توصیف اختراع

# عنوان اختراع

**ربات پاک کننده پنل خورشیدی با استفاده از برس استوانه ایی و مکانیزم حرکت رفت و برگشتی**

# زمينه فني اختراع مربوط

**زمینه فنی تخصصی این اختراع در خصوص ربات های خودکار پاک‌کننده سطح پنل‌های خورشیدی است که** **با استفاده از چهار چرخ تعبیه شده، ربات در طول آرایه های خورشیدی حرکت رفت و برگشتی انجام می‌دهد و با چرخش برس دوار استوانه ایی طویل خود، گرد و غبار سطح آرایه پنل ها را به صورت خشک تمیز می کند.زمینه فنی کلی اختراع در حوزه مهندسی مکانیک و زیر‌بخش کنترل و مکاترونیک است. در بخش تجاری سازی آن، در ابتدا توجیه اقتصادی ساخت این ربات را بررسی می کنیم و سپس آن را برای عرضه در سه بخش بازار پنل های تجاری، پنل های مسکونی و مزارع خورشیدی مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.**

# مشكل فني و بيان اهداف اختراع

**ایران دارای منابع فسیلی گسترده ای است و بیشتر نیروگاه های آن با نفت و گاز کار می کنند. در سال های اخیر آلودگی های زیست محیطی در شهرهای بزرگی مانند تهران، تبریز و اصفهان رخ داده است. همچنین با گسترش صنعت و کشاورزی در ایران، نیاز به برق در حال گسترش است. اکنون در تابستان در شهرهای بزرگ ایران کمبود برق وجود دارد. از این رو دولت ایران در سال های اخیر به دنبال ایجاد نیروگاه های خورشیدی برای تامین برق روستاها و شهرهای خود بوده است. در حال حاضر، مزایای استفاده از انرژی پاک در برابر آلودگی و هزینه های بالای مصرف و زیست محیطی سوخت های فسیلی، ایرانیان را به سمت استفاده از انرژی و سوخت پاک سوق داده است.**

**به دلیل افزایش تقاضای برق و نیاز به تولید کارآمد پنل های خورشیدی موجود، بازده پنل های خورشیدی بیش از هر زمان دیگری اهمیت دارد. با این حال، پنل های خورشیدی فعلی بسیار ناکارآمد هستند. حداکثر بازده معمول تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی قابل استفاده 11% تا 15% است. تجمع کثیفی و گرد و غبار روی پنل ها یک پدیده کاملاً تأثیرگذار است که می تواند باعث از هدررفت 30 تا 50 درصد از این انرژی در طول یک سال شود.**

با مطالعه موردی که روی نشریات بین المللی و داخلی همچون نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی و نشریه های خارجی انجام شد نتیجه گیری اجمالی ازغبار سنجی در سطح 9 شهر[[1]](#footnote-1) یا استان مختلف کشور به صورت زیر است.

ایران به دلیل برخورداری از شرایط آب و هوایی نیمه خشک کشوری مستعد برای پدیده گرد و غبار است. همجواری ایران با کشورهای همسایه نظیر عراق، پاکستان و ترکمنستان که خود درگیر این پدیده هواشناختی هستند یکی از مهم ترین عوامل تاثیر گذار بر روند افزایش گرد و غبار در کشور است. در مناطقی از کشور که طبیعت خشک تری دارند و از دریاها، دریاچه ها، تالاب های دارای آب فاصله زیادی دارند فرونشست گرد وغبار بیشتری اتفاق می افتد. فرونشست ماهیانه گرد و غبار در سطح 8 استان بین 5 تا 329.74 گرم بر متر مربع متغیر است. بیشترین فرونشست مربوط به استان سیستان است که اختلاف معنی دار آن با بقیه مناطق کشور خود مهر تاییدی بر آلوده ترین شهر جهان بودن این منطقه است.[[2]](#footnote-2)

با بررسی مقالات فوق به اهمیت بیش از پیش هدف اصلی این اختراع پی خواهیم برد. اما در کنار هدف اصلی این پروژه، هدف مهم دیگری وجود دارد و آن هم تولید اختراع کاربردی و تجاری سازی آن است. بیشتر طرح ها و اختراعات داخلی و خارجی موجود به دلایل پیچیدگی، هزینه بالا و وزن بالای دستگاه نهایی قابلیت تولید انبوه و تجاری سازی شدن ندارند. بنابراین دیگر هدف اصلی این اختراع ساخت رباتی است که در عین کارایی بتواند از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر، از لحاظ ساختی و تولیدی امکان پذیر و از بعد تجاری سازی فراگیر باشد.

# شرح وضعيت دانش پيشين و سابقه پيشرفت هايي كه در ارتباط با اختراع ادعايي وجود دارد

اندازه بازار جهانی تمیز کردن پنل های خورشیدی در سال 2019 از 560 میلیون دلار فراتر رفت و تخمین زده می شود که تا سال 2026 به بیش از 11 درصد نرخ رشد ترکیبی سالیانه (CAGR) برسد. افزایش روند نصب PV خورشیدی همراه با کاهش هزینه کلی واحد، پتانسیل صنعت را بیشتر خواهد کرد. علاوه بر این، تمرکز رو به رشد به سمت بهینه‌سازی راندمان پانل و به دنبال آن افزایش ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر ترکیب انرژی جهانی به طور مثبت چشم‌انداز صنعت را تحریک خواهد کرد.

درحال حاضر تکنولوژی های موجود در این زمینه را می توان از چهار منظر زیر تجزیه و تحلیل کرد:

1. فناوری 2-شیوه های تمیزکاری 3-حالت عملیات 4-مقیاس کاربری

حال هر کدام از بخش های فوق شرح داده خواهد شد.

1. فناوری

در بخش فناوری، تمیزکننده های پنل های خورشیدی را می توان به تمیزکننده های خشک و تر تقسیم بندی کرد. منظور از تمیزکننده های تر، استفاده از آب یا سایر مایعات در فرآیند تمیزکاری است. و در طرف مقابل تمیزکاری خشک به معنی حالتی از این فرایند است که بدون استفاده از مایعات انجام می شود.

با توجه به بحران بی آبی در کشور و نیاز به صرفه جویی هرچه بیشتر در منابع آبی، فناوری تمیزکاری تر غیر قابل منطقی خواهد بود.

1. شیوه های تمیزکاری

برای تمیزکاری پنل های خورشیدی راه های مختلفی می توان متصور شد. از کاربردی ترین این روش‌ها می‌توان به سیستم های خودکار، سیستم های نیمه خودکار، سیستم های الکتروستاتیک، آب پاش ها اشاره کرد. سیستم های خودکار مانند ربات های تمیزکننده پنل خورشیدی که طبق هوش مصنوعی یا برنامه از پیش تعیین شده برای آن ها به تمیزکاری خواهند پرداخت. سیستم های نیمه خودکار به سیستم هایی گفته می شود که برای فعالیت نیاز به اپراتور دارند. سیستم های الکتروستاتیک سیستم هایی هستند که با درست کردن سازه ایی روی پنل ها و بواسطه ارتعاش حاصل از جریان الکتریسیته گرد و غبار روی پنل ها را به پایین می لغزاند. آبپاش ها مانند شرکت Heliotex با نصب آبپاش ها و منابع اب گرد و غبار روی پنل ها را با آب می شویند.

در میان روش های فوق روش استفاده از آبپاش ها در ایران( با توجه به بحران بی آبی) توجیه ناپذیر است. روش های الکتروستاتیک نیز نیازمند زیر ساختی هستند که هزینه زیادی نیاز خواهد داشت. دو روش خودکار و نیمه خودکار قابل استفاده در پنل های خورشیدی موجود در ایران هستند.

1. حالت عملیات

حالت عملیات به دو دسته تقسیم بندی می شود: روش های دستی و روش های خودکار. روش های دستی به معنای تمیزکاری پنل ها توسط کارگران متخصص است. این روش زمان بر، هزینه بردار و از لحاظ ایمنی برای کارگران مخاطره آمیز است. علاوه بر این ها اگر روش های تمیزکاری دستی توسط متخصصان این حوزه انجام نگیرد، موجب بروز خرابی در سیستم پنل ها می شود.

هدف از این اختراع و اختراع های مشابه حذف نیروی کار انسانی و خودکار کردن عملیات تمیزکاری پنل های خورشیدی است.

1. مقیاس کاربری

مقیاس کاربری بدین معناست که پنل های خورشیدی در چه ابعاد و تعدادی قرار دارند. سه دسته کلی برای مقیاس کاربری شامل مقیاس مسکونی، تجاری و صنعتی(مزارع خورشیدی) می شود. پنل های مسکونی عموما به پنل هایی گفته می شود که عموما 60 سلول خورشیدی دارند و معمولا برای مصارف خانگی روی سقف خانه ها به تعداد کمی از آن ها نصب می شود که به صورت میانگین این سیستم ها دارای ظرفیت تولید 1 تا 4 کیلوات ساعت هستند. پنل های تجاری دارای 72 تا 98 سلول خورشیدی هستند و به صورت میانگین قادر به تولید ظرفیتی معادل 200 تا 350 کیلوات ساعت هستند. مزارع خورشیدی غالبا پنل هایی مشابه با پنل های تجاری دارند ولی در تعداد و ظرفیت تولید متفاوت اند. ظرفیت مزارع خورشیدی از 1 تا 100 مگاوات ساعت متغیر است و تعداد پنل های خورشیدی به کار رفته در آن بین 5000 تا 500.000 خواهد بود.

تکنولوژی های موجود در سطح جهان

در سطح جهان 21 شرکت ربات تمیز کننده خورشیدی وجود دارد که در اینجا لیستی از 5 مورد از سرآمدترین آنها را ارائه خواهیم کرد.

ربات های دو محوره (حرکت در یک راستای جلو وعقب و یک حرکت چرخشی برس)

1. Ecoppia

اکوپیا روبات‌هایی را توسعه می‌دهد که به طور خودکار پنل‌های خورشیدی را تمیز می‌کنند. این ربات با نام E4 از سیستم تمیز کننده بدون آب برای تمیز کردن پنل ها استفاده می کند. این ربات از میکروفیبر نرم و ترکیبی از جریان هوای کنترل شده برای حذف 99 درصد گرد و غبار استفاده می کند. توانایی تمیز کردن حدود 5 میلیون پنل در ماه را دارد. این ربات کاملا مستقل و مستقل از انرژی است زیرا پنل خورشیدی خود را برای شارژ دارد.

2. Alion Energy

Alion Energy یک ارائه‌دهنده راه‌حل‌های مهندسی، تدارکات و ساخت و عملیات،تعمیر، نگهداری است که فناوری نصب روباتیک را با شیوه‌های ساخت‌وساز اثبات شده برای ساخت پروژه‌های محلی و در مقیاس کاربردی ترکیب می‌کند. آنها ادعا می‌کنند که پروژه‌ها را سریع‌تر و تا 25٪ زمان کمتری می‌سازند، در حالی که انرژی بیشتری نسبت به پروژه‌های شیب ثابت استاندارد تولید می‌کنند. Alion Energy روباتی را توسعه داده است که نصب پنل‌های خورشیدی را در مقیاس کاربردی برای کارایی بالا فراهم می‌کند. ربات آنها به نام "روور" یک وسیله نقلیه نصب رباتیک برای کاهش زمان و کار نصب فشرده است. این ربات همچنین برای به حداکثر رساندن انرژی خروجی کمک می کند و می توان آن را طوری برنامه ریزی کرد که پانل ها را در فواصل زمانی خاص تمیز کند.

ربات های سه محوره (حرکت سازه در راستای طول آرایه پنل ها، حرکت برس در راستای عرضی آرایه پنل ها، حرکت چرخشی برس)

3. Nocca Robotics

توسعه دهنده ربات هایی برای تمیز کردن پنل خورشیدی است. این شرکت ربات S100 را توسعه داده است که راه حل تمیز کردن بدون آب ارائه می دهد. می تواند تا 40 میلی متر اختلاف ارتفاع بالا برود و توسط سیستم های SCADA کنترل و نظارت شود. خدمات محافظت در برابر سرقت، محافظت در برابر سقوط و گیر کردن ربات را ارائه می دهد.

ربات های متحرک (این ربات ها قابلیت جرکت دو بعدی به هر جهت موردنیاز روی سطح را دارند)

4. Miraikikai

Miraikikai یک ربات تمیزکننده پنل خورشیدی برای مقیاس تجاری ساخته است. این محصول پس از تحقیقات میدانی ساخته شده است و از آب برای نظافت استفاده نمی کند و راه حلی ایده آل برای نظافت در مناطق خشک است. این شرکت ادعا می کند که ربات می تواند تا 80 درصد در هزینه های تمیز کردن یک مزرعه خورشیدی صرفه جویی کند. به غیر از ربات، این شرکت همچنین یک حسگر سه بعدی مبتنی بر لیزر را توسعه داده است که برای فرآیند تولید و بازرسی کارخانه تخصصی است. این شرکت برگرفته از دانشگاه کاگاوا در ژاپن است.

ربات های ریلی (حرکت در راستای طولی آرایه های پنل خورشیدی )

این ربات ها برای حرکت در راستای ردیف پنل ها رو به جلو نیازمند زیرساخت قاب و ریل در اطراف آرایه های پنل خورشیدی هستند.

5. Inti-Tech

INTI ارائه دهنده یک دستگاه مستقل برای تمیز کردن پانل های خورشیدی است. این دستگاه تمیز کردن روزانه پنل های خورشیدی را به صورت خودکار و مستقل انجام می دهد و دارای ویژگی هایی مانند ارتباط بی سیم بلوتوث، ایستگاه شارژ و غیره است.

# ارائه راه حل براي مشكل فني موجود همراه با شرح دقيق و کافی و یکپارچه اختراع

به صورت کلی شروع تا پایان این اختراع شامل 6 فاز است که به اختصار هر کدام از موارد شرح و توضیح داده خواهند شد.

1. فاز مطالعاتی و تحقیقاتی

این فاز خود به چند بخش تقسیم بندی می شود. در ابتدا مطالعات روی نمونه های موجود در سراسر جهان آغاز شد. بخش بعدی با مطالعات روی پتانسیل خورشیدی کشور و میزان سرانه تقاضای برق کشور ادامه یافت. در ادامه برای بیان ضرورت اجرایی این پروژه در کشور به بررسی نرخ فرونشست گرد و غبار از طریق مطالعات مجلات کشاورزی و آب و خاک کشور پرداخته شد. این پروژه برای بخش تجاری سازی نیازمند تحقیقات گسترده روی بازار جهانی و داخلی و برآورد چشم اندازی در سال های پیش رو بود، که مطالعات گسترده ما روی این تحقیقات بازار در هریک از عناوین زیر انجام گرفت:

* برآورد نیاز بازار
* برآورد ظرفیت بازار جهانی
* بخش بندی بازار و دسته بندی مشتریان
* بررسی رقبای موجود

1. فاز طراحی کلی ربات

با مطالع جامع روی طرح های موجود در سطح جهان و با در نظرگرفتن شرایط بومی ساطی این طرح ابتدای این فاز با طراحی شماتیک سیستم مورنظر انجام شد. که خود شامل تعریف محور های حرکتی ربات، طراحی ساختار ابتدایی ربات در نرم افزار CATIA و تجزیه و تحلیل سیستم مورد انتظار اغاز شد. در شکل شماره 1 می توانید طراحی ابتدایی ربات را ملاحظه بفرمایید. در ادامه بخش نیز به طراحی سطوح کنترلی سیستم و زیرسیستم های موردنیاز ربات پرداخته شد. (طبق طراحی ابتدایی سطوح کنترلی این زیرسیستم ها عبارتند از زیرسیستم تمیزکاری، انتقال و کنترل دستگاه)

1. فاز طراحی اجزا و زیر سیستم های ربات

در این بخش طراحی هریک از زیرسیستم ها به صورت مجزا انجام شد. در بخش زیر سیستم های تمیزکاری، معیارهای اصلی این زیرسیستم به دقت مورد بررسی قرارگرفت. این معیارها عبارتند از : اثربخشي تمیز کردن، هزينه ساخت، وزن برس، قابل اطمینان بودن مواد در طول عمر دستگاه بود. سپس روش های تمیزکاری به دو قسمت پاکسازی خشک و تر تقسیم بندی شد. مزایا و معایب هر یک از این دو بخش بررسی شد و درنهایت پاکسازی خشک برای این پروژه در نظر گرفته شد. در بین روش های پاکسازی خشک چندين ايده مورد بررسي قرار گرفت و پیاده سازی و ساخت آن ها با توجه به معیارهای اصلی زیرسیستم تمیزکاری مقایسه شد. از جمله این ایده ها می توان به روش های استفاده از هوای فشرده به منظور تمیزکاری، تمیزکننده ثابت (خود تمیزکننده مانند برف پاک کن ثابت باشد و فقط روی سطح جابجا شود) و تمیزکننده متحرک اشاره کرد. تمیزکننده های متحرک برای این پروژه انتخاب شدند و درنهایت تصمیم برآن شد که از برس استوانه ایی چرخان برای تمیزکاری خشک در این پروژه استفاده شود.

در بخش زیرسیستم های انتقال چند طرح اولیه مانند تسمه پولی، زنجیر موتور، چرخدنده و گیربکس در نظر گرفته شد که بدلیل هزینه و پیچیدگی بیشتر رد شد. طرح انتخابی تماس مستقیم موتور بواسطه کوپلینگ با محور چرخ های ربات است. به صورتی که دو چرخ هرزگرد خواهند بود و دو پرخ بواسطه موتور ربات را جابجا خواهند کرد. لازم به ذکر است که برای برس تمیزکاری موتور جداگنه ایی درنظر گرفته شد.

در بخش بعدی ابتدا هدف زیرسیستم کنترل تعیین شد. دو هدف اصلی زیرسیستم کنترل حرکت تمام قطعات مکانیکی به شیوه ایی کارآمد و اطمینان از عدم سقوط ربات از لبه پنل های خورشیدی است. این سیستم مسئولیت تغذیه و کنترل دو زیرسیستم انتقال و تمیزکاری را برعهده دارد. انتخاب کنترلر مناسب برای این زیرسستم یکی از چالش های اصلی آن بود. کنترلری از لحاظ هزینه مقرون به صرفه باشد و کارایی لازم برای کنترل اجزای مورد نظر را داشته باشد. سه کنترلر مورد بررسی قرار گرفتند. دو کنترل آردوینو Uno و Mega در ابتدا مورد بررسی قرار گرفتند. کنترلر آردوینو Mega پردازنده قوی تر، حافظه بیشتری نسبت به آردوینو Uno است، ولی فضای بیشتری از ربات اشغال می کند و دوبرابر هزینه بیشتری دارد. گزینه سوم Raspberry Pi است که یک کنترلر کاربردی است که هم رم، پردازنده قوی تر و تطبیق پذیری بیشتری در شبکه نسبت به دو مورد قبل دارد ولی از لحاظ هزینه و پیچیدگی بیشتر برنامه نویسی آن مناسب این کار نخواهد بود. در نهایت طبق بررسی انجام شده از میکروکنترلر آردوینو Uno استفاده شد. برای بخش محافظت از سقوط نیز پس از بررسی سنسورهای مختلف از لحاظ کارایی و دقت سنسور اولتراسونیک SR04 انتخاب شد.

1. فاز ساخت ربات

طراحی اولیه بدنه ربات با در نظر گرفتن ایده های محتلف شروع شد. هزینه و وزن و استحکام از جمله معیارهای مهم برای انتخاب ایده اصلی بودند. در نهایت بدنه ربات مطابق شکل 1 در نظر گرفته شد. در ساخت این ایده متناسب با هزینه و وزن ابتدا به سراغ جنس پلکسی گلاس رفتیم که هر 5 تکه ربات مطابق اشکال 2 تا 4 به صورت پازلی در یکدیگر قرار می گرفتند.تلرانس سوراخ های که پلکسی ها در یکدیگر میرفتن، به صورت ترانس عبوری سفت در نظر گرفته شد تا اجزا بتوانند کنار یکدیگر باقی بمانند. همچنین مثلث های صلبی برای جلوگیری از کمانش سقف ربات در نظر گرفته شد. بنابراین متناسب با نقشه های طراحی شده یک صفحه پلکسی گلاس تهیه و با استفاده از برش لیزر قطعات استخراج شدند. شکل 5 نشان دهنده نمونه اولیه ربات با استفاده از پلکسی گلاس در بدته آن است. در ادامه با سوار شدن برس و میله اهنی داخل آن، جنس پلکسی گلاس استحکام خوبی از خود نشان نداد و این بدان معنی بود که عمر کاری طولانی برای این منظور نمی تواند داشته باشد. در این مرحله دیواره های کناری و صلب کننده های مثلثی پلکسی با صفحات لیزر شده آلومینیومی جایگزین شدند. که هم استحکام خوبی نسبت به بدنه تمام پلکسی داشتند و هم از بدنه تمام فلزی وزن کمتری داشتند و هم هزینه قابل قبول ارائه می کردند.

در بخش بعدی و در زیرسیستم تمیزکاری طراحی برس ربات مطابق برس های جاروبرقی رباتیک شیاومی انجام شد. برس های این ربات طول موثر کم و هزینه زیادی داشتند که این بدان معنی بود برای ای نربات نیاز به سری کردن حداقل 3 عدد از این برس ها بواسطه یک محور بود. از طرف دیگر چون کالای وارداتی مسوب می شدند می توانستند در ادامه فرایند توزیع و فروش در بازار داخلی اثر منفی مستقیمی در بالا رفتن قیمت ربات در نوسانات بازار بگذارند. به همین دلیل برسی با الهام از این طرح طراحی و توسط یکی از تولید کنندگان برس داخلی ساخته شد. قیمت این برس به مراتب خیلی کمتر از نمونه های موجود در بازار تمام شد. شکل 6 و 7 نشان دهنده مراحل ساخت این برس است. پس از سوار کردن برس روی بدنه ربات نوبت به انتخاب چرخ ها و موتور شد. در اینجا تصمیم گرفته شد از دو موتور مجزا برای برس و چرخهای ربات استفاده شود. تا قدرت هر یک به قوت خود باقی بماند. در نهایت سقف پلکسی گلا ربات برای جلوگیری از بروز لیفت ربات در شرایط بادی سوراخ زنی شد. از کمک فنر هایی برای عبور راحت تر ربات از موانع استفاده شد. و از چرخهای هرزگردی در کنار ربات برای جلوگیری از سقوط و لغزش ربات استفاده شد. این چرخ ها در محوری عمود بر راستای حرکت ربات بر لبه پنل ها حرکت می کنند و لغزش و سقوط ربات جلوگیری می کنند. در ادامه روند ساخت زیرسیستم کنترلی روی ربات سوار شد. دو سنسور اولتراسونیک در دو سمت ربات وظیفه خوانش ارتافه از سطح را دارند و به محض تغییر ارتفاع چشمگیر جهت ربات را معکوس می کنند. درایور L298N وظیفه انتخاب جهت چرخش ربات و تنظیم سرعت چرخ ها و برس را بر عهده دارد. تصویر نهایی دستگاه ساخته شده در شکل 8 نمایان است

1. فاز طراحی کسب و کار؛ بازاریابی نهایی، استراتژی کسب و کار و تحلیل مالی

در بخش طراحی کسب و کار ابتدا توضیح مختصری راجع به محصول ارائه شد. سپس به بررسی بازارهای هدف این محصول پرداخته شد. تمرکز این اختراع روی بازار پنل های مسکونی و تجاری است ولی با تغییرات جزیی در ساختار آن برای بازار صنعتی و مزارع خورشیدی نیز قابل ارائه خواهد بود. در ادامه اهداف کوتاه مدت و بلند مدت در ورود به بازار تعیین شد. هدف ابتدایی آن ورود به بازار پنل های مسکونی و تجاری در کلان شهرهایی همچون تهران، اصفهان، مشهد و شیراز خواهد بود.

در ادامه فناوری این پروژه تشریح داده شد. بازارهای بالقوه جهانی برای این اختراع مورد بررسی قرار گرفتند و رقیبان داخلی و خارجی مورد ارزیابی واقع شدند و مزیت های انحصاری این اختراع نسبت به ربات های مشابه سنجیده شد.

استراتژی فروش با تمرکز به دو بخش اصلی تبلیغات و پخش و فروش تعیین شد. طبق این استراتژی مبدا تبلیغات اختراع کنونی از مبدا ساخت آن در دانشگاه های تهران و علم و صنعت خواهد بود و تعامل با استادان و کارشناسان دانشگاه فرصت عالی ورود به بازار را برای این پروژه فرام خواهد کرد.

در ادامه این فاز بروی تولید انبوه این اختراع و هزینه و قیمت تولید و فیمت عرضه به بازار بحث و بررسی انجام شد. هزینه های ساخت این پروژه در زیر شرح داده شدند که مبنای ابتدایی برای تعیین قیمت های تولید و فروش در اختیار قرار دادند.

هزینه های این ربات به 5 دسته تقسیم می شود که شامل هزینه های زیرسیستم تمیزکاری، زیرسیستم انتقال و جابجایی، زیرسیستم کنترل و تجهیزات الکترونیکی، خدمات و هزینه تحقیق و توسعه است.

* هزینه های زیرسیستم تمیزکاری تشکیل شده از برس دوار، شفت گردان برس، تمیزکننده های برس، شفت، تثبیت کننده های شفت و تمیزکننده برس حدودا مبلغ 1 میلیون تومان شد.
* هزینه های زیرسیستم انتقال شامل چرخ ها، شفت چرخ ها، دیواره های آلومینیومی،سقف پلکسی، موتورها، فنرهای تعلیق، چرخ های هرزگرد، اتصالات و تثبیت کننده های سازه محرک، کوپلینگ موتورها 3 میلیون تومان مجموع برآورد شد.
* هزینه سیستم های کنترلی و اکترونیکی شامل بورد اردوینو Uno، سنسور های اولتراسونیک، باتری لیتیم یون، درایور موتور L298N، سیم های جامپر و بردبورد 1 میلیون تومان بود.
* هزینه خدمات شامل برش لیزر آلومینیوم، برش لیزر پلکسی، تراشکاری شفت برس مجموع مبلغ 1 میلیون تومان است.
* هزینه تحقیق و توسعه مبلغ 4 میلیون تومان برآورد شد.

مجموع هزینه های این دستگاه 10 میلیون تومان برآورد شد. این یکی از نقاط برتری این دستگاه به سایر اختراعات داخلی و نمونه های خارجی است.

در ادامه این فاز خدمات و ضمانت متناسب به دستگاه تعریف شد. طبق این بخش دستگاه برای عمرکاری 5 الی 10 سال طراحی شده است. تنها بخشی که نیازمند تعویض و تعمیرات دوره ایی خواهد بود بخش برس و از دست رفتن موهای آن است که در طول زمان اتفاق می افتد.سایر بخش های ربات بدون پیش آمد مشکلی خاص می توانند تا حداقل 10 سال به فعالیت ادامه دهند.

در انتهای این فاز نیز با درنظر گرفتن سه سطح قیمتی مختلف برای ورود به بازار و سه سطح کیفی (کارایی دستگاه در تمیزکاری پنل ها) تحلیل مالی و بازگشت سرمایه در هریک از مقیاس های مسکونی و تجاری انجام شد. نمودارهای این بخش در اشکال 9 و 10 قابل مشاهده هستند.

1. فاز بررسی استانداردهای مهندسی، محدودیت ها و مزایای پروژه

در این بخش ابتدا محدودیت های اقتصادی پروژه در نظر گرفته شدند. طبق این بخش هزینه های ساخت و عملیاتی سیستم نمی تواند از مفدار صرفه جویی مالی ناشی از بهبود بازده پنل های خورشیدی فراتر رود. هزینه واحد سیستم باید به اندازه کافی کم باشد تا مشتریان بالقوه را جذب کند. این اختراع تا حد ممکن باید بتواند از هزینه های نگهداری و تعمیرات احتمالی دوره ایی خود کاهش دهد تا بتواند در طول عمرکاری خود برای مشتریان مفرون به صرفه باقی بماند. در ادامه این فاز ملاحظات زیست محیطی نظیر کاهش تولید کربن دی اکسید و صرفه جویی در مصرف آب برای تمیزکاری شرح و بسط داده شد. قابلیت ساخت و تولید انبوه دیگر ملاحظه حیاتی این پروژه برای ورود به بازار است. هرچه دستگاه پیچیدگی بیشتری داشته باشد و از قطعات بیشتری در زیرسیستم های خود استفاده کند هزینه و زمان تولید آن افزایش می یابد و درنتیجه قابلیت تولید آن کاهش می یابد. نگرانی های ایمنی بخش نهایی این فاز است که به بررسی دو منظر می پردازد. اول ایمنی کارگرانی که در صورت کار دستی، وظیفه تمیزکردن این پنل ها را در ارتفاع و شرایط مخاطره آمیز بر عهده دارند و این ربات می تواند جایگزین بروز هرگونه حوادث انسانی شود و دوم بررسی ایمنی ربات که با استفاده از سنسورهای موجود تامین می شوند.

# توضيح اشكال، نقشه و نمودارها

**شکل 1- الف:** نمای کلی ربات Nemov01 که شامل چرخ ها، موتور ها، برس، پنل خورشیدی و دمنده می شود.

**شکل 1- ب:** نمای از راست ربات؛ موتور مربوط به برس و سنسور های اولتراسونیک نشان داده شده است.

**شکل 1- ج:** نمای پشت ربات؛ چرخ های ربات، شفت رابط آن ها، برس سوار شده روی ربات و دمنده ایی که وظیفه دمیدن گرد و غبار جمع آوری شده توسط برس در انتهای هر ردیف را برعهده دارد

**شکل 1- د:** نمای از چپ ربات؛ موتور مربوط به چرخ ها و پیش برنده ربات و اتصالات چرخ های هرزگرد مشاهده می شود

**شکل 1- ه:** نمای از بالای ربات؛ پنل خورشیدی تعبیه شده در بخش فوقانی ربات وظیفه تامین و شارژ باتری ربات را برعهده دارد.

**شکل 2- الف:** برس طراحی و ابداع شده در این اختراع علاوه بر کاهش وزن و هزینه نهایی ربات به بهبود عملکرد آن کمک می کند.

**شکل 2- ب:** نمای از بالای برس طراحی شده

**شکل 3:** غبارگیر برس؛ وسیله ایی که با گرفتن غبار جمع شده در بین موهای برس به افزایش طول عمر و بازدهی عملکرد برس کمک می کند.

**شکل 4:** استراتژی حرکت ربات‌ Nemov01 بر روی صفحه خورشیدی: روبیدن خاک با حرکت فرچه و حرکت رفت و برگشتی ربات.

**شکل 5:** پس از جمع آوری غبارهای روی پنل توسط برس، با روشن شدن دمنده غبارها درون کیسه تعبیه شده در انتهای هر ردیف پنل وارد می شود. ربات با استفاده از سنسورهای اولتراسونیک در طرفین خود از سقوط جلوگیری می کند.

**شکل 6:** **شماتیک تمام اتصالات ربات در این شکل مشاهده می شود.**

**شکل 7:** **شماتیک ماژول پلH، L298N نشان داده شده است که امکان کنترل سرعت و جهت دو موتور DC را می دهد.**

**شکل 8:** **نحوه اتصالات پنل خورشیدی، کنترلر شارژ، باتری در این شکل نمایش داده شده است.**

# بيان واضح و دقيق مزاياي اختراع ادعايي نسبت به اختراعات پیشین

در ابتدا به برخی از انواع روش های تمیزکاری پنل های خورشیدی و مقایسه آن‌ها با اختراع کنونی می‌پردازیم.

روش های تمیزکاری از لحاظ فناوری تمیزکاری به دو نوع تمیزکاری خشک و تر تقسیم بندی می شود. در تمیزکاری تر، فرآیند پاکسازی همراه آب یا مایعات شستشو‌دهنده انجام می شود که با توجه به اقلیم خشک و بحران آب کشور استفاده از فناوری تمیزکاری تر در ایران توجیه پذیر نخواهد بود. بنابراین روش های تمیزکاری خشک مورد استفاده قرار می گیرند.

روش های تمیزکاری خود به براساس حالت عملیات به سه بخش دستی، نیمه خودکار و خودکار تقسیم بندی می شوند. رایج ترین روش تمیزکاری پنل های خورشیدی دستی است. این روش کارامد بوده اما زمانبر، هزینه بردار و مخاطره آمیز خواهد بود. تکرار چندین باره دشوار خواهد بود. روش تمیز کاری نیمه خودکار مانند حالتی که در آن یک برس با کنترل یک تراکتور یا یک وسیله نقلیه سازگار متصل می شود. نسبتا ایمن، هزینه بردار و زمان بر. تکرار چندین باره در سال دشوار خواهد بود.

و روش های خودکار، روش هایی که بدون دخالت انسان طبق برنامه قبلی یا با استفاده از هوش مصنوعی انجام می شود. ربات های تمیزکننده جزو این دسته می باشند. این روش هزینه اولیه زیاد، نسبتا سریع، کم خطر و قابل تکرار به میزان دلخواه است.

**جدول 1. بررسی راه حل های موجود برای تمیزکاری پنل های خورشیدی**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| مثال | معایب | مزایا |  |
| هنوز صنعتی نشده است. | هنوز طرح به صورت عملی اجرایی نشده است، هزینه زیاد | بدون نیاز به ربات یا دستگاه جانبی برای تمیزکاری | الکتروستاتیک |
| هنوز صنعتی نشده است. | هنوز طرح به صورت عملی اجرایی نشده است، هزینه زیاد | بدون نیاز به ربات یا دستگاه جانبی برای تمیزکاری | Super hydrophobic plane |
| شرکت Eccopia | نیاز به اضافه کردن زیرساخت ریلی، هزینه زیاد، سنگن بودن، پیچیدگی | مقاوم نسبت به شرایط آب و هوایی | ربات های ریلی متحرک روی سطح |
| شرکت Heliotex | استفاده از آب برای تمیزکاری در مکان های خشک مثل ایران توجیه ناپذیر است. | کارآمدی بسیار بالا در تمیزکاری | سیستم های فواره ایی |
| شرکت Aerial power | هزینه زیاد، پیچیدگی کنترلی، ناپایداری در شرایط نامساعد جوی،  زمان تمیزکاری بالا | هزینه کم در تعداد زیاد | ربات های تمیزکننده پروازی |
| NEMOv01ربات | خطر سقوط از پنل | هزینه کم  وزن کم  کارآمد بودن تمیزکاری | ربات های متحرک روی سطح بدون نیاز به ریل |

ربات NEMOv01 جزو ربات های خودکار و ربات های متحرک روی سطح بدون نیاز به ریل قرار می گیرد و برای تمیزکاری خود از فناوری تمیزکاری خشک استفاده می کند.

در میان ربات های بدون نیاز به ریل نام یک اختراع ایرانی دیگر دیده می شود. ربات MFv01 نیز یک ربات تمیزکننده خودکار سطح پانلهای خورشیدی با استفاده از مکانیزم ترکیبی برس و مکش است. اختراع کنونی (NEMOv01) را با ربات (MFv01) مورد مقایسه قرار می دهیم. در جدول زیر بر مبنای شاخص های متفاوتی این مقایسه صورت گرفته است.

**جدول 2. مقایسه اختراع کنونی با اختراع پیشین (MFv01)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **شاخص** | **NEMOv01** | **MFv01** |
| **گشتاور تمیزکاری** | 0.8 N.m | 0.15 N.m |
| **سرعت حرکت ربات روی سطح بدون شیب** | 15.5 Cm/s | 30 Cm/s |
| **دور موتور برس** | 70 Rpm | 3000 Rpm |
| **وزن کل** | 13 Kg | 26 Kg |
| **جریان مصرفی** | 0.518 Ah | 21 Ah |
| **باتری** | 1 عدد باتری  SUNNYBATT  3.7 V 2000 mAh Li-on | 30 باتری  SANYO KR-7000F 1.2V،7000mAh |
| **مسافت قابل پیمایش با هر بارشارژ** | 223.2 m | 111 m |
| **مدت زمان نگه داری شارژ** | 4 hr | 1 hr |
| **پیچیدگی مسیر حرکت** | ساده (رفت و برگشتی) | پیچیده (دارای الگوریتم) |
| **پیچیدگی ساخت ربات** | ساده | پیچیده |
| **برس** | 1 عدد – طراحی منحصر به فرد | 4 عدد برس دیسکی |
| **دمنده / مکنده** | دمنده | مکنده |
| **شارژ باتری ها** | توسط پنل خورشیدی روی ربات | - |
| **تعداد توقفگاه موردنیاز** | 1 عدد | 4 عدد |
| **جنس بدنه و استحکام** | صفحه آلومینیومی 4 میل و پلکسی گلاس به عنوان پوشش فوقانی ربات | فویل آلومینومی  (بدون استجکام در برابر باد یا ضربه) |

حال به شرح مقایسه فوق می پردازیم. ربات NEMOv01 از گشتاور تمیزکاری بیشتری نسبت به ربات MFv01 برخوردار است. مولفه مهم در تمیزکاری موثر ربات عبارت است از گشتاور تمیزکاری بالا در عین سرعت حرکت کم (بهینه) است. در صورتی که ربات روی سطح با سرعت زیاد جابجا شود نمی تواند فرایند تمیزکاری خود را کامل انجام دهد. از طرف دیگر گشتاور پایین برس نمی تواند لکه های مانده روی پنل ها را به خوبی تمیزکند. به همین منظور در این دو مولفه NEMOv01 کارایی تمیزکاری بیشتری از همتای خود دارد. دور موتور برس بالای ربات MFv01 می‌ تواند باعث پراکندگی ذرات گرد و غبار در هوا شود. آن‌ چیزی که در تمیزکاری از اهمیت بیشتری برخوردار است گشتاور بیشتر است و نه دور موتور بیشتر. وزن ربات NEMOv01 تقریبا معادل نصف ربات رقیب خود است. از محاسن وزن کم ربات عدم نیاز به استفاده از موتورهای گران و سنگین و کاهش هزینه های ساخت ربات خواهد بود. طبق محاسبات انجام شده در بخش موتور تفاوت قابل توجهی بین میزان جریان مصرفی دو ربات وجود دارد که این بدان معناست که در ربات NEMOv01 نیاز به باتری کمتری برای تامین جریان موردنیاز ربات است. توجه به این نکته نیز قابل تامل است که ربات NEMOv01 به واسطه پنل خورشیدی مجزایی که روی خود دارد برق موردنیاز برای باتری قابل شارژ خود را تامین می کند. بدین ترتیب مدت زمانی که ربات NEMOv01 با هر بار شارژ فعالیت می کند 4 برابر مقداریست که ربات MFv01 می تواند فعالیت کند و مسافت قابل پیمایش اختراع کنونی چهار برابر رقیب خود خواهد بود. پیچیدگی مسیر حرکت ربات MFv01 در عین بهینه سازی فرایند تمیزکاری می تواند نقطه ضعفی تلقی شود. آن جا که مانعی بر سر راه ربات قرار بگیرد، ربات از مسیر خود خارج خواهد شد و نمی تواند مسیر بهینه را مجدد از سر بگیرد (برای این فرایند نیازمند هوش مصنوعی خواهد بود). این در صورتی است که سادگی فرایند حرکت رفت و برگشتی NEMOv01 باعث آن می‌شود که با برخورد به موانع نیز تغییری در مسیر آن ایجاد نشود.

از طرف دیگر با بیشتر شدن تعداد اجزای به کاررفته در هر دستگاه و پیچیدگی بیشتر ربات، ضریب تولیدپذیری ربات کاهش می یابد و از گام تجاری سازی دور می ماند. اختراع کنونی با سادگی قابل توجهی ساخته شده و امکان تولیدپذیری و تجاری سازی شدن را به میزان خوبی افزایش داده است.

برس استفاده شده در NEMOv01 برسی منحصر به فرد است ک علاوه بر وزن کم، میزان کافی فیلامنت برای تمیزکاری موثر داشته باشد. استفاده از یک برس نیاز به استفاده از موتورهای بیشتر را از بین می برد و وزن و هزینه نهایی ربات را به میزان خوبی کاهش می دهد.

تعداد توقفگاه بیشتر موردنیاز برای MFv01 به معنی هزینه زیرساخت بیشتر برای ربات خواهد بود. تصور شود در ابعاد نیروگاهی با هزاران ردیف آرایه پنل خورشیدی، نیاز است 4 توقف گاه برای هر ردیف آرایه مجزا قرار داده شود. که نیازمند فضا، زمان و هزینه بسیار بیشتر نسبت به نصب ربات NEMOv01 خواهد بود.

و درنهایت استحکام ربات مساله ایی حائز اهمیت است که در طول عمر دستگاه و عملکرد آن تاثیر مستقیم دارد. استفاده از صفحه های الومینیومی محکم در NEMOv01 به جای فویل آلومینومی استفاده شده در MFv01 استحکام قابل قبولی را ارائه می دهد.

از دیگر مزایای ربات NEMOv01 ارائه شده در این طرح :

1. بومی بودن ساخت ربات

تمامی قطعات استفاده شده در این محصول از بازار داخلی تهیه شده و این محصول وابستگی مستقیمی به نوسانات بازار خارجی از کشور ندارد. این مساله می تواند تولیدپذیری این محصول را تسهیل کند و هزینه، قیمت تولید و به پیرو آن قیمت مصرف کننده را در بازار داخلی کاهش دهد تا عموم دارندگان پنل های خورشیدی بتوانند از مزایای این محصول بهره‌مند شوند.

1. این اختراع می تواند تاثیر غیرمستقیمی بر کاهش میزان قابل توجهی از تولید کربن دی اکسید داشته باشد.

با استفاده از این محصول در تمامی پنل های خورشیدی کشور (مجموع ظرفیتی حدود 450 مگاوات)، و جبران 30 درصدی هدرفت انرژی خورشیدی توسط خاک‌گرفتگی این محصول می تواند به تنهایی باعث کاهش ورود 1215 تن CO2 از کشور ایران به جو کره زمین شوند.( اثبات ادعا در ادامه توضیح داده خواهد شد.)

طبق آمارهای موجود پنل‌های خورشیدی از تولید حدود 50 گرم دی‌اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت برق خورشیدی به جو جلوگیری می کند.

هر وات پنل خورشیدی سالانه در کشوری مانند ایران، که بطور متوسط در سال 300 روز آفتابی و در هر روز بطور متوسط 4 ساعت آفتاب مطلوب دارد و بازده پنل خورشیدی حداقل 15 درصد است، می تواند 0.180 کیلووات ساعت برق خورشیدی تولید کند. این بدان معناست که هر وات ظرفیت خورشیدی در کشور سالانه از ورود 9 گرم دی اکسید کربن به جو جلوگیری می کند. بنابراین با درنظر گرفتن مجموع ظرفیت 450 مگاواتی خورشیدی، ایران می تواند با تمام ظرفیت خورشیدی خود سالیانه از ورود 4050 تن دی اکسید کربن به جو جلوگیری کند. این در حالیست که ظرفیت کاهش یافته 30 درصدی در مقدار تولید این پنل ها لحاظ شده است. با جبران بازده از دست رفته میزان تولید انرژی خورشید و کاهش کربن دی اکسید 1.3 برابر می شود یعنی 5265 تن سالانه کاهش دی اکسید کربن. که سهم خالص پاک کننده های خورشیدی 1215 تن خواهد بود.

1. سادگی ساختار محصول در عین کاربردی بودن آن

ایجاد سهولت فرآیند ساخت پیش نیازی در تولید انبوه هر کالاست. دو مزیت اصلی ایجاد سهولت در فرآیند ساخت که ناشی از سادگی این محصول است عبارتند از :1- امکان استفاده از قطعات ساده تر و پردازش کم هزینه تر برای ایجاد هر قطعه و کاهش هزینه کلی سیستم 2-کاهش هزینه های نگهداری. یک سیستم ساده‌تر بخش های کمتری برای خرابی احتمالی دارد و بنابراین هزینه‌های کمتری برای نگهداری آن سیستم دارد. همچنین با ساده‌سازی سیستم برای تولید، ممکن است، طول عمر کلی سیستم نیز بهبود داده شود.

1. برطرف ساختن نگرانی های ایمنی

ایمنی انسان حوزه دیگری است که سیستم طراحی و ساخته شده نقش بسزایی در حفظ و ایجاد این امنیت دارد. اکثر پنل های خورشیدی در مکان های غیرقابل دسترس مانند بالای ساختمان ها یا سازه های بزرگ نصب می شوند. در بسیاری از موارد دسترسی پذیری به پنل ها برای پاکسازی در ملاحظات نصب این پنل ها در نظر گرفته نمی شود. اغلب کارگران انسانی برای کار بر روی این تاسیسات در ارتفاعات زیاد باید از مهارهای کوهنوردی استفاده کنند. بر اساس آمار سازمان پزشکی قانونی در سال 1399، ۴۴ درصد حوادث کار منجر به فوت در کشور ناشی از سقوط از ارتفاع می باشد. اگر کارگران انسانی بخواهند مجموعه‌ای از پنل‌ها را تمیز کنند، نه تنها باید با چالش مقیاس پنل های خورشیدی روبرو شوند، بلکه باید در هر قدمی که برمی‌دارند مراقبت کنند تا از سقوط بالقوه مرگبار جلوگیری کنند. نگرانی های ایمنی، مسئولیت و بیمه گسترده ای در ارتباط با این نوع کار وجود دارد. سیستم طراحی شده این پتانسیل را دارد که این خطر غیرضروری برای زندگی انسان و همچنین مشکلات مربوط به مسئولیت را از بین ببرد.

اختراع کنونی همچنین به گونه ای طراحی شده است که ایمنی را در تمام طول عمر عملیاتی خود حفظ کند. این سیستم به طور ایمن بر روی پنل خورشیدی نصب شده است و با استفاده از سنسورهای اولتراسونیک در اطراف خود از خطر سقوط خود ربات نیز جلوگیری می کند.

1. طراحی منحصر به فرد برس با قابلیت تولید داخلی

برس این ساز بر مبنای برس های جاروبرقی رباتیک شیامی باز طراحی شده است. برسی که علاوه برکارایی بالای آن وزن نهایی دستگاه را تا میزان زیادی کاهش می دهد. ساخت این برس توسط تولیدکتتدگان برس های صنعتی داخل انجام گرفت.

1. غبارروب برس

در این ربات بخشی برای تمیزکاری خود برس ربات در نظرگرفته شده است. برس پاک کننده های پنل خورشیدی به مرور زمان با تجمع کثیفی و غبار، کارایی خود را از دست می دهند. بخش غبارروب این ربات به منظور جلوگیری از این اتفاق و حفظ کارایی برس این ربات درنظر گرفته شده است.

1. جریات مصرفی کم ربات

وزن کم و استفاده از موتورهای بهینه برای این ربات موجب، کاهش میزان جربان مصرفی ربات و در پیرو آن استفاده از تعداد باتری کمتر، وزن کمتر ربات و هزینه نهایی کمتر ربات می شود.

1. استفاده از پنل خورشیدی برای شارژ باتری قابل شارژ

استفاده مجدد از منابع خورشیدی برای تامین انرژی باتری این دستگاه موجب آن شده که هزینه های جاری دستگاه در کمترین میزان خود قرار بگیرد.

1. جلوگیری از تجمع غبار و پراکندگی محدد آن با استفاده از دمنده در انتهای آرایه

روشن شده دمنده و تخلیه غبارهای جمع شده روی پنل ها در انتهای آرایه پنل های خورشیدی درون کیسه های جمع اوری غبار یکی دیگر از مزایای این دستگاه است که از تجمع گرد و غبار در اطراف پنل و پراکندگی مجدد آن روی سطح پنل ها جلوگیری می کند.

# توضيح حداقل يك روش اجرايي براي به كارگيري اختراع

ربات NEMOv01 از دو دیواره آلومینیومی به ضخامت 4 میلی متر و یک صفحه شفاف فوقانی از جنس پلکسی گلاس ساخته شده است. اندازه کلی ربات 850 در 300 میلی متر است. این ربات به اندازه عرض آرایه پنل های خورشیدی ساخته می شود تا نیازی به حرکت در جهت عرضی این ارایه ها نداشته باشد و مطابق شکل 5 فقط حرکت رفت و برگشتی در راستای طول آرایه ها انجام دهد. مهم ترین مشخصه طراحی NEMOv01 سادگی طرح در عین کارآمدی آن است. سادگی طراحی این ربات باعث کاهش 3 مولفه مهم می شود: هزینه، وزن، زمان ساخت ربات. بدین ترتیب می‌توان گفت این مزایا باعث تولیدپذیری آسان‌تر این ربات در چشم‌انداز تولید انبوه می‌شوند. شکل 1 نمای کلی ربات طراحی شده NEMOv01 را نشان می‌دهد.

حرکت ربات NEMOv01 از توقفگاه ابتدایی در کنار آرایه پنل‌های خورشیدی شروع می شود و در راستای طولی با حرکت چرخ‌ها روی پنل ادامه پیدا می‌کند. همزمان با حرکت ربات، برس نصب شده با گشتاور بالا خاک روی پنل را به جلو هدایت می‌کند. دور پایین و گشتاور بالای برس(106) باعث تمیزکاری موثر و در عین حال پخش‌نشدن گرد و غبار در هوا می‎شود. در انتهای آرایه پنل ها سنسور التراسونیک (107) فرمان توقف ربات و برس را صادر می‌کند. با توقف ربات موتور دمنده به کار می افتد و مطابق شکل 4 خاک‌های جمع شده در انتهای مسیر را از روی پنل به درون محفظه‌های تعبیه شده در انتهای کورس، تخلیه می‌کند. حرکت برگشتی با معکوس کردن جهت حرکت چرخ ها و خاموش بودن موتور برس انجام می‌شود. این بدان دلیل است که خاک‌های به جلو هدایت شده دوباره به عقب بازنگردند و خاک تنها از یک سمت آرایه پنل ها تخلیه شود.

جهت تمیز کردن سطح پانلهای خورشیدی یک برس منحصر به فرد برای این ربات طراحی و ساخته شد(106)، تا علی رغم وزن کم بتواند کارایی بالایی در تمیزکاری داشته باشد. جنس موهای این برس به گونه ایی انتخاب شد تا هم از خط انداختن روی سطوح پنل جلوگیری شود و هم استجکام کافی برای جلو راندن گرد و غبار را داشته باشد. موتور این برس در امتداد محور آن قرار گرفته است و به واسطه کوپلینگ با این محور در تماس مستقیم است.

همچنین تمیزکننده ایی مجزا برای خود برس طراحی و ساخته شد تا از انباشت گرد و غبار روی برس در طی زمان و کاهش راندمان تمیزکاری آن، جلوگیری کند. در هر دور با برخورد برس به شاخک های فلزی این تمیزکننده غبار چسبیده به برس جدا می‌شود و درون کیسه های نصب شده روی این تمیزکننده تخلیه می شود. کیسه های این تمیزکننده در هنگام پر شدن به آسانی نصب و جدا خواهند شد.

در طراحی و ساخت این ربات، چهار معیار مهم در نظر گرفته شد. این معیارها به ترتیب اهمیت عبارتند از کارایی، هزینه، وزن و عمر(استحکام). هر یک از اجزای ربات بر مبنای این چهار معیار انتخاب یا طراحی شده اند.

در ابتدای روند طراحی ربات تمیزکننده پنل‌های خورشیدی سطوح کنترلی سیستم تعیین شد. به این صورت که این ربات شامل سه زیرسیستم اصلی انتقال، تمیزکاری و الکتریکی(کنترلی) می شود. هر یک از این زیرسیستم ها خود به اجزای کوچکتر تقسیم بندی می‌شوند. زیرسیستم انتقال شامل بخش های بدنه، جابجایی و عدم لغزش می شود. زیرسیستم تمیزکاری شامل بخش های برس(105)، تمیزکننده برس (106)و دمنده(108) می شود. زیرسیستم الکتریکی شامل بخش های کنترل ربات، تغذیه و سقوط می شود. با این دسته بندی، طراحی مرحله به مرحله و بخش به بخش انجام گرفت. در ادامه در خصوص چگونگی طراحی بخش­های مختلف ربات توضیحات مبسوطی ارائه شده است.

**1- زیر سیستم تمیزکاری**

**1-1- هدف زیرسیستم های تمیزکاری**

زیرسیستم های نظافت شامل عناصری است که هدف آن پاک کردن گرد و غبار و زباله ها از پنل خورشیدی است. دو رکن اساسی فرآیند پاکسازی پنل ها عبارتند از:

1- کارآمد و موثر بودن روش تمیزکاری 2- استفاده حداقلی از آب (آبی کم استفاده می کند یا آبی مصرف نمی کند).

همچنین این سیستم باید بتواند دو بار در هفته کار کند تا پنل های خورشیدی در اوج راندمان کار کنند.

**1-2- گزینه های زیرسیستم پاکسازی**

مهمترین بخش طراحی زیرسیستم نظافت، انتخاب روش تمیز کاری بود. طرحی که در نهایت انتخاب شد، برسی مارپیچی بود که بروی یک محور چرخان تعبیه شده است که گرد و غبار یا زباله‌های روی سطح پنل را از بین می‌برد. معیارهای انتخاب این روش، اثربخشی تمیز کردن، هزینه ساخت (که شامل هزینه خود مواد است)، وزن برس، قابل اطمینان بودن مواد در طول عمر دستگاه بود.

روش ها تمیزکاری که مورد بررسی و تحقیق ابتدایی قرار گرفتند به دو دسته کلی تقسیم بندی می شوند: 1- روش های پاکسازی خشک 2-روش های پاکسازی با آب یا مواد شوینده دیگر

در این تقسیم بندی گزینه پاکسازی با آب یا دیگر مواد شوینده به چندین علت از انتخاب ها کنار گذاشته شد. در منظر اول با توجه به بحران جدی آب در کشور هر گونه شستشو به وسیله آب امری توجیه ناپذیر و غیرمنطقی تلقی خواهد شد. آب یا دیگر شوینده ها هزینه ایی مازاد در این پروژه به حساب می آیند که هزینه تمام شده هر ربات برای مصرف کنندگان بسیار بالاتر از مقدار فعلی قرار می گرفت. استفاده از آب نیازمند ایجاد زیرساختی مجزا برای بخش تامین و نگه داری آب تا پاشش آن بروی سطح پنل ها داشت که مجدد وزن و هزینه تمام شده دستگاه را بالا می برد و در نهایت تامین آب در این مخازن درمناطقی که لوله کشی وجود ندارد خود کاری دستی محسوب می شود و ربات ها را از حالت خودکار و نیمه خودکار به سمت دستی شدن و اتلاف زمان پیش می برد.

در بین روش های پاکسازی خشک چندین ایده مورد بررسی قرار گرفت. زیرسیستم اصلی تمیزکاری می توانست یا از تماس مستقیم تمیزکننده با سطح تشکیل شود و یا روشهای استفاده از هوای فشرده اتخاذ شود. استفاده از هوای فشرده دارای مزیت تمیزکاری کارآمد بدون آسیب فیزیکی به پنل ها بود. با این حال، قدرت و سخت افزار لازم برای پمپ هوا و سیستم فشرده سازی احتمالاً سیستم را بسیار سنگین و پرهزینه می کرد.

روش های تمیزکاری با تماس مستقیم خود می توانست به دو زیر بخش تمیزکننده(مانند پارچه، لباس های میکروفیبر یا اسفنج) ثابت و یا متحرک تقسیم شود. تمیزکاری ثابت علی رغم سهولت ساخت، عدم نیاز به موتور و به تبع آن کاهش هزینه و وزن، روشی کارآمد محسوب نمی شود. زیرا تمیزکننده ثابت با طی یک ردیف آرایه احتمالا حجم زیادی گرد و غبار را جمع می کند و به جلو هل می دهد که نیازمند اصطکاک زیاد به سطح بود و اصولا قادر به پاکسازی لکه های ثابت شده روی صفحات نبود. در طرف دیگر تمیزکاری متحرک و در راس آن ها، برس چرخان با حرکت سریع دورانی قادر به پرتاب کردن گرد و غبار به سمت جلو است و تا میزان خوبی با چرخش فیبرهای خود روی لکه ها در روند پاکسازی آنها کمک می کند. از طرف دیگر کارآمدی کمتر این ایده نسبت به روش گاز فشرده یا آب می تواند با تعداد پاس های متعدد تمیزکاری جبران شود.

در تمیزکاری متحرک یک روش نسبتا خوب جایگزین کردن برسها، استفاده از پارچه میکروفیبر بود. در حالی که پارچه ممکن است تمیز کردن مؤثرتری را ارائه دهد، الیاف پارچه کثیفی را جمع می کند و کارایی خود را در طول زمان از دست می دهند و طول عمر کلی ربات را نیز کاهش می دهد.

مثال های تمیزکاری مختلفی برای هر یک از بخش ها و حالت های فوق در نظر گرفته شد و یکی پس از دیگری از چرخه انتخاب کنار گذاشته شد. برخی از این ایده ها عبارتند از: محوری که در سراسر پنل قرار می گیرد و می چرخد، دیسکی که مانند یک دستگاه کوبنده از طرفین به سمت دیگر حرکت می کند، قفلی که فشار ثابتی بر روی پنل وارد می کند و مواد تمیز کننده را مانند جارو جارو روی آن می کشاند، و سیستم قطره ای که محلول تمیز کننده را از طرفین پنل سرازیر می کند. ولی در نهایت یک محور متحرک چرخشی که در سراسر عرض آرایه پنل ها قرار می گیرد و بروی آن برسی عملیات تمیزکاری را انجام می دهد، انتخاب شد.

**1-3- توضیحات طراحی زیرسیستم پاکسازی**

زیرسیستم نظافت نهایی شامل برس هایی بود که با 70 دور در دقیقه به دور خود می چرخند تا حرکتی اثربخش را برای حذف کثیفی و گرد و غبار از سطوح پنل خورشیدی فراهم کنند. برس ها روشی را برای تمیز کردن بدون آسیب رساندن به سطح شیشه ای پنل و همچنین رفع نیاز به آب ارائه می کنند.

برس های جاروبرقی های رباتیک چند ایراد بزرگ داشتند. یک اینکه طول این برس های غالبا نزدیک به 20 سانتی متر بود که طبق طراحی ابتدایی این نمونه اولیه باید میزان کارگیر برس حداقل 60 سانتی متر می بود. این بدان معنا بود که باید حداقل 3 عدد از این برسها از طول به یکدیگر متصل شوند و شفتی از میان آنها عبور کند. این امر خود پیچیدگی و هزینه ساخت را بالا می برد و پروژه را از صنعتی شدن دور می کرد. دومین عیب بزرگ این برس ها کوچک بودن قطر شفت آنها و کوتاه بودن طول فیبر های کارگذاشته در آن ها بود. بنا به این حالت باید محل کارگذاری شفت در دیواره های کناری تا حد امکان پایین می بود و کوتاه بودن طول فیبر ها اصطکاک کم و بازدهی کم تمیزکاری را در پی می داشت. سومین مشکل این برس ها هزینه بالای آن ها بود. بدلیل اینکه این قطعات در صنعت داخلی تولید و استفاده نمی شوند و وارداتی هستند هر کدام از این برس ها قیمتی معادل 600 هزار تومان داشتند. این یعنی برای هر دستگاه ربات مبلغی معادل یک میلیون و هشتصد هزار تومان، هزینه تمام شده برس آن می شد. و وابستگی به واردات کالا یعنی هزینه تمام شده دستگاه وابسته به قیمت ارزی و منوط بر واردات آن کالای خاص می شد که خود نقطه ضعفی بزرگ در مسیر تولید انبوه این ربات در بازار داخلی محسوب می شد.

با توجه به عرض آرایه پنل ها، یک برس که می تواند طول یک پنل خورشیدی را بپوشاند، باید ساخته می شد. برس مطابق برس های نورد صنعتی موجود طراحی شده است.(106) بیشترین شباهت به این برس را برس های جاروبرقی رباتیک دارد. شروع روند طراحی این برس، با تحقیقات میدانی در بازار داخلی شروع شد. اولویت این بود که به جای طراحی برس از صفر از برس ها موجود با کاربرد نسبتا مشابه استفاده شود.

اما در طرف مقابل یکی از بزرگترین مزایای این برس ها، کارایی بالای آن ها و در عین حال وزن سبک آن هاست. در روند طراحی برس این برس به عنوان مرجع قرار گرفت و معایب موجود در آن حذف شد.

در طراحی انجام گرفته از تفلن به عنوان ماده میانی برس استفاده شد. یکی از اصلی ترین دلیل این انتخاب تحمل بالای تفلن در مقابل پیچش و کمانش بود. باید خاطر نشان کرد که بدلیل طول نسبتا بزرگ این برس (طول تقریبی 60 سانتی متر) امکان بروز هر کدام از تنش های پیچش و تغییر شکل برس وجود داشت. قطر خارجی تفلن 85 میلی متر و قطر سوراخ داخلی تفلن 14 میلی متر در نظر گرفته شد(به دلیل جلوگیری از پیچش محور تفلن). برای فیلامنت این برس از فیلامنت 12 که نرم ترین نوع فیلامنت است بهره گرفته شد. معمولا از فیلامنت 12 تا 20 برای جنس شیشه استفاده می شود. ولی برای جلوگیری از هرگونه آسیب و خش افتادن روی پنل ها این نوع از فیلامنت انتخاب شد. 3 سانتی متر طول هر یک از این فیلامنت ها (موهای برس) بود. در طراحی برس با الهام از برس های جاروبرقی رباتیک و برای کاهش وزن ربات و حفط کارایی آن، مطابق شکل 2 فیلامنت ها به صورت دو ردیف با یک دور مارپیچی روی برس جای گذاری شدند. هزینه تمام شده این برس 500 هزار تومان است، و این کمتر از یک سوم هزینه نمونه های نسبتا مشابه خارجی است.

مرحله بعد انتخاب شفت برای این برس بود. وزن تقریبی این برس 1 کیلوگرم بود، با این حال برای جلوگیری از پیچش و خستگی از شفت توپر آهنی استفاده شد. شفتی که به قطر 14 سانتی متر درون تفلن با لقی عبوری سفت قرار می گرفت. به جای استفاده از چرخدنده تبدیل از کوپلینگ برای گرداندن این محور توسط موتور استفاده شد. بنابراین نیاز بود تا قطر شفت از 14 میلی متر به 8 میلی متر کاهش پیدا کند و در نهایت از کوپلینگ 8 به 6 میلی متر برای شفت موتور استفاده شود. با تراشکاری این محور آهنی از دو طرف و ایجاد دو پله متقارن این کار انجام شد. در نهایت این شفت درون دیواره های ربات قرار گرفت و با کوپلینگ به موتور مربوطه متصل شد.

یکی دیگر از زیرسیستم های تمیزکاری، تمیزکننده خود برس بود.(105) شایان توجه است بر اثر دفعات تمیزکاری برس ها خود آغشته غبار یا ذرات خاک می شوند. این نیازمند آن است که در فواصل زمانی معین دستگاه از هم باز شده و این برس ها تمیز شوند. برای جلوگیری از این اتفاق و با استفاده از حداقل امکانات موجود سازه ایی متشکل از شاسی های ربات به هم چسبیده طراحی و ساخته شد. این طراحی به گونه ایی است که برس در هر چرخش با برخورد با سر فلزی هر کدام از این قطعات تمیز می شود و گرد و غبار خود را روی محفظه پلاستیکی آن می ریزد.

**دمنده**

استفاده از دمنده (108) در اختراع اخیر باعث تکامل بیشتر و خودکار شدن روند فرآیند می شود. همانطور که پیش از این اشاره شد، پس از آن که ربات گرد و غبار روی پنل را به انتهای آرایه هدایت می کند، در انتهای هر آرایه با انباشتی از گرد و غبار جمع شده توسط ربات مواجه خواهیم شد. برای آن که این گرد و غبار مجدد در هوا پخش نگردد و باعث کثیفی پنل ها نشود، فرآیندی برای جمع آوری آن باید در نظر گرفته شود. می توان از اپراتور های انسانی برای جمع آوری آن استفاده کرد ولی برای سهولت بیشتر و خودکار شدن فرایند می توان از دمنده ایی جهت انتقال گرد و غبار به پایین استفاده کرد. دمنده مطابق شکل های 4 و 5 با استفاده از جریان هوا گرد و غبار جمع شده را به فضای رو به رو پیش می راند برای جمع اوری آن باید کیسه هایی (110) در انتهای هر ردیف آرایه تعبیه کرد تا گرد و غبار رانده شده توسط مکنده درون این کیسه ها جمع آوری گردد.

محاسبات نیرو و توان لازم این دمنده متناسب با وخیم ترین شرایط فرونشست گرد و غبار در سراسر کشور در نظر گرفته می شود. طبق آمار منتشر شده در گزارش علوم آب و خاک، میزان فرونشست گرد و غبار مربوط به استان کرمان استخراج شد. فرونشست ماهیانه این استان برابر 84.1 گرم بر متر مربع است. بر فرض استفاده ماهانه از این اختراع میزان تجمع گرد و غبار در انتهای یک ردیف(معمولا در هر ردیف شبکه خورشیدی بیش از 20 پنل وجود ندارد) به ابعاد 22متر (طول آرایه پنل ) در 2.1 متر (عرض آرایه پنل) مقدار 3880 گرم یا به صورت تقریبی 4 کیلوگرم خواهد بود.

برای محاسبه توان موردنیاز برای حمل 4 کیلوگرم غبار به داخل کیسه، از فرمول کار استفاده می کنیم:

(1-3)

متناسب با فرمول فوق W نشان دهنده کار(توان) موردنیاز برای حمل، d مسافتی است که این میزان گرد وغبار به جلو حمل می شود (ارتفاع حمل نیز نامیده می شود) و F میزان نیروی لازم برای حمل گرد و غبار است. همانطور که مشاهده می شود نیروی فوق برابر مجموع نیروهای اصطکاک گرد و خاک و سطح است. ضریب اصطکاک ایستایی حدود 0.15 خواهد بود . مسافت قابل پیمایش ذرات تا داخل کیسه حدود 1 متر براورد می شود. برای همین می توان براورد کرد برای جابجایی 4 کیلوگرم گرد و غبار 6 وات کافی خواهد بود. ولی بهتر است برای نیروهای اصطکاک دینامیکی در نظر گرفته نشده و نیروی مقاومت هوا از فن جت هایی با سرعت بالا استفاده کرد که مطمئن باشیم ذرات گرد و غبار به درون کیسه رانده می شوند. در نهایت جت فن 12V-0.72A سایز 40 در 40 در 28 میلی متر مارک DELTA مدل PFB0412EHN انتخاب شد(108) که توان 5 وات دارد و سرعت نامی 14500 دور بر دقیقه فراهم می کند. جریان مصرفی آن 0.72 آمپر است و در ولتاژ کاری 12 ولت فعالیت می کند که توسط باتری های ربات قابل تغذیه است. وزن آن حدود 50 گرم خواهد بود که تاثیر منفی روی وزن نهایی ربات را به حداقل می رساند. همچنین قیمت مناسب این فن ها می تواند هزینه نهایی ربات را به صورت قابل توجه دستخوش تغییر نکند.

**1-4- انتخاب موتور برای زیرسیستم پاکسازی**

در این مرحله که مشابه بخش انتخاب موتور برای انتقال ربات است، ابتدا چندین متغیر در نظر گرفته شدند. طبق محاسبات انجام گرفته وزن مجموع برس، تفلن و شفت آهنی داخل آن به صورت زیر محاسبه شد.

* وزن میله اهنی توپر به قطر 14 میلی متر و طول 50 سانتی متر و چگالی 7.87 گرم بر سانتی متر مکعب، حدود 771 گرم است.
* وزن تفلن استوانه ایی به قطر خارجی 25 میلی متر، قطر داخلی 14 میلی متر، طول 50 سانتی متر و چگالی 2.2 گرم بر سانتی متر مکعب حدود 472 گرم است.

وزن مجموع فیلامنت های برس و کوپلینگ نیز طبق فرمول های زیر حدود 350 گرم تخمین زده شد. قطر هر فیلامنت ، طول هر فیلامنت و چگالی فیلامنت ها است.

(1-4-1)

(1-4-2)

(1-4-3)

(1-4-4)

در محاسبات بالا مجموع جرم فیلامنت هاست. جرم هر فیلامنت و N تعداد تخمینی(بیشتر از مقدار واقعی) فیلامنت های برس است. 50 گرم هم جرم کوپلینگ برنجی تخمین زده شد.

بنابراین وزن مجموع زیرسیستم تمیزکاری برس حدود 1.6 کیلوگرم تخمین زده شد.

برس پاک کننده در سه نقطه با سطوح مختلف تماس پیدا می کند:

1- در سطح زمین( پنل) به منظور پاکسازی گرد و غبار فیلامنت های برس با زمین در تماس خواهند بود.

2- محل برخورد برس به تمیزکننده آهنی برس

3- نقطه تکیه گاهی میله آهنی وسط برس روی دیواره های کناری

در هر سه نقطه می بایست اصطکاک وارد را بدست آوریم و با یکدیگر جمع کنیم تا بتوانیم حداقل گشتاور وارده را محاسبه کنیم.

با بررسی مقاله فرانتیشک نووتنی و همکاران روی رفتار برس استوانه ای ساینده در پردازش سطح، ضریب اصطکاک برخورد فیلامنت به سطح (حالت 1) را می توان برابر 0.11 در نظر گرفت. حال برای محاسبه نیروی برخورد هر یک از فیلامنت ها به سطح شیشه ایی می توان به صورت زیر عمل کرد. در بخش قبل، جرم زیرسیستم تمیزکاری برس مجموعا 1.6 کیلوگرم تخمین زده شد. در صورتی که توزیع وزن یکسان بین این 3 محل برخورد تصور شود، نیروی اصطکاکی به صورت زیر محاسبه می شود.

(1-4-5)

در فرمول بالا، ، به ترتیب ضریب اصطکاک حالت اول، دوم و سوم هستند. با فرض بالا ضریب اصطکاک نهایی میانگین ضریب اصطکاک در این سه سطح محاسبه خواهد شد. برای حالت 2 و 3 که برخورد آهن با پلیمر را داریم ضریب اصطکاک طبق نسخه 106 ام ژورنال تریبولوژی پلیمر، می توان 0.32 در نظر گرفت. با جای گذاری مقادیر ضریب اصطکاک خواهیم داشت:

حال برای بدست اوردن گشتاور از رابطه زیر استفاده می کنیم:

(1-4-6)

به دلایل تخمین های بالا می توان ضریب اطمینان 2 برای این گشتاور در نظر گرفت. بنابراین موتور موردنیاز برای گرداندن این برس (103) نیاز است حداقل گشتاور 6.79 کیلوگرم سانتی متر تامین کند. برای این منظور از موتوری مشابه با بخش انتقال استفاده کردیم. (موتور ZGA37FH)

1. **زیر سیستم انتقال**
   1. هدف زیرسیستم های مکانیکی انتقال

وظیفه اصلی زیرسیستم های انتقال توان این است که کل سیستم را در طول یک آرایه خورشیدی حرکت دهد. برای دستیابی به دامنه حرکتی این هدف، زیرسیستم باید نیرو و گشتاور کافی را برای غلبه بر مجموع جرم سیستم و نیروهای اصطکاک مرتبط با پنل خورشیدی فراهم کند. این بدان مهناست که باید انرژی مکانیکی لازم برای به حرکت درآوردن زیرسیستم تمیز کردن باید ایجاد شود. این زیرسیستم باید به حداقل تعمیرات و نگهداری نیاز داشته باشد. و تا حد امکان به مداخله مستقیم رابط کاربری نیازی نداشته باشد.

* 1. گزینه‌های زیرسیستم های مکانیکی انتقال

طرح اولیه ای که برای زیرسیستم در نظر گرفته شد، یک زنجیر موتور محور برای کشیدن سیستم در امتداد پنل ها بود. این طرح در نهایت به دلیل هزینه های بالای مواد و همچنین پیچیدگی نسبتا بالای آن برای اجرا کنار گذاشته شد.

طرح دیگری که در نظر گرفته شده از موتور با گشتاور بالا(104) برای به حرکت درآوردن مجموعه ای از چرخ های نصب شده بر روی سیستم(102) استفاده می شود. این طراحی به سیستم اجازه می دهد تا بدون نیاز به زیرساخت اضافی برای اتصال به پنل در امتداد پنل حرکت کند.

* + 1. شرح طراحی زیرسیستم مکانیکی انتقال

طرحی که انتخاب شد طرح یک ربات چهار چرخ(102) و یک موتور(104) بود. این طرح از یک موتور تک محرکه برای تامین انرژی مکانیکی یک جفت چرخ نصب شده بر روی شاسی سیستم استفاده می کند. این چرخ ها به موازات جهت حرکت مورد نظر نصب می شوند. چرخ ها در هر دو جهت می چرخند تا سیستم نظافت را به محل مورد نظر در صفحه خورشیدی منتقل کنند. محور چرخ‌های محرک به موازات محور برس تمیزکننده قرار می‌گیرد و به این دو امکان می‌دهد از طریق یک سیستم دنده به هم متصل شوند. گرچه برای اجتناب از پیچیدگی و بالاتر بردن عمر مفید دستگاه و همچنین استفاده از توان بیشتر موتور به جای طراحی یک گیربکس و به کارگیری یک موتور برای تمیزکاری و انتقال حرکت ربات، از دو موتور مجزا به این منظور استفاده شد.

* + 1. تجزیه و تحلیل تفصیلی زیرسیستم مکانیکی: انتخاب موتور

برای اطمینان از اینکه سیستم می‌تواند در طول پنل به سمت پایین حرکت کند، موتور انتخاب شده برای به حرکت درآوردن دستگاه باید بتواند گشتاور مورد نیاز را تامین کند. محاسبات با استفاده از وزن تخمینی سیستم و نیروی محرکه تخمینی مورد نیاز برای فشار دادن برس ها در سراسر پنل انجام شد. گشتاور و اسب بخار هر دو محاسبه و به عنوان معیار اصلی برای انتخاب موتور مورد استفاده قرار گرفتند. معیارهای دیگر عبارتند از قدرت مورد نیاز، موتور مورد نیاز برای رانندگی با باتری کوچک 12 ولتی، و اندازه، موتور باید به اندازه کافی فشرده باشد که بتواند بدون سنگین کردن سیستم روی دستگاه قرار بگیرد.

* + - 1. محاسبه متغیرهای سیستم

برای استخراج گشتاور موردنیاز موتور ابتدا به دنبال ضریب اصطکاک پنل های خورشیدی گشتیم. با مشاهده و بررسی مقالات مختلف به این نتیجه رسیدیم که ضریب اصطکاک در سطوحی مانند مرمر 0.4 ، سطوح چوبی 0.2 و سطوحی مانند فرش 0.7 است. بنابراین در حالت بدبینانه می توانیم ضریب اصکاک سطح خورشیدی را چیزی بین مقادیر فوق درنظر بگیریم. در نهایت طبق مطالعه صورت گرفته توسط ژانگ داون و همکاران (Experimental Research on Influencing Factors of Surface Friction Coefficient of Solar PV Panels, 2018) برای ضریب اصطکاک پنل های خورشیدی خاک گرفته در حالت افقی مقدار 0.4 را برای این متغیر می توان فرض کرد

طبق تخمین مواد مورد استفاده در ربات جرم تقریبی ربات را 8 کیلوگرم در نظر می گیریم و شتاب گرانش را نیز برابر فرض می کنیم. همچنین در بدترین حالت می توان پنل ها را افقی قرض کرد و کوسینسوس زاویه تیلت آن ها را 1 در نظر گرفت.

(2-2-2-1-1)

(2-2-2-1-2)

چون حرکت دستگاه را با سرعت ثابت و بدون شتاب در نظر می گیریم نیازی به محاسبه نیروی شتاب نیست. ولی چون چرخش برس در یکی از جهات انتقال ربات برعکس چرخش چرخ هاست باید اصطکاک برس را نیز با اصطکاک چرخ ها جمع کنیم.

(2-2-2-1-3)

* + - 1. انتخاب نوع چرخ

چرخ ها(102) باید به گونه ای طراحی شوند که کشش خوبی را در تمام سطوح ایجاد کنند. مواد لاستیکی نرم انتخاب خوبی خواهد بود زیرا چسبندگی خوبی بر روی سطوح صاف مانند سنگ مرمر و چوب و سطوح ناهموار مانند فرش فراهم می کند. قطر چرخ باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا فاصله خوبی از زمین ایجاد کند اما برای جلوگیری از گشتاور ناکافی یا حرکت ناپایدار ربات خیلی بزرگ نباشد. چرخی با شعاع r=0.026 m متر مصالحه معقولی است.

* + - 1. طراحی پارامترهای موتور

ما باید یک موتور براشلس انتخاب کنیم که بتواند نیروی مورد نیاز را تامین کند. گشتاور τ ارائه شده توسط موتور را می توان با استفاده از فرمول τ = Fr محاسبه کرد که در آن F نیروی مورد نیاز ربات متحرک و r شعاع چرخ است. ما از چرخ‌هایی با شعاع r=0.026 m متر استفاده می‌کنیم، بنابراین به موتور نیاز داریم تا گشتاوری برابر با:

(2-2-2-3-1)

سپس، با سرعت مطلوب 20 سانتی متر بر ثانیه (حرکت آرام ربات به منظور تمیزکاری کاملتر) و شعاع چرخ 2.6 سانتی متر ، می‌توانیم سرعت نامی مورد نیاز موتور را محاسبه کنیم:

(2-2-2-3-2)

* + - 1. محاسبات توان

بر اساس محاسبات بالا، با فرض انتخاب یک موتور براشلس با ولتاژ نامی U=12 V، گشتاور نامی τ=0.81Nm و سرعت نامی n=73.49rpm، توان مورد نیاز موتور را می توان با استفاده از فرمول P =τω محاسبه کرد که τ گشتاور ارائه شده توسط موتور و ω سرعت زاویه ای موتور است. بدین ترتیب:

(2-2-2-4-1)

(2-2-2-4-2)

کل توان مورد نیاز برای چهار موتور 6.22وات است و ولتاژ نامی موتور انتخابی U=12V است، می‌توان جریان مورد نیاز را محاسبه کرد:

(2-2-2-4-3)

بنابراین حداقل ظرفیت باتری باید 0.518 Ah باشد تا بتوان ربات را برای 1 ساعت کارکند. اگر ربات باید برای مدت زمان بیشتری کار کند نیاز است باتری قوی تری استفاده شود.

در نهایت موتور گیربکس دار 12 ولت 70 دور بر دقیقه ZGA37FH (104)برای انتقال ربات استفاده شد. این موتور قابلیت تامین 8 کیلوگرم سانتی متر گشتاور را داراست. همچنین ابعاد 4 در 4 در 10 و جرم 348 گرمی آن دیگر انتظارات پروژه را برآورد کرد.

* + 1. تست زیرسیستم مکانیکی انتقال

زیرسیستم قدرت مکانیکی با حصول اطمینان از اینکه هر بخش به صورت جداگانه کار می کند و همچنین زمانی که با اجزای دیگر ارتباط برقرار می کند، آزمایش شد. در ابتدا موتور به صورت جداگانه با باتری سری سه تایی 11.1 ولتی تست شدند. در ادامه موتور به واسطه کوپلینگ 6 به 5 ( قطر شفت موتو 6 و قطر شفت چرخ ها 5) به چرخ ها وصل شدند و حرکت بدون اتصال برد اردوینو مورد آزمون قرار گرفت.

در هنگام حرکت ربات دو چرخ توسط موتور به گردش در می آیند و دو چرخ دیگر به صورت هرزگرد وضعیت انتقال را پایدار می کنند. با تغییر مثبت منفی تغذیه موتور، حرکت گردش چرخ ها معکوس می شود و ربات در جهت برگشتی حرکت می کند. در کنار بدنه ربات 3 چرخ هرزگرد تعبیه شده است(109)، این چرخ ها وظیفه نگه داشتن ربات در جهت عمود بر حرکت و جلوگیری از لغزش ربات در این محور را ایفا می کنند. همچنین با حرکت آزادانه چرخ های هرزگرد کناری روی لبه پنل ها، مانعی در حرکت انتقالی ایجاد نخواهد شد.

1. **زیرسیستم الکتریکی(کنترلی)**
   1. هدف زیرسیستم کنترل

دو هدف اصلی زیرسیستم کنترل اطمینان از حرکت تمام قطعات مکانیکی به شیوه ای کارآمد و اطمینان از عدم سقوط ربات از لبه های پنل خورشیدی است. سیستم کنترل باید به گونه ای برنامه ریزی شود که نمونه اولیه ما بتواند به طور مداوم از یک طرف آرایه پنل خورشیدی به طرف دیگر را تمیز کند. این سیستم همچنین مسئول سرعت انجام دو فرآیند است: 1- فرآیند انتقال ربات و 2- فرآیند چرخش برس و تمیزکاری سیستم. همانطور که پیش تر گفته شد این دو عملیات به صورت جداگانه توسط دو موتور انجام می گیرد و درایور سیستم کنترلی مسئولیت این عملیات را بر عهده دارد. بنابراین زمان فرایند تمیزکاری ربات شامل زمان سپری شده از شروع در ابتدا آرایه پنل ها تا انتها توسط یک میکروکنترلر باید تنظیم شود.

* 1. گزینه‌های زیرسیستم های کنترل

نگرانی اصلی در مورد زیرسیستم های کنترل هزینه کنترل کننده و توانایی انجام اهداف مورد نظر ما است. گزینه های زیادی برای کنترلرهای قابل برنامه ریزی برای ما وجود دارد که بهترین گزینه ها از نظر عملیاتی برای پروژه آردوینو مگا یا رزبری پای است. اما همانطور که در جدول 3 مشاهده می شود، از لحاظ هزینه ایی گران تر از گزینه دیگر محسوب می شوند. Raspberry Pi یک کنترلر کاملاً کاربردی است که در سطح نرم افزاری بهتر است. رم بیشتر و تطبیق پذیری بیشتری در مدیریت اتصالات شبکه های مختلف دارد. در حالی که آردوینو سخت افزاری بهتر کار می کند و از نظر فیزیکی انعطاف پذیرتر است و اگر دستگاه به درستی خاموش نشود آسیبی نمی بیند. علاوه بر این، آردوینو برای شروع به کار نیازی به همان نفس کتابخانه‌ها برای نصب ندارد. در نهایت، باتوجه به برنامه نویسی آسان تر و آماده تر کنترلر آردوینو توسط زبان برنامه نویسی C نسبت به کنترلر رزبری پای و همچنین عدم نیاز به قدرت محاسباتی بالا در پروژه حال حاضر، آردوینو به عنوان میکروکنترلر انتخاب شد.

**جدول 3. مقایسه کنترلر ها برای انتخاب در زیرسیستم کنترل**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Raspberry PI B+ | Arduino Mega R3 | Arduino Uno R3 | مشخصه |
| 4.500.000 هزار تومان | 740 هزار تومان | 390 هزار تومان | **قیمت** |
| 86×54×17 میلی متر | 101.5×53.3×19 میلی متر | 75×54×15.5 میلی متر | **ابعاد** |
| 512 مگابایت | 0.004 مگابایت | 0.001 مگابایت | **حافظه** |
| 700 مگاهرتز | 16 مگاهرتز | 16 مگاهرتز | **سرعت ساعت** |
| بله | خیر | خیر | **قابلیت انجام وظایف موازی** |
| 5 ولت | 7 تا 12 ولت | 7 تا 12 ولت | **ولتاژ ورودی** |
| 2 | 1 | 1 | **تعداد پورت USB** |
| LINUX | ندارد | ندارد | **سیستم عامل** |
| Python | آردوینو (C) | آردوینو (C) | **زبان برنامه نویسی** |

از آنجایی که یکی از اهداف کلیدی پروژه حفظ هزینه نمونه سازی پاک کننده زیر10 میلیون تومان بود، آردوینو Uno، یک میکروکنترلر ارزان تر با قابلیت های مشابه با آردوینو مگا در این پروژه، انتخاب شد.

* 1. شرح طراحی زیرسیستم کنترل

سیستم کنترل کامل موتور شامل موتور DC، کنترل کننده پلH، L298N، باتری لیتیم یون 12 ولت، Arduino Uno R3 Plusو سنسورهای التراسونیک SR04(107) است. موتور DC به عنوان بار، باتری به عنوان منبع تغذیه، سنسورهای الوتراسونیک برای تشخیص تغییر ارتفاع و جلوگیری از سقوط، آردوینو به عنوان میکروکنترلر، و L292N H-bridge به عنوان مبدل قدرت و درایور عمل می کند. نمودار تمام اتصالات را می توان در شکل 6 زیر مشاهده کرد.

هر پل H قابلیت کنترل حداکثر دو موتور را دارد. در این پروژه از هر 6 پین ورودی پل H برای تنظیم جهت چرخش، سیگنال PWM ارسالی به هر موتور و متعاقبا سرعت هر موتور، استفاده شد. پین Enable A و IN1 و IN2 وظیفه چرخش برس تمیزکننده را دارند و پین Enable B و IN3 و IN4 سرعت و جهت حرکن چرخ های ربات را کنترل می کنند. پین های شماره 8 تا 11 سیگنال های ECHO و TRIGGER را برای سنسورهای اولتراسونیک(107) در دو سمت ربات ارسال می کنند.

* 1. تجزیه و تحلیل تفصیلی زیرسیستم کنترل

کنترل کننده موتور یا پل H یک مبدل برق DC به AC است که جهت پتانسیل ولتاژ را در یک بار یا در این مورد موتور را تغییر می دهد. در نمودار زیر، تنها دو ترانزیستور از چهار ترانزیستور می توانند در طول یک چرخه روشن باشند. هنگامی که دو ترانزیستور مورب روشن می شوند یک پتانسیل ولتاژ ایجاد می شود (مطابق شکل 7 v0 زمانی که Q1 و Q2 فعال می شوند مثبت است و زمانی که Q3 و Q4 روشن می شوند منفی است). در حالی که وقتی دو ترانزیستور در یک ستون یا ردیف هر دو روشن باشند، هیچ پتانسیل ولتاژی در سرتاسر بار تولید نمی‌شود. اثر این سوئیچینگ باعث می شود سرعت زاویه ای موتور تغییر جهت دهد.

یک کد آردوینو برای فعال کردن چرخش موتور برای مدت زمان معین و نمایش جهت چرخش موتور نوشته شد.

void loop() {

//right ultrasonic

digitalWrite(trig1 , HIGH);

delayMicroseconds(1000);

digitalWrite(trig1 , LOW);

duration1 = pulseIn(echo1 , HIGH);

distance1 = (duration1 / 2) / 28.5 ;// calculate distance in CM

//left ultrasonic

digitalWrite(trig2 , HIGH);

delayMicroseconds(1000);

digitalWrite(trig2 , LOW);

duration2 = pulseIn(echo2 , HIGH);

distance2 = (duration2 / 2) / 28.5 ;// calculate distance in CM

analogWrite(enA, 255);

analogWrite(enB, 255);

//

digitalWrite(in1, LOW);

digitalWrite(in2, HIGH);

if (right && distance1 > 20 ) {

digitalWrite(in3, HIGH);

digitalWrite(in4, LOW);

right=false;

}

if(right && distance1 < 20 && distance2 < 20){

digitalWrite(in3, LOW);

digitalWrite(in4, HIGH);

}

if(!right && distance1 < 20 && distance2 < 20){

digitalWrite(in3, HIGH);

digitalWrite(in4, LOW);

}

if (!right && distance2 > 20 ) {

digitalWrite(in3, LOW);

digitalWrite(in4, HIGH);

right=true;

}

}

در داخل کد، تابع analogWrite() استفاده شد که سرعت مقدار آنالوگ ورودی را تنظیم می کند، تابع digitalWrite() برای نوشتن مقدار زیاد یا کم روی پین دیجیتال بهره گرفته شد. به کمک دستور pulseIn مقدار echo تعیین شد و با استفاده از دستور delay هر یک میلی ثانیه trigger خاموش و روشن می شد و فاصله هر یک از دو سنسور اوالتراسونیک از سطح زمین را در متغیر های distance 1 ,2 می ریزد.

با تغییر در وضعیت ln3 , ln 4 جهت حرکت ربات تغییر می کند. اما گردش برس همواره در جهتی است که خود را از تمیزکننده فلزی برس عبور دهد و گل و لای خود را تمیز کند. بنابراین ربات نیازمند آن است که در ابتدا از یک جهت شروع کرده به لبه پنل رسیده و جهت خود را معکوس کند و این حرکت را به تعداد تناوب دلخواه انجام دهد. برای دستیابی به این هدف از یک پرچم به نام right استفاده می کنیم و 4 شرط با 2 ورودی تعریف می کنیم. حالت ابتدایی حالتیست که ربات از میانه میز باید به سمت راست حرکت کند و تا لبه حرکت خود را ادامه دهد. بنابراین مقدار هر کدوم از متغیرهای distance 1 , 2 کمتر از مقدار 20 (مقدار حدی تعیین شده برای سقوط) و متغیر right نیز true خواهد بود. در اتنهای میز مقدار distance 1 بزرگتر از 20 شده جهت حرکت معکوس می شود و متغیر right باید false شود. حال در شرط دیگری وارد شده که در آن جهت حرکن به چپ خواهد بود و تا لبه ادامه پیدا می کند و در آنجام متغیر distance 2 بزرگتر از 20 شده و باید جهت حرکت مجدد برعکس شود و ربات به سمت راست گردش کند. این فرآیند به صورت حلقه ادامه خواهد داشت. برای تعریف تعداد بار تمیزکاری نیز می توان متغیر شمارشی تعیین کرد و اگر این متغیر به میزان کافی رفت و برگشت رسید از ورود مجدد ربات به این حلقه جلوگیری کند.

**تامین شارژ باتری توسط پنل خورشیدی**

**برای تامین برق پنل خورشیدی از پنل خورشیدی تیسو (101) مدل TM10W-18V ظرفیت 10 وات استفاده می کنیم. این پنل به ابعاد 36 در 26 سانتی متر در قسمت فوقانی ربات نصب می گردد. (با اضافه کردن پنل خورشیدی 2 کیلوگرم به وزن مجموع اصافه می گردد). طراحی این پنل خورشیدی به گونه ای است که می توانند انرژی بیشتری از ولتاژ مورد نظر برای آنها را تولید کنند. ولی باید توجه کرد که این پنل ها در شرایط ایده آل می توانند این مقدار از ولتاژ را تولید کنند. اگر پنل خورشیدی انرژی بیشتر را نسبت به ولتاژ باتری تولید کند، با اینکه می تواند آن را شارژ کند ولی می تواند به آن آسیب برساند. یک کنترل کننده شارژ به جلوگیری از بروز این اتفاق کمک می کند.**

**برای این منظور نیاز هست جریان موردنیاز باتری را محاسبه کنیم.**

**برای اینکه پنل خورشیدی 10 واتی بتواند انرژی موردنیاز باتری 11.1 ولتی را تامین کند ، جریان 0.9 آمپر ایجاد می کند. این بدان معنی خواهد بود که پنل خورشیدی قادر است که باتری 2000 میلی آمپرساعت ربات ر طی مدت 2.5 ساعت پر کند.**

**برای ایجاد جریان فوق باید از کنترلر شارژ استفاده نمود. دو نوع کنترلر شارژ اصلی وجود دارد: MPPT (Maximum Power Point Tracking) و PWM (Pulse Width Modulation) . شکل عملکرد دو کنترلر یکسان است اما برای کاهش هزینه ها از کنترلر PWM استفاده می کنیم. این کنترلرها برای شارژ باتری از پالس انرژی استفاده می کنند و برای اطمینان از شارژ شدن آن، برق باتری را کنترل می کنند. کنترلر های شارژ ضد آب نیستند، بنابراین نمی توان آنها را در خارج و فضای باز نصب کرد. کنترلر شارژ تهیه شده در زیر صفحه پلکسی فوقانی نصب می شد. توجه به این نکته خالی از لطف نیست که بدلیل ناایمن بودن آلومینیوم در رسانش الکتریسیته از صفحه پلکسی گلس به عنوان زمینه استفاده گردید. نحوه اتصالات کنترلر شارژ، باتری و پنل نیز در شکل 8 نمایش داده شده است.**

# ذكر صريح كاربرد صنعتی اختراع

سیستم کنونی برای افزایش انرژی تولید شده توسط پنل های خورشیدی با کاهش میزان کثیفی و گرد غبار پنل طراحی شده است. این سیستم از برس های چرخان برای تمیز کردن خودکار و ایمن پنل های خورشیدی در مدت زمان طولانی استفاده می کند. این دستگاه به گونه ای طراحی شده است که بر روی مجموعه ای از صفحات خورشیدی بدون دخالت انسان کار کند. این دستگاه طوری طراحی شده است که جایگزینی ارزان و کم هزینه برای نیروی انسانی باشد.

با توجه به توانایی تمیز کاری دستگاه در طول آرایه های طولانی پنل های خورشیدی و هزینه نسبتا پایین آن، سیستم های انرژی خورشیدی با اندازه مسکونی و تجاری به عنوان بازار اصلی هدف قرار خواهد گرفت. سیستم‌های انرژی تجاری معمولاً ساختمان های مشاغل یا محوطه های مدرسه و دانشگاه هستند. آنها پنل‌های متعددی دارند که در آرایه‌ها ردیف شده‌اند، اما برخلاف سیستم‌های انرژی با اندازه مزرعه خورشیدی، نمی‌توانند سیستم‌های نظافت گران قیمت را بپردازند. سیستم های انرژی کوچکتر، شخصی تر، گزینه دیگری برای بازار هستند. با این حال، این سیستم ها معمولاً فقط شامل چند پنل هستند. اندازه کوچک این سیستم ها باعث می شود یک سیستم تمیز کاری خودکار برای مالکان ساختمان های مسکونی گران تمام شود. با این حال می تواند مخاطرات تمیزکاری در ارتفاع ساختمان ها و زمان موردنیاز برای آن را به صورت قابل توجهی کاهش دهد(هزینه اولیه زیاد ولی مقرون به صرفه). به همین دلیل آرایه های اندازه تجاری به دلیل اندازه سیستم های انرژی خورشیدی و مقرون به صرفه بودن دستگاه، برای بازار هدف توجیه پذیرتر هستند.

هدف بلندمدت این پروژه تبدیل شدن به تامین کننده اصلی سیستم های تمیزکاری خودکار پنل های خورشیدی در ایران است. با توجه به چشم انداز رو به رشد بازار انرژی های تجدیدپذیر و انرژی خورشیدی نیاز به این تکنولوژی در آینده ایی نه چندان دور احساس خواهد شد.(در کشورهای در حال توسعه هم اکنون این نیاز احساس می شود)

هدف فعلی این پروژه ایجاد جایگاهی ابتدایی در صنعت انرژی خورشیدی ایران است. مبدا این طرح کلان شهرهایی چون تهران، مشهد، اصفهان و شیراز انتخاب خواهد شد به دلیل آنکه سهم بیشتری از بازار پنل های انرژی خورشیدی در مقیاس مسکونی و تجاری دارد.

1. - شیراز، تهران، خراسان رضوی، کرمان، سیستان و بلوچستان، اصفهان، بزد، جوان رود(کرمانشاه)، خرمشهر(خوزستان) [↑](#footnote-ref-1)
2. این پژوهش 19 صفحه ایی به عنوان مقدمه ساخت این اختراع انجام گردید و فابل پیوست و ارسال است. [↑](#footnote-ref-2)