



آزمایش شماره ۱۱

بادامک و پیرو





هدف

- آشنایی با انواع بادامک و پیرو
- مشاهده و بررسی سینماتیکی و دینامیکی بادامک‌ها از طریق تجربی و ترسیم منحنی‌های مربوطه
- بررسی مسئله پرش (جرک) در بادامک و عوامل موثر در جلوگیری از آن

تئوری آزمایش و روش انجام آن

بادامک وسیله‌ای ساده برای تبدیل حرکت دورانی به انتقالی می‌باشد. این جزء ماشین در اثر تماس مستقیم با عضو رانده شده یا پیرو (Follower) حرکت مورد نیاز را ایجاد می‌کند. اهمیت استفاده از بادامک‌ها به این دلیل است که کیفیت حرکت عضو رانده شده را می‌توان به آسانی با تغییر شکل بادامک تغییر داد و به علاوه در یک سیکل گردش می‌توان به پیرو چندین نوع حرکت مختلف داد.

اصولاً تحلیل و طراحی یک بادامک به طریق زیر مطرح می‌گردد:

الف) نوع حرکت پیرو مشخص است و طراحی پروفیل بادامک مورد نظر می‌باشد.

ب) شکل پروفیل مشخص است و مشخصات تغییر مکان، سرعت و شتاب نتیجه پیرو مطلوب می‌باشد.

انواع بادامک‌ها:

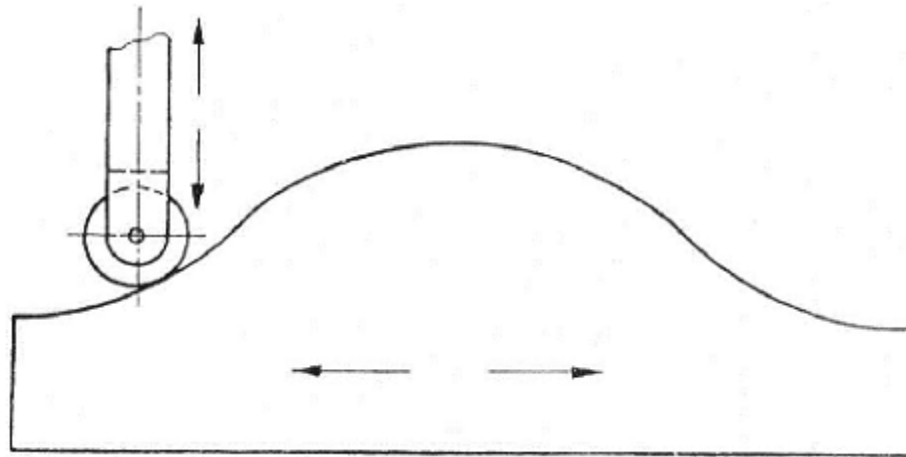
بعضی از انواع متداول بادامک عبارتند از:

۱. بادامک‌های دیسکی

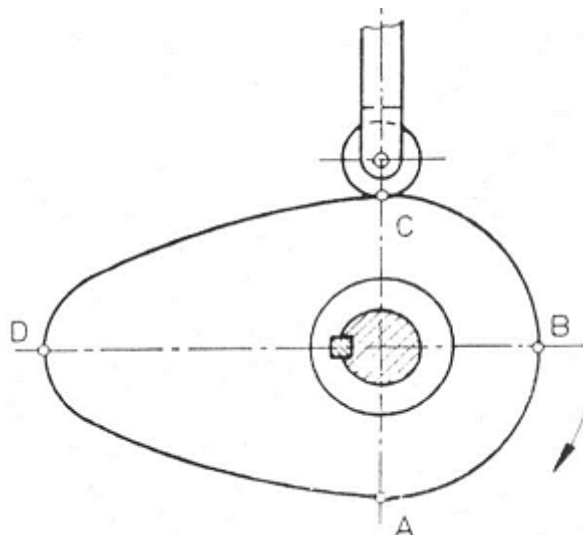
۲. بادامک‌های انتقالی

۳. بادامک‌های استوانه‌ای

شکل (۱-۱) یک بادامک انتقالی و شکل (۲-۱) یک بادامک دیسکی را نشان می‌دهد. بادامک‌های دیسکی معمولاً با سرعت ثابت دوران می‌کنند.



شکل (۱-۱۱): بادامک انتقالی

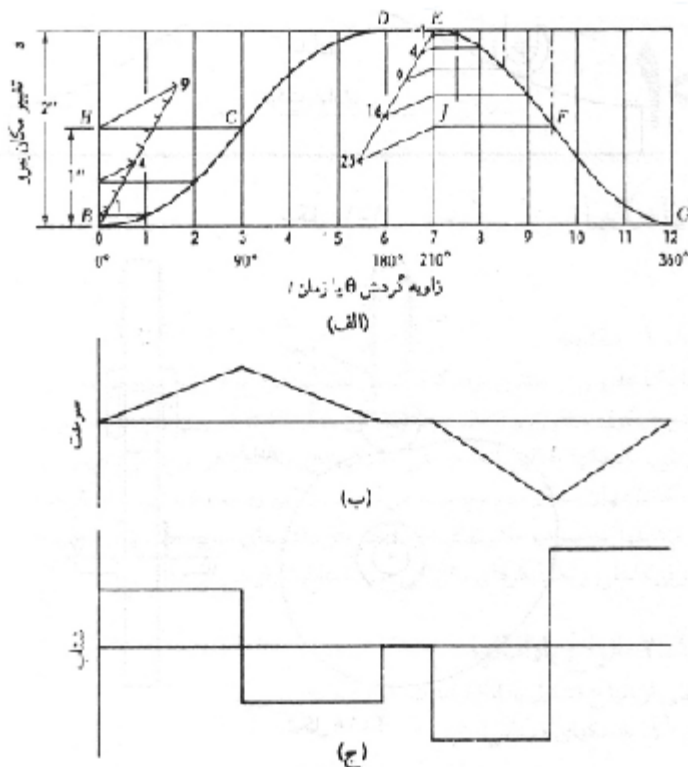


شکل (۲-۱۱): بادامک دیسکی

منحنی تغییر مکان:

منحنی تغییر مکان عبارتست از یک منحنی که جابجایی پیرو را به صورت تابعی از زمان نشان می‌دهد. یک نمونه از این منحنی در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است.

درجات گردش بادامک بر روی محور افقی رسم شده و طول منحنی یک دوره کامل بادامک را نشان می‌دهد. از آنجا که دور بادامک ثابت می‌باشد، فواصل مساوی درجات نیز نشان دهنده فواصل مساوی از زمان می‌باشند. مقدار جابجایی پیرو در امتداد محور قائم جدا می‌گردد. منحنی تغییر مکان، شکل بادامک را تعیین می‌کند. در تجزیه و تحلیل یک بادامک موجود و یا طراحی یک بادامک جدید، منحنی تغییر مکان از اطلاعات اولیه می‌باشد. از آنجا که این منحنی به طور ایده آل تغییرات مکان را نسبت به زمان نشان می‌دهد، می‌توان با مشتق‌های متوالی، منحنی تغییرات سرعت و شتاب را نسبت به زمان تعیین نمود. مشتق شتاب نسبت به زمان، اصطلاحاً جرک نامیده می‌شود. به علت تاثیر نیروهای اینرسی که موجب ارتعاش، صدا، تنش‌های بی‌حد و خوردگی می‌گردند، شتاب پیرو در سرعت‌های بسیار زیاد حائز اهمیت می‌باشد. ضربه یک معیار و یا میزان



شکل (۱۱-۳)

جهت اندازه‌گیری تغییرات نیروی اینرسی نسبت به زمان بوده و بنابراین نشان دهنده ویژگی‌های ضربه ناشی از بارها می‌باشد. تجربه نشان داده که جرک بی نهایت موجب ارتعاش در مجموعه پیرو شده که در عمر بادامک موثر خواهد بود.

چهار نوع حرکت متداول پیرو عبارتند از:

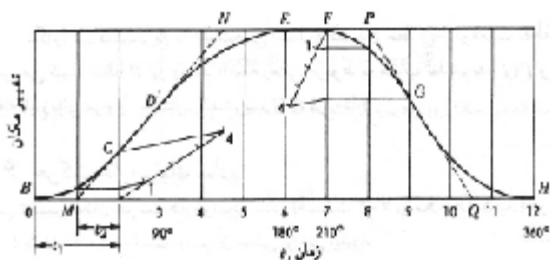
۱. حرکت با شتاب ثابت

۲. حرکت با سرعت ترمیم شده

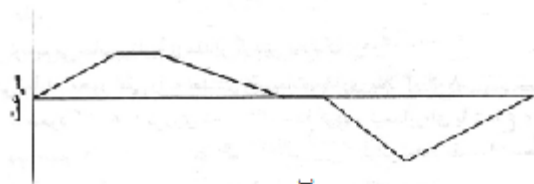
۳. حرکت نوسانی ساده

۴. حرکت سیکلوئیدی

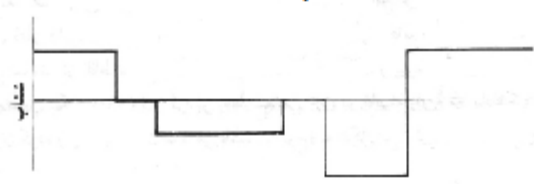
در تجزیه و تحلیل حرکت‌های بادامک بهتر است که به جای بیان تغییر مکان، سرعت و شتاب پیرو نسبت به زاویه گردش بادامک θ بیان کنیم.



الف

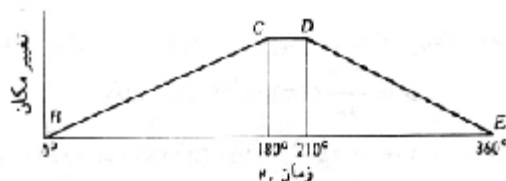


ب

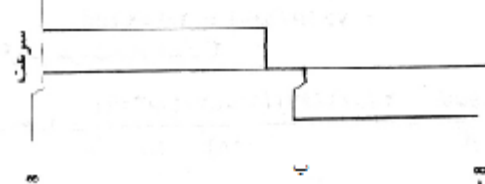


ج

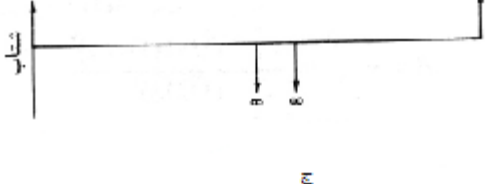
شکل (۱۱-۵): حرکت با سرعت ترمیم شده



الف

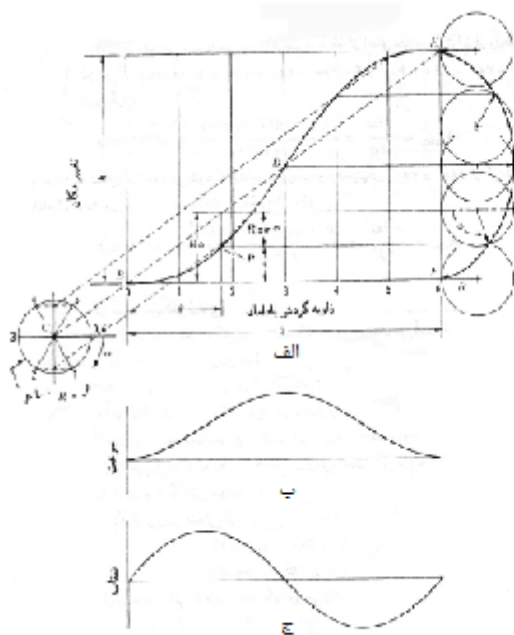


ب

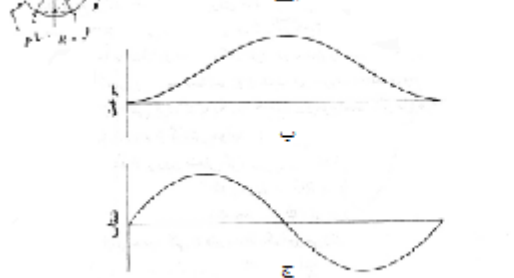


ج

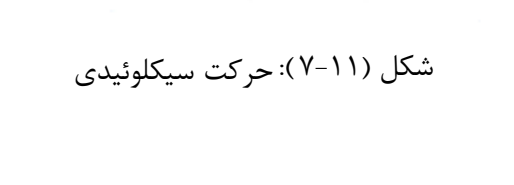
شکل (۱۱-۴): حرکت با شتاب ثابت



الف

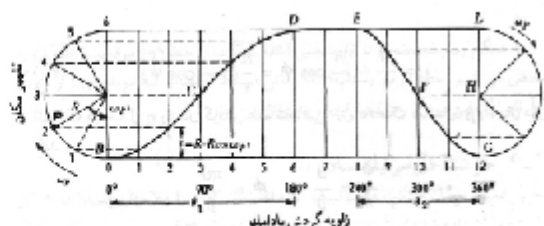


ب

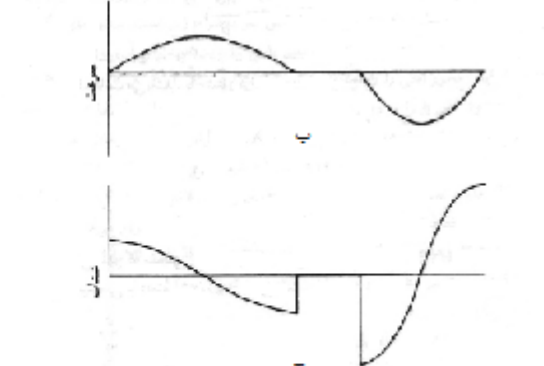


ج

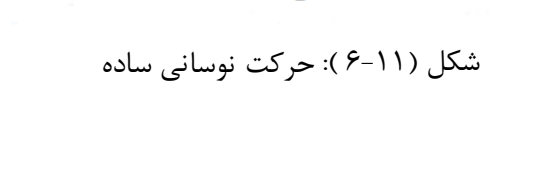
شکل (۱۱-۷): حرکت سیکلوئیدی



الف



ب



ج

شکل (۱۱-۶): حرکت نوسانی ساده



معادلات حرکت پیروهای متداول در جدول (۱-۱) درج شده است. در این معادلات، h صعودی کلی پیرو، به ازای زاویه گردش بادامک β و θ سرعت زاویه‌ای بادامک بر حسب رادیان در ثانیه می‌باشد. برای هر مقدار زاویه گردش بادامک مثل θ معادلات تغییر مکان، سرعت و شتاب پیرو را تعیین می‌نمایند.

جدول (۱-۱): معادلات تغییر مکان، سرعت و شتاب پیرو

نوع حرکت	تغییر مکان	سرعت	شتاب
شتاب ثابت	$\frac{\theta}{\beta} \leq 0.5, s = 2h \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2$	$\frac{ds}{dt} = \frac{4h\omega\theta}{\beta^2}$	$\frac{ds}{dt} = \frac{4h\omega^2}{\beta^2}$
	$\frac{\theta}{\beta} \geq 0.5, s = h \left(1 - 2 \left(1 - \frac{\theta}{\beta} \right)^2 \right)$	$\frac{ds}{dt} = \frac{4h\omega}{\beta^2} \left(1 - \frac{\theta}{\beta} \right)$	$\frac{ds}{dt} = -\frac{4h\omega^2}{\beta^2}$
نوسانی ساده	$s = \frac{h}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi\theta}{\beta} \right)$	$\frac{ds}{dt} = \frac{\pi h\omega}{2\beta} \sin \frac{\pi\theta}{\beta}$	$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{\pi^2 h\omega^2}{2\beta^2} \cos \frac{\pi\theta}{\beta}$
سیکلونیدی	$s = h \left(\frac{\theta}{\beta} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi\theta}{\beta} \right)$	$\frac{ds}{dt} = \frac{h\omega}{\beta} \left(1 - \cos \frac{2\pi\theta}{\beta} \right)$	$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{2\pi h\omega^2}{\beta^2} \sin \frac{2\pi\theta}{\beta}$

مقایسه منحنی‌های حرکت:

انتخاب نوع حرکت مورد استفاده برای پیرو بستگی به سرعت بادامک، ارتعاش و صدای مجاز و عمر قابل انتظار دارد. اگر سرعت‌های بکار گرفته شده پایین بوده باشد، انتخاب نوع حرکت خیلی حیاتی نمی‌باشد.

برای شتاب ثابت نشان داده شده در شکل (۱۱-۳) به‌طوری که ملاحظه می‌کنیم، تغییرات آنی منحنی شتاب (به صورت پله) موجب جرک بی‌نهایت شده که این امر سبب غیر مناسب بودن حرکت در سرعت‌های زیاد می‌گردد. اما حرکت با شتاب ثابت دارای این مزیت می‌باشد که برای صعودی معین در زمانی معلوم، شتاب کمترین مقدار خود را پیدا می‌کند. شتاب بی‌نهایت حاصله از حرکت با سرعت ثابت در شکل (۱۱-۴) سبب می‌شود که این حرکت در سرعت‌های زیاد مورد دلخواه نبوده باشد. سرعت ثابت ترمیم‌شده در شکل (۱۱-۵) به علت محدود شدن شتاب‌ها بهتر از سرعت ثابت بوده ولی تغییر ناگهانی شتاب موجب جرک بی‌نهایت می‌گردد.

شکل (۱۱-۶) نشان می‌دهد که منحنی شتاب در حرکت هارمونیک ساده فقط در صورتی که زمان‌های صعود و نزول هر دو برابر ۱۸۰ بوده باشند، پیوسته است. اگر این زمان‌ها نامساوی باشد و یا با یک توقف قبل و بعد از آن همراه باشد، آنگاه منحنی شتاب پله پیدا کرده و در نتیجه جرک بی‌نهایت حاصل خواهد شد.



حرکت سیکلوئیدی در مقایسه با سایر حرکت‌ها که مورد مطالعه قرار گرفت برای صعودی معین دارای بزرگترین ماکزیمم شتاب است. اما با توجه به شکل (۷-۱۱) ملاحظه می‌کنیم که بدون ایجاد پله ای در منحنی شتاب که موجب جرک بی نهایت گردد، قابل ربط به منحنی سیکلوئید دیگر بوده و همین طور میتواند با یک توقف شروع و یا تعقیب گردد. بنابراین بین حرکت‌هایی که مورد مطالعه قرار گرفت، برای سرعت‌های زیاد حرکت سیکلوئیدی بهترین است.

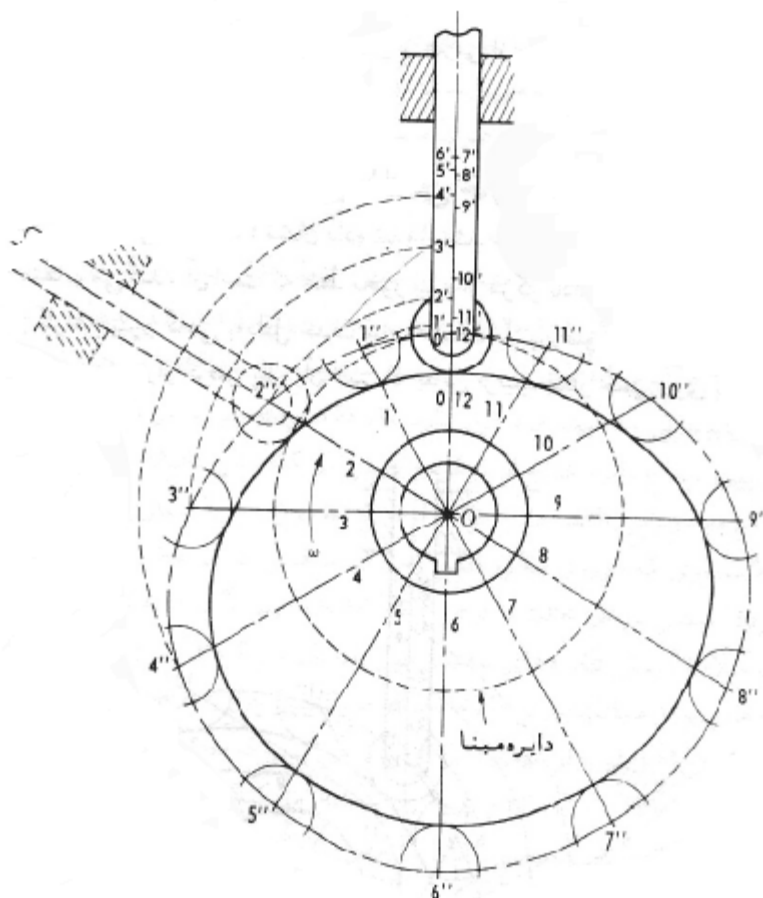
رسم منحنی محیطی بادامک:

پس از آنکه با توجه به نیازهای مورد نظر طراح از ماشین منحنی تغییر مکان و نوع پیرو انتخاب گردید می‌بایست منحنی بادامک مربوطه را که قرار است منحنی حرکت فوق را تامین نماید، رسم نمود. فرم و شکل منحنی بادامک بستگی به اندازه بادامک و اندازه، شکل و مسیر پیرو دارد. در مسیر منحنی بادامک از اصل برگردان که قبل به آن اشاره رفته استفاده می‌گردد. با ثابت نگه داشتن بادامک، بدنه و پیرو را به دور آن طوری می‌گردانیم که برای تعداد قابل توجهی از فازهای حرکت پیرو با آن تماس حاصل نماید. انگاه منحنی بادامک با اتصال نقطه تماس و وضعیت‌های فوق ترسیم می‌گردد. روش‌هایی که در مثال‌های بعدی نشان داده شده، تنها راه‌های رسم منحنی بادامک نمی‌باشند. هر روشی که وضعیت دقیق پیرو را نسبت به بادامک تعیین کند می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

بادامک دیسکی با پیرو رفت و آمدی غلتکی:

این نوع بادامک در شکل (۸-۱۱) نشان داده شده است. وقتی که پیرو بسته به مقیاس در امتداد خط محور حرکت می‌کند، بادامک در جهت گردش عقربه‌های ساعت دوران می‌نماید. هنگامی که پیرو در پایین‌ترین وضعیت خود قرار دارد، دایره پایه بادامک از محور غلتک عبور می‌کند. اعداد در امتداد پیرو عبارتند از مختصه تغییر مکان مربوط به وضعیت‌های مختلف θ در امتداد محور X . هنگامی که بادامک به اندازه دو فاصله در جهت گردش عقربه‌های ساعت دوران نماید، پیرو از θ' به $2'$ رانده می‌شود. اگر این حرکت نسبی را با ثابت نگه داشتن بادامک و دوران بدنه به اندازه دو فاصله در جهت خلاف گردش عقربه‌های ساعت انجام دهیم، پیرو به اندازه $2'O'$ به طرف خارج حرکت خواهد کرد. نقطه $2''$ با رسم دایره‌ای به مرکز O_2 از نقطه $2'$ جایابی خواهد شد. به همین ترتیب نقاط $1''$ ، $3''$ ، $4''$ و غیره در محیط بادامک تعیین خواهند شد.

یک منحنی صاف و پیوسته رسم شده از این نقاط منحنی گام را مشخص می‌کند. سپس با استفاده از این نقاط قوس‌هایی با شعاع برابر شعاع غلتک رسم می‌کنیم. یک صاف و پیوسته مماس بر این قوسها منحنی بادامک را مشخص می‌کند. چون بجز در مواردی که پیرو متوقف است، نقطه تماس غلتک و بادامک بر روی



شکل (۱۱-۸): بادامک دیسکی با پیرو غلتکی

خط شعاعی ماربر مرکز غلتک قرار نمی گیرد. ابتدا لازم است منحنی گام را تعیین کنیم. با دوران بادامک نقطه تماس از طرفی از خط شعاعی فوق به طرف دیگر انتقال خواهد یافت.

محاسبه سرعت و شتاب پیرو:

بطور کلی سرعت و شتاب بادامک عبارت خواهد بود از:

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \omega \frac{ds}{d\theta} = \omega \frac{\Delta s}{\Delta \theta}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \omega \frac{\Delta v}{\Delta \theta} \quad (1-11)$$

حال در صورتی که منحنی تغییر مکان را داشته باشیم سرعت و شتاب تجربی را میتوان با استفاده از مشتق گیری ترسیمی بدست آورد. بدیهی است مقادیر $\frac{ds}{d\theta}$ ، $\frac{dv}{d\theta}$ به ترتیب از شیب مماس بر منحنی تغییر مکان و سرعت بدست می آیند.



روش انجام آزمایش:

۱. بادامک مورد نظر را روی دستگاه مستقر کنید و مهره روبروی بادامک را به مقدار لازم محکم نمایید.
۲. در سمت راست و پایین صفحه نرم افزار، در قسمت Bottom Axis گزینه Cartesian فعال کنید.
دور موتور را بر روی عدد دلخواه تنظیم نموده و آیکون start نرم افزار را فشار دهید تا گراف جابجایی پیرو بر حسب زاویه بادامک رسم شود. گراف ذخیره و یا چاپ نمایید.
۳. بار دیگر در قسمت Bottom Axis گزینه Polar را انتخاب نمایید تا نرم افزار منحنی پروفیل بادامک را نمایش دهد. طرح پروفیل را ذخیره یا چاپ کنید.
۴. با کلیک بر آیکون Export to Excel اطلاعات را به صورت فایل Excel ذخیره نموده، سپس با توجه به آن جدول (۱۱-۲) را کامل نمایید.
۵. مراحل فوق را برای نوع دیگری از بادامک تکرار کنید.

نتایج:

۱. با توجه به یکی از منحنی های تغییر مکان که از آزمایش بدست آورده اید، شکل پروفیل بادامک را رسم نمایید. (طراحی بادامک با توجه به منحنی جابجایی).
۲. با توجه به منحنی جابجایی و جدول (۱۱-۲) منحنی های سرعت و شتاب پیرو را برای یک مورد رسم کنید و دقیقاً موقعیت ماکزیمم سرعت و شتاب را مشخص کنید.



جدول (۱۱-۲): ثبت داده

θ (deg)	s (mm)	$\Delta\theta$ (deg)	Δs (mm)		
۰					
۳۰					
۶۰					
۹۰					
۱۲۰					
۱۵۰					
۱۸۰					
۲۱۰					
۲۴۰					
۲۷۰					
۳۰۰					
۳۳۰					
۳۶۰					

سوالات:

۱. روابط سرعت و شتاب (۱۱-۱) را بدست آورید.
۲. بادامکی طرح کنید که نیروی ثابت اعمال کند.
۳. یکی از موارد استفاده از بادامکها را کاملاً توضیح داده و شکل مربوط را رسم نمایید.