



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۰۸۵۳

چاپ اول

۱۳۹۵

INSO

20853

1st.Edition

2016

سامانه‌های فتوولتائیک - ویژگی‌های
ردیاب‌های خورشیدی

Photovoltaic systems- specifications for
solar trackers

ICS:27.160

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به‌موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه‌ی 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 مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به‌موجب یک‌صد و پنجاه و دومین جلسه 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 منصفانه‌ی 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 پیشنهادات در کمیته 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 کمیته 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 شماره‌ی ۵ تدوین و در کمیته‌ی 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)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به‌عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ 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 پیش‌بینی شده 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 زمینه‌ی مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های 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 تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه‌ی تأیید 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

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
«سامانه‌های فتوولتائیک – ویژگی ردیاب‌های خورشیدی»

رئیس:

جورابیان، محمود
(دکترای مهندسی برق - قدرت)

سمت و / یا نمایندگی

عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران
اهواز

دبیر:

رستمی، امیر
(کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)

رئیس هیئت مدیره شرکت دانش‌بنیان ابتکار
تلاش پایدار

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ابوالحسنی، ایمان
(کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)

کارشناس شرکت برق منطقه‌ای خوزستان

ابوالفتح نژاد، عزت اله
(کارشناسی مهندسی برق)

کارشناس اداره کل استاندارد خوزستان

ارفاق، محسن
(کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)

مدیر دفتر مدیریت انرژی شرکت برق
منطقه‌ای خوزستان

براتیان، امیر
(کارشناسی مهندسی برق)

کارشناس اداره کل استاندارد اصفهان

تقی پور، پیمان
(کارشناسی مهندسی برق)

مدیر دفتر برق و انرژی روستایی سازمان
انرژی‌های نو ایران (سانا)

خلیفه، محمد
(کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)

عضو هیئت علمی موسسه غیرانتفاعی کارون
اهواز

خیاط، مجید
(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه)

کارشناس شرکت دانش‌بنیان ابتکار تلاش
پایدار

کارشناس شرکت دانش بنیان نسیم کارورزی ایرانیان	دریاپیما، مصطفی (کارشناسی ارشد - مهندسی مکانیک)
کارشناس شرکت دانش بنیان ابتکار تلاش پایدار	دواتگران، وحید (کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)
مدیر توسعه و پژوهش شرکت توان برد دز	شباب زاده، محمد (کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)
کارشناس مدیریت مصرف شرکت توزیع نیروی برق اهواز	شریف زاده، سید مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی برق)
کارشناس شرکت برق منطقه‌ای خوزستان	صادقی، محمد رسول (کارشناسی مهندسی برق - قدرت)
کارشناس شرکت دانش بنیان ابتکار تلاش پایدار	قلمی، محمود (کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)
عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز	مرتضوی، سید سعید اله (دکترای مهندسی برق - قدرت)
مدیر نظارت شرکت توزیع نیروی برق خوزستان	مرداس، علیرضا (کارشناسی ارشد - مدیریت)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان	
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد	
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد	
ز	پیش گفتار	
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۱	اصطلاحات و تعاریف	۲
۱	فتوولتائیک	۱-۲
۱	فتوولتائیک متمرکز کننده	۲-۲
۲	ماژول متمرکز کننده (ماژول CPV)	۳-۲
۲	مجموعه متمرکز کننده	۴-۲
۲	مشخصات ردیاب‌های خورشیدی برای کاربردهای فتوولتائیک	۳
۶	تعاریف و طبقه‌بندی ردیاب	۴
۶	کلیات	۱-۴
۶	انواع بار مفید	۲-۴
۷	محورهای چرخش	۳-۴
۱۲	تحریک و کنترل	۴-۴
۱۳	انواع کنترل ردیاب	۵-۴
۱۴	ویژگی‌های ساختاری	۶-۴
۱۶	مصرف انرژی	۷-۴
۱۶	عناصر خارجی و رابط‌ها	۸-۴
۱۸	رواداری داخلی	۹-۴
۱۹	عناصر سامانه ردیاب	۱۰-۴
۱۹	اصطلاحات قابلیت اطمینان	۱۱-۴
۲۱	شرایط محیطی	۱۲-۴
۲۱	آزمون‌های عملکردی	۱۳-۴
۲۲	ویژگی‌های درستی ردیاب	۵
۲۲	مرور کلی	۱-۵

۲۲	خطای راستای تابش (آنی)	۲-۵
۲۳	اندازه‌گیری	۳-۵
۲۵	محاسبه درستی ردیاب	۴-۵
۲۸	ویژگی‌های مکانیکی	۶
۲۸	کلیات	۱-۶
۲۸	پس‌زنی	۲-۶
۲۹	سختی	۳-۶
۲۹	آزمون قابلیت اطمینان	۷
۲۹	خوردگی	۱-۷
۲۹	دوام اجزا	۲-۷
۳۰	آزمون‌های شرایط فوق‌العاده	۳-۷
۳۰	محاسبات درستی اختیاری اضافی	۸
۳۰	گستره درستی ردیابی معمولی	۱-۸
۳۱	ردیابی هیستوگرام خطا	۲-۸
۳۱	درصد تابش در دسترس به‌صورت تابعی از خطای راستای تابش	۳-۸

پیش گفتار

استاندارد " سامانه‌های فتوولتائیک – ویژگی ردياب‌های خورشیدی " که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط شرکت دانش‌بنیان ابتکار تلاش پایدار تهیه و تدوین شده است و در چهل و نهمین اجلاس کمیته ملی استاندارد انرژی مورخ ۹۵/۰۱/۳۰ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط موردتوجه قرار خواهد گرفت؛ بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC/TS 62727: 2012, Photovoltaic systems – Specifications for solar trackers

سامانه‌های فتوولتائیک – ویژگی‌های ردیاب‌های خورشیدی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد فراهم نمودن دستورالعمل‌هایی برای ردیاب خورشیدی سامانه‌های فتوولتائیک و توصیه‌هایی برای روش‌های اندازه‌گیری است. لازم به ذکر است که تاکنون اقدامی در رابطه با تعیین معیارهایی برای تائید یا عدم تائید ردیاب‌ها صورت نگرفته است.

هدف این استاندارد، تعریف مشخصات عملکردی ردیاب‌ها و توصیف روش‌های محاسبه و اندازه‌گیری پارامترهای بحرانی می‌باشد.

این استاندارد، تعاریف و پارامترهایی که در صنعت ردیاب‌های خورشیدی وجود دارد را ارائه می‌دهد. هر سازنده قادر به طراحی، ساخت و تعیین کاربردی و درستی، با تعریف یکنواخت می‌باشد؛ بنابراین سازگاری در تعیین الزامات برای خرید و مقایسه محصولات از فروشنده‌های متفاوت و تائید کیفیت محصول امکان‌پذیر می‌شود. همچنین، این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف مربوط به ردیاب‌ها را بیان کرده و مثال‌هایی از روش‌های مختلف اندازه‌گیری ارائه می‌دهد.

این استاندارد، پایه‌ای برای دیگر استانداردها، از جمله (اما نه محدود به) شرایط طراحی و قابلیت اطمینان، می‌باشد.

۲ اصطلاحات و تعاریف

با توجه به اهداف این آیین‌نامه، اصطلاحات و تعاریف زیر ارائه شده است. به‌منظور آشنایی بیشتر با اصطلاحات مخصوص ردیاب‌ها به بند ۵ مراجعه کنید.

۱-۲ فتوولتائیک^۱

دستگاه‌هایی که با استفاده از تابش خورشید، تولید انرژی الکتریکی می‌کنند.

۲-۲ فتوولتائیک متمرکز کننده^۲

وسایلی که پرتوهای خورشید را به‌منظور تولید انرژی الکتریکی بر صفحات فتوولتائیک متمرکز می‌کنند. نور خورشید به روش‌های مختلفی از جمله استفاده از چشمی‌های انعکاسی یا انکساری، بشقابی، عدسی و یا دیگر پیکربندی‌ها، متمرکز می‌شود.

1- Photovoltaic (PV)

2- Concentrating photovoltaics (CPV)

۳-۲ ماژول متمرکز کننده^۱ (ماژول CPV)

یک گروه از دریافت کننده‌ها (سلول‌های خورشیدی که به هر نحوی به یکدیگر متصل شده باشند)، چشمی‌ها و دیگر قطعات مرتبط از جمله اتصالات و نگهدارنده‌های مکانیکی که با هم درون یک بسته ماژولار ادغام می‌شوند. این ماژول به‌طور معمول در کارخانه مونتاژ شده و به محل نصب منتقل می‌شود تا همراه با دیگر ماژول‌ها بر روی یک ردیاب خورشیدی نصب شود.

یادآوری - یک ماژول CPV به‌طور نوعی، نقطه تمرکز با میدان قابل تنظیم ندارد. علاوه بر این، یک ماژول می‌تواند از چندین زیر ماژول تشکیل شده باشد. اندازه زیر ماژول‌ها، کوچک‌تر از ماژول با اندازه کامل می‌باشد که در کارخانه و یا محل، به‌صورت ماژول کامل مونتاژ می‌شوند.

۴-۲ مجموعه متمرکز کننده

یک مجموعه متمرکز کننده شامل گیرنده‌ها، چشمی‌ها و دیگر عناصر مربوط است که یک نقطه تمرکز با میدان قابل تنظیم دارد و معمولاً در محل مونتاژ و هم‌راستا می‌شود. مثال: یک سامانه ترکیبی از بشقابی بزرگ به همراه یک واحد دریافت کننده که باید با نقطه کانونی صفحه هم‌راستا شود.

یادآوری - این اصطلاح برای ایجاد تمایز بین طراحی‌های خاص ماژول‌های متمرکز کننده (CPV) از ماژول‌های متمرکز کننده (CPV) بیان شده بالا استفاده می‌شود.

۳ ویژگی‌های ردیاب‌های خورشیدی برای کاربردهای فتوولتائیک

الف) قالب ویژگی

تمام ردیاب‌هایی که با این استاندارد مطابقت دارند بهتر است به منظور بخشی از نشانه‌گذاری و مستندسازی محصول، جدولی مطابق جدول زیر (به جدول ۱ مراجعه شود) تهیه کنند. برای توضیحات بیشتر در مورد یک مشخصه خاص، به بندها و زیر بندهای این استاندارد مراجعه کنید. برخی از ویژگی‌های این جدول اختیاری هستند؛ باین‌حال، اگر یک تولیدکننده ردیاب قصد ارائه اطلاعات اختیاری را داشته باشد، توصیه می‌شود اندازه‌گیری و گزارش این اطلاعات مطابق جدول ۱ (و در برخی موارد، مطابق مطالب توضیح داده شده در این استاندارد) انجام بگیرد. توصیه می‌شود موارد ایمنی مهندسی توسط استانداردهای ملی و جزئیات کاربردی مناسب ابلاغ و توسط سازنده ردیاب مستند شوند.

قالب ویژگی زیر تنها یک مثال عینی بوده و توصیه نمی‌شود به‌عنوان فهرستی از الزامات در نظر گرفته شود.

جدول ۱- الگوی ویژگی ردیاب

مشخصه	مثال	نکات/بند/زیر بند
سازنده	شرکت (...)	
شماره مدل	XX-۱۰۹۰	
نوع ردیاب	ردیاب CPV / دومحوره	۲-۴ / ۳-۴
مشخصات بار مفید^۱		
حداقل / حداکثر وزن قابل تحمل	۱۰۰ kg / ۱۰۲۵ kg	۳-۸-۴
محدودیت‌های مرکز جرم بار مفید	فاصله ۳۰ cm - ۰ cm عمود بر سطح نصب	۳-۸-۴
حداکثر گشتاور دینامیکی مجاز در حالت حرکت	10 kN.m (Θ_z) سمت ^۲ $\Theta_x, \Theta_y = 5 \text{ kN.m}$ (توصیه می‌شود به کمک مجموعه‌ای از نمودارها، گشتاورها و محورهای مربوط به آن‌ها مشخص شوند)	۲-۱۳-۴ / ۳-۷
حداکثر گشتاور استاتیکی مجاز در حالت بازداشتن	توصیه می‌شود به کمک مجموعه‌ای از نمودارها نشان داده شود	۱-۱۳-۴ / ۳-۷
مشخصات نصب		
نوع پی ^۳ مجاز	بتن مسلح	۲-۶-۴
رواداری پی در محور اولیه	$\pm 0.5^\circ$	۹-۴
رواداری پی در محور ثانویه	$\pm 0.5^\circ$	۹-۴
مشخصات الکتریکی		
دارای منبع پشتیبان توان؟	خیر	N/A
مصرف انرژی روزانه	به‌طور معمول ۱kw حداکثر ۵ kw	۱-۷-۴
مصرف انرژی بازداشتن ^۴	به‌طور معمول ۱kw حداکثر ۵ kw	۲-۷-۴
الزامات توان ورودی	$240V - 100V$ متناوب (AC) $50 \text{ Hz} - 60 \text{ Hz}$ 5 A	بدون شرح جزئیات

- 1- Payload characterist
- 2- Azimuth
- 3- Foundation
- 4- Stow energy

ادامه جدول ۱ - الگوی ویژگی ردياب

نکات/بند/زیر بند	مثال	مشخصه
درستی ردياب		
۶-۴-۵	۰٫۱°	درستی، نوعی (شدت باد کم، انحراف حداقل)
۶-۴-۵	۰٫۳°	درستی، نوعی (شدت باد کم، انحراف حداکثر)
۶-۴-۵	۰٫۵°	درستی، ۹۵ آمین صدک ^۱ (شدت باد کم، انحراف حداقل)
۶-۴-۵	۰٫۸°	درستی، ۹۵ آمین صدک (شدت باد کم، انحراف حداکثر)
۶-۴-۵	۳ km/h	متوسط سرعت باد در طول شرایط آزمون (باد کم)
۶-۴-۵	۰٫۷°	درستی، نوعی (شدت باد زیاد، انحراف حداقل)
۶-۴-۵	۱٫۰°	درستی، نوعی (شدت باد زیاد، انحراف حداکثر)
۶-۴-۵	۱٫۱°	درستی، ۹۵ آمین صدک (شدت باد زیاد، انحراف حداقل)
۶-۴-۵	۱٫۶°	درستی، ۹۵ آمین صدک (شدت باد زیاد، انحراف حداکثر)
۶-۴-۵	۱۲km/h	متوسط سرعت باد در طول شرایط آزمون (باد زیاد)
۱-۲-۴-۵	۵۰۰kg بار مفید که به طور مساوی بر سطح ۵۰m ² توزیع شده است	وزن و ناحیه بار مفید نصب شده در طول آزمون
۱-۲-۴-۵	مرکز جرم بار مفید، ۲۰cm بالای سطح پایه مازول	مرکز جرم بار مفید نصب شده در طول انجام آزمون
مشخصات کنترلی		
۵-۴	ترکیبی	الگوریتم کنترل
۹-۸-۴	ندارد	رابط کنترلی
بدون شرح جزئیات	Ethernet/tcp-ip	رابط ارتباطی خارجی
۴-۶-۴/۳-۱۲-۴	بله در سرعت باد ۱۰۰km/h	فراهم بودن بازداشتن اضطراری ^۲
۴-۶-۴	۴ دقیقه	زمان بازداشتن ^۳

- 1- Percentile
2- Emergency stow
3- Stow time

ادامه جدول ۱ - الگوی ویژگی ردياب

نکات/بند/زیر بند	مثال	مشخصه
N/A	۱ second/year	درستی زمان
طراحی مکانیکی		
۳-۳-۶-۴	سمت $\pm 160^\circ$	محدوده حرکت، محور اولیه
۳-۳-۶-۴	بلندی $10^\circ - 90^\circ$	محدوده حرکت، محور ثانویه
۳-۶	سمت: $\Theta_z = 0.05^\circ / 1000 \text{ N.M}$ $\Theta_x : 0.1^\circ / 1000 \text{ N.M}$ (نمودارهای ضمیمه شده، بارهای اعمالی و انحراف مشاهده شده را نشان می دهند)	سختی ^۲ سامانه
۲-۶	حداکثر 0.1°	پس زنی ^۳
شرایط محیطی		
۳-۱۲-۴	۸۰ km/h با شیب ۰٪ نسبت به زمین، در فضای آزاد ۶۰ km/h با شیب ۸٪ نسبت به زمین، در مناطق شهری و حومه شهرها انجام آزمون در: 60 km/h با شیب ۰٪ نسبت به زمین، در فضای آزاد	حداکثر سرعت باد مجاز در حین عملکرد ردياب
۴-۱۲-۴	مقادیر طراحی ۱۵۰ km/h باد افقی ۱۲۰ km/h با شیب ۱۰٪ انجام آزمون در: ۸۰ km/h با شیب ۰٪	حداکثر سرعت مجاز باد در حالت بازداشتن
۱-۱۲-۴	20°C تا 50°C	محدوده عملیاتی دما
۲-۱۲-۴	40°C تا 60°C	محدوده دما جهت بقا سامانه
۵-۱۲-۴	بیش از 20 kg/m^2 بار برف	نرخ برف ^۴

یک الگوی جایگزین برای نشان دادن درستی ویژگی‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

- 1- Elevation
- 2- Stiffness
- 3- Backlash
- 4- Snow rating

۴ تعاریف و طبقه‌بندی ردیاب

۱-۴ کلیات

ردیاب‌های خورشیدی تجهیزات مکانیکی هستند که به‌منظور قرار دادن ماژول‌های فتوولتائیک به سمت خورشید یا هدایت نور خورشید روی سلول‌ها یا ماژول‌های فتوولتائیک استفاده می‌شوند. ردیاب‌های فتوولتائیک می‌توانند در دو نوع دسته‌بندی شوند: ردیاب‌های فتوولتائیک استاندارد (PV) و ردیاب‌های فتوولتائیک متمرکز کننده (CPV). هر یک از این انواع، خود می‌توانند بر اساس تعداد و جهت محورها، ساختار تحریک و نوع درایو، تکیه‌گاه‌های عمودی و نوع پی نیز دسته‌بندی شوند.

۲-۴ انواع بار مفید

۱-۲-۴ ردیاب‌های ماژول فتوولتائیک استاندارد (PV)

۱-۱-۲-۴ موارد استفاده

ردیاب‌های فتوولتائیک استاندارد برای به حداقل رساندن زاویه بین تابش ورودی و ماژول فتوولتائیک استفاده می‌شوند. این کار مقدار انرژی تولیدشده از یک مقدار ظرفیت تولید توان ثابت را افزایش می‌دهد.

۲-۱-۲-۴ نوع نور دریافتی

ماژول‌های فتوولتائیک نور مستقیم و پراکنده شده خورشید را در تمام زوایا جذب می‌کنند. این بدین معنی است که سامانه‌هایی که ردیاب‌های فتوولتائیک استاندارد را پیاده‌سازی می‌کنند حتی در زمانی که مستقیماً در مقابل خورشید نیستند هم انرژی تولید می‌کنند. ردیاب‌ها در سامانه‌های فتوولتائیک استاندارد، به‌منظور افزایش سهم انرژی تولیدشده از طریق تابش مستقیم به کار گرفته می‌شوند.

۳-۱-۲-۴ الزامات درستی

در سامانه‌های فتوولتائیک استاندارد، انرژی حاصل از تابش مستقیم پرتوهای خورشیدی متناسب با تابع کسینوس کاهش می‌یابد؛ بنابراین ردیاب‌هایی با درستی $5^\circ \pm$ می‌توانند بیش از ۹۹/۶٪ از انرژی تأمین‌شده توسط پرتو مستقیم را تحویل دهند. نتیجه می‌شود که ردیابی با درستی بسیار بالا موردنیاز نیست.

۲-۲-۴ ردیاب‌های فتوولتائیک متمرکز کننده (CPV)

۱-۲-۲-۴ موارد استفاده

ردیاب‌های فتوولتائیک متمرکز کننده برای فعال کردن چش‌های استفاده‌شده در سامانه‌های CPV مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ردیاب‌ها ماژول‌های متمرکز کننده را رو به خورشید می‌گردانند یا نور خورشید را بر روی صفحات فتوولتائیک متمرکز می‌کنند.

۴-۲-۲-۲ نوع نور دریافتی

تابش مستقیم برخلاف تابش پراکنده خورشید، اولین منبع انرژی برای ماژول‌های CPV می‌باشد. چشمی‌ها به‌طور خاصی طراحی شده‌اند تا تابش مستقیم را بر روی سلول‌های فتوولتائیک متمرکز کنند. اگر این تمرکز حفظ نشود، توان خروجی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

اگر ماژول CPV تمرکز را در یک بعد انجام دهد، ردیابی تک‌محوره موردنیاز خواهد بود و در صورتی که ماژول CPV تمرکز را در دو بعد انجام دهد، ردیابی دو‌محوره نیاز است.

۴-۲-۲-۳ الزامات درستی

در ماژول‌های متمرکز کننده، درستی ردیابی موردنیاز معمولاً به تولید انرژی از طریق زاویه پذیرش ماژول مربوط می‌شود. وقتی که خطای راستای تابش خورشید^۱ کمتر از زاویه پذیرش باشد، ماژول‌ها به‌طور معمول ۹۰٪ یا بیشتر توان خروجی را تحویل خواهند داد.

۴-۳ محوره‌های چرخش

۴-۳-۱ کلیات

ردیاب‌های فتوولتائیک می‌توانند بر اساس تعداد و جهت‌گیری محوره‌هایشان در دسته‌های مختلف دسته‌بندی شوند.

۴-۳-۲ ردیاب‌های تک‌محوره^۲

۴-۳-۲-۱ کلیات

ردیاب‌های تک‌محوره یک درجه آزادی دارند که به‌عنوان یک محور چرخش عمل می‌کند.

۴-۳-۲-۲ پیاده‌سازی ردیاب تک‌محوره

۴-۳-۲-۲-۱ کلیات

چندین پیاده‌سازی رایج برای ردیاب‌های تک‌محوره وجود دارد که ردیاب‌های تک‌محوره افقی، ردیاب‌های تک‌محوره عمودی و ردیاب‌های تک‌محوره مایل را در برمی‌گیرند.

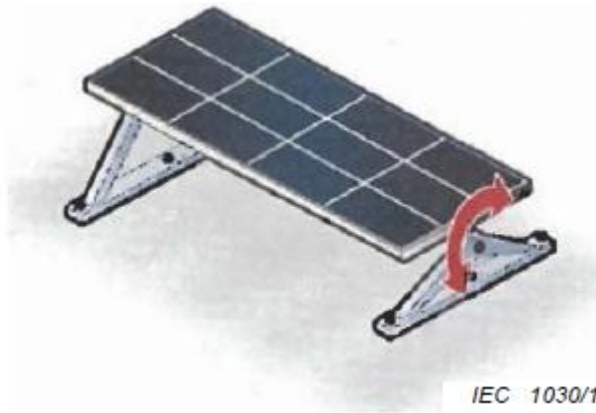
۴-۳-۲-۲-۳ ردیاب‌های تک‌محوره افقی^۳

محور چرخش یک ردیاب تک‌محوره افقی، نسبت به زمین افقی است.

1- Sun-pointing error

2- Single axis trackers

3- Horizontal single axis tracker (HSAT)



۴-۳-۲-۳ جهت گیری - جهت اصلی

محور چرخش ردیاب‌های تک‌محوره معمولاً در طول یک نصف‌النهار شمال جغرافیایی^۱ تراز می‌شود. امکان تراز محور چرخش با هر جهت‌گیری، با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته ردیابی وجود دارد.

۴-۳-۲-۴ جهت گیری ماژول نسبت به محور چرخش

جهت‌گیری ماژول نسبت به محور ردیاب در زمان مدل‌سازی عملکرد حائز اهمیت می‌باشد. ردیاب‌های تک‌محوره افقی و مایل، معمولاً ماژول‌هایی با جهت‌گیری موازی محور چرخش دارند. این ماژول‌ها در زمان ردیابی، یک استوانه فرضی که از نظر دورانی حول محور چرخش متقارن است را جاروب می‌کنند. ردیاب‌های تک‌محوره عمودی معمولاً ماژول‌هایی با جهت‌گیری زاویه‌دار نسبت محور چرخش دارند. این ماژول‌ها در زمان ردیابی، یک مخروط فرضی که از نظر دورانی حول محور چرخش متقارن است را جاروب می‌کنند.

۴-۳-۳-۳ ردیاب‌های دو محوره

۴-۳-۳-۴ کلیات ۱-۳-۳-۴

ردیاب‌های دو محوره دو درجه آزادی دارند که به‌عنوان محورهای چرخش عمل می‌کنند. این محورها معمولاً نسبت به یکدیگر عمود هستند. محوری که نسبت به زمین عمود است می‌تواند به‌عنوان محور اولیه در نظر گرفته شود. محوری که به محور اولیه ارجاع داده می‌شود می‌تواند به‌عنوان محور ثانویه در نظر گرفته شود.

۴-۳-۳-۴ پیاده‌سازی ردیاب دو محوره

۴-۳-۳-۴ کلیات ۱-۲-۳-۳-۴

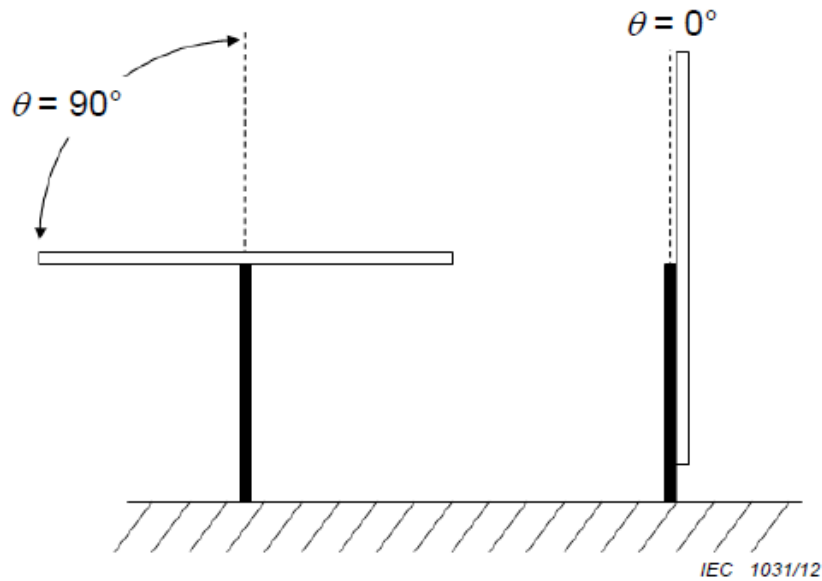
چندین پیاده‌سازی رایج برای ردیاب‌های دو محوره وجود دارد. این پیاده‌سازی‌ها بر اساس جهت‌گیری محور اولیه آن‌ها نسبت به زمین طبقه‌بندی می‌شوند. دو پیاده‌سازی رایج عبارتند از ردیاب‌های رأس-شیب^۲ و ردیاب‌های سمت-ارتفاع^۳ (به شکل ۱ مراجعه شود).

1- True north meridian

2- Tip-tilt

3- Azimuth-altitude

یک قرارداد برای زاویه سمت "درجه‌های از شمال به شرق" می‌باشد (یعنی زاویه سمت 0° به سوی شمال و زاویه سمت 90° به سوی شرق)
 یک قرارداد برای زاویه ارتفاع "درجات بالاتر از افق" مطابق شکل زیر می‌باشد. زاویه اوج، مکمل زاویه ارتفاع است. (اوج^۲ = 90° - ارتفاع^۳).



شکل ۱- 0° = زاویه ارتفاع = 90° (زاویه اوج = 90°) زمانی اتفاق می‌افتد که بردار عمود بر سطح ماژول، رو به افق باشد.
 زاویه ارتفاع = 90° (زاویه اوج = 0°) زمانی اتفاق می‌افتد که ماژول رو به آسمان است.

قراردادهای اشاره شده در بالا برای توصیف زوایا استفاده می‌شوند، اما قراردادی متفاوت می‌تواند در صورت شرح داده شدن، مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، محدوده حرکت ردیاب می‌تواند به صورت "زاویه سمت از 20° تا 340° " یا به طور جایگزین، "زاویه سمت $160^\circ \pm$ از جنوب" باشد.

۴-۳-۲-۲ ردیاب دومحوره رأس - شیب

در یک ردیاب دومحوره رأس - شیب^۴، محور اصلی (اولیه) آن نسبت به زمین افقی و محور ثانویه معمولاً نسبت به محور اصلی عمود است.

ردیاب دو محوره قطبی نوع خاصی از ردیاب دو محوره رأس - شیب می‌باشد.

-
- 1- Horizon
 - 2- Zenith
 - 3- Altitude
 - 4- Tip-tilt dual axis tracker (TTDAT)

۴-۴ تحریک و کنترل

۱-۴-۴ معماری

۱-۱-۴-۴ کلیات

دو معماری تحریک و کنترل رایج وجود دارد: تحریک توزیع شده^۱ و تحریک گروهی^۲. این تحریک‌ها به روش‌های فراوانی پیاده‌سازی می‌شوند.

۲-۱-۴-۴ تحریک توزیع شده

در یک معماری تحریک توزیع شده، هر ردیاب و محور چرخش به‌طور مجزا تحریک و کنترل می‌شوند.

۳-۱-۴-۴ تحریک گروهی

در یک معماری تحریک گروهی، بسیاری از محورهای چرخش به‌طور هم‌زمان، با یک سامانه تحریک واحد راه‌اندازی می‌شوند. در این حالت می‌تواند چند محور روی یک ردیاب و یا چند ردیاب در یک آرایه باشد.

۲-۴-۴ انواع درایو (راه‌اندازی)

۱-۲-۴-۴ کلیات

سه نمونه درایو برای استفاده در ردیاب‌های خورشیدی وجود دارد.

۲-۲-۴-۴ درایو الکتریکی

سامانه‌های درایو الکتریکی انرژی الکتریکی را به موتورهای AC، موتورهای DC جاروبکدار، یا موتورهای DC بدون جاروبک منتقل می‌کنند تا یک حرکت چرخشی ایجاد شود. این موتورها به کمک جعبه‌دنده‌هایی^۳ درازای گشتاور اضافی سرعت چرخش را کاهش می‌دهند. جعبه‌دنده نهایی، حرکت چرخشی و خطی را فراهم می‌کند که برای درایو محور ردیاب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۲-۴-۴ درایو هیدرولیکی

سامانه‌های درایو هیدرولیکی از پمپ برای تولید فشار هیدرولیک استفاده می‌کنند. فشار هیدرولیکی از طریق سوپاپ‌ها، لوله‌ها و شیلنگ‌ها به موتور یا سیلندر هیدرولیک منتقل می‌شود. موتور و سیلندر هیدرولیک، انرژی مکانیکی موردنیاز برای تحویل حرکت چرخشی یا خطی برای درایو محور ردیاب را تنظیم می‌کند.

۴-۲-۴-۴ درایو غیرفعال^۴

سامانه‌های درایو غیرفعال از اختلاف فشار سیال برای درایو محور ردیاب استفاده می‌کنند. اختلاف فشار سیال توسط اختلاف حرارت (گرادیان دما) ایجاد می‌شود که این اختلاف حرارت نیز خود توسط اختلاف سایه‌گرفتگی، تولید می‌شود. ردیاب تا زمانی که اختلاف فشارها را متعادل کند حرکت می‌کند.

1- Distributed actuation

2- Ganged actuation

3- Gearboxes

4- Passive drive

۵-۴ انواع کنترل ردیاب

۱-۵-۴ کنترل غیرفعال

ردیابی خورشید از نوع غیرفعال، معمولاً از نیروهای محیطی برای ایجاد تغییرات در چگالی سیال استفاده می‌کند، این مسئله نیروهای داخلی فراهم می‌کند که می‌تواند در امور مکانیکی برای قرارگیری بار مفید استفاده شود.

۲-۵-۴ کنترل فعال^۱

۱-۲-۵-۴ کلیات

ردیابی خورشید از نوع فعال از توان تولید شده، برای درایو مدارها و محرک‌ها (موتورها، هیدرولیک‌ها و غیره) به منظور قرارگیری بار مفید استفاده می‌کند.

۲-۲-۵-۴ کنترل حلقه باز^۲

کنترل حلقه باز یک روش ردیابی فعال می‌باشد که مستقیماً از موقعیت خورشید، توان ماژول و... به‌عنوان بازخورد^۳ استفاده نمی‌کند. این نوع کنترل با استفاده از محاسبات ریاضی موقعیت خورشید (بر اساس زمان روز، تاریخ، مکان و...) مسیری که ردیاب بهتر است دنبال کند و بر اساس آن محرک‌ها را درایو کند را تعیین می‌کند. توجه داشته باشید که کنترل حلقه بازی که در این متن به آن اشاره شده است به این معنی نیست که محرک‌ها خودشان از بازخورد استفاده نمی‌کنند؛ محرک‌ها می‌توانند سرو موتورهایی با کدبندها^۴ باشند که می‌توانند خودشان با یک کنترل گر حلقه بسته^۵ PID یا مشابه با آن کنترل شوند. حلقه باز در زمینه کنترل ردیاب، به الگوریتم کنترل اشاره دارد که هیچ بازخورد مستقیمی روی خطای واقعی ردیابی ندارد.

۳-۲-۵-۴ کنترل حلقه بسته

این نوع کنترل یک روش ردیابی فعال می‌باشد که از برخی بازخوردها (نظیر یک حسگر نوری موقعیت خورشید و یا خروجی توان ماژول) بهره می‌برد تا چگونگی درایو محرک‌ها و قرارگیری بار مفید را تعیین کند.

۴-۲-۵-۴ کنترل ترکیبی

این نوع کنترل یک روش از کنترل فعال می‌باشد که محاسبات ریاضی موقعیت خورشید (کد تقویم نجومی^۶ حلقه باز) را با برخی از داده‌های حس‌گرهای استفاده‌شده در یک حلقه بازخورد بسته، ترکیب می‌کند. روش‌های مختلف بسیاری برای کنترل ترکیبی وجود دارد.

1- Active control
2- Open loop
3- Feedback
4- Encoder
5- Closed-loop
6- Ephemeris

۴-۵-۳ عقب‌گردی^۱

عقب‌گردی عبارت است از قرار دادن عمودی ردیاب‌ها به دور از تابش خورشید به طوری که تشکیل سایه ردیاب‌های مجاور را در اوایل صبح و اواخر بعد از ظهر که خورشید نسبت به افق در سطح پایینی قرار دارد، کم می‌کند.

یک روش شامل حرکت دادن تمام ردیاب‌ها در یک مزرعه خورشیدی به یک زاویه بلندی بالاتر، برای جلوگیری از تشکیل سایه می‌باشد. روش دیگر غیرفعال کردن یک ردیف و در صفر درجه قرار گرفتن آن (تنظیم شده به سمت آسمان) تا به دیگر ردیف‌ها اجازه داده شود که یک خط دید به سمت خورشید بدون تشکیل سایه داشته باشند. این روش به طور عمده در طراحی‌هایی که به مناطق با زمین وسیع دسترسی ندارند مفید می‌باشد تا به اندازه کافی مجزا شوند تا از تشکیل سایه در اوایل صبح و اواخر بعد از ظهر جلوگیری شود. عقب‌گردی به طور معمول قابل اعمال به سامانه‌های فتوولتائیک متمرکز (CPV) نیست.

۴-۶ ویژگی‌های ساختاری

۴-۶-۱ تکیه‌گاه‌های عمودی

۴-۶-۱-۱ کلیات

تکیه‌گاه‌های عمودی، بار سازه را به پی منتقل می‌کند. در اینجا دو نوع رایج از تکیه‌گاه‌های عمودی معرفی می‌شود.

۴-۶-۱-۲ ردیاب‌های نصب‌شده روی بازو^۲

یک ردیاب نصب شده بر روی بازو، بار را با یک یا چند بازو به پی منتقل می‌کند. این بازوها به یک یا چند پی متصل و یا در امتداد آن‌ها ادامه یافته‌اند. انواع ردیاب‌ها (تک‌محوره و دومحوره) می‌توانند روی بازوها نصب شوند.

۴-۶-۱-۳ ردیاب‌های نصب‌شده روی چرخ و فلک^۳

یک ردیاب نصب شده روی چرخ و فلک، بار را از طریق یک حلقه به پی منتقل می‌کند. این حلقه سپس از چند نقطه به پی متصل شده است. ردیاب‌های تک محوره عمودی و دو محوره سمت - ارتفاع تنها ردیاب‌هایی هستند که می‌توانند چرخ و فلکی نصب شوند.

۴-۶-۲ انواع پی

۴-۶-۲-۱ کلیات

بار قرارگرفته روی سازه ردیاب باید از طریق پی نگه داشته شود.

1- Backtracking

2- Pole – mounted trackers

3- Carousel – mounted trackers

ردیاب‌ها می‌توانند روی سقف‌ها، زمین/ خاک و آب نصب شوند و در معرض موقعیت خاص بارگذاری قرار بگیرند. در نتیجه، نمونه‌های گوناگونی از پی در ردیاب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع پی مورد استفاده به ویژگی‌های خاص محل و قوانین ملی بستگی دارد. انواع پی اغلب بر اساس نفوذ یا عدم نفوذ در سطح نصب، طبقه بندی شده‌اند.

۴-۶-۲ پی‌های نافذ^۱

۴-۶-۲-۱ پی ستونی

پی‌های ستونی (به‌عنوان پی‌های عمیق نیز شناخته می‌شوند) در طیف گسترده‌ای موجود هستند. این پی‌ها شامل ستون‌های بتنی، ستون‌های کوبیده شده و ستون‌های حفاری شده می‌باشند اما به این‌ها محدود نمی‌شوند. پی‌های ستونی در کاربردهای نصب روی زمین و نصب روی آب رایج هستند. قطر سوراخ، عمق، مخلوط‌های بتن، الزامات میلگرد، نوع رزوه و دیگر ویژگی‌های همگی توسط شرایط سایت محل مورد نصب تعیین می‌شوند.

۴-۶-۲-۳ پی‌های غیر نافذ^۲

۴-۶-۲-۳-۱ پی‌های ماسه‌ای

پی‌های ماسه‌ای (به‌عنوان پی‌های سطحی نیز شناخته می‌شوند) در طیف گسترده‌ای وجود دارند. پی‌های ماسه‌ای در کاربردهایی از قبیل نصب روی زمین و نصب روی سقف یافت می‌شوند. ناحیه در تماس با سطح، جرم کل، نوع ماده، میلگرد موردنیاز و دیگر ویژگی‌های همگی توسط شرایط سایت محل مورد نصب تعیین می‌شوند.

۴-۶-۳ موقعیت‌های ردیاب

۴-۶-۳-۱ بازداشتن

وضعیت بازداشتن وضعیتی است که ردیاب زمانی که شرایط آب و هوایی نامساعد (مثل، باد شدید یا برف سنگین) برقرار یا مورد انتظار باشد، به سمت آن حرکت می‌کند تا از بارهایی که ممکن است به ردیاب یا بار مفید صدمه برساند جلوگیری شود. همه‌ی ردیاب‌ها وضعیت بازداشتن نخواهند داشت و وضعیت کامل، وابستگی زیادی به طراحی ردیاب خواهد داشت.

۴-۶-۳-۲ تعمیر و نگهداری

وضعیت تعمیر و نگهداری وضعیتی است که ردیاب برای عملیاتی نظیر تمیز کردن، نصب ماژول، سرویس و غیره به حرکت درمی‌آید. این وضعیت می‌تواند مشابه با وضعیت بازداشتن یا متفاوت با آن باشد. وضعیت‌های تعمیر و نگهداری متعددی می‌تواند وجود داشته باشد. در این وضعیت توصیه می‌شود یک قفل ایمنی^۳ وجود داشته باشد تا از حرکت ردیاب به‌طور ناگهانی و بدون هماهنگی با کاربر، جلوگیری می‌شود.

1- Penetrating foundation
2- Non – penetrating foundation
3- Interlock

۴-۳-۳-۳ محدوده حرکت

محدوده حرکت به صورت حداکثر حرکت ردیاب در هر جهت، در هر محور تعریف می‌شود. برای مثال، یک محور اصلی به شکل برج متحرک، باید یک محدوده حرکتی $\pm 135^\circ$ نسبت به جنوب واقعی داشته باشد { یا در یک چارچوب مرجع تعریف شده در بالا، 45° تا 315° سمت (از شمال به شرق) }. بایستی محور ثانویه‌ای به شکل زوایای بلندی، محدوده حرکتی از 0° تا 90° داشته باشد.

طیف وسیعی از حرکات مشخص شده در الزامات جدول ۱ باید مورد آزمون قرار گرفته و مستند شوند. توجه داشته باشید که محدوده حرکت تنها به محدودیت‌های مکانیکی وابسته نیست: حضور کلیدهای محدودکننده الکترونیکی یا تنظیمات نرم‌افزاری باید استفاده شوند تا محدوده حرکتی را به دلایلی همچون ایمنی یا کاهش سایه، بیشتر محدود کنند.

اگر ردیابی شامل یک کنترل‌کننده باشد، بهتر است محدوده حرکتی به حداکثر دامنه حرکتی که می‌تواند توسط ترکیبی از نرم‌افزار و سخت‌افزار فرمان داده شود، اشاره کند.

۴-۶-۴ زمان بازداشتن

زمان بازداشتن، زمان موردنیاز برای یک ردیاب با بار مفید استاندارد، به منظور حرکت از دورترین موقعیت نسبت به موقعیت بازداشتن، به سمت موقعیت بازداشتن می‌باشد.

۴-۷-۴ مصرف انرژی

۴-۷-۱ مصرف انرژی روزانه

مصرف انرژی روزانه یک ردیاب، برحسب مقدار کیلووات ساعت انرژی موردنیاز برای انجام ردیابی در ۲۴ ساعت کامل روز (از شروع تا توقف در یک سرعت ردیابی معمولی و بازگشت به شروع با هر سرعت استاندارد) که برای آن ردیاب در نظر گرفته شده است) در حین حمل یک بار استاندارد، تعریف می‌شود. مصرف انرژی بر اساس بار باد^۱ و احتمالاً پوشش ابر و دیگر شرایط آب و هوایی، متغیر خواهد بود. مصرف انرژی همچنین بسته به زمان سال متغیر خواهد بود.

۴-۷-۲ مصرف انرژی بازداشتن

مصرف انرژی بازداشتن یک ردیاب، به صورت مقدار انرژی موردنیاز برحسب کیلووات ساعت برای حرکت ردیاب از دورترین موقعیت نسبت به موقعیت بازداشتن تا موقعیت بازداشتن تعریف می‌شود.

۴-۸ عناصر خارجی و ارتباطها

۴-۸-۱ پی

پی سازه حمایتی است که معمولاً نسبت به زمین عمود است. پی معادل با نماد "زمین" مکانیکی است.

۴-۸-۲ رابط پی

رابط پی ردیاب را به زمین یا پشت‌بام متصل می‌کند. طراحی ردیاب اجازه برخی انحراف‌های حداکثر بین ردیاب و پی را برای عملکرد صحیح خواهد داد.

۳-۸-۴ بار مفید

بار مفید چیزی است که توسط ردیاب حرکت داده می‌شود، به‌طور معمول یک آرایه از ماژول‌های PV یا CPV ترکیب‌شده با برخی سازه‌های نصبی، (اما شامل خود ردیاب نمی‌شود). ردیاب باید یک حداقل و حداکثر وزن حمل بار مفید، همچنین هرگونه محدودیت توزیع وزن و مرکز جرم را مشخص کند. آزمون درستی (جزئیات در بخش بعد) با یک بار مفید نصب‌شده (آرایه‌ای از ماژول‌های واقعی یا آرایه‌ای از وزن‌هایی که جرم، توزیع جرم و مقاومت در برابر باد این ماژول‌ها را شبیه‌سازی کند)، انجام خواهد شد.

۴-۸-۴ رابط بار مفید

رابط بار مفید مرز بین بار مفید و ردیاب است. این رابط با عنوان روش اتصال بار مفید به ردیاب و روش (های) انتقال بار بین بار مفید و ردیاب تعریف می‌شود.

۵-۸-۴ رابط مکانیکی بار مفید

دستورالعمل سیم‌کشی در تمام رابط‌های چرخشی، موضوع رابط مکانیکی در نظر گرفته می‌شود، نه یک رابط الکتریکی.

۶-۸-۴ رابط الکتریکی بار مفید

رابط الکتریکی بار مفید هرگونه اتصال الکتریکی بین ردیاب و بار مفید را در بر می‌گیرد. به‌طور کلی، سیگنال‌های الکتریکی از ردیاب‌ها عبور نمی‌کنند (به‌جز به روشی کاملاً مکانیکی). با این وجود در برخی طرح‌های کنترلی ردیاب، رفتارهای الکتریکی بار مفید به‌عنوان بازخورد استفاده می‌شود، به‌عنوان مثال، جریان خروجی ماژول PV یا توان خروجی ماژول.

۷-۸-۴ رابط اتصال به زمین

رابط اتصال به زمین شامل اتصالاتی است که ردیاب را برای حفاظت از خطا و تخلیه الکترواستاتیکی^۱ (ESD) به زمین وصل می‌کند.

۸-۸-۴ اقدامات نصب و راه‌اندازی

۱-۸-۸-۴ کلیات

اقدامات نصب و راه‌اندازی شامل نفر ساعت لازم برای نصب ردیاب می‌باشد. بهتر است این اقدامات شامل تجهیزات لازم برای نصب ردیاب نیز باشند.

۴-۸-۸-۲ محدوده نصب عرض جغرافیایی

این محدوده، گستره 0° تا 90° را با توجه به ظرفیت طراحی ردیاب مشخص می‌کند. توجه داشته باشید که در مناطق استوایی لازم است که ردیاب در زمان‌های معینی از سال به بلندی 90° برود. اگر نرم‌افزار کنترل ردیاب تنها برای کار در یک نیمکره زمین طراحی شده باشد، بهتر است این موضوع ذکر شود.

۴-۸-۹ رابط کنترل

۴-۸-۹-۱ رابط انسانی/دستی

این رابط روش‌هایی را جهت کنترل بعضی از عملکردها برای اپراتوری که حضور فیزیکی دارد تشریح می‌کند. این رابط می‌تواند شامل کلیدها یا دکمه‌هایی برای کنترل موتورها، یا یک دکمه توقف اضطراری برای متوقف نمودن حرکت باشد. هر طراحی ردیاب می‌تواند سطوح مختلفی از رابط دستی را ارائه دهد.

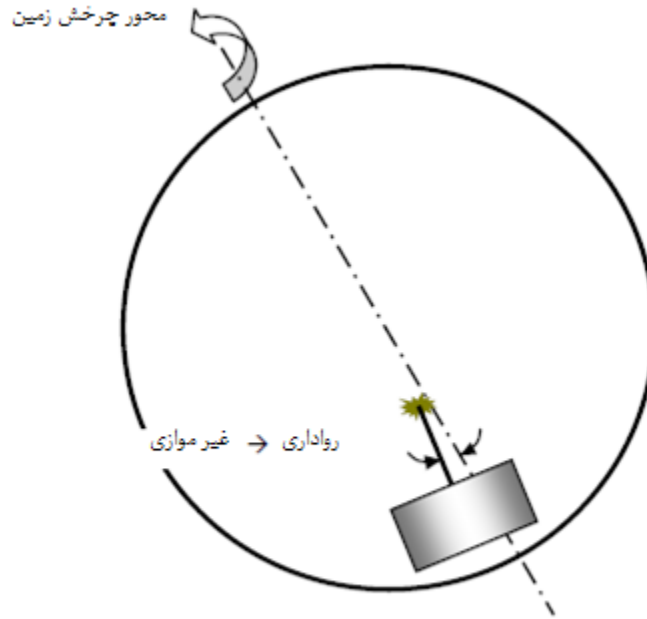
۴-۸-۹-۲ رابط از راه دور

یک رابط از راه دور برای ردیاب می‌تواند شامل ارتباطات سیمی یا بی‌سیم و انواع پروتکل‌های ارتباطی و رابط‌های کاربری باشد. رابط مبتنی بر وب یک مثال از رابط از راه دور است.

۴-۹ رواداری^۱ داخلی

۴-۹-۱ رواداری محور اصلی

رواداری محور اصلی، مجموع خطای قابل‌قبول ساخت و نصب ردیاب بین یک بردار محور اولیه مشخص و بردار واقعی محور اولیه پس از نصب نهایی می‌باشد. رواداری می‌تواند برحسب میلی رادیان یا درجه تعریف شود (به شکل ۲ مراجعه شود).



شکل ۲- تصویر رواداری محور اصلی برای یک محور ردیابی ستونی

همچنین این رواداری به عنوان روشی برای نشان دادن میزان درستی‌ای که در محور اصلی باید تولید و نصب شود بکار می‌رود. به عنوان مثال یک تولیدکننده ردیاب ممکن است مشخص کند که تا زمانی که محور اصلی در محدوده یک درجه از موقعیت اسمی نصب شود، ردیاب در محدوده مشخصات خود عمل خواهد کرد.

۲-۹-۴ رواداری محور ثانویه

رواداری محور ثانویه، به صورت مجموع خطای قابل قبول بر حسب میلی رادیان یا درجه، بین برداری عمود بر محور اصلی و بردار واقعی که محور ثانویه است تعریف می‌شود.

۱۰-۴ عناصر سامانه ردیاب

۱-۱۰-۴ سازه مکانیکی

سازه مکانیکی، ماژول‌های فتوولتائیک یا مجموعه‌ها را نگاه می‌دارد. همچنین استحکام و سختی لازم برای دوام آوردن در برابر شرایط و انتقال به پی را فراهم می‌آورد.

۲-۱۰-۴ کنترل کننده ردیاب

کنترل گر ردیاب شامل تمام تجهیزات الکترونیکی کنترل نظیر ریزپردازنده^۱، درایورهای موتور، منبع توان/ ترانسفورماتور و پیوندهای ارتباطی^۲ می‌باشد. کنترل گر ردیاب به طور معمول شامل حسگر وابسته به موقعیت^۳، نظیر کدبندها یا کلیدهای محدودکننده نمی‌شود.

1- Microprocessor
2- Communication links
3- Positional sensor

۳-۱۰-۴ حسگرها

حسگرها شامل آن‌هایی که به صورت حلقه بسته کنترل می‌شوند (حسگر موقعیت خورشید، خروجی توان مازول) و آن‌هایی که موقعیت‌یابی دقیق پیش‌رانه را انجام می‌دهند (کدبندها، شیب‌سنج و...) و همچنین آن‌هایی که اطلاعات آب و هوایی اضافی (دما، سرعت و جهت باد و...) برای کنترل یا پایش سامانه را فراهم می‌کنند هستند.

۱۱-۴ اصطلاحات قابلیت اطمینان^۱

۱-۱۱-۴ کلیات

خطا: هر حالتی از ردیاب که نیاز ردیابی روزانه را برآورده نکند.

خطای بحرانی: هر حالتی از ردیاب که باعث بروز یک نگرانی ایمنی یا یک خسارت عمده به سامانه ردیاب یا پی شود.

تأخیر تعمیر و نگهداری: مدت‌زمانی که طی آن، ردیاب به دلیل انتظار برای قطعات یا سرویس‌کاران، بدون عملکرد است.

تأخیر امکانات: مدت‌زمانی که طی آن ردیاب به دلیل نبودن برق، آب و یا دیگر امکانات، بدون عملکرد است.

زمان خرابی کلی^۲: تأخیر تعمیر و نگهداری + تأخیر امکانات + زمان تعمیر.

زمان عملیاتی بودن ردیاب^۳: مدت‌زمانی که ردیاب در حال کار است.

زمان تعمیر: مدت‌زمان مورد نیاز سرویس‌کاران جهت تعمیر تجهیزات، زمانی که قطعات و افراد در محل باشند.

$100 \times ((\text{تأخیر امکانات} + \text{تأخیر تعمیر و نگهداری}) - \text{مجموع زمان}) / \text{عملیاتی بودن ردیاب} = \% \text{ عملیاتی بودن ردیاب}$

۲-۱۱-۴ زمان متوسط بین خرابی‌ها (MTBF)^۴

MTBF میانگین ساعت‌هایی است که ردیاب بدون خطایی که نیاز به تعمیر و نگهداری داشته باشد، کار می‌کند. این زمان ممکن است از داده‌های سالانه به دست آید و باید به کمک آنالیزهای آماری محدود شود. بهتر است اطلاعات MTBF هر یک از اجزای ردیاب، به وضوح مشخص شود. در هر حال، ترکیب این اطلاعات در یک معیار سنجش آماری، باید با یک طرح میانگین‌گیری انجام شود که نشان دهنده ردیاب به‌عنوان یک سامانه از اجزاء است. اسناد ردیاب باید راهبرد^۵ MTBF را از لحاظ این میانگین‌گیری توصیف کنند.

تعداد خرابی‌های ردیاب که در طول زمان تولید توان رخ می‌دهد / عملیاتی بودن ردیاب = MTBF تخمینی

۳-۱۱-۴ زمان متوسط بین خرابی‌های بحرانی (MTBCF)^۶

4- Reliability

1- Total downtime

2- Tracker uptime

3- Mean time between failures (MTBF)

4- Strategy

5- Mean time between critical failures (MTBCF)

MTBCF عبارت است از میانگین تعداد ساعت‌های کارکرد ردياب، بدون وقوع خرابی که خطر ایمنی به نظر برسد یا باعث صدمه جدی به سامانه ردياب یا پی آن شود. MTBCF ممکن است از داده های سالانه بدست آید و باید به کمک آنالیزهای آماری محدود شود. بهتر است اطلاعات MTBCF هر یک از اجزای ردياب، به وضوح مشخص شود. در هر حال، ترکیب این اطلاعات در یک معیار سنجش آماری، باید با یک طرح میانگین‌گیری انجام شود که نشان دهنده ردياب به‌عنوان یک سامانه از اجزاء است. اسناد ردياب باید راهبرد MTBCF را از لحاظ این میانگین‌گیری توصیف کند.

تعداد خرابی‌های بحرانی ردياب در زمان بهره‌برداری / عملیاتی بودن ردياب = MTBCF تخمینی

۴-۱۱-۴ متوسط زمان تعمیر (MTTR)^۱

MTTR عبارت است از میانگین زمان جدا کردن قطعه، تعمیر و نصب مجدد قطعه یا جدا کردن قطعه و نصب یک قطعه جدید. این زمان ممکن است از داده‌های سالانه به دست آید و باید به کمک آنالیزهای آماری محدود شود. بهتر است اطلاعات MTTR هر یک از اجزای ردياب، به وضوح مشخص شود.

تعداد خرابی‌های مشخص ردياب / کل زمان تعمیر برای ردياب با توجه به نوع خرابی = MTTR تخمینی

۴-۱۲-۴ شرایط محیطی

۴-۱۲-۴-۱ محدوده دمای عملیاتی^۲

این محدوده، دمایی را که در آن طرح می‌تواند کار کند در حالی که دیگر ویژگی‌های محصول مانند درستی برآورده می‌شوند را محدود می‌کند.

۴-۱۲-۴-۲ محدوده دمای بقا^۳

محدوده دمایی در نظر گرفته‌شده که در درون آن طرح می‌تواند بدون خرابی عمل کند، اگرچه احتمالاً بدون برقرار ماندن دیگر ویژگی‌های محصول باشد (برای مثال، درستی یا سرعت ممکن است کاهش یابد).

۴-۱۲-۴-۳ حداکثر وزش باد در حین عملیات

بهتر است هم شامل مقدار مجاز (مقدار طراحی) برای حداکثر وزش باد باشد و هم حداکثر سرعت وزش باد که تحت آن ردياب به‌طور عملی آزمون شده است را مشخص کند (بدون احتساب مدل‌سازی). توصیه می‌شود که این ارزیابی، شیب زمینی که تحت آن این نرخ وزش باد اعمال می‌شود را نیز مشخص کند (برای مثال، تولیدکنندگان ممکن است بخواهند نرخ‌های وزش باد را برای زمین مسطح و زمین با یک شیب داده‌شده، به‌طور مجزا تعیین کنند).

۴-۱۲-۴-۴ حداکثر باد در حین بازداشتن

6- Mean time to repair (MTTR)

1- Operating temperature range

2- Survival temperature range

توصیه می‌شود حداکثر باد در حین بازداشتن هم شامل مقدار مجاز (مقدار طراحی) برای حداکثر وزش باد باشد و هم حداکثر سرعت وزش باد که تحت آن ردیاب به‌طور عملی آزمون شده است را مشخص کند (بدون احتساب مدل‌سازی).

۴-۱۲-۵ بار برف

ردیاب می‌تواند یک مقدار مجاز برای بار ناشی از برف برحسب kg/m^2 داشته باشد.

۴-۱۳-۴ آزمون‌های عملکردی

۴-۱۳-۴-۱ آزمون بار استاتیک

بار فراهم‌شده در الگوی ویژگی‌های ارائه‌شده در بند ۴، باید به ردیابی که روی پی نصب‌شده است، به‌طور استاتیکی اعمال شود تا مشابه باشد با بارگذاری که یک چارچوب با تعدادی ماژول یا فقط یک ماژول به ردیاب اعمال می‌کند. ضریب ایمنی توسط سازنده مشخص می‌شود.

۴-۱۳-۴-۲ آزمون گشتاور^۱

گشتاورهای بیان شده در الگوی مشخصات ارائه‌شده در بند ۴ باید روی ردیابی که روی پی نصب‌شده آزمون شود تا مشابه با گشتاورهایی باشند که ردیاب در طول عملکرد با آن مواجه می‌شود. گشتاورها ممکن است توسط یک بازوی اهرمی ایجاد شوند و نیروها در جهت‌های مناسب به بازوی اهرمی اعمال شوند.

۴-۱۳-۴-۳ عملکرد کلید محدودکننده

اگر کلیدهای محدودکننده وجود داشته باشند، بهتر است عملکرد آن توسط درایو ردیاب به سمت هر کلید و تصدیق توقف خودکار حرکت، آزمون شود.

۴-۱۳-۴-۴ عملکرد دستی

توصیه می‌شود آزمون‌های عملکرد دستی با کلیدهای تعریف شده توسط عرضه‌کننده ردیاب صورت گیرد و حرکت مکانیکی با این کلیدها انجام شود.

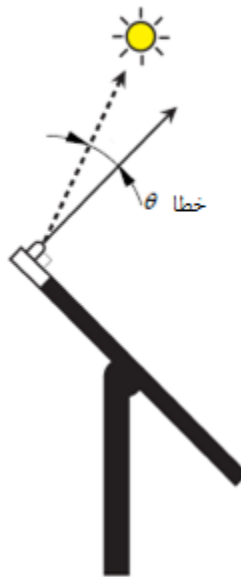
۵ مشخصات درستی ردیاب

۵-۱ مرور کلی

این بخش، در واقع بین خطای راستای تابش آبی و درستی ردیابی گزارش شده، تمایزی روشن ایجاد می‌کند. روش‌های اندازه‌گیری خطای راستای تابش، توصیف شده و درباره چگونگی پردازش داده‌ها برای گزارش آماری درستی ردیابی توضیح داده می‌شود.

۲-۵ خطای راستای تابش (آبی)

خطای راستای تابش یک ردیاب خورشیدی، زاویه بین بردار راستای ماژول (در بسیاری از موارد، بردار عمود بر سطح ماژول) و بردار راستای تابش خورشید می‌باشد (شکل ۳ را ببینید). توجه داشته باشید که خطای راستای تابش تنها درستی یک زیرسامانه^۱ (مانند جعبه‌دنده، الگوریتم، یا کنترل‌گر) نیست، بلکه مجموع خطاهای تمام زیرسامانه‌ها است به عبارتی اختلاف واقعی زاویه بین جایی است که ردیاب اشاره می‌کند و جایی که خورشید در آن لحظه آنجاست.



شکل ۳- تصویر کلی از خطای راستای تابش خورشید

۳-۵ اندازه‌گیری

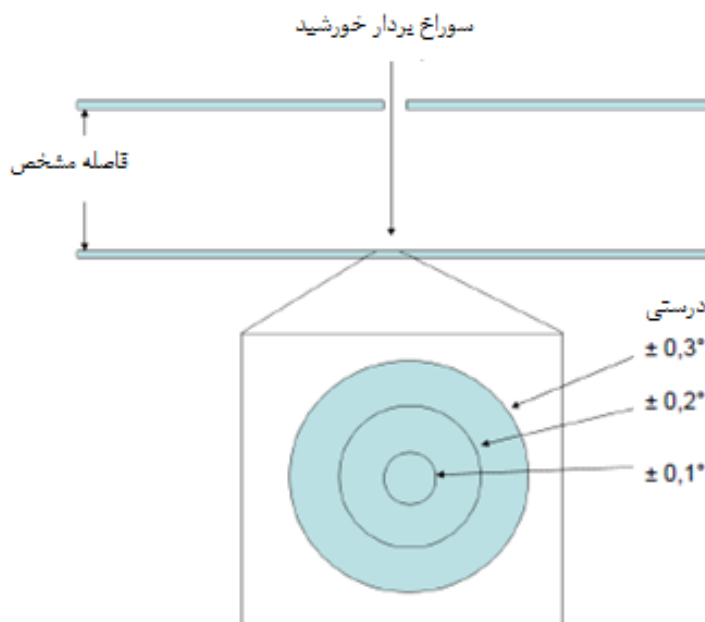
۱-۳-۵ مرور کلی

توصیه می‌شود خطای راستای تابش به‌طور مستقیم اندازه‌گیری شود (نه اینکه به‌طور نظری توسط یک مدل از ردیاب یا از مقادیر گزارش شده توسط کنترل‌کننده ردیاب محاسبه شود). خطای راستای تابش با یک حسگر که

روی ردیاب هم‌سطح با ماژول‌های خورشیدی سوار شده اندازه‌گیری می‌شود و موقعیت نسبی خورشید را اندازه‌گیری می‌کند.

۵-۳-۲ مثالی از روش تجربی برای اندازه‌گیری خطای راستای تابش

درستی ردیابی تجربی، یک روش تعیین خطای راستای تابش واقعی برای ردیاب در طول یک‌زمان مشخص می‌باشد. اندازه‌گیری‌های درستی ردیابی تجربی می‌تواند با استفاده از دو صفحه موازی تخت که یک‌فاصله مشخص از یکدیگر دارند، به دست آید؛ بدین‌صورت که در یکی از آنها یک سوراخ ریز وجود دارد و موقعیت خورشید را در یک شکل قابل‌اندازه‌گیری نشان می‌دهد (شکل ۴ را ببینید).



شکل ۴- دو صفحه موازی تخت در یک فاصله مشخص، یکی از آنها یک سوراخ سوزنی برای دنبال کردن نور خورشید بر دایره‌هایی با قطر مشخص که در نهایت حلقه‌های درستی 0.1° ، 0.2° ، 0.3° (در صورت لزوم بیشتر) را اندازه‌گیری می‌کند.

به‌طور جایگزین، می‌توان از یک عدسی یا دیگر چشمی‌ها استفاده قرار کرد تا تصویری از خورشید را روی آشکارساز^۱ نمایش دهد.

تصویر ایجادشده از خورشید می‌تواند با کاغذ حساس به نور، یک آرایه دیود حساس به نور، یک حسگر تصویر، یا دیگر حسگرهای مناسب، ثبت و تحلیل شود.

گزینه دیگر، اندازه‌گیری جریان تولیدشده توسط پرتو مستقیم خورشید روی آشکارسازهای جدا از هم است. وقتی که خطای راستای تابش صفر است، بهتر است هر آشکارساز تابش برابری دریافت کرده و بنابراین جریان‌های مساوی تولید کنند. وقتی که خطای راستای تابش صفر نیست، یک یا چند حسگر جریان بیشتری تولید خواهند کرد. با یک ضریب کالیبراسیون و انجام یک محاسبه ساده، می‌توان جریان اندازه‌گیری شده را به خطای راستای تابش تبدیل کرد.

۳-۳-۵ کالیبراسیون ابزار اندازه‌گیری خطای راستای تابش

ابزار مورد استفاده برای اندازه‌گیری خطای راستای تابش (چنانچه یک دیود حساس به نور یا دوربین یا حسگرهای دیگر باشد)، باید به‌طور مجزا کالیبره شود تا با درستی حداقل سه برابر درستی ردیاب، برای اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، اگر خطای راستای تابش ردیاب 0.06° گزارش شد، دستگاه اندازه‌گیری باید تا درستی 0.02° یا بهتر کالیبره و تأیید شود.

توصیه می‌شود کالیبراسیون با نور خورشید یا تحت یک منبع نور مصنوعی با حداقل شدت W/m^2 ۱۰۰ و تنظیم^۱ 1° یا کمتر انجام شود.

توصیه می‌شود در طول فرایند کالیبراسیون، حداقل درستی ۱۰ موقعیت مختلف خورشید (در محدوده‌ای از مرکز تا گوشه میدان دید حسگر) تصدیق شود.

۴-۵ محاسبه درستی ردیاب

۱-۴-۵ مرور کلی

- اندازه‌گیری داده‌ها با استفاده از حسگر خطای راستای تابش و روش اندازه‌گیری (همان‌طور که قبلاً شرح داده شد) در طول حداقل ۵ روز انجام شود.
- داده‌ها در دودسته سرعت وزش باد کم و زیاد بر اساس آستانه 4 m/s تقسیم شوند.
- داده‌ها فیلتر^۲ شوند (برای مثال، حذف داده‌هایی که در طول شرایط تابش کم گرفته شده‌اند).
- محاسبه آماری روی هر دسته از داده‌ها انجام و درستی ردیابی گزارش شود.

۲-۴-۵ جمع‌آوری داده‌ها

۱-۲-۴-۵ راه‌اندازی ردیاب

توصیه می‌شود ردیاب بر اساس توصیه‌های سازنده نصب شود. برای انجام آزمون درستی، توصیه می‌شود حداکثر بار مفید مجاز روی ردیاب نصب شود. جرم بر واحد سطح و محل مرکز جرم مطابق با استفاده نهایی در محدوده $\pm 2\%$ باشد.

1- Collimation
2- Filter

توصیه می‌شود وزن بار مفید، مرکز جرم، تعداد واحدها و هرگونه شکاف هوایی بین واحدها در مدارک نتایج آزمون مستند شوند. توصیه می‌شود یک عکس از راه‌اندازی آزمون نیز در مدارک گنجانده شود.

۵-۴-۲-۲ نصب حسگر

توصیه می‌شود حسگر خطای راستای تابش در مکانی که حداکثر انحراف از سطح ردیابی تخمین زده می‌شود، نصب گردد (معمولاً گوشه یا لبه سطح ردیابی).

پیشنهاد می‌شود یک حسگر خطای راستای تابش در مرکز سطح ردیاب یا در نقطه‌ای با حداقل انحراف نصب شود. چنانچه این حسگر حذف گردد، بهتر است بخش مربوط به آن در جدول ویژگی‌ها «اندازه‌گیری نشده» خوانده شود.

۵-۴-۲-۳ پارامترهای ثبت داده

توصیه می‌شود داده‌های ثبت شده شامل موارد زیر باشند:

- خطای راستای تابش ردیاب
- تابش عمود مستقیم (DNI)^۱
- تابش کلی
- سرعت باد
- تاریخ و زمان

توصیه می‌شود خطای راستای تابش ردیاب در افزایش‌های لحظه‌ای یک دقیقه‌ای ثبت شود.

توصیه می‌شود اندازه‌گیری تابش در افزایش‌های متوسط یک دقیقه‌ای ثبت شود.

توصیه می‌شود سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر و متوسط زمان ۱۰ دقیقه در افزایش‌های یک دقیقه‌ای ثبت گردد. سرعت باد می‌تواند در ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا اندازه‌گیری شود و یا در ارتفاع ردیاب اندازه‌گیری و به ارتفاع ۱۰ متری تصحیح شود.

توصیه می‌شود داده‌ها برای حداقل پنج روز با حداقل تابش عمود مستقیم 2400 Wh/m^2 در هر روز ثبت شوند (برای مثال، حداقل شش ساعت از یک تابش عمود مستقیم 400 W/m^2 یا بیشتر).

بهتر است زمان و مکان آزمون گزارش شود تا بر اساس ارزیابی کافی بودن مجموعه داده‌ها، به‌ویژه با توجه به محدوده حرکت، تسهیل گردد.

۵-۴-۳ دسته‌بندی داده‌ها براساس سرعت باد

داده‌ها در گروه با سرعت وزش کم قرار می‌گیرند اگر سرعت وزش باد کمتر یا مساوی با 4 m/s باشد و اگر بزرگ‌تر از 4 m/s باشد در گروه سرعت وزش بالا قرار می‌گیرند.

1- Direct normal irradiance (DNI)

این دو دسته نمایانگر یک سازش برای به حداقل رساندن مدت‌زمان، پیچیدگی و هزینه آزمون هستند. سازنده ممکن است آمار درستی ردیابی را برای دسته‌های بیش‌تری از سرعت باد گزارش کند و ارتباط با جهت باد را نیز بگنجاند.

۴-۴-۵ فیلتر کردن داده‌ها

۱-۴-۴-۵ کلیات

فیلتر کردن داده‌ها تماماً باید در گزارش آزمون درستی ردیابی مستند شوند.

۲-۴-۴-۵ فیلتر کردن داده‌ها برای محدوده حرکت

اگر سازنده ردیاب یک محدوده حداکثر برای حرکت مشخص کند، تمام داده‌های رخ داده در مدت‌زمانی که خورشید خارج از این محدوده حرکتی خاص بوده باید حذف شود.

۳-۴-۴-۵ فیلتر کردن داده‌ها برای حداقل تابش (اختیاری)

- حذف تمام داده‌های ثبت شده در زمانی که تابش عمود مستقیم کمتر از 250 W/m^2 بوده است.
- حذف تمام داده‌های ثبت شده در زمانی که نسبت تابش عمود مستقیم به تابش عمود کلی کمتر از 0.25 بوده است.
- امتناع از فیلتر کردن تابش ممکن است زمانی مناسب باشد که یک ردیاب برای کاربرد غیر تمرکزی یا کم تمرکز اختصاص یافته است.

۴-۴-۴-۵ فیلتر کردن سایر داده‌ها

اگر هرگونه فیلتر کردن اضافی روی داده‌ها صورت گرفته باشد، این موضوع باید به طور مشخص در گزارش ذکر شود. برای مثال:

- حذف ۳ ساعت از داده‌ها به دلیل مشاهده اینکه یک برگ درخت در طول این زمان بر روی حسگر خورشید سایه انداخته است.
- ثبت نشدن ۲ ساعت از داده‌ها به دلیل خرابی سامانه ثبت داده در یکی از روزهای اندازه‌گیری.
- ۳۰ دقیقه از داده‌ها در یکی از روزهای اندازه‌گیری به دلیل خرابی مکانیکی ردیاب در طول آن زمان، کنار گذاشته شده اند.

۵-۴-۵ مقدار داده‌ها

برای هر چهار مجموعه داده ("باد کم، حداقل اندازه انحراف"، "باد زیاد، حداکثر اندازه انحراف" و مانند آن) اطمینان حاصل شود که تعداد کافی نقطه داده وجود دارد.

توصیه می‌شود داده‌های هر حسگر خطای راستای تابش معیارهای زیر را برآورده سازد:

- حداقل ۳۶۰ نقطه داده پس از فیلتر کردن مطابق بالا.
- داده‌های حاصل از حداقل ۵ روز مجزا، با حداقل ۵۰ نقطه داده در هر روز.
- تعداد نقاط در سرعت باد زیاد (۱۸۰).
- حداقل ۵۰ نقطه داده قبل از ظهر و ۵۰ نقطه داده بعد از ظهر.

۵-۴-۶ محاسبات درستی

برای هر مجموعه داده، دو مقدار به صورت زیر محاسبه کنید:

درستی نوعی: مقدار میانه خطای راستای تابش در مجموعه داده‌های فیلتر شده.

درستی ۹۵ آمین صدک: مقدار ۹۵ آمین صدک خطای راستای تابش در مجموعه داده‌های فیلتر شده. این مقداری است که ۹۵٪ از نقطه داده‌های اندازه‌گیری شده زیر این خطا قرار گیرند.

این مقادیر درستی محاسبه شده ممکن است مطابق زیر جدول ۲ نشان داده شوند. میانگین سرعت‌های باد برای "باد کم" و "باد زیاد" بهتر است به صورت نشان داده شده گزارش شوند.

جدول ۲- نمونه قالب گزارش دهی درستی ردیابی

	باد کم*		باد زیاد**	
	درستی نوعی	درستی ۹۵ آمین صدک	درستی نوعی	درستی ۹۵ آمین صدک
نقطه حداقل انحراف	۰٫۴°	۰٫۸°	۰٫۵°	۱٫۰°
نقطه حداکثر انحراف	۰٫۷°	۱٫۲°	۰٫۸°	۱٫۴°
* باد کم = سرعت باد > ۴ m/s (متوسط اندازه‌گیری شده = ۲٫۶ m/s)				
** باد زیاد = سرعت باد < ۴ m/s (متوسط اندازه‌گیری شده = ۶٫۳ m/s)				

۶ مشخصات مکانیکی

۱-۶ کلیات

این بند، اندازه‌گیری سختی و پس‌زنی ردیاب را شرح می‌دهد. توجه داشته باشید که این اندازه‌گیری‌ها جدا از اندازه‌گیری درستی اشاره شده در بالا می‌باشد: اندازه‌گیری درستی، کل سامانه شامل ساختار، الکترونیک،

الگوریتم‌ها و حسگرها را در شرایط واقعی توصیف می‌کند. اندازه‌گیری‌های سختی و پس‌زنی معمولاً تنها جنبه‌های مکانیکی ردیاب را توصیف می‌کند.

۲-۶ پس‌زنی^۱

پس‌زنی به صورت حرکت آزاد سامانه درایو ردیاب تعریف می‌شود. پس‌زنی، نسبت به هر محور حرکت یک ردیاب معین مشخص خواهد شد و پوشش کامل حرکت آزاد را، برحسب درجه، برای هر محور مشخص خواهد کرد. پس‌زنی می‌تواند به دلیل لقی^۲ بین دندانه‌های درگیر، حرکت در پین یا دیگر اتصالات مکانیکی، کشسانی در سیال هیدرولیکی، یا سازوکارهای^۳ دیگری که خاص سامانه هستند، رخ دهد و ممکن است خود را تحت بادهای شدید، به طور قابل توجه نشان دهند.

بهتر است پس‌زنی زمانی که ردیاب روی پی یا روی یک جایگزین تائید شده از طرف سازنده محکم شده است، اندازه‌گیری شود (آزمون پس‌زنی داخلی). توصیه می‌شود یک بازوی اهرمی مستقیماً به هر یک از محورهای اصلی چرخش متصل شود. توصیه می‌شود ۱۰٪ از گشتاور حداکثر بار به بازوی اهرمی اعمال شود، زیرا هر محور از طریق پوشش حرکتی خود می‌چرخد.

برای آزمون پس‌زنی، نیازی به نصب بار مفید یا سازه پشتیبان بار مفید، روی ردیاب نیست، زیرا پس‌زنی، انحراف در ساختار بار مفید را آزمایش نمی‌کند بلکه حرکت آزاد در سازوکارهای درایو را مورد آزمون قرار می‌دهد. اگر آزمون با بار مفید در محل انجام شود، بهتر است ردیاب به طوری که بار مفید در یک موقعیت متعادل باشد، جهت‌گیری شود.

این مهم است که اهرم به سازه بار مفید متصل نباشد بلکه روی رابط بار مفید به محورهای چرخش متصل باشد. اتصال نادرست بازوی اهرمی به بار مفید می‌تواند منجر به یک اندازه‌گیری شود که ترکیبی از انحراف کشسان ساختاری و پس‌زنی می‌باشد. همچنین بسیار مهم است که یک بازوی اهرمی استفاده شود که تحت گشتاور آزمون پس‌زنی مشخص شده، انحراف قابل توجهی را نشان ندهد.

۳-۶ سختی

سختی رابطه معکوسی با تغییر شکل بخش خاص تحت بار دارد.

سختی ردیاب ممکن است با نصب ردیاب به زمین یا واکنش کامل واحد زمین با در نظر گرفتن سختی بینهایت برای آن، تعیین شود (به عنوان مثال، صفحه فلزی بزرگ بر روی کف بتنی)؛ یک بازوی اهرمی با حرکت توسط یک نیروی خارجی، به صورت هم محور با هر محور، مورد آزمون قرار می‌گیرد. سختی توسط سامانه درایو دنده، قاب و ماژول‌های متصل شده به آن و پی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (که ممکن است سختی به ردیاب اضافه کند)؛ توصیه می‌شود سختی با یک ماژول بار مفید در محل، مورد آزمون قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که هر محور به طور مستقل آزمون شود تا سختی کل سامانه تعیین شود.

1- Backlash
2- Clearance
3- Mechanisms

۷ آزمون قابلیت اطمینان

۱-۷ خوردگی

بهتر است پوشش‌ها مشخص شوند. اگر پوشش بر اساس یک استاندارد صنعتی اعمال شده باشد، توصیه می‌شود آن استاندارد مشخص شود.

اگر هر آزمون خوردگی انجام شده باشد، بهتر است روش آزمون مشخص شود. توصیه می‌شود طول عمر مواد، بدون تعمیر و نگهداری و به صورت تخمینی مشخص شود.

۲-۷ دوام اجزا

بهتر است آزمون چرخه عمر برای سامانه درایو برای قطعات متحرک با باری که نماینده ای از بار حداکثر ردیاب است، انجام شود.

مدت زمان معقول آزمون برابر با ۱۰ سال از عمر یا بیشتر می‌باشد. از آنجایی که محرک تنها یکبار در روز روی ردیاب خورشیدی می‌چرخد، آزمون می‌تواند توسط تعداد چرخش بیشتر در روز، تسریع شود. توصیه می‌شود آزمون در فضای بیرونی یا یک محفظه شبیه سازی شرایط محیطی^۱ انجام شود و شرایط آن در گزارش آزمون ثبت شود.

بهتر است درستی، پس‌زنی و سختی قبل و بعد از اینکه چرخه آزمون تکمیل شد، اندازه‌گیری و گزارش شود.

۳-۷ آزمون‌های شرایط فوق‌العاده

این آزمون‌ها به منظور ارائه اطلاعات در مورد عملکرد ردیاب تحت شرایط محیطی فوق‌العاده همچون بار باد و بار برفی، در نظر گرفته شده‌اند. شرایط محیطی فوق‌العاده می‌تواند روی تولید برق ماژول ردیاب‌ها، تأثیر بگذارد. آزمون حداکثر بار استاتیکی و گشتاور، با عدم حرکت ردیاب انجام می‌شود. حداکثر بار به ردیاب اعمال می‌شود. بعد از اینکه بار برداشته شد، ردیاب دوباره به شرایط بهره‌برداری برمی‌گردد و خطای راستای تابش در طول یک دوره از روز اندازه‌گیری می‌شود.

آزمون حداکثر بار دینامیکی و گشتاور در طول عملکرد ردیاب انجام می‌شود. حداکثر بار در طول بهره‌برداری از ردیاب به آن اعمال می‌شود. خطای راستای تابش تحت حداکثر بار دینامیکی در طول دوره یک روزه اندازه‌گیری می‌شود. بعد از اینکه بار برداشته شد، بهتر است خطای راستای تابش دوباره برای یک روز اندازه‌گیری شود. توصیه می‌شود خطای راستای تابش تحت بار و بدون بار روی یک طرح واحد ارائه شود.

چندین طرح برای تولید این بارها پیشنهاد شده است؛ باد مصنوعی، کیسه‌های شن، کیسه‌های آب، سامانه‌ای از سیلندرهای پنوماتیک، یا دیگر طرح‌هایی که می‌توانند استفاده شوند. بهتر است روش بارگذاری و مقادیر بار در گزارش ثبت شود.

1- Environmental chamber

۸ محاسبات درستی اختیاری اضافی

۱-۸ گستره درستی ردیابی معمولی

اگر ساده کردن جدول با هشت مقدار درستی در "محاسبات درستی" ارائه شده در بند ۵-۴-۶ مورد نظر باشد، روند زیر می تواند دنبال شود:

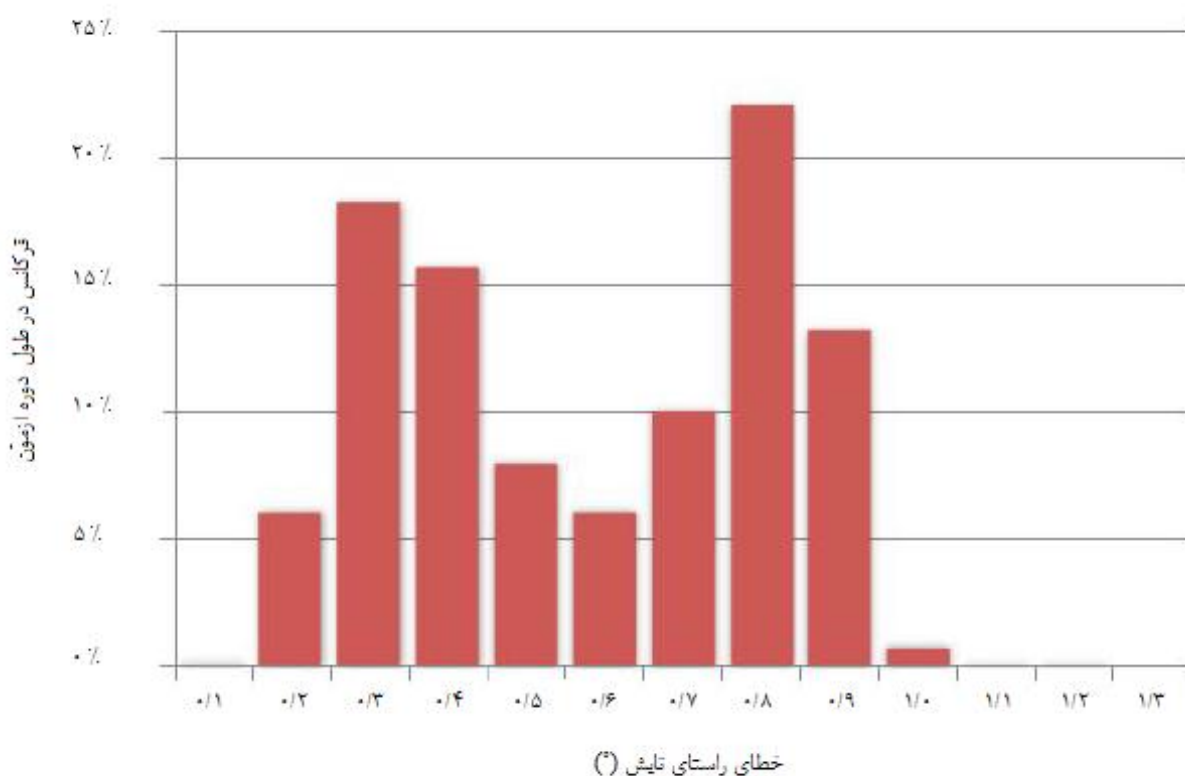
"درستی ردیاب (بهترین نوع)" نتیجه باد کم، درستی معمولی و آرایه نقطه انحراف حداقل می باشد. برای مثال، از داده های جدول ۲، می تواند به صورت 0.4° گزارش شود. این یک روش ارائه مقادیر سریع برای یک خطا "شرایط معمولی خوب با حداقل انحراف" هست.

"درستی ردیاب (بدترین نوع)" نتیجه باد شدید، درستی ۹۵ امین صدک و آرایه نقطه انحراف حداکثر می باشد. برای مثال، در جدول ۲، می تواند به صورت 1.4° گزارش شود. این یک روش ارائه یک تک عدد به عنوان تقریباً "بدترین مورد خطا" برای راهنمایی طراحی می باشد، هر چند مطلقاً بدترین مورد ممکن نخواهد بود (این عمدی است، برای جلوگیری از تأثیر یک یا دونقطه داده پرت نادر می باشد).

این دو مقدار می توانند به یک متریک ساده برای گستره درستی، ترکیب شوند، "درستی ردیابی معمولی: بهترین- بدترین". برای مثال، از مجموعه داده استفاده شده برای جدول ۲، درستی می تواند به عنوان "گستره درستی ردیابی معمولی: $0.4^\circ - 1.4^\circ$ " گزارش شود.

۲-۸ ردیابی هیستوگرام خطا

علاوه بر موارد فوق، خطای راستای تابش در صورت تمایل می تواند به صورت یک نمودار هیستوگرام نیز رسم شود که فرکانس اندازه های خطا برای دوره کامل آزمون را مطابق شکل ۵ نشان می دهد.



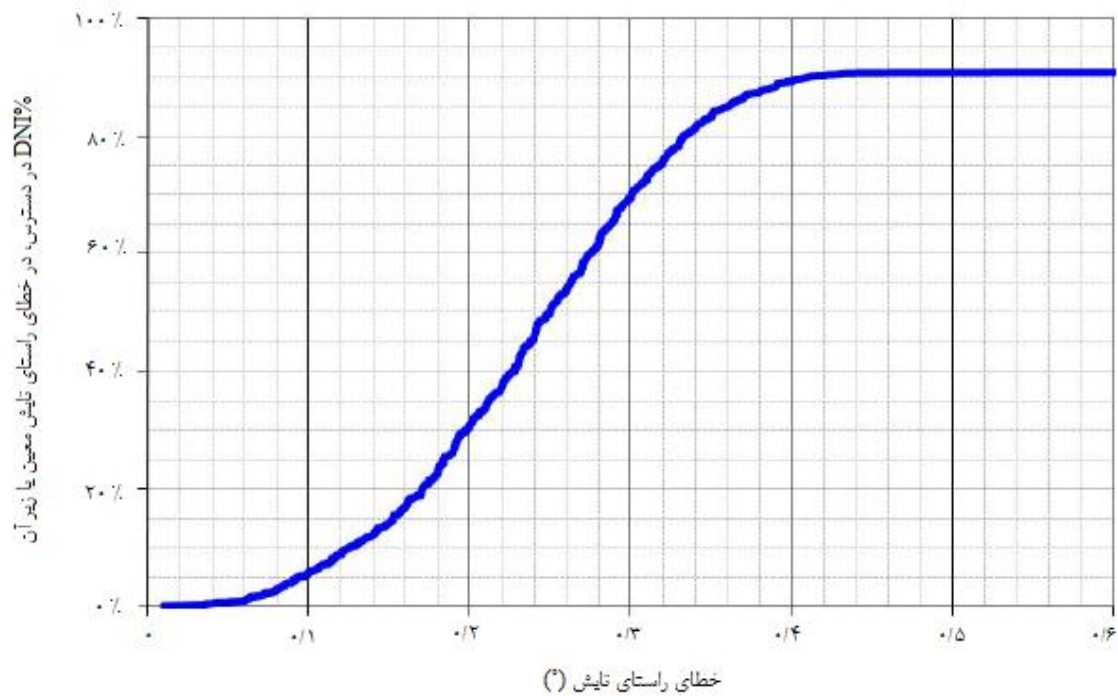
شکل ۵- توزیع فرکانس خطای راستای تابش در یک دوره ی آزمون کامل

۳-۸ درصد تابش در دسترس به صورت تابعی از خطای راستای تابش

داده‌های خطای راستای تابش، می‌توانند با داده‌های DNI، ترکیب‌شده؛ و نمودار وزن خطای راستای تابش اندازه‌گیری شده را، برحسب DNI موجود، ایجاد کنند.

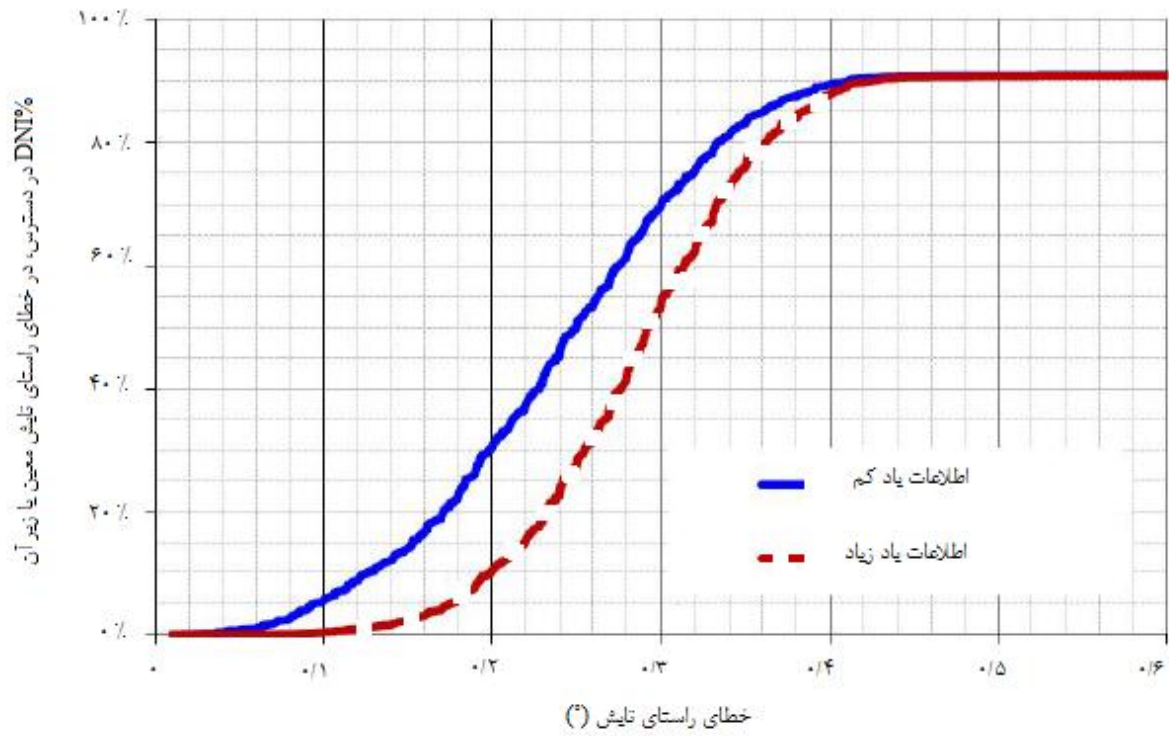
داده‌های خطای راستای تابش جمع‌آوری شده توسط خطای ردیابی به صورت صعودی مرتب‌شده‌اند.

برای هر خطای راستای تابش، انتگرال (یا جمع تجمعی) تابش عمود مستقیم، در یا زیر آن خطا، محاسبه شده و نمودار نتایج مطابق با شکل ۶ رسم شود.



شکل ۶- تابش در دسترس به صورت تابعی از خطای راستای تابش

اگر مطلوب باشد، داده‌های اولیه، به دسته‌های با هر پارامتر موردنظری (برای مثال سرعت باد) تقسیم شوند و فرایند بالا روی هر دسته به‌طور مجزا اجرا شود. یک مثال در شکل ۷ نشان داده شده است:



شکل ۷- تابش در دسترس به صورت تابعی از خطای راستای تابش با در نظر گرفتن سرعت باد