

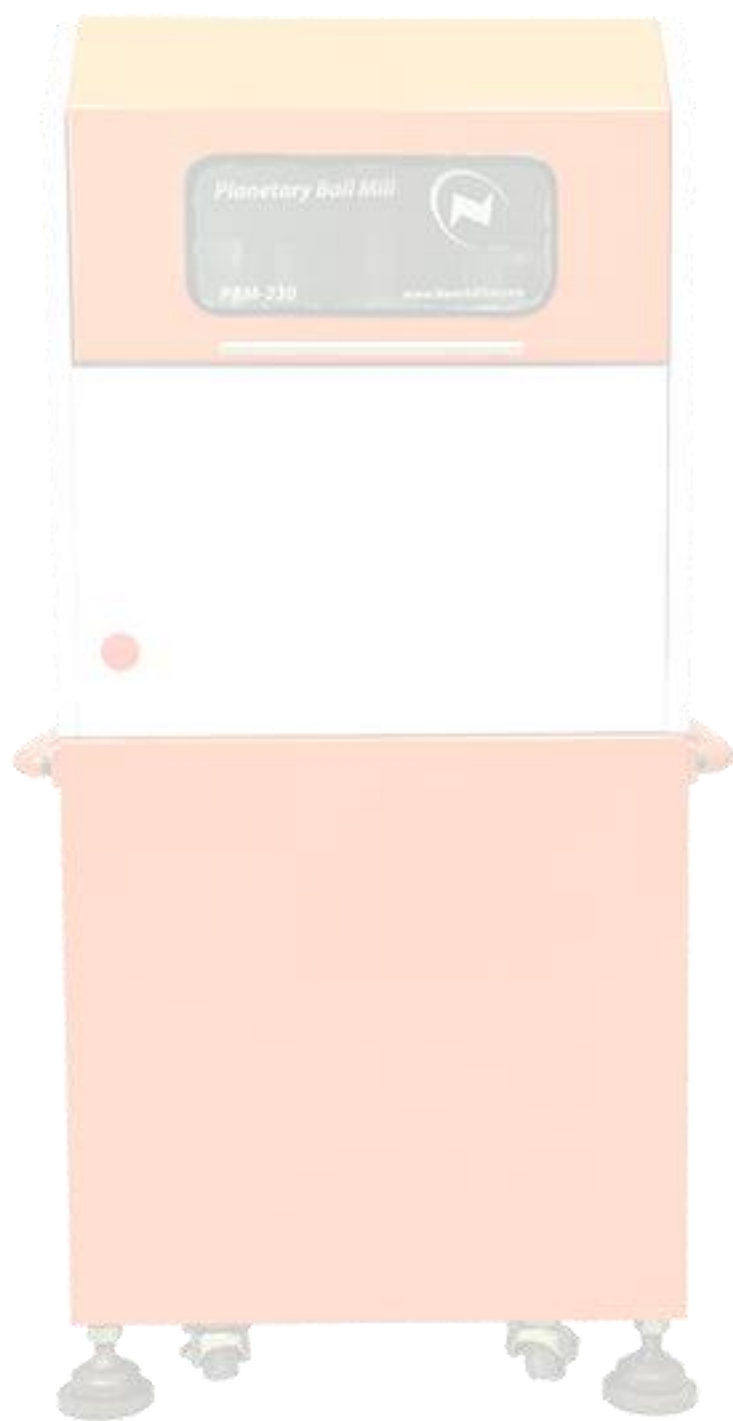
آسیا سیاره ای پر انرژی

**High Power Planetary Ball Mill  
PBM-230**

Designer & Manufacturer of Nano Lab Research Products



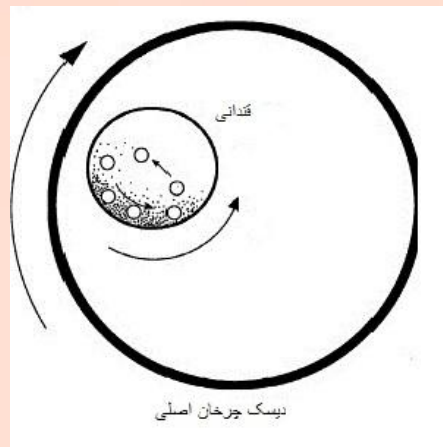
کاتالوگ



### ۱- معرفی آسیا سیاره ای پر انرژی

در روش آسیاکاری مکانیکی از آسیاهایی با مکانیزم عملکرد متفاوت مانند آسیاهای پروانه‌ای، سیاره‌ای، غلتشی، مغناطیسی و... استفاده می‌شود. آسیاهای سیاره‌ای به دلیل مکانیزم عملکردشان که فرآیند آسیاکاری را با انرژی بالا انجام می‌دهد برای تولید نانوذرات فلزی و سرامیکی گزینه مناسبی است. از این آسیا جهت انجام واکنش‌های مکانوشیمیایی در سنتز نانوساختارهای مختلف نیز می‌توان استفاده کرد.

دستگاه آسیا سیاره‌ای پرانرژی همانگونه که از نامش پیداست، از یک دیسک چرخان اصلی و دو قندانی چرخان که بر روی این دیسک و در خلاف جهت چرخش آن می‌چرخند (مانند حرکت سیاره‌ها در منظومه شمسی)، تشکیل شده است؛ بنابراین هرکدام از قندانی‌ها دارای یک حرکت انتقالی ناشی از چرخش دیسک اصلی و یک حرکت وضعی ناشی از چرخش محفظه‌های نگهدارنده قندانی‌ها هستند. دستگاه آسیا سیاره‌ای پرانرژی طراحی شده در شرکت نانو شات دارای سه موتور مجزا برای ایجاد حرکات وضعی و انتقالی است. تعدادی گلوله که جنس، اندازه، تعداد و توزیع اندازه‌ی آنها را می‌توان با توجه به شرایط کار انتخاب کرد، در داخل هر کدام از قندانی‌ها به فرآیند آسیا کاری کمک می‌کند.



شکل ۱- مکانیزم عملکرد دستگاه

طرز کار دستگاه بدین گونه است که ماده اولیه به صورت پودر درون قندانی‌ها ریخته می‌شود و با چرخش دیسک اصلی و قندانی‌ها، گلوله‌های موجود در داخل آنها به پودر، ضربه وارد می‌کنند (شکل ۱). در هر لحظه مقدار کمی از پودر مابین گلوله‌ها، و یا گلوله‌ها

و دیواره‌ی قندانی قرار گرفته و بسته به سرعت چرخش دیسک اصلی و قندانی‌ها، انرژی نسبتاً زیادی به آن وارد می‌شود که باعث شکستن برخی از پیوندها می‌شود. روند آسیاکاری می‌تواند ساعت‌ها ادامه داشته باشد تا ساختار مورد نظر به دست آید. زمان بهینه‌ی آسیاکاری، زمانی است که دو فرآیند خرد شدن و جوش سرد<sup>1</sup>، به تعادل برسند.

## ۲- اجزا دستگاه و ویژگی‌های منحصر به فرد آن نسبت به دستگاه‌های مشابه

برخلاف دستگاه‌های آسیا سیاره‌ای موجود، دستگاه حاضر با دارا بودن یک موتور برای چرخش دیسک اصلی، و یک موتور دیگر برای چرخاندن قندانی‌ها، این امکان را فراهم می‌کند که نسبت دور چرخش دیسک اصلی به دور چرخش قندانی‌ها به صورت دلخواه تعیین گردد؛ در صورتی که دستگاه‌های آسیا سیاره‌ای موجود، دارای یک موتور می‌باشند که دیسک اصلی را می‌چرخاند و نیروی آن توسط تسمه یا چرخ‌دنده یا گیره به قندانی‌ها نیز منتقل می‌شود، و بنابراین نسبت دور دیسک اصلی به قندانی‌ها، مقداری ثابت و غیر قابل تغییر است.

این دستگاه همچنین با استفاده از یک برنامه نرم افزاری، کنترل و برنامه‌ریزی می‌شود از امکانات نرم افزار کنترل، می‌توان به قابلیت ذخیره چند برنامه در حافظه آن، و تنظیم زمان روشن و خاموش شدن دستگاه به صورت دلخواه اشاره کرد.

از ویژگی‌های دیگر این سیستم می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

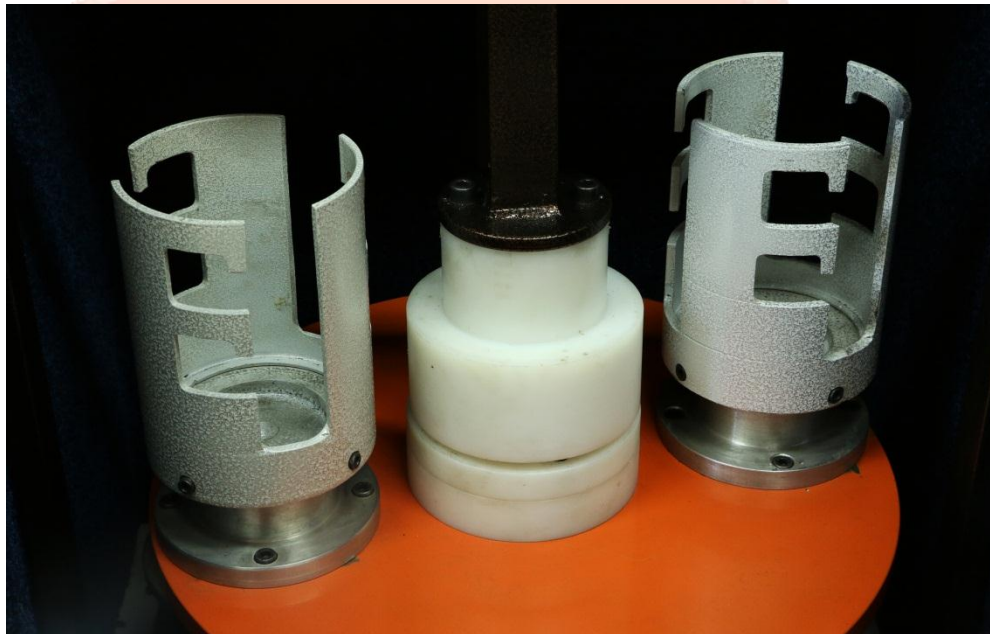
- دستگاه مورد نظر از نوع آسیا سیاره‌ای دو قندانی می‌باشد.
- دستگاه مورد نظر شامل جعبه گیربکس برای انتقال حرکت از موتور الکتریکی به قندانی‌ها می‌باشد. در واقع یک موتور برای حرکت صفحه اصلی و یک موتور برای حرکت دو قندانی می‌باشد. که استفاده از جعبه گیربکس سبب کاهش سر و صدا و طولانی تر شدن طول مدت سرویس دوره ای دستگاه می‌شود.
- مزیت منحصر به فرد این دستگاه نصب یک موتور جداگانه برای هر قندانی است که می‌توان برای حرکت سیاره ای و چرخش مرکزی به طور مستقل تعداد دور و سرعت را تنظیم کرد.
- قابلیت ویژه‌ی این دستگاه امکان استفاده از قندانی‌هایی با اشکال غیراستوانه‌ای بوده (در صورت سفارش) که این امر با تغییر صفحات نشیمن گاه و روبند قندانی‌ها متناسب با شکل قندانی امکان‌پذیر می‌باشد. این قابلیت این امکان را فراهم

<sup>1</sup> cold welding

می‌کند تا از قندانی‌های موجود در بازار و یا قندانی‌های ساخته شده در خارج کشور به عنوان مثال قندانی‌هایی از جنس زیرکونیا با اشکال مختلف برای عمل آسیاکاری استفاده شود.

- برای تامین ایمنی کاربر دستگاه، از میکرو سوئیچ قطع کننده‌ی جریان برق همزمان با باز شدن در دستگاه بهره گرفته شده است.

- کنترل کلیه‌ی مراحل آسیاکاری و قابلیت برنامه دهی توسط نرم افزار سیستم
- قابلیت تعبیه‌ی شیرهای ورود و خروج گازها به قندانی‌ها به منظور کنترل اتمسفر آسیاکاری
- کار با برق تکفاز ۲۲۰ ولت
- امکان کار با قندانی‌ها و گلوله‌های با جنس و ابعاد مختلف
- امکان آسیا کاری در شرایط خلاء و یا اتمسفر گاز های خاص
- امکان انجام فرآیندهای مکانوشیمیایی



### ۳- ایمنی دستگاه

برای تامین ایمنی کاربر دستگاه، از میکرو سوئیچ قطع کننده‌ی جریان برق همزمان با باز شدن در دستگاه بهره گرفته شده است. ضمناً برای کلیه‌ی سیم‌ها و قطعات برق‌رسانی به موتورهای متحرک و ثابت، محفظه‌هایی از جنس تفلن به منظور عایق سازی و ایمنی اپراتور دستگاه در نظر گرفته شده است. به منظور مهار کردن قندانی‌ها در مقابل شتاب دورانی و ضربه‌های ناشی از جرم موتورها و قندانی‌ها، از ۲ بلبرینگ به صورت موازی استفاده شده تا بتوان در دوره‌های بالا و برای کارکرد طولانی دستگاه استحکام مورد نظر را تامین و تضمین کنند. همچنین با ایجاد پله در قسمت پایین و در قندانی‌ها و جا افتادن آنها درون شیار تعبیه شده در صفحات روبند و نشیمنگاه قندانی‌ها، از هرگونه حرکت در جهت شعاعی و پرتاب شدن قندانی‌ها جلوگیری می‌شود.

نکته مهم هم وزن کردن دو قندانی هنگام استفاده از آنها است که برای تعادل سیستم هنگام چرخش بسیار کلیدی است.

### ۴- حمل و نقل دستگاه

برای حمل دستگاه در مکان‌های مختلف با توجه به کم شدن وزن دستگاه از دستگیره‌های دستگاه استفاده می‌شود.

به هنگام حمل و نقل دستگاه به نکات زیر توجه فرمایید:

- دستگاه باید به حالت عمودی حمل شود، لذا از خواباندن، یا وارونه کردن دستگاه خودداری فرمایید.
- مواظب باشید که هنگام حمل و نقل، دستگاه متحمل ضربه و تکان‌های شدید نشود.
- با توجه به حساسیت سیستم کنترل الکترونیکی، مواظب باشید که کمترین فشار یا خراشی به این قسمت وارد نشود.

### ۵- مکان قرار گرفتن دستگاه و تراز کردن آن

دستگاه باید در جایی صاف و عاری از بخار و رطوبت قرار بگیرد؛ و سیستم کنترل الکترونیکی، از تابش مستقیم آفتاب یا گرمای بیش از حد محافظت گردد.

پیچ پایه ها را بچرخانید تا همه پایه‌ها بر روی زمین یا میز قرار گرفته درغیراین صورت، دستگاه به هنگام کار کردن، بر روی چرخ-های خود حرکت خواهد کرد. پس از قرار گرفتن پایه‌ها مهره بالای این پایه‌ها را که برای قفل کرده آنها تعبیه شده کاملاً سفت کنید.

برای تراز کردن دستگاه نیز می‌توانید از پایه‌های دستگاه استفاده کنید؛ یک تراز بر روی دیسک اصلی دستگاه قرار دهید و با استفاده از پایه‌ها سعی کنید که دیسک اصلی را به صورت کاملاً افقی درآورید. اگر دیسک چرخان اصلی دستگاه به صورت افقی نچرخد، دستگاه تعادل لازم را نداشته و پس از مدتی محور اصلی و دیسک چرخان اصلی دستگاه تاب برمی‌دارد.

#### ۶- تمیزکاری قندانی‌ها و گلوله‌ها

باید تا حد امکان، هرگونه آلودگی ماکروسکوپی و میکروسکوپی قندانی‌ها و گلوله‌های داخل آنها، از بین برود؛ برای این منظور گلوله‌ها را در داخل قندانی‌ها قرار دهید، مقداری استون، اتانول، مایع ظرفشویی و آب مقطر به آن اضافه کنید، درب قندانی‌ها را بسته و آنها را بر روی دستگاه آسیا ببندید، و آسیا را با سرعت متوسط به مدت چند دقیقه به کار بیاورید تا قندانی‌ها و گلوله‌ها شسته شود؛ در صورت نیاز این عمل را تکرار کنید. در نهایت قندانی‌ها و گلوله‌ها را چندین بار با آب مقطر بشویید و آنها را با گاز ازت یا سشوار خشک کنید.

در صورتی که با انجام اعمال فوق، داخل قندانی‌ها به طور کامل تمیز نشود، یک لایه نازک از دیواره داخلی قندانی‌ها را تراشکاری نمایید تا سطح تمیز و صیقلی قندانی ظاهر شود؛ حال در صورت نیاز، عملیات شستشوی فوق را نیز انجام دهید.

#### ۷- تزریق گاز یا ایجاد خلا در داخل قندانی‌ها

در صورت نیاز به تزریق گاز یا ایجاد خلا در داخل قندانی، از قندانی‌های با درب‌های شیردار استفاده کنید. برای تزریق گاز گام‌های زیر را دنبال کنید:

- پودر و گلوله‌های مورد نظر را درون قندانی بریزید (در کلیه مراحل وزن کردن و ریختن پودر به داخل قندانی از ماسک استفاده کنید).
- از سالم بودن لاستیک قندانی و عدم نشت اتصالات، اطمینان حاصل نمایید.
- در خروجی شیر، از توری‌های فلزی استفاده کنید تا هنگام جریان گاز در داخل قندانی، پودر داخل آن، خارج نشود.

- درب قندانی را بر روی آن قرار دهید و آن را به وسیله پیچ‌های موجود، به بدنه قندانی ببندید، به گونه‌ای که درب قندانی بر روی آن کاملاً کیپ شده و هیچ گونه امکان ورود یا خروج گاز ممکن نباشد.
- هر دو شیر را باز کنید و گاز را با شار کم به یکی از شیرها وصل کنید تا از شیر دیگر خارج شود.
- در صورت سمی یا خفه کننده بودن گاز، خروجی گاز را با رعایت اصول ایمنی، به بیرون از محیط آزمایشگاه هدایت کنید.
- وقتی که از تخلیه هوای داخل قندانی اطمینان حاصل کردید، هر دو شیر را به طور همزمان ببندید تا گاز مورد نظر در محیط داخل قندانی محبوس شود.

برای ایجاد خلا در داخل قندانی، چهار گام ابتدایی مرحله قبلی را انجام داده و سپس گام‌های زیر را دنبال کنید:

- یکی از شیرها را باز و دیگری را بسته نگه دارید.
  - شیر باز را به پمپ خلا وصل کنید و هوای داخل آن را تخلیه نمایید.
  - پس از حصول خلا مورد نظر در داخل قندانی، شیر آن را ببندید.
- همچنین اگر در حین عمل آسیاکاری گازی در داخل قندانی تولید می شود که باید از آن خارج شود، از قندانی های با درب شیردار استفاده کنید. شیر قندانی را باز بگذارید و در خروجی شیر از توری فلزی استفاده نمایید.
- در صورتی که نیازی به تزریق گاز یا ایجاد خلا در داخل قندانی ندارید، از قندانی‌های با درب ساده استفاده کنید. گلوله‌ها و پودر مورد نظر را داخل قندانی ریخته درب آن را بگذارید و طبق دستورات بخش بعدی، قندانی‌ها را روی دستگاه سوار کنید.

#### ۸- بستن قندانی‌ها بر روی دستگاه

- توجه کنید که هر دو قندانی کاملاً هم وزن و هم‌اندازه باشند؛ در غیر این صورت، دستگاه در حین کار کردن تعادل لازم را نداشته و تکان خواهد خورد که در طولانی مدت باعث تاب برداشتن دیسک چرخان و محور اصلی خواهد شد.
  - نگهدارنده بالایی را بر روی قندانی قرار دهید و پیچ‌های بالایی را سفت کنید تا قندانی در جای خود کاملاً ثابت شود.
  - امتحان کنید که همه قطعات بسته شده بر روی دستگاه، کاملاً در جای خود ثابت بوده و امکان حرکت ندارند.
- پس از انجام کلیه مراحل قبلی، دوشاخه دستگاه را به برق وصل کنید و کلید اصلی را روشن کنید؛ با این کار، پروانه‌های خنک کننده و سیستم کنترل الکترونیکی لمسی دستگاه روشن شده و آماده گرفتن دستور می‌باشد.

قبل از به کار انداختن دستگاه نکات زیر را مد نظر داشته باشید:



- درب دستگاه را حتما ببندید.
- تمامی پیچ‌ها و اتصالات دیسک چرخان اصلی و محفظه‌های قندانی‌ها را بازرسی کنید و از سفت بودن آنها اطمینان حاصل نمایید. در غیر این صورت امکان دارد که در سرعت‌های چرخش بالا، قطعه‌ای از دستگاه، با سرعت زیادی از آن جدا شده و باعث آسیب رساندن به دستگاه یا صدمات جانی شود.

## ۹- پس از اتمام کار دستگاه

پس از اتمام کار دستگاه، کلید اصلی آن را خاموش کرده و پیچ‌های دیسک‌های بالایی نگهدارنده قندانی‌ها را باز کنید و قندانی‌ها را بردارید. در صورتی که قندانی‌ها خلا یا حاوی گاز باشند، شیر آنها را با رعایت نکات ایمنی باز کرده و سپس پیچ‌های درب قندانی را باز کنید (رعایت برخی نکات ایمنی هنگام کار با برخی مواد ضروری است زیرا برخی از پودرها (مانند آلومینیوم) پس از آسیاکاری و به هنگام باز کردن درب قندانی به صورت انفجاری با اکسیژن هوا واکنش می‌دهند و یا آتش می‌گیرند). گلوله‌ها را از داخل قندانی خارج کنید و پودر حاصل را در ظرف مخصوص نگهداری کنید و آن را از اکسیژن و بخار هوا محافظت کنید. پودر، پس از آسیا-کاری به دلیل کوچک‌تر شدن ابعاد ذرات آن، با باز کردن درب قندانی در فضا پخش شده و تنفس گرد آن می‌تواند برای سلامتی شما خطرناک باشد، لذا توصیه می‌کنیم که هنگام باز کردن درب قندانی و خالی کردن پودر، حتما از ماسک استفاده نمایید.

اگر از قندانی‌های تفلونی برای آسیاکاری استفاده کرده‌اید، می‌توانید پودر حاصل را با عملیات حرارتی تا دمای  $400^{\circ}\text{C}$  حرارت دهید تا آلودگی ناشی از سایش قندانی‌ها، حذف گردد.

## ۱۰- پارامترهای مؤثر در آلیاژ سازی مکانیکی

آلیاژسازی مکانیکی یک فرآیند پیچیده است که شامل بهینه‌سازی شماری از متغیرهای فرآیند برای رسیدن به ساختار یا خصوصیات مطلوب محصول می‌باشد.

برخی از متغیرهایی که اثر مهمی روی ساختمان نهایی پودر آسیا شده دارند عبارتند از: نوع آسیا؛ محفظه آسیاکاری؛ انرژی و سرعت آسیاکاری؛ زمان آسیاکاری؛ نوع، اندازه و توزیع اندازه گلوله‌های آسیاکاری؛ نسبت وزنی گلوله به پودر ( $BPR^2$ )؛ میزان پر کردن محفظه؛ اتمسفر آسیاکاری؛ عامل کنترل فرآیند ( $PCA^3$ )؛ و دمای آسیاکاری.

متغیرهای فرآیند به طور کامل مستقل از یکدیگر نیستند. برای مثال؛ زمان آسیاکاری وابسته به نوع آسیا، اندازه گلوله‌ها، دمای آسیاکاری، BPR و غیره می‌باشد. علاوه بر این، انرژی بیشتر می‌تواند بوسیله افزایش BPR برای یک زمان طولانی به پودر آسیا شده داده شود. در ادامه به بررسی میزان و نحوه‌ی تاثیر گذاری این عوامل بر مشخصات محصول نهایی اشاره می‌شود.

#### ۱-۱۰- محفظه‌ی آسیاکاری

انتخاب جنس محفظه اهمیت بسیار زیادی دارد. زیرا در اثر برخورد گلوله‌ها با جداره‌ی داخلی ظرف، امکان سایش و فرسایش جداره و ورود آلودگی به مخلوط پودر وجود دارد. این مسأله منجر به آلودگی و یا تغییر ترکیب شیمیایی پودر می‌شود. جنس محفظه به طور معمول از فولادهای سخت کاری شده، فولادهای تمپر شده (حرارت دیده)، فولاد زنگ نزن، آلومینا، تفلون ضد سایش، زیرکونیا و یا کاربید تنگستن است..

البته شکل محفظه هم مهم به نظر می‌رسد. مثلاً کف محفظه در مورد آسیا SPEX8000 هم به صورت صاف و هم به صورت انحنادار طراحی شده است. آلیاژسازی در نوع صاف با نرخ بالاتری نسبت به نوع انحنادار انجام می‌شود. به عنوان مثال زمان لازم برای رسیدن به یک شدت ثابت از پیک (۱۱۱) در الگوی پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) برای مخلوط پودری Si-Ge در محفظه‌ی با کف صاف ۹ ساعت و برای نوع انحنادار در حدود ۱۵ ساعت گزارش شده است. علاوه بر این وجود انحنا باعث ممانعت از ایجاد منطقه‌ی مرده در گوشه‌های محفظه شده و تقریباً تمام پودر موجود در آن تحت آسیا کاری قرار می‌گیرد.

#### ۱-۲- سرعت آسیاکاری

به طور کلی با افزایش سرعت چرخش آسیا، انرژی منتقل شده به پودر افزایش می‌یابد، اما بسته به نوع آسیا محدودیت هایی در انتخاب حداکثر سرعت وجود دارد. برای مثال چرخش در آسیاهای افقی با سرعتی بیش از حد بحرانی باعث می‌شود که گلوله‌ها به دیواره‌ی محفظه چسبیده و از انتقال انرژی گلوله‌ها به پودر جلوگیری شود. لذا بایستی انتخاب حداکثر سرعت چرخش در حدی باشد که از یک طرف کمتر از این مقدار بحرانی بوده و از طرف دیگر گلوله‌ها از بالاترین ارتفاع ممکن سقوط کرده تا حداکثر انرژی برخورد تولید شود.

محدودیت دیگر استفاده از سرعت بالا، افزایش دمای محفظه است. البته این مسأله در مواردی که جهت همگن سازی و یا آلیاژسازی به نفوذ نیاز است، مفید به نظر می‌رسد. از طرف دیگر با افزایش دما امکان آلودگی پودر نیز بیشتر می‌شود. همچنین افزایش دما باعث تسریع فرآیندهای تغییر فاز شده و در نتیجه تجزیه‌ی محلول‌های جامد فوق اشباع یا دیگر فازهای شبه پایدار را به دنبال دارد. گزارش شده است که به کارگیری سرعت بالا در آسیاکاری منجر به افزایش اندازه‌ی بلوری پودر نهایی شده و مقدار کرنش داخلی بلورها به علت پدیده‌ی تبلور مجدد کاهش می‌یابد.

با بررسی فرآیند آلیاژسازی مکانیکی در آسیا سیاره‌ای مشخص شد که آسیاکاری شامل دو مکانیزم غلتیدن نسبی همراه با اصطکاک بین گلوله‌ها و جداری ظرف و یا برخورد بین گلوله‌ها و بین گلوله‌ها و جداری ظرف است. نسبت میزان غلتیدن و اصطکاک به میزان برخورد، تابعی از سرعت چرخش است. به طوری که در سرعت‌های پایین مکانیزم غلتیدن و اصطکاک غالب بوده و در این حالت پهن شدگی ذرات اتفاق می‌افتد. در حالی که در سرعت‌های بالا، برخورد مکانیزم غالب آسیاکاری است. در این حالت ذرات پودر به آسانی به یکدیگر جوش سرد خورده و فرآیند آلیاژسازی مکانیکی به سرعت انجام می‌شود. البته هنگام آلیاژسازی مکانیکی مواد نرم، امکان چسبیدن پودر به گلوله‌ها و جداره نیز وجود دارد؛ که استفاده از سرعت‌های متفاوت (آسیا کاری مرحله‌ای) باعث کاهش جوش سرد و خردایش ذرات می‌شود.

### ۱۰-۳- زمان آسیاکاری

زمان آسیا کاری از پارامترهای مهم آلیاژسازی مکانیکی محسوب می‌شود. اگر مخلوط پودری بیش از حد مورد نیاز، آسیا شود از یک طرف میزان آلودگی افزایش یافته و از طرف دیگر امکان تشکیل فازهای ناخواسته وجود دارد. بنابراین بهتر است که زمان آسیاکاری از زمان مورد نیاز طولانی‌تر نشود. معمولاً زمان بهینه مربوط به حالتی است که بین دو پدیده‌ی شکست و جوش سرد حالتی پایا پدید آمده و یا ترکیب نهایی مورد نظر تشکیل شده باشد. این زمان خود به نوع آسیا مورد استفاده، شدت آسیا کاری، نسبت گلوله به پودر و دمای آسیا کاری وابسته است.

### ۱۰-۴- جنس، ابعاد و نحوه‌ی توزیع گلوله‌ها

جنس گلوله‌ها، مشابه جنس محفظه بوده و به طور معمول از فولاد سخت کاری شده، فولاد تمپر شده (حرارت دیده)، فولاد زنگ نزن، آلومینا و زیرکونیا است. البته چگالی گلوله‌ها باید به گونه‌ای باشد که حین برخورد گلوله‌ها به ذرات پودر انرژی کافی به آنها منتقل شود. همانطور که در مورد محفظه نیز ذکر شد در کاربردهای خاص ممکن است جنس گلوله‌ها از مواد ویژه انتخاب شود. اما به طور معمول انتخاب گلوله و محفظه از یک جنس جهت کاهش آلودگی ناشی از سایش مناسب‌تر است. ابعاد گلوله‌ها نیز بر راندمان فرآیند آسیا کاری مؤثر است. به طور کلی انتخاب گلوله‌ی بزرگ و یا با چگالی بیشتر مناسب‌تر است. زیرا با افزایش وزن گلوله‌ها میزان انرژی منتقل شده به پودر افزایش می‌یابد. در همین راستا دیده شده‌است که ترکیب نهایی پودر به ابعاد گلوله بستگی دارد. مثلاً وقتی برای آسیا کاری مخلوط پودری Ti-Al از گلوله‌هایی به قطر ۱۵ میلی‌متر استفاده می‌شود، محصول به صورت محلول جامد آلومینیوم در تیتانیوم است. اما استفاده از گلوله‌هایی با قطر ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر سبب تشکیل مخلوطی از تیتانیوم و آلومینیوم شده که با افزایش زمان آسیا کاری تغییری نمی‌کند.

بسیاری از محققین در آزمایش‌های خود از گلوله‌های با اندازه‌ی یکسان استفاده می‌کنند، اما استفاده از گلوله‌های با قطرهای مختلف نیز گزارش شده است. پیش‌بینی می‌شود که استفاده از گلوله با قطرهای مختلف افزایش انرژی ناشی از برخورد را به دنبال دارد. پدیده‌ی رایج حین مراحل اولیه‌ی آسیا کاری امکان چسبیدن پودر به سطح گلوله‌ها و ایجاد پوشش روی آنها از طریق جوش سرد است. این مسأله مزایایی به دنبال دارد، به طور مثال از سایش بیشتر گلوله‌ها جلوگیری کرده و لذا آلودگی پودر را کاهش می‌دهد. البته ضخامت این لایه بایستی کم باشد تا از تشکیل محصول نهایی غیر یکنواخت جلوگیری شود. از طرف دیگر عیب ناشی از این پدیده مشکل بودن جداسازی ذرات پودر بوده که باعث کاهش حجم نهایی پودر می‌شود. بر اساس مطالعات انجام شده در صورت استفاده از گلوله‌های با ابعاد مختلف به علت فراهم شدن نیروی برشی لازم جهت جداسازی پودر از سطح گلوله‌ها میزان جوش سرد و چسبیدن پودر روی سطح گلوله‌ها کاهش می‌یابد.

#### ۱۰-۵- نسبت وزنی گلوله به پودر

نسبت وزنی گلوله به پودر ( $BPR^4$ ) که برخی به آن نسبت شارژ ( $CR^5$ ) نیز می‌گویند از جمله عوامل مهم در فرآیند آسیاکاری است. دیده شده است که این نسبت از ۱ به ۱ تا ۲۲۰ به ۱ تغییر می‌کند. معمولاً هنگام استفاده از آسیاهای با ظرفیت کمتر مانند SPEX8000 از نسبت ۱۰ به ۱ استفاده می‌شود، در حالی که در آسیاهای با ظرفیت بالاتر، مانند آسیاهای ساینده مقدار  $BPR$  به حدود ۵۰ به ۱ و یا حتی ۱۰۰ به ۱ نیز می‌رسد. در مورد آسیاهای سیاره‌ای مقدار این نسبت معمولاً ۲۰ به ۱ انتخاب می‌شود. اهمیت مقدار  $BPR$  به علت تأثیر آن بر زمان لازم برای تشکیل فاز مشخص است که با افزایش مقدار  $BPR$  زمان لازم برای انجام فرآیند کاهش می‌یابد.

#### ۱۰-۶- میزان پر شدن محفظه

از آنجا که آلیاژسازی در اثر نیروی حاصل از برخورد گلوله‌ها با ذرات صورت می‌گیرد، بایستی فضای کافی برای حرکت آزاد گلوله‌ها و ذرات پودر در محفظه‌ی آسیا وجود داشته باشد. بنابراین میزان پر شدن ظرف با پودر و گلوله‌ها مهم است. اگر تعداد گلوله‌ها و مقدار پودر کم باشد، نرخ تولید هم بسیار کم خواهد بود. از طرف دیگر با افزایش میزان پر شدن محفظه، فضای کافی جهت حرکت گلوله‌ها وجود نداشته و لذا انرژی ضربه‌ای کمتری توسط گلوله‌ها به ذرات پودر منتقل می‌شود. از اینرو معمولاً ۵۰ درصد حجم ظرف را برای حرکت آزاد گلوله‌ها در نظر می‌گیرند.

---

4- Ball to Powder weight Ratio

5- Charge Ratio

## ۱۰-۷- اتمسفر آسیا کاری

مهم‌ترین اثر اتمسفر آسیا کاری واکنش پذیری و یا ایجاد آلودگی پودر است. بنابراین جهت کاهش میزان آلودگی پودر، آسیا کاری تحت شرایط خلاء و یا گازهای خنثی مانند آرگون و هلیوم انجام می‌گیرد. همچنین اتمسفر نیتروژن نیز از اکسیداسیون جلوگیری کرده، اما استفاده از آن به علت واکنش‌پذیری با مخلوط پودری چندان مطلوب نیست، مگر در مواردی که نیاز به تولید ترکیبات نیتریدی می‌باشد. به طور مثال این گاز برای آسیا کاری پودر فلزات فعال مانند تیتانیوم و آلیاژهای آن کاربرد ندارد. در بیشتر موارد از آرگون با خلوص بالا به عنوان اتمسفر آسیا کاری جهت جلوگیری از اکسیداسیون و یا آلودگی پودر استفاده می‌شود. در برخی موارد نیز اتمسفرهای خاص کاربرد دارند. به عنوان مثال می‌توان به استفاده از اتمسفر نیتروژن و گاز آمونیاک جهت تولید نیتrideها و هیدروژن جهت تولید هیدrideها اشاره نمود. همچنین از اتمسفر هوا برای تولید پودرهای اکسیدی و نیتریدی استفاده شده‌است، البته در صورتی که مخلوط پودری قابلیت واکنش با هوا را داشته باشد.

معمولاً نوع اتمسفر بر ماهیت محصول نهایی مؤثر است. به عنوان مثال حین آسیاکاری مخلوط پودر Cr-Fe تحت اتمسفر آرگون، فاز غیر بلوری تشکیل شده قله‌های مربوط به کروم در الگوی XRD مشاهده می‌شوند. اما با آسیا همین مخلوط پودری در محیط حاوی آرگون و نیتروژن، محصول کاملاً غیر بلوری تشکیل می‌شود.

## ۱۰-۸- عوامل کنترل کننده‌ی فرآیند

در آلیاژسازی مکانیکی دو پدیده‌ی جوش سرد و شکست ذرات پودر، تحت تأثیر برخوردهای با انرژی بالا تکرار می‌شوند. طی این فرآیند به طور مداوم ذرات پودر حاوی سطوح تمیز در تماس با یکدیگر قرار گرفته و فاصله‌ی نفوذی کاهش می‌یابد. شرایط اصلی برای فرآیند آلیاژسازی مکانیکی با راندمان بالا در صورت دستیابی تعادل بین جوش سرد و شکست به دست می‌آید. با این وجود در اغلب موارد (حین استفاده از مواد نرم) شرایط تعادلی مذکور به تنهایی با فرآیند آسیا کاری قابل دستیابی نیست. در این موارد جوش سرد بین خود ذرات (رشد ذرات بر اثر آگلومره شدن) و بین ذرات پودری و اجزای آسیا (گلوله و محفظه) یک مشکل جدی محسوب می‌شود. میزان جوش سرد به انعطاف پذیری و جوش پذیری ذرات وابسته است. جوش خوردن بیش از حد ذرات از تأثیر پدیده‌ی شکست می‌کاهد. بنابراین تعادل بحرانی بین جوش سرد و شکست که برای کارایی مناسب فرآیند لازم است، به دست نمی‌آید.

به طور کلی از دو روش برای کاهش تمایل به جوش سرد بیش از اندازه و ترغیب پدیده‌ی شکست استفاده می‌شود. روش اول آن است که که سطح ذرات تغییر شکل شده را به وسیله مواد آلی مناسب اصلاح نمود، تا از تماس سطوح تمیز ذرات فلز با یکدیگر

(شرط لازم برای جوش سرد) جلوگیری شود. روش دوم آن است که نوع تغییر شکل ذرات پودری به نحوی اصلاح شود تا پیش از آنکه در اثر کرنش‌ها، فشاری زیاد به حالت صفحه‌ای درآمده و جوش بخورند، شکست صورت گیرد. این روش به آسیا کاری تبریدی معروف است. از دو روش بالا، روش اول کاربرد بیشتری دارد. عوامل سطحی و روان کار به عنوان عوامل کنترل کننده‌ی فرآیند شناخته شده و اغلب به منظور خنثی سازی نیروی محرکه‌ی جوش سرد حین آلیاژسازی مکانیکی استفاده می‌شوند. با جذب این عوامل روی سطح ذرات به علت کاهش تنش سطحی مواد جامد، از جوش سرد بیش از حد و آگلومره شدن ممانعت می‌شود. از آنجا که انرژی لازم برای آسیا کاری تابعی از تغییر شکل پلاستیک ذرات و حاصل ضرب سطح جدید ایجاد شده در تنش سطحی است، بنابراین کاهش در تنش سطحی باعث ریزش ذرات پودر و کاهش زمان آسیاکاری می‌گردد. از اینرو استفاده از عوامل کنترل کننده‌ی فرآیند برای دستیابی به محصولات ریزتر در مورد برخی مواد ضروری به نظر می‌رسد.

این عوامل به صورت جامد، مایع و یا گاز هستند. انتخاب آنها نیز به نوع پودر و خواص محصول نهایی بستگی دارد. نوع این عوامل حین آسیا کاری، اندازه‌ی ذرات و درصد بازیابی محصول پودری به دست آمده را تعیین می‌کند. اگر درصد بازیابی پودر بالا باشد به مفهوم اثر گذار بودن عامل کنترل کننده‌ی فرآیند است. در غیر این صورت نوع و یا مقدار عامل کنترل کننده به طور مناسب انتخاب شده است. تأثیرگذاری عوامل کنترل کننده به واکنش پذیری آن با فلزی که آسیا شده بستگی دارد.

انتخاب عامل کنترل کننده‌ی فرآیند بایستی به نحوی باشد که هیچ واکنشی بین ذرات پودر و عامل کنترل کننده صورت نگیرد. به همین علت استفاده از ترکیبات آلی پایدار مناسب تر است. از طرف دیگر عامل کنترل کننده بایستی قابلیت تجزیه در دماهای نسبتاً پایین را پس از تکمیل فرآیند داشته باشد. به طور کلی انتخاب مقدار عامل کنترل کننده به سه پارامتر قابلیت جوش سرد ذرات، پایداری حرارتی و شیمیایی عامل کنترل کننده‌ی فرآیند، مقدار پودر، ابعاد محفظه و تعداد گلوله‌های مورد استفاده وابسته است.

## ۱۰-۹-دمای آسیاکاری

دمای آسیاکاری از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ترکیب محصول فرآیند آلیاژسازی مکانیکی است. از آنجا که فرآیند نفوذ، مؤثر بر تشکیل محصول نهایی بین فلزی و یا غیر بلوری با ساختار نانومتری، خود متأثر از دماست، در تحقیقات انجام شده در این زمینه اثر دمای آسیا کاری بر محدوده‌ی حلالیت در حالت جامد یا تشکیل فازهای با ساختار نانومتری بررسی شده است. حین تشکیل ترکیبات با ساختار نانومتری با افزایش دما میزان کرنش کمتر و اندازه‌ی دانه‌ها بزرگ‌تر می‌شود.

در مورد تأثیر دمای آسیاکاری بر تشکیل فاز غیر بلوری گزارش‌های ضد و نقیضی وجود دارد. مثلاً از آسیا مخلوط پودر Cu-37%Ag در دمای اتاق، مخلوطی از فازهای آمورف و بلوری به دست می‌آید در حالیکه با آسیاکاری پودر در دمای ۲۰۰ درجه

سانتی‌گراد، تنها یک محلول جامد  $Cu-8\%Ag$  حاصل می‌شود. کخ و همکارانش کاهش سینتیک آمورف‌سازی را با دما در طول آسیاکاری  $Ni-Ti$  گزارش کردند. آنها نشان دادند که آمورف‌سازی در نیتروژن مایع ۲ ساعت وقت می‌گیرد در حالیکه در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۱۸ ساعت زمان نیاز است. در مورد مخلوط پودری  $Ni-Zr$  وقتی پودر در نیتروژن مایع به مدت ۱۵ ساعت آسیا گردید هیچ‌گونه فاز آمورفی مشاهده نشد. از طرف دیگر در همان دوره زمانی در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به طور کامل منجر به تولید فاز آمورف گردید. در دمای اتاق نیز فاز آمورف کمی تولید شد. غیر بلوری شدن حین آلیاژسازی مکانیکی شامل تشکیل زوج‌های نفوذی در حد میکرومتری از مواد اولیه و به دنبال آن واکنش-های غیر بلوری شدن در حالت جامد است. به طور کلی تحقیقات صورت گرفته به منظور بررسی اثر دما و تغییر دمای آسیاکاری بسیار محدود است. مثلاً در برخی مواد از نیتروژن مایع برای کاهش دما و یا از روش الکتریکی برای گرم کردن محیط آسیا کاری استفاده می‌شود.

۱۱- نرم افزار سیستم

**Ball Mill Controller** نام نرم افزاری است که شما بوسیله آن می‌توانید این سیستم را کنترل کنید.



شکل ۲- صفحه اصلی نرم افزار

پس از اجرای برنامه پنجره ای مشابه تصویر شکل ۱ برای شما نمایان می‌شود که در ادامه به قابلیت های آن اشاره خواهیم کرد:



شکل ۳

منوی شماره ۱: شامل محصولات دیگر شرکت می باشد که با کلیک بر روی آن دیگر محصولات شرکت معرفی می گردد.

منوی شماره ۲: کلید هدایت به سایت اینترنتی شرکت می باشد.

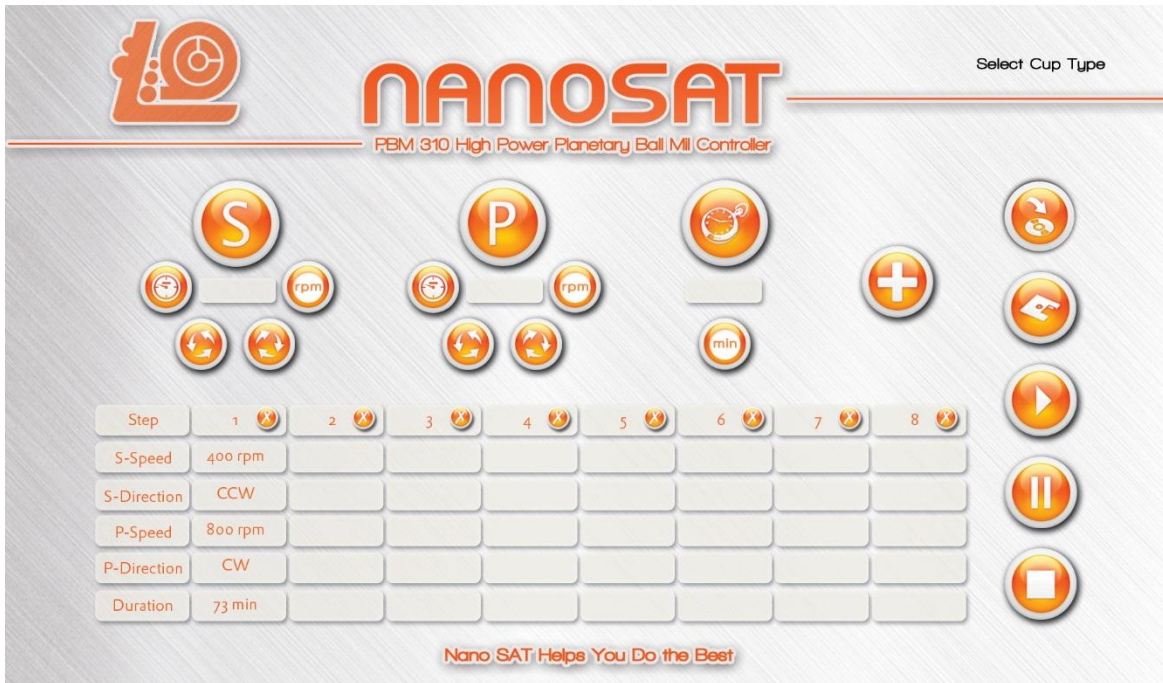
منوی شماره ۳: از طریق این منو به صفحه تنظیمات دستگاه رفته که تصویر و توضیحات آن در ذیل (شکل ۴) آورده شده است.

منوی شماره ۴: مربوط به معرفی شرکت می باشد.

منوی شماره ۵: از طریق این منو می توان با شرکت در تماس بود

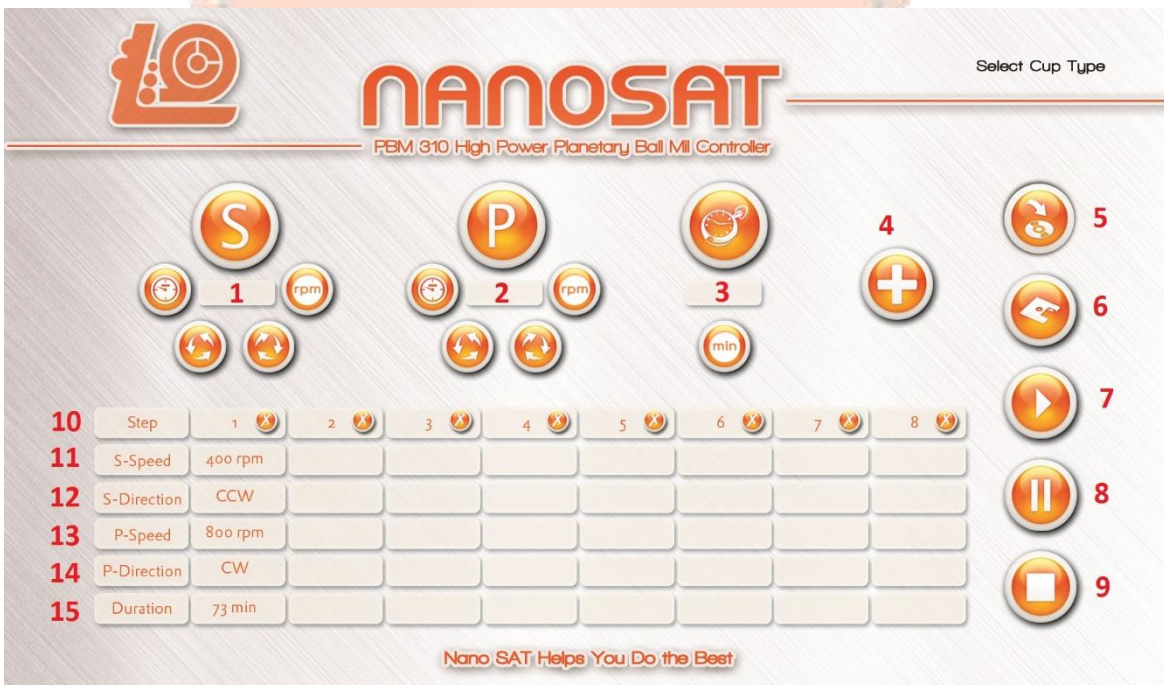
منوی شماره ۶: راهنمای کاربری کار با دستگاه و نرم افزار می باشد.





شکل ۴- منوی تنظیمات برای راه اندازی دستگاه

شکل ۴ تصویر منوی تنظیمات دستگاه می باشد که در ادامه با توجه به شکل ۵ به توضیح قسمت های مختلف آن می پردازیم



شکل ۵

- ۱- این قسمت مربوط به تنظیم مقدار سرعت صفحه اصلی (محور اصلی) می باشد. سرعت بر حسب RPM می باشد که جهت چرخش نیز از طریق این منو قابل انتخاب می باشد.
- ۲- این قسمت مربوط به تنظیم مقدار سرعت قندانی ها به دور خود می باشد. سرعت بر حسب RPM می باشد که جهت چرخش نیز از طریق این منو قابل انتخاب می باشد.
- ۳- در این قسمت زمان انجام برنامه بر حسب دقیقه قابل تنظیم می باشد.
- ۴- پس از تکمیل منوهای های ۱، ۲ و ۳ بوسیله این کلید تنظیمات انجام شده ذخیره می شود که این تنظیمات در جدول ذیل آن قابل مشاهده می باشد. که این تنظیمات در مرحله های مختلف قابل تنظیم است که این مراحل پشت سر هم ابل اجرا می باشند.
- ۵- از طریق این منو تنظیمات انجام شده قابل ذخیره می باشد.
- ۶- از طریق این منو تنظیمات ذخیره شده در بخش ۵ قابل بازخوانی است.
- ۷- بوسیله این دکمه تنظیمات انجام شده که در جدول برنامه قابل مشاهده است اجرا می شود.
- ۸- بوسیله این دکمه برنامه در حال اجرا متوقف می شود که با کلیک مجدد بر روی دکمه استارت ادامه برنامه اجرا می شود.
- ۹- بوسیله این دکمه برنامه در حال اجرا متوقف می شود که در صورت اجرای مجدد برنامه با دکمه استارت برنامه از اول شروع به کار می کند.
- ۱۰- شماره مرحله های برنامه قابل اجرا می باشد که با کلیک بر روی ضربدر کنار شماره مرحله، تنظیمات آن مرحله حذف می شود.
- ۱۱- سرعت محور اصلی برای هر مرحله می باشد که از طریق منوی ۱ تنظیم شده است.
- ۱۲- جهت چرخش محور اصلی می باشد.
- ۱۳- سرعت چرخش قندانی ها برای هر مرحله می باشد که از طریق منوی ۲ تنظیم شده است.
- ۱۴- جهت چرخش قندانی می باشد که از طریق منو ۲ تنظیم شده است.
- ۱۵- زمان تنظیم شده برای هر مرحله را نشان می دهد.

