بررسی و اولویت‌بندی استانداردهای مناسب جهت ساخت نیروگاه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه در کشور با استفاده از روش AHP

محمدحسین شمس[۱] محسن کیا[۲]

تاریخ دریافت مقاله:

تاریخ پذیرش مقاله:

کلمات کلیدی:
استاندارد، تحلیل سلسله مراتبی، تصمیم‌گیری چند معیاره، نیروگاه فتوولتائیک

چکیده:

اولین گام در پیاده‌سازی نیروگاه‌های فتوولتائیک پیروی از استانداردهای معتبر جهانی موجود در زمینه ساخت این قبیل نیروگاه‌ها است. با توجه به سهولت مطالعه استانداردهای با متن فارسی و ایجاد بستر مناسبی جهت احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک با استفاده از استانداردهای تدوین شده ملی، لزوم تدوین استانداردهای اولویت دار در سازمان استاتدارد بیش از پیش احساس می‌شود. هدف این مقاله گردآوری و دسته‌بندی استانداردهای جهانی موجود در این زمینه و انتخاب استانداردهای با اولویت بالا برای معرفی به سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای تدوین به عنوان استاندارد ملی ایران است. در طی این بررسی تعدادی استاندارد در حدود ۶۰۰ استاندارد در زمینه سیستم‌های خورشیدی گردآوری شد. بعد از دو مرحله فیلتر تعداد ۲۰ استاندارد برای بررسی نهایی و انتخاب ۵ استاندارد برای تدوین باقی ماندند. با وجود معیارهای مختلف برای انتخاب استانداردهای اولویت دار، مسئله پیشِ رو یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره است. بدین منظور در این مقاله از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که یکی از ابزارهای قوی در مدل کردن معیارهای کمی و کیفی است استفاده می‌شود. در این روش با شناسایی گزینه‌ها و معیارهای مناسب، مدل تصمیم‌گیری تشکیل شده و با مقایسات انجام شده در این مدل، اولویت انتخاب استانداردها برای تدوین بدست آمدند.

۱) کارشناس جهاد دانشگاهی صنعتی شریف mhshams@alum.sharif.edu

۲) دانشجوی مقطع دکتری برق دانشگاه صنعت آب و برق عباسپور mohsenkia@stud.pwut.ac.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

۱- مقدمه

انرژی خورشید عظیم‌ترین منبع انرژی جهان است. در سال‌های اخیر با توجه به رو به اتمام بودن منابع فسیلی، منابع انرژی تجدیدپذیر به خصوص انرژی خورشیدی از توجه خاصی بهره‌مند گردید. سیستم‌های فتوولتائیک یکی از پرمصرفترین و کاربردی‌ترین موارد استفاده از انرژی خورشیدی محسوب می‌گردد. بدون شک در آینده‌ای نه چندان دور سیستم‌های فتوولتائیک به عنوان جایگزین مناسب، پاک و بی خطر بجای سوخت‌های فسیلی توسط بشر بکار گرفته خواهند شد. در این راستا در کشور پروژه‌های مختلف تحقیقاتی- اجرایی در زمینه احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک تعریف شده است. اولین گام در پیاده‌سازی نیروگاه‌های فتوولتائیک پیروی از استانداردهای معتبر جهانی موجود در زمینه ساخت این قبیل نیروگاه‌ها است. با توجه به سهولت مطالعه استانداردهای با متن فارسی و ایجاد بستر مناسبی جهت احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک با استفاده از استانداردهای تدوین شده ملی، لزوم تدوین استانداردهای اولویت‌دار در سازمان استاندارد بیش از پیش احساس می‌شود. این بررسی به عنوان اولین و مهمترین بررسی در کشور در این زمینه به صورت ذیل مطرح گردید.

در بخش ۲ به نحوه گردآوری استانداردهای انرژی خورشیدی- فتوولتائیک پرداخته می‌شود. در بخش ۳ روش تحلیل اطلاعات و تشریح آن مطرح می‌گردد. تعریف معیارهای مناسب جهت انتخاب استانداردها و تحلیل سلسله مراتبی معیارها و تحلیل سلسله مراتبی استانداردها به ترتیب در بخش‌های ۴ تا ۶ خواهند آمد و اولویت‌بندی نهایی استانداردها در در پایان بخش ۶ مشخص می‌گردد. در نهایت آنالیز حساسیت اولویت انتخاب استانداردها با تغییر وزن معیارها بررسی می‌گردد.

۲- استانداردهای انرژی خورشیدی- فتوولتائیک

با بررسی‌های به عمل آمده، وضعیت کلی تدوین استانداردهای جهانی و داخلی در زمینه‌ی فتوولتائیک مشخص شدند. با توجه به بررسی صورت گرفته در حدود ۶۰۰ استاندارد در جهان در زمینه انرژی خورشیدی و پدیده فتوولتائیک شناسایی و گردآوری گردید. با نگاه اولیه به این استانداردها مشخص گردید که در حدود نیمی از این استانداردها فاقد رویکرد اصلی این بررسی (نیروگاه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه) بودند. به نحوی که به مباحثی از قبیل مطالعات خورشید، نیروگاه‌های حرارتی- خورشیدی، شیمی فتوولتائیک، پدیده میکرو الکترونیک، ادوات الکترونیک قدرت و ... پرداخته می‌شدند. بنابراین این استانداردها از طبقه‌بندی حذف شدند. در ادامه همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود تعداد ۲۸۶ استاندارد جهانی از مراجع معتبر تدوین استاندارد در زمینه مربوطه طبقه‌بندی شدند [۸] تا [۱۸]. این طبقه‌بندی به ۱۱ دسته اصلی تقسیم شده که در جدول مذکور رویت می‌شود. لازم به توضیح است این طبقه‌بندی براساس استانداردهای موجود انجام شده و این امکان وجود دارد که یک استاندارد به دو یا چند موضوع ارتباط داشته باشد. که در این شرایط استاندارد مورد نظر در یک موضوع گنجانده شده است. در ضمن در جدول ۱ یک ستون به تعداد استانداردهای ملی تدوین شده در داخل اختصاص داده شده است [۳].

استانداردهای ملی تدوین شده در زمینه فتوولتائیک ۲۲ استاندارد می‌باشد که در جدول ۱ دسته‌بندی شده است. و در نهایت ستون آخر به ۲۰ استاندارد پیشنهادی برای اولویت‌بندی تدوین اختصاص دارد که از این تعداد ۵ استاندارد برای تدوین انتخاب خواهد شد.

جدول ۱: مقایسه وضعیت استاندردهای جهانی و داخلی در زمینه فتوولتائیک

ردیف	موضوع استاندارد	تعداد استاندارد جهانی	تعداد استاندارد ملی تدوین شده
۱	تعاریف واصطلاحات	۱۲	۱
۲	عوامل تابش و دما و تأثیر آنها	۳۱	-
۳	نیروگاه‌های فتوولتائیک	۳۵	۴
۴	اینورتر و مبدل و شارژکنترلر	۱۵	۱
۵	باتری و تست‌های مربوطه	۱۵	-
۶	سلول و ماژول و تست‌ها	۱۳۵	۱۳
۷	اتصالات و سیم و کابل	۱۱	-
۸	تجهیزات حفاظتی	۷	-
۹	شبیه‌سازی خورشیدی	۱۲	۲
۱۰	تجهیزات پایش سیستم	۴	۱

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

ردیف	موضوع استاندارد	تعداد استاندارد جهانی	تعداد استاندارد ملی تدوین شده
۱۱	نصب سیستم	۹	–
مجموع		**۲۸٦**	**۲۲**

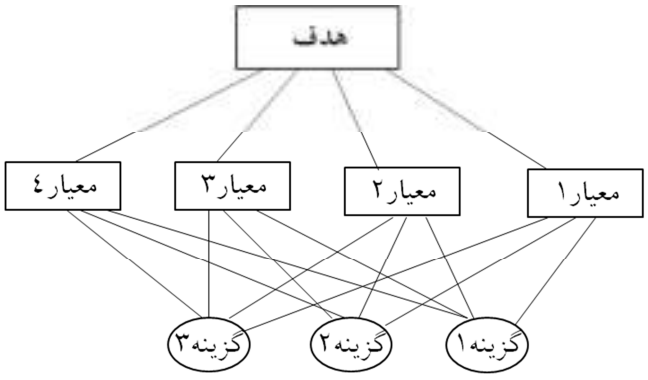
۳- روش تحلیل اطلاعات و تشریح آن

روش‌های مختلفی برای ارزیابی جذابیت وجود دارند مانند روش‌های آنالیز اقتصادی، روش‌های کیفی، پیش‌بینی تکنولوژی و روش‌های MCDM/MADM.. در این مقاله از روش AHP زیر گروه روش‌های MCDM/MADM برای ارزیابی میزان جذابیت استانداردهای نیروگاه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه در کشور استفاده می‌شود. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروفترین فنون تصمیم‌گیری چند منظوره است که اولین بار توسط توماس ال. ساعتی عراقی الاصل در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید. فرایند تحلیل سلسله مراتبی منعکس کننده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند استفاده گردد، معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند [۳].

تکنیک AHP، مسائل پیچیده را بر اساس آثار متقابل آنها مورد بررسی قرار می‌دهد و آنها را به شکلی ساده تبدیل کرده به حل آن می‌پردازد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند استفاده شود. همچنین معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند.

بکارگیری این روش مستلزم چهار قدم عمده زیر می‌باشد: ۱-مدل‌سازی (رسم درخت سلسله مراتبی) ۲- قضاوت ترجیحی (مقایسات زوجی) ۳- محاسبات وزن‌های نسبی ۴- ادغام وزن‌های نسبی

در شکل ۱ درخت سلسله مراتب تصمیم دیده می‌شود که عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. پس از طرح مسئله یک سری مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم، نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمایش سلسله مراتب یک مسئله تصمیم

در نهایت منطق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل شود.

در بخش بعد تحلیلی که برای انتخاب استاندارد مناسب نیروگاه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه در کشور بر اساس روش AHP بکار گرفته شده، تشریح شده است.

٤- تعریف معیارهای مناسب جهت انتخاب استانداردها

با توجه به درخت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری در روش AHP، جهت نیل به هدف انتخاب استاندارد مناسب نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه در کشور، بایستی معیارهای چنین تصمیمی تعریف شده و گزینه‌های کاندید مشخص شوند.

با بررسی‌های بعمل آمده معیارهای انتخابی به دو دسته تقسیم می‌شوند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

٤-١- معیارهای عمومی

این معیارها آن دسته از معیارهایی هستند که در صورت عدم تأیید کل موضوع تحت شعاع قرار می‌گیرد. معیارهای فعال بودن استاندارد، در دسترس بودن استاندارد، عدم همپوشانی استانداردهای جهانی، هم‌خوانی با شبکه برق ایران از معیارهایی هستند که در صورت عدم تأیید موجب حذف استاندارد از روند بررسی خواهد شد. بنابراین انتخاب این چهار معیار بدیهی است.

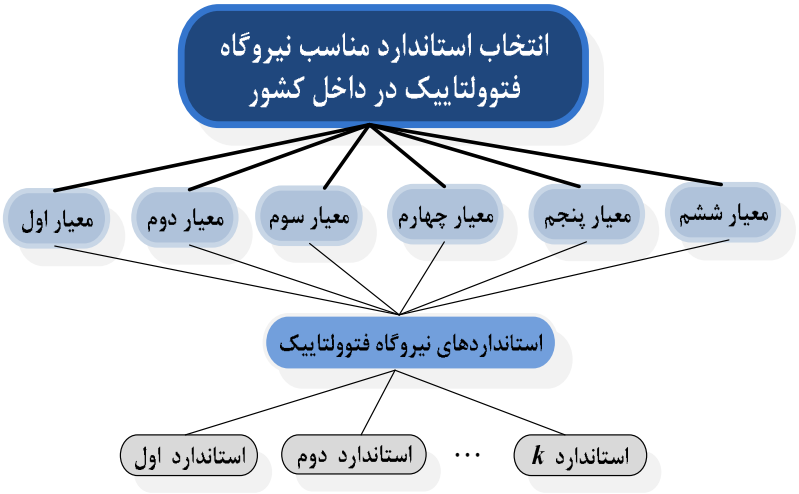
٤-٢- معیارهای اختصاصی

این معیارها آن دسته از معیارهایی هستند که عامل تفکیک‌کننده بین استانداردها خواهد شد. این معیارها از معیارهایی هستند که در روند اجرایی انتخاب استانداردها با آن‌ها مواجه خواهیم شد. معیارهایی که می‌توان به عنوان مهمترین معیارهای تصمیم گیری با هدف انتخاب استاندارد مناسب نیروگاه فتوولتائیک عنوان کرد، در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: معیارهای اختصاصی انتخاب استاندارد

ردیف	معیارها
۱	انتخاب استانداردهای نیروگاهی متصل به شبکه
۲	ارجاعات شرکت‌های تولید پنل و اینورتر به استاندارد مذکور
۳	ارتباط بیشتر موضوع استاندارد با موضوع نیروگاه فتوولتائیک
۴	اعتبار و سابقه مرجع جهانی استاندارد
۵	عدم تشابه با استانداردهای تدوین شده در ایران
۶	زبان استاندارد

به این ترتیب می‌توان درخت AHP را برای این مسئله طبق شکل ۲ طراحی کرد. در ادامه به توضیحاتی در زمینه این معیارها پرداخته شده است.



شکل ۲: درخت تصمیم‌گیری انتخاب استاندارد مناسب نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه در کشور

٤-٢-١- انتخاب استانداردهای نیروگاهی

استانداردهای نیروگاهی به استانداردهایی اطلاق می‌شود که در آن رویکرد کلی به الزامات طراحی، ساخت و بهره‌برداری نیروگاه‌های فتوولتائیک داشته باشد. از طرفی همانطور که می‌دانیم این استانداردها در دو حالت کاربردهای خانگی و نیروگاهی موجود هستند. بنابراین باید به این موضوع نیز توجه می‌شد که این استانداردها علاوه بر اینکه نیروگاهی هستند رویکرد نیروگاه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه را نیز داشته باشند. در انتخاب استانداردها تا حد امکان

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

سعی شده که استانداردهای نیروگاهی پیشنهاد گردد. با توجه به دیدگاه کلی این نوع از استانداردها و نگرش بومی‌سازی این صنعت در کشور، این قبیل استانداردها از اهمیت بالاتری برخوردارند.

٤-۲-۲- ارجاعات شرکت‌های تولید پنل و اینورتر به استاندارد مذکور

با بررسی‌های به عمل آمده می‌توان متوجه ارجاعات شرکت‌های تولید پنل و اینورتر به برخی از استانداردها شد. از آنجاکه این شرکت‌ها از معتبرترین شرکت‌های تولید ماژول و اینورتر هستند لذا استانداردهای مورد ارجاع آن‌ها نیز از اهمیت بالایی برخوردار خواهند بود. به عنوان مثال استانداردهای IEEE۱۵۴۷ و ۱۷۴۱ UL مورد ارجاع شرکت تولید اینورتر SMA است [۲۰][۲۶]، و استانداردهای ۶۱۷۳۰ IEC و ۱۷۰۳UL و IEC۶۱۲۱۵ مورد ارجاع بیشتر شرکت‌های تولید ماژول مانند Canadian Solar (کانادا- چین) [۱۶] و SUNTECH (چین- آمریکا)[۲۰] و Q-Cell(آلمان) [۲۸] و First Solar(آمریکا) [۲۰] و غیره هستند. لازم به توضیح است استاندارد IEC۶۱۲۱۵ نیز ازجمله استانداردهای مورد ارجاع سازندگان ماژول بوده که قبلاً توسط موسسه استاندارد تدوین شده است [۳].

٤-۲-۳- اعتبار و سابقه مرجع جهانی استاندارد

با توجه به رشته فنی مورد نظر که در اینجا رشته مهندسی برق محسوب می‌شود و پیشینه مرجع جهانی تولید استاندارد می‌بایست نسبت به انتخاب مرجع استاندارد مورد نظر تصمیم‌گیری شود. به همین منظور جدول ۳ تهیه شده و با مصاحبه از افراد کارشناس خبره این امر اولویت انتخاب مرجع مشخص شدند. بر این اساس مراجع IEC و UL و VDE و IEEE بترتیب بیشترین اولویت را دارا شدند.

جدول ۳: جدول اولویت بندی موسسات استاندارد

	اعتبار جهانی موسسه				
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
VDI					
IEC					
IEEE					
JIS					
ASTM					
ISO					
SEMI					
UL					

٤-۲-٤- هم‌خوانی مرجع جهانی استاندارد با شبکه برق ایران

برخی از مراجع تدوین استاندارد صرفاً سازگار با شبکه برق خاصی هستند. به عنوان مثال تفاوت در سطح ولتاژ و فرکانس برخی از کشورها با شبکه برق ایران باعث عدم استفاده این استانداردها در ایران خواهد شد. با بررسی‌های به عمل آمده استانداردهای IEC بیشترین سهم را در استانداردهای تدوینی صنعت برق داشته‌اند[۱۴]. بدین معنا که این استاندارد با شبکه برق ایران هماهنگ بوده است. در ادامه پیشنهادات مذکور سعی بر آن بوده که از استانداردهای مورد تأیید مجامع جهانی انتخاب شوند. بدین معنا که استاندارد مورد نظر منطقه‌ی خاصی نبوده و شبکه برق ایران نیز سازگار باشد. به عنوان مثال بررسی‌های انجام شده بر روی استاندارد IEEE ۱۵۴۷ نشان داد که ولتاژ پایه برای بررسی‌های انجام‌شده در این استاندارد ۱۲۰ ولت می‌باشد و همچنین بسامد پایه برای اندازه‌گیری‌هایش ۶۰ هرتز می‌باشد در نتیجه این استاندارد (علی‌رغم ارجاعات شرکت‌های تولید اینورتر به آن) برای کشور ما که ولتاژ پایه آن ۲۲۰ ولت و بسامد پایه آن ۵۰ هرتز می‌باشد مناسب نمی‌باشد. چراکه تمام محاسبات مربوط به هارمونیک‌ها، فلیکر، گستره بهره‌برداری ولتاژ، ایمنی تجهیزات، حاشیه امنیت برای ولتاژ و بسامد برای ولتاژ پایه ۱۲۰ ولت و بسامد پایه ۶۰ هرتز انجام شده است [۲۱][۶]. اما استاندارد ۶۱۷۲۷ IEC استانداردی کلی بوده و برای تمامی ولتاژهای پایه و فرکانس پایه کاربرد دارد. البته این استاندارد قبلاً در سازمان استاندارد تدوین شده‌است [۱۶]،[۱] و [۳].

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

٤-۲-٥- فعال بودن استاندارد شناسایی شده

برخی از استانداردها ممکن است مدتی بعد از انتشار، با بررسی‌های مجدد توسط همان مرجع لغو شود و یا در برخی از استانداردها علی‌رغم اینکه به صورت استاندارد در مراجع مربوطه یافت می‌شوند ولی با مراجعه به آن‌ها متوجه پیش‌نویس ودن آن استاندارد می‌شویم. اینجا در انتخاب استانداردها دقت شده که استاندارد مورد نظر فعال باشد. به عنوان مثال استاندارد IEEE ۹۲۹-۲۰۰۰ در زمینه اتصال به شبکه نیروگاه‌های فتوولتائیک است. بعد از مراجعه به سایت این سازمان با عبارت Withdrawn Standard مواجه خواهیم شد. بنابراین متوجه خواهیم شد که این استاندارد غیرفعال می‌باشد [۱۷].

٤-۲-٦- عدم همپوشانی موضوع استانداردهای جهانی

برخی از مراجع استاندارد از نسخه اصلی یک مرجع، نسخه جدیدی ایجاد می‌کنند. لازم به ذکر است معمولاً بسیاری از استانداردها از مرجع IEC نسخه-های مختلفی با ارجاع به مرجع اصلی انتشار داده‌اند. در این پیشنهاد سعی شده که از مرجع اصلی به جای نسخه‌های جایگزین استفاده شود. به عنوان مثال استاندارد DIN EN ۶۲۴۴۶ VDE ۰۱۲۶-۲۳:۲۰۱۰-۰۷ یک استاندارد آلمانی است. با مراجعه به سایت آن متوجه می‌شویم که استاندارد مذکور نسخه آلمانی استاندارد IEC ۶۲۴۴۶ است. بنابراین همان استاندارد اصلی IEC پیشنهاد داده شده است [۱۸].

٤-۲-۷- دسترس پذیری استاندارد

برخی از استانداردها علی‌رغم موجود بودن آن‌ها امکان خرید و دریافت آن‌ها دشوار است. در اینجا سعی شده تا از استانداردهایی که امکان خرید اینترنتی آن‌ها میسر بوده بهره‌گیری شود. به عنوان نمونه استاندارد IEC۶۲۵۴۸که در زمینه ملزومات طراحی آرایه‌های فتوولتائیک است، اگرچه در مرجع IEC تدوین شده است ولی هنوز خریداری آن امکانپذیر نیست[۲۲]. از طرفی در شرایط یکسان انتخاب استاندارد سعی بر آن بوده که استانداردهای اروپایی در اولویت بیشتری نسبت به استانداردهای آمریکایی (به علت مسائل تحریم) قرار داشته باشند. به عنوان مثال استانداردهای IEC در انتخاب‌ها اولویت بیشتری نسبت به استاندارد UL داشته است.

٤-۲-۸- عدم تشابه با استانداردهای تدوین شده در ایران

منظور از این معیار این بوده است که حتی‌الامکان استانداردی که مشابه استاندارد تدوین شده در ایران است، برای تدوین پیشنهاد نگردد. به عنوان مثال استانداردهای مربوط به شبیه‌ساز خورشیدی قبلاً در سازمان استاندارد تدوین شده است که در این زمینه استانداردی پیشنهاد داده نشده است. البته در برخی موارد به دلیل اهمیت بحث ماژول و اینورتر در نیروگاه خورشیدی، استانداردهایی که به ابعاد دیگر مسائل پرداخته شده است.

٤-۲-۹- زبان استاندارد

در انتخاب استانداردها سعی بر آن بوده که استانداردهای با زبان انگلیسی انتخاب شوند. البته در مواردی از استانداردهای با زبان آلمانی به علت اهمیت موضوع آن استاندارد استفاده شده است. از طرفی باید توجه داشت که استانداردهای منتخب باید در یک سیکل کامل مورد تأیید سازمان استاندارد قرار گیرد. بنابراین با توجه به محدودیت خبرگانی که در سازمان استاندارد مسلط به زبان‌هایی مانند ژاپنی و یا آلمانی و ...هستند، این معیار اهمیت پیدا می‌کند.

٤-۲-۱۰- ارتباط بیشتر موضوع استاندارد با موضوع نیروگاه فتوولتائیک

با مطالعه خلاصه و فهرست موضوعی برخی از استانداردها به این نتیجه رسیده می‌رسیم که موضوع آنها با مباحث فنی در زمینه تولید برق فتوولتائیک ارتباط کمتری دارد. معیار انتخاب این بخش یک معیار کیفی است. به عنوان مثال دو استاندارد IEC ۶۱۸۲۹ و IEC ۶۰۸۹۱ در مورد مشخصه‌های ولتاژ-جریان پنل فتوولتائیک بحث می‌کنند. علی‌رغم اینکه موضوع آن‌ها فتوولتائیک است ولی ارتباط کمتری با موضوع برق خورشیدی و نیروگاه‌های فتوولتائیک دارد و بیشتر به رفتار مداری و ریاضی ماژول‌ها خواهد پرداخت [۲۳]. و یا شرکت ABB برای حفاظت در برابر اضافه جریان در سمت DC استاندارد IEC ۶۰۳۶۴ را مرجع قرار داده است و کلیدهای قطع و مدارشکن‌های مینیاتوری اغلب بر اساس استاندارد IEC EN ۶۰۹۴۷-۳ یا IEC EN ۶۰۹۴۷-۲ آورده شده است [۶]. علی‌رغم اینکه این استانداردها در نیروگاه‌های فتوولتائیک هم کاربرد دارند ولی صرفاً فقط برای نیروگاه‌های فتوولتائیک تعریف نشده‌اند. چه بسا تدوین این قبیل استانداردها بیشتر وظیفه توانیر و یا زیر مجموعه‌های آن‌ها می‌باشد. بنابراین این معیار در حقیقت فیلتری است که استانداردهای با کیفیت بهتر استخراج شوند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

۵- تحلیل سلسله مراتبی معیارها

جهت انجام تحلیل سلسله مراتبی ابتدا بایستی معیارها و زیر معیارها در مقایسات دودویی نسبت به هم سنجیده شده و ارزشگذاری شوند. برای انجام این مقایسات ابتدا از مفاهیم و استدلال‌های علمی و محاسباتی و در صورت عدم ماهیت محاسباتی معیار، از نظرات کارشناسان و تکنیک‌هایی مانند تکنیک دلفی برای تکمیل جداول مقایسه‌ای استفاده می‌شود. در جدول ۴ نمونه ای از جداول که توسط کارشناسان و متخصصین مربوطه تکمیل گردیده نشان داده شده است. در جدول ۴ اگر معیار ۱ از معیار ۲ با ارزشتر باشد عدد $C_{۱۲}$ عددی بزرگتر از یک (از اعداد ۳، ۵، ۷ و۹ روش پروفسورساعتی) را بخود اختصاص خواهد داد؛ هر چه عدد نسبت داده شده بزرگتر از یک باشد نشان دهنده‌ی ارزش بیشتر یک معیار نسبت به دیگری است و عدد C۲۱ معکوس آن می‌باشد ($C_{۱۲} = 1/C_{۲۱}$). به این ترتیب در صورتی که نیمه‌ی بالای جدول ۴ پر شود، برای انجام بقیه محاسبات کفایت می‌نماید.

جدول ۴: نمونه پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط کارشناسان و متخصصین

مقایسه بین معیارها	CR.۱	CR.۲	CR.۳	CR.۴	CR.۵	CR.۶
CR.۱	۱	$C_{۱۲}$				
CR.۲	$C_{۲۱}$	۱				
CR.۳	$C_{۳۱}$	$C_{۳۲}$	۱			
CR.۴	$C_{۴۱}$	$C_{۴۲}$	$C_{۴۳}$	۱		
CR.۵	$C_{۵۱}$	$C_{۵۲}$	$C_{۵۳}$	$C_{۵۴}$	۱	
CR.۶	$C_{۶۱}$	$C_{۶۲}$	$C_{۶۳}$	$C_{۶۴}$	$C_{۶۵}$	۱

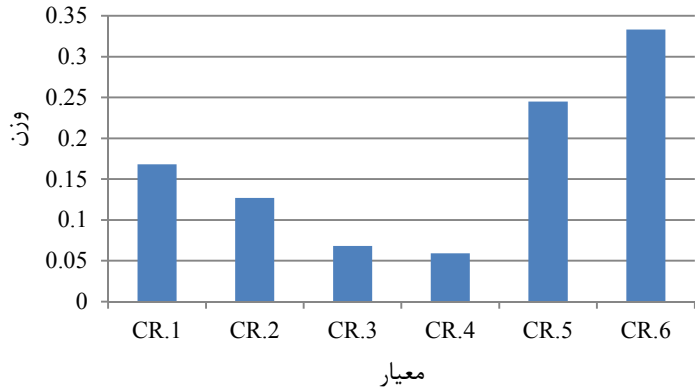
پس از پر شدن جدول ۴ برای معیارها مطابق با رویه‌ی AHP که در قسمت فوق بیان شده، میانگین هندسی هر سطر (یا ستون) محاسبه شده و در نهایت با نرمالیزه کردن اعداد بدست آمده، اوزان مطابق جدول ۵ بدست می‌آید.

جدول ۵: نتایج اوزان معیارهای انتخاب استاندارد

ردیف	مقایسه بین معیارها	وزن معیار
CR.۱	انتخاب استانداردهای نیروگاهی متصل به شبکه	۰/۱۶۸
CR.۲	ارجاعات شرکت‌های تولید پنل و اینورتر به استاندارد مذکور	۰/۱۲۷
CR.۳	ارتباط بیشتر موضوع استاندارد با موضوع نیروگاه فتوولتائیک	۰/۰۶۸
CR.۴	اعتبار و سابقه مرجع جهانی استاندارد	۰/۰۵۹
CR.۵	عدم تشابه با استانداردهای تدوین شده در ایران	۰/۲۴۵
CR.۶	زبان استاندارد	۰/۳۳۳

برای مقایسه‌ی بهتر نتایج بدست آمده در جدول ۴، به صورت نمودار در جدول ۴ ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین تاثیر در انتخاب یک استاندارد را معیارهای ۶ ، ۵ و ۱ خواهند داشت. لازم به ذکر است که اوزان بدست آمده در این قسمت به کمک پرسشنامه‌های متعدد پر شده توسط کارشناسان و متخصصین این حوزه و در اثر یکپارچه کردن این فرم‌های پر شده (جدول ۴) حاصل شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

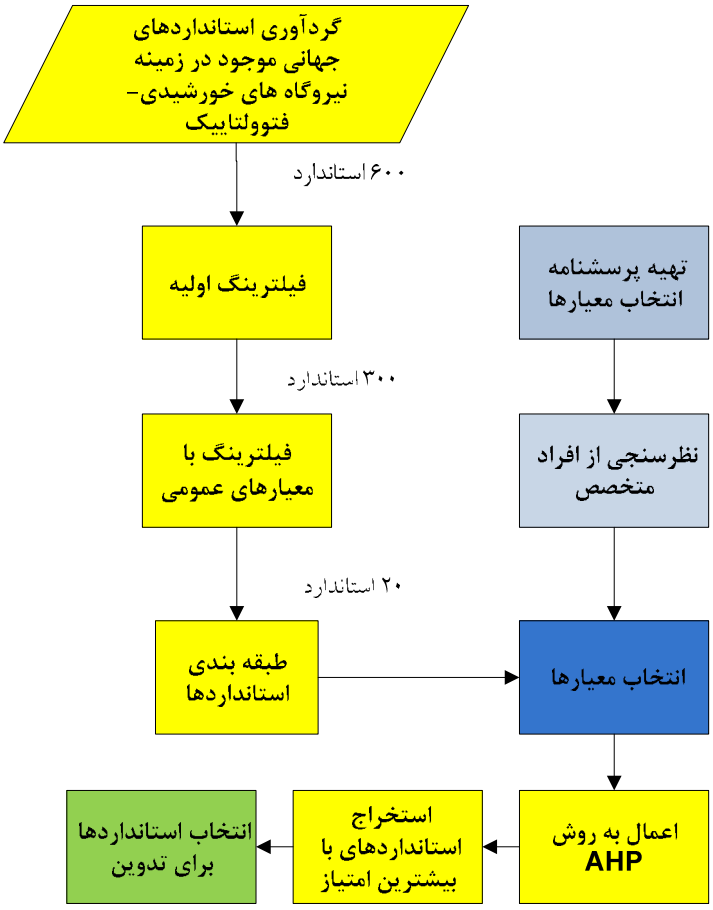


شکل ۳: وزن بین معیارها جهت تعیین استاندارد مناسب نیروگاه فتوولتائیک

در مرحله بعد به معرفی گزینه‌ها پرداخته می‌شود و سپس به کمک روش پیشنهادی (روش سلسله مراتبی) و بر اساس مقایسات زوجی بهترین گزینه معرفی می‌گردد [۱].

٦- تحلیل سلسله مراتبی استانداردها

پس از پیاده‌سازی روند نشان داده شده در شکل ۴ که روند انتخاب استانداردهای اولویت‌دار برای تدوین می‌باشد، در نهایت به ۲۰ گزینه استاندارد رسیده شده که این گزینه‌ها در جدول ۸ (پیوست) بیان شده است. با مشخص شدن گزینه‌ها در این بخش و معرفی معیارها در بخش قبل، روند اجرای بهینه‌سازی با AHP برای اولویت‌بندی گزینه‌ها ادامه داده می‌شود.



شکل ۴: روند انتخاب استانداردهای اولویت‌دار برای تدوین

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

در این بخش یک فرم همانند شکل ۴، ولی ابعاد جدول باید به ابعاد تعداد گزینه‌ها باشد (۲۰ × ۲۰) این فرم‌ها باید به تعداد معیارها تهیه شوند (۶ جدول ۲۰×۲۰). در گام بعد برای هر یک از معیارها، یکی از جدول‌های ۲۰×۲۰ تهیه شده، به همان طریق بیان شده در قسمت قبل (نحوه‌ی پر کردن شکل ۴ پر می‌شوند. به این معنی که هر یک از اعداد جدول (مقایسات دودویی) بیانگر این است که در آن معیارِ مذکور کدام یک از گزینه‌ها نسبت به دیگری ارزش بیشتری دارند. نتایج بدست آمده از این جداول پس از نرمالیزه کردن در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶: وزن معیارها در هر گزینه استاندارد

گزینه	CR.۱	CR.۲	CR.۳	CR.٤	CR.٥	CR.٦
۱	۰/۱٥۳	۰/۰۱۷	۰/۱۲٦	۰/۰۷۱	۰/۰۲٦	۰/۰٥٦
۲	۰/۰٥۱	۰/۰۱۷	۰/۱۲٦	۰/۰۷۱	۰/۱۳۲	۰/۰٥٦
۳	۰/۰٥۱	۰/۰۱۷	۰/۱۲٦	۰/۰۷۱	۰/۱۳۲	۰/۰٥٦
٤	۰/۰٥۱	۰/۳٤٦	۰/۱۲٦	۰/۰۷۱	۰/۱۳۲	۰/۰٥٦
٥	۰/۰۷٦	۰/۰۱۷	۰/۰۲٥	۰/۰۷۱	۰/۰۲٦	۰/۰٥٦
٦	۰/۰۱٥	۰/۰۱۷	۰/۰۲٥	۰/۰۷۱	۰/۰۱۷	۰/۰٥٦
۷	۰/۱٥۲	۰/۰۱۷	۰/۰۲۱	۰/۰۷۱	۰/۰٤٤	۰/۰٥٦
۸	۰/۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰٤۲	۰/۰۷۱	۰/۰٦٦	۰/۰٥٥
۹	۰/۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰۲۱	۰/۰۷	۰/۰٤٤	۰/۰٥٥
۱۰	۰/۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	۰/۰٤٤	۰/۰٥٥
۱۱	۰/۰۳	۰/۰۱۷	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	۰/۰٤٤	۰/۰٥٥
۱۲	۰/۰٥	۰/۳٤٤	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	۰/۰۲٦	۰/۰٥٥
۱۳	۰/۰۲۱	۰/۰۱۷	۰/۰۸۹	۰/۰۷	۰/۰۲٦	۰/۰٥٥
۱٤	۰/۰۷٥	۰/۰۱۷	۰/۰۱٦	۰/۰۷	۰/۰۲٦	۰/۰٥٥
۱٥	۰/۰۲٥	۰/۰۱۷	۰/۰٤۱	۰/۰۱۷	۰/۰٦٥	۰/۰٥٥
۱٦	۰/۰۷٥	۰/۰۱۷	۰/۰۳۱	۰/۰۲۳	۰/۰۱٤	۰/۰٥٥
۱۷	۰/۰۲٥	۰/۰۱۷	۰/۰۱٥	۰/۰۷	۰/۰۲٦	۰/۰٥٥
۱۸	۰/۰۲۱	۰/۰۱۷	۰/۰۳۱	۰/۰۲۳	۰/۰٤۳	۰/۰۰۳
۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۱۷	۰/۰۳۱	۰/۰۲۳	۰/۰۳۳	۰/۰۰۳
۲۰	۰/۰۱٦	۰/۰۱۷	۰/۰۱٤	۰/۰۱٤	۰/۰۳۳	۰/۰٥٤

برای مقایسه بهتر نتایج بدست آمده در جدول ۶در شکل ۵ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در این نمودار وزن هر گزینه در هر معیار نمایش داده شده است. در ادامه با استفاده از میانگین هندسی اوزان بدست آمده در جدول ۶ برای هر گزینه و نرمالیزه کردن نتایج بدست آمده، اوزان و اولویت گزینه‌ها بدست می‌آید. که نتایج نهایی در جدول ۷ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود استاندارد مربوط به بررسی حالت جزیره‌ای نیروگاه-های فتوولتائیک متصل به شبکه (IEC ۶۲۱۱۶) بیشترین اولویت و استاندارد مربوط به امنیت اینورترهای فتوولتائیک متصل به شبکه (۶۲۱۰۹-۱,۲) به عنوان اولویت دوم و سوم انتخاب شدند. استاندارد مربوط به ملزومات و مستندات تست و راه اندازی نیروگاه‌های فتوولتائیک متصل به شبکه (IEC ۶۲۴۴۶) در اولویت چهارم قرار گرفت. و در نهایت استاندارد مربوط به سیستم‌های فتوولتائیک در مقیاس کوچک (IEC ۶۲۲۵۷-۷-۱) بعنوان اولویت پنجم برای تدوین در این بررسی قرار گرفت.

۷- آنالیز حساسیت

یکی از قابلیت‌های نرم‌افزاری مدل معرفی شده آنالیز حساسیت خروجی نسبت به تغییر وزن معیارها و گزینه‌ها می‌باشد. برای درک بهتر موضوع در مطالعه موردی، ۲ آنالیز حساسیت روی معیارها انجام شده است که نتایج آن به ترتیب در شکل ۶ وشکل ۷ آورده شده است. برای مثال در شکل ۶ با افزایش وزن معیار انتخاب استانداردهای نیروگاهی متصل به شبکه، ۲۰۰۹ :IEC ۶۲۴۴۶ از اولویت سوم به اولویت اول و ۲۰۰۸ :IEC ۶۲۱۱۶ از اولویت اول به رتبه سوم

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

نزدیک می‌شوند. همچنین با افزایش وزن معیار ارجاعات شرکت‌های تولید پنل و اینورتر به استاندارد مذکور طبق نمودار شکل ۷، UL ۱۷۴۱ از اولویت ششم به اولویت دوم تبدیل خواهد شد.

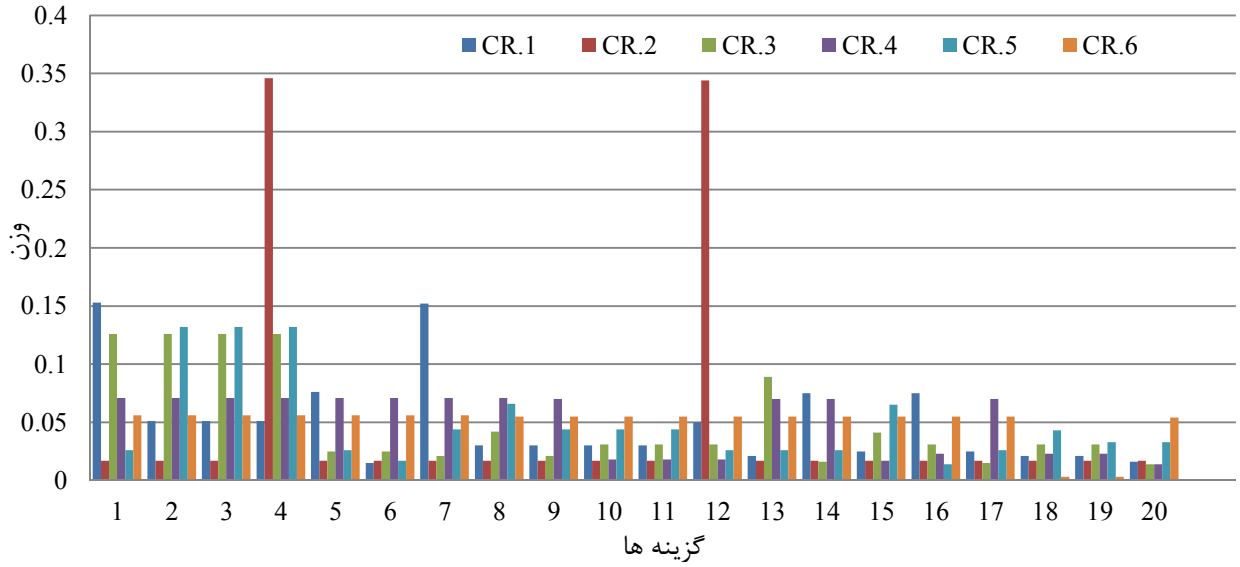
جدول ۷: نتایج نهایی انتخاب استاندارد مناسب نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه در کشور

ردیف	استاندارد	وزن	اولویت
۱	IEC ۶۲۴۴۶: ۲۰۰۹	۰/۰٦٤	۳
۲	IEC ۶۲۱۰۹-۱	۰/۰۷۲	۲
۳	IEC ۶۲۱۰۹-۲	۰/۰۷۲	۲
٤	IEC ۶۲۱۱۶: ۲۰۰۸	۰/۰۸۳	۱
٥	IEC ۶۱۷۳۰-۲: ۲۰۰۴	۰/۰٥۱	۷
٦	IEC ۶۱۸۳۶: ۲۰۰۷ Ed ۲	۰/۰٤۳	۱۳
۷	IEC/TS ۶۲۲٥۷-۷-۱: ۲۰۰۶ Ed ۱	۰/۰٦۲	٤
۸	IEC ۶۰۲۶۹-۶	۰/۰٥٤	٦
۹	IEC ۶۰۳۶۴-۷-۱۲ ed.۱ (۲۰۰۲-۰٥)	۰/۰٤۹	۹
۱۰	UL -SU ۶۷۰۳	۰/۰٤٥	۱۱
۱۱	UL ۲٥۷۹	۰/۰٤٥	۱۱
۱۲	UL ۱۷۴۱	۰/۰٥٥	٥
۱۳	IEC ۶۱۸٥۳-۱	۰/۰٤۸	۱۰
۱٤	IEC ۶۱۸۲۹	۰/۰٥	۸
۱٥	UL -SU ۴۷۰۳	۰/۰٤۹	۹
۱٦	UL ۱۷۰۳	۰/۰٤٥	۱۱
۱۷	IEC ۶۰۸۹۱ ed.۲	۰/۰٤٤	۱۲
۱۸	DIN V VDE V ۰۱۲۶-۳:۲۰۰۹-۱۲	۰/۰۱٥	۱٥
۱۹	DIN EN ۶۲۳۰٥-۳ VDE ۰۱۸٥-۳۰٥-۳	۰/۰۱۳	۱٦
۲۰	ASTM E۱۷۹۹ - ۰۸	۰/۰٤	۱٤

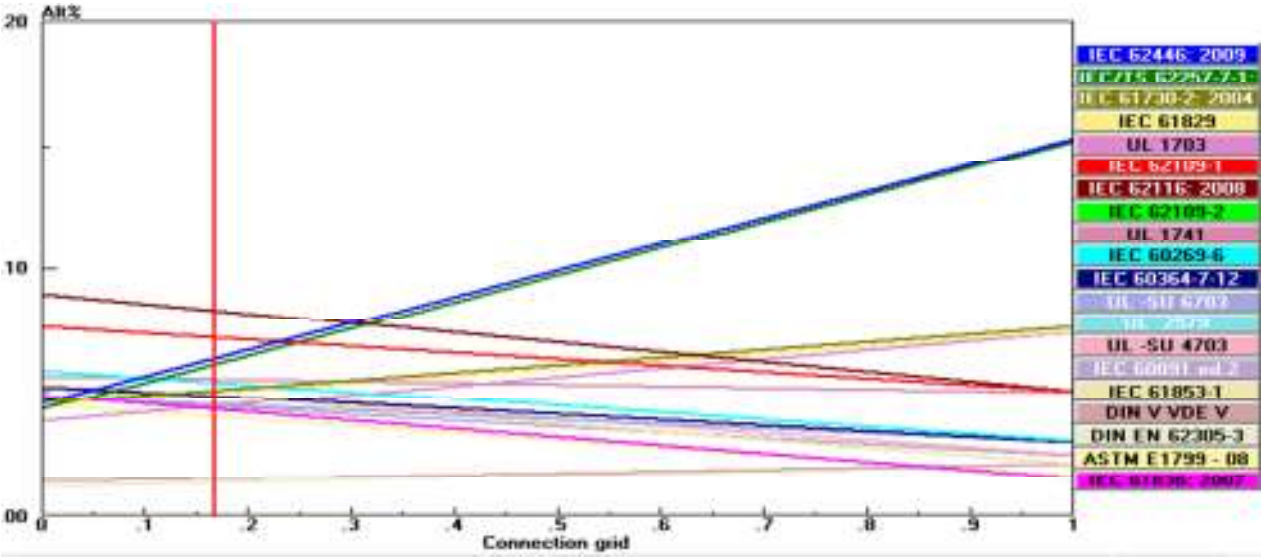
۸- نتیجه گیری

در طی این بررسی استانداردهای موجود در زمینه انرژی خورشیدی و نیروگاه‌های فتوولتائیک گردآوری و دسته‌بندی و بعد از فیلتر اولیه استانداردها ، تعداد ۲۸۶ استاندارد مرتبط با موضوع بررسی در ۱۱ دسته طبقه‌بندی شدند. از طرفی معیارهای انتخاب استانداردها جمع‌آوری شده و با استفاده از روش AHP وزن‌دهی شدند. استانداردهای جمع‌آوری شده در شش معیار موزون به روش AHP اعمال شدند. در نهایت ۲۰ استاندارد باقی مانده به ترتیب اولویت برای تدوین به صورت استاندارد ملی در سازمان استاندارد مشخص گردیدند. استانداردهای IEC ۶۲۱۱۶، IEC ۶۲۱۰۹-۱، IEC ۶۲۱۰۹-۲، IEC ۶۲۴۴۶ و IEC ۶۲۲٥۷-۷-۱ به ترتیب ۵ استاندارد اول در این بررسی مشخص گردیدند. نتایج حاکی از اهمیت بالای ۵ استاندارد اول برای استفاده در فرایند احداث نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه بود. در ادامه آنالیز حساسیت اولویت استانداردها نسبت به تغییر دو مورد از معیارها صورت گرفت. مطابق انتظار استانداردهایی که معیارهای مورد نظر را بیشتر ارضاء می‌کردند در اولویت بالاتری قرار گرفتند.

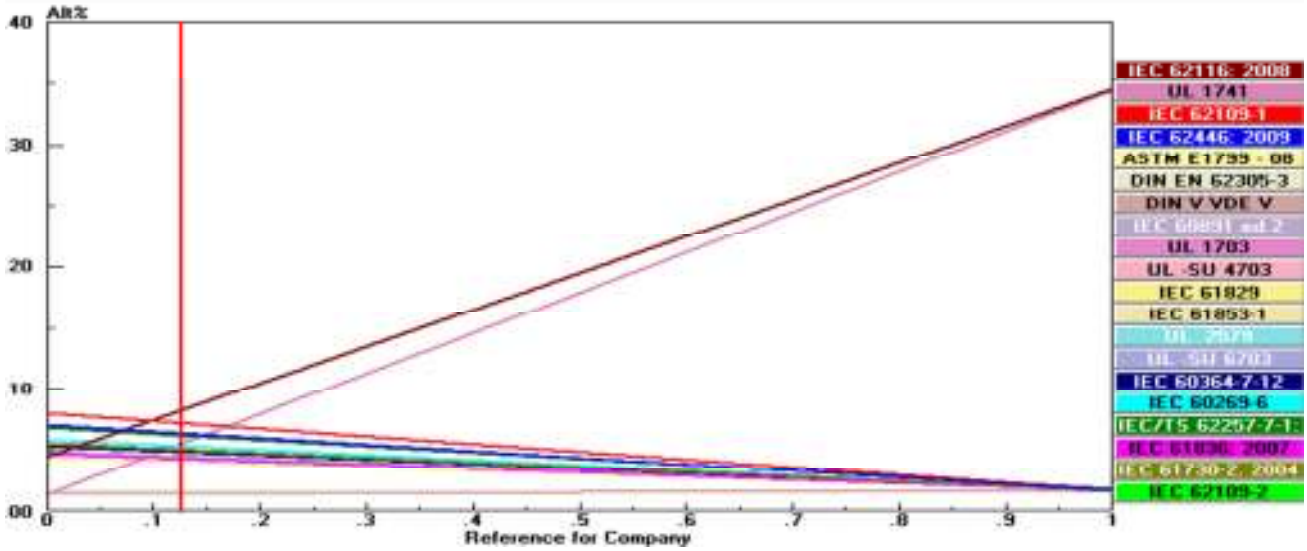
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]



شکل ۵: نمودار وزن‌های اختصاص داده شده به هر گزینه در هر معیار



شکل ۶: آنالیز حساسیت اولویت استانداردها نسبت به افزایش وزن معیار انتخاب استانداردهای نیروگاهی



شکل ۷: آنالیز حساسیت اولویت استانداردها نسبت به افزایش وزن معیار ارجاعات شرکت‌های تولید پنل و اینورتر

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

۹- مراجع

[۱] اصغرپور م. ج. ،" تصمیم‌گیری چند معیاره"، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم، ۱۳۸۸.

[۲] سازمان انرژی‌های نو ایران http://www.suna.org.ir

[۳] قدسی پور ،"مباحثی در تصمیم گیری چند معیاره"، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، چاپ سوم، ۱۳۸۱.

[۴] (موسسه پژوهش در مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی) http://riemp.ut.ac.ir

[۵] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، "سامانه‌های فتوولتائیک –http://www.isiri.org

[۶] ABB,"Low voltage products, Solar energy, Protecting and isolating PV systems" available from http://www۰۵.abb.com/global/scot/scot۲۰۹.nsf/veritydisplay/۴۰abe۷۶۹۲۷e۹e۰۱dc۱۲۵۷۶ba۰۰۳c۲۲bf/$file/solar٪۲۰cat٪۲۰lr٪۲۰v.۰۶.pdf

[۷] American National Standards Institute, "American National Standard for Electric Power Systems and Equipment—Voltage Ratings (۶۰ Hertz)", December ۶, ۲۰۰۶.

[۸] Available on http://www.jsa.or.jp/default_english.asp

[۹] Available on www.ieee.org

[۱۰] Available on http://www.iec.ch/about/activities/

[۱۱] Available on www.iso.ch

[۱۲] Available on www.astm.org

[۱۳] Available on www.vde.de

[۱۴] Available On http://sabainfo.ir/standards-fa.html

[۱۵] Available on www.semi.org

[۱۶] Asset Management Department, "۱C.۲.۱—Voltage Level and Range", ۸ Jun ۲۰۰۴.

[۱۷] Available On http://standards.ieee.org/findstds/standard/۹۲۹-۲۰۰۰.html

[۱۸] Available On http://www.vde-verlag.de/standards/۰۱۲۶۰۳۲/din-en-۶۲۴۴۶-vde-۰۱۲۶-۲۳-۲۰۱۰-۰۷.html

[۱۹] Canadian Solar Company, CS۵P-M Data Sheet, ۲۰۱۱ Available from http://www.canadiansolar.com/dl.php?dir=datasheets&file=MaxPower٪۲۰CS۶X-P_en.pdf

[۲۰] First Solar company, First Solar FS Series ۲ PV Module, ۲۰۱۱, Available On http://www.firstsolar.com/~/media/WWW/Files/Downloads/PDF/Document-Library/Technology/Datasheet_s۲.ashx?la=en

[۲۱] Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE Application Guide for IEEE Std ۱۵۴۷™, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems", New York, USA, ۱۵ April ۲۰۰۹.

[۲۲] International Electrotechnical commission Available On http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=۱۰۳:۹۱:۰::::FSP_LANG_ID:۲۵□q=۶۲۵۴۸

[۲۳] . International Organization for Standardization. "How are ISO Standards Developed." Available: http://www.iso.ch/iso/en/aboutiso/introduction/index.html

[۲۴] International Electrotechnical commission, IEC ۶۱۸۲۹ ed۱.۰," Crystalline silicon photovoltaic (PV) array - On-site measurement of I-V characteristics", ۱۹۹۵. Available from: http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/Artnum_PK/۱۹۵۴۷

[۲۵] SMA Company, Sunny Tripower Inverter data sheet, ۲۰۱۱ Available On http://files.sma.de/dl/۸۵۵۲/STP۱۷۰۰۰TL-DEN۱۱۲۴۱۰W.pdf

[۲۶] SMA company, Sunnyboy Inverter data sheet, ۲۰۱۱ Available On http://files.sma.de/dl/۴۷۵۲/SUNNYBOY۵۶۷۸-DUS۱۱۳۵۳۰.pdf

[۲۷] Suntech Company, STP۲۳۰ Data Sheet , ۲۰۱۱ available On http://ap.suntech-power.com/images/stories/pdf/datasheets/july۲۰۱۱/STP۲۲۵_۲۰Wd_EU_APMEA(۲۲۵-۲۳۰٪۲۰H+S).pdf

[۲۸] Q-Cell company, Q-peak ۲۴۵ Datasheet, ۲۰۱۱ Available On http://www.q-cells.com/uploads/tx_abdownloads/files/Q-Cells_QPEAK_Data_Sheet_EN_۲۰۱۱-۰۸_Rev۰۴_WEB.pdf

[۲۹] Underwriter Laboratories. Available from: http://www.ul.com/global/eng/pages/corporate/aboutul/

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

۱۰-پیوست

جدول ۸: لیست استانداردهای منتخب

گزینه	شماره استاندارد	عنوان
۱	IEC ٦٢٤٤٦: ٢٠٠٩	Grid connected photovoltaic systems -Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection
۲	IEC ٦٢١٠٩-١	Safety of power converters for use in photovoltaic power systems --Part ١. General requirements. Publish ٢Q ٢٠١٠
۳	IEC ٦٢١٠٩-٢	Safety of power converters for use in photovoltaic power systems --Part ٢. Particular requirements for inverters. Publish ٤Q ٢٠١٠
۴	IEC ٦٢١١٦: ٢٠٠٨	Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters
۵	IEC ٦١٧٣٠-٢: ٢٠٠٤	Photovoltaic (PV) module safety qualification -Part ٢: Requirements for testing Amendment ١ in process; publish ٣Q ٢٠١٠
۶	IEC ٦١٨٣٦: ٢٠٠٧ Ed ٢	Solar photovoltaic energy systems - Terms, definitions and symbols
۷	IEC/TS ٦٢٢٥٧-٧-١: ٢٠٠٦ Ed ١	Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification -Part ٧-١: Generators -Photovoltaic arrays
۸	IEC ٦٠٢٦٩-٦	Low-voltage fuses , Part ٦: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems
۹	IEC ٦٠٣٦٤-٧-١٢ ed.١ (٢٠٠٢-٠٥)	electrical installations of building - part ٧-٧١٢ : Requirements for special installations or locations – solar Photovoltaic (PV) power supply systems
۱۰	UL -SU ٦٧٠٣	Photovoltaic connector
۱۱	UL ٢٥٧٩	Fuses for photovoltaic systems
۱۲	UL ١٧٤١	Standard for Inverters, Converters, and Controllers for Use in Independent Power Systems
۱۳	IEC ٦١٨٥٣-١	Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating -Part ١: Irradiance and temperature performance measurements and power rating; publish ١Q ٢٠١١
۱۴	IEC ٦١٨٢٩	Crystalline silicon photovoltaic (PV) array - On-site measurement of I-V characteristics
۱۵	UL -SU ٤٧٠٣	PHOTOVOLTAIC WIRE
۱۶	UL ١٧٠٣	Standard for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels
۱۷	IEC ٦٠٨٩١ ed.٢	Photovoltaic devices, Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics
۱۸	DIN V VDE V ٠١٢٦-٣ VDE V ٠١٢٦-٣:٢٠٠٩-١٢	Connectors for photovoltaic systems , Safety requirements and tests
۱۹	DIN EN ٦٢٣٠٥-٣ VDE ٠١٨٥-٣٠٥-٣ Beiblatt ٥:٢٠٠٩-١٠	Protection against lightning , Part ٣: Physical damage to structures and life hazard – Supplement ٥: Lightning and overvoltage protection for photovoltaic power supply systems
۲۰	ASTM E١٧٩٩ - ٠٨	Standard Practice for Visual Inspections of Photovoltaic Modules

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]

Review and prioritize of appropriate standards for the construction of grid connected photovoltaic power plants using the AHP

M.H.Shams M.Kia

ACECR, Sharif University of Technology Branch

Power and Water University of Technology

Key words – Photovoltaic power plant, Module, inverter, configuration of elements

Abstract

The first step in the implementation of photovoltaic power plants is to obey the international standards in the construction of such plants. Due to the simplicity of the Persian text standards for photovoltaic power plants to utilize by PV experts in Iran, standards have been developed by Institute of Standards and Industrial Research of Iran. The aim of this article is gathering Standards in this field and select high-priority standard for introducing them. During this survey about ٦٠٠ standards were collected. After a two-stage filtering ٢٠ standards selected for final review. Despite the different criteria for selecting high priority standards, we realized that it is a multi-criteria decision making problem. Therefore, in this paper, hierarchical analysis (AHP) which is a powerful tool to model quantitative and qualitative criterias has been used in this survey. Options and criteria for identifying an appropriate model of decision making and the comparisons made in this model. Finally ٥ standards for developing selected.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-07-27]