

## مطالعه روش های مختلف تمیزکاری بازتابنده های خورشیدی مورد

### استفاده در کارخانه های CSP

#### چکیده

کثیف شدن و تجمع گرد و غبار در بازتابنده ها برای نیروگاه های خورشیدی متمرکزسازی (CSP)، بازتاب آنها و در نتیجه، بهره وری میدان خورشیدی را کاهش می دهد. به حداقل رساندن هزینه پاکیزگی، یک موضوع کلیدی برای امکان سنجی نیروگاه-خورشیدی است. این کار بر بهینه سازی روش تمیزکاری بازتابنده های خورشیدی برای کاربرد های CSP در شرایط واقعی در فضای باز در آب و هوای نیمه بیابانی متمرکز شده است. این آزمون شامل مواجهه فضای باز برای بازتابنده های خورشیدی و استفاده از روش های مختلف تمیزکاری می شود. با توجه به نتایج به دست آمده، موثرترین روش تمیزکاری بر اساس آب معدنی و یک قلم مو، با بهره وری میانگین 98.8٪ در دوره های بارانی و 97.2٪ در فصول خشک است. روش تمیزکاری نوآورانه بر اساس یک دستگاه بخار با بافت نرم، ناکارآمد بود (بهره وری 97.3٪ در یک دوره بارانی). اگر تعداد پاس های اعمال شده با روش آب معدنی فشار بالا عمدتاً به اندازه کافی باشد، این روش به اندازه روش مبتنی بر برس زدن موثر است و اضافه نمودن یک ماده شوینده اثربخشی آن را افزایش نمی دهد.

**کلیدواژگان:** نیروگاههای CSP؛ منعکس کننده های خورشیدی؛ تعمیر و نگهداری، روشهای پاک سازی

#### 1. مقدمه

تولید توان با نیروگاه های CSP، یک شیوه فعلی است که به طور فزاینده به منظور کمک به تولید انرژی پایدار با محیط زیست، با استفاده از منابع خورشیدی پررونق شده است. اگر چه فن آوری های مختلف در دسترس هستند، شایع ترین فناوری های مورد استفاده، برج های خورشیدی و جمع کننده های سهموی هستند. آنها اساساً از یک

بلوک قدرت و میدان مغناطیسی خورشیدی تشکیل شده اند که از طریق بازتابنده های خورشیدی متمرکز انرژی خورشیدی تشکیل شده است. این نیروگاه های CSP تنها می توانند از تابش خورشیدی مستقیم ورودی، به نام تابش پرتو یا تابش مستقیم نرمال (DNI) استفاده کنند.

مکان های سایت مناسب برای نیروگاه های CSP به طور معمول در مناطق خشک تا مناطق نیمه خشک هستند که در آن منبع DNI بسیار بالا است، زیرا هزینه های تولید قابل قبول نیروگاه های CSP تجاری به طور نمونه در جایی هستند که در آن DNI از محدوده بین 1700 و 2000 کیلووات ساعت بر متر مربع تجاوز می کند [1]. علاوه بر این، پوشش نیروگاهی و یا عناصر دیگر مانند ساختمان ها موجب سایه افکندن بر این منطقه نمی شوند و در نتیجه کل سطح تابش خورشیدی ورودی را دریافت می کند. این واقعیت که نیروگاه های CSP در مناطق خشک و نیمه خشک نصب می شوند شامل وجود مقدار مهمی از گرد و غبار و شن و ماسه در محیط می شود. تجمع ترشحات مزاحم و گرد و غبار در بازتابنده های خورشیدی نیروگاه های CSP باعث جذب و پراکندگی پرتوهای مستقیم خورشید، کاهش بازتاب آینه، و عملکرد میدان خورشیدی و در نتیجه فروش توان می شود [2]. برای تضمین اینکه همه پرتوهای خورشیدی به گیرنده می رسند، یعنی، برای نگه داشتن یک آینه با بازتاب متوسط مناسب و سطح راندمان تبدیل انرژی خورشیدی خوب، روش تمیزکاری مناسب باید اغلب استفاده شود. به عنوان مثال، حدود 500000 متر از بازتابنده های سطح-سهموی در نیروگاه CSP 50-MW E معمولی در جنوب اسپانیا، با سیستم ذخیره سازی 7.5 ساعت نمک-مذاب نصب می شوند [3]. از این رو، نظافت جمع کننده نشان دهنده یکی از گران ترین هزینه های عملیات نیروگاه-خورشیدی و تعمیر و نگهداری (O & M) است و به حداقل رساندن این هزینه، یک مسئله مهم برای امکان سنجی اقتصادی نیروگاه-خورشیدی [2] است.

عمل اصلی در نیروگاه های CSP برای حذف نشت آلودگی سطحی، شستشو یسطح بازتابنده ها با آب تحت فشار است، اما بسته به موقعیت کارخانه، به عنوان مثال، در مناطق خشک یا نیمه خشک، این منابع طبیعی را می توان محدود نمود. بنابراین، ضرورت بهینه سازی روش تمیزکاری در هر نیروگاه CSP به یک مسئله بسیار مرتبط تبدیل

شده است

اگرچه برخی از نویسندگان، تلاش های پژوهشی را در بهینه سازی روش تمیزکاری [4-8] صورت داده اند، برخی از جنبه های مهم فنی هنوز به طور مفصل مطالعه نشده اند. به همین دلیل، این مقاله بر بهینه سازی روش تمیزکاری بازتابنده های خورشیدی در شرایط واقعی در فضای باز تمرکز می کند و برای پیدا کردن بهترین و مقرون به صرفه ترین ترکیب تلاش می کند.

این آزمون شامل مواجهه فضای باز و تمیزکاری چند نمونه بازتابنده خورشیدی در منطقه آزمون فضای باز بود که از *Plataforma Solar* Optical Aging Characterization Laboratory (OPAC) باید این هدف را در *de Almeria* (PSA)، در جنوب اسپانیا انجام دهد. آزمایشگاه OPAG، یک پروژه تحقیقاتی مشترک بین مرکز *de Medioambientales Y Tecnológicas (CIEMAT, Investigaciones Energeticas)* و آلمان *Zentrumfor Luft- UND Raumfahrt (DLR)* است. PSA در صحرای *Tabernas* (جنوبی اسپانیا) قرار دارد، یعنی، دارای آب و هوای نیمه بیابانی است.

## 2. روش شناسی

نمونه های بازتابنده در معرض شرایط واقعی در فضای باز در این آب و هوای نیمه بیابانی قرار گرفتند تا اثربخشی چندین روش تمیزکاری، از جمله تمیزکاری طبیعی مطالعه شود. روش های مختلف تمیزکاری به صورت دوره ای برای نمونه های بازتابنده در معرض نیمکت آزمون از هم جدا در طول یک دوره آزمون در مجموع 2 سال استفاده شد. اندازه گیری های انعکاس، قبل و بعد از وظایف تمیزکاری برای ارزیابی آنها گرفته شد. این بخش، روش دنبال شده را توصیف می کند.

### 2.1 راه اندازی آزمایشی

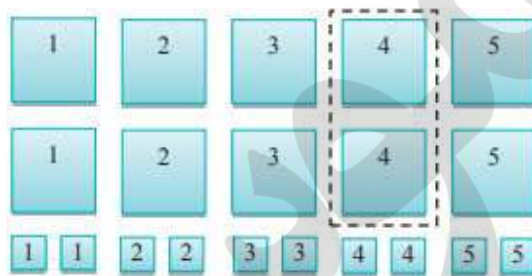
چهار نیمکت آزمون فلزی توسط *Saint-Gobain* برای حمایت از نمونه های بازتابنده ارائه شد. تصویری از چهار نیمکت آزمون فلزی در شکل 1 وجود دارد. چهار نیمکت آزمون دارای ساختار برچسب گذاری شده 1 تا 4، از چپ به راست در شکل 1 می باشند.



شکل 1. سازه های 1 تا 4، در فضای باز در معرض OPAC (از چپ به راست)

یک روش تمیزکاری متفاوت در هر نیمکت آزمون فردی استفاده شد. سازه های فلزی رو به جنوب نصب شدند و طوری ساخته شدند که این نمونه با زاویه 45 درجه بالاتر از افقی، در نزدیکی دمای 37 درجه سانتی گراد که متناظر با طول و عرض جغرافیایی محل تثبیت شد. این اریب بودن، کاربرد آسان روش تمیزکاری و اندازه گیری بازتاب را میسر می سازد.

طراحی هر نیمکت فلزی آزمون برای جای دادن مجموع 20 نمونه در هر ساختار، با دو اندازه مختلف در نظر گرفته شده است. یعنی، حداکثر 10 نمونه با اندازه (ضخامت 3 میلی متر) 400x400 میلی متر مربع، و 10 نمونه با 80x80 میلی متر مربع (ضخامت 3 میلی متر) را می توان در هر نیمکت آزمون قرار داد. بزرگترین نمونه ها در 2 سطر و 5 ستون مرتب شده اند، در حالی که نمونه های کوچک در یک سطر زیر سطر قبلی مرتب شدند، همانطور که می توان در شکل 2 دید (سمت چپ). در این مورد، هر نیمکت آزمون، حداکثر 5 نوع مختلف از بازتابنده های خورشیدی را دریافت کرده است. توزیع هر نوع در هر ستون به شرح زیر است: هر ستون شامل دو نمونه بزرگ در هر سطر، و دو نمونه کوچک در پایین ترین ردیف می شود. برای این مطالعه، دو تا از بزرگترین بازتابنده های قرار گرفته در ستون 4 از هر 4 ساختار در نظر گرفته شد (شکل 2 سمت راست). بقیه نمونه ها برای مطالعه دیگری استفاده شدند.



شکل 2 ساختار 2 (سمت چپ) و توزیع بازتابنده های خورشیدی در هر نوع در یک نیمکت آزمون (سمت راست)

## 2.2. اندازه گیری های بازتاب

بازتاب، پارامتر انتخاب شده برای ارزیابی بهره وری روش های مختلف اعمال شده برای نمونه بازتابنده است. بهره وری از یک سو با چک کردن تفاوت بین بازتاب قبل و بعد از تمیزکاری نمونه ها در هر نیمکت آزمون به دست آمد که نشان دهنده توانایی روش های تمیزکاری برای از بین بردن کثیفی انباشته و از سوی دیگر با مقایسه مقادیر بازتاب دست آمده پس از تمیزکاری آنها است که نشان دهنده قابلیت روش های تمیزکاری برای بازگرداندن بازتاب اولیه می باشد.

بازتاب به عنوان نسبت شار تابشی از یک سطح به شار تابش برخوردی [9] تعریف می شود. بازتاب دیجیتال تک رنگ با مدل قابل حمل بازتاب دیجیتال R-USB15 اندازه گیری شد که توسط دستگاه ها و خدمات تولید می شود [10]. این مورد با یک منبع LED از محدوده طول موج بین 635-685 نانومتر، با پیک در طول موج 660 نانومتر ارائه می شود (شکل 3 را ببینید).



شکل 3. بازتاب سنج دیجیتال قابل حمل R-USB15 توسط دستگاه ها و خدمات

امکان انتخاب زاویه پذیرش برای اندازه گیری ها در میان 0.23، 12.5 و Mrad 7.5 وجود دارد. زاویه پذیرش Mrad 12.5 برای تمام اندازه گیری ها در این مطالعه انتخاب شد. بازتابنده های سطحی اول و دوم را می توان با این دستگاه اندازه گیری نمود. این ابزار به خودی خود دارای یک بازتابنده کالیبره قابل حمل است که از آن به عنوان استاندارد برای کالیبره کردن دستگاه استفاده می کند.

هر نمونه همیشه در سه نقطه متفاوت به منظور تعیین میزان همگنی اندازه گیری، سنجش شد. یک ماسک استفاده شد در حالی که اندازه گیری با بازتاب سنج برای اندازه گیری همیشگی همان نقاط بر روی نمونه ها صورت گرفت. مقدار نهایی بازتاب هر بازتابنده خورشیدی توسط متوسط سه اندازه گیری مستقل و انحراف استاندارد مرتبط داده شده است.

### 2.3. روش های تمیزکاری

در طول دوره آزمون 2 سال، مراحل مختلف 3 ماهه در نظر گرفته شدند. در هر مرحله، 3 روش مختلف با استفاده از هر روش در یک نیمکت آزمون از هم جدا، ساختار برجسب گذاری شده 1 تا 3 (شکل 1 را ببینید) مقایسه شد. روش تمیزکاری متناظر هر دو هفته استفاده شد.

متغیرهای مختلف در کار تمیزکاری بازتابنده های متمرکزکننده خورشیدی برای نیروگاه های CSP، مانند نوع دستگاه تماس (قلم مو و بافت نرم)، کیفیت آب (املاح و شیر)، فشار آب، مواد افزودنی و دولت آب (مایع و بخار) دخالت دارند. بنابراین، روش های تمیزکاری مختلف با توجه به هر یک از این عوامل برای نیمکت آزمون به منظور شناسایی مزایا و عملکرد مقرون به صرفه تر استفاده شده است. روش شناسی دنبال شده به شرح زیر است:

1. همه بازتابنده ها با آب معدنی و برس تمیز می شوند (یعنی، وظیفه "کاملاً تمیز"، به عنوان هکلیتن "تنظیم مجدد" عملیات و آغاز دوره.

2. بازتاب اولیه همه بازتابنده ها، درست بعد از برنامه " کاملاً تمیز " به منظور بررسی دستیابی به حداکثر بازتاب اندازه گیری می شود.
  3. روش تمیزکاری اعمال شده در هر یک از 3 ساختار، بسته به نتایج حاصل از دوره قبلی انتخاب می شود.
  4. دو هفته بعد، بازتاب پس از نمایش در فضای باز به شرایط محیطی و قبل از تمیزکاری اندازه گیری شد. این اندازه گیری، بررسی میزان کثیف شدن در این فاصله را میسر ساخت.
  5. بازتابنده ها از هر ساختار با روش انتخابی تمیز می شوند
  6. انعکاس، درست بعد از فرایند تمیزکاری اندازه گیری می شود. این اندازه گیری ها، اطلاعات در مورد اثربخشی هر روش تمیزکاری در از بین بردن کثیفی را ارائه می دهد و همچنین مقایسه روش های تمیزکاری را در میان آنها میسر می سازد.
  7. مراحل 4 تا 6 در طول مدت 3 ماه تکرار می شود و در با اندازه گیری "کثیف" پایان می یابد. پس از رنگ زدن 3 ماهه، این روش دوباره در مرحله 1 برای آغاز دوره بعدی شروع می شود.
- با توجه به متغیرهای مختلف که بر کار تمیزکاری و روش پیشنهادی دنبال شده برای مطالعه بهبود آن تاثیر می گذارند، روش های تمیزکاری انتخاب شده و اعمال شده در سه ساختار در طول شش دوره در جدول 1 ارائه شده اند.

Period	Structure 1	Structure 2	Structure 3
1	<b>High-pressure demineralized water:</b> maximum pressure around 200 bar; 1 m distance; quantity of water: 0.3-0.7 l/m <sup>2</sup> ; 2 passes with the water nozzle.	<b>High-pressure demineralized water with detergent:</b> as structure 1 but using a 1% solution of a glass cleaner; 2 water with detergent passes plus 3-4 rinse water passes with the water nozzle.	<b>Demineralized water and a natural horse-hair bristles brush:</b> there is a direct contact to the glass. The quantity of water: 0.3-0.7 l/m <sup>2</sup> ; 3 passes with the brush.
2	<b>High-pressure demineralized water:</b> equal to period 1 but 3 passes with the water nozzle to increase the efficiency.	<b>High-pressure demineralized water with detergent:</b> equal to period 1 but 1 water with detergent pass plus 2 rinse water passes with the water nozzle to reduce the water consumption.	<b>Demineralized water and a natural horse-hair bristles brush:</b> equal to period 1 but 4 passes to ensure the whole reflector surface is cleaned.
3	<b>High-pressure demineralized water:</b> equal to period 2.	<b>High-pressure demineralized water:</b> equal to structure 1 but only 2 passes in order to verify whether a lower quantity of water is enough to clean structure 2.	<b>Demineralized water and a natural horse-hair bristles brush:</b> equal to period 2.
4	<b>High-pressure demineralized water + 2% water additive:</b> maximum pressure around 200 bar; 1 m distance; quantity of water: 0.3-0.7 l/m <sup>2</sup> . 2 passes with the water nozzle.	<b>Demineralized water + natural horse-hair bristles brush + 2% water additive:</b> 2 passes. No rinse water applied.	<b>Demineralized water + natural horse-hair bristles brush:</b> equal to period 3 but 2 passes to reduce water consumption.
5	<b>High-pressure demineralized water:</b> equal to period 1.	<b>Pressurized steam and soft tissue:</b> 2 passes using the steam cleaner and covering the floor nozzle with a soft tissue.	<b>Demineralized water + natural horse-hair bristles brush:</b> equal to period 4.
6	<b>High-pressure demineralized water:</b> equal to period 5.	<b>Pressure demineralized water:</b> maximum pressure 150 bar; 50 °C temperature; 1 m distance; quantity of water: 0.3-0.7 l/m <sup>2</sup> ; 2 passes with the water nozzle.	<b>Demineralized water + natural horse-hair bristles brush:</b> equal to period 5.

جدول 1. روش های تمیزکاری برای هر ساختار و دوره.

همانطور که می توان در جدول 1 دید، پس از هر دوره، بهره وری روش ها ارزیابی می شود و روش های جدید برای دوره بعدی به منظور بهبود روش های گذشته پیشنهاد می شوند. تعداد پاس ها کاهش می یابد و یا برای مثال، برای رسیدن به این هدف، افزودنی حذف می شود.

## 2.4. دستگاه های پاکسازی

دستگاه شستشوی فشار مورد استفاده برای اعمال روش های مختلف تمیزکاری، مدل HDS 10 / 20-4M تولید شده توسط KARCHER بود (شکل 4). این دستگاه اجازه می دهد تا کار با آب تحت فشار در یک محدوده فشار بین 30 و 200 بار صورت گیرد. علاوه بر این، به لطف یک کنترل کننده دما، آب را می توان از دمای محیط به 98 درجه سانتیگراد، و تا 150 درجه سانتی گراد در فاز بخار استفاده نمود. سرعت جریان آب انتخاب 16.7 L / min بود که در حداکثر ارزش افزوده در تمام آزمایش ها کار می کند.





شکل 4. دستگاه شستشوی فشار با لوازم جانبی نازل اسپری دستی و (1)، لوازم جانبی برس موی طبیعی اسب با تغذیه آب (2)، پاک کننده بخار (3)، مخزن املاح آب (4)، و مخزن مواد افزودنی (5).

شستشوکننده به یک مخزن آب معدنی 1-500 (شماره 4 در شکل 4) و یک مخزن 1-60 مواد افزودنی (شماره 5 در شکل 4) متصل می شود. افزودنی های مختلف در این مطالعه گنجانده شده است. این مجموعه بر روی یک تریلر برای حمل آنها به محل نیمکت آزمون مونتاژ می شود. لوازم جانبی لباسشویی اضافی در روش های مختلف به شرح زیر استفاده می شوند:

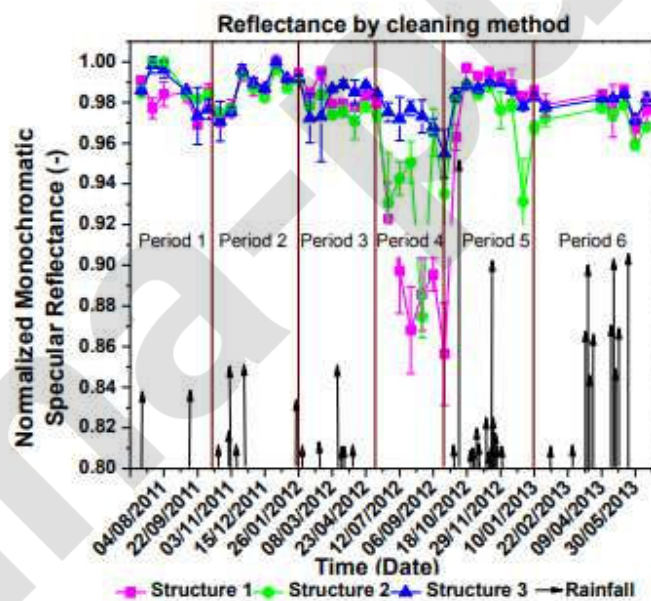
- نازل اسپری دستی برای اعمال آب تحت فشار سرد و گرم (عدد 2 در شکل 4).
- برس موی طبیعی اسب با تغذیه آب ، از خانواده Hiflo<sup>TM</sup> تولید شده توسط Unger Global (شماره 2 در شکل 4).

علاوه بر این، یک پاک کننده بخار، مدل SC 1.020 تولید شده توسط KARCHER، همچنین در این آزمایش (شماره 3 در شکل 4) استفاده شد. این دستگاه با توجه به خروجی W 1500 و حرارت آن و 1-1 دیگ بخار / مخزن، فشار بخار حداکثر 3.2 بار را فراهم می کند. از لوازم جانبی استاندارد آورده شده در این مجموعه، شلنگ بخار با نازل کف در این مطالعه استفاده می شود. نازل کف با یک بافت نرم برای حفاظت از نمونه بازتابنده از هر گونه صدمه احتمالی پوشانده می شود. این بافت نرم کاملاً بعد از هر آزمایش شسته شد.

## 3. نتایج و بحث

همه نتایج به دست آمده در این مطالعه 2 ساله در مورد اثر بخشی روش های تمیزکاری مختلف در یک آب و هوای نیمه بیابانی در این بخش ارائه شده است. شکل 5 و 6 و جدول 2، نتایج به دست آمده در مطالعه را نشان می دهد. در شکل 5 و 6، محور جداکننده طول روی محور مختصات، تاریخ است و فلش های سیاه نشاندهنده روزهایی می باشد که بارش رخ داده است، که طول فلش ها متناسب با مقدار بارندگی است. این فلش ها، چک کردن تاثیر یک روش تمیزکاری طبیعی (بارش) در انعکاس نمونه ها را میسر می سازد.

در شکل 5 و 6، محور مختصات، مقدار بازتاب بهنجار شده به حداکثر بازتاب است. شکل 5 شامل منحنی مربوط به سه ساختار می شود که در آن روش های مختلف تمیزکاری مصنوعی (سازه های 1 تا 3)، تقسیم بر دوره های مختلف ایجاد شده در جدول 1 استفاده شدند. بنابراین، یک مقایسه اثربخشی در میان روش های مختلف تمیزکاری مصنوعی در این مطالعه را ارائه می دهد. در این مورد، بازتاب درست پس از استفاده از روش تمیزکاری اندازه گیری شد. همانطور که می توان در شکل 5 دیده، بازتاب در بیش از 96٪ از حداکثر مقدار خود در تمام طول گسترش مطالعه، به جز در تابستان سال 2012، در هنگامی که روش تمیزکاری مورد استفاده در ساختار 1 و 3 واقعا نمی توانست نمونه بازتابنده را تمیز کند بازیابی شده است.



شکل 5. بازتاب نرمال دیجیتال تک رنگ برای تمیزکاری های مختلف، پس از تمیزکاری (سازه های 1 تا 3).

یک پارامتر بهره وری تمیزکاری از مطالعه برای داشتن یک درک روشن تر از نتایج به دست آمده استخراج شده است. این پارامتر نشان دهنده درصد بازتاب دوره بازیابی است، یعنی بازتاب اندازه گیری شده بعد از کاربرد تمیزکاری مربوط به حداکثر بازتاب. جدول 2 شامل درصد بهره وری متوسط هر روش تمیزکاری برای هر دوره است.

	Structure 1	Structure 2	Structure 3
Period 1	98.2	98.9	98.6
Period 2	98.8	98.6	98.8
Period 3	98.3	97.6	98.3
Period 4	89.8	94.0	97.2
Period 5	98.9	97.3	98.5
Period 6	97.8	97.1	98.0

جدول 2. پارامتر بهره وری تمیزکاری به دست آمده پس از تمیزکاری (سازه های 1 تا 3) برای تمام دوره ها وارد شده در مطالعه.

برای تجزیه و تحلیل نتایج ارائه شده در این شکل 5 و جدول 2 به روشی بهتر، آنها در دوره هایی به شرح زیر مورد مطالعه قرار می گیرند:

- دوره 1. شستشو با ماده شوینده (ساختار 2) به نظر می رسد موثرترین روش تمیزکاری، با درصد بهره وری میانگین 98.9٪ باشد و به دنبال آن بر زدن (3 ساختار)، با 98.6٪ قرار دارد. این مانند 2 پاس از فشار آب معدنی (ساختار 1)، با درصد بهره وری میانگین 98.2٪ کافی به نظر می رسد. در نتیجه، تعداد پاس های آب املاح دار با فشار بالا در دوره های بعدی افزایش یافت. به منظور کاهش هزینه های شستشو با مواد شوینده (ساختار 2)، تعداد پاس در دوره بعد کاهش یافت.
- دوره 2. سه روش تمیزکاری استفاده شده (حداقل در این فصل زمستان) تقریباً به یک اندازه موثر بودند. اگر منحنی های با جزئیات بیشتری مورد مطالعه قرار گیرند، می توان اذعان نمود که روش های مبتنی بر برس زدن

(ساختار 3) و آب معدنی با فشار بالا (ساختار 1) موثر ترین روش ها، با درصد بهره وری میانگین 98.8٪ و آب معدنی با فشار بالا با مواد شوینده (2 ساختار)، با 98.6٪ هستند.

از آنجا که اثربخشی روش های مورد استفاده در ساختارهای 1 و 2 (شامل هر دو به یک تعداد از پاس) واقعا مشابه بودند و اضافه نمودن ماده شوینده به آب (ساختار 2) شامل هزینه های اضافی می شود، تصمیم به حذف این روش گرفته شد. بنابراین، هیچ ماده شوینده ای برای ساختار 2 در دوره بعدی استفاده نشد و اگر تعداد پاس ها در این روش با آب معدنیبا فشار بالا کاهش یافت، این ساختار برای بررسی مد نظر قرار می گرفت (ساختار 1).

• دوره 3. به طور کلی، روش های تمیزکاری در برس زدن (3 ساختار) و در آب معدنی با فشار بالا با 3 پاس (ساختار 1) موثر ترین روش های تمیزکاری، با درصد بهره وری میانگین 98.3٪ به نظر می رسید. همانطوری که انتظار می رفت، اثر 2 پاس در روش با آب معدنی با فشار بالا (ساختار 2)، 97.6٪ متوسط درصد بازده، پایین تر از مربوط به 3 پاس (ساختار 1) است. با این حال، در نظر گرفتن این مورد که هزینه روش بطور قابل توجهی با افزایش تعداد پاس ها افزایش می یابد، لازم می باشد. در دوره بعد، بررسی جزئیات بیشتری در روش تمیزکاری بر اساس برس زدن، با اضافه کردن مواد شوینده به آب مفید در نظر گرفته شد (ساختار 2). به عنوان یک ماده شوینده جدید و نوآورانه در دسترس، نیز به آب معدنی با فشار بالا (ساختار 1) اضافه شد.

• دوره 4. این دوره یکی از افراطی ترین مورد شرایط آب و هوایی به دلیل یک تابستان سخت بود. بنابراین، سطح تمیزی به دست آمده توسط روش های بکار برده کمتر از بقیه روش های مطالعه بود. مقایسه روش تمیزکاری بر اساس برس زدن فقط با آب (ساختار 3) و با آب و افزودنی (2 ساختار)، با درصد بهره وری میانگین 97.2٪ و 94٪، به ترتیب، یکی از اولین و بهترین پاسخ ها بود. بنابراین، نتیجه گرفته شد که اضافه کردن مواد شوینده به روش مبتنی بر برس زدن جالب است.

و با توجه به روش مبتنی بر آب معدنی با فشار بالا با افزودنی (ساختار 1)، بدترین نتایج طیف مطالعه، با 89.8٪ ارائه شد. روش تمیزکاری جدید با استفاده از یک دستگاه بخار با بافت نرم در دوره بعد (در ساختار 2) مورد مطالعه

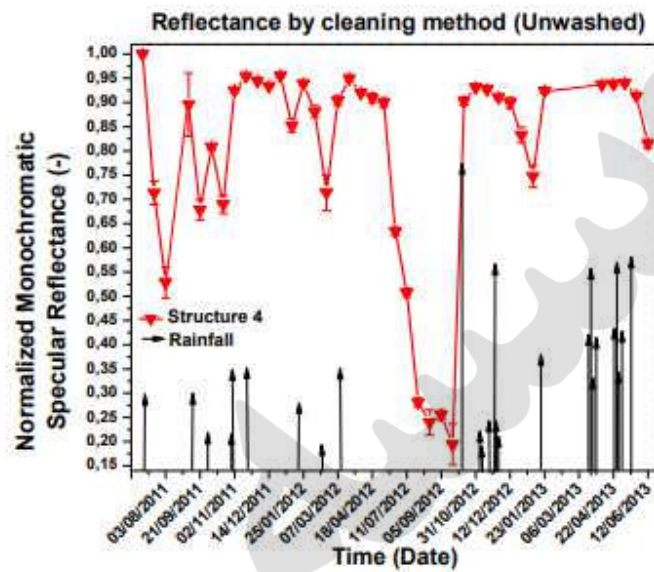
قرار گرفت. این روش جدید با روش های ارائه شده که دارای بهترین پاسخ در دوره های قبلی بودند مقایسه شد: آب غیر معدنی با فشار بالا (ساختار 1) و آب غیرمعدنی با یک برس است (ساختار 3).

• دوره 5. این روش بر اساس یک دستگاه بخار با بافت نرم (ساختار 2)، با درصد بهره وری متوسط 97.3٪ ناکارآمد بود. مشکل اصلی استفاده از آن، تمیزکاری ناقص سطح نمونه به دلیل نشت پیشرونده مواد بافت بود. روش ساختار 1 یکی از بهترین روش ها، با درصد بهره وری میانگین 98.9٪ است و پس از آن روش مبتنی بر برس زدن (3 ساختار)، با 98.5٪ قرار دارد. در دوره بعد، روش تمیزکاری مورد استفاده در ساختار 1 و 3، نگه داشته شد و آنها با بهترین روش استنتاج شده در [6] (آب معدنی با فشار بالا در 150 بار و 50 درجه سانتی گراد) مقایسه شدند.

• دوره 6. نتایج با آب معدنی با فشار بالا در 150 بار و 50 درجه سانتی گراد (ساختار 2)، با درصد بهره وری میانگین 97.1 درصد، کمی پایین تر از روش های دیگر به دست آمد. روش مبتنی بر برس زدن (ساختار 3) یکی از بهترین روش ها، با درصد بهره وری میانگین 98.0٪، در مقایسه با روش در ساختار 1، با 97.8٪ است. با این حال، تجزیه و تحلیل اقتصادی بیشتر مورد نیاز است، چرا که این روش ها می توانند ارزان تر شوند.

شکل 6 نشان دهنده منحنی های مربوط به ساختاری است که در آن هیچ روش تمیزکاری مصنوعی استفاده نشد (ساختار 4). بنابراین، تجزیه و تحلیل بهره وری تمیزکاری طبیعی را بدون هر گونه مداخله از تمیزکاری مصنوعی میسر می سازد. در این مورد، بازتاب در همان روز که مقادیر شکل 5 گرفته شد، اندازه گیری شد، اما نه پس از استفاده از روش تمیزکاری به دلیل اینکه این ساختار نشسته نشده بود.

همانطور که می توان در شکل 6 دید، در فصل تابستان (هر دو در سال 2011 و در سال 2012) بازتاب دارای کاهش گسترده بود و به مقدار 0.20 حتی پایین تر از سال 2012 رسید. این به دلیل عدم وجود باران، محیط بسیار خشک و مقدار زیادی از ذرات موجود در هوا بود که بر روی سطوح نمونه نهشته شده اند. با این حال، درست بعد از فصل تابستان، به لطف اثر مثبت بارش فراوان، بازتاب تا حدود 90٪ حداکثر به دست آمد. به عنوان یک نتیجه، اثربخشی بالای باران به عنوان روش تمیزکاری طبیعی در این مطالعه ثابت شد.



شکل 6. بازتاب دیجیتال تک رنگ نرمال شده برای روش های مختلف تمیزکاری اعمال شده، پس از تمیزکاری (ساختار 4)

#### 4. نتیجه گیری

یک مطالعه عمیق در مورد اثر بخشی روش های تمیزکاری مختلف، از جمله تمیزکاری طبیعی، در طول 2 سال در آب و هوای نیمه بیابانی انجام شده است. روش های مختلف برای تمیزکاری دوره ای برای چند نمونه بازتابنده در معرض 4 نیمکت آزمون از هم جدا استفاده شد. اندازه گیری بازتاب های دیجیتال تک رنگ قبل و بعد از استفاده از روش تمیزکاری گرفته شدند.

تفاوت های بازتاب بین اندازه گیری های انجام شده، به دلیل کثیفی انباشته شده بر روی نمونه های بازتابنده که بطور قابل توجهی بالاتر است، قبل و بعد از تمیزکاری بیشتر در فصل تابستان نسبت به بقیه سال مشخص شد. از سوی دیگر، در طول فصل زمستان، تفاوت های بازتاب واقعا کوچک هستند به دلیل اینکه کثیفی انباشته شده بر روی نمونه های بازتابنده نسبتاً کم است.

● اگر تعداد پاس های اعمال شده با روش آب معدنی با فشار بالا، به اندازه کافی باشد (یعنی، 3 پاس)، اضافه نمودن یک ماده شوینده بر افزایش اثربخشی آن دلالت ندارد، چرا که پارامتر متوسط راندمان به دست آمده 98.8٪ بدون مواد شوینده و 98.6٪ با مواد شوینده می باشد.

● اثربخشی 2 پاس در روش با آب معدنی با فشار بالا (بهره وری میانگین 97.6٪) کمی پایین تر از اثربخشی مربوط به 3 پاس (بهره وری میانگین 98.3٪) است. با این حال، هزینه این روش به طور قابل توجهی با تعداد پاس افزایش می یابد.

● روش مبتنی بر یک دستگاه بخار با بافت نرم (بهره وری متوسط 97.3٪ در یک دوره بارانی) ناکارآمد بود.

● ثابت شده است که روش تمیزکاری در آب معدنی و یک برس، یکی از موثرترین روش ها است، زیرا بهره وری به دست آمده متوسط، در همه دوره هایی که در آن اعمال شد بالاترین بود. اضافه کردن مواد شوینده به روش مبتنی بر برس زدن جالب است. علاوه بر این، در دوره های بسیار خشک، تنها این روش موثر است.

● در دوره های بارانی، روش فشار آب معدنی (200 بار و دمای محیط) به عنوان به عنوان روش بر اساس آب معدنی و یک برس موثر است.

● نتایج به دست آمده با آب معدنی با فشار بالا در 150 بار و 50 درجه سانتی گراد کمی پایین تر از نتایج مربوط به آب معدنی با فشار بالا (200 بار و دمای محیط) و آب معدنی با یک برس (بهره وری میانگین 97.1٪ در برابر 97.8٪) بود. با این حال، تجزیه و تحلیل اقتصادی بیشتری مورد نیاز است، چرا که این روش می تواند ارزان تر تمام شود.

در ساختار که در آن هیچ روش تمیزکاری مصنوعی استفاده نشد، بازتاب، کاهش عظیمی در فصل تابستان را نشان داد، و به مقدار 0.20 و حتی پایین تر رسید. با این حال، درست بعد از فصل تابستان، به لطف اثربخشی مثبت بارش فراوان، بازتاب تا حدود 90٪ حداکثر به دست آمد.

تقدیرات

نویسندگان می خواهند از Saint-Goba in برای حمایت مالی تشکر نمایند. همچنین نویسندگان می خواهند از Johannes Wette و Florian Sutter, Stephanie Meyen و Saint-Gobain Solar از DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)، برای همکاری فعال و پربار خود در این مطالعه تشکر نمایند.