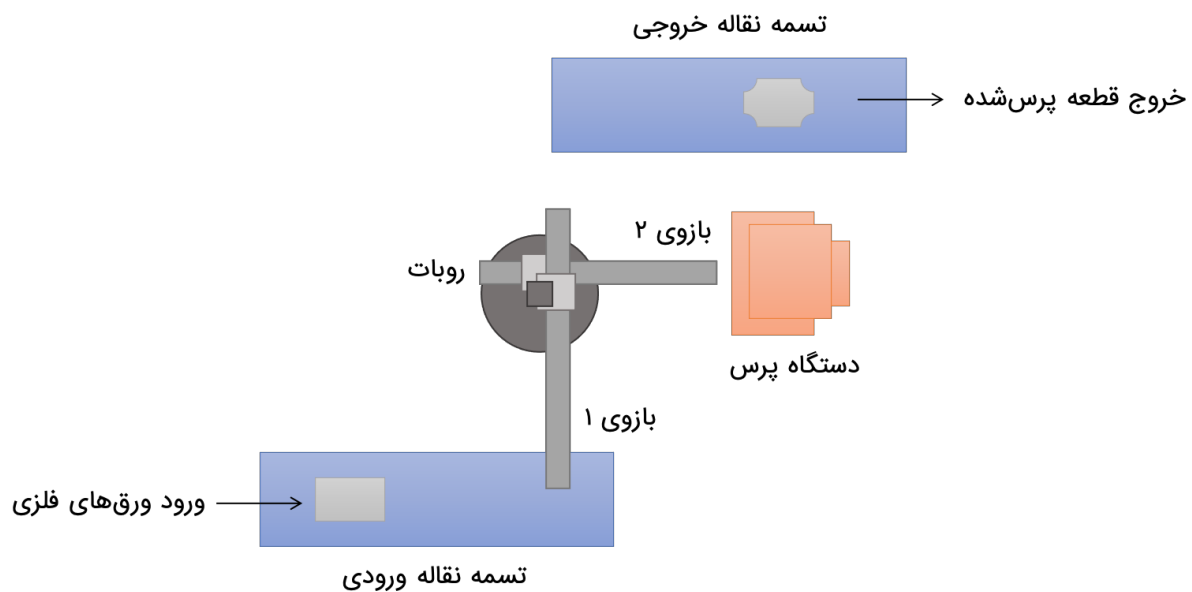




## مدل سازی سیستم صنعتی

### شرح مسئله

در این پروژه، یک سیستم صنعتی ساده را که متشکل از یک روبات و یک دستگاه پرس است را مدل سازی و درستی یابی خواهید کرد<sup>1</sup>. شمای کلی این سیستم (از بالا) در شکل ۱ نمایش داده شده است.



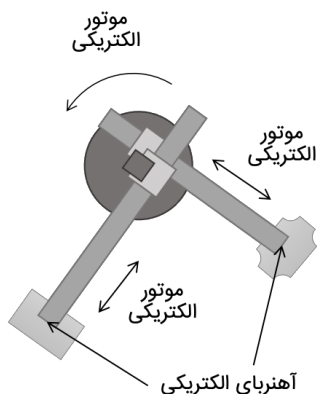
شکل ۱ - شمای سیستم متشکل از تسمه های نقاله، روبات و پرس از نمای بالا

در این سیستم، به طور مستمر ورق های فلزی در ابتدای تسمه نقاله ورودی قرار می گیرند و به سمت روبات حرکت می کنند. وقتی یک ورق در دسترس بازوی ۱ روبات قرار می گیرد، روبات آن را برمی دارد و با دوران آن را در دستگاه پرس قرار می دهد. بعد از این که پرس انجام شد، بازوی ۲ روبات قطعه پرس شده را برمی دارد و روی تسمه نقاله خروجی قرار می دهد که قطعه را از انتهای سمت راست خارج می کند.

### عملکرد روبات

روبات این سیستم دو بازو دارد که می توانند توسط موتور الکتریکی بلند یا کوتاه شوند (شکل ۲). همچنین روبات می تواند حول محور اصلی خود دوران نماید. انتهای هر یک از دو بازو نیز مجهز به یک آهنربای الکتریکی است که برای برداشتن ورق و قطعه پرس شده استفاده می شوند.

<sup>1</sup> این مسئله نسخه ساده شده ای از مسئله طرح شده در مرجع زیر است:



شکل ۲ - نمای روبات از بالا

استفاده از دو بازو برای روبات به خاطر افزایش بهره‌وری عملکرد است. به این ترتیب، کارکرد روبات طبق قدم‌های زیر صورت می‌گیرد. فرض کنید زاویه روبات در ابتدا طوری تنظیم شده که می‌تواند ورق ورودی را بردارد. همچنین فرض می‌شود هنگام دوران بازوهای روبات به اندازه ایمن کوتاه می‌شوند تا به پرس برخورد نکنند.

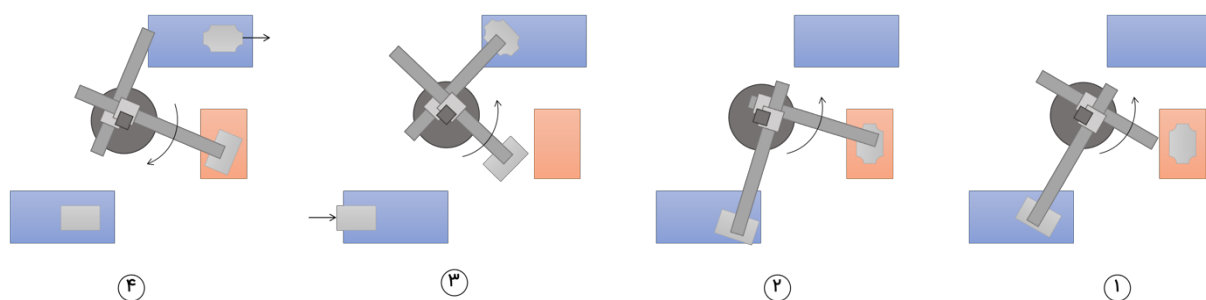
۱. بازوی ۱ بلند می‌شود تا به مکان مناسب برای برداشتن ورق برسد و ورق را بر می‌دارد. (موقعیت ۱ در شکل ۳)

۲. روبات پادساعت‌گرد دوران می‌کند تا بازوی ۲ در برابر پرس قرار بگیرد. بازوی ۲ بلند می‌شود تا به داخل پرس برسد و قطعه پرس‌شده را برمی‌دارد. (موقعیت ۲ در شکل ۳)

۳. روبات پادساعت‌گرد دوران می‌کند تا بازوی ۲ در برابر تسمه خروجی قرار بگیرد. بازوی ۲ بلند می‌شود و قطعه را روی تسمه قرار می‌دهد. (موقعیت ۳ در شکل ۳)

۴. روبات پادساعت‌گرد دوران می‌کند تا بازوی ۱ در برابر پرس قرار بگیرد. بازوی ۱ بلند می‌شود تا به داخل پرس برسد و قطعه را داخل پرس قرار می‌دهد. (موقعیت ۴ در شکل ۳)

در نهایت، روبات ساعت‌گرد دوران می‌کند تا بازوی ۱ به زاویه مناسب برسد (بازگشت به قدم اول).

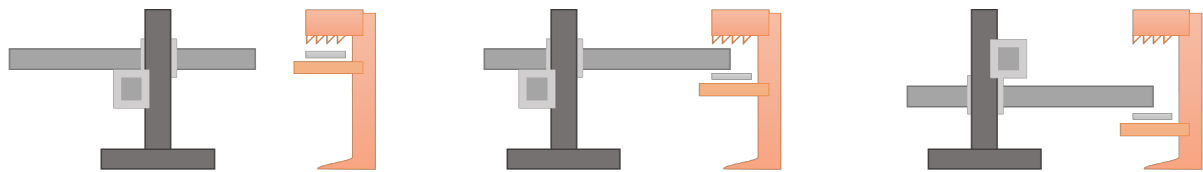


شکل ۳ - موقعیت‌های مختلف در عملکرد روبات

## عملکرد دستگاه پرس

کار این دستگاه پرس کردن ورق‌های ورودی و تولید قطعه مورد نظر است. این دستگاه دو صفحه افقی دارد که صفحه پایینی به طور عمودی حرکت می‌کند (شکل ۴). برای پرس کردن، صفحه پایینی به صفحه بالایی فشرده می‌شود. با توجه به این که دو بازوی روبات در دو ارتفاع متفاوت قرار دارند، صفحه پایینی روبات در سه موقعیت قرار می‌گیرد. در موقعیت پایینی، پرس توسط بازوی ۲ روبات تخلیه می‌شود. در موقعیت وسط، روبات توسط بازوی ۱ پر می‌شود و در موقعیت بالا نیز عمل پرس صورت می‌گیرد. کارکرد این دستگاه طبق روال زیر به صورت تکراری انجام می‌شود.

۱. دستگاه در موقعیت پایین باز می‌شود و صبر می‌کند تا بازوی ۲ قطعه را بردارد و فضای دستگاه را ترک کند.
۲. دستگاه در موقعیت وسط قرار می‌گیرد و صبر می‌کند تا بازوی ۱ ورق را در دستگاه بگذارد و دستگاه را ترک کند.
۳. دستگاه بسته می‌شود و عمل پرس انجام می‌شود.



① بازوی ۲ دستگاه را خالی می‌کند      ② بازوی ۱ دستگاه را پر می‌کند.      ③ دستگاه عمل پرس را انجام می‌دهد

شکل ۴ - موقعیت‌های مختلف دستگاه پرس

## عملکرد تسمه‌های نقاله

تسمه نقاله ورودی وظیفه منتقل کردن ورق‌های فلزی به داخل سیستم را به عهده دارند. این تسمه مجهز به یک سنسور است که در انتهای آن نصب شده و می‌تواند تشخیص دهد که یک ورق در محدوده انتهایی (محدوده قابل دسترس برای روبات) قرار دارد یا خیر. حرکت تسمه توسط یک موتور الکتریکی صورت می‌گیرد که می‌توان آن را روشن یا خاموش کرد. برای مدل‌سازی فرض کنید منبعی بی‌نهایت و تا حد لازم سریع برای پر کردن تسمه وجود دارد که با دریافت فرمان مشخصی یک ورق جدید روی تسمه قرار می‌دهد.

عملکرد تسمه نقاله خروجی نیز تا حد زیادی مشابه است. یک سنسور وجود قطعه در ابتدای آن را تشخیص می‌دهد و مجهز به موتور الکتریکی است. فرض کنید مصرف‌کننده‌ای تا حد لازم سریع برای خالی کردن تسمه در انتهای آن وجود دارد که هنگامی که رسیدن قطعه به آخر تسمه را به آن اعلام کنیم فوراً آن را برمی‌دارد.

نکته مهم این است که تنها در موقعی می‌توان روی یک تسمه ورق یا قطعه‌ای قرار داد که تسمه خالی باشد.

## خواص درستی

سیستم لازم است خاصیت‌های زیر را برآورده نماید. این خاصیت‌ها را در قالب فرمول‌های ال‌تی‌ال مدل‌سازی و با ابزار افرا درستی‌یابی کنید.

۱. هنگامی که تسمه ورودی پر است ورق دیگری اضافه نمی‌شود
۲. بازوهای روبات هنگام دوران کوتاه است
۳. هیچ‌یک از بازوهای روبات داخل پرس نمی‌ماند
۴. قطعه جای دیگری به جز تسمه خروجی نمی‌افتد
۵. مصرف‌کننده بی‌نهایت بار قطعه به دست می‌آورد