

ISO 6892-1 STANDARDINA GÖRE METALİK MALZEMELERİN ÇEKME ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Doç.Dr. Bülent AYDEMİR

TÜBİTAK UME Ulusal Metroloji Enstitüsü

Kuvvet Laboratuvarı

Gebze/Kocaeli

ORCID: 0000-0001-6848-2681

1. Giriş

Çekme testi, üretim süreçleri tamamlanmış ürünlerin amacına uygun ve yüksek kalitede üretilmesine yardımcı olan, malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Malzemelerin mekanik özellikleri olarak bilinen akma, çekme ve kopma mukavemeti; akma, çekme, kopma uzama değerleri, elastiklik modülü vb. birçok parametre deney sonucunda elde edilir. Tüm bu sonuçlar ulusal ve uluslararası standartlarla tanımlanmış bir yapıdadır.

Tüm dünyadaki yayınlanan standartları incelediğinizde; başlangıçta her ülke kendi içinde farklı standartları oluşturmuş ve kullanmakta idi. Dünya üzerinde globalleşmenin etkisi ile oluşan bölgesel oluşumlar ve uluslararası kabul edilen yasal organizasyonlar ile daha genel bir yapı içerisine girmiştir. Örneğin ülkemizdeki standartlar Türk Standartlar Enstitüsü (TSE) tarafından hazırlanarak yayınlanmaktadır. Bölgesel organizasyon olarak Avrupa Birliği içerisinde yer aldığımızdan, bu bölgede kabul edilen European Norm (EN) standartlarını da ülkemizde kendi dilimize dönüştürerek değişiklik yapmadan kullanmaktayız. Ayrıca dünya çapında kabul edilen ISO (International Organization for Standardization) tarafından yayınlanan tüm standartlarda üye ülkeler tarafından kabul edilerek kullanılması istenmektedir. Bunların yanı sıra, ülkenizde ürettiğiniz bir ürünü standartlara uygun olarak sertifikalı olarak satmanız gerektiğinde yayınlanmış standartları kullanmanız ortak dili konuşmanızı sağlayacaktır. Dünyadaki standart organizasyonunun yapısı şekil 1 de verilmiştir.



Gelişen teknoloji ile birlikte çekme deneyi yapılışının ve sonuçlarının hesaplanmaları standartlardaki değişiklikler ile ihtiyaca göre şekillenmektedir. Çekme testinin amacı, malzemelerin akma dayanımını, elastiklik modülünü, çekme dayanımını, birim şekil değiştirme kopma uzaması gibi mekanik özelliklerini güvenilir şekilde belirlemenin yanında karşılaştırılabilirliğini de sağlamaktır. Çekme testi metalik malzemeler özelinde incelendiğinde ülkemizde yayınlanan çekme deneyi standartları TS 138 EN 10002-1 (1996, 2004) ve TS EN ISO 6892-1 (2011) olarak sıralanabilir. TSE, ISO 6892-1 (2009)' un Türkçe versiyonunu TS EN 6892-1 (2011) olarak yayınlamıştır. 2016 ve 2019' da standart revize edilmiş ancak 2019 yılı revizyonunun Türkçe sürümleri henüz sunulmamıştır.

Bu çalışmada, ISO 6892 standartları esas alınarak metalik malzemelerin çekme deneyi detaylı olarak ele alınmıştır. Çekme deneyinde elde edilen sonuçlar ve çekme deney hızları hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Ülkemizde pek çok alanda kullanılmakta olan bu standardın öneminin vurgulanması ile ilgili kişilere detaylı ve doğru bir bilgi iletilmesi hedeflenmiştir.

2. ISO 6892 Göre Metalik Malzemelerde Çekme Deneyi

ISO 6892 standartları metalik malzemelerin çekme deneylerini açıklayan bir grup standartlarıdır. ISO 6892, Metalik malzemeler - Çekme deneyi genel başlığı altında aşağıdaki bölümlerden oluşur.

- ISO 6892-1: Metalik malzemelerin Oda sıcaklığında deney metodu
- ISO 6892-2: Metalik malzemelerin Yüksek sıcaklıkta deney metodu
- ISO 6892-3: Metalik malzemelerin Düşük sıcaklıkta deney metodu
- ISO 6892-4: Metalik malzemelerin Sıvı helyum içinde deney metodu

ISO 6892-1 standardı, metalik malzemelerin çekme deneyi yöntemini, genel şartları ve oda sıcaklığında tayin edilebilecek mekanik özellikleri tanımlar.

ISO 6892-2 yüksek sıcaklıkta metalik malzemelerin çekme deneyini detaylı olarak ele alan standarttır. Bu standart, testin yapılmasında kullanılması gereken ekipmanların tanımlanmasının yanı sıra, deneyde uygulanacak metodu, kullanılan hesaplamaları, raporlanacak sonuçları ifade eder.

ISO 6892-3 ve ISO 6892-4 standartları ise düşük sıcaklıkta ve sıvı helyum içinde metalik malzemelerin çekme deneylerini detaylı olarak açıklamaktadır.

Çekme deneyi, bir malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesini sağlar. Bu özellikler, malzemenin elastisite modülü, çekme ve akma gerilmesi gibi birçok özelliklerinin detaylı olarak belirlemek için bir gerilme-uzama eğrisini kullanır. Çekme deneyinin sonuçları aşağıda sıralanan şekilde farklı kullanım alanları ve amaçları vardır.

- Bir uygulama için malzeme seçimi
- Bir malzemenin farklı kuvvetler altında nasıl performans göstereceğini tahmin etme
 - Bir şartname, sözleşme veya standardın gerekliliklerinin karşılanıp karşılanmadığının belirlenmesi
 - Yeni bir üründe geçerliliğinin gösterilmesi
 - Önerilen bir patent için özelliklerin kanıtlanması
 - Bilimsel ve mühendislik işlevler için standart kalite güvence verilerinin sağlanması
 - Farklı malzeme seçenekleri için teknik verilerin karşılaştırılması
 - Yasal işlemlerde test malzemeleri için kanıt sağlama amacıyla kullanılabilir.



Şekil 2. farklı tip metalik malzeme çekme cihazları

Standartlar genel olarak, çekme deneyinin temel tanımlarını ve öğelerini, cihazları, yazılımı ve gerekli numunelere genel bir bakışı tanıtmak için hazırlanmıştır. Standartta uygun deney numunesine bir çekme kuvveti uygulanır ve numunenin gerilme altındaki çeşitli mekanik özellikleri belirlenir. Bir malzeme deney makinası üzerinde çekme numunesi kopuncaya kadar, değişen çekme hızlarında gerçekleştirilir. Çekme deneyi sonucunda birçok farklı mekanik özelliğin ölçülmesine rağmen, en yaygın olanları şunlardır:

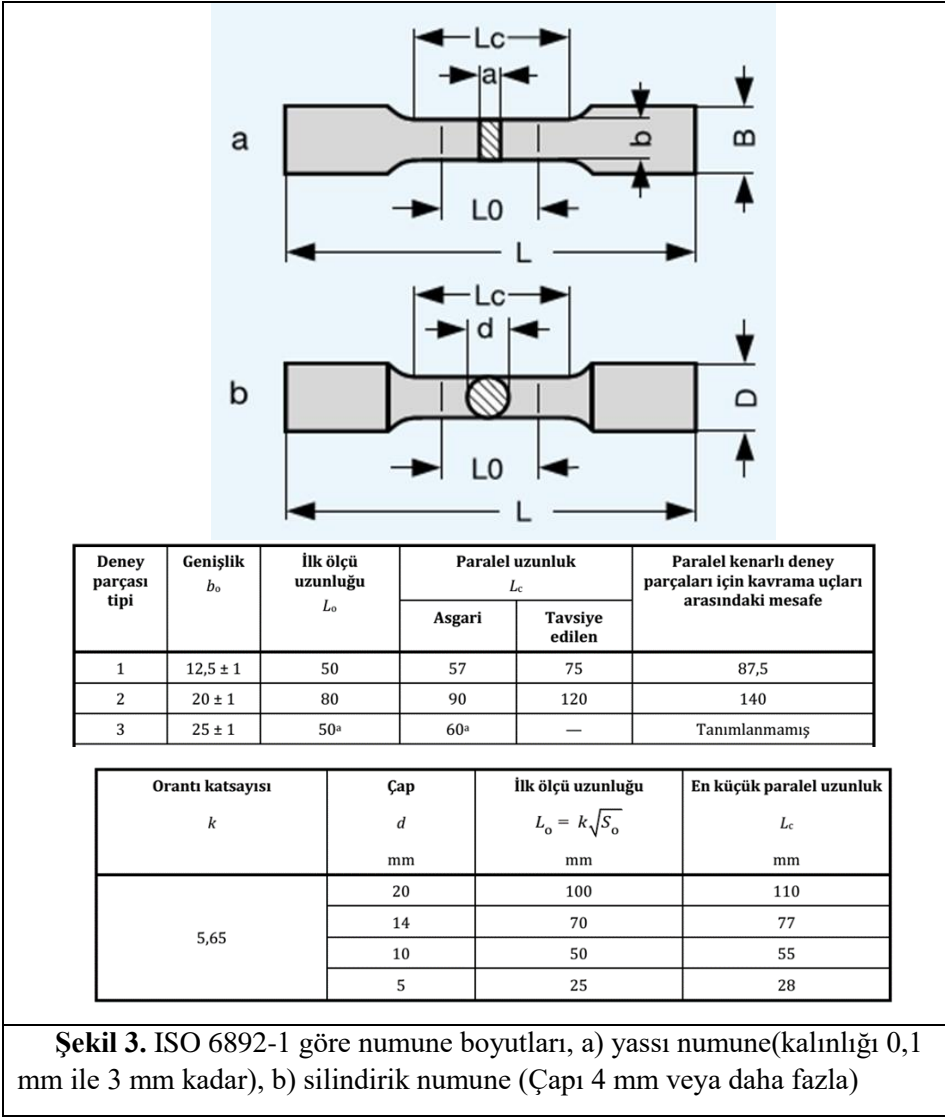
- Çekme mukavemeti, çekme dayanımı, R_m , çekme deneyinde ölçülen maksimum kuvvetin deney parçasının ilk kesit alanı S_0 'a oranıdır.
- Akma mukavemeti, akma dayanımı, metalik malzemede bir akma görüldüğünde, deney esnasında kuvvette herhangi bir artış olmaksızın plastik deformasyona ulaşılan noktaya karşılık gelen kuvvetin deney parçasının ilk kesit alanı S_0 'a oranıdır.
- Kırılmadan sonraki yüzde uzama, A , kırılmadan sonra ölçü uzunluğundaki artış, ilk ölçü uzunluğuna bölünür ve 100 ile çarpılarak sonuç yüzde olarak verilir. Daha fazla uzama, daha yüksek sünekliği gösterir.
- Yüzde kesit daralması, Z , kırılmadan sonra kesit değerindeki azalmanın, ilk kesit alanına bölümünden elde edilen ve 100 ile çarpılarak sonucu yüzde olarak verilen değerdir.
- Elastisite modülü, E , akma gerilmesi altında gerilim değişimi ΔR 'nin yüzde uzama değişimi Δe 'ye oranıdır.
- Poisson Oranı - bir malzemenin ne kadar gerildiği ile çekme işlemi sırasında ne kadar incelendiği arasındaki ilişkinin ölçümüdür.

ISO 6892-1 standardında daha pek çok tanımlama verilmiştir. Daha detaylı bilgiyi standarttan elde edebilirsiniz.

2.1. Numune şekilleri ve boyutları

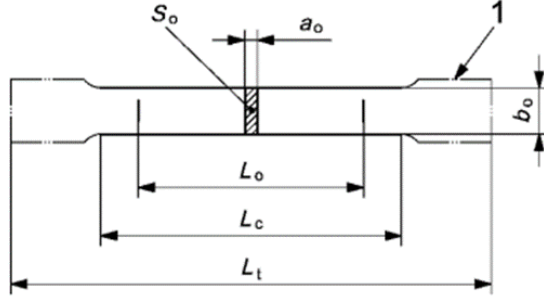
Deney numuneleri genellikle mamulden alınan bir numuneden veya preslenmiş ve işlenmemiş parça ya da dökümden tezgâhta işlenerek elde edilir. Bununla birlikte, sabit kesitli mamuller (profiller, çubuklar, teller, vb.) ve ham döküm deney parçaları (ör. dökme demirler, demir dışı alaşımlar, vb.) tezgâhta işlenmeden de test edilebilirler.

ISO 6892-1 standardında tanımlanan işlenmiş deney numunesi tipleri, Şekil 3'de gösterildiği gibi şekil ve boyutlarda olabilir. Daha detaylı bilgi için standardın Ek B ila Ek E bölümlerinde tanımlanmıştır. Daha farklı tip de deney numuneleri olabileceği farklı deney standartlarında belirtilebilir.



2.2. Ölçü Uzunluğu (Boyu)

'Ölçü uzunluğu, gösterge uzunluğu' terimi, bir test numunesinin, bir çekme testi sırasında gerçekten uzama açısından ölçülen kısmını ifade eder. Test edilen malzemeye ve kullanılan standarda bağlı olarak, ölçü uzunluğu, çekme test makinesinin çeneleri arasındaki mesafe veya örneğin bir uzama ölçüm cihazı (eks-tansometre) tarafından ölçülen numune kısmı olarak alınabilir.



Açıklamalar

a_o , yassı deney parçasının başlangıçtaki kalınlığı veya borunun et kalınlığı

b_o , yassı bir deney parçasının ilk gövde genişliği

L_c , paralel uzunluk

L_o , ilk ölçü uzunluğu

L_t , deney parçası toplam uzunluğu

L_u , kırılmadan sonraki son ölçü uzunluğu

S_o , paralel uzunluğun başlangıçtaki kesit alanı

1, kavrama, tutma uçları

Şekil 4. ISO 6892-1 standardında tanımlanan çekme numunesi

ISO 6892-1 standardında çekme numunesi şekil 4 deki gibi verilmiş ve ölçü boyu ile ilgili tanımlarda aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

- Ölçü uzunluğu, L , deney parçasının, deney sırasında herhangi bir anda üzerinde uzama ölçümü yapılan paralel kısmının uzunluğu
- İlk ölçü uzunluğu, L_o , deneye başlamadan önce oda sıcaklığında ölçülen deney parçası üzerindeki ölçü uzunluğu işaretleri arasındaki mesafe
- Kırılmadan sonraki son ölçü uzunluğu, L_u , oda sıcaklığında, kırılmadan sonra, iki parça eksenleri aynı doğru üzerinde olacak şekilde dikkatle yeniden bir araya getirildikten sonra ölçülen ölçü uzunluğu işaretleri arasındaki mesafe
- Paralel uzunluk, L_c , deney parçasının paralel kesiti daralmış kısmının uzunluğu olarak tanımlanır.

Uzama ölçümü hesaplamasının bir parçası olarak 'ölçü uzunluğu' da kullanılır. Bu durumda terim, test başlamadan önce numunenin ilk ölçü uzunluğunu ifade eder.

Bir çekme testinde ölçülen uzama değeri(A), ölçü uzunluğu adı verilen bir başlangıç referans uzunluğuna kıyasla uzunluktaki artış olarak tanımlanır. Uzama sonucu, yalnızca çekme testi numunesinin belirli şekli ve ölçüldüğü ölçü uzunluğu ile ilgilidir.

İlk ölçü uzunluğu, kırılmadan sonraki yüzde uzama değeri A simgesinin k, “orantı veya orantılılık katsayısı” nı gösteren bir alt indis ile gösterilir. Örneğin, orantılı deney parçaları için, So’nin paralel uzunluğun ilk kesit alanı olduğu durumda ilk ölçü uzunluğu aşağıdaki şekilde gösterilir (Denklem 2, 3). Ayrıca A simgesinin alt indisi olarak kullanılan değer yüzde uzama değerinin hesabında kullanılan ölçü uzunluğunun mm birimdeki değerini gösterir(Denklem 4).

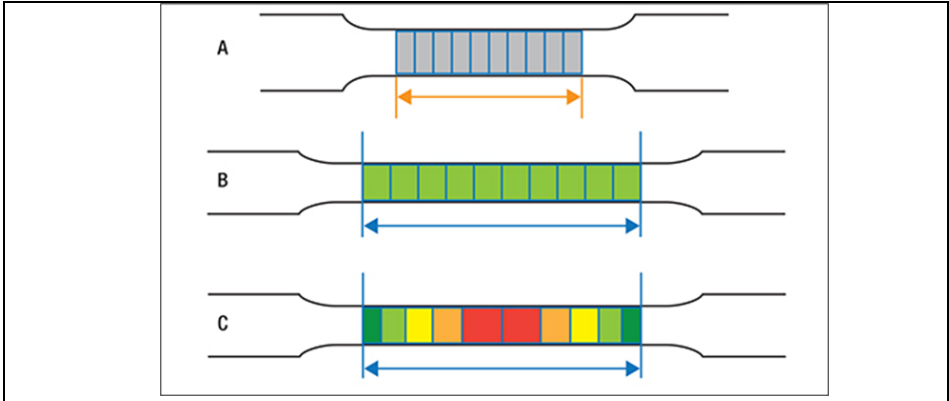
$$L_0 = k\sqrt{S_0} \rightarrow k = L_0/\sqrt{S_0} \quad (1)$$

$$A_{5,65} \rightarrow L_0 = 5,65\sqrt{S_0} \quad (2)$$

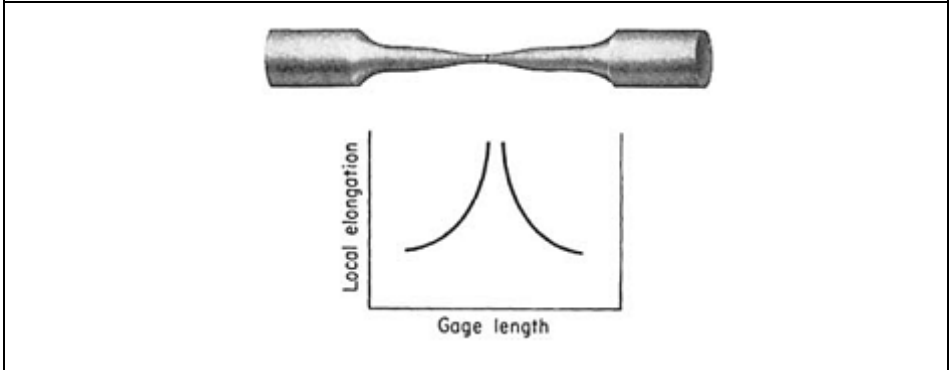
$$A_{11,3} \rightarrow L_0 = 11,3\sqrt{S_0} \quad (3)$$

$$A_{80} \rightarrow L_0 = 80 \text{ mm} \quad (4)$$

Farklı ölçü boyu kullanılmasının etkisi var mıdır? Ya da hangi ölçü boyunu kullanılması uygun olur? Sorularına cevap bulabilmek için aşağıdaki durumu inceleyelim. Örneğin, ölçü uzunluğu 10 eşit parçaya bölünmüş bir çekme çubuğu olduğunu düşünelim. (Şekil 5A). Çekme testi sırasında çekme çubuğu uzadıkça, bölümlerin her biri genişler. Tüm bölümler düzgün bir şekilde genişlerse, referans ölçü uzunluğunuz için hangi ilk bölümü seçtiğinizin bir önemi olmayacaktır (Şekil 5B).



Şekil 5. (A) Bir çekme çubuğu 10 eşit bölüme bölünmüş bir ölçü uzunluğuna sahiptir. (B) Uzama sırasında tüm bölümler eşit şekilde genişlerse, referans ölçü uzunluğu için ilk bölümün seçimi önemli değildir. (C) Ancak, en büyük uzama değerleri kırılan yerin yakınında yoğunlaşır (kırmızı ile gösterildiği gibi).



Şekil 6. Çekme numunesinin ölçü uzunluğu boyunca konum ile bölgesel uzamanın değişimi

Ancak, en büyük uzamalar kırılan yerin yakınında yoğunlaştığı görülmektedir. Şekil 5C'de gösterilen örnekte, ölçü uzunluğunun merkezinde kırılma meydana gelecektir. 10 bölgenin tümünü kapsayacak bir ölçüm uzunluğu seçildiği için, tüm aralık boyunca uzamaların ortalama değeri gözlemlenir. Bu, merkez bölge yüksek uzama alanlarını ve kenarlardaki düşük uzama alanlarını içerir. Bu örneği kullanarak, çubuğu ilk uzunluğunun çektikten sonraki uzunluğu karşılaştırırken, uzunluktaki % 50'lik bir artışı görsel olarak tahmin edebilir.

Çekme çubuğunda 10 eşit bölümün tamamını ölçü uzunluğu olarak almak yerine, yalnızca merkezi iki bölümü (Şekil 5C'de kırmızı ile gösterilen) dikkate alı-

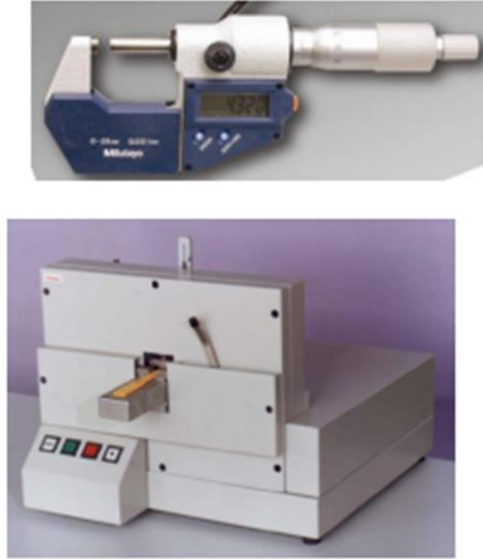
nırsa, ilk bölümlere kıyasla uzunlukta %100'lük bir artış olduğunu tahmin edilebilir. Daha küçük bir bölgenin ortalaması alındığı için, ölçülen uzamalar artmaktadır. Bu sebepten ölçü uzunluğu değerinin seçimi oldukça önemlidir. Hangi ölçü boyunun seçildiği değil siz deney sonuçlarını karşılaştırırken ölçü boyu değerine göre uzamaları yorumlamanız önemlidir.

2.3. Boyut ölçümleri ve ilk kesit alanı tayini

Doğru sonuçlar elde etmek için doğru boyut ölçümü gereklidir. Numunelerin kalınlığı, genişliği veya çapı bir kumpas, bir mikrometre veya bir kesit ölçüm istasyonu ile ölçülebilir (Şekil 7).

Deney numunesinin ilgili boyutları, deney parçasının paralel uzunluğunun orta bölümünde, parça eksenine dik, yeterli büyüklükte bir kesitte ölçülmesi tavsiye edilir. Ayrıca en az üç kesit ölçümü tavsiye edilir. İlk kesit alanı S_0 , ortalama kesit alanıdır ve uygun boyutlardan alınan ölçümlerle hesaplanabilir.

Silindirik ve dikdörtgen kesitli deney numunelerinde S_0 ilk kesit alanları değerleri, işlenmiş parçalarda $\pm \% 0,5$ 'i geçmeyen işlenmemiş parçalarda ise $\pm \% 1$ 'i geçmeyen hata paylarıyla ölçülen uygun boyutlardan hesaplanmalıdır.



Şekil 7. Boyut ölçüm cihazları, mikrometre ve kesit ölçüm istasyonu

2.4. Deney koşulları

Deney, aksi belirtilmedikçe, 10 °C ile 35 °C arasındaki bir oda sıcaklığında yapılabilir. Belirtilen gereklilik dışındaki laboratuvar ortamlarında, çalıştırılan deney cihazları ile ve bu deney cihazları için üretilen deney veya kalibrasyon verileri üzerindeki ilgili etkinin değerlendirilmesi deney laboratuvarının sorumluluğundadır. Deney veya kalibrasyon esnasında önemli sıcaklık gradyanları mevcut ise, ölçümün belirsizliği arttırılabilir. Kontrollü şartlar altında yürütülen deneyler ise $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ 'ta yapılması gerektiği belirtilmiştir. .

2.5. Kavrama Yöntemi ve Ön gerilme kuvveti

Deney numunelerinin; kamalar, vidalı kısıkaçlar, paralel yüzölçümlü çeneler veya çengelli tutucular gibi uygun araçlarla kavranması veya tutulması tavsiye edilir. Numunelerde eksenellik hatasını en aza indirmek amacıyla kuvvetin mümkün olduğunca eksenel olarak uygulanmasını sağlayacak şekilde deney numunelerinin tutulması için gerekli önlemler alınması önerilir. Kırılgan malzemelere çekme deneyi uygulandığında veya akma(deneme) dayanımı plastik uzaması, akma dayanımı toplam uzaması ya da akma dayanımının belirlenmesinde bu husus özellikle önemlidir.

Gerilme-uzama diyagramının başlangıcında bir basamak bölgesinden kaçınmak için küçük pozitif bir ön gerilme (σ_0) gereklidir. Ön gerilme noktası σ_0 uzamanın sıfır noktasına karşılık gelir. Bu tanım, operatör veya ekipman etkilerinden bağımsız olan, test için tekrarlanabilir bir başlangıç noktası sağlar.

Doğru bir deney parçası elde etmek ve deney parçasıyla kavrama düzeneğinin hizalanmasını sağlamak için beklenen akma dayanımının % 5'ine karşılık gelen değeri aşmamak kaydıyla bir ön gerilme kuvveti uygulaması yapılabilir.

2.6. Çekme test hızı ve gereklilikleri

ISO 6892-1 standardının 10.3 bölümünde test hızları için şartlar tanımlanmıştır. Çekme deneyinde numuneye uygulanan hız tanımlamaları standartlarda 3 farklı şekilde ifade edilmiştir. Bunlar: Bir ekstansometre ile ölçülen, birim zamandaki ekstansometre ölçü uzunluğu L 'deki gerilme artış miktarı gerilme hızı olarak; hareketli çenelerin birim zamandaki yer değiştirme miktarı hareketli çenelerin ayrılma hızı (hareketli tabla hızı) olarak; birim zamandaki gerilme artışı ise gerilme hızı olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan hızların alması gereken değerleri ve kullanım yerleri de standartlarda ayrı metotlar olarak ifade edilmiş ve bunların detayları aşağıda verilmiştir.

ISO 6892-1 standardında genel olarak deney hızı, oran olarak ifade edilmiş ve 2 metod tanımlanmıştır. Metod A gerinme (uzama) oranı (strain rate) ve metod B gerilme oranı (stress rate) olarak ifade edilir. Metod A için iki farklı tipte gerinme hızı kontrolü tanımlanmıştır. Birincisi Metod A1, bir ektansometreden elde edilen verilerin geri beslenmesine dayanan, gerinme hızının kendisinin kontrolüdür. İkincisi, Metod A2, istenen gerinme hızının gövde uzunluğuyla çarpımına eşit bir hareketli tabla hızının kontrolüyle ulaşılan, gövde uzunluğu boyunca tahmin edilen gerinme hızı kontrolüdür.

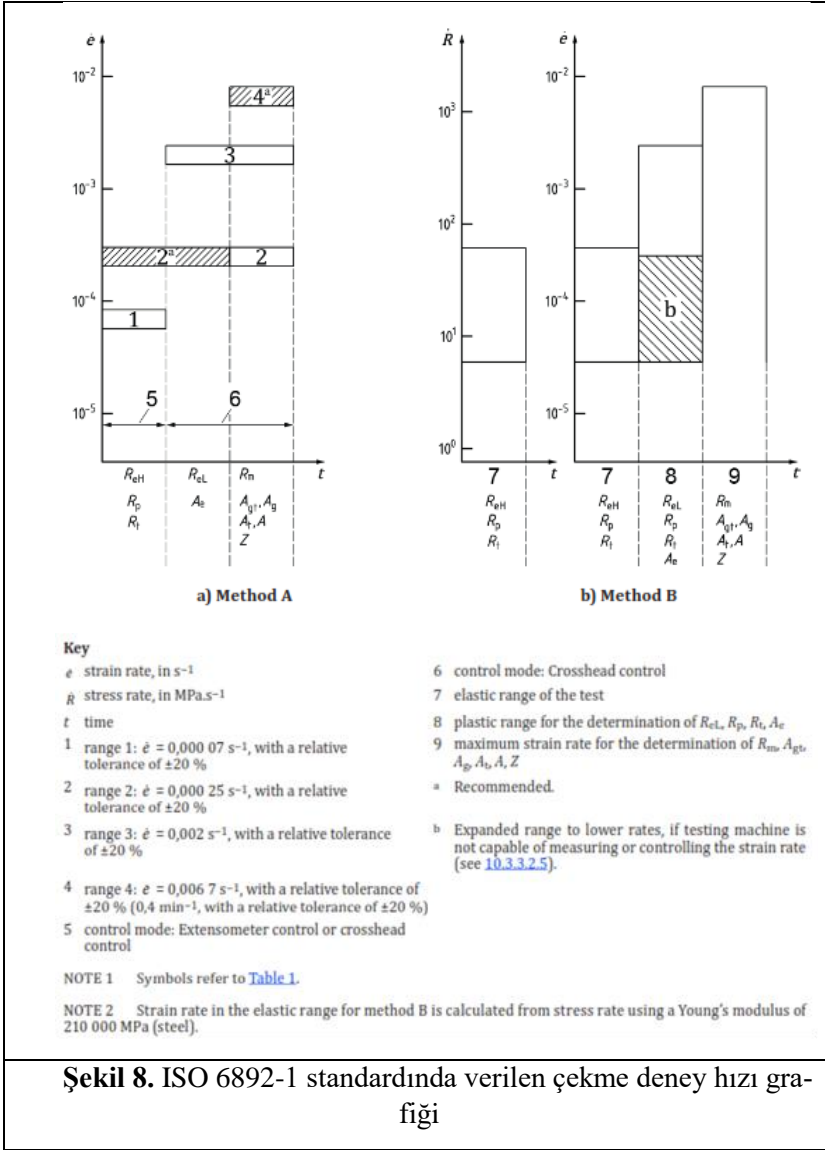
ISO 6892-1 standardında verilen deney hızları grafikleri şekil 8 gösterilmiştir. Bu şekilde tanımlanan Metod A ve Metod B için deney hız değerleri ve toleransları detaylı olarak Tablo 1 ve 2 de verilmiştir. Şematik olarak hız tanımlamaları ise Şekil 9 da gösterilmiştir.

Tablo 1. ISO 6892-1 de verilen Metod A gerinme hızı değerleri

Standard	Hız kademeleri (1/s)	Gerinme Hızı (1/s)	
		Değeri	Toleransı
ISO 6892-1	Kademe 1	0,00007	± % 20
	Kademe 2	0,00025	± % 20
	Kademe 3	0,002	± % 20
	Kademe 4	0,0067	± % 20

Tablo 2. ISO 6892-1 de verilen Metod B gerilme hızı değerleri

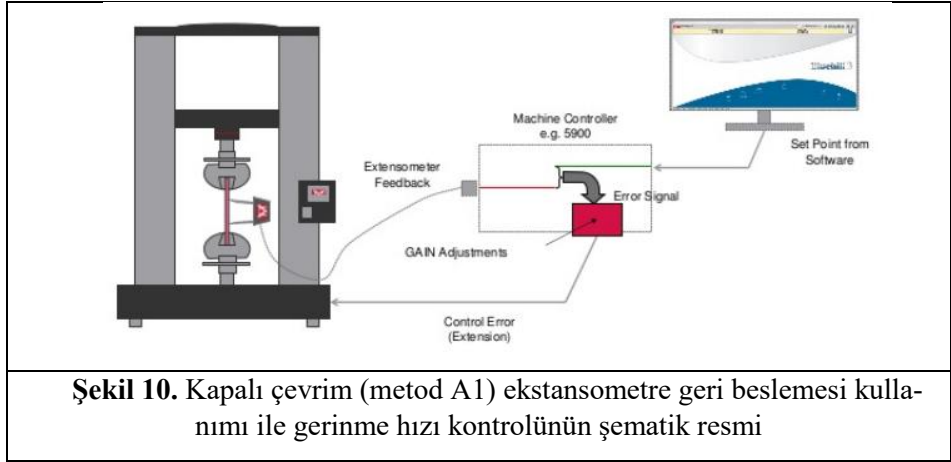
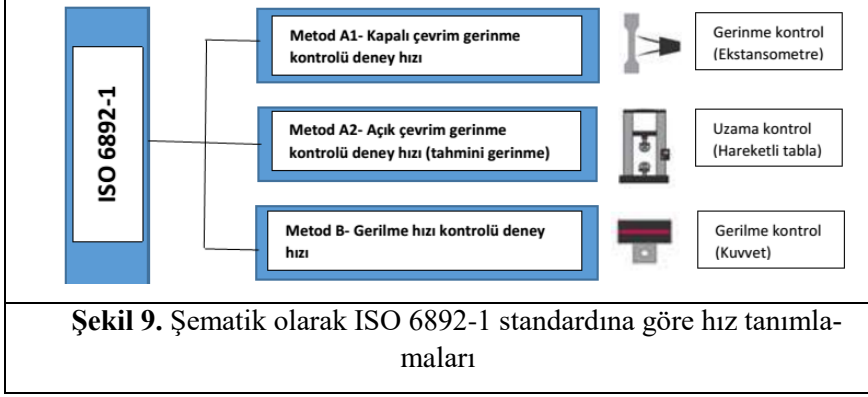
Standard	Malzemenin Elastiklik modülü (MPa)	Gerilme Hızı (MPa/s)	
		minimum	maksimum
ISO 6892-1	< 150000	2	20
	≥ 150000	6	60



ISO 6892-1 standardında metod A gerinme hızının kullanımı amacı için yapılan açıklama şu şekildedir: “metod A gerinme hızına duyarlı parametrelerin tayin edileceği anda deney hızındaki değişiklik ve deney sonuçlarıyla ilgili ölçme belirsizliğinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.” Ayrıca deformasyon sertleşmesi esnasında gerilme-uzama(gerinme) eğrisinin biçimini gerinme hızı da etkilendiği ve deney hızı dokümanite edilmesi istenmiştir.

Bazı metallerin mekanik özellikleri gerinme oranlarıyla ilişkilidir. Gerinme oranı duyarlı malzemeler için ve akma dayanımı sonuçlarının tekrarlanabilirliği

ve tekrar üretilmesinde akmanın belirlenmesindeki gerinme oranlarının benzerlik taşıması önemlidir.



Aralıkların seçiminde aranan malzeme özelliğine göre karar verilir. İki farklı tipte gerinme hızı kontrolü tanımlanmıştır. Birincisi ekstansometreden elde edilen verilerin geri beslenmesine dayanan gerinme hızı kontrolüdür. Bu kapalı çevrim (metod A1) ekstansometre geri beslemesi kullanımı ile gerinme hızı kontrolünün şematik resmi şekil 10 da gösterilmiştir.

İkinci hız tanımlaması metod A2, istenen gerinme hızının gövde uzunluğuyla çarpımına eşit bir hareketli tabla hızının kontrolüyle ulaşılan, gövde uzunluğu boyunca tahmin edilen gerinme hızı kontrolüdür. Bazı test makinaları, özellikle eski tip yazılımlara sahip cihazlar, ekstansometreden geri beslemeli uzama oranı kontrol etme yeteneğine sahip olamayabilirler. Bu nedenle önerilen uzama oranına eşdeğer bir hareketli tabla hızı kullanılabilir. Buradan da anlaşılacağı üzere

numuneden uzama ölçümü alan ekstansometre verisine göre makine gerinme hızını tanımlanan şekilde ayarlayarak tahmini gerinme hızı belirlenir. Belirli bir hızda bulunan ve istenen gerinme oranına eşit olan hareketli tabla hızı ile paralel uzunluğu çarpımının kontrolüyle çözüme ulaşılır. Bunun için, ISO 6892-1 standardında verilen aşağıdaki formül kullanılarak hesaplama yapılabilir.

$$v_C = L_C \cdot \dot{e}_{L_C} \quad (5)$$

Buradaki sembollerin tanımları ise,

v_C : hareketli tabla hızı (mm/s)

\dot{e}_{L_C} : ölçü boyu içinde tahmin edilen uzama oranı hızı(1/s)

L_C : ölçü boyu (mm)

$$v_C = 60 \cdot L_C \cdot \dot{e}_{L_C} \quad (6)$$

mm/dk olarak hesaplanır.

Makinanın deformasyonu dikkate almadan yani 6 nolu formül kullanılarak farklı gövde uzunluğu (ölçü boyu) için hareketli tabla hızı (v_C) mm/dk olarak hesabı tablo 3 te verilmiştir.

Tablo 3. Makinanın deformasyonu olmadan numune uzama oranı hızı \dot{e}_{L_C} farklı gövde uzunluğu (ölçü boyu için) mm/dk olarak hesabı

Gövde uzunluğu (L_C)	Uzama Oranı (Strain Rate)		
	Adı	ISO 6892-1 de verilen	Lc göre Hesaplanan
mm		1/s	mm/dk
50	kademe 1	0,00007	0,21
	kademe 2	0,00025	0,75
	kademe 3	0,002	6,00
	kademe 4	0,0067	20,10
80	kademe 1	0,00007	0,34
	kademe 2	0,00025	1,20
	kademe 3	0,002	9,60
	kademe 4	0,0067	32,16
100	kademe 1	0,00007	0,42
	kademe 2	0,00025	1,50
	kademe 3	0,002	12,00
	kademe 4	0,0067	40,20
120	kademe 1	0,00007	0,50
	kademe 2	0,00025	1,80
	kademe 3	0,002	14,40
	kademe 4	0,0067	48,24

Bu hız hesaplamasında numune deformasyona ek olarak, deney cihazının deformasyon hızı etkileri de dikkate alındığında formül aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$v_c = 60 \cdot e_{Lc} \left(\frac{m \cdot S_0}{C_M} + L_c \right) \quad (7)$$

Burada kullanılan semboller:

v_c : hareketli tabla hızı (mm/dk)

e_{Lc} : ölçü boyu içinde tahmin edilen uzama oranı hızı(1/s)

m : test esnasındaki gerilme uzama eğrisinin eğimi (MPa)

L_c : ölçü boyu (mm)

S_0 : kesit alanı (mm²)

C_M : Test cihazının rijitliği (N/mm)

İkinci tip gerilme hızı kontrolünde, daha basit bir kontrol metodu olması ve çoğu deney makinesinde kullanılabilir olması artısı, deney süreleri uzaması, makinenin uygunluğu ve rijitliği için ilave hesap gerekmesi ve de makine ayarlanmadıysa makineden makineye farklı sonuçlar çıkabilmesi eksileri olarak belirtilebilir.

ISO 6892-1 Metod B ye göre gerilme kontrolü doğru kuvvet ölçümü ve numune boyutu gerektirir. İki farklı aralık için tanımlanmıştır. Tablo 1 de görüldüğü gibi alüminyum numuneler için 2 ila 20 MPa/s; çelik numuneler için ise 6 ila 60 MPa/s dir. Bu gerilme hızı değeri, metalik malzemeler için çok büyük bir aralıktır.

ISO 6892-1 standardında verilen deney hızları grafiği şekil 1 de görülmektedir. Ayrıca standartta tanımlanan Metod A ve Metod B için deney hız değerleri ise Tablo 1 ve 2 de verilmiştir.

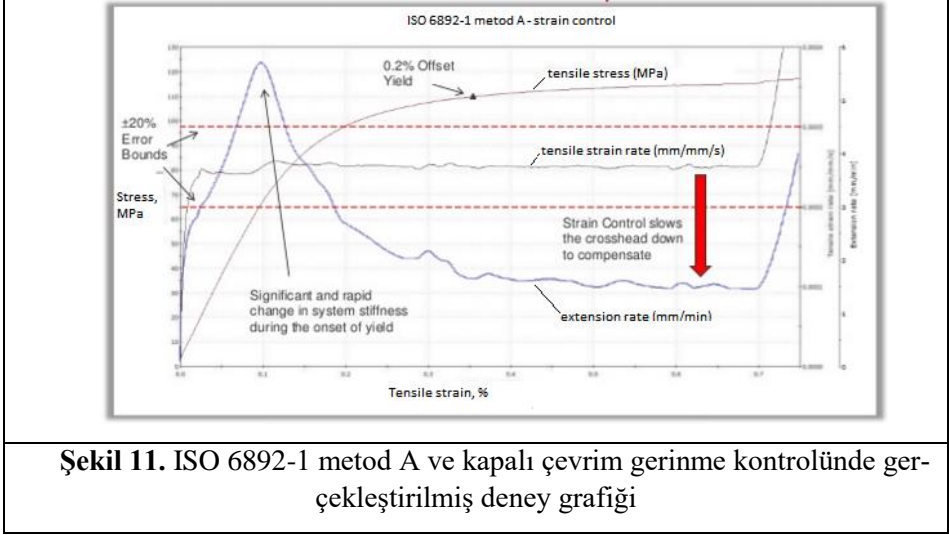
2.7. Çekme Deneyi Hızı Değişiklikleri ve Etkileri

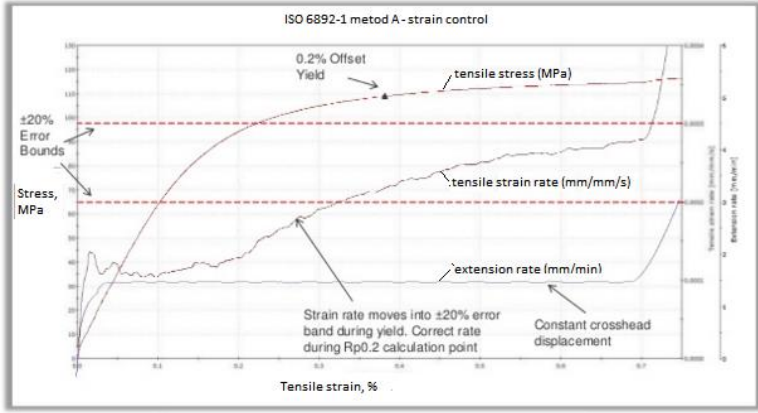
ISO 6892-1 standardı hız kontrol yöntemlerine göre; metod B, çelik malzemeler için 6-60 MPa/s değeri ile geniş bir hız aralığına müsaade etmektedir. ISO 6892-1 metod A \pm % 20 tolerans ile daha sınırlayıcıdır.

ISO 6892-1 göre metod A ve kapalı çevrim gerilme kontrolünde gerçekleştirilmiş deney grafiği şekil 11 de verilmiştir. Burada yatay eksen uzama (%), dikey

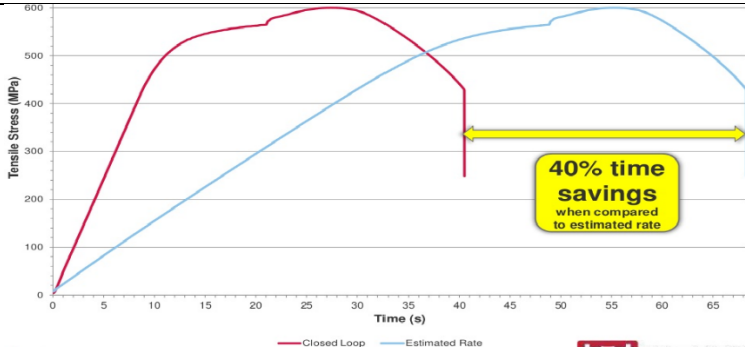
eksen gerilme (MPa) değerini göstermektedir. Gerinme hızı (mm/mm/dak) grafiği $\pm 20\%$ bant çizgileri arasında verilen kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Hareketli tabla hız grafikte büyük ok ile işaretlenmiştir. Aynı numune için ISO 6892-1 göre metod A ve tahmin edilen orana göre gerinme (hareketli tabla hızı) kontrolünde gerçekleştirilmiş deney grafiği ise şekil 12 de verilmiştir. Burada gerinme hızı (mm/mm/dak) grafiğinin $\pm 20\%$ bant çizgileri arasına şekil 11 göre daha fazla uzama sonrası girdiği görülmektedir.

Şekil 11 ve 12 de verilen grafiklerin gerilme (MPa) zaman (s) değişimleri ise şekil 13 de verilmiştir. Buradan görüldüğü gibi ISO 6892-1 göre metod A kapalı çevrim gerinme kontrolünde gerçekleştirilen deney ile ISO 6892-1 göre metod A tahmin edilen orana göre gerinme (hareketli tabla hızı) kontrolünde gerçekleştirilen deney arasında % 40 lık bir zaman tasarrufu vardır. Alüminyum numune üzerinde yapılan çalışma ise şekil 14 de verilmiştir. Buradaki zaman tasarrufu ise %35 olarak tespit edilmiştir.

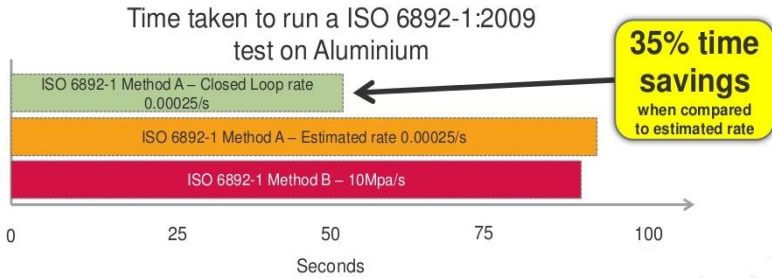




Şekil 12. ISO 6892-1 metod A ve tahmin edilen orana göre gerinme (hareketli tabla hızı) kontrolünde gerçekleştirilmiş deney grafiği



Şekil 13. ISO 6892-1 göre metod A kapalı çevrim gerinme kontrolünde ve tahmin edilen orana göre gerinme (hareketli tabla hızı) kontrolünde gerçekleştirilmiş deneylerin gerilme zaman grafikleri



Şekil 14. Alüminyum numune için farklı hızlarda yapılmış deneylerin, deney sürelerinin karşılaştırması

2.8. Çekme cihazı gereklilikleri

ISO 6892-1 standardında çekme cihazının kuvvet kalibrasyonunun ISO 7500-1 standardına uygun olarak yapılıp sınıf değerinin “sınıf 1” veya daha iyi olması gerektiğini tanımlar. Benzer biçimde ekstansometre cihazının kalibrasyonunun ISO 9513 standardına uygun olarak yapılıp sınıf değerinin “sınıf 1” veya daha iyi olması gerektiğini belirtir [16,17]. Diğer (%5’ten daha yüksek uzama gösteren malzemelerde) özellikler için ilgili aralıkta ISO 9513 standardına göre, sınıf 2 ekstansometre kullanılabilir.

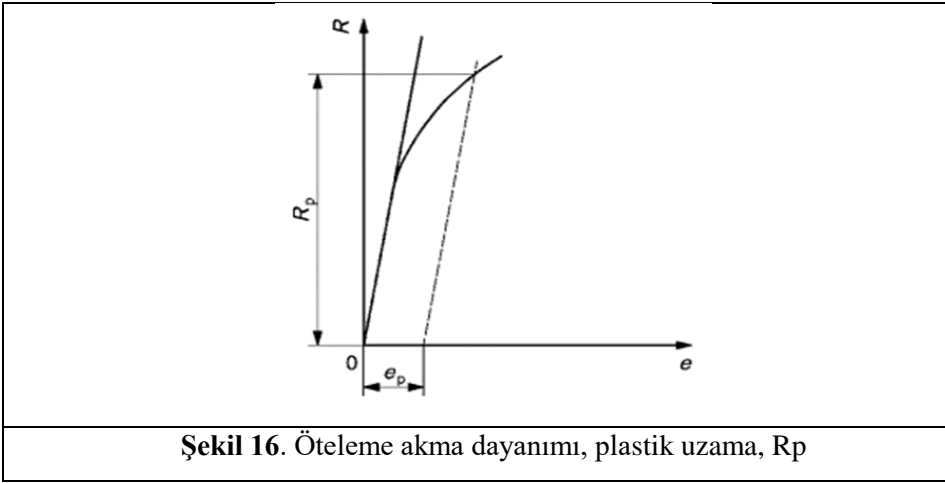
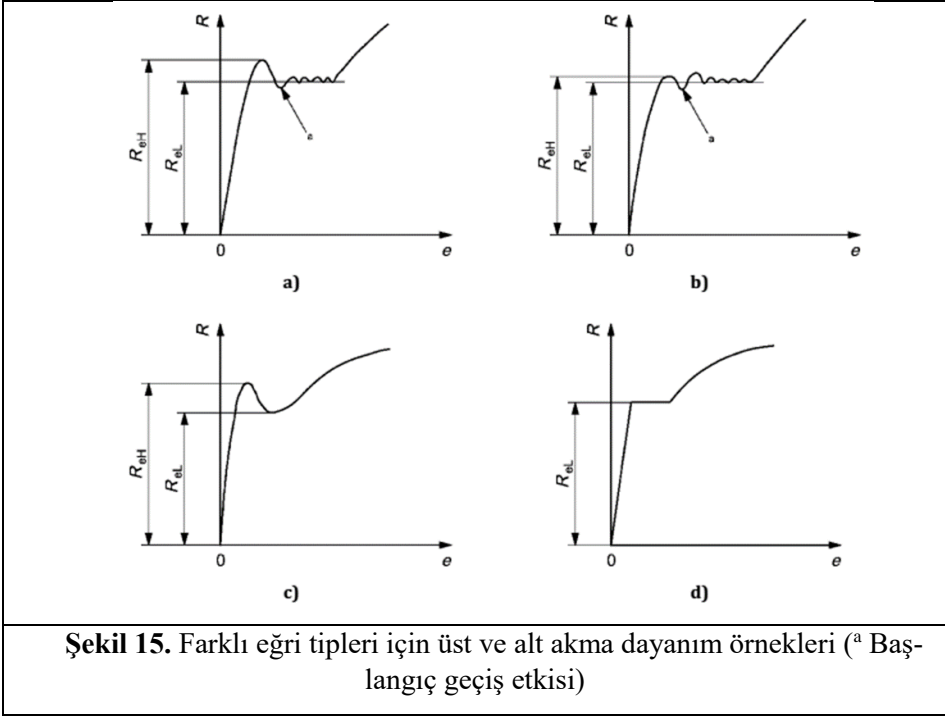
2.9. Akma ve çekme dayanımlarının (gerilme) belirlenmesi

Üst akma gerilmesi, ReH , kuvvet-uzama eğrisinden veya tepe kuvveti göstergesinden tayin edilebilir ve kuvvetteki ilk düşüşten önceki maksimum gerilme değeri olarak tanımlanır. Bu gerilme değeri, kuvvetin deney parçasının ilk kesit alanı S_0 ’ya bölünmesi ile elde edilir (Şekil 15).

Alt akma gerilmesi, ReL , kuvvet-uzama eğrisinden belirlenir ve başlangıçtaki geçici etkiler ihmal edilerek, plastik akma sırasındaki en düşük gerilme değeri olarak tanımlanır. Bu gerilme değeri, kuvvetin deney parçasının ilk kesit alanı S_0 ’ya bölünmesi ile elde edilir (Şekil 15).

Öteleme akma gerilmesi, R_p , kuvvet-uzama eğrisinden, eğrinin doğrusal kısmına bir paralel çizilerek ve önceden saptanmış plastik yüzde uzamaya, örneğin % 0,2’ye eş değer bir mesafeden belirlenir. Bu doğrunun eğriyi kestiği nokta istenen öteleme akma dayanımı plastik uzamasına karşılık gelen kuvvetini verir. Bu sonuç kuvvetin deney parçasının ilk kesit alanı S_0 ’ya bölünmesi ile elde edilir (Şekil 16).

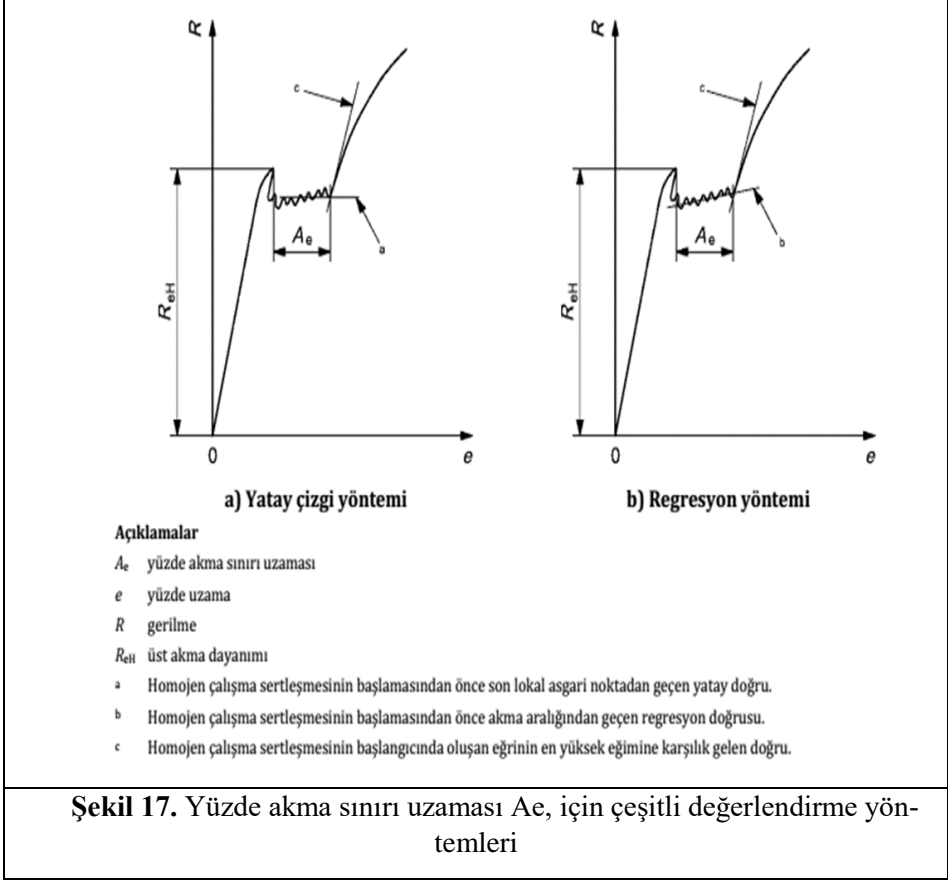
Çekme gerilmesi (dayanımı), R_m , deney sırasında deney parçasının dayanabildiği en büyük kuvvete (F_m) karşılık gelen gerilme değeri olarak tanımlanır. Bu gerilme değeri, kuvvetin deney parçasının ilk kesit alanı S_0 ’ya bölünmesi ile elde edilir (Şekil 18).



2.10. Yüzde akma sınırı uzamasının tayini

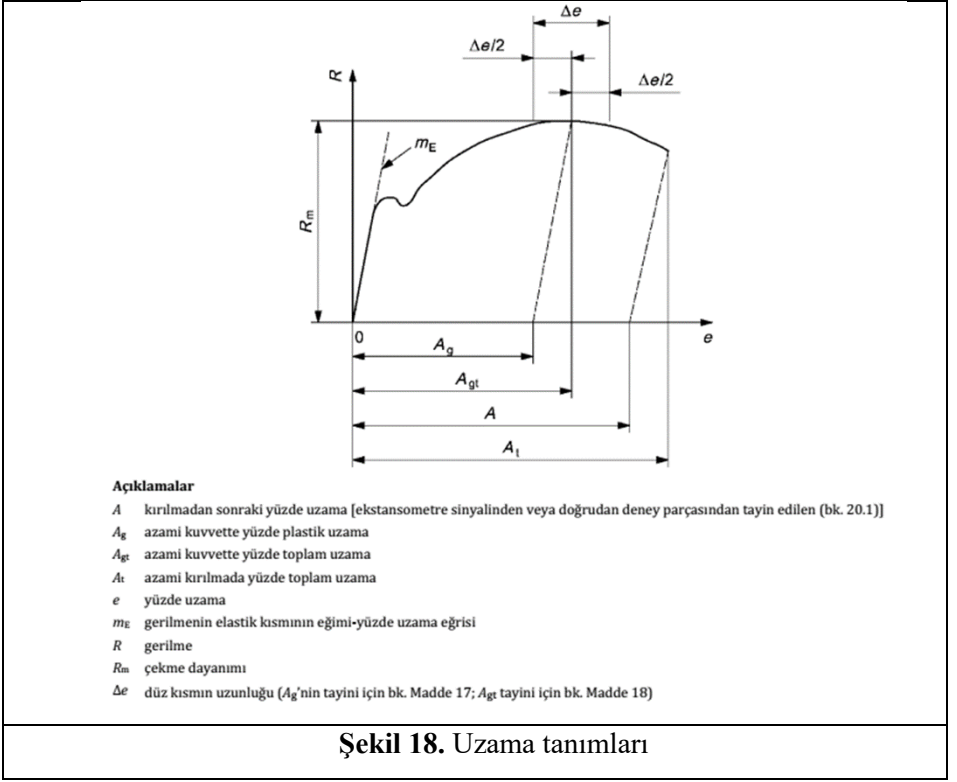
Süreksiz akma gösteren malzemelerde A_e değeri kuvvet-uzama eğrisinden, R_{eH} 'deki uzamayı homojen çalışma sertleşmesinin başlangıcındaki uzamadan çıkarmak yöntemi ile belirlenebilir. Homojen çalışma sertleşmesinin başlangıcındaki uzama, son noktadaki asgari noktadan geçen yatay bir çizgi ile veya homojen

çalışma sertleşmesinden önceki akma aralığından geçen bir regresyon doğrusu ile homojen çalışma sertleşmesinin başlangıcında oluşan eğrinin azami eğimine karşılık gelen doğrunun kesişim noktası olarak tanımlanır (Şekil 17). Bu, ekstansometre ölçü uzunluğu L_e 'nin bir yüzdesi olarak ifade edilir. Kullanılan yöntemin (Şekil 17 a veya b) deney raporuna yazılması tavsiye edilir.



2.11. Uzama tanımları

A % kırılmadan sonraki yüzde uzama, A_g % azami kuvvette yüzde plastik uzama, A_{gt} % azami kuvvette yüzde toplam uzama, A_t % kırılmadaki yüzde toplam uzama ve mE ise MPa gerilme- uzama eğrisi yüzdesinin elastik bölgedeki eğimi olarak tanımlanır (Şekil 18).



2.12. Test raporu

Metalik malzemelerin çekme deneyini sonucunda hazırlanacak test raporunda en az olması gerekenler aşağıda sıralanmıştır.

a) ISO 6892 standardının aşağıda belirtilen şekilde deney şartları bilgisi hakkında genişletilmiş atıf verilmelidir. (Örneğin ISO 6892-1:2019 A224 gibi)

Deney kontrol metodunu ve deney hızlarını kısaltılmış bir formda rapor etmek için, aşağıdaki kısaltma sistemi standartta belirtilmiştir.

“ISO 6892-1 Annn”, veya “ISO 6892-1 Bn”

Burada, ‘A’, Metod A’nın (gerinme hızına dayalı olarak) ve ‘B’, Metod B’nin (gerilme hızına dayalı olarak) kullanıldığını gösterir. ‘nnn’ sembolleri deneyin her aşaması boyunca kullanılan deney hızlarını belirten 3 karaktere kadar bir kısaltmadır ve elastik yükleme sırasında seçilen gerilme hızını (MPa/s cinsinden) göstermek üzere ‘n’ ilave edilebilir.

Örnek 1, ISO 6892-1:2019 A224, **Metod A2 de aralık(kademe) 2 ve 4’ü** kullanan, gerinme hızına dayanan bir deneyi tanımlar.

Örnek 2, ISO 6892-1:2019 B30, Metod B de, 30 MPa/s'lik anma gerilme hızında yapılan, gerilme hızına dayanan bir deneyi tanımlar. Örnek 3, ISO 6892-1:2019 B, Metod B de Tablo 2'ye uygun anma gerilme hızında yapılan ve gerilme hızına dayanan bir deneyi tanımlar.

Örnek 3, ISO 6892-1:2019 B, bu çalışmada Tablo 2'ye uygun anma gerilme hızında yapılan, gerilme hızına dayanan bir deneyi tanımlar.

b) deney parçasının tanıtılması,

c) belirtilmiş malzeme, biliniyorsa,

d) deney parçasının tipi,

e) deney numunesinden alınan deney parçasının yeri ve yönü, biliniyorsa;

f) deney kontrol modu/modları veya deney hızı aralığı/aralıkları, tavsiye edilen yöntemlerden ve 10.3.2 ve 10.3.3'te verilen değerlerden farklıysa (bk. 10.3.1);

g) deney sonuçları için aşağıdaki şartlar aranır.

- ürün veya mamul standartlarında aksi belirtilmemişse, sonuçların aşağıdaki veya daha iyi hassasiyetlerle yuvarlanması tavsiye edilir (ISO 80000-1'e göre):

- dayanım değerleri, megapascal cinsinden, en yakın tam sayıya;

- yüzde akma sınırı uzama değerleri A_e , en yakın %0,1'e;

- bütün diğer yüzde uzama veya uzama değerleri en yakın %0,5'e;

- yüzde kesit daralması Z , en yakın %1'e.

yuvarlanarak belirtilmelidir.

2.13. Tek eksenli çekme deneyi kullanılarak metalik malzemelerin elastisite modülünün belirlenmesi;

Bu bilgiler ISO 6892-1 standardının Ek G kısmında, tek eksenli çekme deneyi kullanılarak elastisite modülünün belirlenmesi ile ilgili ilave gereklilikler olarak verilmiştir.

Çekme deneyi uygulanan malzemenin belirtilen öteleme akma dayanımını R_p 'yi belirlemek için, ISO 6892-1 standardı gerilme-uzama eğrisinin doğrusal bölgesine paralel bir dengeye sahip düz bir çizginin oluşturulması gerekir. Birçok kullanıcı genellikle gerilme-uzama eğrisinin doğrusal elastik bölgesine ait eğimin deneye tabi tutulan malzemenin Elastisite Modülüne(E) karşılık geldiğini kabul etse de, E = gerilme/uzama ilişkisi ile tanımlanır. Ancak, genel olarak, çekme

deneyi için gerekli olan Sınıf 1 ekstansometre, elastik bölgedeki çok küçük gerilmeleri Modül değerlerini kabul edilebilir bir belirsizlik düzeyinde verebilecek yeterli kesinliğe sahip bir ölçümü yapmak için elverişli değildir.

Bu deney yöntemi aşağıdaki ölçütleri karşılayan malzemeler ile sınırlıdır:

- Değerlendirme aralığındaki malzemenin göz ardı edilebilir sürünme etkileri,
- Değerlendirme aralığındaki malzemenin elastik kısmındaki yeterli düz çizgi.

Bu ISO 6892-1 standardının Ek G kısmında verilen gereklilikler deney donanımının tasarımına, deney parçasına ve deneyin değerlendirilmesine ilişkindir.

Elastisite modülü karakteristik bir malzeme özelliğidir ve Hooke Kanununa uygun ürünlerin ve bileşenlerin elastisitelerinin hesaplanması için kullanılır.

2.14. Ölçüm belirsizliği tahmini

Standardın Ek K kısmında, ISO 6892 standardına göre tayin edilen değerlerin belirsizliğinin nasıl tahmin edileceğine ilişkin bir bilgi verilmiştir. Belirsizlik ifadesine hem malzemeye bağlı hem malzemedan bağımsız katkılar olması nedeniyle, bu deney yöntemi için mutlak bir belirsizlik ifadesi vermenin mümkün olmadığı bilinmelidir. ISO/IEC Guide 98-3 çeşitli kaynaklardan gelen belirsizliklerin toplanması için özenli istatistiksel yöntemlere dayalı 90 sayfayı aşkın kapsamlı bir dokümandır. Bu dokümanın karmaşıklığı çok sayıda organizasyonu bu yöntemin daha basitleştirilmiş versiyonlarını ortaya çıkarmaya sevk etmiştir. Bu dokümanların hepsi “belirsizlik bütçesi” kavramına dayalı ölçüm belirsizliğinin nasıl tahmin edileceği hususunda kılavuzluk etmektedir. Belirsizlik tahmini üzerine ilave bilgi EN 10291 ve Atıf [22] 'de mevcuttur. Burada bölümde verilen ölçüm belirsizliği, örneğin, ekstrüzyonla üretilmiş bir profilin veya bir rulonun başından veya sonundan ya da döküm içerisindeki farklı konumlardan gelen malzemenin homojen olmamasından kaynaklanan dağılımı tanımlamaz. Belirsizlik ideal homojen bir malzemeyle yapılan farklı deneylerden, farklı cihazlardan veya farklı laboratuvarlardan elde edilen verilerin dağılımından kaynaklanır. Standardın bu kısmında farklı etkiler tanımlanmış ve belirsizliklerin tayini için temel bilgiler verilmiştir.

2.15. Çekme deneyinin kesinliği - Laboratuvarlar arası programlardan elde edilen sonuçlar

Standardın Ek L kısmında, bir laboratuvarda yapılan, hem malzeme dağılımı hem ölçüm belirsizliği içeren döngülü-karşılaştırma alıştırması sırasında çeşitli

malzemeler için bildirilen çekme deneyi sonuçlarındaki tipik dağılım değerleri farklı referanslarla verilmiştir.. Yüzde olarak ifade edilen uyarlık sonuçları ilgili parametrenin, örneğin R_p , R_m , Z , ve A ’nın standart sapmasını 2 ile çarpıp, parametrenin ortalama değerine bölmek suretiyle hesaplanır, böylece ISO/IEC Guide 98-3[4]’te verilen tavsiyelere uygun ve alternatif yöntemlerle elde edilen genişletilmiş belirsizlik değerleriyle doğrudan karşılaştırılabilecek %95 güvenilirlik seviyesini temsil eden uyarlık değerleri bulunmuş olur. Çekme deneyi kullanıcılarına kolaylık sağlamak amacıyla bu bölüm ek olarak tanımlanmıştır.

3. Sonuç ve Öneriler

Malzeme test makinalarında doğru ve standartlara uygun bir deney gerçekleştirebilmek için pek çok parametreye dikkat edilmesi gerekmektedir. Öncelikle uygun deney cihazı (kuvvet dönüştürücü, ekstansometre, yazılım) kullanılmalıdır. Daha sonra tanımlanan standartlara uygun olarak deney gerçekleştirilerek ölçüm sonuçları raporlanmalıdır. Bu çalışma ile metalik malzemede ISO 6892-1 standardına göre oda sıcaklığında çekme deneyi yapacak kişilerin dikkat etmesi gereken hususlar ve anlaşılması zor olan kısımların daha uygulamaya yönelik olarak çözümler paylaşılmıştır. Daha detaylı bilgi ISO 6892-1 standardında verilmiştir. Bu çalışma, metalik malzemede çekme deneyi üzerine araştırma yapanlar için potansiyel bilgilendirici, eğitici ve pratik bir rehber doküman oluşturulması amaçlanmıştır.

Kaynaklar

- [1]. ISO 6892-1:2019(en), Metallic materials -Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature
- [2]. ISO 6892-2:2018(en), Metallic materials - Tensile testing - Part 2: Method of test at elevated temperature
- [3]. ISO 6892-3:2015(en), Metallic materials - Tensile testing - Part 3: Method of test at low temperature
- [4]. ISO 6892-4:2015(en), Metallic materials - Tensile testing - Part 4: Method of test in liquid helium
- [5]. TS EN ISO 6892-1, 2016, Metalik malzemeler - Çekme deneyi - bölüm 1: Oda sıcaklığında deney metodu
- [6]. Aydemir, B., Taşcan, H., Camyurdu, C., O. Baran, A. Temiz, Metalik Malzemelerde Farklı Deney Hızlarının Sonuçlar Üzerine Etkilerinin Araştırılması, 2017, 2nd International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC'17), October 11-13, 2017, Nevsehir, Turkey, S.155-160
- [7]. ISO 7500-1, 2018, Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines - Part 1: Tension/compression testing machines - Calibration and verification of the force-measuring system
- [8]. ISO 9513, 2012, Metallic materials - Calibration of extensometer systems used in uniaxial testing
- [9]. Aydemir, B., Taşcan, H., Camyurdu, C., Baran, O., Metalik malzemede farklı deney hızlarında gerçekleştirilen çekme deneyi sonuç raporu, UME-KV-17-02, Tübitak UME, 08.2017
- [10].Aydemir, B., Taşcan, H., Camyurdu, C., “Çekme deneyinde farklı uzama ölçme yöntemlerinin etkilerinin incelenmesi”, 2015, Metal Dünyası, Sayı 266, S.44-50, İstanbul
- [11].Aydemir, B., “Çekme deneyinde gerilme oranı veya uzama oranı olarak tanımlanan hızların sağlanabilmesi için hareketli tabla hızının belirlenmesi”, 4nd International Conference on Material Science and Technology in Kızılcahamam (IMSTEC'19), October 18-20, 2019, ANKARA, Turkey, s.261-264
- [12].ASTM E8, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2022

[13].Aydemir, B., The Changes in ISO 6892-1:2016 Metallic Materials Tensile Testing Standard, 2017, 3rd Iron and Steel Symposium (UDCS'17), 3-5April 2017, Karabuk-TURKEY, S.163-166

[14].Aydemir, B., ISO 6892-1:2016 Metalik malzemeler çekme deneyi standardındaki değişiklikler ve etkileri, 2017, Metal Dünyası, Sayı 283, S.68-72, İstanbul

[15].H. Bloching, Calculation of the crosshead velocity in mm/min required to achieve a specified stress rate in MPa.s⁻¹ or an estimated strain rate in s⁻¹, Zwick/Roell, ETI 00111, Zwick Materials Testing

[16].B. Aydemir, H. Taşcan, C. Çamyurdu, O. Baran, A. Temiz, Metalik Malzemelerde Farklı Deney Hızlarının Sonuçlar Üzerine Etkilerinin Araştırılması, 2017, 2nd International Conference on Material Science and Technology in Capadocia (IMSTEC'17), October 11-13, 2017, Nevşehir, Turkey, S.155-160

[17].Aydemir, B., Taşcan, H., Camyurdu, C., Baran, O., Metalik malzemede farklı deney hızlarında gerçekleştirilen çekme deneyi sonuç raporu, UME-KV-17-02, Tübitak UME, 08.2017

[18].B. Aydemir, H. Taşcan, C. Camyurdu, “Çekme deneyinde farklı uzama ölçme yöntemlerinin etkilerinin incelenmesi”, 2015, Metal Dünyası, Sayı 266, S.44-50, İstanbul

[19].William D. Callister Jr., David G. Rethwisch, Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th Edition, ISBN: 978-1-119-40549-8

[20].ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)

[21].B. Aydemir, “Uygulamalı Ölçüm Belirsizliği - Mekanik Deneylerde”, Nobel Bilimsel Eserler, 2021

[22].EN 10291:2001, Metallic Materials - Uniaxial Creep Testing In Tension - Method Of Test