



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران



آزمایشگاه خواص فیزیکی و الکتریکی

Friction Coefficient Users Guide

آدرس: تهران، ضلع شمالی آزادراه تهران به کرج، بعد از پیکان شهر، بلوار پژوهش، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

کارشناس آزمایشگاه: خانم دکتر نوری

تلفن تماس: ۴۸۶۶۲۱۵۲

تائید صلاحیت‌های دریافتی آزمایشگاه:



گواهینامه استاندارد:
ISO 9001:2008



آزمایشگاه همکار اداره استاندارد
استان تهران



تائید صلاحیت استاندارد:
ISO/IEC 17025



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳	دستگاه COF ۱
۳	مقدمه ۱-۱
۵	اصطکاک ۲-۱
۷	آماده سازی نمونه ۳-۱
۱۱	استانداردهای موجود در زمینه اصطکاک ۴-۱
۱۱	استاندارد ASTM G115 ۱-۴-۱
۱۲	استاندارد ASTM D1894 ۲-۴-۱
۱۲	استاندارد ASTM D4103 ۳-۴-۱
۱۳	استاندارد ASTM E1911 ۴-۴-۱
۱۳	استاندارد ISO 8295 ۵-۴-۱
۱۴	استاندارد ASTM G163 ۶-۴-۱
۱۴	استاندارد ASTM G194 ۷-۴-۱
۱۵	استاندارد ISO 8349 ۸-۴-۱
۱۶	انجام یک نمونه تست در آزمایشگاه ۹-۴-۱

دستورالعمل دستگاه COF

شرکت سازنده: شرکت صنایع الکترونیک صناف آریا

سال ساخت: ۱۳۹۷

ASTM: D 1894



شکل ۱- دستگاه اصطکاک (COF)

۱-۱ مقدمه

وقتی که جسمی بر روی جسمی دیگر می لغزد، نیروی مقاومی در سطح تماس دو جسم در خلاف جهت حرکت پدید می آید که این نیرو از حرکت جسم جلوگیری می کند. این نیرو اصطکاک گویند.



البته لازم به ذکر است که این نیرو در لحظه شروع حرکت را نیروی اصطکاک ایستا^۱ می گویند، اما در طول حرکت جسم نیز نیرو وجود دارد که در این حالت نیروی اصطکاک پویا (دینامیک)^۲ می گویند. تجربه نشان می دهد که نیروی اصطکاک همواره با نیروی عمودی که از طرف جسم بر سطح اتکای آن وارد می شود، متناسب است.

نیروی عمودی که گاهی نیروی بار نیز گفته می شود، نیرویی است که هر جسم در راستای عمود بر سطح تماس خود به جسم دیگر یا به سطح اتکای خود وارد می کند. این نیرو از تغییرکشسان اجسام در تماس ناشی می شود. مثلاً در مورد جسمی که روی یک میز افقی به حالت سکون قرار دارد یا روی آن می لغزد، بزرگی نیروی عمودی با وزن جسم برابر است. چون جسم شتاب قائم ندارد، لذا باید میز نیز نیرویی به طرف بالا بر آن وارد کند که بزرگی آن با کشش رو به پایین وارد بر جسم از طرف زمین، یعنی با وزن جسم، برابر است.

بیشترین مقدار نیروی اصطکاک با کمترین نیروی لازم برای شروع به حرکت جسم برابر است. وقتی که حرکت شروع شد، معمولاً نیروی اصطکاک بین سطوح کاهش پیدا می کند و نیروی کمتری برای یکنواخت ماندن حرکت لازم است. همچنین بزرگی نیروی اصطکاک با نیروی عمود بر سطح از طرف جسم متناسب است. ضریب تناسبی که این رابطه تناسب را به تساوی تقسیم می کند، ضریب اصطکاک نام دارد. ضریب اصطکاک به عوامل مختلفی چون جنس ماده، پرداخت سطحی، فیلمهای سطحی، دما و میزان آلودگی سطح بستگی دارد.

¹ Static friction

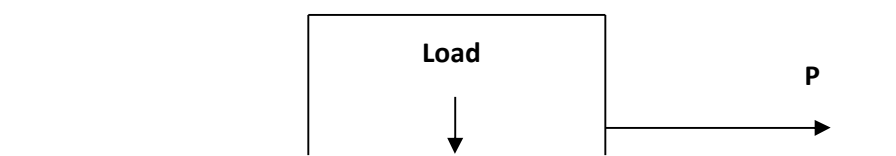
² Dynamic friction



۲-۱ اصطکاک

اصطکاک، مقاومت در برابر حرکت است هنگامی که سطحی که مماس با سطح دیگری است نسبت به آن حرکت کند و یا هنگامی که تلاش می‌شود چنین حرکتی ایجاد شود.

اصطکاک به صورت کمی به مقدار نیرویی اطلاق می‌شود که از طرف سطحی به سطح تماس مقابل اعمال می‌شود تا از حرکت نسبی آن جلوگیری کند. دو حالت را می‌توان در نظر داشت: هنگامی که این نیرو به اندازه‌ای نیست که موجب حرکت شود (اصطکاک استاتیک یا ایستا) و هنگامی که دو جسم روی هم می‌لغزند (اصطکاک دینامیک یا پویا). برای حالت اول می‌توان در نظر گرفت وزنه L روی سطحی افقی قرار دارد (شکل ۲). اگر نیروی مماسی P به وزنه اعمال شود، به طوری که منجر به حرکت جسم نشود، طبق قانون اول نیوتن نیروی اصطکاک در فصل مشترک وزنه و سطح افقی باید معادل نیروی P باشد.



شکل ۲- شکل شماتیک باری بر روی سطح افقی، که نیروی مماسی P به آن اعمال شده است.

حالت دیگر زمانی است که نیروی P بتواند موجب لغزش و حرکت جسم شود. در این حالت گرچه نیروی اصطکاک از P کوچکتر است ولی همچنان با نیروی P ارتباط خطی دارد. بنابراین دومین خاصیت کمی اصطکاک به صورت زیر تعریف می‌شود:

هنگامی که حرکت مماسی اتفاق می‌افتد، نیروی اصطکاک همیشه در جهت مخالف حرکت نسبی سطوح عمل می‌کند.

قوانین دیگری شامل بزرگی نیرو بر پدیده اصطکاک حاکم هستند. برای بیان بزرگی نیروی اصطکاک بر



حسب متغیرهای ماکروسکوپی قابل مشاهده، نیاز به سه رابطه کمی است:

۱- نیروی اصطکاک با نیروی عمودی (نرمال) متناسب است:

$$F = f \cdot L \quad \text{Eq.1}$$

ثابت تناسب (f) به عنوان ضریب اصطکاک تعریف می‌شود. به صورت دیگر ضریب اصطکاک به عنوان ثابت

زاویه لغزش (زاویه حدی لغزش) تعریف می‌شود:

$$\tan \theta = f \quad \text{Eq.2}$$

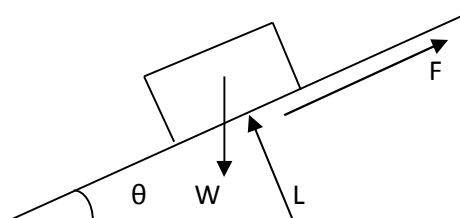
θ زاویه سطح شیب‌داری است که اگر وزنه‌ای روی آن قرار گیرد، در این زاویه وزنه در محل خود پایدار

می‌ماند و پس از این زاویه شروع به لغزش می‌کند.

$$F = W \sin \theta$$

$$L = W \cos \theta$$

$$F/L = f = \tan \theta$$



شکل ۳- شیئی روی سطح شیب دار در حال تعادل قبل از لغزش

۲- ضریب اصطکاک مستقل از سطح تماس ظاهری $(A_a)^3$ است.

۳- ضریب اصطکاک مستقل از سرعت لغزش است. این بدان معنی است که نیروی لازم برای شروع لغزش

معادل نیرویی است که برای نگهداشتن لغزش در هر سرعت معین لازم است.

³ Apparent area



قوانین اول و دوم در بیشتر موارد صادق هستند. موارد استثنا شامل مواد بسیار سخت مثل الماس و یا مواد نرم مانند تفلون است. رابطه جامع‌تری که برای این موارد آورده شده است به صورت زیر است:

$$F = c.L^x \quad \text{Eq.3}$$

در مواردی که قانون اول برقرار است مقدار x معادل یک است، اما در سایر موارد x بین $2/3$ و یک متغیر است. مورد دیگری که اصطکاک از قانون اول پیروی نمی‌کند، حالتی است که لایه‌ای سخت روی بستری نرم قرار داشته باشد. در بارهای کم خواص لایه سطحی سخت غالب است و در بارهای زیاد با شکسته شدن لایه سطحی، خواص بستر نرم غالب می‌شود.

انحراف از قانون دوم زمانی اتفاق می‌افتد که سطوح بسیار صاف و تمیز باشند. در این حالت برهم کنش‌های قوی بین سطوح ایجاد می‌شود و اصطکاک مستقل از میزان بار اما متناسب با سطح ظاهری (که به سطح تماس واقعی نزدیک شده است) می‌شود.

در مورد قانون سوم، اما، مطالعات جدیدتر نشان می‌دهد که ضریب اصطکاک ایستا تابعی از زمان تماس است و ضریب اصطکاک سینتیکی تابعی از سرعت لغزش است.

۳-۱ آماده سازی نمونه

قبل از انجام تست نمونه باید حداقل ۴۰ ساعت در دمای $23 \pm 2^\circ \text{C}$ و رطوبت ۵۰ درصد نسبی قرار داده شود. نمونه باید دارای ابعاد ۲۵ سانتی متر در ۱۳ سانتی متر باشد. این نمونه توسط گیره روی صفحه آلومینیومی قرار داده می‌شود. نمونه ای با ابعاد ۶۳/۵ میلی متر در ۹۰ میلی متر زیر اسلدا^۴ (شکل ۴) چسبانده می‌شود.

مطالعات تجربی نشان می‌دهد اندازه نیروی اصطکاک بین دو سطح با نیروی عمودی وارد بر سطح متناسب می‌باشد، اما اندازه نیروی اصطکاک از مساحت سطح تماس مستقل است، به بیان دیگر حرکت یک مکعب

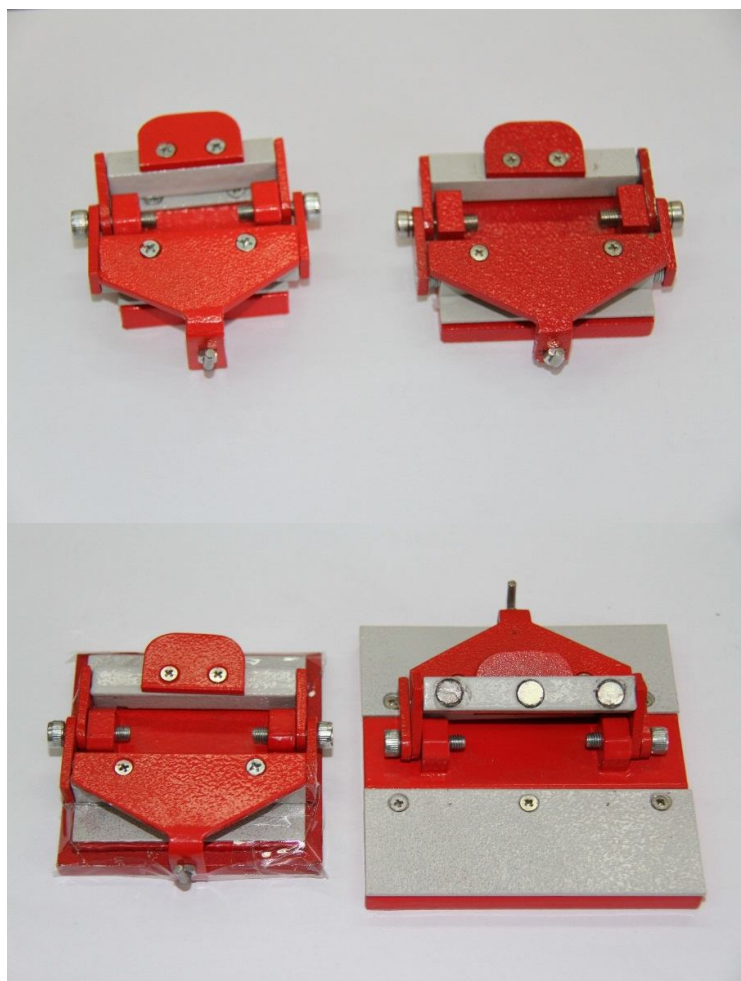
⁴ sled



مستطیل از جنس یکنواخت روی یک سطح از دیواره های مختلف، اصطکاک یکسانی ایجاد می کند.

دستگاه ضریب اصطکاک صناف، با در نظر گرفتن پارامتر های موثر بر نیروی اصطکاک و در انطباق با الزامات استاندارد ASTM D 1894 ساخته شده است. در این استاندارد یک اسلاید با ابعاد و جرم مشخص برای قرار گیری نمونه در نظر گرفته شده است. همچنین یک صفحه صیقلی به عنوان سطح زیرین تعبیه شده است. برای اندازه گیری اصطکاک بین دو سطح مشخص باید یکی از سطوح را زیر سورتبه متصل شده و سطح دیگر را توسط گیره نگهدارنده روی صفحه صیقلی ثابت نمود.

سرعت استاندارد تست $30 \pm 150 \text{ mm/min}$ و مسافت طی شده جهت محاسبه ضریب اصطکاک جنبشی 130 میلیمتر می باشد.



شکل ۴- اسلدها با ابعاد و جرم مشخص

ابعاد و وزن اسلدها

ابعاد sled (cm)	وزن sled (gr)
۵*۵	۱۷۳
۶*۶	۲۱۹
۸*۸	۲۷۳
۱۰*۱۰	۴۳۰



محاسبه ضریب اصطکاک ایستایی μ_s :

$$\mu_s = A_s / B$$

عبارتند:

$A_s =$ عدد جنبشی اولیه خوانده شده (g)

$B =$ وزن اسلدا (g)

محاسبه ضریب اصطکاک جنبشی μ_k :

$$\mu_k = A_k / B$$

عبارتند:

$A_k =$ مقدار متوسط نیروی اندازه گیری شده در ضمن لغزش سطح فیلم (g)

$B =$ وزن اسلدا (g)

$$S = \sqrt{(\sum X^2 - n \bar{X}^2) / (n - 1)}$$

$S =$ انحراف استاندارد نمونه

$X =$ مقدار مشاهدات اولیه

تعداد مشاهدات

$X =$ مقدار محاسبه شده از مجموع مشاهدات



۴-۱ استانداردهای موجود در زمینه اصطکاک

۱-۴-۱ استاندارد ASTM G115- 04

"راهنمای استاندارد برای اندازه گیری و گزارش ضرایب اصطکاک"

در این استاندارد ضمن ارائه تعاریف، عبارات و معنی واژگان مرتبط با اصطکاک، دستگاه ها و روش های مختلفی که برای اندازه گیری اصطکاک استفاده می شوند، معرفی می گردند. با مطالعه این استاندارد خواننده می تواند با مرور روش های مختلف، روش و ابزار مناسب برای شرایط خود را انتخاب کند. این استاندارد عواملی را که باید هنگام اندازه گیری ضریب اصطکاک در نظر داشت، خاطر نشان می سازد، همچنین چگونگی نوشتن گزارش ارائه شده است.

جدول ۱ این استاندارد شمای ابزارهای موجود برای اندازه گیری اصطکاک را نمایش می دهد و در هر مورد پارامترهایی را که توسط آزمون مربوط اندازه گیری می شود شرح می دهد.

مطابق این استاندارد آنچه که باید در گزارش اندازه گیری ضریب اصطکاک آورده شود عبارتند از:

نوع مواد (ماده A و ماده B که با هم در تماسند)

شرح نمونه (مثلا، میله، دیسک، شفت و ...)

ضریب اصطکاک دینامیک ($k\mu$) و ضریب اصطکاک استاتیک (μ_s)

شکل سیستم آزمون

روش استاندارد آزمون (ASTM یا سایر استانداردها)

همچنین در این استاندارد شرح منحنی های نیرو- جابه جایی (لغزش) آورده شده است. بنابراین پدیده هایی چون Stick-slip را در رفتار اصطکاک می توان مشاهده کرد. بنابراین پیش از انتخاب روش مناسب و انجام آزمون اصطکاک بهتر است این استاندارد مطالعه شود. این استاندارد همچنین بیان می کند که اصطکاک خاصیتی است که به سیستم اندازه گیری بستگی دارد و ضریب اصطکاک اندازه گیری شده از یک روش ممکن است با ضریب به دست آمده از روش دیگر متفاوت باشد. بنابراین در مقایسه ضرایب اصطکاک باید به سیستم اندازه گیری آن دقت شود.



۱-۴-۲ استاندارد ASTM D1894- 08

"روش استاندارد برای ضریب اصطکاک استاتیک و دینامیک فیلم و ورق پلاستیکی"

این استاندارد تعیین ضرایب اصطکاک شروع و لغزش (ایستا و پویا) را برای پلاستیک ها هنگامی که روی هم و یا روی سایر مواد لغزیده می شوند، ارائه می دهد.

در روش های ارائه شده در این استاندارد قطعه ای از ماده به صورت افقی روی سطحی از ماده دیگر یا همان ماده کشیده می شود و نیروی لازم برای شروع و نیز ادامه این لغزش اندازه گیری می شود. ضرایب اصطکاک سپس از روابط زیر محاسبه می شوند.

$$Ms = As/B = \text{ضریب اصطکاک ایستا}$$

$$As = \text{نیروی اندازه گیری شده برای شروع حرکت قطعه}$$

$$B = \text{وزن قطعه}$$

$$Mk = Ak/B = \text{ضریب اصطکاک پویا}$$

$$Ak = \text{مقدار متوسط نیروی اندازه گیری شده برای لغزش قطعه روی صفحه}$$

$$B = \text{وزن قطعه لغزنده}$$

در این استاندارد نیز روش های مختلفی که در آنها قطعه ای به صورت افقی روی صفحه ای کشیده می شود به صورت عمومی بیان شده است. بنابراین توصیه می شود قبل از انتخاب روش آزمون این استاندارد نیز مطالعه شود.

۱-۴-۳ استاندارد ASTM D4103- 90

"روش استاندارد برای آماده سازی سطح ماده برای آزمون ضریب اصطکاک"

روش استاندارد جهت آماده سازی سطح برای اندازه گیری ضریب اصطکاک کف پوش های وینیلی و چوبی ارائه شده است. در این استاندارد پیشنهاد می شود که سطح کف پوش های وینیلی به وسیله سیم فلزی



(steel wool) برداشته شود و سپس مواد پرداخت کننده کف پوش در چندین نوبت روی آن اعمال و سپس پاک شود. پس از آن ماده پولیش مورد مطالعه روی سطح اعمال می شود. پس از آماده شدن سطح نمونه، آزمون اصطکاک روی آن انجام می شود.

۴-۴-۱ استاندارد ASTM E1911- 98 (Reapproved 2002)

"روش آزمون استاندارد برای اندازه گیری خواص اصطکاکی سطوح پرداخت شده به کمک آزمایشگاه اصطکاک دینامیکی"

این استاندارد روش اندازه گیری خواص اصطکاکی سطوح سنگ فرش شده را نسبت به سرعت با استفاده از دستگاه آزمون اصطکاک دینامیک (Dynamic Friction Tester (DF- tester)) ارائه می دهد.

دستگاه آزمون DF شامل یک دیسک چرخان افقی است. این دیسک دارای سه فنر است که قطعات لاستیکی را به سطح سنگ فرش می فشارد. سرعت چرخش دیسک به تدریج با ایجاد اصطکاک بین سطوح کاهش می یابد. نیروی گشتاور ایجاد شده توسط قطعات لغزنده در حین کاهش سرعت اندازه گیری و سپس ضریب اصطکاک به عنوان تابعی از سرعت محاسبه می شود. در ضمن آب از مخزنی به سطح مورد آزمون اعمال می شود.

در این روش اصطکاک سطح بر حسب تابعی از سرعت لغزش داده می شود.

این روش می تواند در آزمایشگاه و یا در محل اعمال سنگ فرش استفاده شود.

به کمک این روش می توان اثر پرداخت سطحی را نیز بر ضرایب اصطکاک مطالعه کرد.

۴-۴-۱ استاندارد ISO 8295:1995 (E)

"تعیین ضرایب اصطکاک فیلم و ورق های پلاستیکی"

این استاندارد مشابه استاندارد ASTM D1894- 08 برای اندازه گیری ضریب اصطکاک فیلم و ورق های پلاستیکی ارائه شده است. در این استاندارد نیز دو ماده به صورت افقی روی هم کشیده می شوند و ضرایب اصطکاک ایستا و پویای آنها با توجه به نیروی اندازه گیری شده توسط نیروسنج محاسبه می شوند.



۱-۴-۶ استاندارد ASTM G163- 99 (Reapproved 2004)

"راهنمای استاندارد برای جمع آوری دیجیتالی داده ها در اندازه گیری سایش و اصطکاک"

در این استاندارد مواردی مربوط به انتخاب سخت افزار و نرم افزار برای جمع آوری و ذخیره سازی داده ها در اندازه گیری خواص اصطکاک تذکر داده شده است. با توجه به استاندارد فوق در انتخاب این سخت افزار و نرم افزار باید مواردی چون سرعت نمونه گیری و تعداد کانال ها، نویز الکترونی لینک، کالیبراسیون، ذخیره سازی داده ها و قابلیت کاهش داده ها در نظر گرفته شود.

۱-۴-۷ استاندارد ASTM G194- 08

"روش استاندارد برای اندازه گیری خواص اصطکاکی غلتشی یک جسم کروی روی صفحه صاف افقی"

این استاندارد روشی را برای اندازه گیری ویژگی های اصطکاکی جسمی کروی روی سطحی شیب دار از جسم دیگر ارائه می کند. در این روش یک سطح شیب دار با مقطع به شکل V، با طول، ارتفاع و زاویه V مشخص روی سطح صاف مورد نظر قرار می گیرد. سپس جسم کروی از روی سطح شیب دار رها می شود تا غلتیده و سپس مسیری را روی سطح صاف حرکت کند. مسیر پیموده شده توسط جسم کروی روی سطح صاف اندازه گیری می شود.

مبنای این آزمون بر این مفهوم استوار است که انرژی پتانسیل جسم کروی در ارتفاع مشخص معادل انرژی غلتشی جسم است یعنی:

$$\text{مسافت غلتیده (روی سطح صاف)} \times \text{جرم} = \text{جرم} \times \text{ارتفاع}$$

مساافتی که گوی روی سطح صاف می غلتد به ماهیت سطح گوی و هم چنین سطح صاف بستگی دارد. این آزمون را می توان به روش های مختلف استفاده کرد:

مقایسه ویژگی های غلتشی گوی هایی با بافت سطحی متفاوت روی یک سطح ثابت

مقایسه ویژگی های غلتشی یک گوی ثابت روی سطوح مختلف

اصطکاک غلتشی نیز مانند اصطکاک لغزشی به عوامل مختلفی بستگی دارد. این عوامل شامل ماهیت سطح



غلطنده و سطح مقابل است. در اصطکاک غلتشی نیروی اصطکاک (F) به عواملی چون نیروی مربوط به تغییر شکل سطوح (F_s)، نیروهای جاذبه (اتمی، مولکولی و ...) دو نقطه تماس (F_a) و نیروی بر هم کنش سطح فیلم با ذرات سطح ساینده (لغزنده) (F_f) بستگی دارد:

$$F = F_a + F_s + F_f$$

در اصطکاک غلتشی علاوه بر عوامل فوق، سفتی سطوح در تماس، قطر و انحنا ی گوی موثر هستند. با توجه به عوامل زیادی که در سیستم غلتشی وجود دارد، بهتر است برای هر سیستم به طور واقعی، گوی مورد نظر روی سطح صاف مورد مطالعه، بررسی شوند.

۱-۴-۸ استاندارد (E) ISO 8349:2002

"خودروهای جاده - اندازه گیری اصطکاک سطح جاده"

این استاندارد روش هایی را برای تعیین نیروی اصطکاک طولی (Longitudinal) روی سطوح سنگ فرش شده ارائه می دهد. این آزمون ها هم می توانند با استفاده از تایر استاندارد مرجع و هم تایر خودروی مورد آزمون انجام شوند. آزمون ها روی سطوح واقعی که شرایط آنها توسط آزمون گر تعیین می شود، انجام می گیرند.

۱-۴-۹ انجام یک نمونه تست در آزمایشگاه

شکل صفحه بعد تست برای یک نمونه پلاستیک انجام شده است خط عمودی نمودار نیرو (F) بر حسب نیوتن و خط افقی نمودار مسافت بر حسب میلیمتر را نشان می دهد.



Cof Test Report	
Date: 1398/2/29	Material:
Customer:	Sample No:
Manufacturer:	Test Standard:
Test Speed (mm/min): 150	The Time Of Test Start : 10:3:35
Sample Spec:	

Force in N

Distance (mm)

Static Cof	Kinetic Cof						
0.41	0.25						

Lab Director: 24.0

Operator: 24.0

Remarks:

Checked by:



References:

- 1-Manual Sanaf Fekravar electronics, www.sanaf.com
- 2- Friction and wear of materials, Ernest Rabinowicz
- 3-ASTM D 1894