

پوشش‌های نانو ضد گرد و خاک برای پنل‌های خورشیدی

چکیده طرح کسب و کار:

کسب‌وکار پیشنهادی، ارائه خدمات تخصصی پوشش‌دهی پنل‌های خورشیدی با محلول‌های نانو خودتمیزشونده (Superhydrophobic) است. این پوشش‌ها با ایجاد یک لایه نامرئی و فوق‌آب‌گریز بر پایه نانوذرات سیلیکا (SiO_2)، مشکل جهانی کاهش راندمان نیروگاه‌های خورشیدی ناشی از تجمع گرد و غبار را حل می‌کنند. در ایران، با توجه به بحران آب، هزینه بالای شست‌وشوی سنتی و تعدد نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق کویری، این راه‌کار یک ضرورت اقتصادی و زیست‌محیطی است. طرح حاضر با سرمایه‌گذاری اولیه ۱۸.۵ میلیارد تومان، در سال اول با اجرای ۳ پروژه، ۵۶.۹۹۷ میلیارد تومان سود عملیاتی (EBIT) ایجاد کرده و به بازده سرمایه‌گذاری (ROI) ۳۰۸ درصدی دست می‌یابد.

پوشش‌های نانو ضد گرد و خاک برای پنل‌های خورشیدی	عنوان گزارش
فناوری نانو، انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت منابع آب	حوزه تخصصی
وزارت نیرو-پژوهشگاه نیرو-سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری (ستاد توسعه فناوری نانو)، مالکان و سرمایه‌گذاران نیروگاه‌های خورشیدی	مخاطبان اصلی
پژوهشگاه نیرو	سفارش دهنده
دکتر مجید میرزایی (ایمیل سازمانی: mjmirzaei@nri.ac.ir)	نویسندگان
پژوهشکده تولید	ناظر
پژوهشکده تولید- مرکز تخصصی نوآوری و توسعه فناوری نانو	پژوهشکده، گروه پژوهشی

۱. معرفی کسب‌وکار و بیان مسئله

۱.۱. مشکل

نیروگاه‌های خورشیدی در ایران، به‌ویژه در استان‌های کویری مانند یزد، کرمان و اصفهان، با مشکل حاد نشست گرد و غبار و طوفان‌های گرد و خاک مواجه‌اند. این پدیده می‌تواند بازدهی پنل‌ها را بین ۲۰ تا ۶۴٪ کاهش دهد. روش سنتی شست‌وشو، پرهزینه، زمان‌بر و مهم‌تر از همه، مصرف‌کننده حجم عظیمی از آب شیرین است که در مناطق کویری یک منبع استراتژیک و کمیاب محسوب می‌شود.

۱.۲. راه‌حل

محصول، پوشش نانو خودتمیزشونده، یک محلول شیمیایی بر پایه فناوری سل-ژل است که روی سطح پنل اسپری شده و پس از خشک شدن، یک لایه شفاف با ضخامت چند نانومتر ایجاد می‌کند. این لایه دارای دو خاصیت هم‌زمان است:

- فوق‌آب‌گریزی (Superhydrophobicity): قطرات آب (باران یا شبنم) به شکل کره درآمده و با غلتیدن روی سطح، تمام ذرات گرد و غبار را جذب و از سطح خارج می‌کنند.

- آنتی‌استاتیک بودن: سطح پنل را از نظر الکتریکی خنثی کرده و از جذب الکترواستاتیکی ذرات گرد و غبار معلق در هوا جلوگیری می‌کند.

نتیجه: افزایش بازدهی، کاهش ۸۰ درصدی مصرف آب و حذف هزینه‌های شست‌وشوی دستی

۲. تحلیل بازار و مشتریان هدف

۱.۲. اندازه بازار

بازار جهانی پوشش‌های نانو برای پنل‌های خورشیدی در سال ۲۰۲۵ حدود ۱.۸۷ میلیارد دلار ارزش‌گذاری شده و با نرخ رشد مرکب سالانه ۱۰.۶٪ تا سال ۲۰۳۴ به ۵.۱۴ میلیارد دلار خواهد رسید. این رشد عمدتاً به دلیل گسترش مزارع خورشیدی در مناطق خشک و افزایش سیاست‌های حمایتی از انرژی پاک است.

۲.۲. بازار داخلی و مشتریان بالقوه (B2B)

مشتریان هدف ما به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱. نیروگاه‌های بزرگ مقیاس (مزارع خورشیدی): نیروگاه‌های بالای ۱ مگاوات در ایران که بخش اعظم بازار را تشکیل می‌دهند.

۲. شرکت‌های EPC (طراحی، تدارکات و ساخت): می‌توان پوشش را به عنوان یک ارزش افزوده در فرآیند ساخت نیروگاه‌های جدید به آن‌ها فروخت.

۳. پیمانکاران نگهداشت و تعمیرات (O&M): آن‌ها ذی‌نفع اصلی کاهش هزینه‌های شست‌وشو هستند.

۳. برنامه عملیاتی (فنی و اجرایی)

۱.۳. مدل کسب‌وکار

محصول اصلی "خدمات پوشش‌دهی" است، نه فقط خود مایع. مدل درآمدی این صورت خواهد بود:

- قرارداد مستقیم: عقد قرارداد با مالک نیروگاه و محاسبه هزینه بر اساس هر متر مربع سطح پوشش داده‌شده
- تضمین عملکرد: ارائه گارانتی ۳ تا ۵ ساله برای اثبات اثربخشی و دوام پوشش

۲.۳. فناوری و تجهیزات

برای شروع، از دانش فنی بومی‌سازی‌شده یا واردات ماده اولیه از یک تأمین‌کننده معتبر (مثلاً چین یا آلمان) استفاده می‌شود. تمرکز بر برندسازی، کنترل کیفیت و اجرای بی‌نقص است.

- تجهیزات اجرا: دستگاه‌های اسپری صنعتی بدون هوا (Airless Sprayer)، بالابرهای نفربر و تجهیزات ایمنی کار در ارتفاع
- تجهیزات کنترل کیفیت: دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس آب (Contact Angle Meter) برای اثبات نتیجه کار به مشتری

۴. تحلیل مالی و اقتصاد طرح

۱.۴. مفروضات اساسی

- نرخ ارز: ۱۸۰,۰۰۰ تومان (دلار بازار آزاد).
- مساحت پنل‌های یک نیروگاه ۱ مگاواتی: ۵,۵۰۰ متر مربع.
- قیمت خرید ماده اولیه: ۳ دلار به ازای هر متر مربع.
- تعداد پروژه‌های سال اول: ۳ نیروگاه ۱ مگاواتی.

۲.۴. محاسبه قیمت و درآمد (سال اول)

مبلغ (تومان/متر مربع)	آیتم
$(۱۸۰,۰۰۰ \times ۳) ۵۴۰,۰۰۰$	قیمت تمام شده مواد اولیه
۲۵۰,۰۰۰	هزینه نیروی کار، لجستیک و اجرا
۷۹۰,۰۰۰	قیمت تمام شده کل
$۳,۶۱۰,۰۰۰ (\sim ۴۵\%)$	حاشیه سود ناخالص
۴,۴۰۰,۰۰۰	قیمت فروش به مشتری
$۱۶,۵۰۰ \text{ متر مربع} \times ۴,۴۰۰,۰۰۰ = ۷۲.۶ \text{ میلیارد تومان}$	درآمد کل سال اول

۳.۴. صورت سود و زیان سال اول

مبلغ (میلیارد تومان)	شرح
۷۲.۶	درآمد
۱۳.۰	هزینه های مستقیم (مواد + اجرا)
۲.۵۶۸	هزینه های عملیاتی (ثابت)
۵۶.۹۹۷	سود عملیاتی (EBIT)

۴.۴. سرمایه گذاری و بازده (ROI)

– سرمایه اولیه: ۱۸.۵ میلیارد تومان (شامل ۱۵ میلیارد سرمایه در گردش).

– بازده سرمایه سال اول: $(۵۶.۹۹۷ \div ۱۸.۵) \times ۱۰۰ = ۳۰.۸\%$

– نقطه سر به سر: ۷۱۰ متر مربع

۵. تحلیل ریسک و رقبا

۱.۵. تحلیل SWOT

نقاط قوت (Strengths)	نقاط ضعف (Weaknesses)	فرصت‌ها (Opportunities)	تهدیدها (Threats)
حاشیه سود بسیار بالا، نیاز واقعی بازار، عدم نیاز به کارخانه	وابستگی اولیه به تأمین‌کننده خارجی، نیاز به آموزش نیروی متخصص	گسترش شدید نیروگاه‌های خورشیدی در ایران، امکان بومی‌سازی فرمولاسیون	ورود شرکت‌های بزرگ، بی‌اعتمادی بازار به محصولات نانو

۲.۵. استراتژی کاهش ریسک

- ریسک فنی: اجرای یک پروژه آزمایشی (پایلوت) رایگان در یک نیروگاه کوچک و انتشار نتایج واقعی

- ریسک بازار: ارائه گارانتی بازپرداخت در صورت عدم اثبات کاهش مصرف آب

۶. برنامه رشد و توسعه (Roadmap)

فاز اول (سال ۱-۲): نفوذ و اعتمادسازی

- تمرکز بر ۳ استان اول (یزد، کرمان، اصفهان).
- استخدام تیم ۳ نفره و آموزش.
- هدف: ۳ پروژه در سال اول.

فاز دوم (سال ۳-۴): توسعه بازار

- ورود به بازار نیروگاه‌های کوچک مقیاس و پشت‌بامی.
- مذاکره برای تولید تحت لیسانس ماده اولیه در ایران.
- هدف: ۱۰ پروژه در سال.

فاز سوم (سال ۵): خروج یا تثبیت

- فروش بخشی از سهام شرکت به یک هلدینگ انرژی (مانند گروه مپنا).
- یا توسعه خط تولید داخلی و تبدیل شدن به تأمین‌کننده اصلی.

۷. نتیجه‌گیری

طرح حاضر با سرمایه‌گذاری منطقی، یک ورودی هوشمندانه به بازار با پتانسیل رشد انفجاری است. مهم‌ترین مزیت رقابتی، ارائه "راه‌حل کامل" (مشاوره، اجرا و گارانتی) است.

توصیه: برای شروع، اجرای فاز پایلوت در یک نیروگاه محلی و اثبات صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش تولید برق.

پیوست

طرح امکان‌سنجی اقتصادی

مفروضات اصلی و قیمت‌های روز

برای تطبیق با واقعیت‌های اقتصادی، از قیمت‌های واقعی مواد اولیه و نرخ ارز آزاد (دلار بازار) استفاده می‌کنیم. مدل کسب‌وکار همچنان بر ارائه خدمات به نیروگاه‌ها (واردات ماده اولیه و اجرا) استوار است.

مفروضه	مقدار	توضیح منبع
نرخ ارز (دلار بازار آزاد)	۱۸۰,۰۰۰ تومان	میانگین قیمت خرید و فروش در بازار تهران
قیمت خرید پوشش نانو وارداتی	۳ دلار به ازای هر متر مربع	بر اساس قیمت محصولات مشابه نانوسیلیس
قیمت تمام‌شده مواد اولیه	۵۴۰,۰۰۰ تومان/متر مربع	۳ دلار $\times$ ۱۸۰,۰۰۰ تومان
هزینه نیروی کار و لجستیک	۲۵۰,۰۰۰ تومان/متر مربع	دستمزد اجرا، اسکان موقت و حمل‌ونقل در ایران
مساحت پنل‌های یک نیروگاه	۱MW ۵,۵۰۰ متر مربع	استاندارد رایج در نیروگاه‌های ایران

۱. تحلیل درآمد (سال اول فعالیت)

در سال اول، هدف انجام ۳ پروژه نیروگاهی هر یک به ظرفیت ۱ مگاوات است.

– قیمت تمام‌شده به ازای هر متر مربع:

– مواد اولیه: ۵۴۰,۰۰۰ تومان

– نیروی کار و لجستیک: ۲۵۰,۰۰۰ تومان

– جمع: ۷۹۰,۰۰۰ تومان

قیمت فروش به ازای هر متر مربع:

– برای کسب حاشیه سود ناخالص ۸۰٪ (منطقی در بازار خدمات صنعتی):

– قیمت فروش: $۷۹۰,۰۰۰ \times ۱.۸ \approx ۴,۴۰۰,۰۰۰$ تومان

درآمد سال اول:

- مساحت کل: ۳ نیروگاه $\times ۵,۵۰۰$ متر مربع = $۱۶,۵۰۰$ متر مربع

- درآمد کل: $۱۶,۵۰۰ \times ۴,۴۰۰,۰۰۰ = ۷۲,۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰$ تومان (۷۲,۶ میلیارد تومان)

۲. تحلیل هزینه‌ها (سال اول فعالیت)

الف) بهای تمام‌شده کالای فروش رفته (متغیر):

آیتم	محاسبه	هزینه (تومان)
خرید مواد اولیه	$۱۶,۵۰۰ \text{ متر} \times ۵۴۰,۰۰۰$	۸,۹۱۰,۰۰۰,۰۰۰
دستمزد و لجستیک	$۱۶,۵۰۰ \text{ متر} \times ۲۵۰,۰۰۰$	۴,۱۲۵,۰۰۰,۰۰۰
جمع هزینه‌های مستقیم	-	۱۳,۰۳۵,۰۰۰,۰۰۰

ب) هزینه‌های عملیاتی (ثابت):

آیتم	هزینه ماهانه (تومان)	هزینه سالانه (تومان)
حقوق تیم اصلی (۳ نفر)	$۳ \text{ نفر} \times ۲۰,۰۰۰,۰۰۰ \times ۱۲ \text{ (سربار)}$	۱,۰۰۸,۰۰۰,۰۰۰
دفتر و انبار (اجاره)	۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰
بازاریابی، سفر و متفرقه	۸۰,۰۰۰,۰۰۰	۹۶۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع هزینه‌های عملیاتی	۲۱۴,۰۰۰,۰۰۰	۲,۵۶۸,۰۰۰,۰۰۰

۳. صورت سود و زیان واقع‌بینانه (سال اول)

شرح	مبلغ (تومان)	درصد از درآمد
درآمد کل	۷۲,۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۰۰٪
بهای تمام‌شده (متغیر)	۱۳,۰۳۵,۰۰۰,۰۰۰	۱۸٪
سود ناخالص	۵۹,۵۶۵,۰۰۰,۰۰۰	۸۲٪
هزینه‌های عملیاتی (ثابت)	۲,۵۶۸,۰۰۰,۰۰۰	۳.۵٪
سود عملیاتی	۵۶,۹۹۷,۰۰۰,۰۰۰	۷۸.۵٪

۴. سرمایه‌گذاری اولیه و بازگشت سرمایه

شرح	مبلغ (تومان)
ثبت شرکت، برندینگ و امور حقوقی	۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰
تجهیزات اجرا (دستگاه‌های پاشش و بالابر)	۳,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
سرمایه در گردش (مواد اولیه و حقوق ۳ ماه اول)	۱۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
کل سرمایه‌گذاری اولیه	۱۸,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰

– نقطه سر به سر:

- قیمت فروش هر متر مربع: ۴,۴۰۰,۰۰۰ تومان
 - هزینه متغیر هر متر مربع: ۷۹۰,۰۰۰ تومان
 - سود ناخالص هر متر مربع: $۷۹۰,۰۰۰ + ۴۴۰,۰۰۰ = ۳,۶۱۰,۰۰۰$ تومان
 - $۲۵۶۸۰۰۰۰۰ / ۳۶۱۰۰۰۰ = ۷۱۰$
 - تنها هزینه‌های ثابت: ۲.۵۶۸ میلیارد تومان / سود ناخالص ۳۶۱ میلیون تومان = ۷۱۰ متر مربع
- بازده سرمایه (ROI): $(۱۸.۳ / ۵۲.۳ \text{ میلیارد تومان}) \times ۱۰۰ \approx ۳۰.۸\%$

خلاصه

۱. سودآوری فوق‌العاده: حتی با در نظر گرفتن قیمت‌های واقعی و حذف قیمت‌های غیرواقعی قبلی، حاشیه سود عملیاتی ۷۸.۵٪ است.
۲. سرمایه اولیه کم‌ریسک: نقطه سر به سر شما فقط ۷۱۰ متر مربع است؛ یعنی حتی با یک پروژه کوچک هم از ضرر خارج می‌شوید.
۳. مقیاس‌پذیری: سرمایه‌گذاری اولیه ۱۸.۵ میلیارد تومانی، با تکرار پروژه‌ها، بازگشت سرمایه‌ای کمتر از ۴ ماه خواهد داشت.

منابع و مراجع

[1] Kumar, N. S., et al. (2026). Self-cleaning behaviour of hydrophobic nanocoating for solar PV panels: Enhancing efficiency and thermal management in dusty environments. *Energy Reports*, 15, 109030

- [2] Park, J., et al. (2025). Durable Hydrophobic Microcavity Surfaces for Self-Cleaning of Photovoltaic Panels. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 26, 3023–3029.
- [3] Development of anti-reflective coatings with photocatalytic and hydrophobic self-cleaning property for solar cells. (2025). *Surfaces and Interfaces*, 65, 106454.
- [4] Multifunctional self-cleaning nanostructured coatings for PV panels... (2025). In *Multifunctional Nanostructured Coatings* (pp. 441-456). Woodhead Publishing.
- [5] Integrated modeling of energy generation and water resource management utilizing floating photovoltaic (FPV) technology in semi-arid regions
- [6] Berlioux, B., et al. (2025). Numerical analysis of evaporation reduction in floating photovoltaic power plants: influence of design parameters. *EPJ Photovoltaics*, 16, 4.
- [7] Low-cost continuous floating covers with flexible photovoltaic panels for farm irrigation reservoirs: Technical and economic analysis. (2025). *Energy*, 335, 138209.