

GEOMETRİK TOLERANSLARIN ÖLÇÜMLEMELERİNDE OLUŞABİLECEK YANILGILAR ÜZERİNDE BİR ARAŞTIRMA

Macit Karabay, Bilgin Kaftanoğlu

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Bölümü

ÖNSÖZ

Geometrik ölçülendirme ve toleranslamanın mekanik parçalar tasarım ve üretimindeki kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Önemi nedeni ile konu, teknik arenada ön sıradaki yerini almıştır. Geçmişte kalan \pm toleranslamanın günün kalite oluşumunda yüksek düzeyde tamlik, güvenilirlik ve ucuzluk gereksinimlerini tümü ile karşılayamadığı gerçeği, son yirmi yıl içinde GD&T olarak tanınan bu yöntemin gelişmesini ve standardlaştırılmasını hızlandırmış, eski teknikle hazırlanmış olan "üretim resimlerinin ve teknik dökümantasyonların bu yeni teknikle gözden geçirilmesini gerekli kılmıştır. Bu doğrultuda, konu ile ilgili tüm firma ve fabrikalar elemanlarını eğitmekte, kalite ve ekonomideki rekabetin gereğini yerine getirme çabalarını sürdürmektedirler.

Bu bildiride (GD&T) nin önemine değinilecek, uygulamalarda gözönüne alınması gereken bazı hususlara, yapılan bir araştırmanın sonuçlarına dayanılarak dikkat çekilecektir.

QS 9000 ve GD&T

Sektörel kalite güvence sistem standardı olarak, ISO 9001'e dayalı biçimde, otomotiv endüstrisi için, üç büyük firmaca (GM, FORD, CRYSLER) hazırlanmış olan ve QS 9000 olarak anılan standardta birinci gereksinim olarak "geometrik ölçülendirme ve toleranslama tekniklerinin kullanımı" öngörülmektedir. Bu öngörme, duyarlı parçaların üretimini önemli oranda kapsayan bu sektöre ve yan dallarına ilişkin her ülkede binlerce firmayı etkilemekte, ister istemez GD&T için hazırlıklara yöneltmektedir. GD&T, tasarımdan başlayan, iş kalıplarının, süreç çözümlerinin, süreç ve tezgah seçiminin, ölçme-kontrol yöntemlerinin gözden geçirilmelerini, yeniden düzenlenmelerini içeren kapsamlı bir olay olarak görülmektedir.

GD&T NELER KAZANDIRIYOR?

Süreç planlamaya dayalı olarak yürütülen üretim girişimleri ürün geliştirme ve tasarlama bölümünde saptanmış olan gereksinimleri karşılama ve gerçekleştirme zorundadır. Bu gereksinimler parça teknik resimleri aracılığı ile iletildiklerinden, teknik resimlerde bulunan tüm bilgilerin kolay anlaşılır ve yanılığa neden olmayacak tek anlamlı olmaları beklenir. Teknik resimlerde bazı özelliklerde kullanılmakta olan \pm li toleransların çoğu yerini geometrik toleranslara bırakmıştır. Oldukça karmaşık gibi görünen bu toleranslamanın da yanılığa neden olmayacak biçimde kullanımı için gereken yapılmalıdır. Bu amaçla ulusal ve uluslararası standartlar geliştirilmektedir. ISO, 8-10 değişik standard içindeki konuları yeni bir düzen içinde GPS (geometrik ürün özellikleri) adı ile birleştirme çabalarını

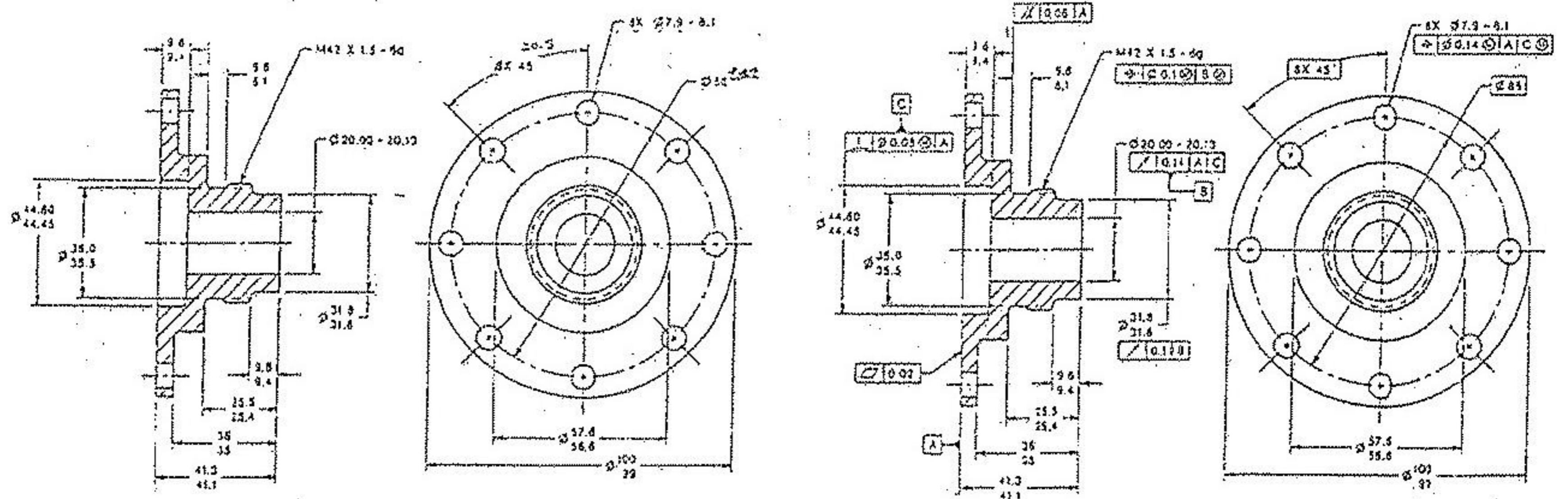
sürdürürken ABD'nin ANSI kurumu, ASME'ye hazırlattığı 212 sayfalık yeni standardını 1995 yılında kullanıma sunmuş, bir taraftan da gözden geçirmeye almıştır. Bu standardta bileşik, çoklu iki tekli konum toleransları gibi yenilikler yada yeni tanımlamalar yer almakta, tartışmalı olduğu ileri sürülen konulara açıklıklar getirilmektedir.

Ancak hala konu üzerinde son söz söylenmiş sayılmamaktadır. Çalışmalar sürmekte, araştırmalar, değerlendirmeler yapılmakta, öneriler ileri sürülmektedir. ANSI ve ISO standartları arasındaki kavram ve simge farkları en aza indirilmiş olmakla beraber tümü ile giderilmiş değildir. Bu iki standard kuruluşu şimdi beraberce çalışarak (GD&T)'yi gerçek uluslar arası ortak bir dil olarak düzenlemektedirler.

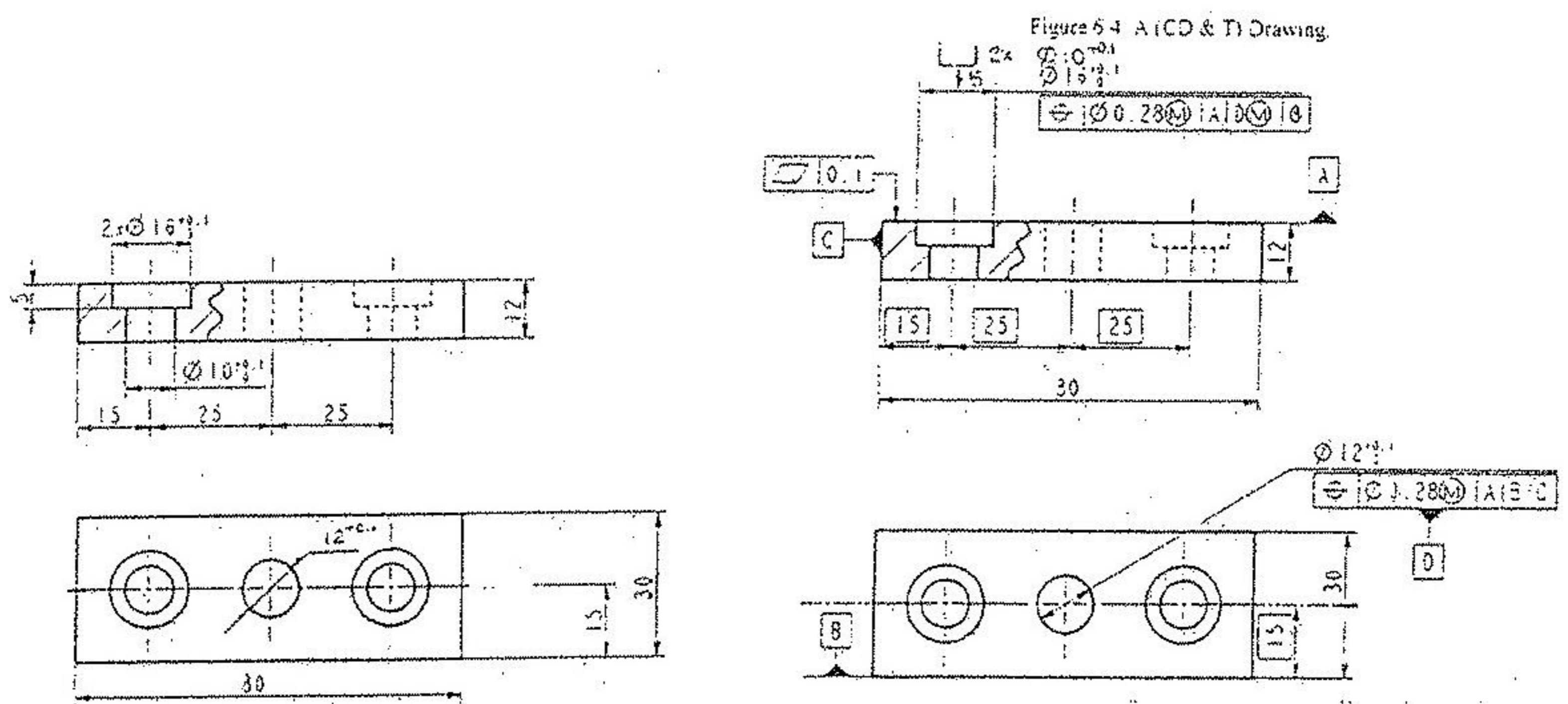
Klasik koordinat ölçülendirme ve toleranslamaya (CD&T) karşı, (GD&T) özetle, aşağıdaki ek bilgileri, herhangi bir anlaşılması zor olan "not" düşmeye gereksinim duymadan oldukça kolaylıkla verebilmektedir.

1. Geometrik biçimler olan doğrusalılık, düzlemsellik, dairesellik, silindiriklik ve profil ile; diklik, paralellik gibi yönelme (orientasyon), ve, eşmerkezlik, eşeksenlik, simetriklik, konum gibi konumlandırma; dairesel ve toplam salgı gibi özellikleri simgeliyerek ve bunlardaki kabul edilebilir kusurları (toleransları) basitçe belirliyerek anlatabilmektedir.
2. Bu geometrilerden bir yada daha fazla yüzeye, eksene, doğruya bağımlı olanlar varsa bu bağımlılığını basit bir biçimde, sırasıyla gösterebilmektedir.
3. Referans yüzeyler yada doğrulardaki hangi noktalara yada küçükçe yüzeylere, parçanın işlenilme ve ölçülmesinde dokunularak konumlara yapılacağı simgelenerek gösterilebilmektedir.
4. Tolerans miktarı, \pm yerine ϕ (çap) olarak konulabildiğinde tolerans bölgesi %57 arttırılabilmekte, üretimde ucuzluk sağlanmaktadır.
5. Ençok malzeme koşulu (M) kullanıldığında, tolerans miktarı koşullu da olsa arttırılabilmekte, ekonomiye katkı sağlanmaktadır. Ayrıca, bu uygulama basitleştirilmiş işlevsel master kullanımını olanaklı kılmaktadır.
6. (M) kullanımı ile koşullu olarak sıfır tolerans verme olanağı bulunmakta, geometrik master daha da basit hale getirilebilmektedir.
7. İzdüşmüş tolerans verilerek montaj garantisi arttırılabilmektedir.
8. İstatistiksel tolerans kullanımı, not düşmeden, simge ile gösterilebilmektedir.
9. Bileşik, iki tekli konum toleranslama en yeni standartlarda yerini almakta, ürün tasarımında ve üretiminde güvenilirlik daha da arttırılmakta, kalite garantisine katkı sağlanmaktadır.
10. Çok parçalı geometrik toleranslama ile bir geometrinin, örneğin deliklerin, tamlığı ve işlevselliği kademeli olarak belirlenebilmektedir.
11. İşlenirken esneyen parçaların toleranslandırılmaları basitleştirilmektedir.
12. Özelliğin bir başında daha sıkı kontrol sağlanabilmektedir.
13. Toleransların istenilmeyen yığılmaları önlenebilmektedir.

Örnek olsun diye iki değişik parça üzerinde (CD&T) ile (GD&T) uygulamaları aşağıda karşılaştırılmaktadır.



CD&T ve GD&T



CD&T ve GD&T

YÜRÜRLÜKTEKİ (GD&T) STANDARLARININ ÖLÇÜMLEMELER BAKIMINDAN İRDELENMESİ

Önceden de değinildiği gibi, yürürlükteki (GD&T) standard ve uygulamalarında, 1970'den bu yana yapılan değişikliklerle iyileştirmeler yapılmış, bu günkü durumuna gelinmiştir.

Bununla beraber, birçok yetkili kişilerce de belirtildiği gibi yapılması gerekenler sürmektedir.

Değişik bakış açıları ve amaçlar için günün (GD&T) si tartışılabilir. Bunlar içinde önemli olanlardan biri, tasarımcı tarafından irdelenerek verilmiş olan geometrik tolerans miktarının ölçülmesinde yada kontrolunda gözden kaçabilecek olan hususlar, başka bir deyişle yanlış paylarıdır. Ölçümlerinde, tasarımcının hesaba katmadığı sapmalar olursa bazı parçaların yanlışlıkla red, yada yanlışlıkla kabul edilme olasılıkları ortaya çıkar. Her iki durum da istenilmeyen olmakla beraber yanlışla kabul, kaliteli kuşkusuz olumsuz etkiler.

Bilindiği gibi bir geometrinin, örneğin yuvarlaklık yada düzlemsellik ölçümünde değişik yöntemler uygulanabilir. Seçilecek yöntem, geometrik toleranslama standartlarında simgelerle belirtilmemekte, eğer gerekiyorsa yazılı olarak açıklanabileceğine işaret edilmektedir. Ölçünün duyarlılığına, ölçülecek parça sayısına, eldeki olanaklara yada üretici-tüketici arasındaki anlaşmalara dayalı olarak ölçme-kontrol-mastarlama işlemleri belirlenmek ve yürütülmek durumundadır.

Ancak örneğin düzlemsellik, diklik-paraellik gibi danışmansız yada danışmanlı olan ölçümlerinde, geometrilerin duyarlılığına bağlı olarak kaç noktadan, kaç kesitte yada kaç doğru boyunca ölçüm yapılmalı, danışman referans söz konusu ise nasıl tanımlanmalı gibi sorular gerçekten önemli ve günceldir. Koordinat ölçme merkezlerindeki ölçümlerinde olduğu gibi, duyarlı pleyit üzerinde yapılacak olanlarda da benzeri sorulara yanıt aramak ve karar vermek zorunluluğu duyulur.

Çünkü, bilinirki, örneğin, düzlemsellikte eğer üç noktadan ölçüm yapılırsa, üç noktadan kusursuz bir düzlem geçtiği için o düzlemde hiç düzlemsellik kusur görülmez. Oysa her düzlemde az-çok kusur söz konusudur. Ölçümlemede nokta sayısı artırılırsa gerçek kusura daha çok yaklaşılar. Örneğin düzlemsellikte sonsuz sayıda ölçüm yapılamayacağına göre bazı geometrilerde bu bakış açısı ile zorunlu olarak, diğerlerinde ise ölçmenin ve kalitenin ekonomisi açısından ölçme parametrelerinin sınırlandırılması ve belirlenmesi gereği duyulmalıdır. Böylece her ölçüme olduğundan daha da fazlası olarak geometrik ölçümlerinde kusurun gerçek miktarını bulma olanağı olamamakta, kusurdaki sapma miktarının kestirilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Bu sapma miktarının üretilmiş geometrideki yüzeysel dalgalılar, pürüzler vb. gibi özelliklerin yanısıra uygulanan ölçme yönetimindeki ölçmenin parametrelerine ve duyarlılığı ile yapılan hesaplamalardaki yanlışlardan etkilendiği söylenebilir.

YAPILAN ANALİTİK VE DENEYSEL ÇALIŞMA

1. Analitik İrdeme: Ölçümbilimde bilindiği gibi, örneğin bir düzlemsellik, doğrusalılık, yuvarlaklık silindiriklik gibi geometrilerdeki kusurun miktarını belirlemek için yapılan ölçümlerle elde edilen koordinat değerlerinin bir referansa göre karşılaştırılması yapılır. Aynı değerler eğer başka bir referans kullanılırsa değişik kusur gösterir. Referans, o geometri için "kusursuz" bir biçimdir ve alınan ölçümlere göre belli bir yerde

durmalıdır. Analitik yöntemler bu iş için bugün "en az kareler tekniğini" (LST) kullanmaktadır. Ancak, duyarlı pleyit üzerinde yapılan bir çok ölçümlerinde deyme noktalarından geçen geometriler pratikte referans olarak kullanılmaktadır.

Analitik irdemeler yapılarak örneğin; bir doğrusallık ölçümünde, doğru boyunca belli noktalardan alınan koordinatlar önce, doğrunun iki ucunu birleştiren doğru referans alınmış, daha sonra "best fit" diye anılan enaz kareler yönteminin belirlediği doğru kullanılmıştır. İlkinde bu varsayılan koordinatlar için doğrusallık kusuru 25.9 µm bulunmuşken, ikincisinde aynı koordinatlar için 23.1 µm ortaya çıkmıştır.

Düzlemsellik için yapılan bir irdemede referans olarak önce belli üç köşeden geçen düzlem, daha sonra enaz karelerin belirlediği düzlem kullanılmış 16 µm olarak bulunan düzlemsellik kusuru ikincisinde 11.5 µm ye düşmüştür.

Birinci irdemede kusur %12, ikincisinde %39 düşüş göstermiştir. En az kareler yöntemi, referans seçimi açısından kuşkusuz en anlamlı analitik bir yöntem olarak ortaya çıkmakta bu nedenle de bilgisayarlı ortamlarda hemen tüm gerekli uygulamalarda kullanılmaktadır.

2. **Deneysel Çalışma:** Türk Traktör fabrikasının izin ve katkıları ile yürütülen bir deneysel çalışma ile, üretilmiş, kusursuz (kusurların toleransları içinde bulunması durumu) silindir blokları üzerinde yapılan ölçümlerle, ölçme parametreleri, referanslar ve danışman yüzeyler değiştirildiğinde, aynı geometri için elde edilen geometrik kusur miktarının nasıl değiştiği belirlenmiş ve yorumlanmıştır.

Geometrik kusurlar boyutsak kusurlar gibi kaçınılmazdır. Gerçek kusurlar irdelenerek ve denenerek belirlenmiş tasarım toleransları içinde kaldığı sürece parçanın işlevini yerine getireceği varsayılır.

"Zeiss" yapımı "CMM" kullanılarak değişik geometrik kusurlar, değişik noktalardan, kesitlerden ölçümlerle değişik referanslar ve değişik sırada danışman yüzeyler kullanılarak saptanmış, sapma nedenleri irdelenmiş ve sapma oranları belirlenmiştir.

Örneğin;

Doğrusallıkta

- 7 noktadan yapılan ölçüm 9 noktaya çıkarıldığında ve iki ucu birleştiren doğru referans alındığında kusur %37 artmıştır.
- 7 noktadan ölçüm (LST) 2900 noktalı (LST) taramaya çıktığında kusur %30 artmıştır.
- Tarama ile elde edilen koordinatlar önce iki uç, sonra(LST) kullanıldığında kusur %8 düşük elde edilmiştir.

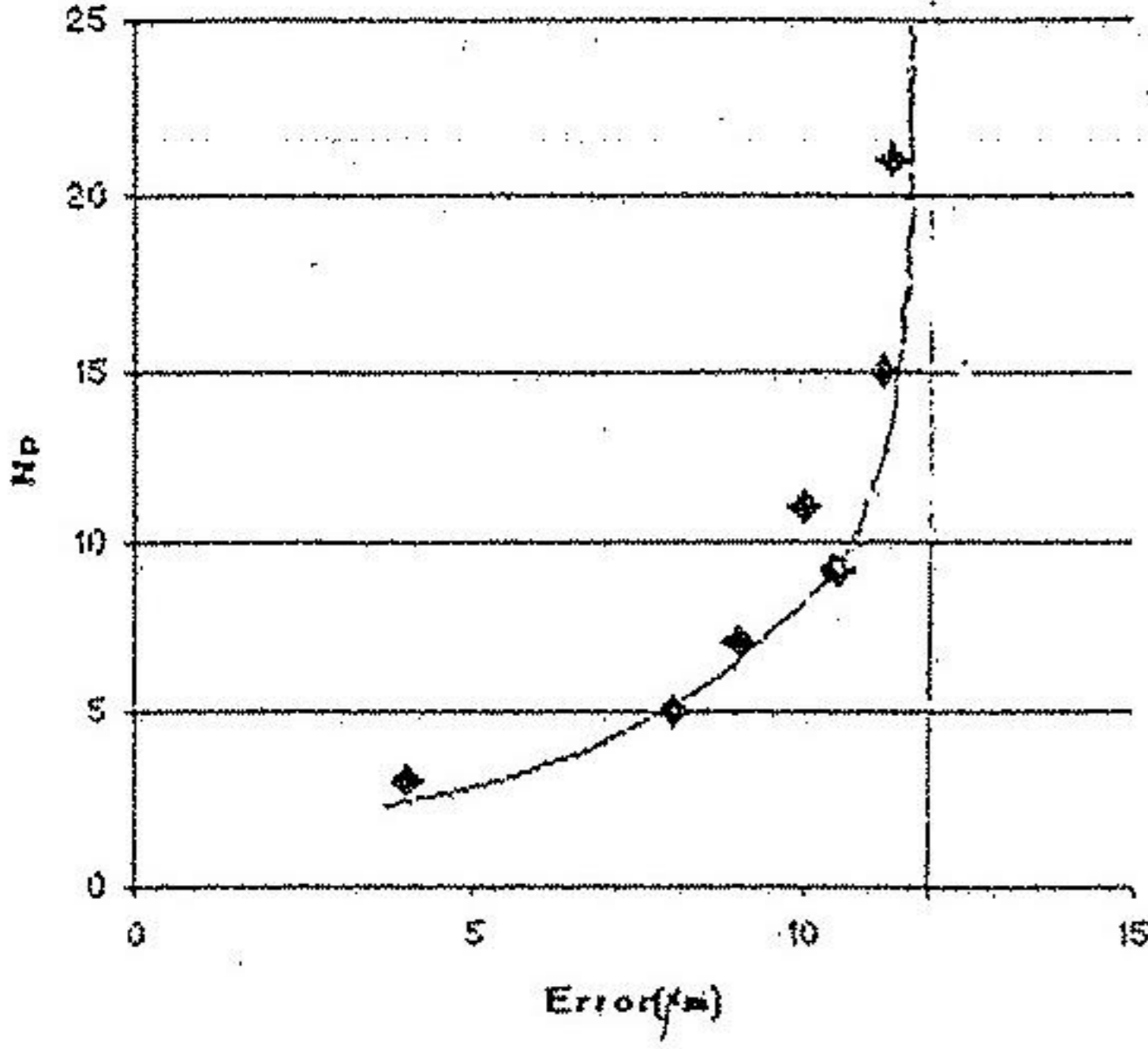
Yuvarlaklık

- 5 noktalı ölçümde kesit sayısı 1 den 3 e çıkarıldığında kusur %100 fazla olarak görülmekte.
- 5 noktalı ölçüm 8 noktalıya çıkarıldığında üç kesitli ölçümde kusur %200 artmıştır.

Diklikte

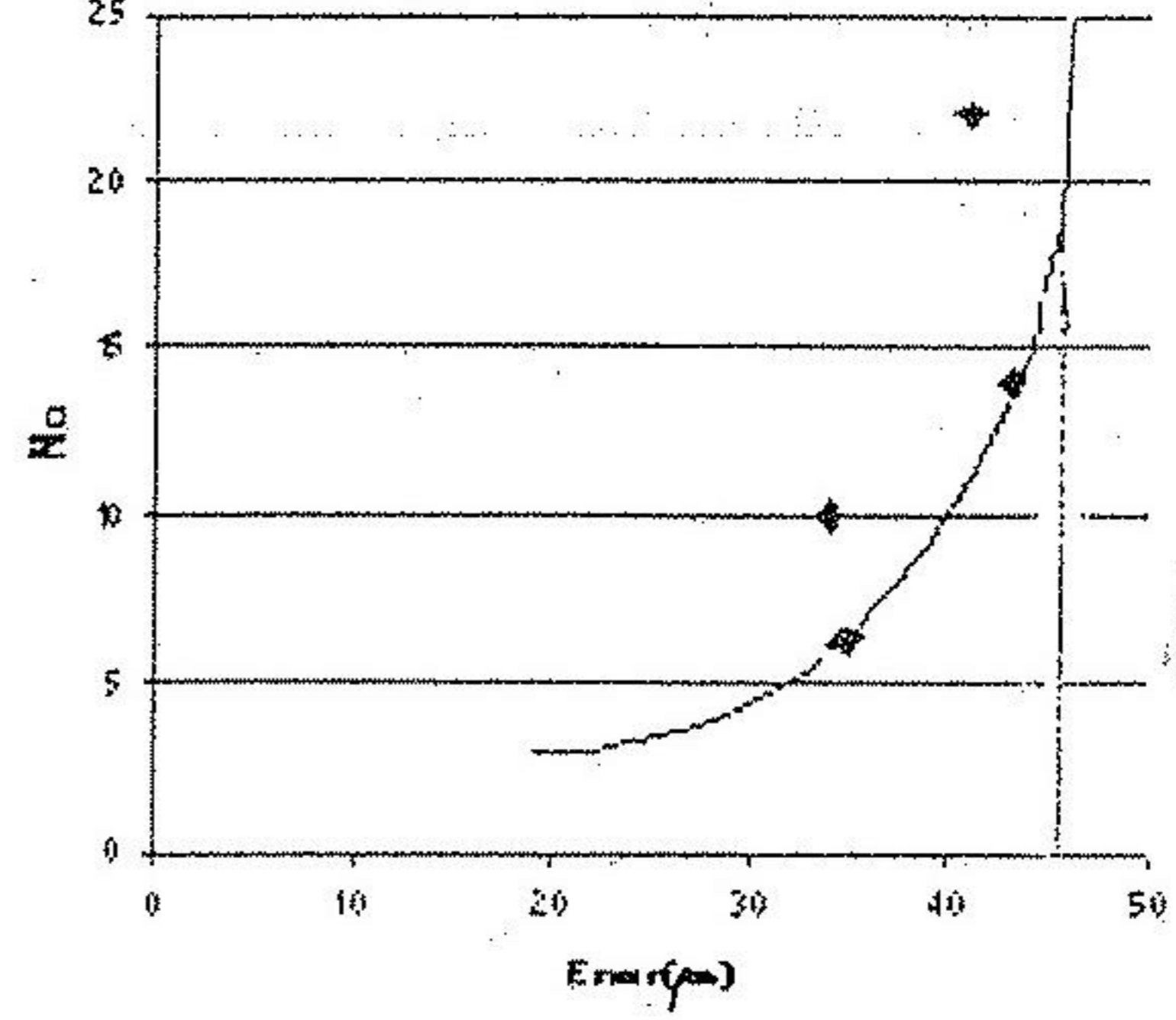
- Doğrunun bir düzlemle olan diklik ölçümünde düzlemde 18 nokta (LST) doğrudaki 2 nokta; düzlemde 18 nokta (LST) doğrudaki 4 nokta (LST) olduğunda diklikteki kusur %58 artım göstermektedir

Doğrusallık ve düzlemsellikte yalnızca nokta sayılarının artırılması ile elde edilen kusurun nasıl arttığının grafik gösterimi



$$y = -7.2 / (x - 11.6) + 1.4$$

Doğrusallıkta kusur artımı



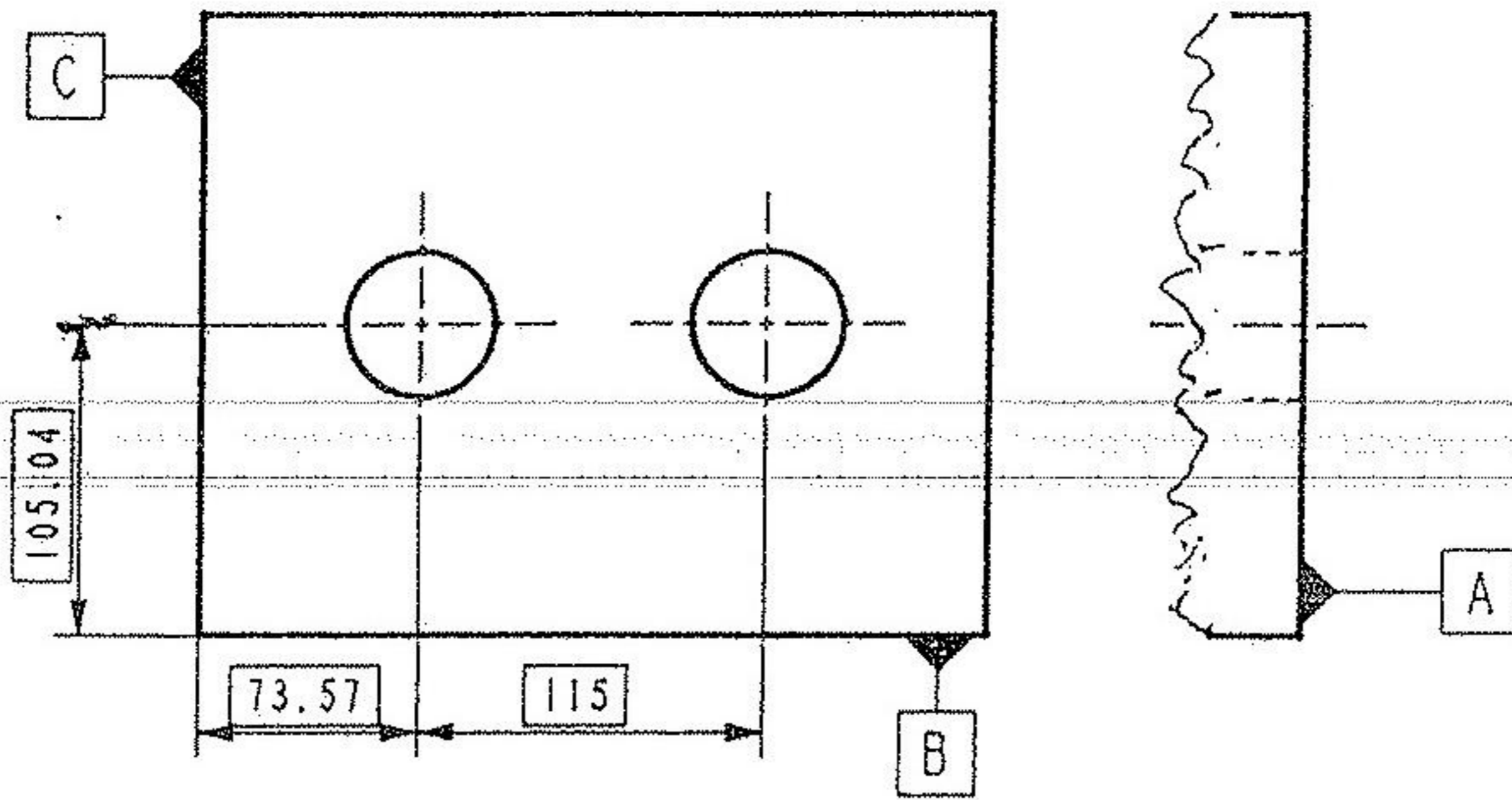
$$y = -36 / (x - 45) + 2.2$$

Düzlemsellikte kusur artımı

BİLEŞİK VE ÇOKLU PARÇALI KONUM TOLERANSLAMA

Geometrik toleranslamada, henüz resimlerde ve standartlarda görülmeyen, ancak, yakın bir gelecekte, duyarlı parçalarda uygulanacağına inanılan bir örnek deneysel çalışma sonucu aşağıdadır.

- Bloktaki iki silindir ele alınarak A,B,C danışmanlarına göre, beş nokta ve beş kesitten ölçüldüğünde, ölçüm sonuçları, geleceğin olası gösterimi bakış açısı ile irdelenmiştir.



⊕	∅0.090	A	B	C
⊕	∅0.080	A	B	
⊕	∅0.050	A		
⊕	∅0.020			

\oplus	$\emptyset 0.090$	A	B	C
		A	B	C
	$\emptyset 0.065$	A	B	
	$\emptyset 0.050$	A		
	$\emptyset 0.020$			

X invalid

\oplus	$\emptyset 0.090$	A	B	C
		A	B	C
\oplus	$\emptyset 0.080$	A	B	
\oplus	$\emptyset 0.065$	A	B	
	$\emptyset 0.050$	A		
	$\emptyset 0.020$			

invalid

Bileşik konum
toleranslaması

Çok tekli ve bileşik
karma konum toleranslaması

GEOMETRİK ÖLÇÜMLER İÇİN ÖRNEK BİR ÇİZELGE

Yapılan deney ve bu konuda elde edilen deneyimlere dayalı olarak aşağıdakine benzer çizelgeler önerilebilir.

Ürün ve ölçümleme tasarımcılarının görüş birliği içinde kullanıldığında bu tür çizelgeler bir anlam taşır ve kaliteyi olumsuz etkilemez.

Çizelgenin her tür parça özellikleri ve duyarlılık düzeyleri için kullanılabilceği gibi bir say bulunmamaktadır. Bir örnek oluşturma amacını taşımakta, firmaların kendi verilerini değerlendirerek benzer çizelgelere erişebileceklerini göstermektedir.

Doğrusallık	Boy	50-200	201-400	401-600	601-1000
Bir doğrunun profili	N_p	5	8	11	14
Düzlemsellik	Büyüklik	100x100	150x150	300x300	500x500
Bir düzlemin profili	(alan)	150x150	300x300	500x500	800x800
	$N_p \times N_s$	4x4	5x6	8x8	10x10
Yuvarlaklık	Büyüklik	10x20	60x90	120x180	200x300
Yalpa	($\phi \times L$)	60x90	120x180	200x300	400x600
T.Yalpa	$N_p \times N_s$	4x4	5x4	6x4	7x4
Eşmerkezlik					
Silindiriklik	Büyüklik	10x20	60x90	120x180	200x300
	($\phi \times L$)	60x90	120x180	200x300	400x600
	$N_p \times N_s$	4x4	5x5	6x6	7x7
Diklik	Büyüklik	100x100	150x150	300x300	500x500
Paralellik	(her alan ve doğru)	150x150	300x300	500x500	800x800
Açısallık	$N_p \times N_s$	3x3	4x4	5x5	6x6
Simetriklik					
Konum	Danışman alanı	100x100	150x150	300x300	500x500
		150x150	300x300	500x500	800x800
	$N_p \times N_s$	3x3	4x4	5x5	6x6
	Danışman alanı (Dairesel)	30x50	60x90	120x180	200x300
		60x90	120x180	200x300	400x600
	$N_p \times N_s$	4x4	5x5	6x6	7x7
	Delik	5x10	60x90	120x180	200x300
	Büyüklüğü	60x90	120x180	200x300	400x600
	($\phi \times L$)				
	$N_p \times N_s$	4x4	5x5	6x6	7x7

Önerilebilecek geometrik ölçüm parametreleri
 N_p : Nokta sayısı, N_s : Kesit sayısı

SONUÇ

Geometrik toleranslama giderek önem kazanmaktadır. Yakın bir gelecekte tüm mekanik tasarım ve üretimi kapsayacağına inanılmaktadır. Ancak hala çözümlenmesi gereken sorular bulunmakta, benzer çalışmalara gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada yukarıda sunulan kusur sapmalarının ortaya çıkaracağı yanlış kararlar nedeni ile oluşabilecek sürtüşmelerin önlenmesi için neler yapılabileceği ortaya konmuştur. Örneğin, geometrik toleranslama standartlarına, ölçmeye yönelik yeni simgeler eklenmelidir. Bu konuda da çalışma yapılmıştır.