ملاحظات و الزامات اجرای طرح‌های مکانیزم توسعه پاک در زمینه نیروگاه فتوولتائیک با نگاهی آماری به پروژه‌های ثبت‌شده

■ **جلال نوری**[*+]، **مسعود محمدی**[1]

تهران، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف، صندوق پستی: 13445-686

■ **امین پاداش**[2]

تهران، پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی، گروه پژوهشی اکولوژی صنعتی، صندوق پستی: 13445-1668

■ **سعید سلطانی**[3]

تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده توسعه فناوری‌های پالایش، صندوق پستی: 14665-1998

تاریخ دریافت: 1392/10/21 و تاریخ پذیرش: 1392/11/26

چکیده

انتشار بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای و پدیده گرمایش زمین در چند دهه اخیر سبب اثرات نامطلوب بر تغییرات آب و هوا شده است. بخش برق و نیروگاه‌ها با حدود 37/5 درصد از انتشار کربن، یکی از مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان است که عمدتا منشا فسیلی دارد. این درحالی است که نصب هر 100 kW برق نیروگاه خورشیدی فتوولتائیک می‌تواند سالانه از انتشار 100 تا 140 تن CO_2 جلوگیری کند. «مکانیزم توسعه پاک (CDM)»[4] یکی از سازوکارهای پروتکل کیوتو است که با هدف مشارکت کشورهای در حال توسعه در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سه مرحله تصویب ایده پروژه، ثبت پروژه و صدور گواهی کاهش انتشار اجرا می‌شود. مهم‌ترین سند این سه مرحله، سند طراحی پروژه است که شامل ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی طرح می‌شود. بیش از 67% طرح‌های CDM را طرح‌های انرژی تجدیدپذیر تشکیل می‌دهد که حدود 5% آن مربوط به فناوری خورشیدی (عمدتا فتوولتائیک) است. تحلیل‌های آماری روی پروژه‌های فتوولتائیک مقیاس بزرگ (بالای 10 مگاوات) نشان می‌دهد که ظرفیت کاهش انتشار این فناوری به‌طور متوسط 1369 tCO2/MW است. به‌علاوه، درآمد حاصل از فروش گواهی کاهش انتشار این نیروگاه‌ها می‌تواند بیش از 70% هزینه تعمیر و نگهداری سالانه نیروگاه را تامین می‌کند.

واژگان کلیدی: CDM، پروتکل کیوتو، کنوانسیون تغییرات آب و هوایی، مکانیزم توسعه پاک، نیروگاه فتوولتائیک، سند طراحی پروژه، گواهی کاهش انتشار، پایش.

* عهده دار مکاتبات

+ شماره نمابر: 66075013-021 و آدرس پست الکترونیکی: jalalnouri@yahoo.com

۱ شماره نمابر: 66075013-021 و آدرس پست الکترونیکی: masoudmohammadi@jdsharif.ir

۲ شماره نمابر: 66075177-021 و آدرس پست الکترونیکی: aminpadash2003@yahoo.com

۳ شماره نمابر: 44739738-021 و آدرس پست الکترونیکی: Soltanalis@ripi.ir

4 Clean Development Mechanism (CDM)

1- مقدمه

اثر گلخانه‌ای یک روند طبیعی است که به موجب آن، بخشی از انرژی خورشید در جو زمین به دام می‌افتد و سبب گرمایش کره زمین می‌شود. با این حال، فعالیت‌های انسانی موجب انتشار بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای و پدیده گرمایش زمین شده است که اثرات نامطلوبی بر تغییرات آب و هوا دارد. مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای عبارتند از: دی‌اکسید کربن (حاصل احتراق سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی)، متان (حاصل کشاورزی، حیوانات و دفن زباله) و اکسید نیتروژن (حاصل محصولات کشاورزی و مواد شیمیایی صنعتی). گرم شدن زمین بیش از دو درجه سانتیگراد، موجب فروپاشی یخ‌های قطبی، آب شدن لایه منجمد دائمی اعماق زمین، بالا آمدن سطح دریا و امواج گرمای کشنده می‌شود و می‌تواند میلیون‌ها نفر را با افزایش خطر گرسنگی، بیماری، جاری شدن سیل در برخی مناطق و کمبود آب در مناطق دیگر مواجه کند. هزینه‌های اجتماعی انتشار هر تن CO_2 نیز از 8 دلار تا 85 دلار بر اساس مدل‌های مختلف گزارش شده است[1].

در چند دهه اخیر تلاش‌های زیادی در جهت همکاری‌های بین‌المللی برای کاهش اثرات زیان‌بار فعالیت‌های بشری بر محیط زیست انجام شده است. تشکیل کنوانسیون تغییر آب‌وهوا (UNFCCC)[5] در سازمان ملل متحد، یکی از این تلاش‌ها بود که هدف اصلی آن جلوگیری از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین است. این کنوانسیون در سال 1997 پروتکل کیوتو را به تصویب رساند که کشورهای توسعه‌یافته را به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خود متعهد می‌کرد. هدف کمّی این پروتکل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به 5% کمتر از حد آن در سال 1990 بود. این هدف برای دوره زمانی پنج‌ساله از 2008 تا 2012 پیش‌بینی شده بود؛ ولی تا سال 2015 تمدید شد.

پروتکل کیوتو 191 کشور عضو را به دو دسته کشورهای ضمیمه I (شامل 26 کشور توسعه‌یافته به اضافه اتحادیه اروپا به‌عنوان یک عضو مستقل) و غیرضمیمه I (164 کشور در حال توسعه) تقسیم می‌کند. کشورهای ضمیمه I با 61/6 درصد از تولید گازهای گلخانه‌ای، موظف به کاهش انتشار خود هستند؛ اما کشورهای غیر ضمیمه I، از جمله برزیل، هند و چین، تعهدی جز پایش و گزارش میزان گازهای گلخانه‌ای خود ندارند. جمهوری اسلامی ایران نیز از سال 1375 عضو کنوانسیون تغییر آب‌وهوا است و پروتکل کیوتو را در سال 1384 پذیرفته است[2].

برای دستیابی به تعهدات پروتکل کیوتو، سه مکانیزم انعطاف‌پذیر و مبتنی بر بازار تنظیم شده است که دو مکانیزم آن با نام‌های «اجرای مشترک»[6] و تجارت انتشار بین‌المللی[7]، مربوط به تعامل کشورهای توسعه‌یافته با یکدیگر و یک مکانیزم آن، موسوم به «مکانیزم توسعه پاک (CDM)»[8] مربوط به تعامل کشورهای توسعه‌یافته با کشورهای در حال توسعه است.

بخش برق و نیروگاه‌ها با حدود 37/5 درصد انتشار کربن، یکی از مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان است. انتشار گازهای گلخانه‌ای در چرخه حیات نیروگاه غالبا به دو شکل مستقیم (حاصل از سوختن سوخت‌های فسیلی در زمان بهره‌برداری) و غیرمستقیم (ناشی از فعالیت‌های استخراج مواد اولیه، حمل‌ونقل، فرآوری، ساخت‌وساز، تعمیر و نگهداری و تخریب) است. یکی از زمینه‌های مورد حمایت پروتکل کیوتو، در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر از جمله نیروگاه فتوولتائیک است. مقایسه میانگین انتشار فناوری‌های مختلف تولید برق در جدول شماره 1 نشان می‌دهد که انتشار گازهای گلخانه‌ای در فناوری‌های تجدیدپذیر بسیار کم و تنها مربوط به انتشار غیرمستقیم است.

جدول 1: میزان انتشار مستقیم و غیرمستقیم فناوری‌های تولید برق

فناوری تولید برق	انتشار مستقیم (gCO_2/kWh)	انتشار غیرمستقیم (gCO_2/kWh)
زغال سوز	887	88
نفت سوز	704	38
گاز طبیعی مایع (LNG)	478	130
اتمی	0	29
برق‌آبی	0	11
زمین گرمایی	0	15
فتوولتائیک	0	53
بادی	0	29

ذکر یک مثال، تأثیر فناوری فتوولتائیک در کاهش انتشار را بیشتر روشن می‌کند. مطابق آمار سال 1389 مرکز آمار ایران، میزان انتشار حاصل از هر کیلووات‌ساعت برق شبکه در ایران، حدود 0/675 کیلوگرم CO_2 بوده است[3]. اگر بخشی از برق شبکه با یک نیروگاه خورشیدی 100 کیلووات با میانگین 4/5 ساعت تولید برق در روز جایگزین شود، می‌توان سالیانه 164،250 kWh برق خورشیدی تولید کرد که معادل کاهش حدود 110 تن CO_2 است. با فرض 0/053 کیلوگرم میانگین انتشار نیروگاه فتوولتائیک در جدول شماره 1، کاهش انتشار خالص به 100 تن

5 United Nations Framework Convention for Climate Change (UNFCCC)

6 Joint Implementation (JI)
7 International Emissions Trading (IET)
8 Clean Development Mechanism (CDM)

می‌رسد. این مقدار معادل نسوختن 40 هزار لیتر بنزین یا تخریب نشدن 3،760 مترمربع جنگل در سال است که تاثیر قابل توجهی در حفظ سرمایه‌های طبیعی و حفاظت از محیط زیست دارد[9].

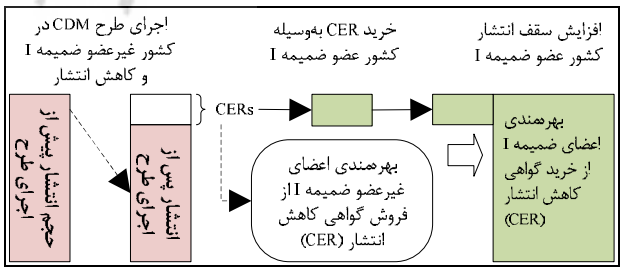
این مقاله به تبیین ملاحظات و الزامات تعریف طرح‌های CDM خورشیدی، رویه اجرایی آنها، نحوه تدوین اسناد و تحلیل آماری طرح‌های ثبت‌شده در زمینه نیروگاه‌های فتوولتائیک از نظر فنی و اقتصادی می‌پردازد.

2- مکانیزم توسعه پاک(CDM)

از میان سه مکانیزم پیش‌بینی‌شده در پروتکل کیوتو، فقط مکانیزم توسعه پاک است که امکان همکاری کشورهای درحال توسعه را برای کاهش انتشار فراهم می‌کند. براساس ماده 12 پروتکل کیوتو، هدف از مکانیزم توسعه پاک کمک به کشورهای در حال توسعه (غیر ضمیمه I) برای دستیابی به توسعه پایدار، کمک به هدف نهایی کنوانسیون و کشورهای توسعه‌یافته (اعضای ضمیمه I) در جهت عمل به تعهدات کاهش انتشار است[4]. اجرای این مکانیزم، مزایای زیر را در پی دارد:

- دستیابی به مزایایی حقیقی، قابل اندازه‌گیری، دراز مدت و مقرون به‌صرفه در کاهش گازهای گلخانه‌ای؛
- انتفاع مالی، فنی و زیست‌محیطی کشورهای در حال توسعه؛
- امکان اعضای ضمیمه I به انجام تعهدات مربوط به کاهش انتشار از طریق خرید گواهی‌های انتشار؛
- اضافه شدن کاهش انتشار به فعالیت‌های روزمره و عادی کسب‌وکار سرمایه‌گذاران یا مجریان پروژه‌ها.

بر این اساس، کشور غیرعضو ضمیمه I با اجرای طرح‌های کاهنده انتشار گازهای گلخانه‌ای، میزان کاهش انتشار خود را در قالب «گواهی کاهش انتشار (CER)»[10] به کشورهای ضمیمه I می‌فروشد تا ضمن انتفاع مالی خود، تعهدات کشور عضو ضمیمه I هم اجرا شود. شکل شماره 1 عملکرد این سازوکار را نشان می‌دهد[5].



شکل 1: عملکرد مکانیزم توسعه پاک در اجرای پروتکل کیوتو[5]

2-1- زمینه‌های فعالیت‌های پروژه‌ای در قالب CDM

در ضمیمه A پروتکل کیوتو، 15 زمینه فعالیتی برای اجرای پروژه‌های مکانیزم توسعه پاک تعریف شده است که فهرست آنها در جدول شماره 2 آمده است[7]. بندهای 1 تا 9 این فهرست مربوط به زمینه‌های صنعتی، بندهای 10 تا 13 مربوط به منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای و بندهای 14 و 15 مربوط به زمینه‌های جنگلی و کشاورزی است[7].

جدول 2: زمینه‌های فعالیت‌های پروژه‌ای مکانیزم توسعه پاک[7].

ردیف	عنوان زمینه	ردیف	عنوان زمینه
1	صنایع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر	8	تولیدات معدنی
		9	تولید فلزات
2	توزیع انرژی	10	انتشار فرّار سوخت‌ها
3	مصرف انرژی	11	انتشار فرّار هالوکربن‌ها و SF6
4	صنایع تولیدی	12	مصرف حلال‌ها
5	صنایع شیمیایی	13	انتقال و دفع پسماندها
6	صنعت ساختمان	14	جنگل‌کاری و احیای جنگل
7	حمل و نقل	15	کشاورزی

2-2- نقش مکانیزم توسعه پاک در تامین مالی پروژه‌ها

به‌طور کلی، دو روش برای استفاده از مزایای مکانیزم توسعه پاک برای تامین مالی پروژه‌ها وجود دارد: (1) جلب مشارکت خارجی و (2) فروش گواهی کاهش انتشار در بازار. درصورتی‌که درآمد حاصل از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک طرح جذابیت لازم را برای سرمایه‌گذار خارجی داشته باشد، می‌توان شرکت خارجی را پیدا کرد که تمام یا بخشی از سرمایه‌گذاری اولیه آن را تامین کند. در غیراین‌صورت، صاحبان پروژه می‌توانند با فروش گواهی کاهش انتشار از طرف سازمان ملل، نرخ بازدهی سرمایه خود را افزایش دهند.

در طرح‌هایی که با مشارکت خارجی اجرا می‌شود، معمولا هدف اصلی ارتقای سطح فناوری است که مزایای جانبی نظیر جذب سرمایه‌گذاری خارجی و درآمدهای مکانیزم توسعه پاک را هم به همراه دارد. نیروگاه‌های تجدیدپذیر (مثل بادی و خورشیدی) و طرح‌های تغییر یا کاهش مصرف سوخت کارخانه‌ها از این جمله‌اند[8].

درآمد حاصل از کاهش گازهای گلخانه‌ای نیز بستگی به نوع و اندازه طرح دارد؛ اما می‌توان گفت که به ازای هر گواهی کاهش انتشار (کاهش هر تن دی اکسید کربن) به‌طور متوسط حدود 10 یورو درآمد نصیب پروژه می‌شود[8]. این موضوع در بخش تحلیل آماری پروژه‌های CDM خورشیدی با جزئیات بیشتری ارائه می‌شود.

9 سوختن هر لیتر بنزین، 2/2 کیلوگرم و سوختن هر هکتار جنگل، حدود 250 تن CO_2 تولید می‌کند[6].

10 Certificate for Emission Reduction (CER)

3-2- مکانیزم توسعه پاک در ایران

سازمان حفاظت محیط زیست ایران به‌عنوان مرجع صلاحیت‌دار ملی در اوایل سال 1386 به دبیرخانه کنوانسیون بین‌المللی آب-وهوایی معرفی و آیین‌نامه تصویب پروژه‌های مکانیزم توسعه پاک در چارچوب پروتکل کیوتو نیز در 10 آبان 1388 تصویب شد. براساس این آیین‌نامه، پروژه‌های CDM باید واجد شرایط سه معیار زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی باشند که اغلب پروژه‌های نیروگاه‌های تجدیدپذیر و به‌طور مشخص، نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک در زمره مصادیق معیارهای فوق محسوب می‌شوند.

ایران با رتبه پنجم در بین کشورهای در حال توسعه از نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، پتانسیل بسیار بالایی برای انجام پروژه‌های مکانیزم توسعه پاک دارد؛ ولی تاکنون سهم چندانی در این بازار چند صد میلیارد دلاری نداشته است. ایران به‌عنوان شصت و هفتمین کشور، اولین پروژه خود را در 2 آذر 1388 و آخرین آن را در 6 آبان 1391 به ثبت رسانده است[9].

نگاهی به عناوین طرح‌های CDM ثبت‌شده ایران (جدول شماره 3) نشان می‌دهد که اغلب آنها مربوط به تغییر سوخت مصرفی است و پروژه‌های تجدیدپذیر (غیر از آخرین پروژه با موضوع نیروگاه برق‌آبی) سهمی در این فهرست ندارند[9]. حجم بسیار محدود فعالیت‌های کشور در این زمینه، مهم‌ترین عامل عدم توفیق در بازار CDM است.

جدول 3: فهرست پروژه‌های مکانیزم توسعه پاک ثبت‌شده از سوی ایران در UNFCCC[9]

ردیف	تاریخ ثبت	عنوان	همکار	کاهش انتشار (tCo_2)
1	88/09/02	جمع‌آوری گازهای همراه میادین نفتی سروش و نوروز و انتقال به جزیره خارک	نروژ	463.122
2	90/02/12	تغییر سوخت از مازوت به گاز طبیعی در مهر کشت و صنعت واحد امام خمینی	سوئیس	31.525
3	90/02/12	تغییر سوخت از مازوت به گاز طبیعی در مهر کشت و صنعت واحد سلمان فارسی	سوئیس	32.985
4	90/02/12	تغییر سوخت از مازوت به گاز طبیعی در کشت و صنعت واحدامیرکبیر	سوئیس	55.885
5	90/02/12	تغییر سوخت از مازوت به گاز طبیعی در مهر کشت و صنعت واحد دعبل خزاعی	سوئیس	55.107
6	90/04/08	تغییر سوخت از مازوت به گاز طبیعی در مهر کشت و صنعت واحد حکیم فارابی	سوئیس	54.060
7	90/04/31	تغییر سوخت از مازوت به گاز طبیعی در مهر کشت و صنعت واحد میرزا کوچک خان	سوئیس	27.516
8	90/11/14	تولید برق از مرکز دفن زباله مشهد	سوئیس	80.972
9	91/01/07	تغییر سیکل به سیکل ترکیبی نیروگاه سنندج	سوئیس	693.612
10	91/01/07	تغییر سیکل به سیکل ترکیبی نیروگاه شیروان	سوئیس	783.332
11	91/01/07	تغییر سیکل به سیکل ترکیبی نیروگاه جهرم	سوئیس	897.064
12	91/08/06	نیروگاه برق‌آبی کوچک پیران	-	26.104
				3.201.284

3- رویه اجرایی یک طرح CDM

رویه اجرایی یک طرح CDM، از سه مرحله اصلی تشکیل می‌شود که باید به تایید نهاد صلاحیت‌دار ملی(DNA)[11] و هیات اجرایی[12] نهاد بین‌المللی (UNFCCC) برسد:

1- تصویب ایده پروژه در نهاد ملی

2- ثبت پروژه در نهاد ملی و نهاد بین‌المللی (UNFCCC)

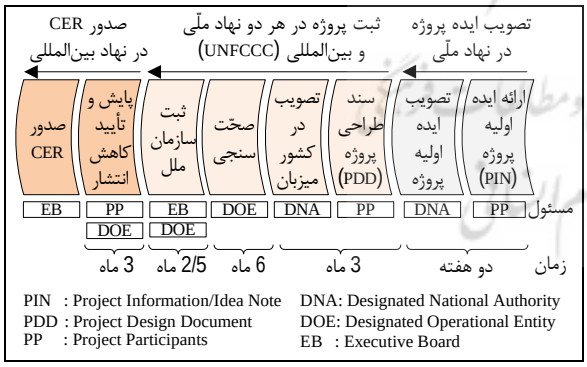
3- صدور گواهی کاهش انتشار در نهاد بین‌المللی

برای هر پروژه باید اسنادی مطابق جدول شماره 4 توسط صاحبان پروژه (PP)[13] و یک نهاد صلاحیت‌دار عملیاتی (DOE)[14] تهیه شود و به تایید نهادهای ملی و بین‌المللی برسد. نهاد صلاحیت‌دار عملیاتی در واقع نماینده رسمی نهاد بین‌المللی است که وظیفه انجام اقدامات لازم برای ثبت و تایید پروژه و درخواست صدور گواهی کاهش انتشار را دارد.

شکل شماره 2، مراحل تصویب، ثبت و صدور گواهی کاهش انتشار پروژه‌های مکانیزم توسعه پاک، نهادهای مسئول و زمان تقریبی هر مرحله را نشان می‌دهد.

جدول 4: اسناد اجرای طرح CDM و متولیان آن[10]

سند	مسؤول	تأییدکننده
ایده پروژه (PIN)[15]	صاحبان پروژه	نهاد ملی
نامه تأیید ایده پروژه (LoA)[16]	نهاد ملّی	-
سند طراحی پروژه (PDD)[17]	صاحبان پروژه	نهاد ملی
سند صحت‌سنجی (VR)[18]	نهاد عملیاتی	
فرم درخواست ثبت (CDM-REG)[19]	نهاد عملیاتی	نهاد بین‌المللی
گواهی کاهش انتشار (CER)	نهاد بین‌المللی	نهاد بین‌المللی



شکل 2: مراحل تصویب، ثبت و صدور گواهی CER یک طرح CDM

11 Designated National Authority (DNA)
12 Executive Board (EB)
13 Project Participants (PP)
14 Designated Operational Entity (DOE)
15 Project Information/Idea Note (PIN)
16 Letter of Approval (LoA)
17 Project Design Document (PDD)
18 Validation Report (VR)
19 CDM Registration Form (CDM-REG)

3-1- تصویب ایده پروژه در نهاد ملی

صاحبان پروژه باید براساس آیین‌نامه نهاد ملی، ایده طرح خود را در حد چند صفحه، شامل توضیح مختصر پروژه، نوع، مکان و برنامه کاری آن، عواید اجتماعی و زیست محیطی قابل انتظار و سرمایه‌گذاری، تهیه و به نهاد ملی ارائه کنند. نهاد صلاحیت‌دار ملی (سازمان حفاظت محیط زیست در ایران) نیز به‌عنوان عضو کنوانسیون تغییر آب‌وهوایی موظف است پس از ارزیابی پروژه مطرح شده، نامه تصویب آن را تهیه و به صاحبان پروژه تحویل دهد تا پروژه وارد مرحله ثبت در UNFCCC شود[10].

3-2- ثبت پروژه در نهادهای ملی و بین‌المللی

پس از تصویب ایده پروژه، صاحبان آن باید سند طراحی پروژه را مطابق با الگوی مصوب نهاد بین‌المللی تهیه کنند. این سند ابتدا باید در نهاد ملی به تصویب برسد و سپس، به‌وسیله نهاد صلاحیت‌دار عملیاتی مطالعه، ارزیابی و صحت‌سنجی شود. درصورت صحت فعالیت پروژه، نهاد عملیاتی درخواستی را برای ثبت پروژه به هیات اجرایی ارسال می‌کند. هیات اجرایی نیز مطابق این درخواست، پذیرش رسمی طرح CDM را تایید و ثبت آن را در سایت رسمی UNFCCC اعلام می‌کند. پس از ثبت، صاحبان طرح می‌توانند به پیاده‌سازی آن اقدام کنند.

3-3- صدور گواهی کاهش انتشار

برای صدور گواهی کاهش انتشار، باید میزان کاهش انتشار آن اندازه‌گیری و پایش شود. روش‌های پایش از سوی هیات اجرایی CDM و بر اساس نوع پروژه تعیین و دستورالعمل‌های مربوط به آنها اعلام شده است. اعتبارسنجی و تایید کاهش انتشار توسط نهاد صلاحیت‌دار عملیاتی بر طبق استاندارد اعتبارسنجی و تایید طرح[11] انجام و درصورت تایید، گواهی کاهش انتشار (CER) آن توسط هیات اجرایی صادر می‌شود. این گواهی در حساب موقت سازمان ملل ذخیره و پس از انجام کسورات، باقیمانده آن به حساب صاحبان پروژه واریز می‌شود.

3-4- مدت اعتبار پروژه

صدور گواهی کاهش انتشار فقط در مدت اعتبار پروژه انجام می‌شود. برای پروژه‌های CDM دو نوع مدت اعتبار تعریف شده است که باید در تکمیل سند طراحی، یکی از آنها انتخاب شود:

1- دوره اعتبار 7 سال با امکان حداکثر دوبار تمدید؛

2- دوره حداکثر 10 ساله بدون امکان تمدید.

برای اغلب طرح‌های نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک از مدت اعتبار 7 ساله قابل تمدید استفاده می‌شود.

4- نحوه تدوین سند طراحی پروژه CDM

سند طراحی پروژه (PDD) مهم‌ترین سندی است که در فرآیند اجرای طرح CDM تهیه می‌شود و ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن را شرح می‌دهد. این سند مبنای ارزیابی پروژه از سوی نهاد عملیاتی است. هیات اجرایی CDM برای سهولت و همسان‌سازی سند طراحی پروژه، قالب استانداردی را در شش سرفصل به ترتیب زیر تهیه کرده است[12]:

1- توصیف کلی فعالیت‌های طرح؛

2- اعمال روش تعیین معیار انتشار و پایش کاهش انتشار؛

3- دوره زمانی فعالیت‌های پروژه و مدت اعتبار؛

4- اثرات زیست محیطی پروژه؛

5- نظرات ذی‌نفعان پروژه؛

6- پیوست‌ها.

جزئیات محتوایی این سند 65 تا 80 صفحه‌ای در مراجع 12 و 13 آمده است؛ اما بیشترین حجم آن را سرفصل 2 تشکیل می‌دهد و در اینجا تنها به توضیح کوتاهی در مورد روش‌شناسی و ابزارهای مربوط به این سرفصل بسنده می‌شود.

4-1- روش‌شناسی پایش انتشار

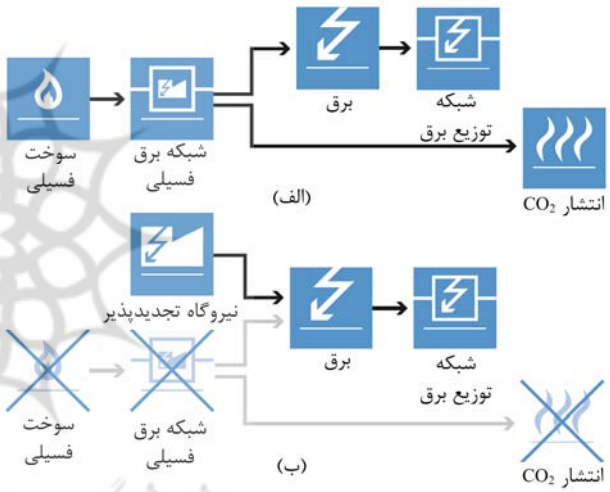
همان‌طور که گفته شد، صدور گواهی کاهش انتشار منوط به تعیین میزان کاهش انتشار حاصل از اجرای یک طرح CDM است. روش‌های پایش، اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری در این مورد را ارائه می‌کند. با توجه به تنوع پروژه‌های قابل تعریف در قالب مکانیزم توسعه پاک، روش‌های متعددی نیز برای پایش کاهش انتشار آنها تعریف و اجرا شده است؛ به‌طوری‌که تا پایان سال 2012، مجموعا 206 روش پایش مختلف و غیرتکراری در پروژه‌ها به ثبت رسیده است. هیات اجرایی CDM، برای یکپارچه‌شدن این روش‌ها، کتابچه‌ای را شامل کلیه روش‌های استاندارد پایش منتشر کرده است[14] که در آن به سه روش زیر برای پایش پروژه‌های برق خورشیدی اشاره شده است:

- **روش ACM0002** با عنوان «روش یکپارچه‌شده برای تولید برق متصل به شبکه از منابع تجدیدپذیر» (برای پروژه‌های خورشیدی مقیاس بزرگ)؛
- **روش AMS-I.D.** با عنوان «تولید برق تجدیدپذیر متصل به شبکه» (برای پروژه‌های خورشیدی مقیاس کوچک)؛
- **روش AMS-I.F.** با عنوان «تولید انرژی حرارتی همراه با تولید برق یا بدون تولید برق» (برای پروژه‌های خورشیدی مقیاس کوچک مستقل از شبکه یا شبکه‌های کوچک).

مهم‌ترین کارکرد روش‌های پایش، تعیین مرز پروژه[20]، سناریوی پایه و سناریوی پروژه[21]، اثبات و ارزیابی مکمل طرح، محاسبه کاهش انتشار و تشریح رویه پایش است.

4-2- سناریوی پایه (مبنا) و سناریوی پروژه

عملکرد روش‌های پایش براساس سنجش دو پارامتر ضریب انتشار شبکه و برق تزریق‌شده از نیروگاه تجدیدپذیر به شبکه است[14 و 15]. برای سنجش این دو پارامتر، دو سناریوی پایه و پروژه تعریف می‌شوند تا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در صورت اجرا نشدن یک طرح CDM بیان کنند. سناریوی پایه مبتنی بر برق تولیدشده از منابع سوخت‌های فسیلی با انتشار زیاد گازهای گلخانه‌ای است(شکل شماره 3- الف). سناریوی پروژه نیز مبتنی بر جایگزینی برق شبکه با یک نیروگاه تجدیدپذیر جدید یا نوسازی، جایگزینی یا افزایش ظرفیت یک نیروگاه تجدیدپذیر موجود است(شکل شماره 3- ب)[21].



شکل 3: نمودار سناریوی پایه (الف) و سناریوی پروژه (ب)[14]

4-2-1- ابزارهای پایش انتشار طرح‌های CDM

برای اِعمال روش‌های پایش، 14 ابزار پیش‌بینی شده است که محاسبه انتشار خاص (مثل انتشار ناشی از مصرف برق) یا تعیین یک شرط خاص (مثل افزونگی یک پروژه CDM) را انجام می‌دهند. از میان این 14 ابزار، چهار ابزار مربوط به پروژه‌های تجدیدپذیر است که شرایط استفاده آنها در جدول شماره 5 قید شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود، فقط ابزارهای 1 و 4 مربوط به پروژه‌های جدید فتوولتائیک هستند و به همین دلیل، تنها نحوه عملکرد این دو روش توضیح داده می‌شود[14].

جدول 5: شرایط کاربرد ابزارهای پایش کاهش انتشار کربن برای نیروگاه‌های تجدیدپذیر[16، 17، 18 و 19]

شماره	ابزار	شرایط کاربرد
1	ابزار اثبات و ارزیابی افزونگی[25]	فقط پروژه‌های جدید تجدیدپذیر (غیر از زمین‌گرمایی و خورشیدی حرارتی)
2	ابزار ترکیبی برای تعیین سناریوی پایه و اثبات افزونگی[26]	تنها برای پروژه‌هایی که شامل نوسازی یا جایگزینی یک نیروگاه تجدیدپذیر متصل به شبکه موجود باشد.
3	ابزار محاسبه انتشار CO_2 پروژه و یا نشتی انتشار از احتراق سوخت فسیلی[27]	تنها برای نیروگاه‌های زمین‌گرمایی و خورشیدی حرارتی که از سوخت فسیلی هم برای تولید برق استفاده می‌کنند.
4	ابزار محاسبه ضریب انتشار برای یک شبکه برق[28]	فقط پروژه‌های جدید تجدیدپذیر (غیر از زمین‌گرمایی و خورشیدی حرارتی)

4-3- ابزار اثبات و ارزیابی افزونگی

اساس تعریف یک طرح CDM، کاهش موثر انتشار گازهای گلخانه‌ای است. بدین معنی که با اجرای آن، نه تنها از انتشار جدید پیشگیری می‌شود، بلکه میزان انتشار در پیش از اجرای آن نیز کاهش می‌یابد. این شرط را در اصطلاح، افزونگی[22] می‌گویند و طرح CDM حتما باید مشمول این شرط باشد. هدف مکانیزم توسعه پاک، حمایت از طرح‌هایی است که می‌تواند کاهش انتشار را در پی داشته باشد؛ ولی به دلیل نداشتن جذابیت سرمایه‌گذاری، امکان اجرایی شدن ندارند. از این رو، هیات اجرایی CDM با طراحی ابزار اثبات و ارزیابی افزونگی، رهیافتی گام به گام را برای احراز آن تدوین کرده است[16]. بر این اساس، اگر پروژه پیشنهادی در نوع خود اولین باشد حتما افزونگی دارد؛ در غیر این صورت، باید ارزیابی‌های دقیقی در زمینه جایگزین‌های پروژه، تحلیل سرمایه، تحلیل موانع و رایج نبودن آن انجام شود تا افزونگی آن اثبات شود.

ابتدا باید جایگزین‌های پروژه پیشنهادی شناسایی شوند. بدین معنی که اگر این پروژه اجرا نشود، چه پروژه‌های دیگری ممکن است جای آن را بگیرد. این جایگزین‌ها می‌توانند خود پروژه پیشنهادی، بدون در نظر گرفتن منافع مالی حاصل از فروش CDM، فناوری‌های نیروگاهی دیگر یا حتی ادامه وضع موجود (عدم اجرای طرح پیشنهادی) باشد. اگر تنها جایگزین پروژه پیشنهادی، خودش (بدون CDM) باشد، یعنی کشور مربوطه عملا چاره‌ای جز اجرای آن ندارد و حمایت از آن در قالب CDM تاثیری بر اولویت یافتن آن نسبت به جایگزین‌ها نخواهد داشت و درنتیجه، طرح پیشنهادی فاقد افزونگی است.

اگر جایگزین‌های پروژه بیش از یکی بود، باید تحلیل سرمایه‌گذاری طرح پیشنهادی و جایگزین‌های آن انجام شود.

20 Project Boundary
21 Baseline and Project Scenario
22 Additionally

هدف از تحلیل سرمایه، آن است که مشخص شود پروژه پیشنهادی از نظر اقتصادی و مالی جذاب‌ترین گزینه نیست یا حداقل بدون فروش گواهی کاهش انتشار امکان‌پذیر نیست. اگر پروژه جذابیت لازم را داشته باشد، باز هم کشور مربوطه به‌طور طبیعی آن را اجرا خواهد کرد و حمایت از آن در قالب CDM تأثیری بر اولویت یافتن آن نخواهد داشت.

تحلیل سرمایه‌گذاری باید به روشی روشن و شفاف انجام شود و کلیه فرضیات آن در سند طراحی پروژه یا پیوست آن درج گردد؛ به‌طوری‌که خواننده بتواند تحلیل را تکرار کند و به نتایج مشابه برسد. به تمام پارامترها و فرضیات فنی-اقتصادی (مثل هزینه‌های کلان، قیمت سوخت، طول عمر و نرخ تنزیل یا هزینه سرمایه) باید ارجاع داده شود. برای تحلیل سرمایه اغلب از شاخص نرخ بازگشت داخلی (IRR)[23] استفاده می‌شود. رهنمودهای کامل تحلیل سرمایه در مرجع[20] آمده است.

اگر تحلیل سرمایه نتواند عدم جذابیت پروژه را اثبات کند، باید تحلیل موانع انجام شود؛ به‌طوری که اثبات شود طرح پیشنهادی به دلیل موانعی چون محدودیت قانونی، انحصار سرمایه‌گذاری یا مشکلات فنی قابل اجرا نیست؛ اما حداقل یکی از طرح‌های جایگزین امکان اجرا دارد. اثبات این مساله، بدین معنی است که مشوق مالی حاصل از فروش CER می‌تواند زمینه را برای اجرای طرح پیشنهادی فراهم کند و درنتیجه، افزونگی آن اثبات می‌شود. جزئیات تحلیل موانع در مرجع[21] آمده است.

در گام آخر، لازم است تحلیلی بر نمونه‌های رایج طرح پیشنهادی در محدوده اجرای آن صورت گیرد. این تحلیل به دنبال اثبات رایج نبودن طرح پیشنهادی در منطقه احداث است. بر این اساس، ابتدا باید تعداد نیروگاه‌هایی تعیین شود که با توان ±50% طرح پیشنهادی و قبل از آغاز فعالیت این طرح فعال شده‌اند. طرح‌های CDM ثبت‌شده یا در حال اعتبارسنجی جزء این تعداد محسوب نمی‌شوند. سپس، تعداد پروژه‌های مشابه، از نظر فناوری، مواد اولیه، ظرفیت نصب، شرایط سرمایه‌گذاری و حتی هزینه واحد خروجی باید تعیین شود. برای مثال، در مورد یک نیروگاه فتوولتائیک 50 مگاوات، باید نیروگاه‌های فتوولتائیک 25 تا 75 مگاوات، با شرایط سرمایه‌گذاری و هزینه واحد یکسان در منطقه مورد نظر شناسایی شوند. اگر تعداد نیروگاه‌های یکسان (با شرایط فوق) بیشتر از 3 مورد و همچنین، نسبت طرح‌های مشابه به کل طرح‌های منطقه نیز بیش از 0/2 باشد، طرح پیشنهادی رویه معمول[24] محسوب می‌شود و در نتیجه، فاقد افزونگی است. جزئیات این ابزار و گام‌های آن در مرجع[16] آمده است.

4-4- ابزار محاسبه ضریب انتشار برای یک شبکه برق

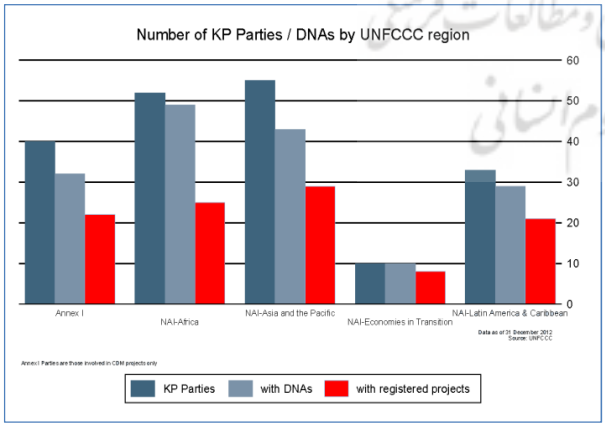
این ابزار، وسیله‌ای برای تعیین ضریب انتشار CO_2 برای جابه‌جایی برق تولیدی نیروگاه‌ها در یک سیستم برق‌رسانی است که از طریق محاسبه ضریب انتشار «حاشیه ترکیبی (CM)»[25] سیستم برق انجام می‌شود. ضریب انتشار CM حاصل میانگین وزنی دو ضریب انتشار وابسته با شبکه است[19]:

- **ضریب انتشار «حاشیه عملیاتی (OM)»**[26]: ضریب انتشار مربوط به گروهی از نیروگاه‌های موجود است که برق تولیدی آنها تحت تأثیر پروژه CDM پیشنهادی قرار خواهد گرفت.
- **ضریب انتشار «حاشیه ساخت (BM)»**[27]: ضریب انتشار مربوط به گروهی از نیروگاه‌هایی است که ساخت و بهره‌برداری آینده آنها تحت تأثیر پروژه CDM پیشنهادی قرار خواهد گرفت.

این ابزار روش پایش را می‌توان برای پروژه‌های مقیاس بزرگ و کوچک و متصل به شبکه و مستقل از شبکه بکار برد. در مورد نیروگاه‌های مستقل از شبکه، فرآیندهای اختصاصی پیش‌بینی شده است که در پیوست 2 مرجع 19 آمده است.

5- آمار کلی وضعیت طرح‌های CDM در UNFCCC

بر اساس آمار منتشر شده در سایت UNFCCC تا پایان سال 2012، از مجموع 190 کشور عضور پیمان کیوتو، 163 کشور دارای نهاد صلاحیت‌دار ملی (DNA) هستند و از این میان، 105 کشور نیز تاکنون موفق به ثبت طرح‌های CDM خود در UNFCCC شده‌اند. مطابق نمودار شکل شماره 4، قاره آسیا با تعداد 29 کشورِ دارای پروژه ثبت‌شده، نسبت به سایر مناطق پیشگام است.



شکل 4: توزیع تعداد اعضای پروتکل کیوتو[22]

23 Internal Return Rate (IRR)
24 Common Practice

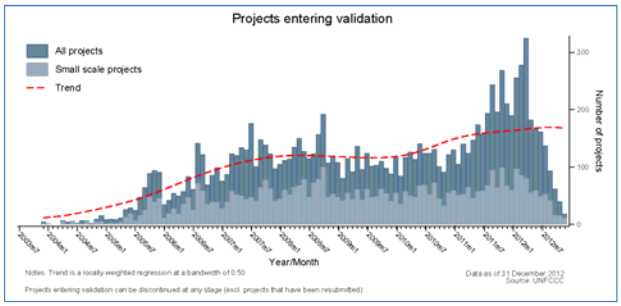
25 Combined Margin (CM)
26 Operating Margin (OM)
27 Build Margin (BM)

نخستین پروژه‌های CDM از اواخر سال 2003 وارد مرحله اعتبارسنجی و در اواخر سال 2004 موفق به ثبت نهایی در UNFCCC شدند. اشکال شماره‌های 5 و 6، به ترتیب نمودار پروژه‌های در حال اعتبارسنجی و ثبت‌شده را نشان می‌دهد. روند این دو نمودار نشان می‌دهد که به دلیل نزدیک شدن به پایان دوره اول پروتکل کیوتو (سال 2012)، تراکم طرح‌های جاری‌شده در کشورهای جهان به شدت افزایش یافته و با توجه به زمان حدود شش ماهه فرآیند اعتبارسنجی، کشورها تلاش داشته‌اند طرح‌های خود را در نیمه اول سال 2012 به مرحله اعتبارسنجی برسانند تا پیش از پایان سال شاهد ثبت آنها باشند؛ به‌طوری‌که میانگین پروژه‌های واردشده به مرحله اعتبارسنجی از حدود 120 پروژه در قبل از سال 2011، به حدود 170 پروژه در دو سال 2011 و 2012 و در نهایت به 325 پروژه در ماه چهارم سال 2012 میلادی رسیده است. در مقابل، پروژه‌های ثبت‌شده با جهشی چند برابری به تعداد 1492 طرح در ماه آخر سال 2012 رسیده است(شکل شماره 6). انتظار می‌رود با تمدید اجرای پروتکل کیوتو تا سال 2015، این دو نمودار به حالت عادی خود بازگردد.

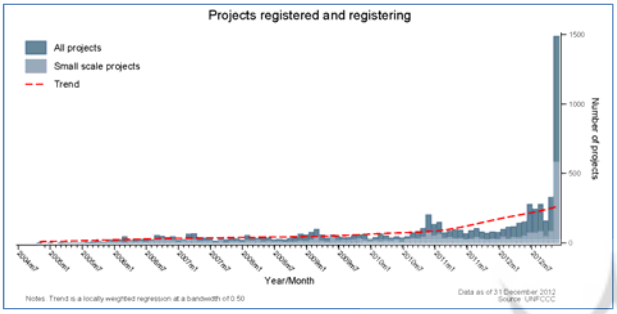
شکل شماره 7، توزیع پروژه‌های ثبت‌شده در کشورها و قاره‌ها را نشان می‌دهد. بر این اساس، از مجموع 5511 پروژه، کشورهای چین و هند به ترتیب با 52/9% و 18/3%، بیشترین سهم را از تعداد پروژه‌های ثبت‌شده در اختیار دارند. 13 کشور دیگر، با مجموع 22/2% در رتبه‌های بعدی، قرار گرفته‌اند و سایر کشورها (90 کشور) نیز با 6/6 درصد، سهم ناچیزی را در بازار CDM دارند. همچنین، دو قاره آسیا و آمریکای لاتین با سهم 85/1% و 12/5%، بیشترین مشارکت را در بازار CDM داشته‌اند.

چنانکه در نمودار شکل شماره 8 مشاهده می‌شود، از میان 15 زمینه فعالیتی CDM، صنایع انرژی (تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر) با 73/2% (4589 پروژه)، بیشترین سهم و پس از آن، انتقال و دفع پسماندها با 11/7% رتبه دوم را در اختیار دارند. دو صنعت ساختمان و مصرف حلال‌ها هیچ سهمی در این پروژه‌ها ندارند. به لحاظ مقیاس نیز پروژه‌های مقیاس بزرگ 61% و پروژه‌های مقیاس کوچک 39% از پروژه‌های ثبت‌شده را تشکیل می‌دهند.

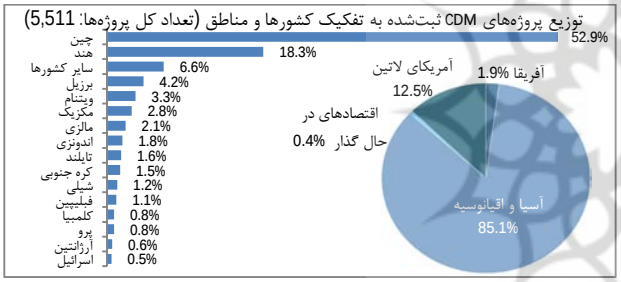
پیش‌بینی رشد گواهی‌های CER تا سال 2020 نیز در نمودار شکل شماره 9 نشان داده شده است[22]. دستیابی به 8000 گواهی کاهش انتشار تا پایان سال 2020 که از صدور گواهی برای پروژه‌های جاری یا جدید و تمدید پروژه‌های با مدت اعتبار 7 ساله حاصل می‌شود، به معنی کاهش 8 هزار تن CO_2 است که کنوانسیون تغییر آب و هوا را به اهداف پیش‌بینی‌شده خود می‌رساند[22].



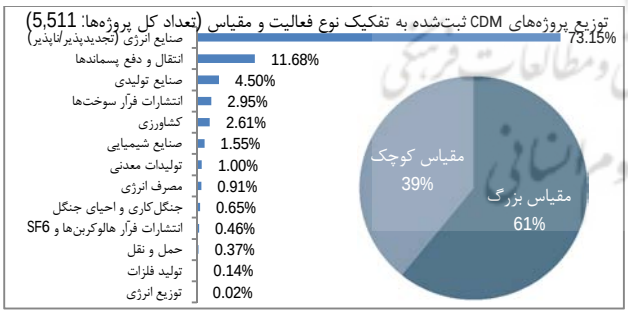
شکل 5: پروژه‌های واردشده به مرحله اعتبارسنجی[22]



شکل 6: پروژه‌های ثبت‌شده و در حال ثبت[22]



شکل 7: توزیع کل پروژه‌های ثبت‌شده به تفکیک کشورها و مناطق[22]



شکل 8: توزیع پروژه‌های ثبت‌شده به تفکیک زمینه فعالیت و مقیاس[22]

شکل 9: پیش‌بینی رشد گواهی‌های کاهش انتشار تا سال 2020[22]

6- آمار طرح‌های CDM خورشیدی

از مجموع 7452 طرح CDM به ثبت رسیده و یا در مرحله ثبت تا پایان سال 2012، تعداد 5048 طرح در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است که از این میان، انرژی خورشیدی با 331 طرح، سهمی 6/56 درصدی داشته است(جدول شماره 6)[22].

با توجه به اینکه در سایت UNFCCC پروژه‌ها براساس جزئیات نوع فعالیت (مثلا خورشیدی/بادی/زیست‌توده/...) تقسیم‌بندی نمی‌شوند، امکان دسترسی مستقیم به همه پروژه‌های خورشیدی وجود ندارد. با این حال، با جستجوی کلیدواژه «Solar» در عناوین پروژه‌ها، دسترسی به اطلاعات 201 پروژه خورشیدی ممکن شد که وضعیت کلی آنها در جدول شماره 6 آمده است(تا تاریخ 1 فوریه 2013)[23].

با توجه به برنامه‌های چند سال اخیر کشور در جهت گسترش پروژه‌های نیروگاه خورشیدی در مقیاس بزرگ، در اینجا فقط آمار مربوط به 55 پروژه فتوولتائیک مقیاس بزرگ بررسی و ارزیابی شده است. برای تحلیل این پروژه‌ها، مجموعا 18 عنوان داده (به شرح جدول شماره 8) از اسناد طراحی پروژه (PDD) طرح‌ها استخراج شده است. در انتخاب و تحلیل پروژه‌های CDM فتوولتائیک ثبت‌شده پروژه‌هایی که اطلاعات سرمایه‌گذاری و هزینه تعمیر و نگهداری سالانه را نداشته‌اند، از جدول ارزیابی حذف شده‌اند. به این ترتیب، 48 مورد از پروژه‌های فتوولتائیک از میان 55 پروژه موجود گزینش شده و اطلاعات کلان فنی و هزینه‌ای مربوط به آنها در دو قالب «مطلق» و «ترازشده» استخراج و پردازش شده است. جزئیات مربوط به این اطلاعات در بخش ضمیمه (جدول شماره 12) آمده است. نمودار توزیع پروژه‌های ثبت‌شده خورشیدی مقیاس بزرگ بر حسب کشور میزبان و همکار در نمودارهای اشکال شماره‌های 10 و 11 و بر اساس اطلاعات مرجع[23] رسم شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود، کشور چین در میان کشورهای میزبان و کشور انگلستان در میان کشورهای همکار با اختلاف قابل توجهی از سایرین پیش هستند. نگاهی کلی به مجموعه این پروژه‌ها، نتایج عمومی زیر را در پی دارد:

- روش (متدولوژی) پایش بکار رفته برای تمامی پروژه‌های CDM خورشیدی، روش ACM0002 است؛
- طول عمر کلیه پروژه‌ها بالای 20 سال و اغلب 25 سال است؛
- کلیه پروژه‌ها از نظر شاخص مالی IRR از شرایط بنچمارک پایین‌تر و بنابراین فاقد جذابیت سرمایه‌گذاری هستند؛
- در برخی پروژه‌ها پیش‌بینی قیمت گواهی انتشار در سند پروژه قید نشده بود که برای آنها از پیش‌فرض 12 $/tCO$_2$ (حداقل عدد موجود در طرح‌های مشابه) استفاده شده است.

جدول 6: تعداد و نوع پروژه‌های CDM ثبت‌شده و در مرحلهٔ ثبت در حوزهٔ انرژی تجدیدپذیر تا پایان سال 2012[22].

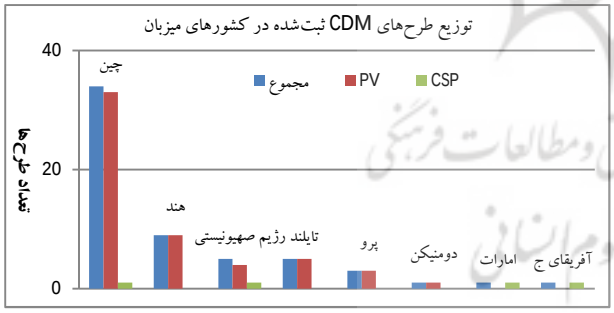
ردیف	نوع پروژه	تعداد	درصد
1	پروژه‌های بادی	2.247	44/51
2	پروژه‌های برق‌آبی	1.894	37/52
3	پروژه‌های زیست‌توده	576	11/41
4	پروژه‌های خورشیدی	331	6/56
	مجموع	5.048	100/00

جدول 7: وضعیت پروژه‌های خورشیدی قابل دسترس در سایت UNFCCC با کلیدواژه «Solar»[23]

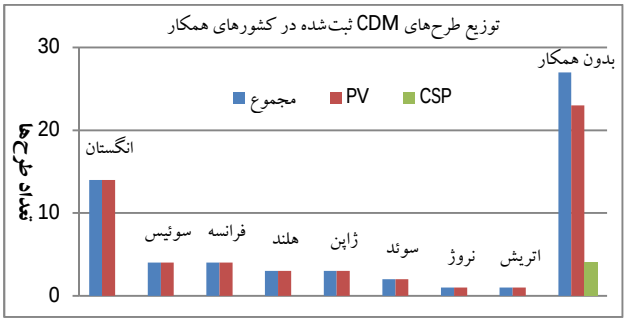
وضعیت پروژه	مقیاس بزرگ		مقیاس کوچک			مجموع
	فتو-ولتائیک	حرارتی	فتو-ولتائیک	اجاق‌گاز و خوراک‌پزی	آبگرمکن و سایر	
ثبت‌شده	55	4	76	22	5	162
در حال ثبت	24	2	10	3	0	39
مجموع	79	6	86	25	5	201

جدول 8: فهرست اطلاعات استخراج‌شده از 50 پروژهٔ CDM ثبت‌شده خورشیدی مقیاس بزرگ

ردیف	اطلاعات	ردیف	اطلاعات
1	نوع پروژه (خورشیدی/ حرارتی)	10	هزینه پرداختی برای ثبت
2	ظرفیت (MW)	11	تولید برق (MWh)
3	کل سرمایه‌گذاری (M$)	12	طول عمر پروژه
4	هزینه تعمیر و نگهداری (M$)	13	ضریب ظرفیت
5	کشور میزبان	14	نسبت سرمایه‌گذاری ($/W)
6	کشور همکار	15	نسبت هزینه تعمیر و نگهداری ($/W)
7	روش پایش	16	پیش‌بینی قیمت CER
8	میزان کاهش انتشار	17	دوره اعتبار
9	نسبت کاهش انتشار به ظرفیت	18	مقدار IRR پروژه



شکل 10: توزیع پروژه‌های فتوولتائیک مقیاس بزرگ در کشورهای میزبان



شکل 11: توزیع پروژه‌های فتوولتائیک مقیاس بزرگ در کشورهای همکار

6-1- تحلیل آماری طرح‌های منتخب فتوولتائیک CDM

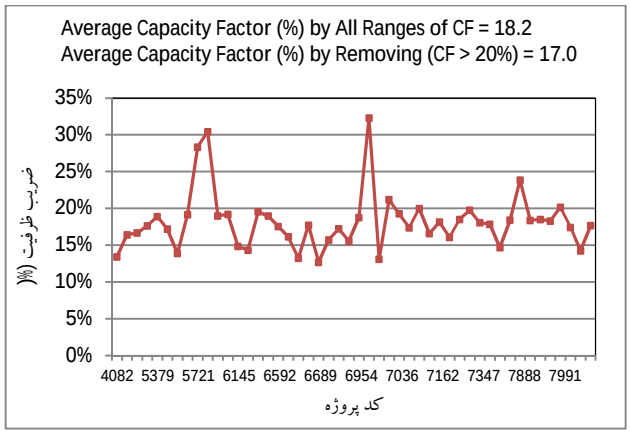
با توجه به اینکه پروژه‌های ثبت‌شده در UNFCCC از فرآیندهای استاندارد طراحی، ارزیابی و اعتبارسنجی در دو مرحله ملی (توسط نهاد صلاحیت‌دار ملی) و بین‌المللی (توسط نهاد صلاحیت‌دار عملیاتی) عبور می‌کنند، گزینه‌های بسیار مناسبی برای تحلیل و ارزیابی فنی و اقتصادی محسوب می‌شوند. مواردی نظیر ظرفیت و ضریب ظرفیت نیروگاه، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری، میزان کاهش انتشار کربن و قیمت فروش گواهی CER، از جمله مواردی است که با بررسی این‌گونه پروژه‌ها که به مرحله عملیاتی نیز رسیده‌اند، به دید مناسبی نسبت به آنها می‌توان دست یافت. در ادامه، این پارامترها به‌طور مجزا بررسی شده‌اند.

6-1-1- ضریب ظرفیت

نمودار شکل شماره 12 توزیع ضریب ظرفیت برای پروژه‌های مختلف را نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود، بیشترین داده‌ها در فاصله 15 تا 20 درصد قرار گرفته‌اند. پنج پروژه دارای ضریب ظرفیت بالای 20% هستند که سه مورد آنها با 28/36%، 30/45% و 32/29% اعداد بسیار بزرگ و دور از تصوری برای نیروگاه‌های فتوولتائیک محسوب می‌شوند. هر سه مورد این پروژه‌ها متعلق به کشور پرو است که از پتانسیل خورشیدی بسیار بالایی برخوردار است؛ با این حال، به دلیل دور بودن این اعداد از طیف میانگین ضریب ظرفیت متداول نیروگاه‌های خورشیدی دنیا، برای این نمودار مطابق جدول شماره 10 دو میانگین محاسبه شده است. چنانکه ملاحظه می‌شود، این دو عدد بسیار به هم نزدیک هستند و با اعداد متداول نیروگاه‌های فتوولتائیک همخوانی دارند.

جدول 9: ضریب ظرفیت پروژه‌های CDM فتوولتائیک

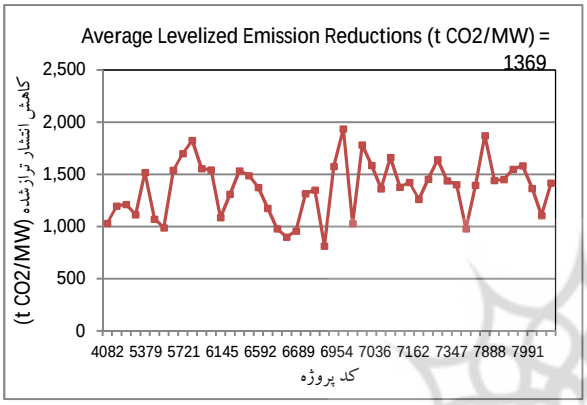
شرایط داده‌ها	ضریب ظرفیت (%)
با در نظر گرفتن کلیه داده‌های ترازشده	% 18/2
با خارج کردن داده‌های ترازشده زیر 1/5 و بالای 4/0	% 17/0



شکل 12: ضریب ظرفیت پروژه‌های CDM ثبت‌شده فتوولتائیک

6-1-2- میزان کاهش انتشار ترازشده

در هر پروژه CDM، میزان کاهش انتشار باید توسط صاحبان پروژه پیش‌بینی و در سند طراحی پروژه (PDD) درج شود. با استخراج این اعداد از اسناد طراحی پروژه‌های مورد بررسی و درنظرگرفتن ظرفیت نیروگاه‌ها، امکان محاسبه مقدار ترازشده کاهش انتشار هر نیروگاه فراهم می‌آید. حاصل این محاسبات در نمودار شکل شماره 13 نشان داده شده است. مطابق این نمودار، بیشترین کاهش انتشار مورد پیش‌بینی، در بازه 1000 تا 1500 تن CO_2 بر مگاوات (tCO_2/MW) قرار دارد. مقدار متوسط کاهش انتشار نیز عدد 1369 tCO_2/MW است.



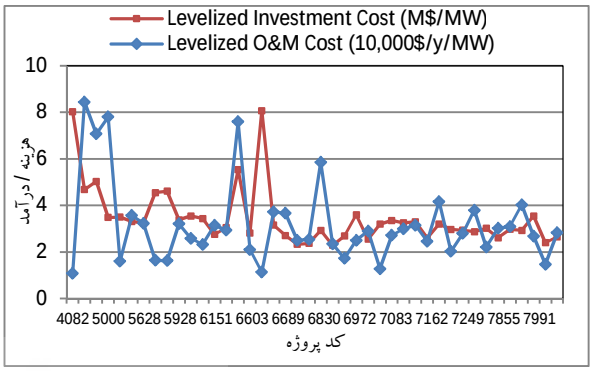
شکل 13: کاهش انتشار ترازشده پروژه‌های CDM فتوولتائیک

6-1-3- هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری

مطابق پارامتر کاهش انتشار، برای دو پارامتر هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه تعمیر و نگهداری نیز می‌توان اعداد ترازشده‌ای را برحسب ظرفیت نیروگاه محاسبه نمود. حاصل این کار در نمودار شکل شماره 14 مشاهده می‌شود. بر اساس این نمودار، بیشترین پراکندگی هزینه‌های سرمایه‌گذاری در محدوده 2/5 تا 3/5 میلیون دلار بر مگاوات (M$/MW) و بیشترین پراکندگی هزینه‌های تعمیر و نگهداری در محدوده 2/0 تا 3/0 ده‌هزار دلار بر مگاوات بر سال (10000$/y/MW) قرار گرفته است. با این حال، برخی اعداد بسیار بزرگ در مقیاس 4 تا 8 و بسیار کوچک در مقیاس 1 تا 1/5 نیز دیده می‌شود که می‌توانند در بدست آمدن عدد میانگین تاثیرگذار باشند. به همین دلیل، در این مورد نیز دو گونه میانگین‌گیری به عمل آمده و نتایج آن در جدول شماره 10 نشان داده شده است. چنانکه در این جدول نیز مشاهده می‌شود، هزینه سالانه تعمیر و نگهداری یک نیروگاه فتوولتائیک حدود 1% از هزینه کل سرمایه‌گذاری است که با اعداد متداول در محاسبات امکان‌سنجی اولیه نیز همخوانی دارد.

جدول 10: هزینه‌های ترازشده سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری پروژه‌های CDM فتوولتائیک

شرایط داده‌ها	هزینه ترازشده		نسبت هزینه‌های تعمیر و نگهداری به سرمایه‌گذاری (1/y)
	سرمایه‌گذاری (M$/MW)	تعمیر و نگهداری (10,000$/y/MW)	
با فرض کل داده‌ها	3/38	3/18	% 0/941
با خارج کردن داده‌های پرت	2/97	2/72	% 0/916



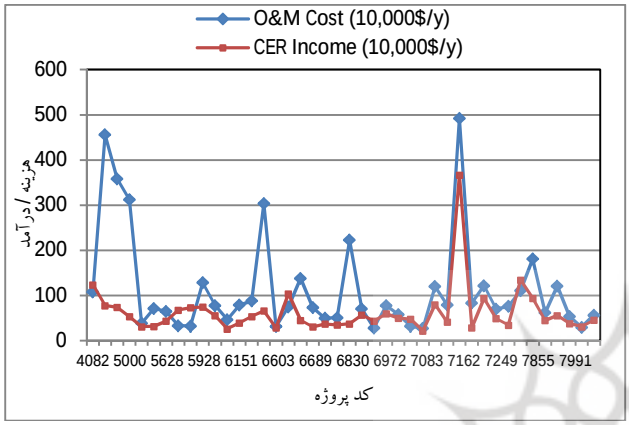
شکل 14: هزینه‌های ترازشده سرمایه‌گذاری و تعمیر و نگهداری پروژه‌های CDM ثبت‌شده فتوولتائیک

4-1-6- درآمد حاصل از فروش گواهی کاهش انتشار (CER)

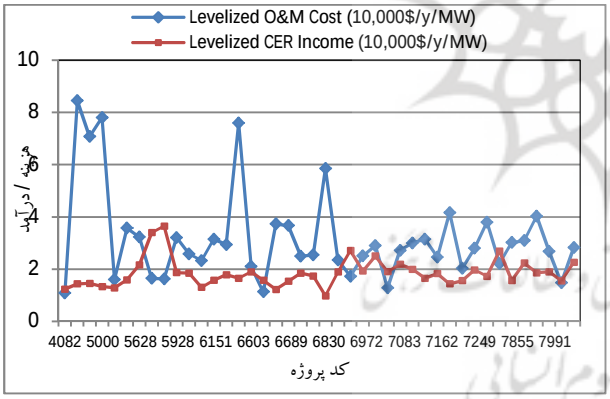
یکی از نکات مهم در ارزیابی طرح‌های CDM این است که درآمد حاصل از فروش گواهی‌های کاهش انتشار چه بخشی از هزینه‌های نیروگاه را به خود اختصاص می‌دهد. به این منظور، ارزیابی جداگانه‌ای نیز در زمینه درآمد فروش CER به عمل آمده است. در نزدیک به نیمی از اسناد طراحی پروژه‌ها، پیش‌بینی قیمت فروش CER به‌طور صریح اشاره شده و در سایر پروژه‌ها که این اطلاعات به‌طور صریح اعلام نشده، از عدد میانگین 12 دلار برای هر گواهی انتشار استفاده شده است. به این ترتیب، نمودار پراکندگی درآمد فروش سالانه CER مطابق شکل شماره 15 رسم شد. با توجه به نزدیکی این اعداد به هزینه‌های تعمیر و نگهداری، نمودار پراکندگی این هزینه‌ها نیز به نمودار درآمد فروش CER افزوده شد. چنانکه ملاحظه می‌شود، براساس ارزیابی پروژه‌های ثبت‌شده فتوولتائیک در UNFCCC، انتظار می‌رود بخش قابل توجهی از هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیروگاه‌های فتوولتائیک از درآمد حاصل از فروش گواهی انتشار جبران شود که انگیزه قابل توجهی برای صاحبان پروژه‌ها به حساب می‌آید. نمودار ترازشده این هزینه‌ها نسبت به ظرفیت نیروگاه نیز در شکل شماره 16 نشان داده‌شده است. چنانکه از مقادیر میانگین این اعداد در جدول شماره 11 مشاهده می‌شود، درآمد حاصل از فروش گواهی انتشار می‌تواند نزدیک به 59 تا 74 درصد از هزینه‌های تعمیر و نگهداری نیروگاه فتوولتائیک را پوشش دهد.

جدول 11: هزینه و درآمد ترازشده تعمیر و نگهداری و فروش CER پروژه‌های CDM فتوولتائیک

شرایط داده‌ها	هزینه/درآمد ترازشده (10,000$/y/MW)		نسبت درآمد فروش CER به هزینه‌های تعمیر و نگهداری
	هزینه تعمیر و نگهداری	درآمد فروش CER	
با فرض کلیه داده‌ها	3/18	1/86	% 58/5
با خروج داده‌های پرت	2/72	1/98	% 72/8



شکل 15: مقایسه هزینه تعمیر و نگهداری سالانه و پیش‌بینی درآمد از گواهی انتشار (CER) پروژه‌های CDM ثبت‌شده فتوولتائیک



شکل 16: مقایسه تراز هزینه تعمیر و نگهداری سالانه و پیش‌بینی درآمد از گواهی انتشار (CER) پروژه‌های CDM ثبت‌شده فتوولتائیک

7- نتیجه‌گیری

در این مقاله ضمن اشاره به اهمیت تغییرات آب و هوایی و پدیده گرمایش جهانی، به ارائه ملاحظات و الزامات مکانیزم توسعه پاک در طرح‌های نیروگاه خورشیدی پرداخته شد. سند طراحی پروژه به‌عنوان مهم‌ترین سند اجرایی طرح که باید از سوی صاحبان طرح تدوین و توسط دو نهاد ملی و بین‌المللی به تایید برسد، با جزئیات بیشتری بررسی و روش پایش مربوط به نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک و ابزارهای آن تشریح شد. با توجه به اینکه پروژه‌های ثبت‌شده در UNFCCC از فرآیندهای استاندارد طراحی، ارزیابی و اعتبارسنجی در

دو مرحله ملی و بین‌المللی عبور می‌کنند، گزینه‌های بسیار مناسبی برای تحلیل و ارزیابی فنی و اقتصادی محسوب می‌شوند. تحلیل آماری نزدیک به 50 پروژه فتوولتائیک مقیاس بزرگ نشان می‌دهد که میانگین ضریب ظرفیت این نیروگاه‌ها 17% تا 18/2% و میانگین کاهش انتشار مورد انتظار از طرح‌های فتوولتائیک، 1369 تن بر مگاوات ظرفیت نصب شده است. همچنین، ارزیابی نسبت هزینه‌های تعمیر و نگهداری به هزینه‌های سرمایه‌گذاری، عددی حدود 1% در سال را نشان می‌دهد. به‌علاوه، مقایسه درآمد حاصل از فروش گواهی کاهش انتشار با هزینه‌های تعمیر و نگهداری، نشان می‌دهد که عواید حاصل از ارائه یک طرح CDM فتوولتائیک می‌تواند به‌خوبی این بخش از هزینه‌ها را پوشش دهد.

8- 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 آقایان احسان ادیبی‌نگار و معین شیرازی به‌دلیل کمک در تهیه گزیده مطالب این مقاله تشکر کنند.

9- ضمیمه

جزئیات اطلاعات کلان فنی و سرمایه‌ای 50 پروژه منتخب خورشیدی فتوولتائیک که از اسناد طراحی پروژه (PDD) استخراج‌شده، در جدول شماره 12 آمده است. تحلیل‌های آماری این مقاله براساس اطلاعات این جدول انجام شده است.

جدول 12: مقادیر مطلق و ترازشده‌ی اطلاعات کلان فنی و سرمایه‌ای پروژه‌های فتوولتائیک CDM ثبت‌شده

Row	Ref Num	Cap (MW)	Host Parties	ER (t CO2)	LEG (t CO2/MW)	EG (MWh)	CF (%)	IC (M$)	OM Cost (10^4$/y)	LIC (M$/MW)	LOMC (10^4$/MW)	CER Price ($)*	CER Inc (10^4$/y)	LCER Inc (10^4$/y/MW)
1	4082	100	China	103,154	1,032	117,646	13.43%	803	108.32	8.03	1.08	12.00	123.78	1.24
2	4375	54	Israel	64,684	1,198	77,700	16.43%	253	455.93	5	8	12.00	77.62	1.44
3	4376	50.6	Israel	61,434	1,214	73,868	16.66%	255	357.91	5	7	12.00	73.72	1.46
4	5000	40	Israel	44,557	1,114	61,726	17.62%	139	311.93	3	8	12.00	53.47	1.34
5	5379	20.16	China	30,636	1,520	33,377	18.90%	62	0.00	3.09	0.00	12.00	36.76	1.82
6	5555	24	Israel	25,745	1,073	36,156	17.20%	84	38.45	3	2	12.00	30.89	1.29
7	5609	20	China	19,815	991	24,340	13.89%	66	71.36	3.31	3.57	16.08	31.86	1.59
8	5628	20	China	30,800	1,540	33,552	19.15%	65	64.59	3.24	3.23	14.07	43.34	2.17
9	5721	20	Peru	34,006	1,700	49,680	28.36%	91	32.96	5	2	20.00	68.01	3.40
10	5722	20	Peru	36,513	1,826	53,343	30.45%	92	32.58	5	2	20.00	73.03	3.65
11	5928	40	India	62,217	1,555	66,576	19.00%	135	128.44	3	3	12.00	74.66	1.87
12	5952	30	China	46,310	1,544	50,449	19.20%	106	77.60	3.55	2.59	12.00	55.57	1.85
13	6145	20	China	21,740	1,087	25,990	14.83%	69	46.53	3.44	2.33	12.00	26.09	1.30
14	6151	25	India	32,763	1,311	31,398	14.34%	69	78.75	3	3	12.00	39.32	1.57
15	6289	30.456	China	46,715	1,534	52,120	19.54%	97	0.00	3.18	0.00	12.00	56.06	1.84
16	6414	30	China	44,695	1,490	49,864	18.97%	91	88.16	3.05	2.94	12.00	53.63	1.79
17	6592	40	China	55,045	1,376	61,448	17.54%	221	303.68	5.54	7.59	12.00	66.05	1.65
18	6603	14.9578	India	17,587	1,176	21,148	16.14%	42	31.50	3	2	16.16	28.42	1.90
19	6605	66	China	64,691	980	76,577	13.24%	533	74.97	8.07	1.14	16.08	104.02	1.58
20	6617	37	Thailand	33,315	900	57,473	17.73%	117	138.00	3	4	13.61	45.33	1.23
21	6689	20	China	19,195	960	22,244	12.70%	54	73.33	2.71	3.67	16.00	30.71	1.54
22	6773	20	China	26,335	1,317	27,581	15.74%	47	49.92	2.33	2.50	14.07	37.05	1.85
23	6776	20	China	27,051	1,353	30,180	17.23%	47	50.88	2.37	2.54	12.86	34.80	1.74
24	6830	38.07	Thailand	31,051	816	51,925	15.57%	111	222.88	3	6	12.00	37.26	0.98
25	6954	30	China	47,311	1,577	49,346	18.78%	69	70.64	2.29	2.35	12.00	56.77	1.89
26	6956	16	Peru	30,983	1,936	45,263	32.29%	43	27.64	3	2	14.00	43.38	2.71
27	6972	31	China	31,911	1,029	35,621	13.12%	112	77.60	3.60	2.50	18.76	59.87	1.93
28	7000	20	China	35,651	1,783	37,123	21.19%	51	58.08	2.55	2.90	14.07	50.16	2.51
29	7036	25	India	39,710	1,588	42,223	19.28%	80	32.03	3	1	12.00	47.65	1.91
30	7083	10	China	13,649	1,365	15,228	17.38%	34	27.20	3.36	2.72	16.00	21.84	2.18
31	7103	40	India	66,513	1,663	70,080	20.00%	130	120.00	3	3	12.00	79.82	2.00
32	7128	25	India	34,462	1,378	36,330	16.59%	83	78.75	3	3	12.00	41.35	1.65
33	7162	200	China	285,116	1,426	318,086	18.16%	520	492.48	2.60	2.46	12.86	366.77	1.83
34	7203	20	China	25,238	1,262	28,157	16.07%	64	83.33	3.20	4.17	11.39	28.75	1.44
35	7234	60	China	87,290	1,455	97,390	18.53%	178	121.73	2.97	2.03	10.72	93.57	1.56
36	7249	25	India	41,034	1,641	43,253	19.75%	73	70.04	3	3	12.00	49.24	1.97
37	7347	20	India	28,784	1,439	31,659	18.07%	57	75.96	3	4	12.00	34.54	1.73
38	7530	50	China	70,125	1,403	78,234	17.86%	151	110.87	3.02	2.22	19.20	134.64	2.69
39	7855	60	China	58,787	980	77,085	14.67%	157	181.06	2.61	3.02	16.00	94.06	1.57
40	7882	20	China	27,941	1,397	32,238	18.40%	60	61.86	2.98	3.09	16.00	44.71	2.24
41	7888	20	China	37,469	1,873	41,800	23.86%	63	0.00	3.14	0.00	12.00	44.96	2.25
42	7890	40.204	China	58,014	1,443	64,763	18.39%	103	0.00	2.56	0.00	12.73	73.85	1.84
43	7960	20	China	29,035	1,452	32,412	18.50%	51	0.00	2.55	0.00	12.73	36.96	1.85
44	7962	30	China	46530	1,551	48,084	18.30%	88	120.96	2.93	4.03	12.00	55.84	1.86
45	7991	20	China	31677	1,584	35,340	20.17%	71	53.63	3.55	2.68	12.00	38.01	1.90
46	7992	60.471	China	82,721	1,368	92,344	17.43%	140	0.00	2.32	0.00	12.00	99.27	1.64
47	8033	20	China	22,131	1,107	24,962	14.25%	48	29.51	2.40	1.48	14.07	31.14	1.56
48	8051	20	China	28,360	1,418	30,946	17.66%	53	56.54	2.66	2.83	16.00	45.38	2.27

* به دلیل درج نشدن صریح قیمت گواهی انتشار در بعضی اسناد پروژه‌ها، از قیمت پیش‌فرض 12 دلار برای هر گواهی CER استفاده و با زیرخط مشخص شده است.

تعاریف:

Cap: Capacity
CER Inc: CER Income
CF: Capacity Factor
EG: Electricity Generation
ER: Emissin ReductionIC: Investment Cost
LCER Inc: Levelized CER Income
LEG: Levelized Emission Reduction
LIC: Levelized Investment Cost
LOMC: Levelized O&M Cost
OM Cost: Operation & Maintenance Cost

فهرست منابع

[1] Johnson, L.T.; Yeh, S.; Hope, C.; *"The Social Cost of Carbon: Implications for Modernizing Our Electricity System"*, Journal of Environmental Studies and Sciences, online publication, 2013.

[2] *List of parties to the Kyoto Protocol*, Wikipedia, Last modified on 5 Jan 2013;
Available in: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_parties_to_the_Kyoto_Protocol .

[3] مرکز آمار ایران، **مقدار انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای از بخش نیروگاهی**، بهمن 1392؛
http://www.amar.org.ir/Portals/0/PropertyAgent/461/Files/541/enteshare%20alayandeh-kole%20energy.xls .

[4] *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, United Nations, 1998;
Available in: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf .

[5] احدی، محمد صادق؛ **آیا تجارت انتشار، بازار پروژه‌های مکانیسم توسعه پاک (CDM) را تحت شعاع قـرار خواهـد داد؟**، سازمان حفاظت محیط زیست، دفتر طرح ملی تغییر آب وهوا، 1391.
http://doe.ir/Portal/File/ShowFile.aspx?ID=609b2f3c-9eba-4e5d-839a-0837e3d78d46 .

[6] Groot, E.J.; Landry, R.; Kruz, W.A.; Anderson, K.R.; Englefield, P.; Fraser, R.H.; Hall, R.J.; Banfield, Ed.; Raymond, D.A.; Decker, V.; Lynham, T.J.; Pritchard, M.; *"Estimating direct carbon emissions from Canadian wildland fires"*, International Journal of Wildland Fires, CSIRO Publishing, Vol.16, pp. 593-606, 2007.

[7] CDM Accreditation Panel; "List of Sectoral Scopes", CDM-ACCR-06, UNFCCC, 2006;
Available in: http://cdm.unfccc.int/DOE/scopelst.pdf.

[8] پرتوی، عادل؛ **"نقش مکانیزم توسعه پاک در تأمین مالی پروژه‌ها"**، روزنامه دنیای اقتصاد، شماره 1811، 11 خرداد 1388؛
http://www.donya-e-eqtesad.com/Default_view.asp?@=159278 .

[9] UNFCCC; *Project Cycle Search*, Last Sited on 26th Jan 2013;
Available in: http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html .

[10] UNFCCC; *Designated National Authorities*;
Available in: http://cdm.unfccc.int/DNA/index.html .

[11] CDM Executive Board; *Clean Development Mechanism Validation and Verification Standard*, CDM-EB65-A04-STAN, UNFCCC, ver. 03.0, 23rd Nov. 2012;
Available in: http://cdm.unfccc.int/Reference/Standards/accr_stan02.pdf .

[12] CDM Executive Board; *Clean Development Mechanism: Project Design Document Form (CDM-PDD)*, UNFCCC, Ver. 03, 28 July 2006;
Available in: http://www.doe.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=f95dec09-c635-4d5e-a9da-b2357b33c191 .

[13] CDM Executive Board; *Clean Development Mechanism: Project Design Document Form (CDM-SSC-PDD)*, UNFCCC, Ver. 03, 22 December 2006;
Available in: http://www.doe.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=0d49ae1d-a762-4b19-b1e7-e85b4c610e99 .

[14] UNFCCC; "CDM Methodology Booklet", May 2012;
Available in https://cdm.unfccc.int/methodologies/.../meth_booklet.pdf .

[15] UNFCCC; *"Consolidated Baseline Methodology for Grid-Connected Electricity Generation from Renewable Sources (ACM0002)"*, ver 13.0.0, 11th May 2012;
Available in: https://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/DYPFI935XBG274NWH6O8CM1KEZR0VU .

[16] UNFCCC; *Tool for the Demonstration and Assessment of Additionally (am-tool-01)*, ver. 07.0.0, 23rd Nov. 2012;
Available in: http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-01-v7.0.0.pdf

[17] UNFCCC; *Combined Tool to Identify the Baseline Scenario and Demonstrate Additionally (am-tool-02)*, ver. 05.0.0, 23rd Nov. 2012;
Available in: https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-02-v5.0.0.pdf .

[18] UNFCCC; *Tool to Calculate Project or Leakage CO2 Emissions from Fossil Fuel Combustion (am-tool-03)*, ver. 02, 2nd Aug. 2008;
Available in: https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-03-v2.pdf .

[19] UNFCCC; *Tool to Calculate the Emission Factor for an Electricity System (am-tool-07)*, ver. 03.0.0, 23rd, Nov. 2012;
Available in: http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v3.0.0.pdf .

[20] UNFCCC; *Guidelines on the assessment of investment analysis*, ver. 05, 15th Jul. 2011;
Available in: http://cdm.unfccc.int/Reference/Guidclarif/reg/reg_guid03.pdf .

[21] UNFCCC; *Guidelines for Objective Demonstration and Assessment of Barriers*, ver. 01, 16th Oct. 2009;
Available in: http://cdm.unfccc.int/EB/050/eb50_repan13.pdf .

[22] UNFCCC; *CDM insights - intelligence about the CDM at the end of each month: Data as of: 31 December 2012*, 31st, Dec. 2012;
Available in: http://cdm.unfccc.int/Statistics/Public/CDMinsights/index.html .

[23] UNFCCC; *CDM Project Search*, sited on 2nd Feb. 2013;
Available in: http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html .

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی