Archive of SID

امکان‌سنجی و طراحی مفهومی آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک

■ جلال نوری *+، اختر شجاعی اردکانی[1]، شبنم ضیائی[2]، مسعود محمدی[3]، محمد حسین شمس[4] و کوروس حمزه[5]
تهران، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف، صندوق پستی: 686-13445

تاریخ دریافت: 1392/10/28 و تاریخ پذیرش: 1392/12/24

چکیده

پایان‌پذیری منابع انرژی فسیلی و اثر نامطلوب آنها بر تغییرات آب و هوایی سبب شده است تا رویکرد جایگزینی این سوخت‌ها با منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر به‌سرعت در سطح جهان گسترش یابد. کشور ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی مناسب و پتانسیل بالای تابش خورشید، از فرصت ایده‌آلی برای توسعه صنعت انرژی خورشیدی، به‌ویژه سامانه‌های فتوولتائیک برخوردار است. سلول و مدول فتولتائیک، مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین اقلام سامانه‌های فتوولتائیک محسوب می‌شوند که باید از طریق سازندگان خارجی و یا داخلی تأمین شوند. اطمینان از کیفیت این محصولات برای دستیابی به بازدهی و طول عمر بالای سامانه‌های فتوولتائیک ضروری است. آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک، به‌عنوان یک نهاد مسوول در این امر، علاوه بر تضمین کیفیت محصولات و خطوط تولید، می‌تواند به تحقیق و توسعه این فناوری نیز کمک کند. این مقاله با توجه به انجام این سه وظیفه، بر امکان‌سنجی و طراحی مفهومی آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک متمرکز شده است. در این مقاله به فهرست و رویه انجام آزمون‌های استاندارد، تجهیزات و استانداردهای مرتبط، نحوه تأمین خارجی و داخلی تجهیزات آزمایشگاهی، پیشنهاد ساختار سازمانی، برآورد فضای آزمایشگاهی و در نهایت برآورد زمان و هزینه تأسیس و راه‌اندازی آزمایشگاه اشاره شده است.

واژگان کلیدی: آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک، امکان‌سنجی، استاندارد، تجهیزات آزمایشگاهی، ساختار سازمانی، فضای آزمایشگاهی.

* عهده دار مکاتبات
+ شماره نمابر: 021-66075013 و آدرس پست الکترونیکی: Jalalnouri@yahoo.com
1 شماره نمابر: 021-66075013 و آدرس پست الکترونیکی: akhtar.shojaei.ardakani@gmail.com
2 شماره نمابر: 021-66075013 و آدرس پست الکترونیکی: ziaee.shabnam@ee.kntu.ac.ir
3 شماره نمابر: 021-66075013 و آدرس پست الکترونیکی: masood_mdi@yahoo.com
4 شماره نمابر: 021-66075013 و آدرس پست الکترونیکی: mhshams@alum.sharif.edu
5 شماره نمابر: 021-66075013 و آدرس پست الکترونیکی: hamze@acecr.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

1- مقدمه

با توجه به ماهیت پایان‌پذیر منابع انرژی فسیلی و آلودگی ناشی از مصرف این سوخت‌ها، رویکرد استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌سرعت در سطح جهان رو به گسترش است. در کشور ایران نیز به دلیل شرایط جغرافیایی و آب و هوایی مناسب و وسعت سرزمینی، صنعت فتوولتائیک از توان بالقوه‌ای برای توسعه برخوردار است.

طبق ماده 139 قانون برنامه پنجم توسعه، دولت مجاز شده است که زمینه را برای افزایش ظرفیت نیروگاه‌های بادی و خورشیدی تا سقف 5000 مگاوات فراهم کند[1]. از ماده 133 قانون برنامه پنجم توسعه و ماده 62 اصلاح الگوی مصرف انرژی نیز برمی‌آید که توسعه نیروگاه‌ها توسط بخش خصوصی و در مقیاس‌های کوچک مورد توجه هستند و قراردادهای خرید تضمینی و تعرفه‌های بالاتر خرید برق تجدیدپذیر در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی برای تشویق سرمایه‌گذاران بخش خصوصی درنظرگرفته شده‌اند[1 و 2].

با توجه به برنامه‌های دولتی و اهداف نهادهای اجرایی و سرمایه‌گذاری که گاه تا احداث 1500 مگاوات نیروگاه خورشیدی در برنامه 10 ساله را در نظر دارند، انتظار می‌رود که بازار بزرگی از محصولات فتوولتائیک، اعم از سلول، مدول، اینورتر و سایر تجهیزات مکمل نیروگاهی ایجاد شود. تامین نیاز این بازار بزرگ در افق تحقق برنامه‌های دولت و کارفرما، نیازمند ورود حجم عظیم محصولات مختلف داخلی و خارجی و ظهور تولیدکنندگان قوی محصولات فتوولتائیک خواهد بود. به همین منظور، لازم است سازوکار و ابزاری فراهم شود تا به نیازهای بازار پاسخ داده شود.

یکی از نیازهای اساسی در این زمینه، وجود آزمایشگاه‌های معتبر ارزیابی کیفیت محصولات است. نیروگاه‌های فتوولتائیک برای دستیابی به بیشترین بازده و بهره‌برداری بهینه، نیازمند استفاده از تجهیزات سالم و با قابلیت اطمینان بالا، از جمله در زمینه سلول و مدول فتوولتائیک هستند. انجام این مهم، در گرو ارزیابی و آزمایش دقیق تجهیزات در آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک است.

این مقاله در تلاش است تا ضمن اشاره به ضرورت‌ها و اهداف راه‌اندازی آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک، به ارائه مطالعات انجام‌شده در زمینه امکان‌سنجی و طراحی آن بپردازد. در این زمینه، ابتدا به خدمات مورد انتظار از آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک، دانش فنی و استانداردهای مرتبط با سلول و مدول فتوولتائیک، روند انجام آزمون‌های عملکرد و ایمنی، فهرست تجهیزات و دستگاه‌های انجام آزمون‌ها و نحوه تامین آنها اشاره می‌شود. در ادامه، ویژگی‌های استقرار و کاربری تجهیزات، نیروی انسانی مورد نیاز برای بهره‌برداری آزمایشگاه و تخصص‌های مرتبط، ویژگی‌های مکانی و فضاهای آزمایشگاه و تخمین مساحت لازم برای احداث آزمایشگاه تشریح شده است. در بخش پایانی نیز فعالیت‌های احداث و راه‌اندازی آزمایشگاه به همراه برآورد زمانی و هزینه‌ای آنها ارائه می‌شود. در این مقاله، برای اختصار، از ترکیب «آزمایشگاه مرجع» برای اشاره به «آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک» استفاده شده است.

2- روش تحقیق

اقدامات مطالعاتی و اجرایی امکان‌سنجی تاسیس آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک، به مراحل زیر تقسیم شده است:

1- شناسایی انواع آزمون‌ها و استانداردهای مرتبط با آزمایشگاه؛
2- شناسایی آزمایشگاه‌های مرجع مطرح در سطح جهان و پتانسیل آزمایشگاه‌های داخلی برای انجام برخی آزمون‌ها؛
3- شناسایی تجهیزات و دستگاه‌های لازم در آزمایشگاه مرجع و تامین‌کنندگان داخلی و خارجی این دستگاه‌ها؛
4- طراحی مفهومی آزمایشگاه مرجع؛
5- استخراج هزینه و زمان تاسیس آن.

دو مرحله اول به‌عنوان شالوده و مبنای علمی و عملی اقدامات تاسیس آزمایشگاه مرجع از اهمیت زیادی برخوردارند. شناسایی حدود 16 استاندارد مرتبط با آزمون‌های عملکرد و ایمنی سلول و مدول فتوولتائیک و نزدیک به 30 آزمون مختلف برای ارزیابی و کنترل کیفی سلول و مدول، حاصل این مطالعات بوده است. همچنین، شناسایی توان بالقوه داخلی و آزمایشگاه‌های مرجع خارجی مطرح در زمینه فتوولتائیک به‌عنوان بخشی از ارزیابی اجرایی آزمایش‌ها درصورت تاسیس نشدن آزمایشگاه مرجع داخلی مورد مطالعه قرار گرفته است.

تجهیزات و دستگاه‌های لازم برای آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک براساس نیاز آزمون‌های مختلف و استانداردهای مربوطه استخراج شده است. اهمیت این بخش از مطالعات، در سه بعد امکان‌سنجی تامین دستگاه‌ها (خرید داخل/خارج و یا ساخت داخل)، هزینه تامین دستگاه‌ها و طراحی و تخمین فضاهای آزمایشگاهی است. به همین دلیل، بخشی از مطالعات به شناسایی تامین‌کنندگان این دستگاه‌ها اختصاص یافته است.

در مرحله سوم مطالعات نیز، طراحی فضاهای آزمایشگاهی، ساختار سازمانی، برآوردهای زمانی و مالی اجرای طرح انجام و ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

3- ضرورت‌ها، اهداف و مزیت‌های تاسیس آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک

آزمایشگاه‌ها، محل تلاقی دستاوردهای علمی بشر با نیازهای فنی صنایع مختلف است که با استفاده از ابزار و امکانات خاص، یافته‌های پژوهشی و تحقیقاتی را در جهت ارتقای کیفیت محصولات و در نهایت بهبود کیفیت زندگی بشر سوق می‌دهد. فلسفه تشکیل این آزمایشگاه‌ها ضمن پشتیبانی در انجام پروژه‌های تحقیقاتی، انجام آزمون‌های کنترل کیفی محصولات است. اطلاق واژه «مرجع» در خصوص آزمایشگاه‌های مرجع نیز نشانگر نقش تصمیم‌گیر آنها در مورد موضوع بسیار مهم کنترل کیفیت تجهیزات است.

با توجه به عمر طولانی مورد انتظار از نیروگاه‌های فتولتائیک (20 تا 25 سال)، ارزیابی کیفی محصولات ارائه‌شده به بازار و اطمینان از ویژگی‌های درج‌شده روی محصولات از اهمیت بالایی برخوردار است. دستیابی به این اطمینان، به چهار روش قابل انجام است:

1- استناد و اکتفا به اطلاعات و ادعاهای سازندگان و فروشندگان؛
2- استناد و اکتفا به تأییدیه‌های سازندگان از سازمان‌ها و موسسات استاندارد جهانی؛
3- درخواست بررسی، ارزیابی و تایید از آزمایشگاه‌های خارجی؛
4- بررسی، ارزیابی و تایید محصولات در آزمایشگاه‌های داخلی.

دو روش اول تنها در سیستم‌های با ظرفیت کم و محدود قابل پذیرش است؛ به‌ویژه که محصولات شرکت‌های بزرگ اغلب دارای درجه‌بندی‌هایی است که بنا بر نوع مشتری و بازار هدف، ساخته می‌شوند. ولی در بازارهای بزرگ استفاده از دو روش سوم و چهارم گریزناپذیر است. با توجه به اینکه پاسخ‌گویی به نیازهای بازار داخلی قطعا با راه‌اندازی خطوط تولید انبوه سلول و به‌ویژه مدول همراه خواهد بود، استفاده صرف از آزمایشگاه‌های خارجی چندان مقرون به‌صرفه نیست. به‌علاوه که تولید محصولات داخلی باکیفیت، به شدت نیازمند تقویت بخش تحقیق و توسعه در کشور است. از این‌رو، آزمایشگاه‌های مرجع با رسالت ذاتی خود در زمینه تحقیق و توسعه، ابزاری مهم برای ایجاد اطمینان در بازار بزرگ آینده صنعت فتولتائیک خواهند بود.

از سوی دیگر، با توجه به نبود آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک در منطقه خاورمیانه، تاسیس یک آزمایشگاه مرجع در کشور می‌تواند نقطه عطفی در صنعت فتوولتائیک منطقه و ورود به بازارهای منطقه‌ای و ارائه خدمات پیشرفته صنعتی باشد.

ایجاد فرصت‌های شغلی جدید در حوزه فناوری‌های پیشرفته و جلوگیری از خروج ارز از کشور مقوله دیگری است که با راه‌اندازی آزمایشگاه مرجع دنبال می‌شود. هم‌اکنون، برای انجام آزمون‌های مربوط به سلول و مدول فتوولتائیک، ارسال نمونه به خارج از کشور اجتناب‌ناپذیر است؛ ولی با وجود آزمایشگاه مرجع تخصصی فتوولتائیک، این امکان فراهم می‌شود که با توجه به امکانات و تجهیزات، نمونه‌های مربوطه در داخل کشور و در آزمایشگاه مرجع آزمایش شود.

به این ترتیب، ضرورت‌ها، اهداف و مزیت‌های تاسیس آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک را می‌توان به‌شکل زیر خلاصه کرد:

1- پاسخ‌گویی صحیح، هدفمند و پایدار به برنامه‌های چشم‌انداز توسعه صنعت و فناوری فتوولتائیک کشور؛
2- تضمین اجرای الزامات فنی، عملکردی و اقتصادی توسعه نیروگاه‌های فتوولتائیک؛
3- ایجاد مرجعی رسمی و توانمند برای ارزیابی کیفی محصولات (سلول و مدول) داخلی و خارجی؛
4- ورود ناگزیر کشور به عرصه راه‌اندازی خطوط تولید مدول فتوولتائیک و لزوم کمک به توسعه پایدار تولیدات داخلی؛
5- پاسخ‌گویی صحیح به نیازهای بازار داخلی، در مواجهه با ورود اجتناب‌ناپذیر محصولات متنوع داخلی و خارجی در آینده؛
6- زمینه‌سازی اشتغال و ورود به فناوری‌های نوین و نوظهور در زمینه سلول و مدول فتوولتائیک؛
7- زمینه‌سازی برای فعالیت‌های بین‌المللی و منطقه‌ای با توجه به رشد و گسترش سریع کاربرد این فناوری در منطقه؛
8- افزایش اعتماد برای استفاده از تجهیزات در صنعت فتوولتائیک به‌ویژه تولیدات داخل؛
9- حذف مرورهای زائد و کاهش هزینه‌ها و ایجاد امکان تصمیم‌گیری در مراحل مختلف برای کاهش چالش‌های احتمالی در برنامه‌های رشد و توسعه شبکه در صنعت برق از دیدگاه تجهیزات مورد استفاده؛
10- حفاظت از تندرستی و رفاه مصرف‌کنندگان از طریق افزایش ایمنی محصولات.

4- خدمات آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک

فعالیت اصلی آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک به سه بخش انجام آزمون‌ها بر روی تجهیزات، کنترل کیفیت در محل کارخانه و تحقیق و توسعه تقسیم می‌شود. منظور از کنترل کیفیت در محل، نظارت و انجام آزمون‌های کیفی است که باید از سوی سازنده در همان محل کارخانه براساس ضوابط

www.SID.ir

Archive of SID

مشخص‌شده از سوی آزمایشگاه مرجع انجام شود.

آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک به‌منظور صدور گواهینامه‌های احراز صلاحیت تجهیزات فتوولتائیک و همچنین تولید سلول‌ها و مدول‌های مرجع، پس از اعلام نتایج آزمون‌ها به مشتریان، عیوب احتمالی آن تجهیزات را مشخص می‌کند و مشتری می‌تواند نسبت به رفع آن اقدام نماید. این فرآیند ادامه پیدا می‌کند تا محصولی باکیفیت تولید شود و بتواند گواهی‌نامه مربوط به تاییدیه محصول را اخذ کند.

همچنین، در بیشتر این آزمایشگاه‌ها، بخش‌های پژوهشی و مطالعاتی در زمینه بهبود بازده تجهیزات فتوولتائیک وجود دارد. این بخش‌ها، با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه اقدام به طراحی و ساخت تجهیزات فتوولتائیک می‌کنند و از طریق ارتباط تنگاتنگ با صنعت، به امکان‌سنجی صنعتی‌کردن آنها می‌پردازند.

آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک در سطح بین‌المللی نیز می‌تواند با داشتن گواهی‌نامه مدیریت کیفیت مبتنی بر استاندارد ISO/IEC 17025:2005، مشارکت با آزمایشگاه‌های خارج از کشور را به‌عنوان یک سرفصل جدید باز کند. بخش امور بین‌الملل آزمایشگاه می‌تواند متولی انجام این امور باشد. دورنمای فعالیت فرامرزی آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک، ارائه خدمات آزمایشگاهی در درجه اول به کشورهای همسایه و منطقه است.

پایگاه‌هایی نیز در دنیا هستند که نمونه‌هایی از سلول و مدول با نتایج مشخص (کالیبره‌شده) را می‌فرستند و می‌توان نتایج آزمون‌ها را برای آن پایگاه ارسال و میزان صحت آزمون‌ها را که به آزمون‌های شایستگی[6] معروفند، دریافت کرد.

یکی دیگر از فعالیت‌ها، مقایسه بین آزمایشگاهی[7] است؛ یعنی دو آزمایشگاه با هم یک نمونه مشترک را آزمایش می‌کنند و اگر اختلافی پیش بیاید باید یک کار کارشناسی روی آن انجام شود تا مشخص شود وضعیت انجام آزمون در آزمایشگاه‌ها به چه صورت و با چه کیفیتی است.

به‌طور خلاصه، خدمات آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک را می‌توان به ترتیب زیر بیان کرد:

1- بررسی رعایت استانداردهای بین‌المللی سلول و مدول فتوولتائیک؛

2- انجام انواع آزمون‌های فتوولتائیک مرتبط با عملکرد و ایمنی سلول و مدول فتوولتائیک؛

3- تحقیق و توسعه فناوری‌های مرتبط با ساخت سلول و مدول فتوولتائیک.

5- نهادهای بالقوه برای حمایت مالی و علمی از تاسیس آزمایشگاه مرجع

اداره آزمایشگاه‌های مرجع یک امر حاکمیتی است که باید توسط نهادهای دولتی صورت گیرد و این آزمایشگاه‌ها باید در موسسات و واحدهایی باشند که در نتایج آزمون‌ها ذی‌نفع نیستند. به همین منظور، نهادهایی تعریف شده‌اند که موظفند یا می‌توانند از طریق همکاری‌های مالی، زیرساختی و علمی در ایجاد آزمایشگاه‌های مرجع مشارکت کنند. از جمله این نهادها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **سازمان ملی استاندارد** از طریق مساعدت و همکاری برای راه‌اندازی آزمایشگاه‌های مرجع و واگذاری مکان مورد نیاز؛
- **معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری** از طریق معاونت‌های «علمی و پژوهشی»، «فناوری و نوآوری» و «امور بین‌الملل و انتقال فناوری»؛
- **شرکت توانیر** از طریق حمایت‌های مالی برای راه‌اندازی آزمایشگاه‌های مرجع؛
- **پژوهشگاه نیرو** از طریق فراهم کردن امکانات مناسب فنی، نرم‌افزاری، سخت‌افزاری و همچنین تامین نیروهای کارشناسی کارآزموده و با تجربه؛
- **کمیته ملی برق و الکترونیک ایران** با داشتن اعضای صاحب‌نظر در فعالیت‌های علمی – بین‌المللی و مشاوره در تاسیس آزمایشگاه مرجع؛
- **جهاد دانشگاهی** از طریق امکانات سازمانی، نیروی انسانی و مدیریتی و تجربیات مشابه در مجتمع تحقیقاتی جهاد دانشگاهی؛
- **سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)** به‌عنوان متولی توسعه فناوری فتوولتائیک و سابقه فعالیت در زمینه احداث و بهره‌برداری از نیروگاه‌های خورشیدی؛
- **انجمن علمی خورشیدی ایران** با داشتن اعضای صاحب‌نظر در فعالیت‌های علمی – بین‌المللی در صنعت فتوولتائیک و مشاوره در تاسیس آزمایشگاه مرجع.

6- آزمایشگاه‌های مرجع داخلی و خارجی فعال در زمینه آزمون‌های فتوولتائیک و غیرفتوولتائیک

نیاز کشور به امکاناتی برای سنجش محصولات فتوولتائیک و کسب اطمینان از صحت عملکرد سلول‌ها و مدول‌های فتوولتائیک سبب شده است که چند آزمایشگاه فعالیت خود را

6 Proficiency Test
7 Inter-laboratory Comparison

www.SID.ir

Archive of SID

آغاز کنند. با این حال، هنوز هیچ‌یک نمی‌توانند خود را به‌عنوان آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک معرفی کنند؛ زیرا دارای تجهیزات و امکانات لازم برای انجام همه آزمایش‌های اصلی فتوولتائیک نیستند. از میان آزمایشگاه‌های فعال در زمین فتوولتائیک، می‌توان به شرکت «آزمایشگاه‌های صنایع برق ایران (اپیل)[8]» و شرکت سازنده سلول و مدول فتوولتائیک «هدایت نور» اشاره کرد. سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران نیز در سال 1388 طرحی پژوهشی را با موضوع آزمایشگاه مرجع انجام داده است که در آن به الزامات اجرای آزمون‌های فتوولتائیک با توجه به استانداردهای موجود اشاره شده است. البته در این طرح به ارزیابی و امکان‌سنجی اشاره‌ای نشده است.

شرکت آزمایشگاه‌های صنایع برق ایران از آبان‌ماه 1390، آزمایش روی مدول‌های فتوولتائیک را آغاز کرده است. بنا بر اظهارات مسئولین آزمایشگاه اپیل، این آزمایشگاه تمامی آزمون‌های استانداردهای جهانی IEC 61215 و IEC 61730 را می‌تواند انجام دهد. البته به دلیل نداشتن شبیه‌ساز خورشیدی هنوز امکان انجام آزمون‌های داخلی را که نیازمند نور مصنوعی و شبیه‌سازهای ضربانی است، ندارد. همچنین این مرکز امکانات مربوط به آزمون‌های تگرگ و فرابنفش را ندارد[28].

شرکت برق آفتابی هدایت نور نیز که در دو زمینه فیبر نوری و سلول و مدول فتولتائیک فعالیت می‌کند، در سال 1371 اولین خط تولید سلول و مدول خورشیدی را با استفاده از فناوری کشور آلمان با ظرفیت 3 MW در تهران به بهره‌برداری رساند و در سال 1389 نیز یک خط تولید جدید به ظرفیت 10 مگاوات در شهر یزد راه‌اندازی کرده است. همانند تمام کارخانه‌های تولید سلول و مدول خورشیدی، شرکت هدایت نور نیز در کنار خط تولید، از دستگاه‌های آزمون متداول مانند چند نمونه شبیه‌سازهای ضربانی خورشیدی برای بررسی عملکرد سلول‌ها و مدول‌ها استفاده می‌کند؛ ولی امکانات لازم برای انجام کل آزمون‌های عملکردی و ایمنی را ندارد[29].

باید توجه کرد که برخی از آزمون‌های مدول فتوولتائیک، عمومی هستند و حتی براساس استانداردهای غیرفتوولتائیک انجام می‌شوند. از این‌رو، سایر آزمایشگاه‌های مرجع ایران نیز ممکن است برخی از آزمون‌های مشابه با مدول‌های فتوولتائیک را داشته باشند. جدول شماره 1 فهرست آزمایشگاه‌های مرجع ایران و توان بالقوه آزمون‌های فتوولتائیک را نشان می‌دهد.

8 Electrical Power Industries Laboratories (EPIL)

جدول 1: فهرست آزمایشگاه‌های مرجع داخلی و آزمون‌های فتوولتائیک آنها

ردیف	نام آزمایشگاه	زمینه فعالیت	آزمون‌های مشابه فتوولتائیک
1	شرکت آزمایشگاه‌های صنایع برق ایران (EPIL)	فتوولتائیک و غیرفتوولتائیک	برخی آزمون‌های IEC 61215 و IEC 61646
2	آزمایشگاه مرجع فشار قوی پژوهشگاه نیرو	غیرفتوولتائیک	استقامت عایقی
3	آزمایشگاه مرجع سنجش کیفیت پژوهشگاه نیرو	غیرفتوولتائیک	استقامت عایقی تأثیر حرارت
4	آزمایشگاه‌های شرکت مقره‌سازی ایران	غیرفتوولتائیک	استحکام مکانیکی مقاومت شوک حرارتی
5	شرکت مهندسین مشاور معیار توسعه نیرو	غیرفتوولتائیک	مقاومت عایقی
6	شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران	غیرفتوولتائیک	مقاومت عایقی
7	شرکت فنی مهندسی سایا نیرو	غیرفتوولتائیک	تأثیر حرارت
8	شرکت پارس	غیرفتوولتائیک	استحکام کششی و خمشی
9	شرکت عایق‌های الکتریکی پارس	غیرفتوولتائیک	استحکام کششی و خمشی

برخلاف وضعیت داخلی، آزمایشگاه‌های مرجع زیادی در سطح جهان در زمینه فتوولتائیک فعالیت می‌کنند که بیشتر در کشورهای آمریکا، آلمان، اسپانیا مستقرند. این آزمایشگاه‌ها اغلب آزمون‌های عملکردی و ایمنی سلول و مدول فتوولتائیک را مطابق با استانداردهای IEC 61215 و IEC 61730 انجام می‌دهند. این آزمایشگاه‌ها علاوه بر ارائه خدمات آزمایشگاهی، به تحقیق و توسعه در زمینه طراحی، ساخت و بهبود کیفیت سلول‌ها و مدول‌های فتوولتائیک نیز می‌پردازند. جدول شماره 2 فهرست آزمایشگاه‌های مرجع فتوولتائیک مطرح در سطح جهانی را نشان می‌دهد.

جدول 2: فهرست آزمایشگاه‌های مرجع فتوولتائیک مطرح در جهان

ردیف	نام آزمایشگاه	مکان آزمایشگاه
1	NREL	گلدن کلرادو، آمریکا
2	TUV Rheinland Photovoltaic Testing Laboratory	بین‌المللی به مرکز آمریکا
3	Sandia National Laboratory	آمریکا
4	University of Delaware, IEC, Institute of Energy Conversion	آمریکا
5	Pacific Energy Testing, LLC	آمریکا
6	Florida Solar Energy Center	آمریکا
7	CFV Solar Test Laboratory, Inc.	آمریکا
8	Intertek	شرکت بین‌المللی
9	AT4 Wireless Test Laboratory	بین‌المللی به مرکز اسپانیا
10	Fraunhofer ISE(callab)	فرایبرگ، آلمان
11	Solab test laboratory for large-scale PV modules	اشتوتگارت، آلمان
12	Cener National Renewable Energy Center	اسپانیا
13	PI-Berlin	برلین، آلمان
14	PV Evolution Labs	سن‌پترزبورگ، روسیه
15	European Solar Test Installation (ESTI)	ایسپرا، ایتالیا
16	The Photovoltaic-Laboratory(PV-Lab) of IMT	لوزان، سویس
17	Advanced Industrial Science and Technology (AIST)	ژاپن
18	Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS)	سنگاپور
19	Ingenero	استرالیا

www.SID.ir

Archive of SID

7- استانداردهای مرتبط با سلول و مدول فتوولتائیک و روند آزمون‌های بررسی ویژگی‌های یک مدول

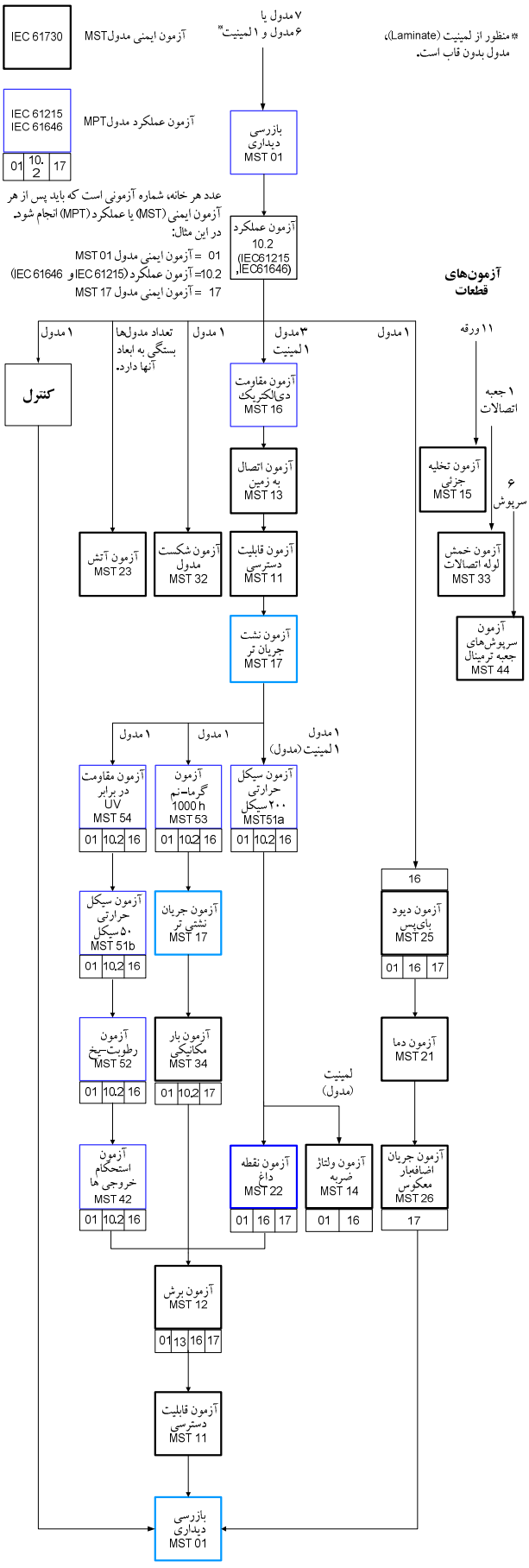
در بخش انجام آزمون‌ها چه برای کالیبره کردن سلول و مدول، و چه برای اعطای گواهینامه احراز صلاحیت، آزمایشگاه‌ها از استانداردهایی پیروی می‌کنند. این استانداردها به طور کلی نحوه انجام آزمایش و روند آنها را نشان می‌دهند. استانداردهایی که در حال حاضر برای تهیه قطعات مرجع (سلول و مدول) استفاده می‌شوند، در جدول شماره 3 و استانداردهایی که برای احراز صلاحیت مدول‌ها تدوین شده‌اند، در جدول شماره 4 آمده است. معادل برخی از این استانداردها در داخل ایران نیز تدوین شده که شماره ملی آنها در زیر شماره بین‌المللی آورده شده است. روند انجام آزمون‌های احراز صلاحیت عملکرد و آزمون‌های ایمنی مدول‌ها براساس استاندارد IEC 61730 نیز در شکل شماره 1 نشان داده شده است.

جدول 3: استانداردهای فتوولتائیک برای قطعات فتوولتائیک

ردیف	منطقه	کد استاندارد	نام استاندارد
1	اروپا	IEC 60904-1 ایران 14115-1	بخش 1: اندازه‌گیری مشخصه‌های جریان-ولتاژ قطعات فتوولتائیک
2	اروپا	IEC 60904-2	بخش 2: الزامات قطعات خورشیدی مرجع
3	اروپا	I IEC 60904-3 ایران 14115-3	بخش 3: قواعد اندازه‌گیری برای قطعات فتوولتائیک زمینی با طیف تابشی مرجع
4	اروپا	IEC 60904-4 ایران 60904-1	بخش 4: قطعات خورشیدی مرجع- رویه‌هایی برای احراز قابلیت ردیابی کالیبراسیون
5	اروپا	IEC 60904-5 ایران 14115-5	بخش 5: تعیین دمای تعادل سلول (ECT) برای قطعات فتوولتائیک با استفاده از روش ولتاژ مدارباز
6	اروپا	IEC 60904-7 ایران 14115-7	بخش 7: محاسبه تصحیح عدم تطابق طیفی برای اندازه‌گیری‌های قطعات فتوولتائیک
7	اروپا	IEC 60904-8 ایران 14115-8	بخش 8: اندازه‌گیری پاسخ طیفی قطعه فتوولتائیک
8	اروپا	IEC 60904-9 ایران 14115-9	بخش 9: الزامات عملکرد شبیه‌ساز خورشیدی
9	اروپا	IEC 60904-10 ایران 14115-10	بخش 10: روش‌های اندازه‌گیری میزان خطی‌بودن

جدول4: استانداردهای فتوولتائیک برای احراز صلاحیت ایمنی و عملکرد مدول‌ها

ردیف	منطقه	کد استاندارد	نام استاندارد
1	اروپا	IEC 61730-1 ایران 11274-1	شرط ایمنی مدول فتوولتائیک- بخش اول: نیازهای ساختمان مدول
2	اروپا	IEC 61730-2 ایران 61730-2	شرط ایمنی مدول فتوولتائیک- بخش دوم: نیازهای آزمایش
3	اروپا	IEC 61215 ایران 11881	مدول‌های فتوولتائیک سیلیکون کریستالی زمینی- شرایط طراحی و تایید نوع
4	اروپا	IEC 61646 ایران 61646	مدول‌های فتوولتائیک لایه نازک زمینی- شرایط طراحی و تایید نوع
5	آمریکا	UL 1703	مدول‌ها و پنل‌های فتوولتائیک صفحه تخت
6	کانادا	ULC/ORD-C1703-01	مدول‌ها و پنل‌های فتوولتائیک صفحه تخت
7	آمریکا/کانادا	NSHP & CSI	برنامه خانه‌های خورشیدی جدید و ابتکار خورشیدی کالیفرنیا



شکل 1: روند آزمون‌های مدول فتوولتائیک، طبق استاندارد IEC-61730[17]

www.SID.ir

Archive of SID

8- الزامات عمومی، دانش فنی و تجهیزات لازم برای احراز صلاحیت و راه‌اندازی آزمایشگاه مرجع

آزمایشگاه‌های مرجع فتوولتائیک مانند سایر آزمایشگاه‌های مرجع، مشمول استاندارد «ایران - ایزو - آی.ای.سی 17025» با عنوان «الزامات عمومی برای احراز صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون» هستند. در صورتی که آزمایشگاه‌ها الزامات این استاندارد را برآورده کنند و توسط مراجعی تایید صلاحیت شوند که دارای موافقت‌نامه شناسایی متقابل با مراجعِ هم‌تراز خود در سایر کشورهای استفاده‌کننده از این استاندارد باشند، پذیرش نتایج آزمون و کالیبراسیون کشورها تسهیل می‌شود. به‌کارگیری این استاندارد همکاری میان آزمایشگاه‌ها و سایر سازمان‌ها را تسهیل و به تبادل اطلاعات و تجارب و نیز به هماهنگ کردن استانداردها و روش‌های اجرایی کمک می‌کند[3].

همچنین، برای انجام هر آزمون، به مجموعه‌ای از دانش‌ها نیاز است که نحوه انجام، معیارهای قبولی و محدوده رواداری[9] آن را مطابق استانداردها مشخص می‌کند. یک مدول در صورتی در آزمون‌های احراز شرایط طراحی و تایید نوع قبول می‌شود که نمونه آزمون با تمام معیارهای تعیین‌شده مطابقت داشته باشد[4]. استانداردهای مرجع تعیین شرایط و محدوده‌های رواداری هر آزمون، در جدول شماره 5 آمده است[10، 11 و 17].

به‌علاوه، انجام مجموعه آزمون‌های سلول و مدول فتوولتائیک نیازمند استفاده از چند وسیله مختلف (مثل شبیه‌ساز خورشیدی، دستگاه رسام I-V، پیرانومتر، دستگاه‌های دریافت و تحلیل داده، ...) است. با این حال، با توجه به توسعه صنعت فتولتائیک در جهان، دستگاه‌های یکپارچه‌ای از چند وسیله ساخته شده است که امکان انجام یک یا چند آزمون را دارد. جستجو درباره شرکت‌های سازنده تجهیزات آزمون‌های فتوولتائیک مشخص می‌کند که تمامی تجهیزات مربوط به آزمون‌ها قابل خرید به صورت بسته‌های آماده هستند. البته، برخی از این دستگاه‌ها (به‌ویژه دستگاه‌های آزمون‌های مکانیکی) از نظر ساختار و عملکرد به‌گونه‌ای هستند که امکان طراحی و ساخت آنها در داخل نیز وجود دارد و درصورت تطابق با استاندارد مربوطه، می‌توان از آنها در آزمایشگاه استفاده کرد. در شکل شماره 2 اغلب تجهیزات لازم برای انجام آزمون‌های اصلی فتولتائیک به همراه قابلیت خرید خارج یا ساخت داخل و استاندارد و بند مربوطه نشان داده شده است.

جدول 5: محدوده رواداری هر آزمون فتوولتائیک، مطابق استاندارد مربوطه

ردیف	آزمون	استاندارد	بند
1	آزمون دما	UL 1703	19
2	آزمون I-V	UL 1703	20
3	آزمون نشت جریان تر	UL 1703	21
		IEC 61215	10.15
4	آزمون کشش	UL 1703	22
5	آزمون فشار	UL 1703	23
6	آزمون برش	UL 1703	24
7	آزمون مقاومت مسیر اتصال	UL 1703	25
8	آزمون تحمل ولتاژ دی‌الکتریک	UL 1703	26
9	آزمون مقاومت عایق تر	UL 1703	27
10	آزمون جریان اضافه‌بار معکوس	UL 1703	28
11	آزمون گشتاور خروجی	UL 1703	29
12	آزمون ضربه	UL 1703	30
13	آزمون پیرسازی شتاب داده شده	UL 1703	34
14	آزمون گسترش آتش	UL 1703	31.1
15	آزمون علامت احتراق	UL 1703	31.2
16	آزمون افشانه آب	UL 1703	33
17	آزمون چرخه حرارتی	UL 1703	35
		IEC 61215	10.11
18	آزمون پایداری نقطه داغ	UL 1703	39
		IEC 61215	10.9
19	آزمون رطوبت	UL 1703	36
20	آزمون جو خورنده (افشانه نمک)	UL 1703	37.1
	آزمون جو خورنده	UL 1703	37.2
21	آزمون ضخامت پوشش فلزی	UL 1703	38
22	آزمون بار مکانیکی	UL 1703	41
		IEC 61215	10.16
23	آزمون امنیت محفظه سیم‌کشی	UL 1703	42
24	آزمون قرار دادن در معرض فضای باز	IEC 61215	10.8
25	آزمون پیش‌آماده‌سازی UV	IEC 61215	10.10
26	آزمون رطوبت-یخ	IEC 61215	10.12
27	آزمون گرما-نم	IEC 61215	10.13
28	آزمون استحکام خروجی‌ها	IEC 61215	10.14
29	آزمون تگرگ	IEC 61215	10.17
30	آزمون حرارتی دیود بای‌پس	IEC 61215	10.17
31	آزمون عایقی	IEC 61215	10.3
		IEC 61646	10.3
32	آزمون قابلیت دسترسی	IEC 61730-2	10.2
33	آزمون خمش لوله اتصالات	IEC 61730-2	11.2
34	آزمون سرپوش‌های جعبه ترمینال	IEC 61730-2	11.3
35	آزمون شکست مدول	IEC 61730-2	10.10
36	آزمون پیوستگی اتصالات به زمین	IEC 61730-2	10.4
37	آزمون ولتاژ ناگهانی	IEC 61730-2	10.5
38	آزمون تخلیه جزئی	IEC 61730-2	11.1

9 Tolerance Interval

www.SID.ir

Archive of SID

الف) اندازه‌گیری I-V و توان بیشینه

خرید خارج

UL 1704 clause 20
IEC 61215 clause 10-2
IEC 61646 clause 10-2

دستگاه شبیه‌ساز خورشیدی

خرید خارج

IEC 60904-9

آزمون قرار دادن در معرض UV

خرید خارج

IEC 61215 clause 10-10
IEC 61646 clause 10-10

آزمون نشت جریان تر

خرید خارج

IEC 61215 clause 10-14
IEC 61646 clause 10-14

آزمون دیود بای‌پس

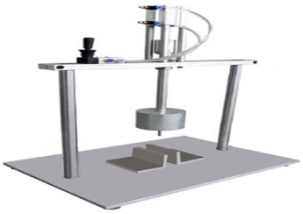
خرید خارج

IEC 61215 clause 10-18
IEC 61646 clause 10-18

آزمون استحکام خروجی‌ها

خرید خارج/قابل ساخت داخل

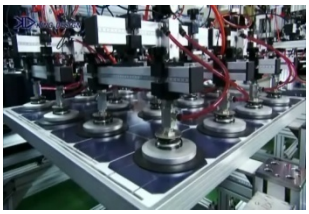
IEC 61215



آزمون از کار افتادن جعبه خروجی

خرید خارج/قابل ساخت داخل

UL 1704 clause 29



آزمون بار مکانیکی

خرید خارج/قابل ساخت داخل

IEC 61215 clause 10-16
IEC 61646 clause 10-16
UL 1704 clause 41

آزمون شکستن مدول

خرید خارج/ ساخت داخل

IEC 61730-2 clause 10.10

آزمون ضربه تگرگ

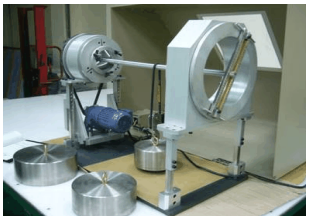
خرید خارج

IEC 61215 clause 10-17
IEC 61646 clause 10-17

آزمون برش

خرید خارج/نقشه

UL 1704 clause 24



آزمون خمش لوله اتصالات

خرید خارج

IEC 61215 clause 10-14
IEC 61646 clause 10-14

آزمون رطوبت–یخ، گرما-نم و سیکل حرارتی

خرید خارج

IEC 61215 clause 10-11, 10-12, 10-13
IEC 61646 clause 10-11, 10-12, 10-13
UL 1704 clause 35, 36

آزمون پایداری نقطه داغ

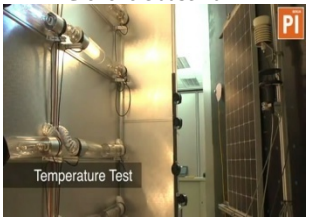
خرید خارج

IEC 61215 clause 10-9
IEC 61646 clause 10-9
UL 1704 clause 39

آزمون افشانه نمک

خرید خارج/قابل ساخت داخل

UL 1704 clause 37.1



آزمون تغییرات ناگهانی دما

خرید خارج

آزمون گرد و غبار

خرید خارج/قابل ساخت داخل

دستگاه پایش آب و هوا

خرید خارج/قابل ساخت داخل

اندازه‌گیری درخشندگی خورشیدی

خرید خارج

ردیاب I-V قابل حمل

خرید خارج

شکل 2: دستگاه‌های مربوط به آزمون‌های مدول فتوولتائیک به همراه امکان خرید/ساخت یا وجود نقشه و استانداردهای مرتبط

www.SID.ir

Archive of SID

9- ساختار سازمانی و نیروی انسانی آزمایشگاه

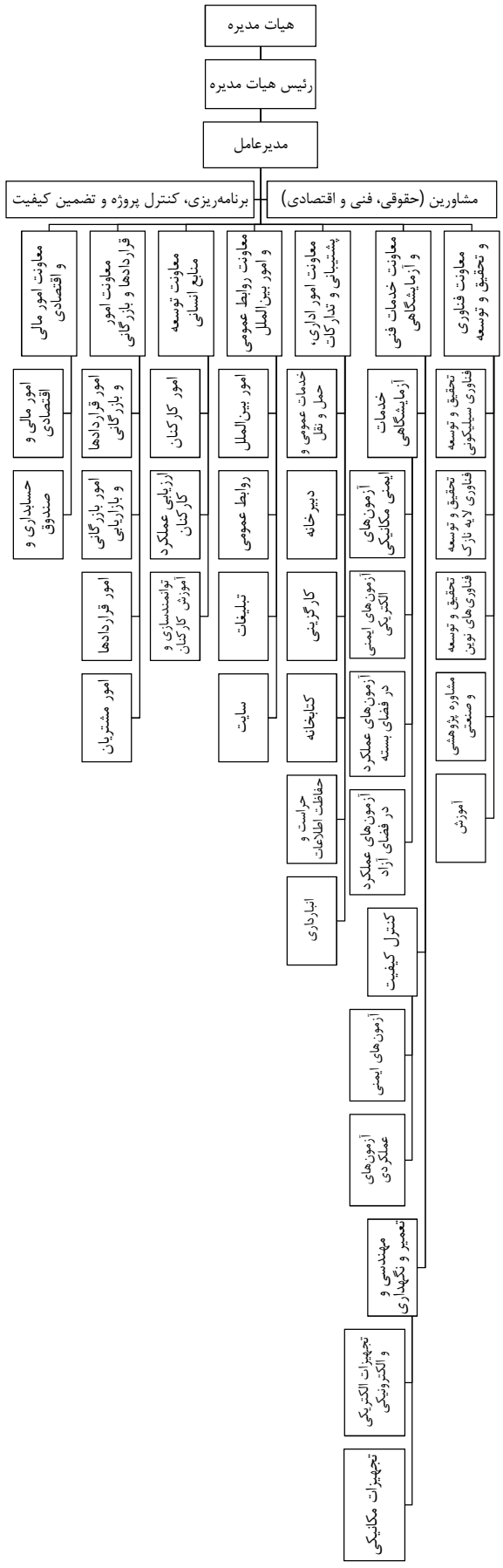
آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک از دیدگاه فنی و اجرایی، طیف گسترده‌ای از رشته‌های تخصصی را در هر دو بخش آزمون‌های برقی و غیربرقی در خود جای می‌دهد. در واقع، طیف گسترده‌ای از رشته‌های تخصصی در این آزمایشگاه مرجع استفاده خواهد شد. به‌علاوه، در بخش‌های مدیریتی و ستادی نیز به تخصص‌ها و تجربیات مختلف در حوزه برنامه‌ریزی، تضمین کیفیت، بازاریابی، امور مالی، امور قراردادها، منابع انسانی و روابط عمومی نیاز است.

نمودار ساختار سازمانی پیشنهادی در شکل شماره 3 آمده است. این ساختار با فرض راه‌اندازی آزمایشگاهی با قابلیت انجام تمامی آزمون‌های سلول و مدول فتوولتائیک و همچنین، انجام هر سه ماموریت «انجام آزمون‌ها»، «کنترل کیفیت در محل کارخانه» و «تحقیق و توسعه» پیشنهاد شده است. سرشاخه‌ها و شاخه‌های اصلی این ساختار سازمانی، به‌ویژه در بخش‌های فنی و تحقیقاتی حاصل بازدیدهای حضوری از دو شرکت اپیپل و هدایت نور و همچنین بررسی الگوی ساختار سازمانی آزمایشگاه‌های مرجع معتبر در زمینه فتوولتائیک یا برق، نظیر فرانهوفر [19] و تی.یو.وی[20] است. زیرشاخه‌ها نیز براساس تجربیات سازمانی جهاد دانشگاهی صنعتی شریف و نیز الزامات و اقتضائات حاکم بر اجرایی کردن وظایف این سرشاخه‌ها پیشنهاد شده است.

وضعیت نیروی انسانی لازم برای بهره‌برداری آزمایشگاه نیز مطابق با این ساختار سازمانی و الزامات تخصصی و اجرایی آزمون‌ها و دستگاه‌های مربوطه در جدول شماره 6 پیش‌بینی شده است. از اطلاعات این جدول برای تخمین فضای اداری، فنی و پشتیبانی آزمایشگاه استفاده خواهد شد.

جدول 6: پیش‌بینی نیروی انسانی لازم برای آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک با توجه به ساختار سازمانی شکل 3

ردیف	حوزه کاری/تخصص	تعداد	درصد
	مجموع نیروی انسانی بهره‌برداری آزمایشگاه	174	%100
1	**حوزه مدیریتی**	13	%7
1-1	حوزه مدیریت/ریاست	3	%1,7
2-1	مشاورین (حقوقی، فنی و اقتصادی)	3	%1,7
3-1	معاونت برنامه‌ریزی، کنترل پروژه و تضمین کیفیت	7	%4,0
2	**حوزه ستادی**	52	%30
1-2	معاونت امور مالی و اقتصادی	8	%4,6
2-2	معاونت امور قراردادها و بازرگانی	6	%3,4
3-2	معاونت توسعه منابع انسانی	6	%3,4
4-2	معاونت روابط عمومی و امور بین‌الملل	7	%4,0
5-2	معاونت امور اداری، پشتیبانی و تدارکات	25	%14,4
3	**حوزه فنی، آزمایشگاهی و تحقیقاتی**	109	%63
1-3	معاونت خدمات فنی و آزمایشگاهی	73	%42,0
2-3	معاونت فناوری و تحقیق و توسعه	36	%20,7



شکل 3: ساختار سازمانی پیشنهادی برای آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک

www.SID.ir

Archive of SID

10- محل و فضای آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک

موقعیت مکانی و فضای اختصاص‌یافته به آزمایشگاه یکی دیگر از نکات مورد توجه در امکان‌سنجی تاسیس آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک است که باید با توجه به نوع آزمون‌ها، شرایط و ویژگی‌های عمومی محل آزمایشگاه به لحاظ اقلیمی و جغرافیایی تعیین شود. در این بخش، ضمن اشاره به این ویژگی‌ها، فضاهای لازم برای آزمایشگاه نیز تعیین و با توجه به ابعاد و اندازه دستگاه‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی و نیازمندی‌های فضاهای داخلی و بیرونی، مساحت زیربنای آزمایشگاه به‌عنوان مبنای تخمین هزینه‌های خرید زمین و عملیات عمرانی و ساختمانی برآورد می‌شود.

10-1- ویژگی‌های مکان آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک

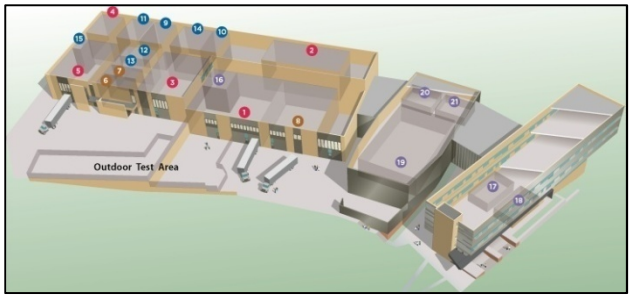
آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک همانند سایر تاسیسات مهم دیگر به مکانی نیاز دارد که احتمال بروز حوادث طبیعی مثل سیل، زلزله و طوفان در آنجا حداقل باشد. از طرف دیگر، برای آزمون‌های فتوولتائیک که باید در فضای باز انجام شوند ویژگی‌های جغرافیایی خاصی نیاز است که برخی از آنها عبارتند از:

1- هوا در بیشتر فصول سال صاف و آفتابی باشد؛
2- بادگیر نباشد. در برخی آزمون‌های بیرونی، مثل اندازه‌گیری دمای نامی بهره‌برداری سلول، سرعت باد تاثیرگذار است؛
3- در دورترین فاصله از ساختمان‌های بلند، به‌ویژه ساختمان‌هایی با شیشه‌های زیاد باشد؛ زیرا در اثر بازتاب نور از شیشه‌ها، درخشندگی کل بیشتر از مقدار واقعی محاسبه می‌شود.

محوطه اطراف آزمایشگاه باید به‌گونه‌ای باشد که روی مدول‌های مستقر در محل آزمون بیرونی سایه‌اندازی نکند. امکان تردد آسان وسایل نقلیه، به‌ویژه وسایل حمل تجهیزات و مدول‌ها و همچنین، سهولت برگزاری بازدیدهای رسمی و آموزشی، نکاتی است که باید در وسعت و طراحی محوطه اطراف آزمایشگاه لحاظ شود(شکل شماره 4).

شکل 4: محل احداث آزمایشگاه فرانهوفر

فضای آزمون‌های داخلی ترجیحا باید در طبقه همکف طراحی و ساخته شود تا امکان بارگیری تجهیزات و دستگاه‌ها و مدول‌های فتوولتائیک آسان و سریع‌تر انجام شود. به‌علاوه، شرایط بازدیدهای فنی، رسمی و آموزشی نیز تسهیل می‌شود. بخش تحقیق و توسعه نیز می‌تواند در طبقه دوم ساختمان فنی و آزمایشگاهی دیده شود تا دسترسی آسان و سریع به تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی فراهم شود. در تعیین ابعاد این فضا باید فضای اشغال‌شده توسط برخی تجهیزات تحقیقاتی که ممکن است ارتباطی به آزمون‌های فتوولتائیک نداشته باشند، در نظر گرفته شود(شکل شماره 5).



شکل 5: نمونه فضای آزمایشگاهی فتوولتائیک در آزمایشگاه فرانهوفر

فضای آزمون‌های بیرونی نیز باید دارای پایه‌هایی برای مدول‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری ویژگی‌های آب و هوایی و درخشندگی باشد. ابعاد پایه‌ها با توجه به اندازه مدول‌های موجود در بازار باید به‌گونه‌ای در نظر گرفته شود که بزرگترین پنل‌ها را نیز بر روی خود جای دهد. این فضا را می‌توان بر روی پشت‌بام بلندترین ساختمان در مجموعه آزمایشگاه اختصاص داد (شکل شماره 6).

شکل 6: نمونه محل آزمون‌های فضای باز در آزمایشگاه فتوولتائیک فرانهوفر

10-2- فضاهای پیش‌بینی‌شده برای آزمایشگاه

فضاهای پیش‌بینی‌شده برای آزمایشگاه شامل دو بخش فضاهای «اداری و پشتیبانی» و «فنی و آزمایشگاهی» به ترتیب زیر است:

- فضاهای اداری و پشتیبانی

- فضاهای سرپوشیده، شامل ساختمان امور ستادی، سالن‌های اجتماعات، جلسات، غذاخوری و نمازخانه؛
- فضاهای آزاد، شامل پارکینگ و محوطه آزاد برای عبور و مرور کارکنان، بازدیدکنندگان و بارگیری تجهیزات و...

- فضاهای فنی و آزمایشگاهی

- فضاهای سرپوشیده، شامل ساختمان‌های فنی، آزمایشگاهی و تحقیقاتی برای استقرار نیروی انسانی و تجهیزات و انبارهای

www.SID.ir

Archive of SID

دپوی مدول‌های مورد تست (با ظرفیت حداقل 5 مجموعه 20 تایی)، مدول‌های اسقاطی و تجهیزات فنی معیوب؛
- فضای آزاد، شامل محوطه انجام آزمون‌های بیرونی.

3-10- برآورد مساحت فضاهای آزمایشگاه

مساحت هر یک از فضاهای آزمایشگاه در جدول شماره 7 با درنظرگرفتن ملاحظات و فرضیات زیر برآورد شده است:

1- فضای ساختمان اداری متناسب با نیروی انسانی مستقر در آن است و سرانه هر نفر، 15 متر مربع است؛
2- ساختمان امور اداری و ستادی در 4 طبقه شامل محل استقرار معاونت‌ها و یک طبقه (همکف) به‌عنوان محل لابی و سالن اجتماعات ساخته می‌شود؛
3- سالن اجتماعات ظرفیت پذیرش کل نیروی انسانی آزمایشگاه را دارد و سرانه هر نفر، 1 متر مربع است؛
4- ساختمان فنی و آزمایشگاهی در دو طبقه ساخته می‌شود:
- طبقه همکف: استقرار معاونت خدمات فنی و آزمایشگاهی شامل نیروی انسانی و تجهیزات آزمایشگاهی
- طبقه اول: استقرار کادر معاونت فناوری، تحقیق و توسعه
5- انبارها به شکل سوله و یک طبقه طراحی و ساخته می‌شوند؛
6- سالن غذاخوری و نمازخانه خارج از ساختمان اداری و به شکل یک طبقه طراحی و ساخته می‌شوند؛
7- تجهیزات آزمون‌های بیرونی در محلی روی زمین محوطه محل آزمایش برپا می‌شود؛
8- پارکینگ به‌صورت محوطه‌ای طراحی و ساخته می‌شود؛
9- فضای استقرار و کاربری دستگاه‌ها برای آزمون‌های داخلی (شامل 23 دستگاه) با ضریب فاصله ایمنی طولی و عرضی 3 برای کاربری دستگاه‌ها تخمین زده شده است؛
10- فضای آزمون‌های بیرونی با فرض امکان آزمایش حداقل 20 مدول (به مساحت 1/5 متر مربع) با زاویه صفر درجه (افقی) و امکان تردد آسان کاربران میان پنل‌ها برآورد شده است.

11- برآورد زمان و هزینه تاسیس آزمایشگاه

مراحل اجرایی پیش‌بینی‌شده برای تاسیس و راه‌اندازی آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک شامل 7 مرحله به ترتیب زیر است که در مدت 18 ماه انجام می‌شود:

1- فاز تدارک مقدمات تاسیس آزمایشگاه مرجع؛
2- فاز سفارش، خرید و تامین تجهیزات آزمایشگاهی؛
3- فاز احداث آزمایشگاه؛
4- فاز استقرار تجهیزات در آزمایشگاه؛
5- فاز تامین نیروی انسانی آزمایشگاه (ستادی و فنی)؛
6- فاز راه‌اندازی رسمی آزمایشگاه؛
7- فاز دریافت مجوزهای احراز صلاحیت آزمایشگاه.

جدول 7: پیش‌بینی زیربنای فضای آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک

ردیف	ساختمان	فضای ساختمانی (متر مربع)		
		زیربنا	طبقات	متراژ زمین
1	**فضاهای اداری و پشتیبانی**	3،580		2،680
1-1	فضاهای سرپوشیده	1،830		930
1-1-1	ساختمان امور ستادی	1200	4	300
2-1-1	سالن اجتماعات	200	1	200
3-1-1	سالن جلسات	30	1	30
4-1-1	سالن غذاخوری	200	1	200
5-1-1	سالن نمازخانه	200	1	200
2-1	فضاهای آزاد (غیرمسقف)	1،750		1،750
1-2-1	پارکینگ (محوطه‌ای)	750	1	750
2-2-1	فضای آزاد (محوطه‌ای)	1000	1	1،000
2	**فضاهای فنی و آزمایشگاهی**	1،965		1،965
1-2	فضاهای سرپوشیده	1،740		1،740
1-1-2	ساختمان استقرار پرسنل	360	1	360
2-1-2	ساختمان استقرار تجهیزات	1،060	1	1،060
3-1-2	انبار - سوله دپوی پنل مورد تست	60	1	60
4-1-2	انبار - سوله دپوی پنل‌های اسقاطی	60	1	60
5-1-2	انبار - سوله دپوی تجهیزات فنی	200	1	200
2-2	فضاهای آزاد (غیرمسقف)	225		225
1-2-2	فضای آزاد (برای آزمون‌های بیرونی)	225	1	225
	مجموع	5،545		4،645

البته، در تخمین زمان احداث و راه‌اندازی تاخیرهای ناشی از عوامل بیرونی، مانند کمبود بودجه، حوادث غیرمترقبه، آثار تحریم‌ها و مواردی از این دست لحاظ نشده است.

هزینه‌های تاسیس و راه‌اندازی آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک نیز به پنج بخش اصلی زیر تقسیم می‌شود(شکل شماره 7):

1- هزینه دستگاه‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی(26 دستگاه)؛
2- هزینه خرید زمین و احداث بناها و فضاهای آزمایشگاهی و اداری(5،500 متر مربع)؛
3- هزینه تجهیزات اداری آزمایشگاه(200 نفر)؛
4- هزینه مدیریت، پشتیبانی و تدارکات دوره تاسیس و راه‌اندازی آزمایشگاه(18 ماه)؛
5- هزینه نیروی انسانی یک ماه بهره‌برداری آزمایشگاه(174نفر).

در تخمین قیمت‌ها و تبدیل واحدهای ارزی نیز، فرضیات زیر لحاظ شده است:

- هزینه حمل و نقل: 10%؛
- عوارض گمرکی تجهیزات آزمایشگاهی: 25%[9]؛
- هزینه‌های پیش‌بینی‌نشده (مثل عبور از تحریم‌ها): 50%؛

www.SID.ir

Archive of SID

- هر یورو معادل با 1/3 دلار و هر دلار معادل با 25،000 ریال.

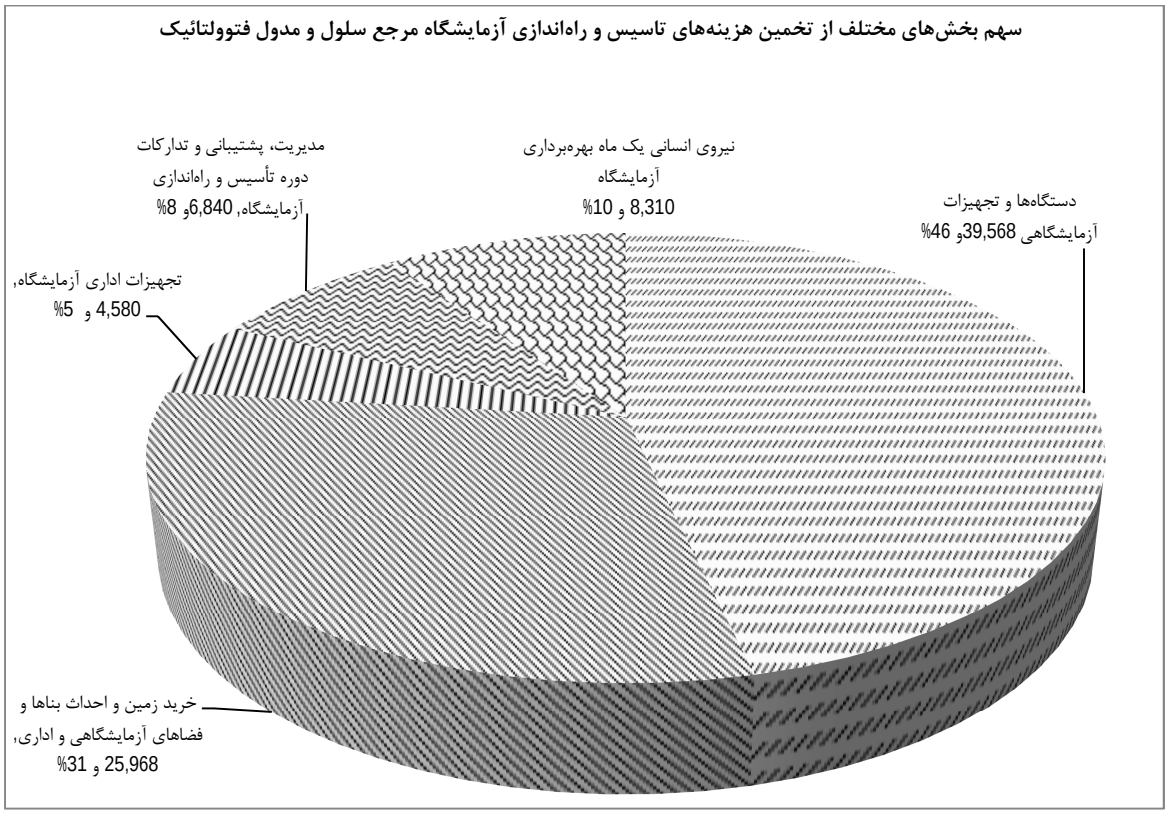
12- نتیجه‌گیری

یکی از الزامات اساسی در پاسخ به نیازهای بازار داخلی فتوولتائیک در آینده، وجود آزمایشگاه‌های معتبر ارزیابی کیفیت محصولات است. نیروگاه‌های فتوولتائیک برای دستیابی به بیشترین بازده و بهره‌برداری بهینه، نیازمند استفاده از تجهیزات سالم و با قابلیت اطمینان بالا از جمله در زمینه سلول و مدول فتوولتائیک هستند. انجام این مهم، در گرو ارزیابی و آزمایش دقیق تجهیزات در آزمایشگاه مرجع است. در این مقاله اقدامات مطالعاتی و اجرایی امکان‌سنجی تاسیس آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک، در چند مرحله شامل ضرورت‌ها و اهداف، شناسایی آزمون‌ها و استانداردهای مرتبط، شناسایی آزمایشگاه‌های مرجع بین‌المللی و پتانسیل آزمایشگاه‌های داخلی، شناسایی تجهیزات و دستگاه‌ها و تامین‌کنندگان داخلی و خارجی آنها، طراحی مفهومی آزمایشگاه و در نهایت، استخراج هزینه و زمان تاسیس آن انجام شد. نتایج حاصل از مطالعات نشان می‌دهد که علی‌رغم وجود آزمایشگاه‌های مرجع متعدد صنعت برق در کشور، هنوز هیچ‌یک امکان انجام کلیه آزمون‌های تخصصی فتوولتائیک را ندارند و با توجه به انتظار رشد این صنعت در سال‌های آتی، وجود چنین آزمایشگاهی ضروری به‌نظر می‌رسد. تخمین‌های انجام‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که این آزمایشگاه در مدت 18 ماه در فضایی به وسعت 5،500 متر مربع و با هزینه‌ای بالغ بر 70 میلیارد ریال (بدون احتساب هزینه نیروی انسانی بهره‌برداری آزمایشگاه) قابل احداث است و نهادهای مختلفی نیز در قالب همکاری‌های مالی و علمی می‌توانند در تاسیس آن کمک کنند.

از آنجا که آزمایشگاه‌های مرجع می‌توانند بازار مناسب و درآمد مالی خوبی از قبال فعالیت‌های خود به‌دست آورند، پیشنهاد می‌شود در ادامه این تحقیق، موضوع کسب‌وکار آزمایشگاه مرجع فتوولتائیک نیز با توجه به پتانسیل فعلی و آینده آن در سطح داخلی و منطقه‌ای مورد مطالعه قرار گیرد.

13- تقدیر و تشکر

تهیه‌کنندگان این مقاله وظیفه خود می‌دانند از کلیه اعضای پروژه نیروگاه خورشیدی جهاد دانشگاهی صنعتی شریف به خاطر همکاری‌هایشان و به‌طور مشخص، از سرکار خانم مهندس عاطفه عجمی به دلیل ارائه مشاوره‌های راهگشا و از آقای مهدی سرمدی راد و خانم‌ها فاطمه رحمانی و پری خادمی ندوشن به‌دلیل کمک در تهیه گزیده مطالب این مقاله تشکر نمایند.



شکل 7: سهم بخش‌های مختلف هزینه‌ای تاسیس و راه‌اندازی آزمایشگاه مرجع (به میلیون ریال)

www.SID.ir

فهرست منابع

[1]مصوب مجلس شورای اسلامی؛ **قانون برنامه پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران** (1394-1390)، 30 دی ماه 1389.

[2]مصوب مجلس شورای اسلامی؛ **قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی**، 8 اسفند ماه 1389.

[3]استاندارد ملی ایران ایزو-آی.ای.سی 17025؛ **الزامات عمومی برای احراز شرایط آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون**، چاپ اول، 1381.

[4]استاندارد ملی ایران 11881؛ **مدول‌های فتوولتائیک زمینی سیلیکون کریستالی -احراز شرایط طراحی و تأیید نوع**، چاپ اول، 1388.

[5]**"ساخت و ساز چقدر سود دارد؟"**، روزنامه همشهری، یکشنبه، 4 تیر 1391، صفحه 11.

[6]سازمان نظام مهندسی ساختمان استان آذربایجان غربی؛ **تعرفه هزینه ساخت و ساز هر متر مربع بنا در سال 1389**، بهمن 1389.

[7]سازمان نظام مهندسی؛ **جدول حق‌الزحمه خدمات مهندسی رشته‌های چهارگانه (معماری، عمران، تأسیسات الکتریکی و مکانیکی)**، شهریور 1391.

[8]شبکهٔ اطلاع‌رسانی ساختمان ایران؛ **"هزینه محوطه‌سازی"**، 4 خرداد 1391.

http://shasa.ir/newsdetail-135308-fa.html

[9]گمرک جمهوری اسلامی ایران؛ **"تعرفه کالاهای وارداتی"**.

http://www.irica.gov.ir/portal/home/default.aspx

[10] IEC 61646, "*Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*",Edition 1998;
Available in: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61646%7Bed2.0%7Db.pdf .

[11] Underwriters Laboratories, UL 1703: 2002 Ed 3, "*Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels*";
Available in: http://ulstandardsinfonet.ul.com/scopes/1703.html .

[12] National reference energy laboratory;
Available in: http://www.nrel.gov.

[13] *The definition of quantum efficiency*;
Available in: http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_efficiency_of_a_solar_cell .

[14] International Electrotechnical commission, "*Photovoltaic devices –Part 9: Solar simulator performance requirements*", IEC 60904-9: 2007 Ed 2;
Available in: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60904-9%7Bed2.0%7Db.pdf .

[15] International Electrotechnical commission, IEC 60904-1: 2006 Ed 2, Photovoltaic devices-Part 1: Measurements of PV current-voltage characteristics;
Available in: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60904-1%7Bed2.0%7Den_d.pdf .

[16] International Electrotechnical commission, "*Photovoltaic devices –Part 10: Methods of linearity measurement*", IEC 60904-10: 2009 Ed 2;
Available in: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60904-10%7Bed2.0%7Db.pdf

[17] IEC 61730, "*Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction*", Edition 1.0, 2004;
Available in: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61730-1%7Bed1.0%7Db.pdf .

[18] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems 2012; *Annual Report 2011*, Fraunhofer ISE Press and Public Ralation, Freiburg, Germany;
Available in: http://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/infomaterial/annual-reports/fraunhofer-ise-annual-report-2011.pdf.

[19] "*Organizational Structure*", Faunhofer ISE;
Available in http://www.ise.fraunhofer.de/en/about-us/data-and-facts/organigramm/pv-production-technology-and-quality-assurance/pv-production-technology-and-quality-assurance.

[20] "TÜV Rheinland Group 2012, *Organisational Bodies*;
Available in: http://www.tuv.com/en/corporate/about_us_1/organisation_bodies

[21] P.Energy S.p.A.; *Price List for Laboratory Equipment*, June 2012.

[22] *Price List for Laboratory Equipment*, Dongguan Hong Tu Instrument, June 2012.

[23] EUR/USD Curve, Yahoo! Finance Currency Trading Center;
Available in: http://finance.yahoo.com/echarts?s=eurusd=x#symbol=;range=20120102,20121031;compare=;indicator=volume;charttype=area;crosshair=on;ohlcvalues=0;logscale=off;source=undefined.

www.SID.ir

[24] *TestLab PV Modules at Fraunhofer ISE 2010*, Video Recording, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany.
[25] *Testing and Certification at PI-Berlin 2011*, Video Recording, PI Photovoltaik-Institut Berlin AG, Berlin, Germany.
[26] *PV Test Equipments at King Design 2012*, Video Recording, King Design Industrial Co., LTD, New Taipei, Taiwan.
[27] *Westpak Inc. Solar Photovoltaic Modul Testing 2010*, Video Recording, Westpak Inc., San Jose, Canada.
[28] شرکت آزمایشگاه‌های صنایع برق ایران؛
EPIL ،www.eepil.com
[29] شرکت برق آفتابی هدایت نور یزد؛
http://Sgccir.com

www.SID.ir