تلرانس هندسی و ابعادی مقدماتی

Geometric Dimension and Tolerancing (GD&T)

مفهوم تلرانس در صنعت : وقتی یک قطعه طراحی و مدلسازی می شود بایستی ابعاد آن در محدوده مشخصی- قرار گیرد .در حقیقت هیچ کمیتی را نمی توان به طور مطلق اندازه گیری و یا تولید کرد بنابراین دامنه تغییرات مجاز برای هر کمیتی وجود دارد که به ان تلرانس می گوییم درواقع اختلاف مابین ماکزیمم و مینیمم مجاز یک کمیت را تلرانس می گوییم .

در گذشته جهت محدود کردن ابعاد قطعات و مونتاژ انها از تلرانس ابعادی استفاده می شد .بیش از یک قرن است که تلرانس ابعادی جای خود را به تلرانس هندسی داده است. در بسیاری از موارد قطعه به درستی طراحی و ساخته شده است و در درون محدوده تلرانس ابعادی قرار دارد اما هنگام مونتاژ تخت هیچ شرایطی قطعات مونتاژ نخواهند شد .جهت جلوگیری از چنین خطاهای از تلرانس هندسی در نقشه استفاده می شود .

تلرانس گذاری هندسی (GD&T) یک زبان نمادها و استانداردها است که توسط مهندسان و سازندگان طراحی شده و مورد استفاده قرار می گیرد تا یک محصول را توصیف و ارتباط بین بخش های مختلف را برای تولید یک محصول ساده کند.

این نمادها در اولین قسمت یک قاب کنترل ویژگی قرار می گیرند و نوع تلرانسی- را که به این مشخصه اعمال می شود را تعریف می کند. برای آشنایی راحت تر و استفاده بهتر از این نمادها در نقشه های مهندسی، انواع **تلرانس های هندسی (Geometric Tolerance)** را در 5 گروه اصلی زیر دسته بندی می کنند:

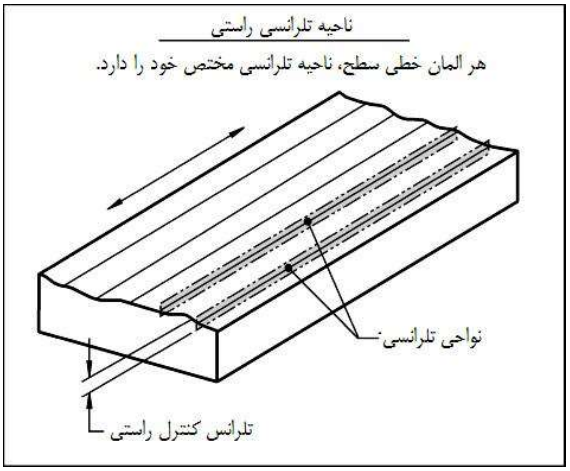
- **تلرانس فرم**
- **تلرانس راستا**
- **تلرانس پروفیل**
- **تلرانس موقعیت**
- **تلرانس لنگی**

تلرانس فرم یا ریخت (Form) : تنها تلرانس فرم در هنگام اعمال به یک اندازه نیازی به مبنا ندارد و به طور مستقل به یک مشخصه اعمال می شود .به عبارتی تلرانس های فرم خود کنترلی شناخته می شوند که خود شامل چهار نوع تلرانس می باشد و در ادامه به هریک می پردازیم

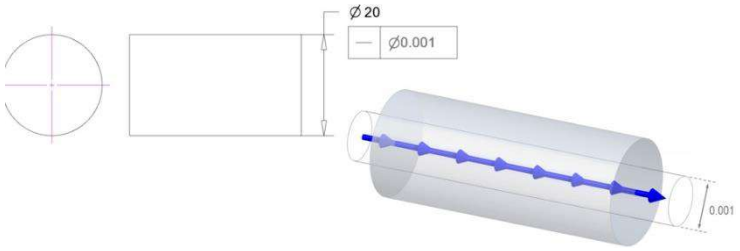
نماد	مشخصه	نوع تولرانس	توضیح
—	راستی (Straightness)	فرم (Form)	مربوط به جزء-شکل‌های منفرد (مستقل)
▱	تختی (Flatness)		
○	گردی (Roundness)		
⌭	استوانه‌ای (Cylindricity)		

1- راستی (Straightness): تلرانس راستی برای کنترل یک خط از سطح یا صفحه و یا محور میانه به کار می رود. درواقع بیانگر این است که تا چه میزان یک محور یا خط از حالت ایدال خود می تواند منحرف شود . زمانی که تلرانس راستی به یک ویژگی قطری اعمال می شود ناحیه تلرانسی- به صورت استوانه ای است و محوری که کنترل می شود بایستی درون این حجم قرار گیرد .

قطر این استوانه برابر است با مقدار تلرانس راستی که به یک ویژگی قطری اعمال می شود .در شکل زیر یک شفت به قطر 20 میلیمتر داریم که به این ویژگی قطری تلرانس تختی به اندازه 0.001 میلیمتر اعمال شده است همان طور که محرز است ناحیه تلرانسی- به صورت استوانه ای و مقدار این استوانه 0.001 می باشد و محور نمیتواند از این محدوده تجاوز کند .

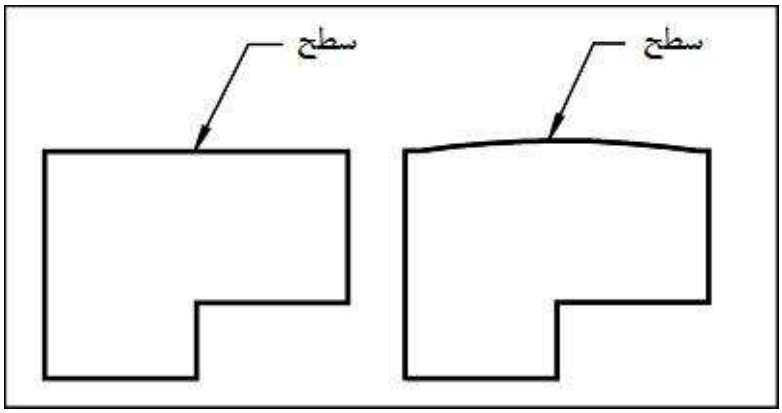


کنترل محور میانی



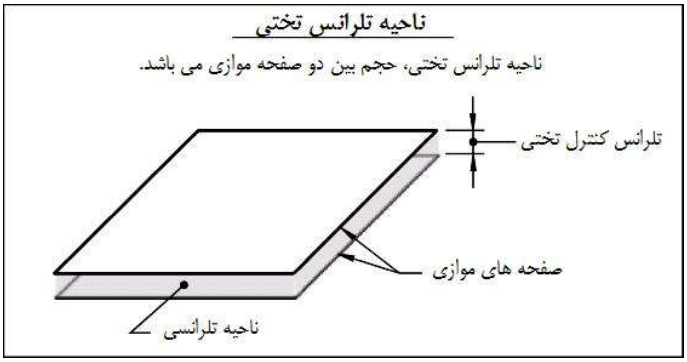
کنترل یک خط از سطح

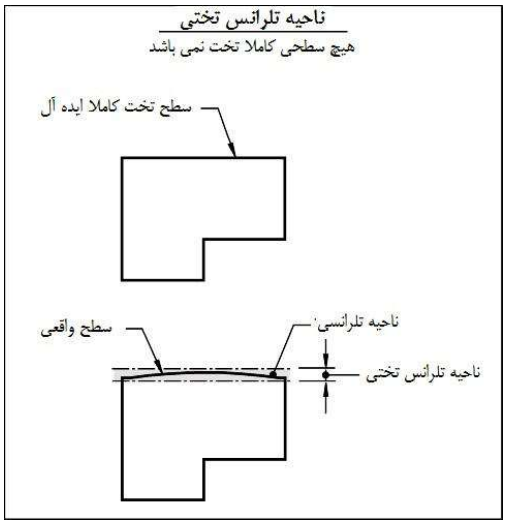
2-تخـــتی(Flatness): دو صـــفحه نشـــان داده شـــده را در نظـــر بگیریـــد. کـــدام صـــفحه کـــاملا تخـــت می باشـــد؟در واقعیـــت هـــیچ صـــفحه ای کـــاملا تخـــت نـــمی باشـــد. چگونـــه می تـــوانیم ســـطحی طـــراحی کنـــیم کـــه کـــاملا تخـــت نباشـــد امـــا بـــه انـــدازه ای تخـــت باشـــد کـــه نیـــاز مـــا را برآورده کند؟ با استفاده از تلرانس کنترل تختی.



مفهوم تلرانس تختی

ناحیه تلرانسی تختی حجم بین دو صفحه موازی می باشد. فاصله بین دو صفحه موازی به عنوان تلرانس کنترل تختی نامیده می شود. سطحی که قرار است کنترل شود باید در حجم مشخص شده توسط ناحیه تلرانسی قرار گیرد.





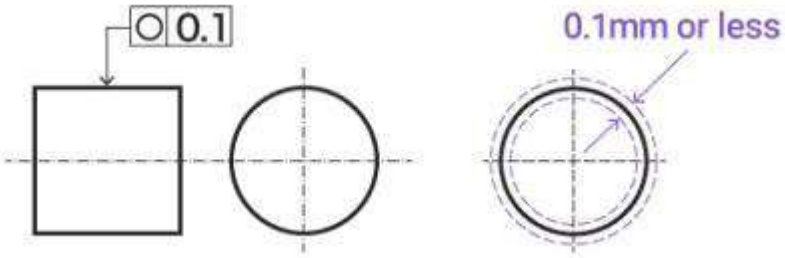
ناحیه تلرانس تختی

3- تلرانس گردی(Roundness): به کمک این مشخصه، میزان دایروی بودن یک ویژگی روی نقشه مهندسی تعیین می شود.

مثلا می توان میزان انحنای مجاز سطح مقطع استوانه، کره، مخروط و هر ترسیمه دایروی دیگر را با این تلرانس تعیین کرد. بر این اساس دو دایره موازی با فاصله مشخص از یکدیگر دور ویژگی مد نظر ترسیم می شود.

حتی در صورت اعوجاج نیز، دایره نباید از محدوده تعیین شده خارج گردد.

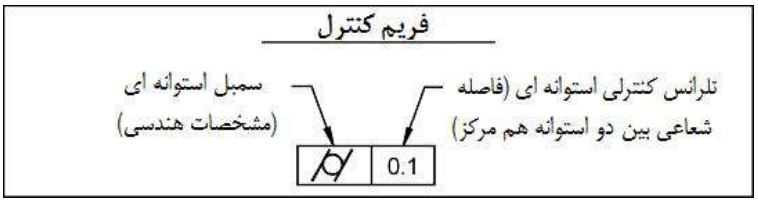
در تصویر زیر نمونه ای از تلرانس گذاری گردی برای یک استوانه را مشاهده می کنید که حداکثر خطای مجاز برای سطح مقطع 0.1 میلی متر است.



نکته مهم : تلرانس های هندسی فرم به طور مستقل به یک ویژگی منفرد اعمال می گردند و اصطلاحا مبنا پذیر نیستند و می توان از ان ها برای کنترل و فیکس کردن یک ویژگی به عنوان مبنای اولیه استفاده کرد .

4- تلرانس استوانه ای (Cylindricity): این تلرانس حالتی از یک سطح استوانه ای است که در آن استوانه، تمام نقاط سطح دارای فاصله یکسانی از محور استوانه هستند . تلرانس استوانه ای ماهیتی مشابه تلرانس گردی دارد با این تفاوت که تلرانس استوانه ای سه بعدی است . تلرانس راستی و گردی و مخروطی بودن درون این تلرانس وجو دارد و میتواند کنترل کند و مختص ویژگی های استوانه ای است .تلرانس استوانه ای مبنا پذیر نیست .

فریم کنترل مشخصه :برای کنترل استوانه ای بودن یک سطح، از فریم کنترل مشخصه (Feature control frame)برای اعمال تلرانس به سطح دلخواه استفاده می شود.



تلرانس جهت یا راستا (Orientation):

دسته ای دیگر از انواع تلرانس های هندسی را با نام تلرانس جهت یا راستا (Orientation Control Tolerance) می شناسند.

این تلرانس ها نشان دهنده میزان انحراف مجاز یک ویژگی نسبت به مبنای مشخص روی نقشه های مهندسی هستند.

به همین دلیل برخلاف تلرانس فرم، برای تعریف این تلرانس ها به داشتن مبنا یا مرجع در چهارچوب کنترل ویژگی نیاز داریم.

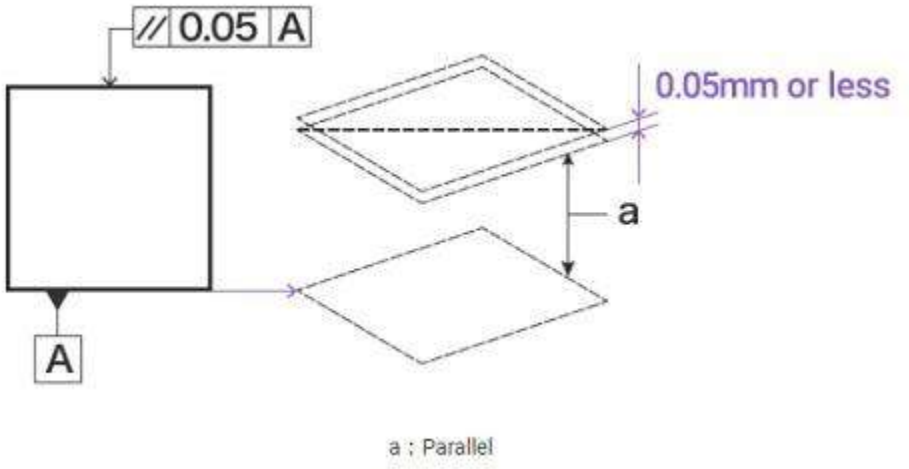
انواع تلرانس جهت را می توان در سه گروه زیر طبقه بندی کرد:

1-تلرانس هندسی توازی(Parallelism)

تلرانس هندسی توازی، حداکثر میزان انحراف مجاز بین دو خط یا صفحه موازی را در یک نقشه مشخص می کند.

بر این اساس نیاز به یک مبنا داریم که می تواند یک خط یا صفحه در نقشه باشد.

به تصویر زیر دقت کنید



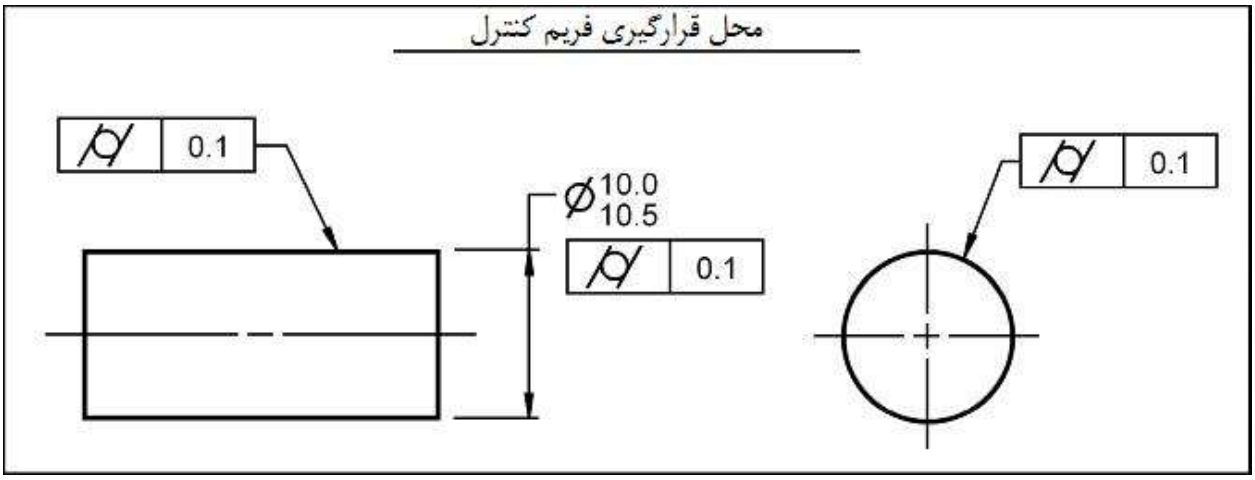
a ; Parallel

حداکثر تلرانس مجاز برای صفحه بالایی در نقشه برابر 0.05 میلی متر در نظر گرفته شده است.

برای این منظور دو صفحه موازی صفحه بالایی ترسیم می شود که نباید از آن ها بیرون بزند.

نماد تلرانس توازی در چهارچوب کنترل ویژگی به صورت دو خط موازی می باشد.

برای اعمال کنترل استوانه ای به یک سطح، فریم کنترل می تواند به یک نقطه از سطح هم در نمای دایره ای و هم در نمای مستطیلی اعمال شود. فریم کنترل نشان داده در زیر یک تلرانس استوانه ای را به کل سطح اعمال می کند. سطح باید بین دو استوانه هم مرکز که فاصله شعاعی آنها 0.1 mm می باشدقرار گیرد.



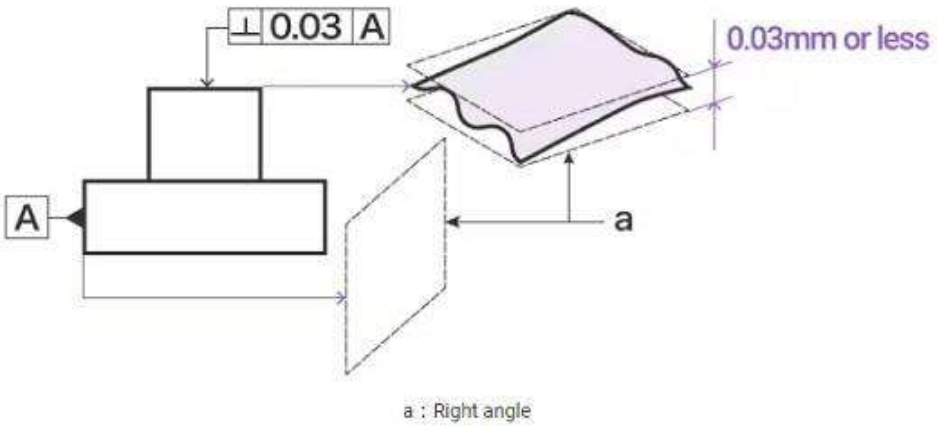
2-تلرانس هندسی تعامد(Perpendicularity)

یکی دیگر از انواع تلرانس های هندسی راستا، تلرانس تعامد است.

به کمک این مشخصه، حداکثر خطای مجاز در وضعیت تعامد بین دو صفحه یا خط عمود بر هم مشخص می شود.

در این حالت هم نیاز به یک خط یا سطح مرجع روی نقشه داریم.

به تصویر زیر دقت کنید.



در این جا صفحه A به عنوان صفحه مرجع یا مبنا انتخاب شده است.

سپس وضعیت تعامد سطح دیگری که با فلش چهارچوب کنترل ویژگی در نقشه مشخص شده با صفحه مبنا تعیین شده است.

بر این اساس حداکثر میزان انحراف مجاز نسبت به صفحه مبنا برابر با 0.03 میلی متر می باشد.

برای این منظور دو صفحه موازی پیرامون صفحه مد نظر ترسیم شده که نباید از آن ها تجاوز کند.

نماد تلرانس تعامل در چهارچوب کنترل ویژگی با استفاده از دو خط عمود بر هم نشان داده می شود.

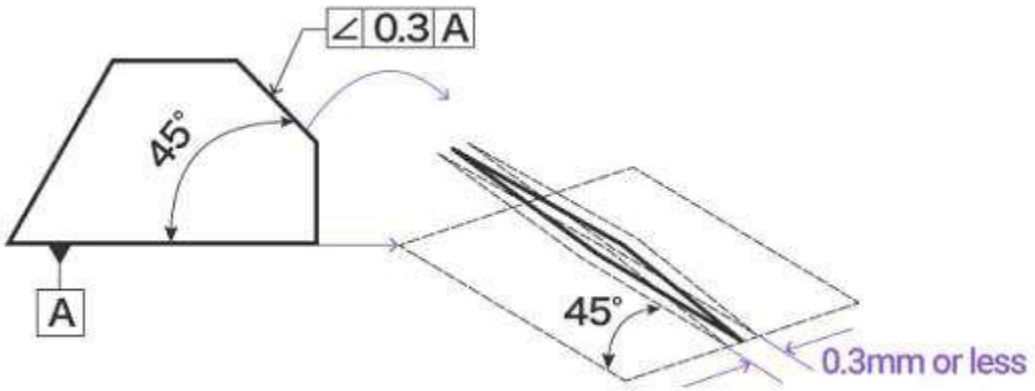
1- تلرانس هندسی زاویه ای(Angularity)

در بین انواع تلرانس های هندسی راستا، می توان تلرانس زاویه ای را به جای دو مورد دیگر که تا این جا معرفی کردیم نیز استفاده کرد.

تلرانس زاویه ای، میزان انحراف دو صفحه یا خط را وقتی با زاویه مشخصی- نسبت به یکدیگر قرار دارند، معین می کند.

در این حالت نیز یکی از صفحه ها یا خطوط نقش مبنا یا مرجع را دارد.

به تصویر زیر دقت کنید.



در این جا صفحه پایینی به عنوان مبنای A در نظر گرفته شده است.

با استفاده از تلرانس زاویه ای قصد داریم حداکثر انحراف مجاز صفحه ای را مشخص کنیم که در زاویه 45 درجه با مبنا قرار دارد.

در نقشه حداکثر انحراف مجاز برای صفحه 0.3 میلی متر در نظر گرفته شده که با استفاده از دو صفحه موازی این محدوده تعیین شده است.

نماد تلرانس زاویه ای در چهارچوب کنترل ویژگی دو خط متقاطع با زاویه تند می باشد.

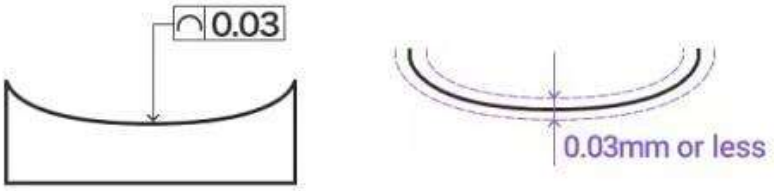
تلرانس پروفیل(Profile Control Tolerance)

⌒	پروفیل خطی (Line Profile)	پروفیل (Profile)	مربوط به جزء-شکل‌های منفرد و وابسته
⌓	پروفیل سطحی (Surface Profile)		

تلرانس پروفیل خطی (Line Profile)

تلرانس پروفیل خطی برای برآورد حداکثر خطای مجاز یک پروفیل خطی در نقشه های مهندسی استفاده می شود.

به عنون مثال تصویر زیر را در نظر بگیرید



در این جا با یک پروفیل خطی با شکلی خاص مواجه هستیم.

طبیعی است که هنگام ساخت ممکن است پروفیل خطی با مقداری اعوجاج نسبت به طراحی همراه باشد.

برای این منظور دو خط به موازات پروفیل در مجاورت آن با فاصله مشخص ترسیم می شود.

آن چه در تصویر مشخص شده، حداکثر تلرانس پروفیل خطی برابر با 0.03 میلی متر است.

بر این اساس اعوجاج پروفیل خطی هنگام ساخت قطعه نباید بیشتر از 0.03 میلی متر باشد.

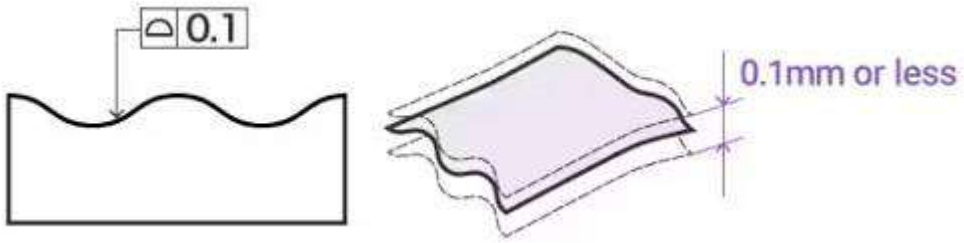
همان طور که مشاهده کردید، تلرانس پروفیل خطی نیازی به مبنا ندارد.

نماد تلرانس پروفیل خطی در چهارچوب کنترل ویژگی را به صورت یک خط منحنی نشان می دهند.

تلرانس پروفیل سطحی(Surface Profile)

در بین انواع تلرانس های هندسی، تلرانس پروفیل سطحی روی حداکثر خطای مجاز یک پروفیل سطحی تمرکز می کند.

شما در تصویر زیر یک سطح را مشاهده می کنید که به صورت پروفیل با شکل خاصی طراحی شده است



مطابق تلرانس پروفیل سطحی روی نقشه، حداکثر خطای مجاز برای هرگونه اعوجاج نسبت به پروفیل سطحی طراحی شده برابر با 0.1 میلی متر است.

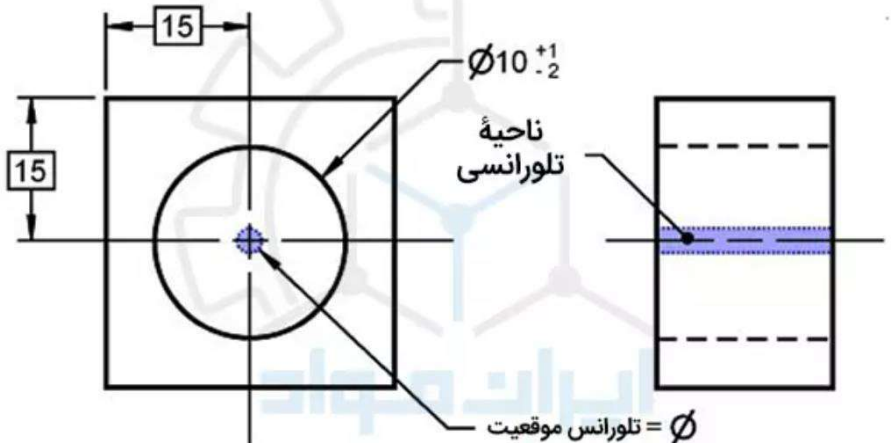
نماد تلرانس پروفیل سطحی در چهارچوب کنترل ویژگی به صورت یک نیم دایره در نظر گرفته می شود.

تلرانس موقعیت (Position Tolerance)

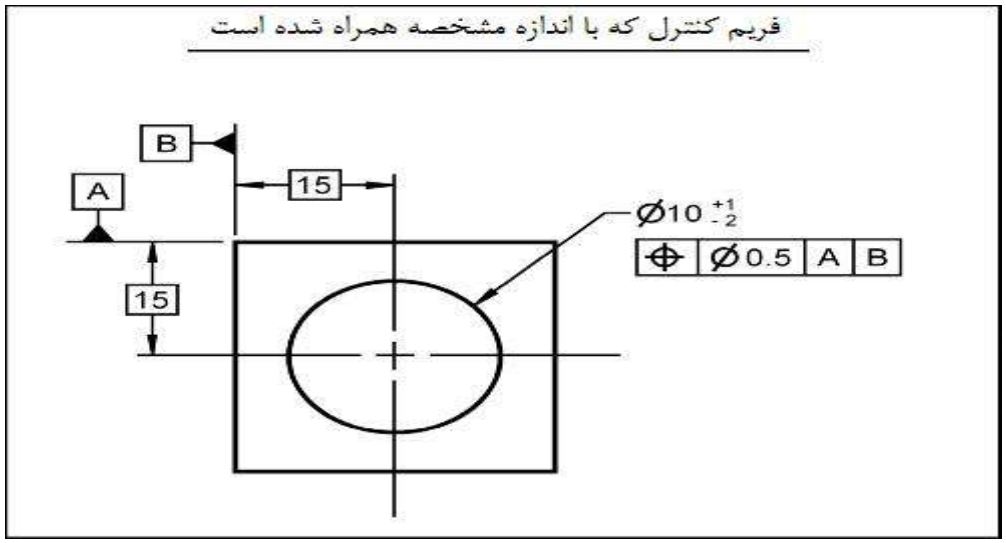
تلرانس موقعیت نشان می دهد که تا چه مقدار موقعیت مشخصه می تواند از موقعیت اصلی خود انحراف داشته باشد. موقعیت حقیقی در نقشه های دو بعدی با استفاده از اندازه پایه(Basic dimension) تعریف می شود. کنترل موقعیت نشان می دهد که موقعیت نقطه، محور یا صفحه مرکزی در قطعه واقعی تا چه حد از موقعیت اصلی آن می تواند منحرف شود.

ناحیه تلرانسی موقعیت برای یک محور بوسیله حجم یک استوانه تعریف میشود. قطر استوانه برابر مقدار تلرانس موقعیت می باشد. محوری که کنترل می شود باید درون حجم استوانه تعریف شده بوسیله ناحیه تلرانسی قرار گیرد.

حجم درون استوانه، ناحیهٔ تلرانسی کنترل موقعیت است.



برای اعمال تلرانس موقعیت به یک محور، فریم کنترل با اندازه مشخصه همراه می شود. در شکل زیر، محور کنترلی باید درون سیلندری که قطر آن mm0.5 می باشد، قرار گیرد. موقعیت محور مرکزی ناحیه تلرانسی استوانه بوسیله اندازه پایه موقعیت سوراخ را مشخص می کند. اندازه پایه موقعیت حقیقی سوراخ را نسبت به رفرنس های A , B ,C نشان می دهد؛ لازم به ذکر است که ترتیب رفرنس ها به ترتیب درجه اهمیت آنها می باشد.



مهم ترین دلیل استفاده از موقعیت کنترل برای اطمینان از مونتاژ صحیح قطعات می باشد.

تلرانس لنگی(Runout) : یکی دیگر از انواع تلرانس های هندسی تلرانس لنگی است .این تلرانس در قطعات روتاری و تجهیزات دوار نظیر پمپ ها ،کمپرسورها ، چرخدنده ها موضوعیت پیدا میکند . دو نوع تلرانس لنگی داریم که در ادامه به آن می پردازیم .

	لنگی دایره ای - Circular Runout	لنگی Runout
	لنگی کل - Total Runout	

لنگی دایروی (Circular Runout) : تلرانس لنگی دایروی به طور خاص برای قطعات استوانه‌ای دوار که در آن‌ها شکل و فرم سطح فیچر اهمیت زیادی دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد و میزان انحراف مقطع به نسبت مبنا داری اهمیت بالایی است . بنابراین بررسی انحراف فرم فیچر، مثل انحراف گردی و استوانه‌ای، برای اطمینان از کیفیت و دقت هندسی قطعه الزامی است.

لنگی کل (Total Runout): هم مرکزی، تعامد/توازی (برای محور یک مشخصه)، استوانه ای، دایره ای، راستی و لنگی دایره ای را کنترل می کند.

لنگی کلی، هم مرکزی را بوسیله کنترل راستای شعاعی محور مبنا نسبت به نقاط مرکزی مشخصه کنترل می کند.

تعامد یا توازی دو مشخصه نیز کنترل می شود، زیرا اگر محور مرکزی یک زاویه داشته باشد.، انتهای قطعه کار نسبت به قسمت هایی که نزدیک تر به مبنا می باشد لنگ تر است.

استوانه بودن نیز کنترل می شود زیرا هر تغییری در راستای سطح استوانه ای خود را در لنگی کل نمایان می کند. اگر قطعه استوانه باشد، هر گردی یا راستی منجر می شود که گیج ساعتی ارتفاع نوسان کند، حتی اگر قطعه کاملا هم محور باشد.

راستی محوری کنترل می شود زیرا هر برآمدگی در فیچر باعث می شود که انتهای قطعه لنگی بیشتری در انتها داشته باشد. راستی سطح نیز کنترل می شود زیرا هر گونه تغییرات فرم در سرتاسر سطح را کنترل می کنید. (قطعه را چه استوانه ای و چه مخروطی باشد کنترل می کند)

گردی کنترل می شود زیرا هر گونه تغییر فرم در سطح بوسیله اندازه گیری لنگی کل نمایان می شود.

لنگی کل در حقیقت ورژن 3بعدی لنگی محوری می باشد.(واژه لنگی به تنهایی اشاره به لنگی دایره ای دارد.) درحالی که لنگی کل میزان تغییرات سطح را در یک ناحیه 3بعدی نشان می دهد، لنگی دایره ای تنها یک سطح مقطع را اندازه گیری می کند.