

ÇEKME-BASMA TEST MAKİNALARINDA KALİBRASYONUN ÖNEMİ

Sinan FANK, Hakan Özgür ÖZBAY, Şakir BAYTAROĞLU
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), P.K.21, 41470 Gebze-KOCAELİ

Özet : Malzeme testleri ürün kalitesini artırmak, daha güvenilir ve ekonomik ürünler imal etmek ve geliştirmek için en önemli etkidir. Bunun için, testleri gerçekleştiren test makinalarının yeterli doğruluğa sahip olması gerekir. Bu çalışmada, çekme-basma test makinalarının doğruluklarının belirlenmesinin önemi ve doğrulama ölçümlerinin nasıl yapıldığına ve değerlendirildiğine dair açıklamalar yapılmıştır.

1. Giriş

Endüstride yaşanan rekabet ve ilerleyen teknoloji nedeniyle daha kaliteli ve güvenilir ürünleri tüketiciye sunmak ve böylece pazar payını artırmak isteyen üreticiler, ürünlerine çeşitli mekanik testler uygulamaktadırlar. Malzeme testlerinin ana amacı, ürünlerde kullanılan malzemelerin uygunluğunun belirlenmesidir. Böylece uygun olmayan malzeme kullanılmayarak veya daha iyi malzeme geliştirilmesi sağlanarak, ortaya çıkabilecek muhtemel arızalar veya hasarlar önlenmiş ve olası tehlike ve zararlardan kaçınılmış olur. [1]

Son zamanlarda üretim sonrası kalite kontrol yerine üretim aşamalarında prosesin kontrolünün sağlanması, imalatı gerçekleşen tüm ürünlerde kalitenin gerçekleşmesini sağlayan çok önemli bir faktör olmuştur. Bunun gerçekleşebilmesinin tek yolu üretim öncesi, üretim esnasında ve sonrasında kullanılan ölçme ve test cihazlarının doğruluğunun belirlenmesidir.

Mekanik özellikleri doğru bilinen malzeme kullanmak dizayn aşamasından ürün aşamasına kadar tüm proste ekonomik ve daha güvenilir ürünlerin geliştirilmesini ve imalini sağlar. Bu amaç çerçevesinde kullanılan çekme-basma test makinalarının doğruluğunun belirlenmesi ve iyileştirilmesi, doğrudan ürün kalitesine yansımaktadır. [2]

Çekme basma test makinalarının doğrulanma ölçümlerinde iki parametre kontrol edilir. Bunlardan birincisi, makinasının test koşullarında yük ölçme sisteminin doğrulanması (makinadan sökülerek veya bağımsız olarak değil), ikincisi ise uzama ölçerlerin (ekstansometre) doğrulanmasıdır. Bu bildiride yalnızca yük sisteminin doğrulanması ile ilgili açıklamalar yapılacaktır.

2. Çekme-basma Malzeme Test Makinaları

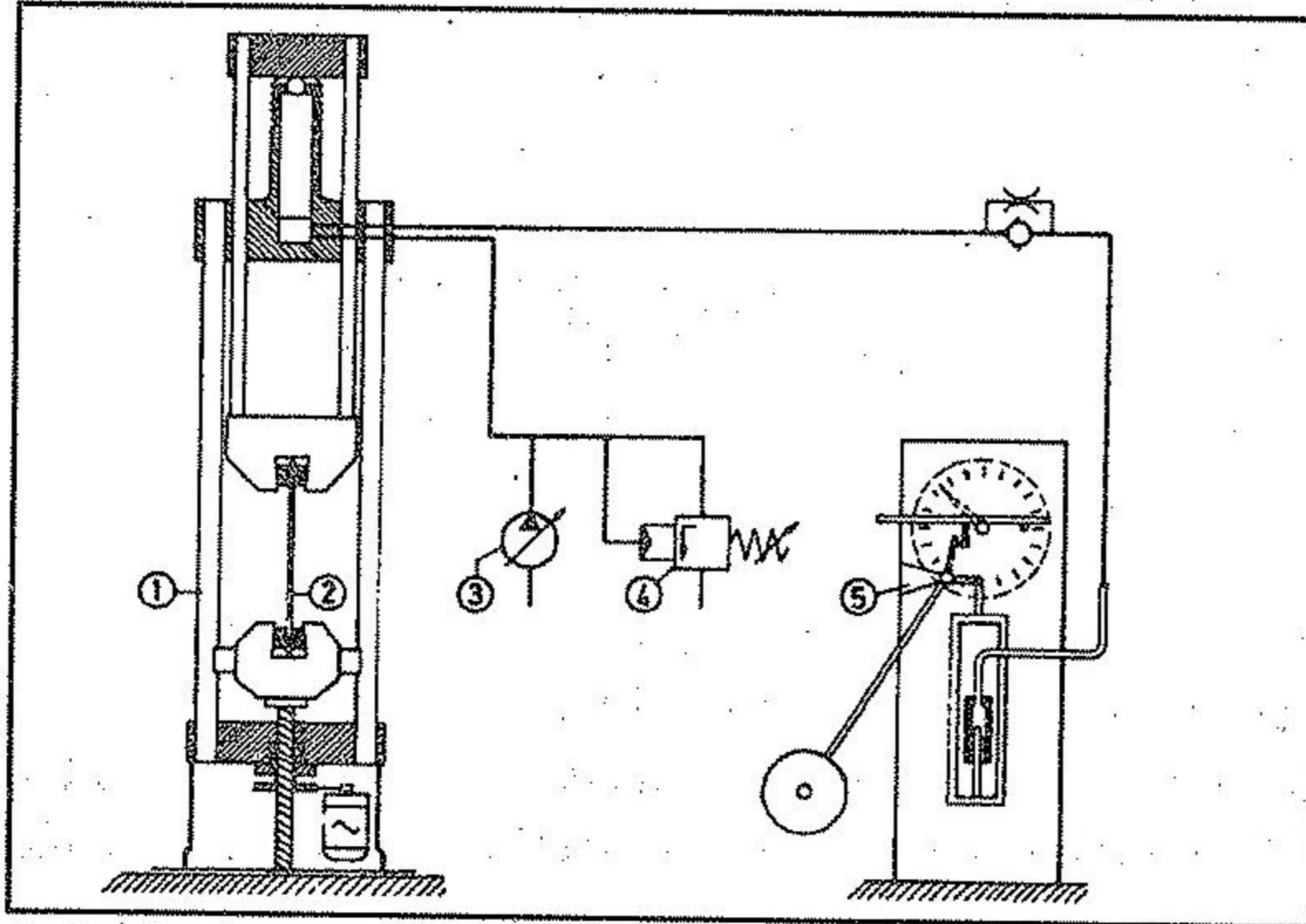
Çekme ve basma testleri malzemelerin dayanımı hakkında esas tasarım bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmalarını sağlamak amacıyla geniş çapta kullanılırlar.

Çekme testi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin, tek ekseninde, belirli hızda ve sabit sıcaklıkta koparılmaya kadar çekilmesidir. Test sırasında numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulanır ve aynı anda da numunenin uzaması kaydedilir. Çekme testi sonunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait elastisite modülü, elastik sınırı, akma gerilmesi, çekme dayanımı, tokluk, % uzama ve % kesit daralması gibi özellikler bulunabilir.

Basma testi de işlem itibarı ile çekme testinin tamamen tersidir. Uygulamada basma testinin uygulandığı yerlerde kullanılan malzemeler, genellikle gevrek malzemelerdir. Kır dökme demir, yatak alaşımları, tuğla, beton gibi malzemelerin basma dayanımları çekme dayanımından daha yüksek olduğu için, bu gibi malzemeler basma kuvvetlerinin uygulandığı yerlerde kullanılırlar ve basma testine tabi tutulurlar.

Bu testlerde hidrolik veya vida mekanizmalı makineler kullanılmaktadır. Aynı makinayla hem çekme hemde basma testleri yapılabildiği için çekme-basma makinası olarak anılmaktadırlar.

Hidrolik sistemlerde bir pompa tarafından basılan yağ piston-silindir ünitesine giderek pistonun aşağı-yukarı hareketini ve böylece piston ve sabit tabla arasında kuvvet üretilmesini sağlar. Vidalı sistemlerde ise, bir motor tarafından döndürülen sonsuz vida üzerinde hareketli bir tabla bulunmaktadır. Bu tablanın aşağı-yukarı hareketi, sabit ve hareketli tabla arasına yerleştirilmiş olan numuneye kuvvet (yük) uygulanmasını sağlar.

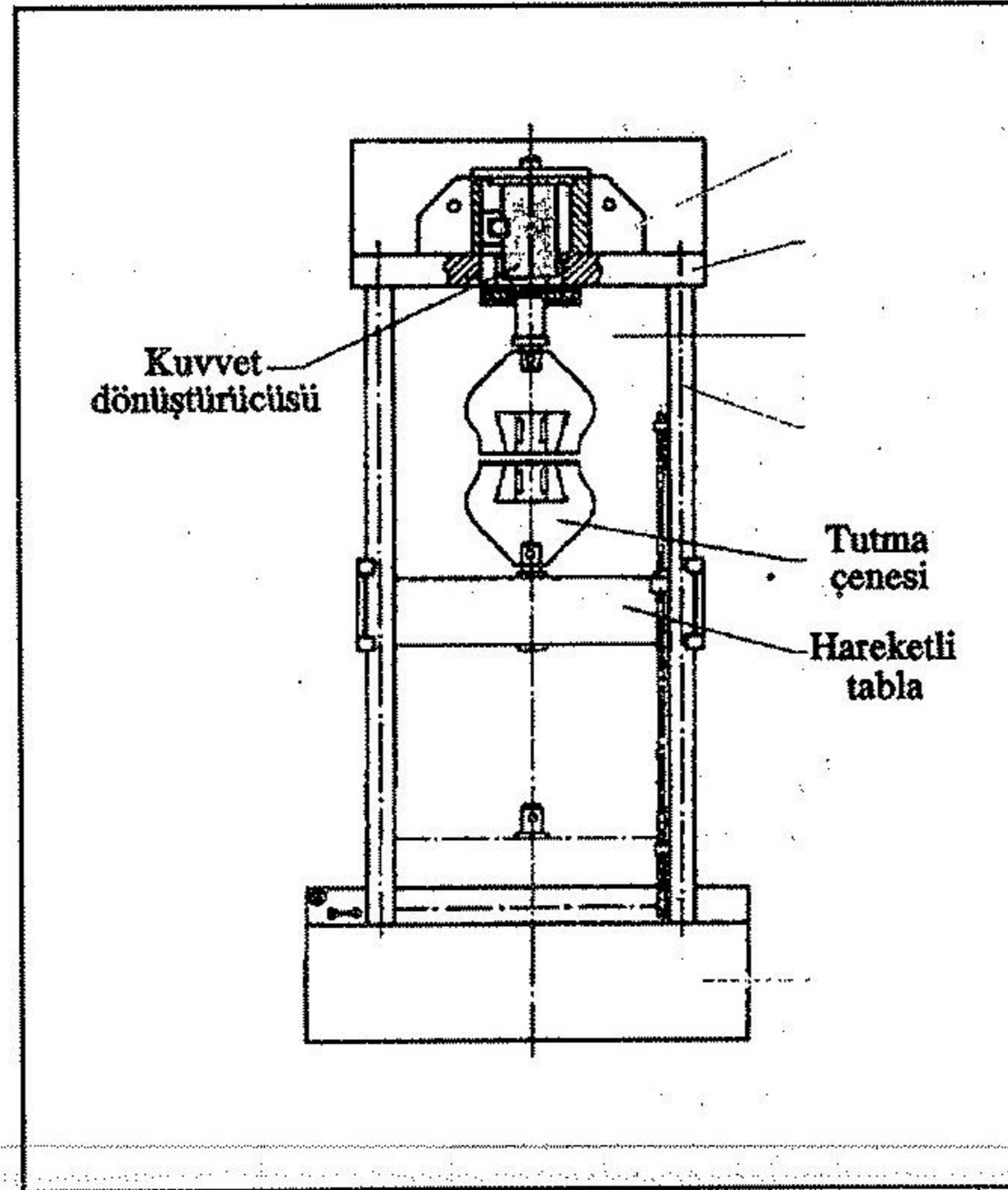


Şekil 1. Hidrolik tip çekme basma test makinası

- 1 - Taşıyıcı gövde
- 2 - Numune
- 3 - Hidrolik pompa
- 4 - Hidrolik valfler
- 5 - Manometrik kuvvet göstergesi

Şekil 1’de görülen hidrolik makina manometreli olup yük değeri skaladan analog olarak gözle okunmaktadır. Fakat vidalı makinada yük ölçme sisteminde kuvvet dönüştürücüsü kullanıldığı için değerler dijital olarak okunabilmekte ve değerler bilgisayar tarafından kayıt edilebilmektedir. Günümüzde hidrolik makinalar da aynı şekilde bilgisayarla kontrol edilebilmekte, yük değeri kuvvet veya basınç dönüştürücüsü ile birim uzama ise ekstansometrelerle elektriksel çıkış olarak okunmakta ve bilgisayarlar tarafından kaydedilip değerlendirilmektedir.

Testlerde ölçülen yük ve uzama değerlerinin N ve mm cinsinden kayıd edilmesi numunenin boyutlarına bağlı olarak aynı malzemeden farklı sonuçların elde edilmesine sebep olur. Bu nedenle yük ve uzama değerlerinin, gerilme ve % birim uzama değerlerine çevrilerek kullanılması, malzemelerin sınıflandırılması, kullanma yerlerinin seçimi vs. hakkında tam fikir elde edilmesi açısından çok önemlidir. [3]



Şekil 2. Vidalı tip çekme-basma test makinası

3. Test Makinalarında Doğrulama Ölçümlerinin Amacı

Çekme-basma test makinaları genellikle aksenal yönde kuvvet üretir, iletir ve ölçerler ve kullanımlarına göre farklı seviyede metrolojik karakteristik sergilerler. Ölçme belirsizliğinin hassas olanlarda % 0.5, normal makinalarda ise % 1 ve % 2 olduğu görülür. Belirsizliği sınırlayan faktörler kuvvet üretme ve iletme sistemlerinden, yük seviyesinden ve ölçme sisteminden kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak makina ve yüklenen cisim arasındaki

etkileşim veya uyumsuzluğunda etkisi vardır. Örneğin kuvvet makinalarında, kalibre edilecek kuvvet dönüştürücülerinin rijitliğinden dolayı bazı doğrusallıktan sapmalar oluşabilir ve buda uygulanan yük değerine ve kuvvet dönüştürücülerinin makina eksenine olan konumuna bağlıdır. Test makinalarında ise örneğin test edilecek beton blokun homojen olmaması ve beton yüzeyinin bozukluğu, makina ile test edilecek numune arsında etkileşim yapmakta ve sonuçları etkilemektedir.

Kuvvet standardı makinaları ve test makinalarının kolonlarında rijit ve kararlı olmayan davranışlardan dolayı oluşan farklı davranışlar, test edilecek numunenin eksenine makina ekseninin uyuşmaması (aynı eksene gelememeleri), makinanın merkezleme sisteminin iyi olamaması ve yük uygulama sisteminin eksende olmaması gibi nedenlerden dolayı, makinada konstrüksiyonel kusurlar oluşabilmekte, bu kusurlar ve sayılan sebepler ölçüm sonuçlarının kabul edilemeyecek değerlerde olmasını sağlamaktadır. Örneğin yük ölçme sisteminin doğruluğu % 1 olan fakat bu gibi kusurlara sahip bir test makinasında elde edilen malzeme test sonuçlarıyla, her şeyi hassas olarak kontrol edilmiş referans bir makinayla yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar arasında % 10÷20 arasında bir fark olduğu gözlenmiştir. [4]

Tüm bu nedenlerden dolayı test makinalarının yük ölçme sistemi ayrı olarak değil makina ile birlikte (çalışma koşullarında) doğruluğunun belirlenmesine yönelik ölçümler gerçekleştirilmelidir. Test makinalarının doğrulama ölçümlerinin yapılma amacında makinanın test koşullarında ne kadar doğru ölçüm yaptığını belirlemektir. Normal doğrulama ölçümlerinde, test makinasının numune koyulan veya bağlanan kısmına, makinanın çalışma eksenine yönünde kalibre edilmiş kuvvet dönüştürücüsü bağlanarak makinanın doğruluk sınıfı belirlenir.

Test sonuçlarının etkilenmemesi için numuneye etkiyen kuvvetlerin tek eksende uygulanması çok önemlidir. Fakat makinanın konstrüksiyondan kaynaklanan hatalar numune üzerinde eğilme ve burulma momentleri oluşturabilirler. Bunların belirlenmesi amacıyla, çeşitli yönlerdeki (yalnızca aksenal yöndeki değil) kuvvet ve momentleri ölçebilen çok amaçlı kuvvet dönüştürücüleri kullanarak da ölçümler gerçekleştirilmektedir. Fakat bu ölçümler yalnızca kontrol amacıyla yapılmaktadır ve standartlaştırılmamıştır. Burada bahsedilecek yöntem ise standartlaştırılmıştır ve doğrulama ölçümü olarak yapılmaktadır.

4. Çekme-basma Test Makinalarının Doğrulama Ölçümlerinde İzlenen Yöntem

Çekme basma test makinalarının doğrulanma ölçümlerinde izlenen yöntem EN 10002-2'de açıklanmaktadır (5). Avrupa ülkeleri tarafından kullanılan bu standart, çekme test makinalarının yük ölçme sistemlerinin doğrulanması için hazırlanmıştır. Bu doğrulama yalnız iyi çalışır vaziyetteki makinalar için yapılabilir. Bu nedenle kuvvet ölçme sisteminin doğrulanmasından önce makinanın genel kontrolünün yapılması gereklidir.

4.1 Test Makinası Kuvvet Ölçme Sisteminin Doğrulanması

Doğrulama ölçümleri, çekme kuvvet ölçme cihazları kullanılarak gerçekleştirilir. Yalnız 500 N'dan küçük kuvvetlerin doğrulanması için kalibre edilmiş kütleler kullanılır. Bu durumda yerel yerçekim ivmesinin, doğrulama ölçüm raporunda belirtilmesi gerekir.

Doğrulama genellikle artan kuvvet yönünde doğrulanacak olan test makinasının göstergesinden okunan F_i kuvvetleri ile sürdürülür. Bu metod uygulanamazsa, doğrulamada kullanılan kuvvet ölçme cihazının göstergesinden okunan kuvvetlerle de yapılabilir.

Doğrulamada kullanılan kuvvet ölçme cihazı, uluslararası birim sistemini kullanarak hazırlanan izlenebilir bir sertifikaya sahip olmalıdır.

Doğrulamada kullanılan kuvvet ölçme cihazının sınıfı, çekme test makinasının sınıfından daha iyi veya eşit olmalıdır. Doğrulamada ölü ağırlıkların kullanılması durumunda, bu ağırlıklarla üretilen kuvvetin bağıl hatası $\% \pm 0,1$ 'den daha az veya eşit olmalıdır.

Doğrulama ölçümleri 10° ile 35° arasında bir sıcaklıkta gerçekleştirilmelidir.

Test bölgesine yakın bir yere yerleştirilen $\pm 1^\circ\text{C}$ içinde kalibre edilmiş bir termometre vasıtasıyla sıcaklık ölçülerek kaydedilmeli ve kuvvet ölçme cihazı sıcaklık kompanzasyonuna sahip değilse, kuvvet ölçme cihazının kalibre edildiği referans sıcaklık ile doğrulanmanın yapıldığı sıcaklık arasındaki fark için EN 10002-3'te belirtilen sıcaklık düzeltmesi hesabı uygulanmalıdır.

4.2 Çözünürlüğün Belirlenmesi

- **Analog skala :** Skaladaki bölüntü çizgisi, düzgün olmalı ve gösterge ibresinin genişliği bölüntü çizgisinin genişliği ile aynı olmalıdır.

Göstergenin çözünürlüğü r , ibre genişliğinin, iki bitişik skala bölüntüsü arasındaki mesafeye oranı olarak elde edilir. Tavsiye edilen oran $1/2$, $1/5$ veya $1/10$ 'dur.

- **Dijital skala :** Dijital göstergelerde 1 sayısal artım çözünürlük olarak düşünülür. Eğer gösterge 1 artımdan fazla dalgalanıyorsa çözünürlük olarak dalgalanma aralığının yarısı alınır.

- **Birim :** Çözünürlük kuvvet birimi cinsinden ifade edilmelidir.

Bağıl çözünürlük : Kuvvet göstergesinin bağıl çözünürlüğü aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$a = \frac{F}{F'} \cdot 100$$

F; kuvvet ölçme cihazının gösterdiği kuvvet değeri

Bağıl çözünürlük , skala aralığının ilk 5 'te 1'inin üzerindeki tüm farklı kuvvetler için belirlenmelidir. Bağıl çözünürlük, doğrulanan makinanın sınıfı için tablo 1'de verilen değeri aşmamalıdır.

4.3 Test Prosedürü

- **Kuvvet ölçme cihazının yerleştirilmesi :** Kuvvet ölçme cihazı aksel kuvvet uygulanmasına imkan tanıyacak şekilde monte edilmelidir.
- **Sıcaklık kompanzasyonu :** Kuvvet ölçme cihazının kararlı bir sıcaklığa ulaşabilmesi için yeterli bir zaman periyodu sağlanmalı ve sıcaklık kaydedilmelidir. Sıcaklık düzeltmesi gerekiyorsa EN 10002-3 deki işlem uygulanmalıdır.
- **Test makinasının uygun hale getirilmesi :** Test makinası kuvvet ölçme cihazı takılı konumdayken, ölçülecek maksimum ve sıfır kuvvet arasında en az üç kez yüklenmelidir.
- **Test metodu :** Makinanın göstergesinden okunan F_i kuvveti makina tarafından uygulanır ve doğrulama için kullanılan kuvvet ölçme cihazının göstergesinden gerçek F kuvveti okunur ve kaydedilir.

Bu metodu kullanmak mümkün değilse, özel bir durum olarak, ölçme cihazının gösterdiği F gerçek kuvveti makina tarafından uygulanır ve doğrulanması yapılan makinanın göstergesinden okunan F_i kuvveti kaydedilir.

- **Test kuvvetlerinin uygulanması :** Artan kuvvetler yönünde üç seri ölçüm yapılır. Her bir seri, ölçme aralığının alt ve üst sınırları içinde uygun olarak dağıtılmış en az 5 farklı kuvvet adımıyla % 20 ile tam skala arasında olmalıdır. Eğer doğrulama % 20'den daha küçük kuvvet değerleri içinde gerçekleştirilecekse, skalanın % 10-5-2-1-0.5-0.2-0.1'indeki kuvvet adımlarında da ilave ölçümlerin yapılması gerekir. Tavsiye edilen, mümkünse son seriden önce, kuvvet ölçme cihazının 90° veya 180° derece yük eksenini etrafında döndürülmesidir.

Her bir farklı kuvvetin, 3 seri sonundaki ölçüm sonuçlarının ortalaması hesaplanmalıdır. Bu ortalama değerler, test makinasının kuvvet ölçme sisteminin bağıl doğruluk ve bağıl tekrarlanabilirlik hatalarının hesaplanmasında kullanılır.

Her seri ölçümden önce sıfır ayarı yapılmalıdır.

Analog gösterge kullanılması durumunda gösterge okunun sıfır etrafında serbestçe dengelendiği kontrol edilmelidir. Dijital gösterge kullanılıyorsa sıfırın altına olan düşmeler kaydedilmelidir. Örneğin işaretin + veya - olması.

Bağıl sıfır hatası aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$f_0 = \frac{F_{i0}}{F_N} \cdot 100$$

F_{i0} : kuvvet kaldırıldıktan sonra doğrulanacak olan test makinasının göstergesinden okunan kalıntı değer;

F_N : test makinasının ölçme aralığının maksimum değeri

4 Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bağıl histerisiz hatası : Bu hata yalnızca istenilmesi durumunda hesaplanarak rapora ilave edilir. Her bir kuvvet için ayrı ayrı hesaplanan bu hata, aynı kuvvet değeri için artan ve azalan kuvvetler arasındaki farka göre belirlenir. Bu yüzden makinanın azalan kuvvet yönünde de kalibre edilmesi gereklidir. Bağıl histerisiz hatası aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$u = \frac{F - F'}{F} \times 100$$

- F : Artan test kuvvetleri yönünde kuvvet ölçme cihazından okunan doğru kuvvet;
 F' : Azalan test kuvvetleri yönünde kuvvet ölçme cihazından okunan gerçek kuvvet;
 F : Aynı kuvvet değeri için F 'in çeşitli ölçümlerinden alınan değerlerin ortalaması.

Veya, özel durum için yani doğrulanma sabit gerçek kuvvet kullanılarak yapıyorsa,

$$u = \frac{F'_i - F_i}{F} \times 100$$

- F'_i : Doğrulanacak olan makinanın kuvvet göstergesinden okunan azalan yöndeki kuvvet değeri;
 F_i : Doğrulanacak olan makinanın kuvvet göstergesinden okunan artan yöndeki kuvvet değeri.

Bu doğrulanma test makinasının en yüksek ve en düşük kuvvet aralığı için yapılır.

- **Bağıl Doğruluk Hatası :** Bu hata, gerçek kuvvetlerin ortalamasının yüzdesi olarak ifade edilir ve aşağıdaki denklem ile verilir.

$$Q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100$$

özel durum için yani doğrulanma sabit doğru kuvvet kullanılarak yapılıyorsa,

$$Q = \frac{\bar{F}_i - F}{F} \times 100$$

- **Bağıl Tekrarlanabilirlik Hatası :** Her bir kuvvet için ayrı ayrı hesaplanan bu hata, aynı kuvvet değeri için farklı serilerde yapılan ölçümlerden, en düşük ve en yüksek değerleri arasındaki farkın ortalamaya oranı olarak, aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\bar{F}} \times 100$$

özel durumda, yani doğrulanma sabit doğru kuvvet kullanılarak yapılıyorsa bu denklem,

$$b = \frac{F_{i,\max} - F_{i,\min}}{F} \times 100$$

şeklini alır.

5. Test Makinalarının Sınıflandırılması

Tablo 1, test makinası kuvvet ölçme sisteminin farklı bağıl hataları ve kuvvet göstergesinin bağıl çözünürlüğü için maksimum izin verilebilir değerlerinde, uygun sınıflandırmayı göstermektedir.

Kuvvet göstergesindeki ölçme aralığı, en azından % 20 ile % 100'lük kapasite arasında güvenli bir şekilde Tablo 1 'de verilen değerleri karşılamalıdır.

6. Doğrulama Ölçümleri Arasındaki Süre (zaman)

İki doğrulama arasındaki zaman, test makinasının tipi, standart bakımı ve kullanılma miktarına bağlıdır. Tavsiye edilen süre 12 ayı aşmamasıdır.

Makinanın her hangi bir nedenle yer değiştirmesi, sökülüp yeniden monte edilmesi ve önemli bir tamir veya ayarlamaya maruz kalması durumunda bu süre beklenmeksizin doğrulanma testinin yeniden yapılması gereklidir.

Tablo 1. Test makinalarının sınıflandırma tablosu

Makina Sınıfı	Maksimum İzin Verilen Değerler, %				
	Bağlı doğruluk hatası	Bağlı tekrarlanabilirlik hatası	Bağlı histerisiz hatası	Bağlı sıfır hatası	Bağlı çözünürlük
	q	b	u	f ₀	a
0	± 0.5	0.5	0.75	± 0.05	0.25
1	± 1.0	1.0	1.5	± 0.1	0.5
2	± 2.0	2.0	3.0	± 0.2	1.0
3	± 3.0	3.0	4.5	± 0.3	1.5

Kaynaklar:

1. "Otomotiv Ürünleri için Mekanik Testler", E.Kırca, Üretimde Kalite, Sayı 9, sf 28, Ocak-Şubat 1985.
2. "Force and hardness measurement-Verification of material testing machines", K. Hasche, IMEKO Conference, Austria, 1982.
3. "Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri", Doç.Dr.Eyüp S. Kayalı, Doç.Dr.Cahit Enseri, Doç.Dr.Feridun Dikeç, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, 1983.
4. "How to control testing machines for force measurement", G.Barbato, A.Bray, R.Levi, Proceedings of the 10. Conference of IMEKO, Kobe, Japan, 1984.
5. EN 10002-2, Part 2, "Tensile testing machines : Metallic Materials-Verification of static uniaxial testing machines", 1992.