شده در زیر اندازه‌گیری شده است:

**الف-۹-۱-۳ اطلاعات تکمیلی موردنیاز در صورت اندازه‌گیری دمای جذب‌کننده با استفاده از سیال مناسب (طبق یادآوری ۲ بند ۱۳-۲)**

جذب‌کننده با ..... تا نیمه پرشده بود و میانگین فشار ..... پاسکال بود که متناظر با دمای جذب‌کننده است که در بند الف-۹-۱ ارائه شده است.



shaghool.ir

**الف-۹-۲ نتایج آزمون**

بهتر است بازبینی مطابق بند ۱۸ انجام شود. توصیه می‌شود ارزیابی و شرح کامل هر مشکل یا خرابی مشاهده‌شده، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، به همراه تصاویر مناسب ارائه شود.

## الف-۱۰ آزمون نفوذ باران

### الف-۱۰-۱ شرایط آزمون

**الف-۱۰-۱-۱ نصب کلکتور**

نصب کلکتور بر روی:

چارچوب باز[1] □ سقف شبیه‌سازی‌شده □

زاویه شیب کلکتور (نسبت به افق) (درجه):

**الف-۱۰-۱-۲ پاشش آب**

مدت پاشش آب (h):

**الف-۱۰-۲ نتایج آزمون**

جزئیات نفوذ آب، محل‌های نفوذ آب و زمان ناپدید شدن اثر نفوذ باران، ارائه شود.

بهتر است بازبینی مطابق بند ۱۸ انجام شود. توصیه می‌شود ارزیابی و شرح کامل هر مشکل یا خرابی مشاهده‌شده، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، به همراه تصاویر مناسب ارائه شود.

1- Open frame



shaghool.ir

## الف-۱۱ آزمون مقاومت در برابر یخزدگی

### الف-۱۱-۱ نوع کلکتور

مقاوم در برابر یخزدگی در حالت پرشده با آب ☐

تخلیه برون‌ریز ☐

#### الف-۱۱-۱-۱ شرایط آزمون

#### الف-۱۱-۱-۲ زاویه شیب کلکتور در طول آزمون (نسبت به افق) (درجه):

#### الف-۱۱-۱-۳ جزئیات چرخه‌های یخزدگی - آب شدن یخ

**جدول الف-۵ ثبت آزمون یخزدگی**

| چرخه‌های یخزدگی - آب شدن یخ | شرایط انجماد | | شرایط آب شدن | |
|---|---|---|---|---|
| | دمای آزمون °C | مدت min | دمای آزمون[a] °C | مدت min |
| ۱ | | | | |
| ۲ | | | | |
| ۳ | | | | |

[a] برای کلکتورهای مقاوم در برابر یخزدگی، این دما، دمای محتویات کلکتور مثل آب و یخ است. در مورد کلکتورهایی با تخلیه برون‌ریز، این دما، دمای اندازه‌گیری شده در داخل جذب‌کننده، نزدیک به ورودی است.

#### الف-۱۱-۱-۴ نرخ سرمایش اتاقک (K/h):

#### الف-۱۱-۱-۵ نرخ گرمایش اتاقک (K/h):

### الف-۱۱-۲ نتایج آزمون

بهتر است بازبینی مطابق بند ۱۸ انجام شود. توصیه می‌شود ارزیابی و شرح کامل هر مشکل یا خرابی مشاهده‌شده، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، به همراه تصاویر مناسب ارائه شود.

## الف-۱۲ آزمون بار مکانیکی

### الف-۱۲-۱ آزمون فشار مثبت کلکتور و ضمایم آن

#### الف-۱۲-۱-۱ روش مورداستفاده برای اعمال فشار

بارگذاری با سنگریزه یا مواد مشابه

بارگذاری با آب

پیاله‌های مکشی

سایر

#### الف-۱۲-۱-۲ شرایط آزمون

بیشینه بار فشاری مثبت اعمالی در آزمون:



shaghool.ir

**الف-۱۲-۱-۳ نتایج آزمون**

در صورت مشاهده تغییر شکل، باید گزارش شود.

بهتر است بازبینی مطابق بند ۱۸ انجام شود. توصیه می‌شود ارزیابی و شرح کامل هر مشکل یا خرابی مشاهده‌شده، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، به همراه تصاویر مناسب ارائه شود.

نقص، می‌تواند تخریب پوشش و یا تغییر شکل دائمی قاب کلکتور و یا ضمایم آن باشد. فشاری که باعث خرابی پوشش کلکتور ، جعبه و یا ضمایم می‌شود به همراه جزییات خرابی و بر مبنای بند الف-۱۲ باید گزارش شود. اگر هیچ خرابی اتفاق نیفتاده است، بیشینه فشاری که کلکتور تحمل کرده است گزارش شود.

توابع کنترلی که ارزیابی شده‌اند باید به همراه نتایج آزمون، تشریح و گزارش شوند.

**الف-۱۲-۲ آزمون فشار منفی کلکتور و ضمایم آن**

**الف-۱۲-۲-۱ روش مورداستفاده برای اعمال فشار**

پیاله مکشی

اعمال فشار به قاب (جعبه) کلکتور

سایر

**الف-۱۲-۲-۲ شرایط آزمون**

بیشینه بار فشاری منفی اعمالی در حین انجام آزمون:

**الف-۱۲-۲-۳ نتایج آزمون**

در صورت مشاهده تغییر شکل، باید ثبت شود.

بهتر است بازبینی مطابق بند ۱۸ انجام شود. توصیه می‌شود ارزیابی و شرح کامل هر مشکل یا خرابی مشاهده‌شده، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، به همراه تصاویر مناسب ارائه شود.

**الف-۱۳ آزمون مقاومت در برابر ضربه با استفاده از گلوله فولادی**

**الف-۱۳-۱ شرایط آزمون**

قطر گلوله (mm):

جرم گلوله (g):

بیشترین ارتفاع سقوط (m):

انجام آزمون با استفاده از:

ضربه عمودی (سقوط گلوله) □

ضربه افقی (پاندول) □



shaghool.ir

**الف-۱۳-۲ نتایج آزمون**

جزئیات هرگونه صدمه به کلکتور و هر عیب ، شامل نواقص مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، ارائه شود.

همه نقاط ضربه باید به‌وسیله عکس‌هایی در گزارش آزمون تشریح و ثبت شوند. همچنین قطر گلوله‌های یخی و ارتفاع سقوط گلوله‌های فولادی نیز ارائه گردد. نتایج بازبینی کلکتور به همراه تعداد و محل ضربه‌ها باید گزارش شود.

گزارش آزمون باید شامل تذکرات و تشریح خرابی‌های کوچک و بزرگ نیز باشد.

منظور از خرابی‌های کوچک، خرابی‌های ظاهری (مانند گودی یا فرورفتگی) هستند که روی عملکرد، دوام و توان خروجی کلکتور تاثیر گذار نیستند.

منظور از خرابی‌های کلی یا عمده، خرابی‌های مکانیکی هستند که بر دوام کلکتور و توان خروجی آن یا بر ایمنی محصول تأثیر منفی دارند. این خرابی‌ها شامل شکستن شیشه یا صدمات دیگر پوشش و قسمت‌های دیگر کلکتور، نشتی‌ها، از بین رفتن روکش، پراکنده شدن تابش از طریق پوشش و غیره می‌باشند.

**الف-۱۴ آزمون مقاومت در برابر ضربه با استفاده از گلوله یخی**

**الف-۱۴-۱ شرایط آزمون**

قطر گلوله (mm):

جرم گلوله (gr):

سرعت گلوله (m/s):

تعداد ضربه‌ها:

**الف-۱۴-۲ نتایج آزمون**

جزئیات هرگونه صدمه به کلکتور و هر عیب، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، ارائه شود.

**الف-۱۵ نتایج بازبینی نهایی**

هر مشکل احتمالی طبق مقیاس زیر ارزیابی شود:

صفر- بدون مشکل

۱- الزامات غیر مرتبط با آزمون برآورده نشد

۲- الزامات مرتبط با آزمون برآورده نشد

*- امکان بازرسی برای اعلام شرایط نبوده است.

| | اجزاء کلکتور | مشکل احتمالی | ارزیابی |
|---|---|---|---|
| الف) | بست‌ها / جعبه کلکتور | شکاف / تاب برداشتن / خوردگی / نفوذ باران | ..... |
| ب) | پایه‌های نصب / ساختار | استحکام / ایمنی | ..... |
| پ) | درزبندها / آب‌بندها | شکستگی / چسبندگی / الاستیسیته | ..... |



shaghool.ir

ت) پوشش / منعکس‌کننده شکستگی / ترک‌خوردگی / خم‌شدگی / ورقه ورقـه شـدن / تاب برداشتن / تولید گاز .....

ث) پوشش جذب‌کننده شکستگی / ترک‌خوردگی / تاول‌زدگی .....

لوله‌های جذب‌کننده و لوله اصلی تغییر شکل / خوردگی / نشت / از دست دادن اتصال .....

پایه‌های نصب جذب‌کننده تغییر شکل / خوردگی .....

ج) عایق‌بندی حفظ آب / تبخیر / خراب شدن .....

چ) هر وضعیت غیرطبیعی که باعث کاهش عملکرد حرارتی یا طول عمر خدماتی شود. .....

## الف-۱۶ آزمون عملکرد

### الف-۱۶-۱ روش آزمون

روش آزمون مورداستفاده باید گزارش شود.

### الف-۱۶-۲ موقعیت و راستا

| در فضای باز | در فضای بسته |
|---|---|
| عرض جغرافیایی: | میانگین شدت تابش خورشیدی: |
| طول جغرافیایی: | نوع لامپ‌ها: |
| زاویه سمت کلکتور: | سایه زنی تابش موج‌بلند[1]: بله □ خیر□ |
| زاویه شیب کلکتور: | |

راستای لوله‌های جذب‌کننده در حین آزمون (افقی یا عمودی):

### الف-۱۶-۳ نتایج آزمون برای کلکتورهای گرمایشی شیشه‌ای مایع تحت شرایط حالت پایا

نتایج باید فقط تا بیشینه اختلاف دمای بین میانگین سیال و محیط به اضافه ۳۰ K برای کلکتور مورد آزمون، ارائه شود.

توان بیشینه ($G = ۱۰۰۰ W/m^2$) به ازای هر واحد کلکتور: ..... $W_{peak}$

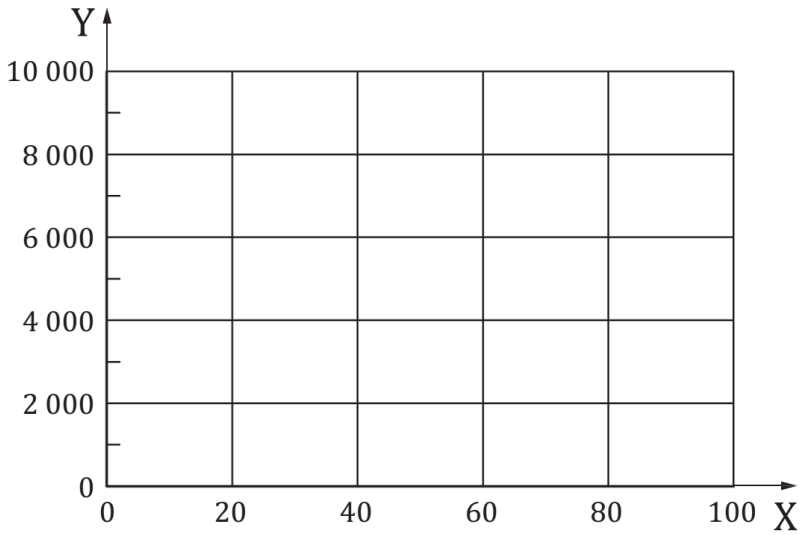
1- Shading of long wave radiation



shaghool.ir

**جدول الف-۶ ثبت توان خروجی کلکتور**

| شدت تابش | | | |
|---|---|---|---|
| $\vartheta_m - \vartheta_a$ K | ۴۰۰ W/m$^2$ ($G_b$=۲۰۰ W/m$^2$, $G_d$=۲۰۰ W/m$^2$) | ۷۰۰ W/m$^2$ ($G_b$=۴۴۰ W/m$^2$, $G_d$=۲۶۰ W/m$^2$) | ۱۰۰۰ W/m$^2$ ($G_b$=۸۵۰ W/m$^2$, $G_d$=۱۵۰ W/m$^2$) |
| صفر | | | |
| ۱۰ | | | |
| ... | | | |
| بیشینه اختلاف دمای مورد آزمون + ۳۰ K | | | |
| **یادآوری**- مقادیر گزارش‌شده برای تابش عمودی هستند. | | | |




**راهنما:**

X $(K)\ \vartheta_m - \vartheta_a$

Y توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (W)

**شکل الف-۲ توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (برای G =۱۰۰۰W/m$^2$)**

منحنی بازده لحظه‌ای بر اساس سطح ناخالص و میانگین دمای سیال انتقال گرما.

سطح ناخالص مورد استفاده در منحنی (m$^2$):

بازده لحظه‌ای به‌صورت معادله الف-۱ تعریف شده است:

$$\eta_{hem} = \frac{\dot{Q}}{A_G \cdot G} \qquad \text{(الف-۱)}$$

نرخ جریان سیال مورداستفاده برای آزمون‌ها (kg/s):

برازش درجه دوم داده‌ها:

$$\eta_{hem} = \eta_{0,hem} - a_1\left(\frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G}\right) - a_2 \cdot G\left(\frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G}\right)^2 \qquad \text{(الف-۲)}$$



shaghool.ir

**جدول الف-۷ ضرایب عملکرد کلکتور**

| بر اساس سطح ناخالص | | انحراف استاندارد |
|---|---|---|
| $\eta_{0,hem}$ | | |
| $\eta_{0,b}$ (تخمینی) | | |
| $a_1$ | | |
| $a_2$ | | |

**ثابت زمانی**

$\tau_c$= $s$

**ظرفیت حرارتی مؤثر**

C = J/K

تعیین‌شده:

محاسبه‌شده:

در فضای بسته:

در فضای باز:

**ضریب تصحیح زاویه تابش**:

زاویه:

$K_{hem}(\theta_L, \theta_T)$:

$K_d$ (تخمینی[۱]):

**نواقص مشاهده‌شده**

جزئیات هرگونه صدمه به کلکتور و هر عیب، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، ارائه شود.

تحویل نمونه:

شروع آزمون:

پایان آزمون:

مرکز آزمون: ..... تاریخ: .....

**الف-۱۶-۴ نتایج آزمون برای کلکتورهای گرمایشی بدون شیشه مایع تحت شرایط حالت پایا**

توان بیشینه ($G''$=۱۰۰۰W/m$^2$ ) به ازای هر واحد کلکتور: .....$W_{peak}$

۱- با استفاده از تبدیل حالت پایا به QDT مطابق بند ب-۲.

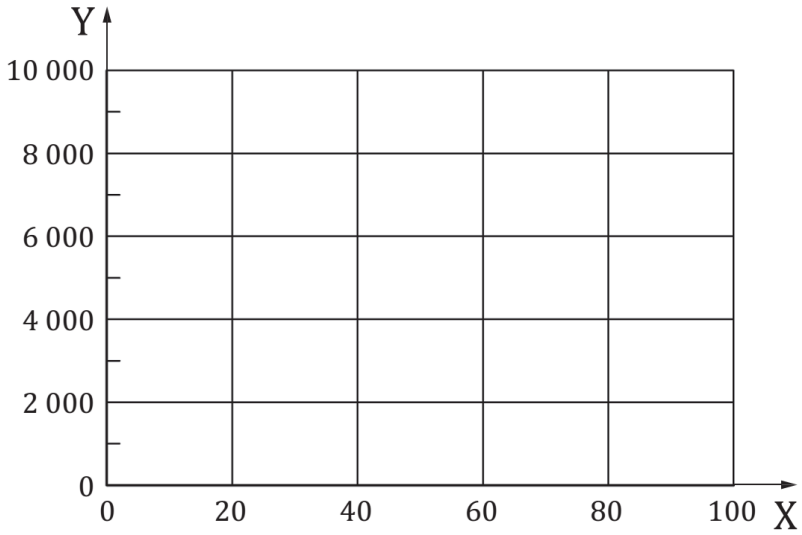


shaghool.ir

**جدول الف-۸ ثبت توان خروجی کلکتور**

| | شدت تابش خالص ($G''$) | | |
|---|---|---|---|
| $\vartheta_m - \vartheta_a = 2K$ | ۴۰۰ W/ m$^2$ ($G_b$=۲۰۰ W/ m$^2$, $G_d$=۲۰۰ W/ m$^2$) | ۷۰۰ W/m$^2$ ($G_b$=۴۴۰ W/m2, $G_d$=۲۶۰ W/m2) | ۱۰۰۰ W/m$^2$ ($G_b$=۸۵۰ W/ m$^2$, $G_d$=۱۵۰ W/ m$^2$) |
| u < ۱ m/s | | | |
| u = (۱٫۵ ±۰٫۵ ) m/s | | | |
| u = (۳ ±۰٫۵ ) m/s | | | |

توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور باید به‌صورت ترسیمی مطابق شکل الف-۳ برای شرایط وزش باد مختلف ارائه گردد: u< ۱ m/s ، u= (۱٫۵±۰٫۵) m/s و u= (۳±۰٫۵) m/s




**راهنما:**

X $\vartheta_m - \vartheta_a$ (K)

Y خروجی توان به ازای هر واحد کلکتور (W)

**شکل الف-۳ توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (برای G =۱۰۰۰W/m$^2$)**

منحنی بازده لحظه‌ای بر اساس سطح ناخالص و میانگین دمای سیال انتقال گرما.

بازده لحظه‌ای به‌صورت معادله الف-۳ تعریف شده است:

$$\eta_{hem} = \frac{\dot{Q}}{A_G \cdot G''} \qquad \text{(الف-۳)}$$

سطح ناخالص کلکتور مورداستفاده در منحنی (m$^2$):

نرخ جریان سیال مورداستفاده برای آزمون‌ها (kg/s):

$$\eta_{hem} = \eta_{0,hem}(1 - b_u u) - (b_1 + b_2 u)\frac{(\vartheta_m - \vartheta_a)}{G''} \qquad \text{(الف-۴)}$$



shaghool.ir

**جدول الف-۹ ضرایب عملکرد کلکتور**

| بر اساس سطح ناخالص | | انحراف استاندارد |
|---|---|---|
| $\eta_{0,hem}$ | | |
| $\eta_{0,b}$ (تخمینی) | | |
| $b_u$ | | |
| $b_1$ | | |
| $b_2$ | | |

**ثابت زمانی**

$\tau_c = s$

**ظرفیت حرارتی مؤثر**

C = J/K

تعیین‌شده:

محاسبه‌شده:

در فضای بسته:

در فضای باز:

**ضریب تصحیح زاویه تابش:**

زاویه:

$K_{hem}(\theta_L, \theta_T)$:

$K_d$ (تخمینی[۱]):

**نواقص مشاهده‌شده**

جزئیات هرگونه صدمه به کلکتور و هر عیب ، شامل نواقص مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، ارائه شود

تحویل نمونه:

شروع آزمون:

پایان آزمون:

مرکز آزمون: ..... تاریخ: .....

**الف-۱۶-۵ نتایج آزمون برای کلکتورهای گرمایشی هوا تحت شرایط حالت پایا**

ارائه نتایج فقط باید تا بیشینه اختلاف دمای بین میانگین سیال و محیط به اضافه ۳۰ K برای کلکتور مورد آزمون، داده شود.

۱- با استفاده از تبدیل حالت پایا به QDT مطابق بند ب-۲.

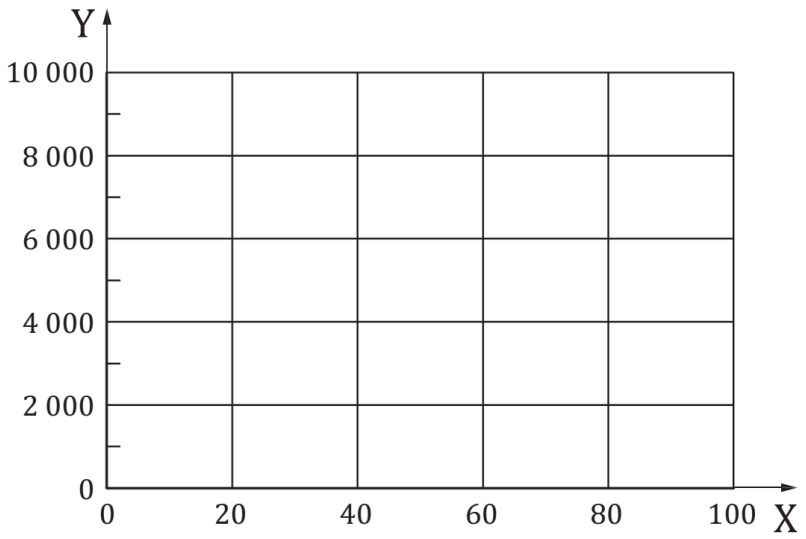


shaghool.ir

توان بیشینه، ($G$ =۱۰۰۰W/m$^2$) $\dot{Q}_{peak}$ به ازای هر واحد کلکتور: ..... $W_{peak}$

**جدول الف-۱۰ ثبت توان خروجی کلکتور**

| شدت تابش | | | |
|---|---|---|---|
| $\vartheta_m - \vartheta_a$ K | ۴۰۰ W/m$^2$ ($G_b$=۲۰۰ W/m$^2$, $G_d$=۲۰۰ W/m$^2$) | ۷۰۰ W/m$^2$ ($G_b$=۴۴۰ W/m$^2$, $G_d$=۲۶۰ W/m$^2$) | ۱۰۰۰ W/m$^2$ ($G_b$=۸۵۰ W/m$^2$, $G_d$=۱۵۰ W/m$^2$) |
| صفر | | | |
| ۱۰ | | | |
| ... | | | |
| بیشینه اختلاف دمای مورد آزمون + ۳۰ K | | | |
| **یادآوری**- مقادیر گزارش‌شده برای تابش عمودی هستند. | | | |




**راهنما:**

X $(K)$ $\vartheta_m - \vartheta_a$

Y توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (W)

**شکل الف-۴ توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (برای $G$ =۱۰۰۰W/m$^2$)**

منحنی بازده لحظه‌ای بر اساس سطح ناخالص و میانگین دمای سیال انتقال گرما.

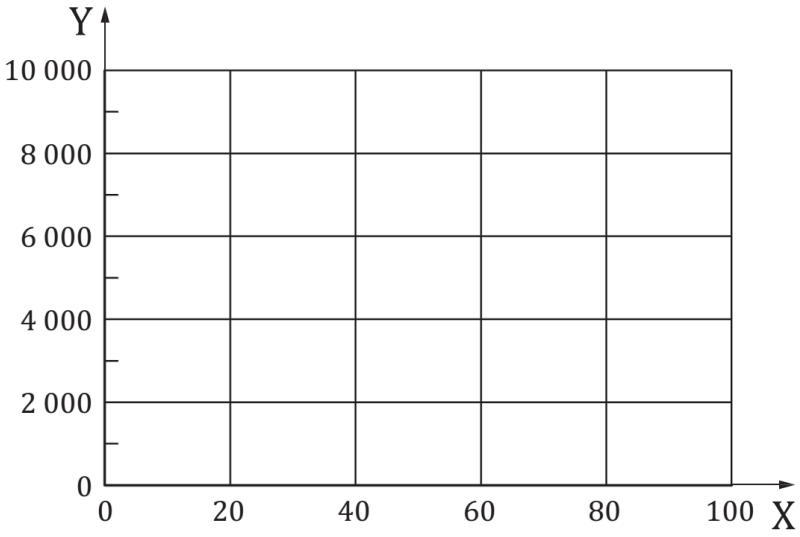
**سطح ناخالص مرجع $A_G$ به** m$^2$:

بازده لحظه‌ای به‌صورت معادله الف-۵ تعریف شده است:

$$\eta_{hem} = \frac{\dot{Q}}{A_G \cdot G} \qquad \text{(الف-۵)}$$



shaghool.ir




**راهنما:**

X $(K)\ \vartheta_m - \vartheta_a$

Y توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (W)

**شکل الف-۵ توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (برای $G = ۱۰۰۰ W/m^2$)**

در گزارش آزمون باید برای هر نرخ جریان جرمی، یک منحنی گزارش شود.

**یادآوری**- عملکرد کلکتورهای باز به محیط را می‌توان تنها با نقاط داده تکی (یک دمای کاری) در نمودار نشان داد.

نرخ جریان سیال مورداستفاده برای آزمون‌ها:

$\dot{m}_1 (kg/h)$ :

$\dot{m}_2 (kg/h)$ :

$\dot{m}_3 (kg/h)$ :

برازش درجه دوم داده‌ها:

$$\eta_{hem} = \eta_{0,hem} - a_1 \left(\frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G}\right) - a_2 \cdot G \left(\frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G}\right)^2 \qquad \text{(الف-۶)}$$

بهتر است برای کلکتورهای مداربسته، نقطه بازده اندازه‌گیری شده مطابق جدول الف-۱۱ ارائه شود.



shaghool.ir

**جدول الف-۱۱ ضرایب عملکرد کلکتور برای کلکتورهای مداربسته**

| پارامتر | بر اساس سطح ناخالص | انحراف استاندارد |
|---|---|---|
| $\eta_{0,hem}$ | | |
| $a_1$ | | |
| $a_2$ | | |
| $\dot{m}_1$ | | |
| $\eta_{0,hem}$ | | |
| $a_1$ | | |
| $a_2$ | | |
| $\dot{m}_2$ | | |
| $\eta_{0,hem}$ | | |
| $a_1$ | | |
| $a_2$ | | |
| $\dot{m}_3$ | | |

**ثابت زمانی**

$\tau_c =$ $s$ $at$ $\dot{m} =$ $kg/h$

**ضریب تصحیح زاویه تابش:**

زاویه:

$K_{hem}(\theta_L, \theta_T)$:

**نواقص مشاهده‌شده**

جزئیات هرگونه صدمه به کلکتور و هر عیب، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، ارائه شود.

تحویل نمونه:

شروع آزمون:

پایان آزمون:

مرکز آزمون: ..... تاریخ: .....

**الف-۱۶-۶ نتایج آزمون برای کلکتورهای گرمایشی (شیشه‌ای/بدون شیشه) هواباز به محیط**

بهتر است برای کلکتورهای باز به محیط، نقاط بازده لحظه‌ای اندازه‌گیری شده، در جدولی مشابه جدول الف-۱۲ ارائه شود.



shaghool.ir

**جدول الف-۱۲ ضرایب عملکرد کلکتور برای کلکتورهای باز به محیط**

| پارامتر | بر اساس سطح ناخالص | انحراف استاندارد |
|---|---|---|
| $\eta_{hem}$ | | |
| $\Delta T / G$ | | |
| $\dot{m}_1$ | | |
| $\eta_{hem}$ | | |
| $\Delta T / G$ | | |
| $\dot{m}_2$ | | |
| $\eta_{hem}$ | | |
| $\Delta T / G$ | | |
| $\dot{m}_3$ | | |

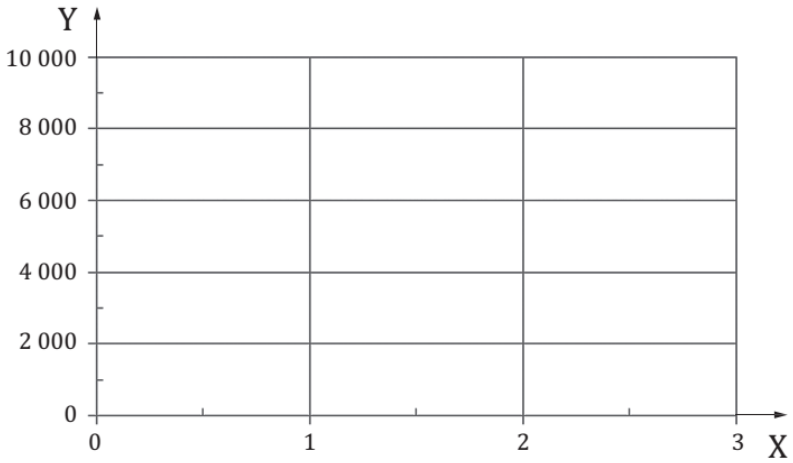
برای کلکتورهای بدون شیشه شدت تابش مرجع باید $G''$ باشد.

**جدول الف-۱۳- توان خروجی به ازای واحد کلکتور (W)**

| شدت تابش | | | | |
|---|---|---|---|---|
| سرعت باد (m/s) | نرخ جریان (kg/h) | ۴۰۰ W/m$^2$ | ۷۰۰ W/m$^2$ | ۱۰۰۰ W/m$^2$ |
| صفر (یا حداقل سرعت مورد آزمون) | کمترین $\dot{m}$ | | | |
| | متوسط $\dot{m}$ | | | |
| | بیشینه $\dot{m}$ | | | |
| ۱٫۵ | کمترین $\dot{m}$ | | | |
| | متوسط $\dot{m}$ | | | |
| | بیشینه $\dot{m}$ | | | |
| ۳ | کمترین $\dot{m}$ | | | |
| | متوسط $\dot{m}$ | | | |
| | بیشینه $\dot{m}$ | | | |
| **یادآوری**- مقادیر گزارش‌شده در تابش عمودی به دست آمده‌اند. | | | | |



shaghool.ir




**راهنما:**

X سرعت هوا (m/s)

Y توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور در ۱۰۰۰ (W)

**شکل الف-۶ توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (برای $G = ۱۰۰۰ W/m^2$)**

وابستگی به باد:

برازش درجه اول داده‌ها: $\eta_m = \eta_{max,\ 0\ m/s} - b_u * u$

**جدول الف-۱۴ ضرایب وابستگی به باد**

| | | |
|---|---|---|
| $= m_1$ | $\eta_{max,\ 0\ m/s} =$ | $b_u =$ |
| $= m_2$ | $\eta_{max,\ 0\ m/s} =$ | $b_u =$ |
| $= m_3$ | $\eta_{max,\ 0\ m/s} =$ | $b_u =$ |

**جدول الف-۱۵ داده‌های مربوط به آزمون بازده**

| $\eta$ | u | $T_m^*$ | $\vartheta_e$ | $\vartheta_a$ | $m_{pe}$ | $G$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | m/s | $K\ m^2/W$ | °C | °C | kg/h | $W/m^2$ |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

بهتر است برای کلکتورهای بدون شیشه شدت تابش مرجع $G''$ استفاده شود.

بیشینه دمای شروع در کمترین $W/m^2$ ۱۰۰۰ و دمای محیط °C ۲۰ تا °C ۳۰:

$T_{max,\ start}$ : $°C$ $at$ $\dot{m} =$ $kg/h$



shaghool.ir

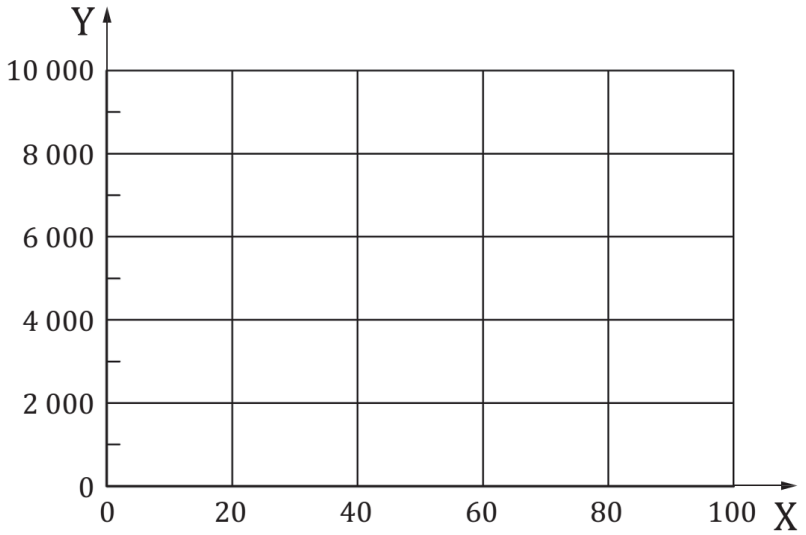
## الف-۱۶-۷ نتایج آزمون برای کلکتورهای گرمایشی شیشه‌ای/بدون شیشه مایع تحت شرایط شبه دینامیکی

ارائه نتایج فقط تا بیشینه اختلاف دمای بین میانگین سیال و محیط به اضافه ۳۰ K برای کلکتور مورد آزمون، باید داده شود.

توان بیشینه، ($G = ۱۰۰۰ W/m^2$) $\dot{Q}_{peak}$ به ازای هر واحد کلکتور: ..... $W_{peak}$

**جدول الف-۱۶ ثبت توان خروجی کلکتور**

| شدت تابش | | | |
|---|---|---|---|
| $\vartheta_m - \vartheta_a$ K | ۴۰۰ W/m² ($G_b$=۲۰۰ W/m², $G_d$=۲۰۰ W/m²) | ۷۰۰ W/m² ($G_b$=۴۴۰ W/m², $G_d$=۲۶۰ W/m²) | ۱۰۰۰ W/m² ($G_b$=۸۵۰ W/m², $G_d$=۱۵۰ W/m²) |
| صفر | | | |
| ۱۰ | | | |
| ... | | | |
| بیشینه اختلاف دمای مورد آزمون + ۳۰ K | | | |
| **یادآوری**- مقادیر گزارش‌شده برای تابش عمودی هستند. | | | |




**راهنما:**

X $(K)\ \vartheta_m - \vartheta_a$

Y توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (W)

**شکل الف-۷ توان خروجی به ازای هر واحد کلکتور (برای $G = ۱۰۰۰ W/m^2$)**

منحنی عملکرد حرارتی بر اساس سطح ناخالص و میانگین دمای سیال انتقال گرما:

سطح ناخالص مورد استفاده در منحنی ($m^2$):

نرخ جریان سیال مورداستفاده برای آزمون‌ها (kg/s):



shaghool.ir

برازش چندگانه خطی داده‌ها:

$$\frac{\dot{Q}}{A}=\eta_{0,b}\cdot K_b(\theta_L,\theta_T)\cdot G_b+\eta_{0,b}\cdot K_{\theta d}\cdot G_d-c_6\cdot u\cdot G-c_1\cdot(\vartheta_m-\vartheta_a)-c_2\cdot(\vartheta_m-\vartheta_a)^2$$
$$-c_3\cdot u\cdot(\vartheta_m-\vartheta_a)+c_4\cdot\left(E_L-\sigma\cdot T_a^4\right)-c_5\cdot\frac{d\vartheta_m}{dt}$$

**جدول الف-۱۷ ضرایب معادله عملکرد حرارتی**

| سطح ناخالص: | | |
|---|---|---|
| | **مقدار** | **انحراف استاندارد** |
| $\eta_{0,b}$ | | |
| $K_d$ | | |
| $b_0$ | | |
| $c_1$ | | |
| $c_2$ | | |
| $c_3$ | | |
| $c_4$ | | |
| $c_5$ | | |
| $c_6$ | | |

**جدول الف-۱۸ ضرایب تصحیح زاویه تابش**

| θ | ۱۰ | ۲۰ | ۳۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۶۰ | ۷۰ | ۸۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_b(\theta_L,0)$ | | | | | | | | |
| $K_b(0,\theta_T)$ | | | | | | | | |

**نواقص مشاهده‌شده**

جزئیات هرگونه صدمه به کلکتور و هر عیب، شامل نواقص و خرابی‌های مبنی بر «نقص کلی» که در بند ۱۸ تعریف شده است، ارائه شود.

تحویل نمونه:

شروع آزمون:

پایان آزمون:

مرکز آزمون: ..... تاریخ: .....

**الف-۱۶-۸ اندازه‌گیری‌های افت فشار**

افت فشار اندازه‌گیری شده باید در حداقل ۵ نرخ جریان جرمی مطابق جدول الف-۱۹ برای کلکتورهای گرمایشی مایع (kg/s) و برای کلکتورهای گرمایشی هوا (kg/h)، گزارش شود.



shaghool.ir

**جدول الف-۱۹ ثبت افت فشار کلکتور**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **نرخ جریان** (kg/s) **یا** (kg/h) | | | |
| $\Delta P$ (Pa) | | | |



shaghool.ir

# پیوست ب

## (آگاهی‌دهنده)

## مدل‌های ریاضی برای کلکتورهای گرمایشی مایع

### ب-۱ مدل‌های حالت پایا و شبه دینامیکی

در بند ۲۵، مدل‌های ریاضی مختلفی با توجه به نوع کلکتور (کلکتور شیشه‌ای و بدون شیشه) و روش آزمون مورداستفاده (روش آزمون حالت پایا یا شبه دینامیکی)، برای توضیح عملکرد حرارتی کلکتورهای گرمایشی مایع، استفاده شده است. این پیوستِ اطلاعاتی، رابطه بین مدل‌های مختلف را مشخص می‌کند.

معادله ۲۷ معادله جامعی است که در روش آزمون شبه دینامیکی استفاده می‌شود:

$$\frac{\dot{Q}}{A}=\eta_{0,b}\cdot K_b(\theta_L,\theta_T)\cdot G_b+\eta_{0,b}\cdot K_{\theta d}\cdot G_d-c_6\cdot u\cdot G-c_1\cdot(\vartheta_m-\vartheta_a)-c_2\cdot(\vartheta_m-\vartheta_a)^2 \\ -c_3\cdot u\cdot(\vartheta_m-\vartheta_a)+c_4\cdot\left(E_L-\sigma\cdot T_a^4\right)-c_5\cdot\frac{d\vartheta_m}{dt} \qquad (ب-۱)$$

که در آن:

$c_1$: ضریب اتلاف گرما در $(\vartheta_m-\vartheta_a)=0$، برحسب $W/(m^2\cdot K)$

$c_2$: دمای وابسته به ضریب اتلاف گرما، برحسب $W/(m^2\cdot K^2)$

$c_3$: سرعت باد وابسته به ضریب اتلاف گرما، برحسب $J/(m^3\cdot K)$

c4 : شدت تابش موج‌بلند وابسته به ضریب اتلاف گرما، بدون بعد.

$c_5$: ظرفیت حرارتی مؤثر، برحسب $J/(m^2\cdot K)$.

$c_6$: سرعت باد وابسته به بازده اتلاف صفر، برحسب $s/m$.

$K_b(\theta_L,\theta_T)$: ضریب تصحیح زاویه تابش (IAM) برای تابش اشعه‌ای. این مقدار بی‌بعد است و به زاویه تابش توصیف‌شده در ASHARE 93-77، بستگی دارد.

$$K_b(\theta_L,\theta_T)=1-b_0((1/\cos\theta)-1) \qquad (ب-۲)$$

برای کلکتورهایی با وابستگی ضریب تصحیح زاویه تابش خاص IAM، به بند ۲۷-۱-۲ مراجعه کنید.

$K_d$: ضریب تصحیح زاویه تابش برای تابش پراکنده، بدون بعد.

مدل کلکتور مورداستفاده در روش حالت پایا برای کلکتورهای شیشه‌ای (معادله ۲۰) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$\dot{Q}/A_G=\eta_{0,\mathrm{hem}}\cdot G-a_1(\vartheta_\mathrm{m}-\vartheta_\mathrm{a})-a_2(\vartheta_\mathrm{m}-\vartheta_\mathrm{a})^2 \qquad (ب-۳)$$

این مدل به‌طور گسترده‌ای هم در آزمون (استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۱۲۹ و ASHARE 93-77) و هم در شبیه‌سازی استفاده شده است.



shaghool.ir

برای شدت تابش، نماد $G$ استفاده شده است، هرچند برای اشاره به این نکته که تنها سطوح تابش بالا در توالی آزمون پذیرفته شده است، از نماد $G_b$ استفاده می‌شود که این کار منجر به پراکندگی کمی[1] می‌شود. هیچ تصحیحی برای شرایط غیرثابت در نظر گرفته نشده است، بنابراین شرایط تابش و ورودی ثابت برای هر نقطه آزمون، موردنیاز است.

علاوه بر این، فرض بر این است که زاویه تابش خورشیدی خیلی نزدیک به زاویه عمودی است؛ بنابراین اثرات زاویه تابش را می‌توان نادیده گرفت. در انتها، شرایط آزمون بر این است که سرعت باد باید در محدوده ۲ m/s تا ۴ m/s باشد که در این صورت می‌توان از اثرات سرعت باد صرفنظر کرد.

برای کلکتورهای بدون شیشه مورد آزمون تحت شرایط پایا، مدل معادله ۱ برای در نظر گرفتن سرعت باد و وابستگی‌های شدت تابش موج‌بلند، به‌صورت معادله ۲۴ تعمیم داده شده است:

$$\dot{Q} = A_G \cdot G'' \cdot \left( \eta_{0,hem} (1 - b_u u) - (b_1 + b_2 u) \frac{\vartheta_m - \vartheta_a}{G''} \right) \qquad (ب-۴)$$

که در آن:

$$G'' = G + \frac{\varepsilon}{\alpha} \left( E_L - \sigma T_a^4 \right) \qquad (ب-۵)$$

مدل‌سازی وابستگی شدت تابش موج‌بلند کلکتور با روشی مشابه در بند ۲۵-۱-۳ برای آزمون کلکتورهای بدون شیشه، ارائه گردیده است. وابستگی شدت تابش موج‌بلند خالص به‌صورت $(E_L - \sigma \cdot T_a^4)$ تعریف شده است که در آن $E_L$ شدت تابش حرارتی موج‌بلند اندازه‌گیری شده در صفحه کلکتور است. هرچند از نظر ریاضی اختلاف کلی بین معادله حالت پایا در معادله بند ۲۵-۱-۳ و معادله شبه دینامیک، که $G''$ را در نظر نمی‌گیرد و از ضریب $\varepsilon / \alpha$ استفاده می‌کند، وجود دارد. از نظر فیزیکی، تصحیحات تابش موج‌بلند یکسان هستند. در این استاندارد، ضریب تصحیح برای تابش موج‌بلند مانند اتلاف گرمای جداگانه در نظر گرفته می‌شود و در ترم تابش مؤثر $G''$ وارد نمی‌شود که دلیل اصلی آن، این است که معادله کلکتور با انجام این کار ساده می‌شود و در ضمن اثرات زاویه تابش و اثرات تابش پراکنده را در نظر می‌گیرد. در این مورد، بهتر است، $\alpha$ تصحیح شود.

در ادامه توضیحی درباره نحوه تعمیم معادله پایه ۲۱ برای به دست آوردن مدل کلی معادله ۲۷ ارائه خواهد شد.

بندهای ۲۶ و ۲۷ روش‌های آزمون اختیاری برای تعیین وابستگی زاویه تابش بازده اتلاف صفر و ظرفیت حرارتی مؤثر کلکتور را شرح می‌دهند؛ بنابراین، معادله کلی لحظه‌ای کلکتور به‌صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\dot{Q} / A_G = \eta_{0,b} K_b(\theta_L, \theta_T) G - c_1(\vartheta_m - \vartheta_a) - c_1(\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - c_5 \cdot d\vartheta_m / dt \qquad (ب-۶)$$

1- Low diffuse fraction



shaghool.ir

در مرحله نخست، اولین ترم معادله ۳۰ برای جداسازی اثرات شدت تابش پراکنده و مستقیم، به دو بخش تقسیم می‌شود. ترم $\eta_{0,b} \cdot K_b(\theta_L, \theta_T) \cdot G$ به‌صورت $\eta_{0,b} \cdot K_b(\theta_L, \theta_T) \cdot G_b + \eta_{0,b} \cdot K_d \cdot G_d$ بیان می‌شود درحالی‌که ترم‌های دیگر بدون تغییر باقی می‌مانند. برای امکان آزمون گستره وسیع‌تری از کلکتورهای خورشیدی، شامل کلکتورهای بدون شیشه و همچنین برای رسیدن به توصیف کلی‌تر کلکتور، تصحیح دیگری در مدل کلکتور به کار می‌رود. وابستگی سرعت باد با اضافه کردن دو ترم دیگر به معادله پایه، مدل‌سازی می‌شود. یک ترم اثر بازده اتلاف صفر $(-c_6 \cdot u \cdot G)$ و ترم دیگر اثر اتلافات گرمایی $(-c_3 \cdot u \cdot (\vartheta_m - \vartheta_a))$. را بیان می‌کند. درنهایت، وابستگی شدت تابش موج‌بلند اتلافات گرمایی شامل [ترم جدید $c_4 (E_L - \sigma \cdot T_a^4)$] بوده که منجر به معادله ۲۷ می‌شود.

جزئیات محاسبه مجموعه‌ای از پارامترهای کلکتور در حالت پایا برای ارائه منحنی توان که از پارامترهای کلکتور شبه دینامیکی شروع می‌شود، در بند ۲۶-۱-۴-۴ داده شده است.

## ب-۲ تبدیل پارامتر حالت پایا

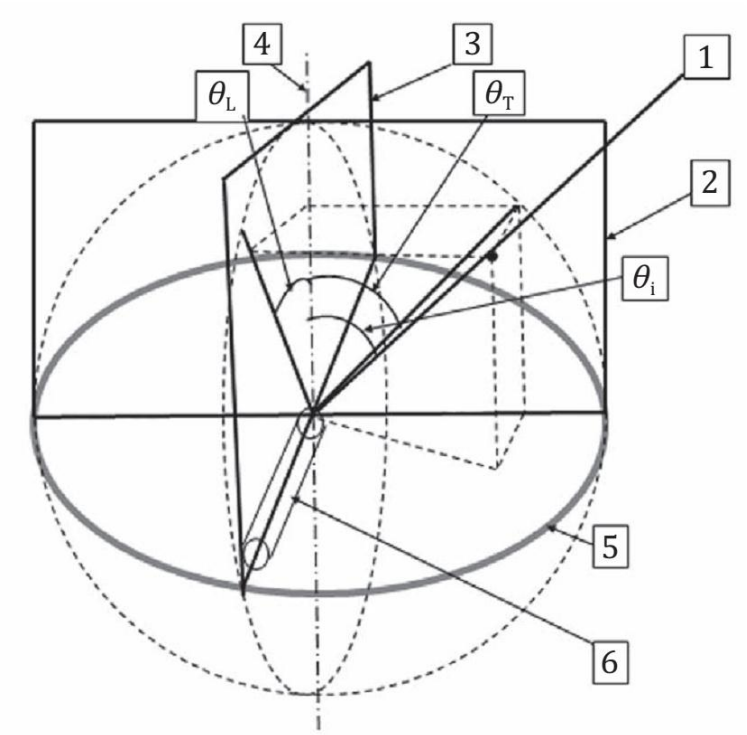
برای بعضی از انواع کلکتور لازم است، جداسازی شدت تابش پراکنده و مستقیم در مدل کلکتور برای پیش‌بینی دقیق عملکرد انجام شود. چون آزمون حالت پایا این ویژگی را برآورده نمی‌کند، روشی برای تخمین $\eta_{0,b}$ و $K_d$ بر اساس داده‌های حالت پایا تعمیم داده شده است. این روش، روشی تقریبی برای استفاده از داده‌های اولیه آزمون‌های SS به‌منظور امکان استفاده در مدل QDT بر اساس محاسبات kWh سالانه، است. مقایسه‌ها / ارزیابی‌های مقادیر $K_d$ به‌دست‌آمده از این روش در مقایسه با مقادیر $K_d$ به‌دست‌آمده از روش آزمون QDT تحت شرایط آب‌وهوایی روزانه نشان می‌دهد که این روش تقریبی، برای به دست آوردن $K_d$ احتمالا باعث تخمین کمتر $K_d$ خواهد شد.

قاعده کلی این است که از $K_b(\theta_L)$ و $K_b(\theta_T)$ برای تابش اشعه‌ای بر کلکتور برای انتگرال‌گیری و میانگین‌گیری تابش خورشیدی پراکنده قابل‌قبول بر روی یک‌چهارم کره بالای کلکتور، استفاده شود. به شکل ب-۱ مراجعه شود. یک‌چهارم کره از طریق ۱) صفحه کلکتور، ۲) صفحه عرضی و ۳) صفحه طولی نسبت به کلکتور، محدود شده است. فرض می‌شود که $K_d(\theta_L, \theta_T) = K_b(\theta_L, \theta_T)$ در تمام جهت‌ها است که اگر به «مخروط‌های[1]» کوچک تابش پراکنده از جهت مشخصی به آسمان نگاه شود، فرض معقولی است. جمع کلی، با توجه به هر دو اندازه سطح اصلی در این جهتِ $(\theta, \gamma)$ ضربدر مقدار $K_d(\theta_L, \theta_T)$ در همین جهت (اگر از صفحه کلکتور دیده شود)، برابر است با جمع وزنی در یک‌چهارم کره. $K_b(\theta_L, \theta_T)$ با روش کلاسیک $K_b(\theta_L, \theta_T) = K_b(\theta_L) * K_b(\theta_T)$ محاسبه می‌شود. درنهایت، برای یافتن میانگین $K_d$ در تمام یک‌چهارم کره، جمع وزنی در تمام یک‌چهارم کره بر جمع وزنی مشابه در تمام یک‌چهارم کره، ولی با فرض $K_d(\theta_L, \theta_T) = 1.00$، تقسیم می‌شود. دقیقا یک نوع نرمال‌سازی با معادلات مشابه، انجام شده است.

1- Cones



shaghool.ir




**راهنما:**

| | |
|---|---|
| 1 | موقعیت خورشید |
| 2 | صفحه عرضی |
| 3 | صفحه طولی |
| 4 | محور عمود بر صفحه کلکتور |
| 5 | صفحه کلکتور |
| 6 | لوله خلاء نمونه |

**شکل ب-۱- زوایا و صفحات تقارن مورداستفاده برای تبدیل**

زاویه تابش بر کلکتور که بر صفحه طولی تصویر شده است، $\theta_L$، (صفحه شمال-جنوب) از معادله ب-۷ به دست می‌آید.

$$\theta_L(\theta,\gamma)=\tan^{-1}\left(\frac{\sin(\theta)\cdot\cos(\gamma)}{\cos(\theta)}\right) \qquad \text{(ب-۷)}$$

در این معادله

$\theta$ زاویه تابش بر کلکتور در جهت عمود بر کلکتور و

$\gamma$ زاویه سمت خورشیدی نسبت به صفحه شمال جنوب است.

با استفاده از تشابه، برای $\theta_T$ (تصویر بر صفحه شرق-غرب) یک‌چهارم کره:

$$\theta_T(\theta,\gamma)=\tan^{-1}\left(\frac{\sin(\theta)\cdot\cos(\gamma)}{\cos(\theta)}\right) \qquad \text{(ب-۸)}$$



shaghool.ir

با درون‌یابی داده‌های IAM با استفاده از $\theta_L$ و $\theta_T$، مقدار موردنظر$\gamma$ و معادله ب-۹، $K_{bNS}$ و $K_{bEW}$ به دست می‌آید،

$$K_{bNS}(\theta,\gamma) = K_{bNS}(\theta_L(\theta,\gamma))\cdot\left(\frac{(\theta_L(\theta,\gamma)+10/10)\cdot 10-\theta_L(\theta,\gamma)}{10}\right) \\ K_{bNS}(\theta_L(\theta,\gamma)+10)\cdot\left(\frac{(\theta_L(\theta,\gamma)-(\theta_L(\theta,\gamma)/10)\cdot 10}{10}\right) \qquad (ب-۹)$$

که $\frac{\theta_L(\theta,\gamma)+10}{10}$ و $\frac{\theta_L(\theta,\gamma)}{10}$ به سمت پایین و نزدیک‌ترین عدد صحیح گرد می‌شود.

از روشی مشابه برای تعیین $K_{bEW}$ ولی با جایگذاری $\theta_T$ و مقادیر ورودی برای محاسبه $K_{bEW}$ استفاده خواهد شد.

عمل جمع، با توجه به هر دو اندازه سطح اصلی[1] در این جهت $(\theta,\gamma)$ و همچنین با ضرب در مقدار $K_b(\theta_L,\theta_T)$ در جهت مشابه، با دید از صفحه کلکتور، جمع وزنی روی یک‌چهارم کره است. مطابق با روش استاندارد برای IAM دومحوره، ضریب تصحیح کلی زاویه تابش حاصل‌ضرب دو ضریب تصحیح است،

$$K_b(\theta_L,\theta_T) = K_b(\theta_L)\cdot K_b(\theta_T) \qquad (ب-۱۰)$$

در پایان، برای تعیین میانگین $K_d$ بر روی تمام ربع کره، جمع وزنی ربع کره بر جمع وزنی مشابه بر روی ربع کره ولی با فرض مشابه بالا است.

$$K_d = \frac{K_d(\theta_L,\theta_T)\cdot\sin(\theta)\cdot\cos(\theta)}{\sum_{\theta=0}^{90}(\sin\theta\cdot\cos\theta)} \qquad (ب-۱۱)$$

1- Elemental area size



shaghool.ir

# پیوست پ

# (الزامی)

# خواص آب

## ج-۱ چگالی آب برحسب $kg/m^3$ (در فشار ۱ bar)

(ج-۱)

$$\rho(\vartheta) = a_0 + a_1 \cdot \vartheta + a_2 \cdot \vartheta^2 + a_3 \cdot \vartheta^3 + a_4 \cdot \vartheta^4$$

$$(0 \le \vartheta \le 99{,}5\ °C)$$

با مقادیر:

$a_0 = 999{,}85\ [kg/m^3]$

$a_1 = 6{,}187\ 10^{-2}\ [kg/m^3 \cdot K]$

$a_2 = -7{,}654\ 10^{-3}\ [kg/m^3 \cdot K^2]$

$a_3 = 3{,}974\ 10^{-5}\ [kg/m^3 \cdot K^3]$

$a_4 = -1{,}110\ 10^{-7}\ [kg/m^3 \cdot K^4]$

انحراف چندجمله‌ای نسبت به مقادیر ارائه شده در جداول، همیشه کمتر از ٪ ۰٫۰۲ است. مقدار $R^2$ برابر ۰٫۹۹۹۹۸ است.

## ج-۲ چگالی آب برحسب $kg/m^3$ (در فشار ۱ bar تا ۱۲ bar)

معادله داده شده در بند ج-۱ برای گستره دمایی $0 \le \vartheta \le 99.5°C$ معتبر است و برون‌یابی برای دماهای بیشتر باعث خطای قابل‌توجهی می‌شود. معادله زیر از برازش داده‌های داده شده برای آب در فشار ۱ bar [1] $(0 \le \vartheta \le 99.6°C)$ و ۱۲ bar [2] $(100 \le \vartheta \le 185\ °C)$ به دست آمده است، می‌شود. فرض بر این است که آب در فاز مایع است.

(ج-۲)

1- Verein Deutscher Ingenieure (editor): VDI Wärmeatlas, 10. ed,; Springer-Verlag Berlin, 2006.

2- Wagner et al.: The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam; ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Volume 122, 2000.



shaghool.ir

$$\rho(\vartheta)=a_0+a_1\cdot\vartheta+a_2\cdot\vartheta^2+a_3\cdot\vartheta^3+a_4\cdot\vartheta^4+a_5\cdot\vartheta^5$$

$$(0\leq\vartheta\leq185°C)$$

با مقادیر:

$a_0 = 999{,}85\ [kg/m^3]$

$a_1 = 5{,}332\ 10^{-2}\ [kg/m^3{\cdot}K]$

$a_2 = -7{,}564\ 10^{-3}\ [kg/m^3{\cdot}K^2]$

$a_3 = 4{,}323\ 10^{-5}\ [kg/m^3{\cdot}K^3]$

$a_4 = -1{,}673\ 10^{-7}\ [kg/m^3{\cdot}K^4]$

$a_5 = 2{,}447\ 10^{-10}\ [kg/m^3{\cdot}K^5]$

انحراف چندجمله‌ای نسبت به مقادیر مرجع، همیشه کمتر از ٪ ۰٫۰۳

[در مقایسه با VDI $(0 \leq \vartheta \leq 99.6°C)$ ] یا ٪ ۰٫۱۲ [در مقایسه با IAPWS $(0 \leq \vartheta \leq 185\ °C)$ ] است.

برون‌یابی برای دماهای بالاتر باعث انحراف زیادی مانند معادله بند ج-۱ نمی‌شود اما در صورت نیاز این مورد باید بررسی شده یا باید از فرمول دیگری استفاده شود.

**ج-۳ ظرفیت گرمایی ویژه آب برحسب kJ/kg.K کلوین (در فشار ۱ bar)**

**(ج-۳)**

$$c_p(\vartheta)=a_0+a_1\cdot\vartheta+a_2\cdot\vartheta^2+a_3\cdot\vartheta^3+a_4\cdot\vartheta^4+a_5\cdot\vartheta^5$$

$$(0\leq\vartheta\leq99{,}5\,°C)$$

با مقادیر:

$a_0 = 4{,}217\ [kJ/kg{\cdot}K]$

$a_1 = -3{,}358\ 10^{-3}\ [kJ/kg{\cdot}K^2]$

$a_2 = 1{,}089\ 10^{-4}\ [kJ/kg{\cdot}K^3]$

$a_3 = -1{,}675\ 10^{-6}\ [kJ/kg{\cdot}K^4]$

$a_4 = 1{,}309\ 10^{-8}\ [kJ/kg{\cdot}K^5]$

$a_5 = -3{,}884\ 10^{-11}\ [kJ/kg{\cdot}K^6]$

انحراف چندجمله‌ای نسبت به مقادیر ارائه شده در جداول، همیشه کمتر از ٪ ۰٫۰۲ است. مقدار $R^2$ برابر ۰/۹۹۹۴ است.

**ج-۴ ظرفیت گرمایی ویژه آب برحسب kJ/kg.K (در فشار ۱ bar تا ۱۲ bar)**



shaghool.ir

معادله داده شده در بند ج-۳ برای گستره دمایی $0 \le \vartheta \le 99.5°C$ معتبر است و برون‌یابی در دماهای بیشتر باعث خطای قابل‌توجهی می‌شود. معادله زیر باعث برازش داده‌های داده شده برای آب در فشار ۱ bar[1] $(0 \le \vartheta \le 99.6°C)$ و ۱۲ bar[2] $(100 \le \vartheta \le 185°C)$ می‌شود. فرض بر این است که آب در فاز مایع است.

**(ج-۴)**

$$c_p(\vartheta) = a_0 + a_1 \cdot \vartheta + a_2 \cdot \vartheta^2 + a_3 \cdot \vartheta^3 + a_4 \cdot \vartheta^4 + a_5 \cdot \vartheta^5 + a_6 \cdot \vartheta^6$$

$$(0 \le \vartheta \le 185°C)$$

با مقادیر:

$a_0 = 4{,}2184$ [kJ/kg·K]

$a_1 = -2{,}8218\ 10^{-3}$ [kJ/kg·K$^2$]

$a_2 = 7{,}3478\ 10^{-5}$ [kJ/kg·K$^3$]

$a_3 = -9{,}4712\ 10^{-7}$ [kJ/kg·K$^4$]

$a_4 = 7{,}2869\ 10^{-9}$ [kJ/kg·K$^5$]

$a_5 = -2{,}8098\ 10^{-11}$ [kJ/kg·K$^6$]

$a_6 = 4{,}4008\ 10^{-14}$ [kJ/kg·K$^7$]

انحراف چندجمله‌ای نسبت به مقادیر مرجع، همیشه کمتر از ٪ ۰٫۰۴
[در مقایسه با VDI $(0 \le \vartheta \le 99.6°C)$ ] یا ٪ ۰٫۱۴ [در مقایسه با IAPWS $(0 \le \vartheta \le 185°C)$ ] است.
برون‌یابی برای دماهای بیشتر باعث انحراف زیادی مانند معادله بند ج-۳ نمی‌شود اما در صورت نیاز این مورد باید بررسی شده یا باید از فرمول دیگری استفاده شود.

1- Verein Deutscher Ingenieure (editor): VDI Wärmeatlas, 10. ed,; Springer-Verlag Berlin, 2006.
2- Wagner et al.: The IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam; ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Volume 122, 2000.



shaghool.ir

# پیوست ت

## (آگاهی‌دهنده)

## دستورالعمل‌های کلی برای ارزیابی عدم قطعیت در آزمون بازده کلکتور خورشیدی

### د-۱ مقدمه

هدف این پیوست تهیه راهنمای کلی برای ارزیابی عدم قطعیت نتایج انجام آزمون کلکتور خورشیدی مطابق با این استاندارد ملی است. معمولا از مراکز آزمون دعوت می‌شود که وضعیت عدم قطعیت در نتایج آزمون در آزمون‌های کمی را در چارچوب اعتبارگذاری آن‌ها یا کاربرد طرح‌های گواهی محصول فراهم کنند. هدف این پیوست تعریف مواردی که محاسبه عدم قطعیت در نتایج آزمون ضروری است، نمی‌باشد.

این راهنما تنها آزمون بازده کلکتورها را به دلیل الف) اهمیت زیاد نتایج این آزمون برای استفاده‌کننده و ب) غیرمعمول بودن محاسبات، در نظر می‌گیرد؛ زیرا نتیجه نهایی آزمون بازده از بسط تعداد زیادی اندازه‌گیری اولیه به دست می‌آید و نه از یک اندازه‌گیری تکی.

قابل‌ذکر است که روش اتخاذشده یکی از روش‌های ممکن برای ارزیابی عدم قطعیت است و لذا می‌توان روش‌های دیگر را نیز پیاده‌سازی کرد. مسئولیت هر مرکز آزمون، انتخاب و پیاده‌سازی روش معتبر علمی برای تعیین عدم قطعیت بر مبنای توصیه‌های نهادهای تأیید صلاحیت، در صورت امکان، است. برای جزئیات بیشترِ جنبه‌های مختلف تعیین عدم قطعیت‌های آزمون کلکتورهای خورشیدی به (Mathioulakis *et al.*, 1999; Müller-Schöll and Frei, 2000; Sabatelli *et al.*, 2002) مراجعه کنید.

### د-۲ اندازه‌گیری عدم قطعیت‌های آزمون بازده کلکتور خورشیدی

هدف اولیه آزمون بازده کلکتور خورشیدی، تعیین بازده کلکتور از طریق اندازه‌گیری‌های تحت شرایط مشخص است. به‌ویژه فرض بر این است که رفتار کلکتور را می‌توان با یک گره منفرد[1] $M$ پارامتری، مدل شبه دینامیکی یا حالت پایا شرح داد:

$$\eta=c_1p_1+c_2p_2+...+c_Mp_M \qquad (د-۱)$$

که در آن:

$\eta$: بازده لحظه‌ای کلکتور

$p_1$، $p_2$، ...، $p_N$: کمیت‌ها هستند، مقادیری که هرکدام از طریق آزمون و به‌صورت تجربی تعیین می‌شوند.

$c_1$، $c_2$، ...، $c_M$: ثابت‌های مشخصه کلکتور هستند که هر کدام از طریق آزمون تعیین می‌شوند.

در مورد مدل حالت پایا، برای مثال داریم: $M = 3,\ c_1 = \eta_0,\ c_2 = U_1,\ c_3 = U_2,\ p_1 = 1,\ p_2 = (T_m - T_a)/G$

و $p_3 = (T_m - T_a)^2/G$

1- Single node



shaghool.ir

در طول آزمون، خروجی، انرژی خورشیدی و کمیت‌های اقلیمی پایه در نقاط حالت شبه دینامیکی یا حالت پایا $J$، با توجه به مدل مورداستفاده، اندازه‌گیری می‌شود. از این اندازه‌گیری‌های اولیه، مقادیر پارامترهای $\eta , p_1 , p_2 ,\ldots, p_M$، از هر نقطه مشاهده‌شده $j$، که $j = 1,2,\ldots,J$ ، به دست می‌آید. به‌طورکلی، روش تجربی آزمون با ایجاد آرایش از گروه مشاهدات $J$، برای هرکدام از نقاط آزمون $J$، مقادیر $\eta_j , p_{1,j} , p_{2,j} ,\ldots, p_{M,j}$ را مقایسه می‌کند.

برای تعیین عدم قطعیت‌ها، محاسبه عدم قطعیت‌های استاندارد ترکیبی مربوطه $u(\eta_j), u(p_{1,j}), u(p_{2,j}),\ldots, u(p_{M,j})$ در هر نقطه مشاهده‌شده، ضروری است. بهتر است توجه شود که در عمل، عدم قطعیت‌های $u(\eta_j), u(p_{1,j}), u(p_{2,j}),\ldots, u(p_{M,j})$ همیشه ثابت و مشابه تمام نقاط نیستند اما هر نقطه آزمون، انحراف استاندارد خودش را دارد.

برای محاسبه انحراف استاندارد (مجذور عدم قطعیت استاندارد) در هر نقطه $j$، می‌توان از قواعد کلی زیر استفاده کرد (ISO GUM:1995):

۱) عدم قطعیت استاندارد در داده‌های تجربی با در نظر گرفتن نوع A و B عدم قطعیت‌ها، تعیین می‌شود. مطابق توصیه‌های ISO GUM، عدم قطعیت نوع A با ابزار آماری و نوع B با روش‌های دیگر تعیین می‌شوند.

۲) عدم قطعیت $u(s)$ وابسته به اندازه‌گیری $s$، نتیجه ترکیب دو عدم قطعیت است: عدم قطعیت نوع B $u_B(s)$، که ویژگی مشخصه از چیدمان واسنجی[1] است و عدم قطعیت نوع A $u_A(s)$، که نشان‌دهنده نوسان در طول داده‌برداری است. اگر بیش از یک منبع مستقل عدم قطعیت موجود باشد (نوع A یا نوع B) $u_K(s)$ ، عدم قطعیت نهایی مطابق قانون کلی ترکیب عدم قطعیت‌ها محاسبه می‌شود (معادله د-۲).

$$u = \left( \sum_k u_k^2 \right)^{1/2} \qquad (د-۲)$$

۳) عدم قطعیت نوع B $u_B(s)$، از ترکیب عدم قطعیت‌ها در کل زنجیره اندازه‌گیری، با در نظر گرفتن تمام داده‌های موجود، مثل عدم قطعیت حس‌گر، عدم قطعیت ثبت‌کننده داده، عدم قطعیت حاصل از اختلافات ممکن بین مقادیر اندازه‌گیری شده که دستگاه اندازه‌گیری ثبت کرده است، به دست می‌آید. بهتر است اطلاعات مربوط، از گواهی‌های واسنجی یا دیگر داده‌های فنی مربوط به دستگاه مورداستفاده، به دست آید.

۴) عدم قطعیت نوع A ذاتا به شرایط خاص اندازه‌گیری بستگی دارد و نوسان‌های موجود در کمیت‌های اندازه‌گیری در طول اندازه‌گیری را شرح می‌دهد. عدم قطعیت نوع A $u_A(s)$، از آنالیز آماری داده‌های تجربی به دست می‌آیند. در بعضی موارد (برای مثال در مورد مدل حالت پایا)، بهترین تخمین $S$، میانگین‌های حسابی، $s$، مشاهده‌های تکراری، $I$، ( $s_i (i = 1,2,\ldots,I$ ) است و عدم قطعیت نوع A آن، انحراف استاندارد میانگین است (معادله د-۳).

1- Calibration setup



shaghool.ir

$$s = \frac{\sum_{i=1}^{I} s_i}{I} \quad \text{و} \quad u_A(s) = \left( \frac{\sum_{i=1}^{I} (s_i - s)^2}{I(I-1)} \right)^{1/2} \qquad \text{(د-۳)}$$

در موارد دیگر (برای مثال در مورد مدل شبه دینامیکی که از میانگین حسابی اندازه‌گیری‌های تکراری، استفاده نمی‌شود) عدم قطعیت نوع A $u_A(s)$ را می‌توان برابر صفر گرفت.

۵) ترم *عدم قطعیت استاندارد ترکیبی* به معنی عدم قطعیت استاندارد در نتیجه است، وقتی‌که نتیجه از مقادیر تعدادی کمیت دیگر به دست می‌آید. در بیشتر موارد $Y$ اندازه‌گیری شده، به‌صورت غیرمستقیم از P دیگر کمیت‌های مستقیما اندازه‌گیری شده $X_1, X_2, ..., X_p$ از طریق یک تابع $Y = f(X_1, X_2, ..., X_p)$، تعیین می‌شود. عدم قطعیت استاندارد در تخمین $y$ با قانون انتشار خطا[1] معین می‌شود (معادله د-۴).

$$u(y) = \left( \sum_{i=1}^{P} \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 (u(x_i))^2 + 2 \sum_{i=1}^{P-1} \sum_{j=i+1}^{P} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \mathrm{cov}(x_i, x_j) \right)^{1/2} \qquad \text{(د-۴)}$$

مثالی برای این نوع تعیین غیرمستقیم در مورد آزمون بازده کلکتور خورشیدی، تعیین بازده لحظه‌ای $\eta$ است که از مقادیر شدت تابش خورشیدی کلی در سطح کلکتور $G$، نرخ جریان جرمی سیال $m$، اختلاف دما $\Delta T$، سطح کلکتور $A$ و ظرفیت گرمایی ویژه $c_f$ به دست می‌آید. بنابراین، در این مورد، عدم قطعیت استاندارد $u(\eta_j)$ در هر مقدار $\eta_j$ بازده لحظه‌ای با ترکیب عدم قطعیت‌های استاندارد در مقادیر کمیت‌های استاندارد اولیه، با در نظر گرفتن رابطه آن‌ها با کمیت به‌دست‌آمده $\eta$، محاسبه می‌شود.

### د-۳ برازش و عدم قطعیت‌ها در نتایج آزمون بازده

در حین آنالیز داده، یک برازش حداقل مربعات[2]، برای تعیین مقادیر ضرایب $c_1, c_2, ..., c_M$ برای اینکه مدل معادله (د-۱)، مجموعه مشاهدات $J$ با بیشترین درستی را ارائه کند، انجام می‌شود.

چون در واقعیت، انحراف، تقریبا هیچ‌وقت ثابت نیست و برای تمام مشاهدات یکسان است، هر نقطه داده $(\eta_j, p_{1,j}, p_{2,j}, ..., p_{M,j})$، انحراف استاندارد خودش $\sigma j$ را دارد، راه‌حل قابل‌توجه، استفاده از روش حداقل مربعات وزنی[3] (WLS) است که بر مبنای مقادیر اندازه‌گیری شده و عدم قطعیت‌های آن‌ها، نه‌تنها پارامترهای مدل بلکه عدم قطعیت‌های آن‌ها را نیز محاسبه می‌کند. در مورد روش حداقل مربعات وزنی WLS، بیشینه تخمین درست نمایی پارامترهای مدل با کمینه کردن تابع خی دو[4] به دست می‌آید:

1- Law of error propagation
2- Least square
3- Weighted least square
4- Chi-squared function



shaghool.ir

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{J} \frac{(\eta_j - (c_1 p_{1,j} + c_2 p_{2,j} + \dots c_N p_{M,j}))^2}{u_j^2} \qquad (د-۵)$$

که $u_j^2$ واریانس اختلاف است:

$$\eta_j - (c_1 p_{1,j} + c_2 p_{2,j} + \dots c_N p_{M,j})$$
$$u_j^2 = (\eta_j - (c_1 p_{1,j} + c_2 p_{2,j} + \dots c_N p_{M,j})) = (u(\eta_j))^2 + c_1^2 (u(p_{1,j}))^2 + \dots + c_M^2 (u(p_{M,j}))^2 \qquad (د-۶)$$

به دلیل غیرخطی بودن معادله (د-۵)، یافتن ضرایب $c_1, c_2, \dots, c_M$ و عدم قطعیت‌های آن‌ها با کمینه کردن تابع خی دو پیچیده است؛ بنابراین روش برای یافتن این عدم قطعیت‌ها، استفاده از روش‌های عددی است. روش برای مدلی $M$ پارامتری، در زیر آورده شده است (Press *et al.*, 1996).

فرض کنید $K$ ماتریسی با ابعاد $J \times M$ باشد که درایه‌های آن یعنی $k_{j,m}$، از $M$ تابع اولیه با تعداد $J$ مقدار تجربی $p_1, p_2, \dots, p_M$، ارزیابی شده و با عدم قطعیت‌های $u_j$ وزن دهی شده است (د-۷).

$$k_{j,m} = \frac{p_{m,j}}{u_j}, \quad K = \begin{vmatrix} \frac{P_{1,1}}{u_1} & \cdot\ \cdot & \frac{P_{1,M}}{u_1} \\ \cdot & \cdot\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot\ \cdot & \cdot \\ \frac{P_{1,J}}{u_J} & \cdot\ \cdot & \frac{P_{M,J}}{u_J} \end{vmatrix} \qquad (د-۷)$$

همچنین $L$ برداری به طول $J$ است که مولفه‌های آن یعنی $l_j$، از مقادیر $\eta_j$ که برازش شده، ایجاد شده و با عدم قطعیت‌های $u_j$ وزن دهی شده است (د-۸).

$$l_j = \frac{\eta_j}{u_j}, \quad L = \begin{vmatrix} \eta_1 / u_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \eta_j / u_j \end{vmatrix} \qquad (د-۸)$$

معادله نرمال مسئله حداقل مربعات[1] به‌صورت زیر بازنویسی می‌شود (د-۹).

$$(K^T \cdot K) \cdot C = K^T \cdot L \qquad (د-۹)$$

که در آن C برداری است که مولفه‌های آن ضرایب برازش هستند. با دانستن این امر که برای محاسبه واریانس‌های $u_j^2$، دانستن ضرایب $c_1, c_2, \dots, c_M$ نیاز است، راه‌حل ممکن، استفاده از مقادیر ضرایب محاسبه شده توسط برازش حداقل مربعات استاندارد، به‌عنوان مقادیر اولیه است. از این مقادیر اولیه می‌توان در

1- Normal formula of the least square problem



shaghool.ir

معادله (د-۶) برای محاسبه $u_j^2$، $J = 1,2,...,J$ و برای ایجاد ماتریس $K$ و بردار $L$ استفاده کرد. حل معادله (د-۹) مقادیر جدید ضرایب $c_1, c_2, ..., c_M$ را می‌دهد، هرچند انتظار نمی‌رود این ضرایب تفاوت قابل‌توجهی نسبت به مقادیر محاسبه‌شده با برازش حداقل مربعات استاندارد و مورداستفاده به‌عنوان مقادیر اولیه برای محاسبه $u_j^2$، داشته باشد.

علاوه بر این، $Z = INV\ (K^T \cdot K)$ ماتریسی است که عناصر قطری آن $z_{k,k}$ مجذور عدم قطعیت‌ها (واریانس) و عناصر غیر قطری $z_{k,l} = z_{l,k}, k \neq l$ کوواریانس بین ضرایب برازش هستند (د-۱۰).

$$u(c_m) = \sqrt{z_{m,m}},\quad m = 1,2,...,\ M \qquad (د-۱۰)$$

$$Cov(c_k,c_l) = z_{k,l} = z_{l,k},\ k=1,...,M \text{ and } l=1,...,M \text{ and } k \neq l \qquad (د-۱۱)$$

بهتر است توجه شود که اگر کسی بخواهد بعدا عدم قطعیت $u(\eta)$ را در مقادیر پیش‌بینی‌شده $\eta$ با استفاده از معادله (د-۱) و معادله (د-۴) حساب کند، دانستن کوواریانس بین ضرایب برازش ضروری است. معادله (د-۹) را می‌توان با روش عددی استاندارد، برای مثال، با روش حذف گوس-جردن، حل کرد. همچنین امکان استفاده از توابع ماتریسی موجود در نرم‌افزارهای آماری نیز وجود دارد.



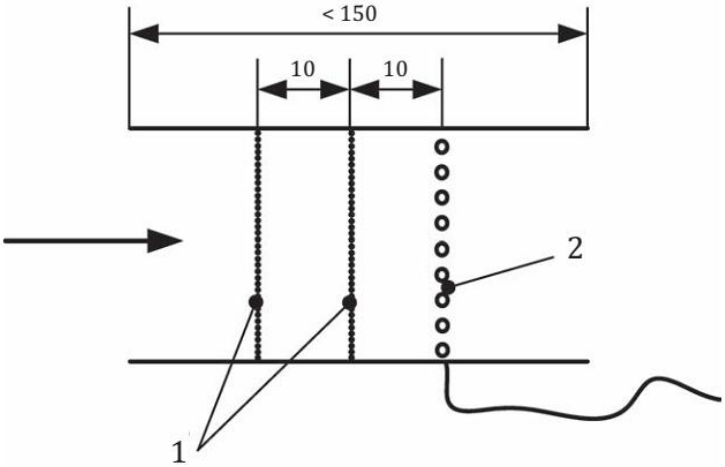
shaghool.ir

## پیوست ث

## (آگاهی‌دهنده)

### اندازه‌گیری دمای میانگین وزنی سرعت

یک حس‌گر دمای مقدار میانگین[۱]، باید در پیچ ارشمیدس[۲] تمام مقطع عرضی[۳] به‌صورت مساوی توزیع شود. این دمای میانگین $\vartheta_m$ را می‌توان در کانال هوایی با یک حس‌گر تعیین کرد. به فاصله ۱۰mm در جلوی حس‌گر، دو توری با شبکه ریز[۴] نصب شده است. بهتر است فاصله بین دو توری ۱۰mm باشد. اگر توزیع جریان همگن باشد، دمای میانگین $\vartheta_m$ برابر دمای میانگین سیال انتقال حرارت است.




**راهنما:**

1 توری یا شبکه بهبود جریان

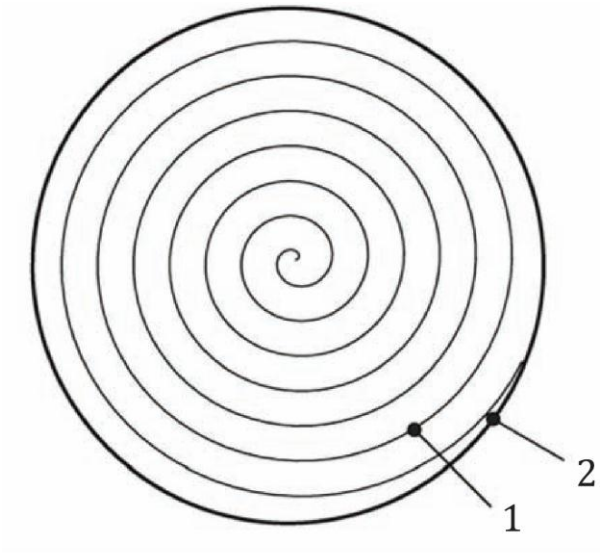
2 حس‌گر دما

**شکل هـ-۱- چیدمان حس‌گر**

1- Mean-value forming temperature sensor
2- Archimedean spiral
3- Whole cross-section
4- Fine-mesh nets



shaghool.ir




**راهنما:**

1 حس‌گر دما (مانند $\vartheta_{in}$)

2 لوله عایق

**شکل هـ-۲- مثالی از حس‌گر دما**

پیشنهاد واسنجی:

می‌توان حس‌گر را وقتی در کانال هوا نصب شده است، در گستره کامل واسنجی کرد. همگنی دما باید در هر دمایی کمتر از ۰٫۲ کلوین باشد. می‌توان این امر را با اندازه‌گیری حداقل ۱۲ نقطه دمایی با نصب دمنده در پشت حس‌گر دمای مقدار میانگین، برقرار کرده و پایش کرد. نقاط اندازه‌گیری باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که هر نقطه دمای سطح مساوی را اندازه‌گیری کند.



shaghool.ir

# کتابنامه

**[1]** Mathioulakis E., Voropoulos K., Belessiotis V. Assessment of uncertainty in solar collector modelling and testing. Sol. Energy. 1999, **66** (5) pp. 337–347.

**[2]** Müller-Schöll C., & Frei U. Uncertainty Analyses in Solar Collector Measurement, Proceedings of Eurosun 2000, Copenhagen.

**[3]** Press W., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B. P. Numerical recipes. Cambridge University Press, Oxford, Second Edition , 1996.

**[4]** Sabatelli V., Marano D., Braccio G., Sharma V.K. Efficiency test of solar collectors: Uncertainty in the estimation of regression parameters and sensitivity analysis. Energy Convers. Manage.2002, **43** (17) pp. 2287–2295.



shaghool.ir