

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALİK MALZEMELERİN ODA SICAKLIĞINDA YAPILAN
ÇEKME TESTLERİNDE A VE B TİPİ ÖLÇÜM
BELİRSİZLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

MEHMET SOY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MALZEME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ MURAT LUŞ**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALİK MALZEMELERİN ODA SICAKLIĞINDA YAPILAN
ÇEKME TESTLERİNDE A VE B TİPİ ÖLÇÜM
BELİRSİZLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mehmet SOY tarafından hazırlanan tez çalışması 16.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin Murat LUŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Altan TÜRKEİ
Marmara Üniversitesi

Doç. Dr. Ergün KELEŞOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin Murat LUŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesi sırasında desteğini, sabrını esirgemeyen ve tamamlanmasında büyük katkısı bulunan sayın danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin Murat Luş'a, deneysel faaliyetlerde destek veren Araştırma Görevlisi Zekeriya Cömert'e ve Mercedes-Benz Türk'te test çalışmalarım süresince laboratuvar imkânlarından faydalanmama olanak tanıyan Hakan Beldek'e ve laboratuvar testlerinde yardımcı olan Murat Bilakaya'ya, her zaman varlıklarını ve desteklerini yanımda hissettiğim ailem ve yakın arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Sevgilerimle, yünl

Temmuz, 2019

Mehmet SOY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ	4
2.1 Metroloji	4
2.2 Metrolojinin Sınıflandırılması	5
2.2.1 Bilimsel Metroloji.....	5
2.2.2 Teknik Metroloji.....	5
2.2.3 Yasal Metroloji	6
2.3 Türkiye’de Metroloji Faaliyetleri	6
2.4 Metroloji Birimleri.....	7
2.5 Temel SI Birimleri	7
2.5.1 Metre.....	8

2.5.2 Kilogram	8
2.5.3 Saniye.....	8
2.5.4 Amper	9
2.5.5 Kelvin.....	9
2.5.6 Mol.....	9
2.5.7 Kandela	9
2.6 Türetilmiş Birimler	9
2.7 İzlenebilirlik.....	10
2.8 Ölçüm Belirsizliği.....	12
2.9 Ölçüm Belirsizliğinin Hesaplanması	13
2.9.1 A Tipi Belirsizlik Hesabı	14
2.9.2 B tipi Belirsizlik Hesabı.....	16
2.9.2.1 Dikdörtgen Dağılım	16
2.9.2.2 Normal Dağılım	17
2.9.2.3 Üçgen Dağılım	18
2.9.3 Bileşik Belirsizlik	18
2.9.4 Genişletilmiş Belirsizlik	18
BÖLÜM 3	
ÇEKME DENEYİ.....	20
3.1 Çekme Deneyi Standartları	21
3.1.1 Çekme Deneyi Numuneleri	21
3.2 Çekme Deneyi Cihazı	21
3.3 Çekme Deneyinin Yapılışı.....	22
3.4 Çekme Deneyinden Elde Edilen Veriler.....	23
3.5 Çekme Deneyiyle Hesaplanan Mekanik Özellikler.....	25
3.5.1 Gerilme ve Gerinim	26
3.5.2 Elastisite Modülü	26
3.5.3 Elastiklik Sınırı	27
3.5.4 Akma Mukavemeti	27
3.5.5 Rezilyans.....	28
3.5.6 Tokluk.....	29
3.5.7 Çekme Mukavemeti.....	29
3.5.8 Yüzde Uzama.....	30
3.5.9 Yüzde Kesit Alan Daralması	30
3.6 Deney Koşullarının Gerilme-Gerinim Eğrisine Etkisi.....	30

3.6.1 Sıcaklık	30
3.6.2 Deformasyon Hızı	31
3.6.3 Malzeme Mikroyapısı	32
BÖLÜM 4	
ÇEKME DENEYİNDE ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ	33
4.1 Ölçülen Büyüklüğün Tanımlanması	34
4.2 Model Fonksiyonunun Oluşturulması	35
4.3 A Tipi Belirsizlik	36
4.4 B Tipi Belirsizlik	36
4.5 Hassasiyet Katsayısı	37
4.5.1 Kuvvet Hassasiyet Katsayısının Belirlenmesi	37
4.5.2 Kalınlık Hassasiyet Katsayısının Belirlenmesi	38
4.5.3 Genişlik Hassasiyet Katsayısının Belirlenmesi	38
4.5.4 Yarıçap Hassasiyet Katsayısının Belirlenmesi	38
4.6 Belirsizlik Bileşenlerinin Birleştirilmesi	38
4.6.1 Bağımsız Girdi Miktarları	38
4.6.2 Bağımlı Girdi Miktarları	39
4.7 Genişletilmiş Belirsizliğin Hesaplanması	40
4.8 Belirsizliğin Raporlanması	40
BÖLÜM 5	
DENEYSEL	42
5.1 Deney Numuneleri	42
5.2 Deney Numuneleri Kimyasal Analizi	45
BÖLÜM 6	
SONUÇ VE ÖNERİLER	46
6.1 Numune Grubu 1	46
6.2 Numune Grubu 2	49
6.3 Numune Grubu 3	51
6.4 Numune Grubu 4	54
6.5 Numune Grubu 5	56
6.6 Numune Grubu 6	59
KAYNAKLAR	65
EK-A	
Çekme Deneyinin Tekrarlanabilirliği	69
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGE LİSTESİ

A_0	Numunenin ilk kesit alanı, mm ²
A_k	Numunenin kopma sonrası kesit alanı, mm ²
Cd_0	Yarıçap hassasiyet katsayısı
C_f	Kuvvet hassasiyet katsayısı
C_t	Kalınlık hassasiyet katsayısı
C_w	Genişlik hassasiyet katsayısı
d_0	Yarıçap, mm
E	Elastisite modülü,
F	Kuvvet, N
F_m	Maksimum kuvvet, N
k	Kapsam faktörü
L_0	Numunenin ölçü uzunluğu, mm
L_K	Numunenin kopma sonrası ölçü uzunluğu, mm
r	Korelasyon katsayısı
R_a	Akma Mukavemeti, MPa
R_{alt}	Alt Akma Mukavemeti, MPa
R_m	Üst Akma Mukavemeti, MPa
$R_{üst}$	Çekme Mukavemeti, MPa
T	Kalınlık, mm
W	Genişlik, mm
U_t	Tokluk, J.m ⁻³
U_r	Rezilyans, J.m ⁻³
μ	Belirsizlik
μ_a	A tipi standart Belirsizlik
μ_c	Bileşik Belirsizlik
μ_i	Herhangi bir değişken için standart belirsizlik

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (American Society for Testing and Materials)
BIPM	Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu (International Bureau of Weights and Measures)
CGPM	Genel Konferansı Ağırlıklar ve Ölçüm (General Conference on Weights and Measures)
CIPM	Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Komitesi (International Committee of Weights and Measures)
EN	İngiliz (English)
GUM	Belirsizlik İfadesi İçin Rehber (Guide to Expression of Uncertainty Measurement)
ISO	Uluslararası Standart Teşkilatı (International Standards Organization)
MKSA	Uluslararası Ölçüm Sistemi (
OIML	Uluslararası Yasal Metroloji Örgütü (International Organization of Legal Metrology)
RSS	Karelerin Kareköklerinin Toplamı Yöntemi (Square Root of the Sum of the Squares)
SI	Uluslararası Birim Sistemi (International System of Units)
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 İzlenebilirlik zinciri.....	11
Şekil 2.2 Dikdörtgen dağılım	17
Şekil 2.3 Normal dağılım	17
Şekil 2.4 Üçgen dağılım	18
Şekil 3.1 Çekme deneyi cihazı	22
Şekil 3.2 Yük-uzama grafiği	23
Şekil 3.3 Farklı malzeme tipleri için yük-uzama grafiği.....	23
Şekil 3.4 Gerilme-gerinim Eğrisi	24
Şekil 3.5 Gerilme-gerinim eğrisinde elastisite modülü	26
Şekil 3.6 Süreksiz akma gösteren malzemelerin gerilme-gerinim eğrisi.....	27
Şekil 3.7 Üst ve alt akma noktasına sahip malzemelerin gerilme gerinim eğrisi	28
Şekil 3.8 Gerilme-gerinim eğrisinde rezilyans ve tokluk.....	29
Şekil 3.9 Yumuşak bir çeliğe ait a) gerilme-gerinim eğrisinin sıcaklıkla değişimi b) mekanik özelliklerin sıcaklıkla birlikte değişimi.....	31
Şekil 3.10 Deformasyon hızının çekme mukavemetine etkisi	32
Şekil 5.1 Çekme deneyi öncesi numuneler	43
Şekil 5.2 Çekme deneyi cihazları a) Besmak b) Mohr&Federhaff c) Zwick&Roll....	44
Şekil 6.1 Dikdörtgensel kesite sahip numunelerin belirsizlik değerleri.....	62
Şekil 6.2 Dairesel kesite sahip numunelerin belirsizlik değerleri	62
Şekil 6.3 Tüm numunelerin belirsizlik değerlerinin karşılaştırılması.....	63

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Temel SI birimleri 8
Çizelge 2.2	Temel SI birimlerinden türetilen diğer büyüklükler 10
Çizelge 2.3	Student dağılımı tablosu..... 15
Çizelge 4.1	Çekme deneyinde koşulların belirsizlik etkisi 34
Çizelge 5.1	Numunelerin test edildiği cihazlar 43
Çizelge 5.2	Deney numunelerinin kimyasal bileşimleri 45
Çizelge 6.1	Numune grubu 1'in çekme deneyi sonuçları 46
Çizelge 6.2	Numune grubu 1'e ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları..... 48
Çizelge 6.3	Numune grubu 1'in belirsizlik değerleri 49
Çizelge 6.4	Numune grubu 2'nin çekme deneyi sonuçları 49
Çizelge 6.5	Numune grubu 2'ye ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları..... 50
Çizelge 6.6	Numune grubu 2'nin belirsizlik değerleri 51
Çizelge 6.7	Numune grubu 3'ün çekme deneyi sonuçları..... 51
Çizelge 6.8	Numune grubu 3'e ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları..... 53
Çizelge 6.9	Numune grubu 3'ün belirsizlik değerleri 54
Çizelge 6.10	Numune grubu 4'ün çekme deneyi sonuçları..... 54
Çizelge 6.11	Numune grubu 4'e ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları..... 55
Çizelge 6.12	Numune grubu 4'ün belirsizlik değerleri 56
Çizelge 6.13	Numune grubu 5'in çekme deneyi sonuçları 56
Çizelge 6.14	Numune grubu 5'e ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları..... 58
Çizelge 6.15	Numune grubu 5'in belirsizlik değerleri 58
Çizelge 6.16	Numune grubu 6'nın çekme deneyi sonuçları 59
Çizelge 6.17	Numune grubu 6'ya ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları..... 60
Çizelge 6.18	Numune grubu 6'nın belirsizlik değerleri 61
Çizelge 6.19	Tüm numunelerin genişletilmiş belirsizlik değerleri 61
Çizelge 6.20	Referans tez ve makalelerin belirsizlik değerleri 63
Çizelge A.1	Malzemelerin tekrarlanabilirliklerinin laboratuvarlar arası karşılaştırılması.....69

ÖZET

Metalik Malzemelerin Oda Sıcaklığında Yapılan Çekme Testlerinde A ve B Tipi Ölçüm Belirsizliklerinin Karşılaştırılması

Mehmet SOY

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin Murat LUŞ

Ölçümler; ticari, endüstriyel, teknik ve birçok alanda hayatımızın bir parçasıdır. Kalite kontrol, standartlaştırma ve güvenilirlik nedeniyle her ölçüm sonucunun belli bir güven aralığında ifade edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ölçüm sonucunun ölçümdeki belirsizliğin bir ifadesi ile tamamlanmış olması gerekmektedir. Ölçüm belirsizliği, elde edilen ölçümlere tutarlı olacak şekilde denk gelen değerlerin dağılımını ayırt edici bir araç ve bu ölçüm sürecinin sonucuyla ilişkilendirilebilecek bir göstergedir. Ölçüm cihazı, ölçülen madde, çevresel koşullar, operatör ve diğer etmenler ölçüm belirsizliği için bir kaynak olabilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada en eski ve en yaygın mekanik malzeme muayene yöntemlerinden birisi olan çekme testinde ölçüm belirsizliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Çekme testinin istatistiksel çıktılarından birisi olan çekme gerilmesi, malzemenin kopmadan dayanabildiği en yüksek kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Bugüne kadar bu alanda, A tipi Ölçüm Belirsizliği ile B tipi Ölçüm Belirsizliği arasında karşılaştırma kapsamında herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Sonuç olarak bu çalışmanın amacı, bu iki tür arasındaki kantitatif farklılıkları değerlendirmek ve hangi yöntemin daha hassas sonuçlara sahip olduğu konusunda bir rehber niteliği taşımasıdır. Bu çalışmada, oda sıcaklığında çekme testi uygulanan metalik malzemelere ait A ve B tipi Ölçüm Belirsizliklerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, ISO 6892-1:2016 standardına uygun olarak hazırlanıp şekillendirilmiş 6 farklı numune grubuna ait 60 numuneye 3 farklı cihazda çekme testi uygulanmıştır. Sonrasında, test sonuçlarının istatistiksel analizi, güvenilirliklerinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. %95 güven aralığında elde edilen sonuçlara göre, A tipi belirsizlik yaklaşık %1 olarak

hesaplanmışken, B tipi belirsizlik ise yaklaşık %2'lik olarak hesaplanmıştır. Tüm bu deneyler ve hesaplamalar A tipi belirsizliğin B tipi Belirsizliğe göre sayısal olarak daha hassas sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ölçüm Belirsizliği, A tipi, B tipi



ABSTRACT

Comparison of A and B Type Measurement Uncertainties in Tensile Testing of Metallic Materials at Ambient Temperature

Mehmet SOY

Department of Metallurgical and Materials Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Hüseyin Murat LUŞ

Measurements are part of our lives in commercial, industrial, technical and many different areas. For quality control, standardization and reliability; the result of each measurement must have a to be stated in a certain confidence interval. Therefore, the result of measurement should be completed with an expression of uncertainty in the measurement. Measurement uncertainty is a parameter that includes executable results that characterize the distribution of values that can be attributed to the measured magnitude. The measuring device, measured material, environmental conditions, operator and other factors may be a source of measurement uncertainty. Therefore, it is aimed to investigate the uncertainty of measurement in the tensile test which is one of the oldest and most common mechanical material inspection methods. The tensile stress, which is one of the statistical outputs of the tensile test, is defined as the highest force that the material can resist without breaking. To date, there is no study in the scope of comparing of Type A Measurement Uncertainty and Type B Measurement Uncertainty. In conclusion, the aim of this study is to evaluate the quantitative differences between these two types and to provide a guideline on which method has more precise results. In this study, it is aimed to compare the measurement uncertainties of type A and B of metallic materials which are applied to tensile test at room temperature. In this context, 6 different sample groups, prepared according to the standards and shaped according to the ISO 6892-1: 2016 60 samples consisting of 6 different sample groups, tensile test was applied with 3 different devices. A statistical analysis of the test results was then carried out to evaluate their reliability. According to the results obtained in the 95% reliability interval, the uncertainty of Type A was

calculated as 1%, while the B type uncertainty was calculated as approximately 2%. All these experiments and calculations show that type A uncertainty gives numerically more precise results than B type Uncertainty.

Anahtar Kelimeler: Measurement Uncertainty, Type A, Type B



1.1 Literatür Özeti

Bir olgunun belirli bir birim cinsinden hesaplanması ölçüm olarak ifade edilmektedir. Bilimsel çalışmalar temelini ölçümlerden almaktadır. Bilimsel çalışmaya ait bulgulara ışık tutarak yönlendirici mahiyeti olması sebebiyle, ölçümlere bilimin her alanında karşılaşılmakta ve ihtiyaç duyulmaktadır. Ölçüm sonuçlarının güvenilirliği sonuçların doğru değerlendirilmesi noktasında kritik bir öneme sahiptir. Ölçülen büyüklük aynı olmasına karşın sonuç değerleri ölçümden ölçüme farklılık gösterdiği için her bir ölçüm değeri şüphe içermektedir. Bu nedenle, ölçüm sonucuna ek olarak ölçüme ait belirsizlik değeri de belirlenmelidir. Ölçüm, ölçüm sonucunun belirli bir güven aralığında ölçüm belirsizliği ile birlikte ifade edilmesi sonrasında tamamlanmış olur [1]. Böylece, ölçüm sonuçları kendi aralarında ve standartlarda yer alan değerlerle karşılaştırılabilir bir durum alır. Yunanca “Metron” kelimesinden türetilen Metroloji kelimesi dilimizde “Ölçüm Bilimi” anlamı taşımaktadır. Metroloji’nin temel amacı, dünya üzerinde geniş kabule sahip antlaşmalar ve bu antlaşmaların gerektirdiklerine uygun olacak şekilde tüm ölçümlerin doğru ve güvenilir sonuçlar vermesinin güvence altına alınması ve ölçümlerin standartlara uygun şekilde yapılmasıdır. Bu doğrultuda üç temel işleve sahiptir [2], [3]:

- Evrensel ölçüm birimlerinin tanımlanması
- Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Komitesi’nin (CIPM) kabul ettiği yöntemlerin Ulusal Enstitüler tarafından ulusal standartlar şeklinde tanımlanmasını sağlama
- Bu kapsamdaki ülkelerde faaliyet gösteren laboratuvarlardaki ölçü aletleri ve cihazlarının izlenebilirliğinin sağlanması

Metroloji, bilim ve iş hayatında binlerce farklı coğrafi konumlara ve alanlara ortaklık sağlayarak güvenilirlik ve izlenebilirlik sunmaktadır. Bu sayede farklı ülkelerde bulunan ölçüm bilimlerinin, standartlarının ve laboratuvarlarının herkes tarafından tanınması ve kullanılması sağlanmaktadır. Bilimsel çalışmaların temelini ölçümlerden alması sebebiyle; bilimde meydana gelen gelişmeler, yeni buluşlar ve üretilen yeni cihazlar metroloji biliminin de bu gelişmelere ayak uydurmasına, yeni cihazlara ait standartlar ve ölçüm hassasiyetini arttıracak çalışmalar yapmasına sebebiyet vermektedir.

Metroloji, üç ana kategoride incelenmektedir. Bilimsel metroloji, ölçümlere ait prosedür ve standartların düzenlenmesi, geliştirilmesi ve mevcut olanlarının korunmasını amaçlar.

Endüstriyel metroloji, Bilimsel metroloji sonucunda elde edilen birincil standartlara bağlı olarak endüstriyel alanda yapılan araştırma, üretim ve deneysel ölçüm faaliyetleri endüstriyel metrolojinin ilgi alanlarına girmektedir [4]. Endüstriyel alanda üretim yapan tesis ve test çalışmalarında kullanılan ölçüm cihazlarının ölçüm kalitesinin korunması, üniversite ve Ar-Ge laboratuvarlarında yapılan araştırmaların ve çalışmaların güvence altına alınmasını amaçlamaktadır. Yasal metroloji, ekonomik işlemlerde güvenilirliği etkileyen ve daha çok yasal anlamda doğrulanması zorunlu bulunan cihazların ölçümleri ile ilgilenir [5].

Ülkemizde ölçüm faaliyetlerinin güvenilirliğinin sağlanması, uluslararası ölçüm sistemlerine entegrasyonunun sağlanması amacıyla Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) 1992 yılında TÜBİTAK'a bağlı olarak kurulmuştur. UME, ölçümlerini yürürlükteki uluslararası standartlara göre yapmaktadır. 14 Ekim 1999 tarihli Uluslararası Karşılıklı Tanınma Anlaşması'na göre UME'nin yaptığı kalibrasyon sonucunda düzenlediği belgeler 67 ülke ve 2 uluslararası kuruluş tarafından tanınmaktadır.

Uluslararası Temel ve Genel Metroloji Terimleri Sözlüğü'nde ölçüm belirsizliği "ölçülen büyüklüğe mantıklı bir şekilde atfedilebilecek bütün değerlerin dağılımını karakterize eden ve ölçüm sonucuyla ilişkili olan bir parametre" olarak ifade edilmektedir [2]. Uluslararası seviyede en yüksek güvenilirliğe sahip prototopin ulusal laboratuvarlara ve sırasıyla bir aşağı seviyedeki laboratuvara aktarılmasıyla ölçüm belirsizliği değeri belirlenir ve izlenebilirlik zinciri yardımıyla aktarılır.

Mühendislik uygulamalarında kullanılacak malzemelerin arzu edilen kullanım alanına uygunluğunun belirlenmesi için bir takım mekanik testlere tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu testlerin en eski ve en yaygın olanı çekme testidir. Standartlara uygun olarak hazırlanan farklı geometrik şekillerdeki numuneler kopana kadar tek eksenli olarak artan çekme kuvvetine tabi tutulur. Bu işlem sonrasında elde edilen Gerilme-Gerinim eğrisi ve Yük-Uzama eğrisi yardımıyla malzemeye ilişkin çekme mukavemeti, akma mukavemeti, elastisite modülü ve tokluk gibi mekanik özellikler elde edilmektedir. Elde edilen bu değerlerin farklı olmasını sağlayan ana etmenler sıcaklık, deformasyon hızı ve malzeme mikroyapısıdır [6].

Ölçüm belirsizliğinin ortaya konulmasına duyulan ihtiyacın artmasıyla birlikte konuyla ilgili evrensel çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmaların sonucu olarak 1993 yılında ölçüm belirsizliği hakkında "Ölçüm Belirsizliğinin Hesaplanması Kılavuzu" hazırlanmış ve evrensel olarak kabul görmüştür [7]. GUM'a göre ölçüm belirsizliğinin tanımlanmasında ilk adım olarak kaynakların belirlenmesi amacıyla mevcut ölçüm metoduna ait matematiksel modelin tanımlanması gereklidir. Matematiksel modelde ölçümdeki girdiler arasından sonuç değeri üzerinde etkiye sahip olanlar belirlenir. Ölçüm belirsizliğinin her bileşeninin A tipi ve B tipi olmak üzere standart belirsizlikleri hesaplanır. A tipi standart belirsizlik tekrarlı denemelere dayanmaktadır, B tipi belirsizlik ise istatistik dışındaki diğer yöntemlerin kullanılmasıyla yapılan belirsizlik değerlendirmesidir. Farklı kaynaklardan gelen standart belirsizliklerin bir araya getirilmesiyle bileşik belirsizlik elde edilir. Bileşik belirsizliğin tercih edilen güven aralığına göre kapsam faktörüyle çarpılması sonrasında Genişletilmiş Belirsizlik elde

edilmektedir. Ölçüm, ölçüm sonucunun güven aralığını belirtecek bir şekilde belirsizliğin ifade edilmesiyle tamamlanmış olur [7].

Çekme testindeki girdiler dikkate alındığında çekme mukavemetini etkileyen girdilerin numuneye ait alan ve uygulanan kuvvet olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak, bu girdiler matematiksel modelde bu yer almaktadır. Deneysel standart sapma değeri üzerinden A tipi belirsizlik hesabı yapılmaktadır. B tipi belirsizlik hesabı ise model fonksiyonunda belirtilen girdi ve bu girdilerin birbirine bağlı olan değişimlerinin nasıl olduğunu gösteren hassasiyet katsayılarının ifade edilmesiyle yapılmaktadır. Tüm girdilere ilişkin standart belirsizlik ve hassasiyet katsayıları ortaya konulur. Hesaplanan bu belirsizliklerin tek bir belirsizlik değeri olarak ifade edilmesi amacıyla Karelerin toplamının karekökü metodu kullanılır ve bileşik belirsizlik değeri elde edilir. Student'in T Testi yardımıyla tercih edilen güven aralığındaki belirsizlik değerinin hesaplanıp ölçüm sonucuyla birlikte raporlanması sonrasında ölçüm tamamlanmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Ölçüm sonucunun doğruluğu ve güvenilirliğine duyulan ihtiyacın artmasıyla birlikte ilgili alanda yapılan literatür taraması sonrasında malzemelerin mekanik özelliklerinin tayin edilmesinde en yaygın kullanılan ve önem seviyesi yüksek olan çekme testinde ölçüm belirsizliğiyle ilgili bir tez çalışması olmadığı gözlemlenmiştir. Bu konuya odaklanılarak laboratuvarlara ve nihai kullanıcıların çekme testindeki belirsizlik bileşenleri ve ölçüm belirsizliği üzerine yapacağı çalışmalarda rehber niteliğinde, yol gösterici bir çalışma olması amaçlanmaktadır.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında metalik malzemelerin oda sıcaklığındaki çekme testlerine yönelik A ve B tipi ölçüm belirsizliği ilgili literatürden yararlanılarak hesaplanacaktır. Bu amaçla birbirine özdeş bir test numune havuzu oluşturulacaktır ve bu numuneler kullanılarak çekme testleri icra edilecektir. A tipi Belirsizlik için test değerlerinin standart sapmasının ölçüm belirsizliği değerini temsil edeceği bu tezde öne sürülmektedir. Bir metalik malzemenin çekme mukavemetini tanımlayan formül kullanılarak da B tipi belirsizlik için model fonksiyonu oluşturulup hassasiyet katsayıları hesaplanacaktır. Tüm bu değerler kullanılarak B tipi Belirsizlik için karelerin toplamının karekökü yaklaşımıyla B tipi belirsizlik değeri hesaplanacaktır. Aynı numune havuzlarına yönelik bu iki belirsizlik değerlerinin hesaplanıp; literatürde bulunan daha evvelki çalışmalar ve bu tezde bulunan değerlerin bir grafik üzerinde gösterimiyle A ve B tipi ölçüm belirsizlikleri arasındaki farkın net olarak görüleceği düşünülmektedir.

BÖLÜM 2

ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ

2.1 Metroloji

Günümüzün küreselleşen ekonomisinde uluslararası düzeyde kabul gören güvenilir ölçümler ve testler önemli bir yer tutmaktadır. Geniş kapsamlı ve sağlam bir metroloji altyapısı sayesinde bu ölçüm ve testler ticari faaliyetlerin sürdürülebilmektedir. Sözlük anlamı ölçme bilimi olan metroloji, tüm bu ticari faaliyetlerin ilişkilendirilmesini sağlayan birimler hakkında ortak bir anlayış oluşturmaktadır. Modern Metroloji'nin temelleri Fransız Devrimi sonrasında atılmıştır. 1795 yılında ondalık tabanlı metrik sistemin oluşturulması diğer ölçüm türleri için de bir takım standartlarının oluşturulmasını beraberinde getirmiştir. 1795-1875 yılları arasında metrik sistemin başka ülkeler tarafından da benimsenmesiyle ülkeler arasında uyumun sağlanması amacıyla Metre Uzlaşması imzalanmıştır. 1960 yılında 11. Konferans Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçü Konferansı'nın (CGPM) aldığı kararla Uluslararası Birimler Sistemi'ne (SI) dönüştürülmüştür [2].

Metrolojinin kapsamı, doğruluk düzeyi farketmeksizin ölçmeyi temel alan uygulamalı ve teorik tüm konulardır. Günümüzde gayri safi milli hasılamıza oranı %6'yı bulabilecek maliyet seviyesinde ölçüm ve tartım yapılmaktadır, bu nedenle metroloji hayatımızın her alanında önemli bir yer edinmiştir. Genel olarak ifade etmek gerekirse, modern sanayiide ölçüm maliyetleri üretim maliyetlerinin %10'u ile %15'ine denk gelmektedir. Belirsizlik seviyesi bilinen ve sistematik olarak yürütülen ölçümler endüstride kalite kontrolün kritik seviyede öneme sahip bir unsurdur. Çünkü, doğru ölçümler neticesinde ürünün değeri ve kalitesi büyük oranda artmaktadır. Ölçüm bilimi olan Metroloji üç ana işleve sahiptir [2]:

- 1)Uluslararası düzeyde kabule sahip ölçüm birimlerinin tanımlanması
- 2) Bilimsel yöntemlerle ölçüm bilimlerinin uygulanması
- 3) Uygulanan ölçüm bilimlerinin referans standartlarıyla belgelenmesi ve izlenebilirlik zincirinin oluşturulması

2.2 Metrolojinin Sınıflandırılması

Metroloji, dünya genelinde sistem ve organizasyon olarak farklılıklar mevcut olmasına rağmen faaliyet alanlarına göre; Bilimsel Metroloji, Endüstriyel Metroloji ve Yasal Metroloji olarak üçe ayrılmaktadır. [2], [3].

2.2.1 Bilimsel Metroloji

Bilimsel metroloji; ölçüm birimlerinin tanımlanması, yeni ölçüm yöntemlerinin geliştirilmesi, ölçüm standartlarının belirlenmesi ve bu standartların izlenebilirliğe uygun olarak aktarılmasıyla ilgilenmektedir [2], [3].

Bilimsel metroloji en yüksek doğruluk derecesinin sağlanmasını amaçlar. Dünyadaki enstitülerin metrolojik kalibrasyon ve ölçüm kapasiteleri BIPM veritabanında yer almaktadır. Faaliyetleri hakemli olarak değerlendirilen bu enstitüler, metrolojik izlenebilirlik için temel referans noktaları sunmaktadır. Bu sayede enstitülere ait faaliyetler değerlendirilebilmektedir. Çünkü, enstitüler, metrolojik izlenebilirlik için temel referans noktalarıdır. BIPM; akustik, elektrik ve manyetizma, uzunluk, kütle ve fotometri ve radyometri, iyonlaştırıcı radyasyon, zaman ve frekans, termometre ve kimya olmak üzere dokuz adet temel metroloji alanı belirlemiştir [2].

2.2.2 Endüstriyel Metroloji

Endüstriyel metroloji, ölçümlerin üretim ve diğer işlemlerde uygulanması ve toplumdaki kullanımları ile ilgilenmektedir. Bu kapsamda; ölçüm cihazlarının uygunluğunu, kalibrasyonlarını ve kalite kontrollerini sağlar. Endüstride metrolojik yeterliliğe sahip olabilmek için karşılık tanıma anlaşmaları veya akreditasyon değerlendirmesi yapılmalıdır. Ölçümlerin kaliteli olarak gerçekleştirilmesi nihai ürünün değeri ve kalitesi

üzerinde bir etkiye sahiptir ve üretim maliyetlerinde de % 10-15 oranında bir etkisi olduğu için endüstride gerekliliği yüksektir. Bir ülkenin ekonomik ve endüstriyel faaliyetlerinin gelişimi endüstriyel metrolojisindeki gelişimle paralelliğe sahiptir.

2.2.3 Yasal Metroloji

Ticari faaliyetlerin şeffaf ve güvenilir bir zeminde yürütülebilmesi için ölçüm cihazlarının yasal olarak doğrulanmasını gerektiren ölçümler Yasal Metroloji'nin kapsama alanına girmektedir.

Yasal metroloji yetkili kuruluşların yasal gereklilikler sebebiyle gerçekleştirdiği ölçümle ilgili faaliyetleri, ölçüm birimlerini, ölçüm araçlarını ve ölçüm yöntemlerini ilgilendiren tüm faaliyetlerdir. Yasal metroloji ulusal ve uluslararası ticaretin güvenilirliğinin korunması amacıyla ortaya çıkmıştır, bu durum devletler açısından yasal metroloji düzenlemelerini gerekli kılmaktadır. Yasal Metroloji Farklı ülkelerdeki yasal gerekliliklerin ve düzenlemelerin uluslararası alanda uyumlaştırılmasına yardımcı olmak için Uluslararası Yasal Metroloji Örgütü (OIML) kurulmuştur. Bu uyumlaştırma bir ülkedeki ölçüm birimleri, ölçüm cihazlarının ve ürünlere ait sertifikalandırma süreçlerinin diğer ülkelerle de uyumlu olmasını sağlamaktadır [8].

2.3 Türkiye'de Metroloji Faaliyetleri

25 Mayıs 1875 tarihinde imzalanan Metre Uzlaşması'yla birlikte Osmanlı döneminde Metroloji alanındaki uluslararası ilk faaliyetlere başlanmıştır. Cumhuriyet döneminde ise 6 Mart 1931 tarihli Ölçüler ve Ayar Kanunu'yla metrik sistem kurulumu zorunlu hale getirilmiştir, ancak İkinci Dünya Savaşı sonrasında Metrolojiye verilen önem artmıştır. Ölçüler ve Ağırlıklar kanunu güncellenerek, ölçü birimlerinin kullanım gereklilikleri ve bunların yasal düzenlemelerini tanımlamaktadır. Konuyla ilgili teşebbüslerin sivil endüstride yerini alması 1980 yılını bulmuştur. 80'li yılların başında kamu ve özel sektörün ihtiyaçlarını karşılayabilecek ulusal ölçekte bir metroloji merkezi kurulması kararlaştırılmıştır. TÜBİTAK'ın yürüttüğü fizibilite çalışmalarının sonuç göstermesiyle birlikte ve 1 Ocak 1992 yılında Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) bünyesinde

kurulmasından sonra 14 Ekim 1999 tarihinde imzalanan karşılıklı tanınma anlaşmasıyla birlikte uluslararası metroloji sistemi içinde yerini almıştır [8].

2.4 Metroloji Birimleri

Metre ve kilogram üzerine kurulu bir birimler sistemi olan metrik sistem Fransız Devrimi sonrasında 1799 yılında metre ve kilogram için iki platin referans standardın üretilmesiyle başlamıştır [2]. Dünya çapında ölçümlerin denkliğinin sağlanması amacıyla 1875 Metre Uzlaşması'nın imzalanmasıyla Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Bürosu (BIPM) kurulmuştur.

Modern Metroloji'nin temelini atan Fransızlar 20. YY'da dünyada geçerli olacak bir birim sistemi hazırlanması amacıyla çalışmalar yürütmüştür. Bu çalışmaların ilk sonucu 1946 yılında alınmıştır ve Metre Uzlaşması'na bağlı ülkeler tarafından MKSA ölçüm sistemi (metre, kilogram, saniye, amper) kabul edilmiştir. Sonrasında, mevcut sisteme 1954 yılında kelvin ve kandela birimlerinin de eklenmesiyle Uluslararası Birimler Sistemi (SI) ortaya çıkmıştır. 1960'da 11. Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçü Konferansı'nda (CGPM) geçerliliğe kavuşmuştur. SI Uluslararası Birimler Sistemi, CGPM tarafından benimsenmiştir birbiriyle tutarlı birimler içermektedir. Madde miktarı temel birimi olan Mol'un de 1971 yılında 14. CGPM Konferansı'nda eklenmesiyle son halini almıştır. Metrik Sistem'in kabulünden tam 180 yıl sonra, yedi temel birim ile bu birimlerden türetilmiş birimlerin de yer aldığı bir sistem olan SI Uluslararası birimler sistemi geçerlilik kazanmıştır [9], [10].

2.5 Temel SI Birimleri

Temel birimler, belirli büyüklükler sisteminde yer alan temel büyüklüklerin ölçüm birimleridir. Çizelge 2.1'de 7 temel birim yer almaktadır.

Çizelge 2.1 Temel SI birimleri [11]

Büyüklik	Temel Birim	Sembol
Uzunluk	Metre	m
Kütle	Kilogram	kg
Zaman	Saniye	s
Elektrik akımı	Amper	A
Termodinamik sıcaklık	Kelvin	K
Madde miktarı	Mol	mol
Işık şiddeti	Kandela	cd

2.5.1 Metre

1983 yılı 17. Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı toplantısında ışığın saniyenin 1/299.792.458'si zaman aralığında vakum ortamında kat ettiği mesafe olarak tanımlanmıştır [3], [5].

2.5.2 Kilogram

Kilogram, yoğunluğu 21.5 g/cm^3 olan %90 Pt-%10 Ir alaşımından yapılmış olan 39 mm yüksekliğinde ve 39 mm çapında silindir biçimindeki ağırlık standardı olarak kabul edilen kilogram prototipinin kütesine eşittir [8].

2.5.3 Saniye

Saniye, 1967 yılında gerçekleştirilen 13. Ölçü ve Ağırlıklar Genel Konferansı'nda Sezyum-133 atomunun en düşük enerji seviyesinde iki süper ince seviye arasındaki geçişe ait ışıma periyodunun 9.192.931.776 katına eşit olan zaman olarak tanımlanmıştır [2] .

2.5.4 Amper

Vakum ortamında 1 metre aralıklı olarak yerleştirilen sonsuz uzunluğa ve ihmal edilebilir dairesel kesite sahip iki düz paralel iletkenli sistemde; bu iletkenler arasında 2×10^{-7} newton/metre'ye eşit gücü üretebilen sabit akım olan Amper, 1939 yılında temel elektriksel birim olarak kabul edilmiştir [3], [5].

2.5.5 Kelvin

Suyun üçlü noktasındaki termodinamik sıcaklığının $1/273.16$ fraksiyonu olarak tanımlanan Kelvin, bir Sıcaklık birimi olarak 1954 yılında kabul edilmiştir [8].

2.5.6 Mol

0.012 kilogram Karbon-12'deki atom sayısını içeren madde miktarı olan Mol, 1969 yılında tanımlanmıştır [3], [5].

2.5.7 Kandela

540×10^{12} hertz frekansında monokromatik radyasyon yayan ve $1/683$ watt/steradian ışıma şiddetine sahip bir kaynağın belirli bir doğrultudaki ışık olarak tanımlanan Kandela (cd), 1954 yılında kabul edilmiştir [2].

2.6 Türetilmiş Birimler

SI birimleri sistemindeki 7 temel büyüklüğün birbirleriyle olan fiziksel ilişkileri sonucunda ortaya çıkmıştır. Temel birimlerin çarpım veya bölümleriyle matematiksel olarak elde edilebilmektedirler. Tıpkı temel SI birim sistemleri gibi bazı türetilmiş birimler için de özel isimler ve semboller kullanılmaktadır. Çizelge 2.1'de temel birimlerden türetilen birimler yer almaktadır. Yük birimi olan Coulomb'un zaman miktarı ölçüm birimi olan saniye ve elektrik akımı birimi olan amper'in matematiksel olarak çarpımı sonucunda türetilmesi bunun bir örneğidir. Türetilmiş birimler; temel birimler ve özel isimlere sahip türetilmiş birimlerin farklı kombinasyonları olarak elde edilebilirler.

Çizelge 2.2: Temel SI birimlerinden türetilen diğer büyüklükler [11]

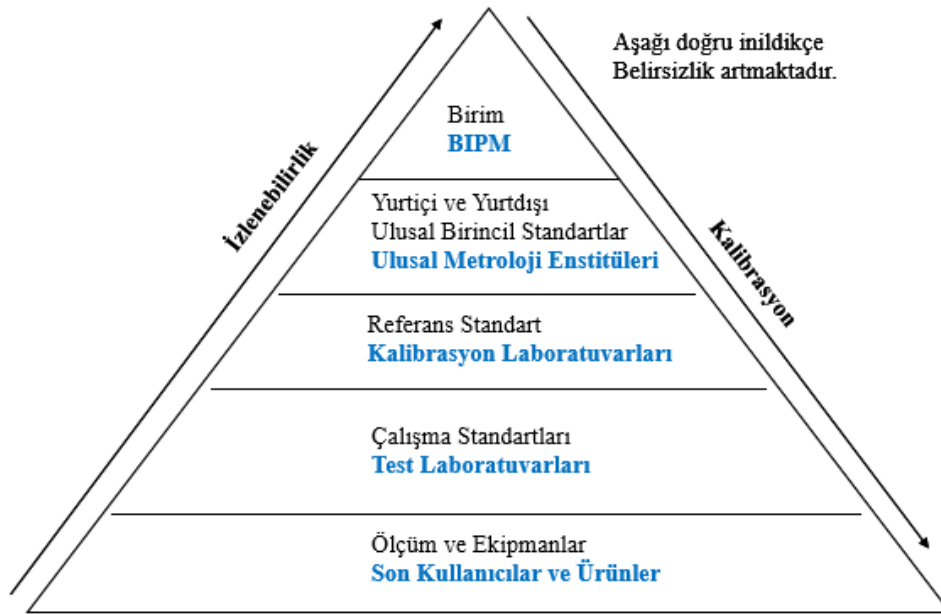
Türetilmiş Büyüklük	Özel İsmi	Özel Sembolü	SI Cinsinden Birimi
Frekans	Hertz	Hz	s^{-1}
Kuvvet	Newton	N	$m.kg.s^{-2}$
Basınç	Pascal	Pa	$m^{-1}.kg.s^{-2}$
Enerji	Joule	J	$m^2.kg.s^{-2}$
Güç	Watt	W	$m^2.kg.s^{-3}$
Elektrik Yüğü	Coulomb	C	$s.A$
Manyetik Akı	Weber	V.s	$m^2.kg.s^{-2}.A^{-1}$
Sıcaklık (Celsius)	Celsius derece	$^{\circ}C$	K
Potansiyel Fark	Volt	V	$m^2.kg.s^{-3}.A^{-1}$
Düzlem Açısı	Radyan	rad	$m.m^{-1}$
Direnç	Ohm	Ω	$m^2.kg.s^{-3}.A^{-2}$

2.7 İzlenebilirlik

İzlenebilirlik, ölçüm sonucunun ölçüm belirsizliğine katkıda bulunan kalibrasyonlardan meydana gelen belgelendirilebilen kesintisiz bir zincir aracılığı ile belirli bir referansla ilişkilendirilebilme özelliğidir. İzlenebilirlik, zincirdeki aşağı veya yukarı hareketlerin sonucu olarak ölçüm belirsizliği daha az ve daha yüksek olan ölçüm veya ölçüm cihazlarının karşılaştırılabilmesini amaçlamaktadır.

İzlenebilirlik prosesi şu şekilde işlemektedir: Uzunluk birimi metreye ait doğruluğu en yüksek prototip Uluslararası Ölçüler ve Ağırlıklar Bürosu'nda (BIPM) bulunmaktadır. Bu prototip ülkelerde metrolojiden sorumlu enstitülere verilmektedir [12]. Ülkemizde de Ulusal Metroloji Enstitüsü tarafından ülkemize verilen prototip ve uluslararası prototip karşılaştırılmaktadır. Bunun sonucunda prototipe ait belirsizlik değerinin uygun aralıkta olup olmadığı incelenmektedir. Bu şekilde ulusal prototipin de ülke içinde yer alan uzunluklarla karşılaştırılması neticesinde izlenebilirlik zincirinin tüm kademelerinde ölçüm belirsizliği ve hata incelenmesi yapılmış olmaktadır.

Karşılaştırma işleminin gerekliliğini sağlayan; ölçüm sonuçlarının güvenilir olması amacıyla kullanılan cihazların kalibrasyonların yapılması, yani cihazın ölçüm hatalarının zincirde daha yukarıda yer alan ve doğruluk seviyesi daha yüksek başka bir cihaz tarafından belirlenmesine duyulan ihtiyaçtır. Kalibrasyon işlemini yapan cihazın gerçekleştirdiği ölçümün de güvenilir olması bu cihazlarda benzer şekilde kalibre edilmiş olmalıdır. Alt seviyede yer alan cihaz kendini bir üst seviyedeki cihazla kalibre eder ve bu şekilde en hassas doğruluğa sahip cihazlara izlenebilir hale gelir. Bunun sonucu olarak, BIPM ile ilişkisi olan cihazlardan üretim, kalite kontrol ve ticari olarak kullanılan ölçüm cihazlarına doğru kademeli bir şekilde varlığını sürdüren bir zincir meydana gelmektedir [8]. Bu zincir “İzlenebilirlik Zinciri” olarak tanımlanmaktadır. Bu zincir sayesinde gerçekleştirilen her ölçümde, BIPM’in tanımladığı yedi temel ölçüm birimiyle bağlantı kurulmaktadır. Laboratuvar bazında izlenebilirliğin sağlanamadığı durumlarda, ölçme alet ve cihazları veya çalışma standartları kalibre edilerek cihaz bazında izlenebilirlik sağlanır [13]. Ülkemizdeki izlenebilirlik zinciri Şekil 2.1’deki gösterilmektedir.



Şekil 2.1 İzlenebilirlik zinciri [2]

Zincirin kademelerinde yer alan standartlar Standartlar Hiyerarşisi adı verilen hiyerarşik bir düzene uygun olarak sıralanmaktadır. Ulusal referans, transfer ve çalışma standardı

olarak adlandırılan bu standartlar zincirin ulusal kısmının oluşturulması ve muhafazasında önemli bir yer tutmaktadır. Ölçüm standardı, referans olarak kullanımı amaçlananan bir büyüklüğün ve ilgili ölçüm belirsizliği ile birlikte bir maddi ölçüt, ölçüm cihazı, referans malzeme veya ölçüm sistemi ile tanımının gerçekleştirilmesidir [2].

Bir ülkede gerçekleştirilen ölçümün farklı bir ülkede gerçekleştirilen ölçümlerin zincirine bağlanmasını sağlayan ülkedeki en yüksek doğruluğa sahip olan standart Ulusal Birincil Standart şeklinde tanımlanmaktadır [8]. Ulusal standartlar ulusal metroloji enstitüleri tarafından oluşturulmaktadır ve ülke içerisinde tüm diğer standartlar tarafından referans teşkil etmektedir. Uluslararası standartlarla yapılan kıyaslamalar neticesinde başka ülkelere ait standartlarla denklige hak kazanmaktadır. Uluslararası standartlara izlenebilir durumda olan ve kalibrasyon işlemlerinde referans olarak kullanılan en yüksek doğruluğa sahip standarttır [8]. Referans standartların karşılaştırılabilmesi amacıyla oluşturulan standartlar Transfer Standardi olarak adlandırılır. Çalışma standartları, ölçüm cihazları veya ölçüm sistemlerinin kalibrasyonu ya da doğrulanmasında rutin olarak kullanılan ölçüm standardıdır ve doğrulukları göreceli olarak daha azdır [2].

2.8 Ölçüm Belirsizliği

Ölçüm belirsizliği BIPM tarafından, ölçülen büyüklüğe mantıklı bir şekilde atfedilebilecek bütün değerlerin dağılımını karakterize eden ve ölçüm sonucuyla ilişkili olan bir parametre” şeklinde tanımlanmıştır [1]. Ölçülen değerlerin bulunduğu gerçek değer aralığını belirten Ölçüm Belirsizliği sayesinde ölçüm sonucu; diğer ölçüm sonuçları, referanslar ve standartlar ile karşılaştırılabilmektedir.

Bir ölçüm tekrarlanırken tüm koşulların aynı tutulabilmesi imkansızdır. Koşullar aynı olarak deneyler tekrarlanırsa dahi farklı sonuçlar elde edilmektedir. Ölçüm belirsizliğinin belirlenmesi bu noktada önem arz eder ve ölçüm sonucunun gerçek değeri ne ölçüde temsil ettiğini, elde edilen değer uygun aralık içinde olup olmama durumunu gösterir [14]. Ölçüm belirsizliği; izlenebilirlik ve kalibrasyon için bir araç niteliğindedir. Bilimsel metrolojinin temel görevlerinden biri ölçü veya ölçü aletinin ölçüm belirsizliğinin ölçü aletinin kullanım yerine bağlı olarak izin verilebilir hata sınırları içerisinde tutulmasıdır

[1]. Bu da izlenebilirlikle sağlanır ve izlenebilirlikte asıl amaçlanan ölçüm belirsizliğinin kontrollü bir şekilde aktarılmasıdır. Her ölçümün ve ölçüm cihazının birer belirsizlik değeri olması sebebiyle her ölçüm ve ölçüm cihazının belirsizliği daha yüksek doğrulukta bir cihaz ile belirlenmelidir. Ancak bu şekilde ölçülen büyüklüğün uluslararası standartlarda belirtilen izin verilebilir hata değerlerinin içerisinde olup olmadığı, hata değerinin yanında ölçüm belirsizliğinin de hesaba katılmasıyla bulunabilir. Ölçüm belirsizliğini hesaplamak için belirsizlik parametrelerini doğru saptamak gerekir. Burada dikkat edilmesi gereken husus her ölçü veya ölçü aletinin belirsizlik parametrelerinin kendisine özgü olduğudur. Tüm ölçümlerde, bir ölçüm sonucunun sapmaya uğratan bir hata bulunabilmektedir. Bu hatalar kalibrasyon yardımıyla düzeltilebilmektedir [1].

Ölçüm belirsizliğine sebebiyet veren birçok kaynak vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [8],[15]:

- Ölçülen değerin eksik tanımlanması
- Ölçülen değerin tanımının eksik olarak gerçekleştirilmesi
- Çevre ve ölçüm koşullarının etkisinin doğru hesaplanamaması veya değişimi
- Analog cihazların testi yapan kişilerce farklı yönlerde okunması
- Ölçüm cihazının sonlu çözünürlüğü
- Ölçüm standartlarının ve referans malzemelerin değerlerinin doğru bilinmemesi,
- Verilerin değerlendirilmesi için kullanılan dış kaynaklı parametrelerin değerlerinin doğru bilinmemesi,
- Hesaplama yaklaşımları

2.9 Ölçüm Belirsizliğinin Hesaplanması

Ölçüm esnasında ölçümü yapan kişi, kullanılan cihaz ve ortama bağlı olarak bazı niceliklerin sabit kalmaması durumunda ölçüm sonuçlarında da farklılıklar meydana gelmektedir. Ölçüm sonuçlarında bu farklılığı rasgele hatalar ve sistematik hatalar meydana getirmektedir. Bu hatalar ölçümlerde her zaman belirsizlik oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, ölçüm sonuçların gerçek değerin belli koşulların dahil olduğu aralıktaki değeridir.

Belirsizlik hesaplamasında kullanılması amaçlanan bir metod; Evrensel, tutarlılık ve taşınabilir olmalıdır. Evrensellik, kullanılan metodun her ölçüm türü ve kullanılan verilerde uygulanabilir olmasıdır. Tutarlılık, ölçüm belirsizliğinin belirsizlik bileşenlerinin kendi içindeki durumlarından bağımsız olarak elde edilebilmesidir [16].

Taşınabilirlik: Bir ölçüme ait sonucun farklı ölçümlerde kullanılmak istenmesi durumunda belirsizlik değerinin diğer ölçümlerde de kullanılabilesidir [16].

Ölçüm belirsizliği hesabında iki yöntem kullanılmaktadır. A tipi belirsizlik "rastgele", B tipi belirsizlik ise "sistemik" olarak belirsizliğin ifade edilmesi olarak düşünülebilir [4]. Belirsizlik bileşenleri bir araya getirilerek ölçüm belirsizliği şeklinde ifade edilir. Belirsizlik bileşenleri, tekrarlı ölçüm sonuçlarına, veya kayıtlardaki bilgilere, önceki ölçümlere ve eldeki teknik donanım ile deneyimler sonucu varılan tahminlere dayanarak belirlenir.

2.9.1 A Tipi Belirsizlik Hesabı

A tipi Belirsizlik Hesabı'nda çok sayıda tekrarlı ölçüm sonuçları ve istatistiksel hesaplamalar kullanılmaktadır. A tipi standart belirsizlik tekrarlı ölçümler sonucu elde edilen değer grubunun deneysel standart sapmasıdır. A tipi standart belirsizlik " aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [17], [18].

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.1)$$

x_i : Ölçüm değeri, $\bar{x}$: aritmetik ortalama, n: ölçüm sayısı.

Bağıntı 2.1 yardımıyla standart sapma hesaplanmaktadır. A tipi belirsizlik hesabında yapılan ölçüm sayısına göre student dağılımı ve normal dağılım kullanılması gerekmektedir.

$$\mu_a = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.2)$$

Ölçüm sayısının en fazla 10 olması durumunda A tipi belirsizlik hesabında student dağılımı kullanılmaktadır.

$$\mu_a = k \times \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.3)$$

Yukarıda yer alan bağıntı yardımıyla A tipi belirsizlik hesaplanmaktadır. Bu formülde s standart sapma, n ölçüm sayısı ve k güven katsayısıdır. Güven katsayısı değeri Çizelge 2.3 yardımıyla belirlenmektedir.

Çizelge 2.3 Student dağılımı tablosu [19]

Serbestlik Derecesi	Güven Aralığı			
v=n-1	t80%	t90%	t95%	t99%
1	3.078	6.314	12.706	63.657
2	1.886	2.920	4.303	9.925
3	1.638	2.353	3.182	5.841
4	1.533	2.132	2.776	4.604
5	1.476	2.015	2.571	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.707
7	1.415	1.895	2.365	3.499
8	1.397	1.860	2.306	3.355
9	1.383	1.833	2.262	3.250
10	1.372	1.812	2.228	3.169
20	1.325	1.725	2.086	2.845
29	1.311	1.699	2.045	2.462
30	1,477	1,697	2,042	2,750
40	1,468	1,684	2,021	2,704
60	1,296	1,671	2,000	2,660
100	1,290	1,660	1,984	2,626
∞	1,282	1,645	1,960	2,576

2.9.2 B tipi Belirsizlik Hesabı

Belirsizlik tahmininin istatistiksel bilgiler dışında önceki ölçümlere, teknik doküman, eldeki teknik donanım ve malzemeye ait teknik bilgilere, üretici firma tarafından iletilen bilgilere, kalibrasyon sertifikasında yer alan verilere dayandırılarak yapılmasıdır [18]. Bu verilerden elde edilen hata kaynakları cihazın karakteristiğini yansıtmaktadır. Belirsizlik, ölçümdeki hatanın bir tahmini olduğu için, mevcut hata kaynakları yardımıyla ölçüm yapılan değerdeki hatalar hesaplanmalıdır. Sınırsız sayıda olası dağılımın olmasıyla birlikte B tipi belirsizlik hesaplamasında sıklıkla üç tip dağılım kullanılmaktadır.

2.9.2.1 Dikdörtgen Dağılım

Bu dağılım, iki sınır arasında herhangi bir değer elde etme olasılığının başka bir değer elde etme olasılığına eşit olduğu durumları modellemek için kullanılmaktadır. Veri dağılımının öngörülemediği belirsizliklerde de bu bilgileri en iyi şekilde değerlendirme olanağı sunması sebebiyle dikdörtgen dağılım belirsizlik analizinde en sık kullanılan olasılık dağılımlarından birisidir [20]. Grafik olarak, olası değer dağılımı sadece iki limit arasında uzanan yatay bir çizgi şeklinde ifade edilebilir. Yatay çizgiye ait denklemin $f(x) = y = c$ olduğu varsayımıyla, c değeri çizginin y eksenine kesiştiği noktaya karşılık gelen bazı sabit sayılardır.

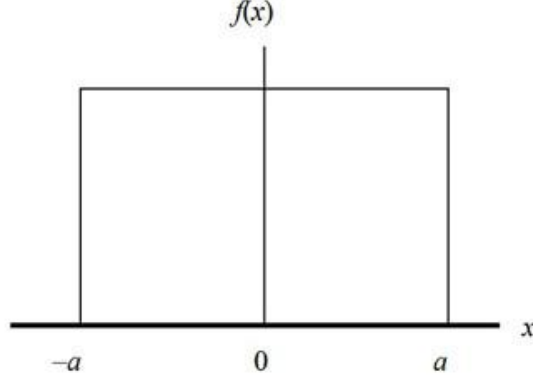
Sınırların $\pm a$ olması durumunda dağılımın $+a$ ile $-a$ arasında bir sayı olma olasılığı 1'e eşittir. Dağılım fonksiyonu integralin altında kalan alanın hesabı yapılarak uygulanan sınırlara göre normalize edilmelidir. Bunun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [19]:

$$\sigma = \int x^2 f(x) dx \quad (2.4)$$

$$\sigma = \int_{-a}^{+a} x^2 dx = \frac{1}{2a} \left(\frac{x^3}{3} \right) \quad (2.5)$$

$$\sigma = \frac{1}{6a} (a^3 - (-a^3)) = \frac{a^2}{3} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2.6)$$

Dikdörtgen dağılım Şekil 2.2'de gösterilmektedir.

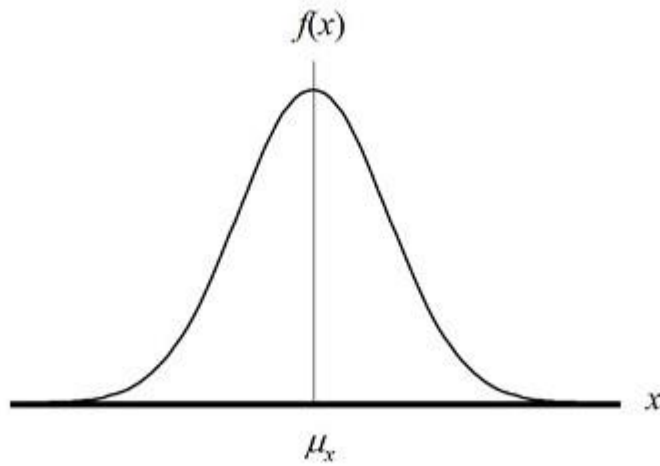


Şekil 2.2 Dikdörtgen dağılım [20]

2.9.2.2 Normal Dağılım

Normal dağılım, simetrik bir çan ve zirvenin ortalama etrafında merkezlendiği standart sapmaya göre simetrik olarak dağıldığı bir fonksiyondur. Deneysel veriler yardımıyla elde edilen Tip A verilerinin değerlendirilmesi için en yaygın kullanılan olasılık dağılımıdır [20]. Normal dağılım Şekil 2.3'te gösterilmiştir ve aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmektedir:

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\left[\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (2.7)$$



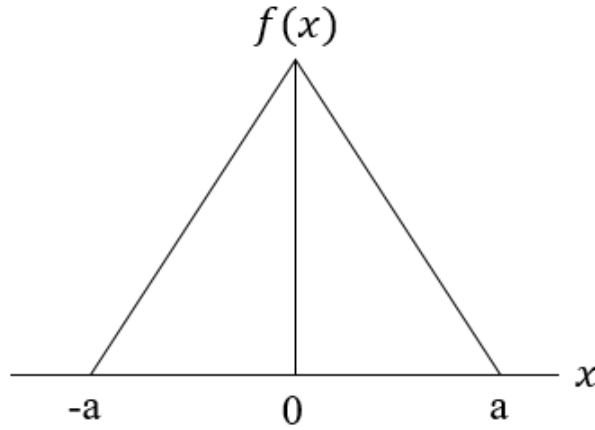
Şekil 2.3 Normal dağılım [20]

2.9.2.3 Üçgen Dağılım

Üçgen dağılım; bilinen bir minimum, maksimum ve tahmini merkezi değeri temsil eden bir fonksiyondur [21]. Üçgen dağılım Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{(x+a)}{a^2} & -a \leq x \leq 0 \\ \frac{(a-x)}{a^2} & 0 \leq x \leq a \end{cases} \quad (2.8)$$

$$\sigma = \frac{a^2}{6} = \frac{a}{\sqrt{6}} \quad (2.9)$$



Şekil 2.4 Üçgen dağılım [20]

2.9.3 Bileşik Belirsizlik

A-tipi veya B-tipi standart belirsizliklerinin kareleri toplamının pozitif karekökünün alınmasıyla bileşik Belirsizlik değeri elde edilmektedir. Birbirinden bağımsız girdiler için bileşik belirsizlik aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\mu_c = \sqrt{\sum_i C_i^2 \mu_i^2} \quad (2.10)$$

μ_i : girdiye ait standart belirsizlik, C_i : girdinin hassasiyet katsayısı.

2.9.4 Genişletilmiş Belirsizlik

Genişletilmiş belirsizlik, ölçüm sonucunun ölçüm değerlerinin yer aldığı bir aralıkta olacak şekilde tanımlanmasıdır. Bileşik belirsizliği hesaplanmış olan bir ölçüm %68

güvenilirlik düzeyine sahiptir. Yani, yapılan 100 ölçümün 68'inin sonucu tanımlanan aralıkta yer almaktadır. Farklı güven aralıklarına ait kapsam faktörleri Çizelge 2.3'ten belirlenerek aşağıdaki bağıntı yardımıyla farklı güvenilirlik düzeyinde belirsizlik hesaplamaları yapılmaktadır.

$$\mu = ku_c \quad (2.11)$$

μ : genişletilmiş belirsizlik, u_c : bileşik standart belirsizlik, k :kapsam faktörü.



BÖLÜM 3

ÇEKME DENEYİ

Günümüzde çeşitli türlerde mühendislik malzemeleri kullanılmaktadır. Mühendislik malzemeleri; metaller, seramikler, polimerler ve kompozit malzemeler olmak üzere dört ana grupta incelenmektedir. Mühendislik uygulamalarında yapılacak malzeme tercihi; malzemenin kullanım alanındaki temel gereksinimler, bu gereksinimlerin önem sıralaması, ilgili gereksinimin malzemeye ait hangi özelliğe karşılık geldiği, istenen malzeme özelliklerinin hangilerinin tasarım için vazgeçilmez olduğu, malzeme maliyetinin öngörülen maliyet aralığında olup olmadığı ve istenen tasarım için daha uygun bir malzeme mevcut olma durumu gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapılmaktadır [6]. Bu bağlamda, mühendislik uygulamalarında kullanılacak malzemenin seçiminde en önemli kriterlerden birisi imal edilecek parçaların çalışacağı ortam şartlarıdır. Bu amaçla, tercih edilen malzemelerin ortam koşulları göz önüne alınarak oluşturulan deney ortamındaki mekanik özellikleri test edilir ve malzemenin beklenen performansı sağlayıp sağlayamayacağı ortaya çıkarılmış olur.

Malzemelere ait mekanik özelliklerin bilinmesi bu soruların cevaplarının verilebilmesi için gereklidir. Gerekli mekanik özellikler ilgili standartlara uygun hazırlanmış numunelerin kullanılmasıyla yapılan mekanik deneylerle elde edilmektedir. Bu deneyler arasında en yaygın kullanılanları; çekme testi, basma testi, eğme testi, yorulma testi ve sertlik ölçümüdür. Çekme deneyi, metalik malzemelerin statik yükler altında dayanımlarını tespit etmede kullanılan tahribatlı malzeme muayene metodlarından en önemli olanı ve en yaygın kullanılanıdır. Bu yöntemde dikdörtgensel kesit, dairesel kesit tipi ve farklı geometrik şekillere sahip numunelerin çekme kuvvetine maruz bırakılmaları sonucunda çekme gerilmesine karşı dayanımları araştırılmaktadır. Numuneler biri sabit

diğeri hareketli olan çenelere arasında yer alacak şekilde cihaza bağlanır ve tek eksenli yük uygulanır. Uygulanan çekme kuvveti, numune koparılan dek sabit hız ve sıcaklıkta artarak devam etmektedir [21]. Deney esnasında numuneye uygulanan çekme kuvveti, numunenin uzama miktarı zaman da yer alacak şekilde kaydedilir. Bu bilgiler neticesinde malzemenin Yük-Uzama ($F-\Delta L$) Eğrisi Gerilme-Gerinim ($\sigma - \epsilon$) eğrisi elde edilmektedir [21].

3.1 Çekme Deneyi Standartları

Farklı deneylerde benzer verilerin elde edilebilmesi yani tekrarlanabilirliğin sağlanması ve sonuçların karşılaştırılması için numunelerin birtakım standartlara göre hazırlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Uluslararası standart organizasyonları bu konuyla ilgili çalışmalar yürütmüştür. Bunun sonucunda cihazlara, numunelere ve süreçlere ilişkin dikkat edilmesi gereken bilgilerin yer aldığı teknik dökümanlar hazırlanmıştır. ASTM, DIN ve ISO gibi evrensel organizasyonlarda bu alanda öncülük yapmışlardır. Günümüzde çekme deneyinde kullanılan numunelerin büyük çoğunluğu ASTM Standartları kapsamında hazırlanmıştır. Farklı malzeme tiplerinde kullanılacak olan numuneler şeklen aynı olsa da ölçü olarak farklılık göstermektedir ve ilgili standartlarda belirtilmiştir [22], [23], [24].

3.1.1 Çekme Deneyi Numuneleri

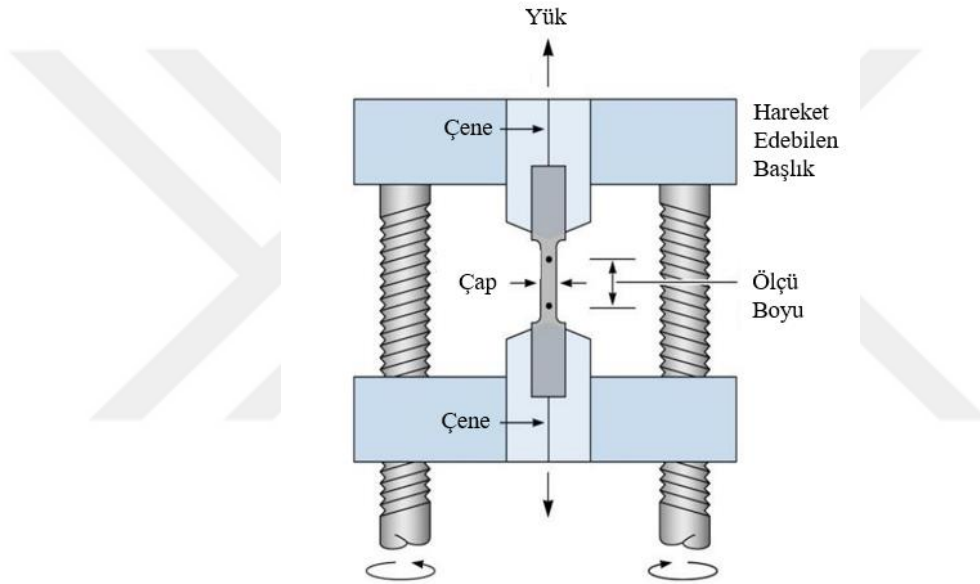
Çekme deneyinde kullanılması istenen numunenin temsil ettiği malzeme grubuna ait tüm özellikleri bulundurması gerekmektedir. Numune alınan yer ve numune hazırlama yöntemi malzeme özelliklerini etkileme potansiyeli taşıdığı için bu unsurlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Üretim sırasındaki ısı işlemler ve deformasyonun etkileri de dikkate alınmalıdır. Çoğunlukla dairesel ve dikdörtgensel kesite sahip olmaktadır [23].

3.2 Çekme Deneyi Cihazı

Çekme cihazları hidrolik ve elektronik sistemlere sahip, farklı yük kapasiteleri mevcut olan universal cihazlardır. Bilgisayar destekli sistemlerle uygulanan yük ve meydana gelen uzamaya ait grafikler çizilmektedir. Bir çekme cihazı deneyin gerçekleştirildiği

elektromekanik ve çekme deneyine ait verilerin işlenip sonuç olarak karşımıza çıkaran sistem veri sistemi olmak üzere 2 ana kısımdan oluşmaktadır.

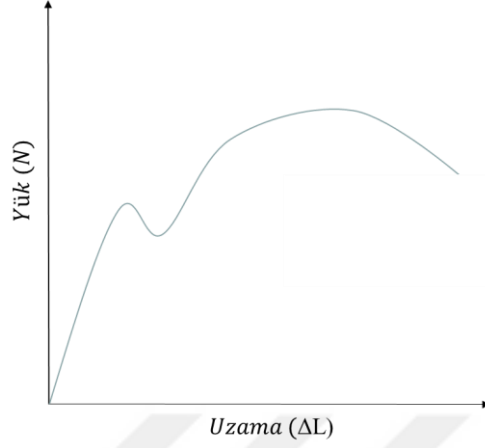
Çekme cihazı aşağı ve yukarı hareket edebilmektedir. Deney numunesinin bağlandığı iki çene ve çenelerin hareketini sağlayan parçalardan oluşmaktadır. Çenelerden birisini hareket ettirilmesiyle deney parçasına uygulanan çekme kuvveti ise değişkendir ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kayıt altına alınır.



Şekil 3.1 Çekme deneyi cihazı [25]

3.3 Çekme Deneyinin Yapılışı

Çekme deneyi için öncelikle test edilecek malzemeden standartlara uygun bir çekme numunesi hazırlanmalıdır. Bu numune üzerine boyca değişimin hesaplanması için işaretlemeler yapılır. Numune, çekme deney cihazının çeneleri arasında düzgün ve ortalayacak bir şekilde sıkıştırılır Numune gittikçe artan bir yük ile kopuncaya kadar çekilir. Bu esnada uygulanan F yükü ile buna karşı malzemenin gösterdiği uzama olan ΔL cihazdaki ekstensometre ile ölçülür. Deney sonucu elde edilen yük (F) ve uzama (ΔL) değerlerinden yararlanarak ($F - \Delta L$) diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramı da denir. Şekil 3.2’de yumuşak bir çeliğe ait çekme diyagramı görülmektedir.

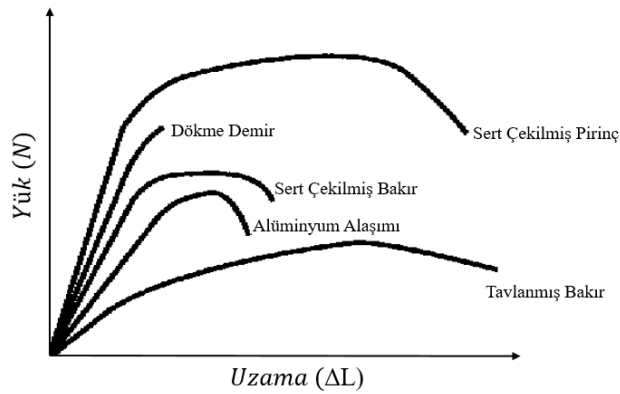


Şekil 3.2 Yük-uzama Grafiği [26]

$F - \Delta L$ diyagramındaki değerlerden yararlanılarak her nokta için σ ve ϵ değerleri hesaplanır ve mühendislik açısından büyük önem taşıyan Gerilme-Gerinim Eğrisi elde edilir.

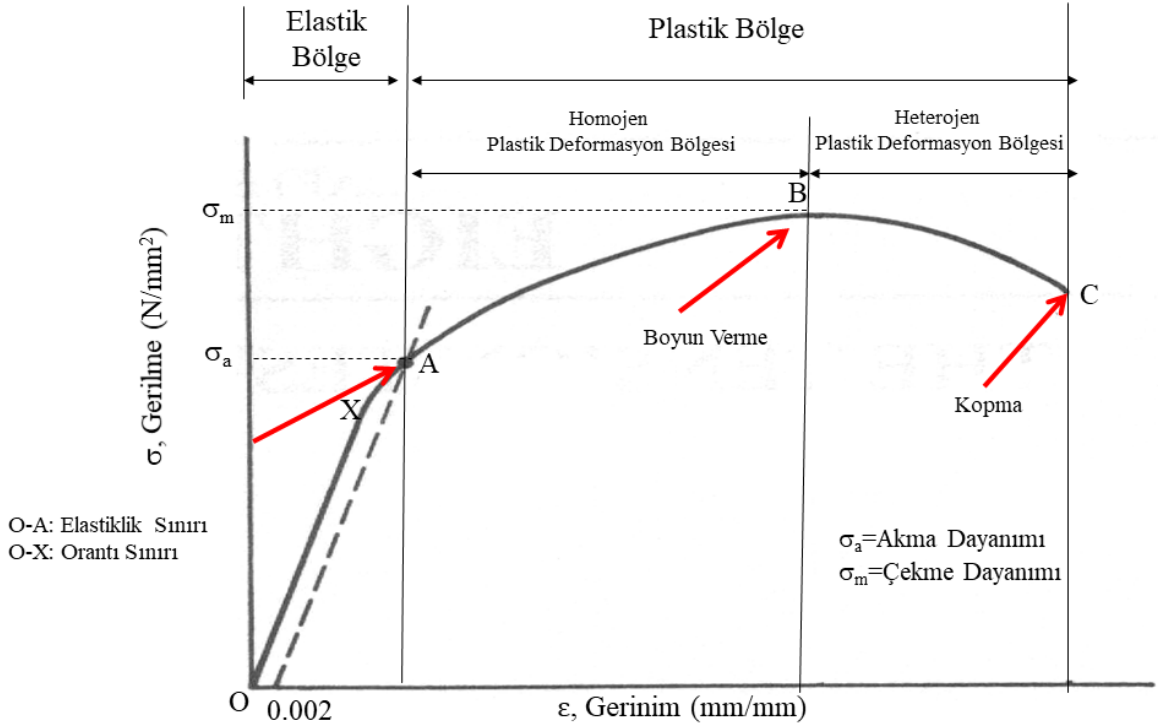
3.4 Çekme Deneyinden Elde Edilen Veriler

Çekme deneyinde elde edilen Yük-Uzama ($F-\Delta L$) eğrisi ve Gerilmesi-Gerinim ($\sigma - \epsilon$) eğrisi elde edilmektedir. Şekil 3.3’de farklı malzeme gruplarının da yer aldığı örnek bir gerilme-gerinme eğrisi verilmektedir.



Şekil 3.3 Farklı malzeme tipleri için Yük-uzama grafiği [26]

Çekme deneyinde elde edilen gerilme-gerinim eğrisinin kullanılmasıyla malzemelere ait birçok mekanik özellik hesaplanabilmektedir. Bu sayede, çekme deneyi mühendislik hesaplamalarında geniş bir yer edinmiştir.



Şekil 3.4 Gerilme-gerinim eğrisi [27]

Gerilme-Gerinim eğrisi iki ana bölgeden oluşmaktadır. Bunlar; elastik ve plastik deformasyon bölgesidir. Çekme deneyinin başlamasıyla birlikte uygulanan eksenel çekme kuvvetiyle numune sürekli olarak boyca uzamaktayken, numunenin kesit alanı ise sürekli olarak azalmaktadır. O-A arasında yer alan bölgede Hooke Kanunu geçerlidir ve gerilme-gerinim eğrisi bu bölgede lineer olarak değişim göstermektedir [6]. Gerilmedeki artışla birlikte numunenin yüzdece uzama değeri de orantılı olarak artmaktadır. Bu doğruya ait eğimden malzemenin Elastisite Modülü'ne erişilmektedir. A bölgesine varmadan numuneye uygulanan yükün kaldırılması halinde yüzde uzama değeri sıfıra inmektedir ve numunedeki şekil değişimi kalıcı olmamaktadır. O-A bölgesi, elastik deformasyon bölgesi şeklinde ifade edilir. A noktası sonrasında ise numuneye etki eden yük kaldırılrsa dahi kalıcı elastik deformasyon meydana geldiği için deneyden önceki

uzunluğuna geri dönemez. Elastik bölge dışında malzemeye yk uygulanması durumunda, oluşan gerilmeyle birlikte malzemede plastik şekil değişimi meydana gelmekte ve plastik deformasyon bölgesine geçiş yapmaktadır. Çünkü, bu bölgede gerilmeler dislokasyonları harekete geçirmekte ve kaymalar malzemede kalıcı şekil değişimiyle sonuçlanmaktadır. Malzemeye uygulanan yükün kaldırılması halinde elastik şekil değişimi sıfırlanmaktadır. Dislokasyonların sebep olduğu plastik şekil değişimi ise kalıcı hal almıştır. Elastik ve plastik malzeme davranışını ayırına kaymanın başladığı noktadır. Malzemedeki kalıcı şekil değişikliği nedeniyle AC bölgesi “plastik deformasyon bölgesi” şeklinde adlandırılmaktadır. Plastik deformasyon bölgesi de Homojen plastik deformasyon bölgesi ve Heterojen plastik deformasyon bölgesi iki kısımda incelenmektedir. şekil 3.4’te görüldüğü şekilde; Homojen plastik deformasyon bölgesi AB arasında, Heterojen plastik deformasyon bölgesi ise BC arasında yer almaktadır. Her iki bölgede de malzemedeki uzama kalıcıdır. Farklı olarak ise, homojen deformasyon bölgesinde (AB), numunenin uzunluğu boyunca her noktada eşit seviyede plastik deformasyon meydana gelmektedir, dolayısıyla uzama homojendir. Ancak B noktasında maksimum gerilme değerine ulaşılması sonrasında heterojen deformasyon bölgesinde malzemede lokal olarak incelenmektedir ve deformasyon sadece bu incelen bölgede sürmektedir. Malzemede oluşan bu incelme, boyun verme olarak adlandırılmaktadır. Boyun verme heterojen deformasyonun başladığının bir göstergesidir. Boyun verme sonrasında malzeme pekleşir ve daha fazla gerilim alabilir, ancak boyun bölgesinde kesitin daralması sonrasında malzemenin taşıyabileceği net kuvvet azalmaktadır. Malzemeye yk uygulamaya devam edilmesiyle C noktasında malzemede kopma meydana gelmektedir [21].

3.5 Çekme Deneyiyle Hesaplanan Mekanik zellikler

Çekme deneyi sonucunda malzemeye ait birçok mekanik özellik belirlenebilir. Malzemeye ait gerilme, birim şekil değişiminin yanı sıra gerilme ve birim şekil değişiminin eğri üzerindeki çeşitli alanlarla formülize edilmesi sonrasında birçok mekanik özellik belirlenebilmektedir.

3.5.1 Gerilme ve Gerinim

Birim alana etki eden yük olan Gerilme (σ) sembolü ile gösterilir ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3.1)$$

F: Numuneye uygulanan yük, A_0 : Numunenin kesit alanı.

Birim uzunluğa karşılık gelen şekil değiştirmeye (uzama veya kısalma) Gerinim denir.

Aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\% \varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} e = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3.2)$$

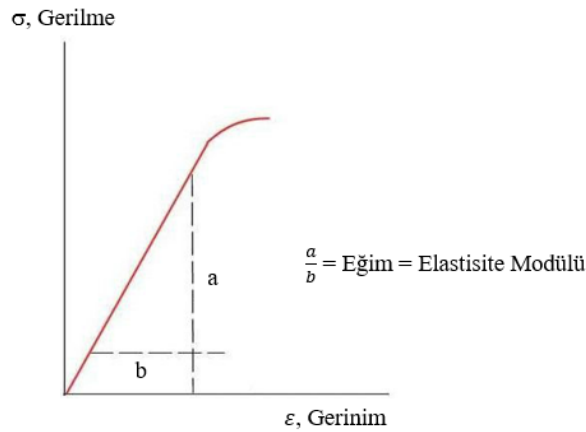
$\% \varepsilon$: yüzde birim şekil değişimi, Δl : numunenin uzama miktarı, l_i : numunenin seçildiği andaki uzunluğu, l_0 : numunenin ilk uzunluğu.

Birim şekil değişimi miktarı ise malzemelerin plastik şekil değiştirme yetenği hakkında değerlendirme yapılabilmesini sağlar.

3.5.2 Elastisite Modülü

Hooke kanununun geçerli olduğu Elastik deformasyon bölgesinde malzeme elastik şekil değiştirmektedir. Bu noktada malzemeye uygulanan yükün kaldırılmasıyla birlikte malzeme ilk uzunluğuna geri dönmektedir. Gerilme-Gerinim Eğrisi'nin eğimi malzemeye ait elastisite modülünü vermektedir [28]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.3)$$



Şekil 3.5 Gerilme-gerinim eğrisinde elastisite modülü [29]

3.5.3 Elastiklik Sınırı

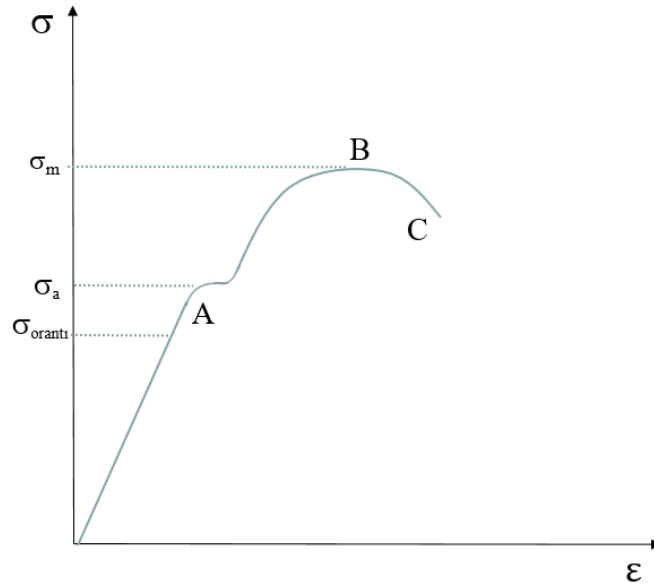
Bir malzemenin plastik şekil değişiminin başladığı sınır noktasıdır. Malzemeye uygulanan yükün kaldırılmasıyla malzemenin ilk şeklini alabildiği en büyük gerilmenin olduğu noktadır.

3.5.4 Akma Mukavemeti

Akma, bir malzemede elastik deformasyonun sona erip plastik deformasyonun başladığı noktadır. Akma gerilmesi, plastik deformasyonun başladığı noktadaki gerilme değeridir. Bu noktadaki gerilme değeri σ_A ile gösterilir ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır [30].

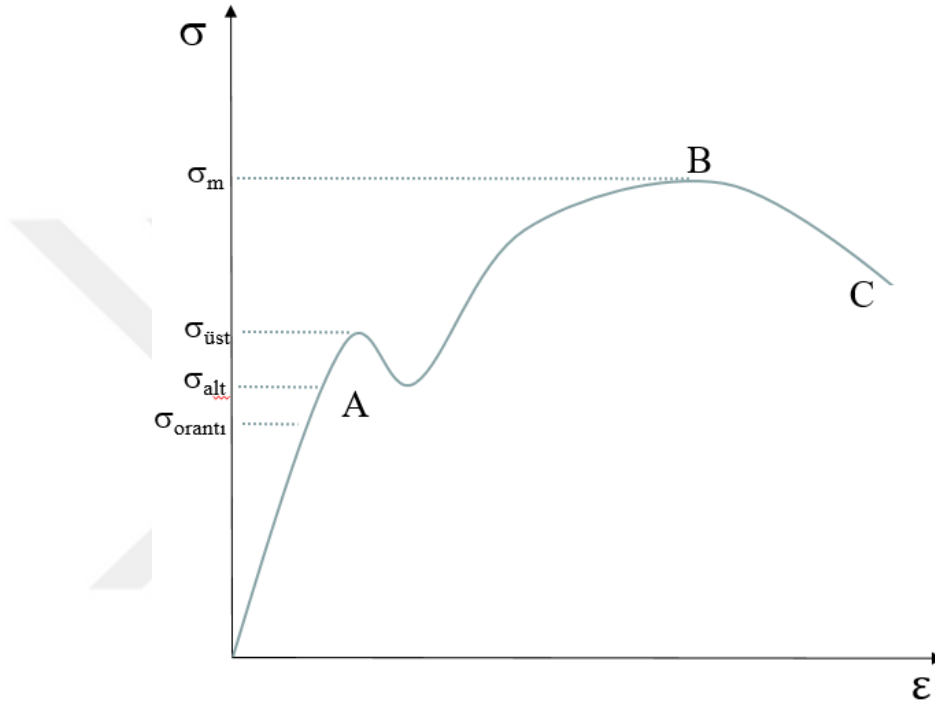
$$\sigma_a = \frac{F_{(\varepsilon=0,2)}}{A_0} \quad (3.7)$$

Malzeme tipine göre akma bölgesi farklılık göstermektedir. Düşük karbonlu çeliklerde malzemede birim şekil değişimi devam etmesine karşın gerilme sabit kalmaktadır. Akma süreksiz ve keskindir. Eğrinin yatay olarak ilerlediği bu bölge “Akma uzaması bölgesi” olarak adlandırılır. Bu tür süreksiz akma olayında akma mukavemeti (σ_a), akma uzaması bölgesi içindeki en düşük gerilme değeri olarak ifade edilir [6], [31].



Şekil 3.6 Süreksiz akma gösteren malzemelerin gerilme-gerinim eğrisi [32]

Bir diğ er s ureksiz akma halinde ise akma bölgesinde ‘‘alt akma ve üst akma noktası’’ şeklinde iki değ ere sahiptir. Bu durumda akma mukavemeti; alt ve üst akma mukavemeti şeklinde ifade edilmektedir [6], [31].

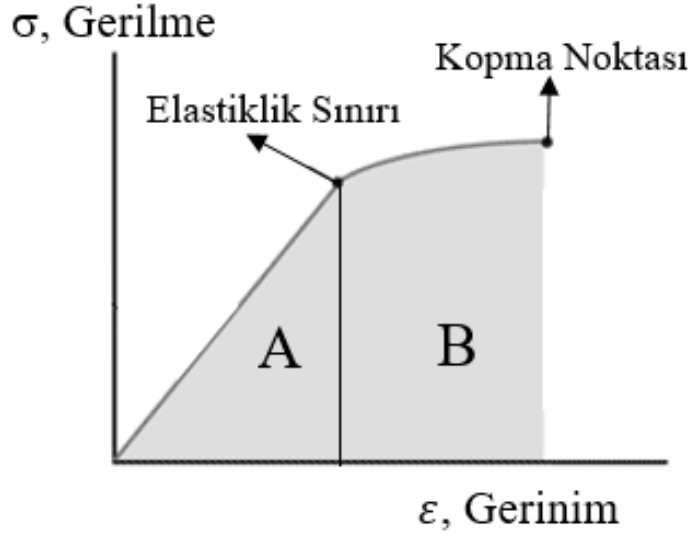


Şekil 3.7  st ve alt akma noktasına sahip malzemelerin gerilme gerinim eğrisi [32]

3.5.5 Rezilyans

Rezilyans, bir malzemenin elastik  ekil değ i tirme bölgesinde absorbe ettiğ i enerjiyi uygulanan yük kaldırıldığında geri vermesidir. Gerilme-gerinim eğrisinde yalnızca elastik bölge altında kalan alandır. Malzemenin elastik durumdayken absorbe edebileceğ i maximum enerji miktarıdır. Şekil 3.6’da elastik  ekil değ i tirme bölgesi olan A bölgesinin alanı bu malzemeye ait Rezilyans değ erini vermektedir.

$$\text{Rezilyans Modülü} = Ur = \frac{\sigma_a^2}{2E} \quad (3.5)$$



Şekil 3.8 Gerilme-gerinim eğrisinde rezilyans ve tokluk [33]

3.5.6 Tokluk

Bir malzemenin plastik deformasyon sırasında enerji absorbe etmesi özelliğidir. Gerilme-gerinim eğrisinin altında kalan malzemenin tokluğunu vermektedir.

$$Tokluk = Ut = \int_0^{\epsilon_k} \sigma_m d\epsilon \quad (3.6)$$

Şekil 3.6'da yer alan A ve B bölgelerinin alanları toplamı malzemeye ait tokluk değerini vermektedir.

3.5.7 Çekme Mukavemeti

Bir malzemenin kırılmadan veya kopmadan taşıyabileceği maksimum yük miktarı olarak tanımlanmaktadır. Kalite kontrol ve malzeme standart uygunluklarında geniş kullanım alanı bulması nedeniyle en çok kullanılan çekme testi sonuçlarından birisidir. Çekme mukavemetinin bilinmesi sayesinde ampirik formüller yardımıyla malzemeye ait yorulma, sertlik gibi diğer mekanik özellikler tahmin edilebilmektedir. Birimi N/mm^2 olan çekme mukavemeti, maksimum yük değerinin numunenin kesit alanına bölünmesiyle aşağıdaki formüldeki şekilde hesaplanmaktadır.

$$Rm = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (3.4)$$

F_{max}: malzemeye uygulanan maksimum kuvvet, A₀:numunenin kesit alanı.

3.5.8 Yüzde Uzama

Numunede meydana gelen uzama miktarının numunenin ilk uzunluğuna oranının yüzdesel bir ifadesidir ve malzemenin sünekliği hakkında bilgi vermektedir. Malzemelerin daha fazla biçim değiştirme eğiliminde olması anlamına gelen süneklik arttıkça yüzde uzama da artar. Kopma sonrasındaki yüzde uzama aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır [5].

$$\%Uzama = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100 \quad (3.8)$$

L_k: kopma sonrası ölçü uzunluğu L₀: başlangıçtaki ölçü uzunluğu.

3.5.9 Yüzde Kesit Alan Daralması

Çekme testi sonrasında daralan kesit alanının kırılma noktasına en yakın yerindeki çapı ölçülür [5]. İlk ve son çapın ölçülmesi sonrasında yüzde kesit alanı daralması aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$\% r = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100 = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100 \quad (3.9)$$

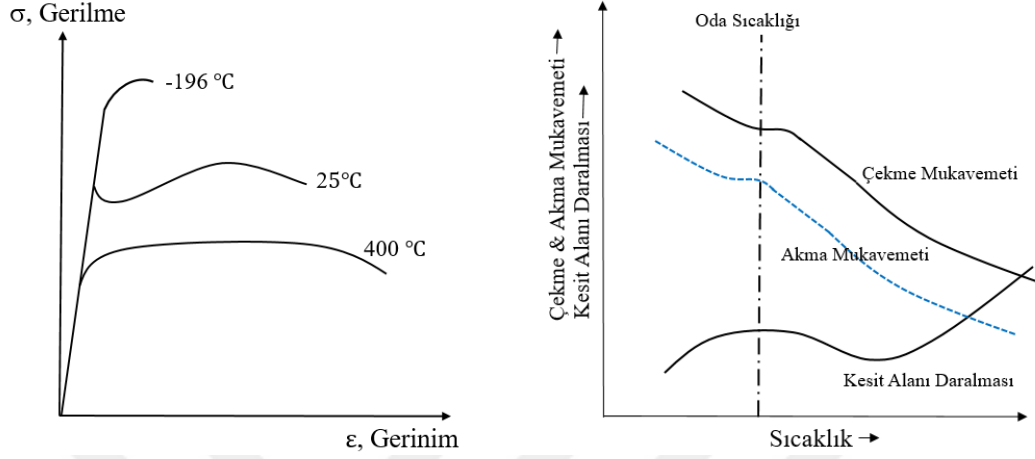
A_k: numunenin kopma bölgesindeki alanı, A₀:numunenin ilk alanı.

3.6 Deney Koşullarının Gerilme-Gerinim Eğrisine Etkisi

Deneysel koşulların etkileriyle birlikte aynı malzemeye ait Gerilme-Gerinim eğrisi farklılık gösterebilmektedir. Deformasyon hızı, deformasyon sıcaklığı ve malzeme mikroyapısı bu durumun başlıca sebepleri arasında yer almaktadır [34],[35].

3.6.1 Sıcaklık

Aynı malzemeden hazırlanan ve aynı şekilsel özelliklere sahip numunelerin farklı sıcaklıklarda çekme deneyine tabi tutulması halinde, çekme deneyi sonuçları farklılık göstermektedir. Genel olarak; sıcaklık arttıkça malzemenin mukavemeti azalmaktadır. Sıcaklığın azalmasıyla mukavemet ve kırılma artmaktadır [34].



Şekil 3.9 : a) Yumuşak bir çeliğin gerilme-gerinim eğrisinin sıcaklıkla değişimi. b) mekanik özelliklerinin sıcaklıkla birlikte değişimi [34]

3.6.2 Deformasyon Hızı

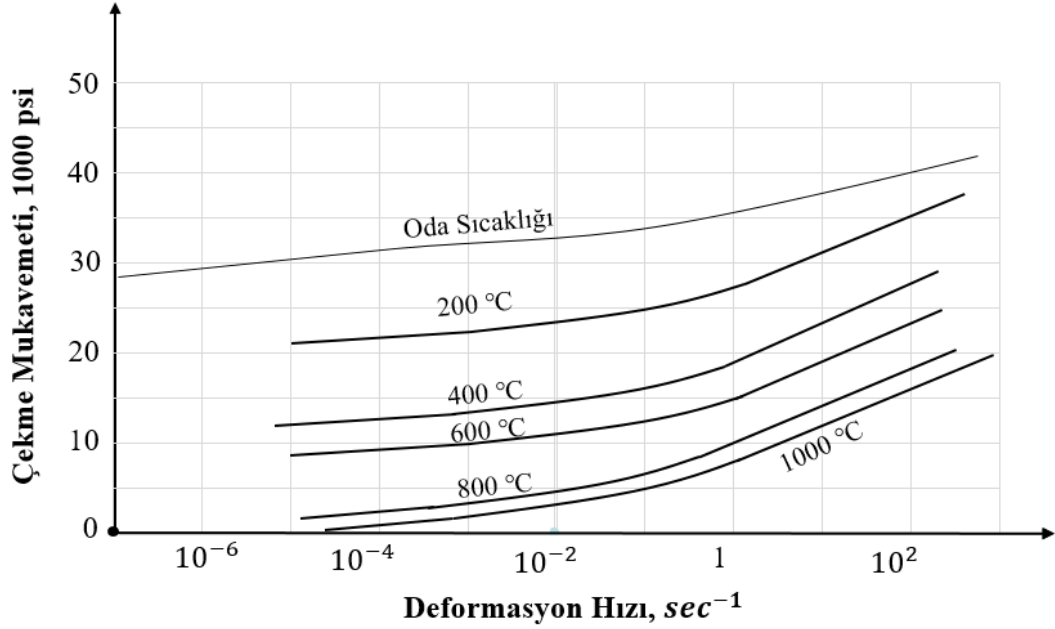
Birim şekil değişimi anlamına gelen deformasyonun Gerilme-Gerinim eğrisine etkisi oldukça fazladır. Bu nedenle, deney sonuçları belirtilirken deformasyon hızı da belirtilmelidir. Deformasyon hızı, akma gerilmesini çekme gerilmesine oranla daha fazla etkilemektedir. Birimi s-1 (1/s) olan Deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}$) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır [34].

$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} \quad (3.10)$$

Deformasyon hızının mühendislik uygulamalarında kullanımı için tanımlanan mühendislik deformasyon hızı (e) aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmektedir:

$$e = \frac{de}{dt} = \frac{d(L-l_0)/L_0}{dt} = \frac{1}{l_0} \frac{dL}{dT} = \frac{v}{L_0} \quad (3.11)$$

v : Çekme deneyi sırasında cihazın çekme hızı, e :bir dakikada çenelerin mm cinsinden ilerleme hızı.



Şekil 3.10 Deformasyon hızının çekme mukavemetine etkisi [34]

3.6.3 Malzeme Mikroyapısı

Malzemelerdeki fazların sayısı, dağılımı ve alaşım elementi gibi faktörler sebebiyle mikroyapının çekme eğrisine olan etkisi farklılıklar göstermektedir. Alaşım elementleri ve tane boyutunun küçülmesiyle genellikle çekme eğrisinin yukarı doğru kaydığı gözlemlenmektedir. Fazlar özelindeki durumda ise; her fazın kendine özgü şekli, dağılımı, mekanik özelliği ve fazlar arasındaki arayüzey enerjisi ve arayüzey bağı çekme eğrisini etkilemektedir. Ayrıca, malzeme içinde yer alan boşluklar ve inklüzyonlar çekme sırasında kopmaya sebep verdiği için sünekliğin azalmasına sebep olmaktadır.

ÇEKME DENEYİNDE ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ

Ölçümlerdeki belirsizliğin ifadesi konusunda evrensel bir çalışma ilk olarak CIPM'in talebi üzerine BIPM tarafından yapılmıştır. Bu amaçla oluşturulan çalışma grubunun faaliyetlerinin sonucu olarak 1980 yılında deneysel belirsizliklerin ifade edilmesi amacıyla bir doküman hazırlanmıştır. Hazırlanan bu doküman, CIPM tarafından evrensel ve kabul gören bir doküman statüsünde onaylanmıştır. Buna göre çalışma grubu tarafından deneysel belirsizliğin ifadesiyle ilgili olarak yapılan öneriler şöyledir [7]:

- Ölçüm sonuçlarında belirsizliğe sebep olan bileşenler mevcuttur. Bu bileşenler istatistiksel olarak değerlendirilebilenler (A tipi) ve diğer yöntemlerle değerlendirilebilenler (B tipi) olarak iki gruba ayrılmaktadır. Belirsizlik raporunda belirsizliğe sebep olan tüm bileşenler ve değerlendirme yöntemi yer almalıdır.
- A grubu belirsizlik bileşenleri ve B grubu belirsizlik bileşenleri ifade edilmelidir.
- Toplam belirsizlik, varyansların belirli yöntemler kullanılarak birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Toplam belirsizlik ve bileşenleri, standart sapmalar cinsinden ifade edilebilmelidir.
- Son durumda belirsizliğin elde edilmesinde bir faktörle çarpım söz konusuysa bu çarpım faktörü ifade edilmelidir.

Endüstriyel ve ticari faaliyetlerde gereksinimlerinin artmasıyla birlikte CIPM'in talebiyle ISO'nun oluşturduğu çalışma grubu tarafından kapsamlı bir rehber hazırlanma çalışmaları başlamıştır. Bu çalışmaların sonucu olarak, 1993 yılında GUM isimli doküman evrensel olarak kabul edilmiştir. Günümüzde, ölçüm ve kalibrasyona ait

sonuçların içerdiği belirsizliğin hesabında bir rehber olarak ulusal ve uluslararası metroloji merkezlerinde kullanım görmektedir [7].

Bu çalışmada, Çekme testinde ölçüm Belirsizlik Hesaplamalarında GUM Metodu referans olarak alınmaktadır. GUM metodu ölçülen büyüklük ve etki miktarı arasında matematiksel bir modelin mevcut olduğunu varsaymaktadır. Bu yöntemle göre belirsizliğin hesaplanmasında takip edilmesi gereken bu bölümde sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

4.1 Ölçülen Büyüklüğün Tanımlanması

Her belirsizlik analizi, ölçülen büyüklüklerin açık ve anlaşılır bir şekilde belirtilmesine ihtiyaç duymaktadır. Ölçülen büyüklükler doğru ifade edilmediğinde, belirsizlik hakkında tahminde bulunmak da imkansız hale gelmektedir. Her ne kadar endüstriyel test cihazları; çevresel koşullar ve numunenin hazırlanması için gerekli toleransları belirtse de koşullarda farkında olunmayan bazı değişiklikler meydana gelebilmektedir. Bunun sonucunda, ölçüm belirsizliğini analiz etmek zorlaşmaktadır. Bu nedenle, öncelikle ölçülen büyüklüğün tanımlanması gerekmektedir. Ölçümün amacı ve ölçüm sonucunu etkileyen faktörler doğru bir şekilde ortaya konulmadan belirsizlik tahmininin anlamlı olması mümkün değildir. Bu bağlamda, fiziksel ve matematiksel koşullar ifade edilip bu bileşenlerin belirsizliğe olan etkisi tahmin edilmelidir. Ayrıca, bileşenlerin kendi aralarındaki bağımsız olma durumları da incelenmelidir.

Çizelge 4.1 Çekme deneyinde koşulların belirsizlik etkisi [36]

Parametre	Deneysel Koşulların Çekme Mukavemetinde Belirsizlik Etkisi
Uygulanan Yük	Var
Deformasyon Hızı	-
Çene Uzunluğu	-
A_0	Var
A_k	-

4.2 Model Fonksiyonunun Oluşturulması

Ölçüm sonuçlarındaki belirsizlik hem ölçüm sonucunun gerçek değere olan uzaklığını hem de bu uzaklığı etkileyen faktörleri içermektedir. Yapılan düzeltmelerden sonra bile sonuç sadece bir tahminden ibarettir. Ölçüm belirsizliğini meydana getiren birçok kaynak vardır. Belirsizlik kaynakları birbirlerinden mutlak bağımsız durumda değildirler ve tekrarlanan ölçümler esnasında çok farklı sonuç değerlerine ulaşılabilir. Bir ölçüm sonucunun bağlı olduğu bileşenlerin tümünün değişmesi durumunda, belirsizlik yalnızca deneysel verilerin istatistiksel bir ifadesi olarak zor bir şekilde değerlendirilebilir. İşte bu noktada GUM metodu, bir ölçüme ait belirsizliğin ölçümün matematiksel bir modeline dayanarak değerlendirilebileceğini varsaymaktadır [18].

Matematiksel model, ölçüm sonucunun girdi miktarlarından nasıl elde edildiğini gösteren girdi miktarının bir fonksiyonudur. Ölçüm sonucu n adet $x_1, x_2, \dots, x_n$ şeklinde ifade edilen girdilerin bir fonksiyonudur. Ölçüm belirsizliği de bu fonksiyona ait bileşenlerin kendi bünyelerindeki hatalar ve birbirleriyle ilişkili sonucunda yarattıkları sapmanın oluşturduğu bir değer aralığıdır [37]. Bu nedenle, ölçüm sonucunu belirleyen değerler bir model fonksiyonu olarak ortaya konulmalıdır. Bu fonksiyon mümkün olan en geniş bağlamda, ölçüm sonucunda değişim yaratacak olası her kaynağı içerecek şekilde düşünülmelidir. Sonuç olarak, girdi miktarları x_1, x_2, x_n olarak belirtilirse ölçüm sonucu y ile girdi miktarları arasındaki ilişki Bağıntı 4.1'deki şekilde ifade edilmektedir.

$$y = f(x_1, x_2, x \dots \dots \dots, x_n) \quad (4.1)$$

Ölçülen büyüklüğün tanımlanıp model fonksiyonunun oluşturulması sonrasında standartlara uygun olarak ölçüm işlemi uygulanmaktadır. Öncelikli olarak belirsizlik kaynakları ortaya çıkarılır ve deneysel sonuçları etkileyebilecek büyüklüğe sahip olanlar modellemeye eklenir. Çizelge 4.1'e göre çekme testinde belirsizlik kaynakları uygulanan kuvvet ve kesit alanıdır. Numunenin koptuğu andaki gerilme kuvveti, A_0 kesit alanına sahip numunenin için gereken F kuvveti olarak tanımlanmaktadır. Numunenin kesit alanı A_0 , dikdörtgensel kesit sahip numunenin kalınlığı olan T ve genişliği olan W 'nin çarpımı olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, çekme dayanımında matematiksel modelde bu

bileşenler hesaba katılmaktadır. Çekme dayanımına ait model fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_m = f(F, A_0) = \frac{F}{A_0} S = f(F, T, W) = \frac{F}{TW} \quad (4.2)$$

σ_m :çekme mukavemeti, f:uygulanan kuvvet, A_0 :numunenin ilk kesit alanı.

4.3 A Tipi Belirsizlik

A tipi belirsizlik tahmini, deneysel verilerin istatistiksel analizinden türetilen bir tahmindir. A tipi tanımının, belirsizlik tahmini için elde edilen yöntemi belirttiğine dikkat edilmelidir. A Tipi ifadesi, belirsizliğe neden olan etmenlerin kaynağına değinmemektedir.

Her test sonucunun x_i olarak ifade edilmesi durumunda, ortalama değer olan $\bar{x}$ şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.3)$$

Deneysel standart sapma değeri S ise aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.4)$$

Deneysel standart sapmanın elde edilmesi sonrasında A tipi belirsizlik aşağıda Bağntı 4.5’le hesaplanmaktadır [18].

$$u(x) = \frac{s}{\sqrt{n}} u(x) = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4.5)$$

n:deneyde kullanılan numune sayısı, s:deneysel standart sapma.

4.4 B Tipi Belirsizlik

B Tipi Ölçüm Belirsizliği, belirsizlik bileşenlerinin hesaplanamadığı durumlarda kalibrasyon ölçüm raporları, dökümantasyon bilgileri gibi kaynaklardan yararlanılarak hesaplanan ölçüm belirsizliği olarak tanımlanmaktadır.

4.5 Hassasiyet Katsayısı

Hassasiyet katsayısı belirsizliklerin birleştirilmesinde kullanılan ve her bir girdinin fonksiyona göre kısmi diferansiyeli alınarak bulunan katsayılardır [18]. Girdilerde meydana gelen değişimin ölçümü nasıl etkilediğini tanımlayan katsayılardır.

Hassasiyet katsayısı, matematiksel olarak f model fonksiyonunun girdi değerleri sınırlarında kısmi türevinin alınmasıyla elde edilir. Yani, x_i girdisine bağlı c_i hassasiyet katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$C_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (4.6)$$

Hassasiyet katsayıları, deneysel olarak hesaplanabilir. Model fonksiyonun bilinmediği durumlarda matematiksel olarak hesaplama mümkün değildir. Dolayısıyla uygun deneysel yöntemle hesaplama yapılmalıdır.

4.5.1 Kuvvet Hassasiyet Katsayısının Belirlenmesi

Dikdörtgensel kesitli numunelerde sabit kalınlık ve genişlik değerlerinde, değişen kuvvetin test sonuçlarını ne kadar etkilediğini hesaplamak için kullanılmaktadır. Dairesel kesite sahip numunelerde ise sabit yarıçap değerinde değişen kuvvetin ölçüm sonuçlarına olan etkisini hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır.

Dikdörtgensel kesitli numuneler için kuvvet hassasiyet katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$C_F = \frac{\partial \sigma}{\partial F} = \frac{1}{TW} = \frac{\sigma}{F} \quad (4.7)$$

Dairesel kesite sahip numuneler için kuvvet hassasiyet katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$C_F = \frac{\partial S}{\partial F} = \frac{1}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{\sigma}{F} \quad (4.8)$$

4.5.2 Kalınlık Hassasiyet Katsayısının Belirlenmesi

Sabit genişlik ve sabit kuvvet değerlerinin esas alınmasıyla dikdörtgensel kesite sahip numuneler için kalınlık hassasiyet katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$C_T = \frac{\partial \sigma}{\partial T} = \frac{1}{T^2 W} = \frac{-\sigma}{T} \quad (4.9)$$

4.5.3 Genişlik Hassasiyet Katsayısının Belirlenmesi

Dikdörtgensel kesite sahip numuneler için genişlik hassasiyet katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$C_W = \frac{\partial \sigma}{\partial W} = \frac{-F}{TW^2} = \frac{-\sigma}{W} \quad (4.10)$$

4.5.4 Yarıçap Hassasiyet Katsayısının Belirlenmesi

Dairesel kesite sahip numunelerde yarıçapa ait hassasiyet katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$Cd_0 = \frac{\partial \sigma}{\partial f} = \frac{(0x \frac{\pi d_0^2}{4} - (2 \frac{\pi d_0}{4} x F))}{\frac{\pi^2 d_0^4}{16}} = \frac{8F}{\pi d_0^3} \quad (4.11)$$

4.6 Belirsizlik Bileşenlerinin Birleştirilmesi

Bileşik belirsizliğin hesaplanması için belirsizliğe sebep olan tüm kaynaklardan gelen bileşenlerin tek tek ifade edilip belirsizliğe olan katkıları incelenmelidir. Sonrasında bu bileşenlerden gelen belirsizliklerin belli bir yöntem yardımıyla birleştirilip tek bir değer şeklinde ifade edilmesi gerekmektedir. Belirsizlik hesaplamalarında sıklıkla karelerin toplamının karekökü yöntemi (RSS) kullanılmaktadır.

4.6.1 Bağımsız Girdi Miktarları

Tüm belirsizlik bileşenleri hesaplanıp ortaya konulduğunda o belirsizlik değerine ait hassasiyet katsayısının da ifade edilmesi gerekmektedir. Bu iki değer karelerinin çarpımının karekökü alınarak birleştirilmiş standart belirsizlik (μ_c) elde edilmektedir.

$$\mu_c = \sqrt{\sum_i C_i^2 \mu_i^2} \quad (4.12)$$

Formülün açılımını aşağıdaki gibidir.

$$\mu_c^2 = C_a^2 \times \mu_a^2 + C_b^2 \times \mu_b^2 + C_c^2 \times \mu_c^2 \quad (4.13)$$

4.6.2 Bağımlı Girdi Miktarları

Girdi değerlerinin bağımsız olmaması halinde korelasyon meydana gelmektedir. Örnek olarak; çekme mukavemeti ölçümünde test çubuğunun kalınlığı ve genişliğindeki ölçümler birbiriyle ilişkilendirilmektedir. Çünkü her iki değer de aynı mikrometre ile ölçülmektedir. Korelasyon mevcut olması durumunda aşağıdaki şekilde formülize edilmektedir.

$$\mu_c^2 = \sum_{i=1}^N c_i^2 u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N C_i C_j \mu_i \mu_j r(x_i, x_j) \quad (4.14)$$

$r(x_i, x_j)$: i ve j bileşenlerine ait korelasyon derecesi.

Bileşenler arasında ilişki yoksa girdi r değeri sıfıra eşit olmaktadır. Korelasyon katsayısının tahmin edilebilmesi için öncelikle birbiriyle ilişkili iki girdi değerinin kovaryansı tahmin edilmelidir. Numunelerde kalınlık ve genişlik değerleri aynı mikrometreyle ölçüldüğü için aralarındaki korelasyonun hesaplanması gerekmektedir. Dairesel kesitli numunelerde ise alan hesabında malzemeye bağlı parametre olarak yalnızca d_0 kullanıldığı için bu hesabın yapılmasına gerek yoktur. Birbiriyle bağımlı girdi değerlerine sahip olan dikdörtgensel kesitli numunelerin kovaryansı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. Ancak bu değer oldukça küçük olduğu için ihmal edilebilir.

$$s(\bar{T}, \bar{W}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})(W_i - \bar{W}) \quad (4.15)$$

$s(\bar{T}, \bar{W})$: kalınlık ve genişlik değerlerinin birbirine bağlı standart sapması.

$$r(\bar{T}, \bar{W}) = \frac{s(\bar{T}, \bar{W})}{s(\bar{T})s(\bar{W})} \quad (4.16)$$

$r(\bar{T}, \bar{W})$:kalınlık ve genişliğe bağlı korelasyon katsayısı.

Korelasyon katsayısının da hesaplanmasıyla birlikte bileşik belirsizlik değeri Bağntı 4.17'deki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\mu_C^2 = C_w^2 \times \mu_w^2 + C_t^2 \times \mu_t^2 + C_f^2 \times \mu_f^2 + 2 \times r(\bar{T}, \bar{W}) \times C_t \times \mu_t \times C_w \times \mu_w \quad (4.17)$$

4.7 Genişletilmiş Belirsizliğin Hesaplanması

GUM belirsizlik tahmini metodu girdi değerlerinin, girdi değerlerine ait belirsizliklerin belirlenmesine ve bu belirsizliklerin bir standart sapma olarak ifade edilmesine dayanmaktadır. Normal dağılım söz konusu olduğunda, bir standart sapma ölçülebilen değerlerin %68'ini kapsamaktadır. Şayet bu değer daha geniş bir değer aralığını kapsamaması isteniyorsa Bağntı 4.19 yardımıyla genişletilmiş belirsizlik hesaplanmalıdır. Kapsam faktörü Çizelge 2.3'ten tercih edilen güven aralığına göre belirlenmelidir.

$$\mu = ku_c \quad (4.18)$$

μ : genişletilmiş belirsizlik, u_c : bileşik standart belirsizlik, k :kapsam faktörü.

4.8 Belirsizliğin Raporlanması

Belirsizliğin raporlanmasında ilk adım, tercih edilen güvenilirlik aralığında genişletilmiş belirsizliğin hesaplanmasıdır. Ölçüm sonucu; ölçülen değer ve genişletilmiş belirsizliğin bir toplamı olarak $Y=y \pm \mu$ şeklinde güven aralığıyla birlikte ölçülen değer biriminde veya ölçülen değeri yüzdesi olarak ifade edilmelidir.

Belirsizlik raporu; belirsizlik değeri ve buna bağlı olarak ölçüm sonucunun deney verilerinden nasıl elde edildiğini belirsizlik bileşenleri ve bileşenlerin hesap yöntemlerini, hesaplamalarda yer alan tüm düzeltme ve sabit değerlerini içermelidir. Belirsizlik raporunda yer alan tüm bilgilerin hesap tekrar yapıldığında aynı değerleri sağlayacak nitelikte olması gerekmektedir. Raporlanan belirsizlik değerindeki rakamların sayısı her zaman pratik ölçüm kapasitesiyle uyumlu olmalıdır. Ölçüm işlemleri dikkate alındığında

2'den fazla anlamlı rakam vermek doğru değildir. Belirsizliklerin uygun rakama yuvarlanarak ifade edilmesi daha doğrudur [4],[7].

Örnek olarak, %95 güven aralığında çekme deneyi sonrasında ortalama çekme mukavemeti 346 MPa olan bir numunenin ölçüm sonucu $346 \pm 5,35$ MPa şeklinde ifade edilir.



BÖLÜM 5

DENEYSEL

Deneyisel çalışmalar kapsamında Yıldız Teknik Üniversitesi akredite deney laboratuvarında bulunan 100 kN kapasiteli Mohr & Federhaff AG marka çekme cihazı, 500 kN kapasiteli Besmak marka çekme cihazı ve Mercedes-Benz Türk Hoşdere Fabrikası akredite Malzeme Test Grubu Laboratuvarı'nda yer alan 600 kN kapasiteli Zwick-Roell çekme cihazı kullanılarak çekme testi uygulanmış, sonuçlar hesaplanmış ve ölçüm belirsizliği analiz edilmiştir.

TS EN 10130 99, AISI 4140, S235 JR malzemeleri, her malzeme türünden 10'arlı 2'şer grup olacak şekilde numune seti hazırlanmıştır. Numunelerin kimyasal bileşimini tespit etmek amacıyla Hilger Analytical spektrometre kullanılmıştır. Tüm numunelere ait genişlik ve kalınlık değerleri Mitutoyo Kumpasla en az 3 yerden ölçülmüştür. Numuneler deneye hazırlık amacıyla kir ve tozlardan arındırılmıştır. Ortam sıcaklığı yaklaşık olarak $24 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 'dir, bağıl nem ise yaklaşık olarak $50 \pm 10\%$ 'dir. Çekme testleri TS EN ISO 6892-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Test sırasında numunelere eşit çekme hızı uygulanmıştır. Cihaz yazılımından ulaşılan değerler neticesinde standart sapma ve ortalama değerler hesaplanıp ilerleyen bölümde yer alan tablolarda numune gruplarına göre açıklanmıştır.

5.1 Deney Numuneleri

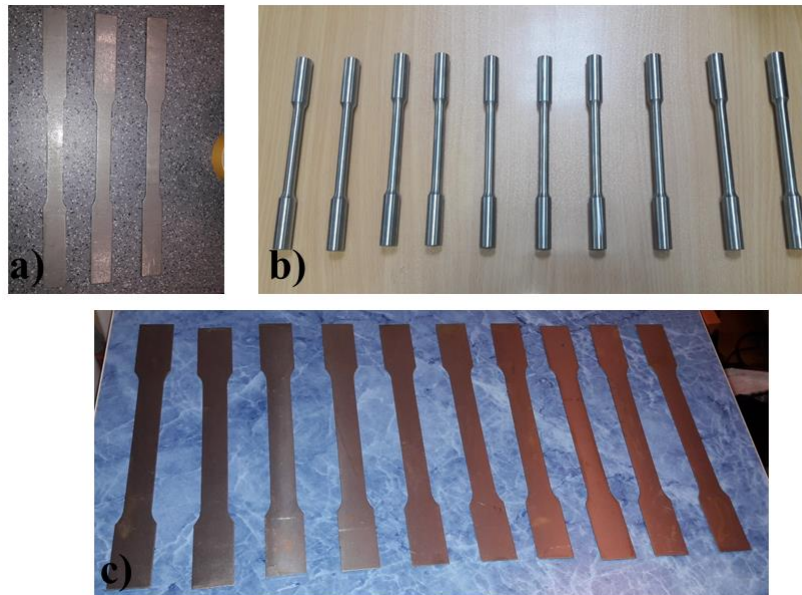
Yapılan deney ve gözlemlerde 6 grup numune kullanılmıştır. Her numune grubu birbirine eşdeğer 10 numune içermektedir. Deneye başlamadan önce, hazırlanan deney numuneleri üzerindeki kir ve pas zımparalanıp temizlenerek giderilmiştir. Çekme testinde yüzde uzama hesabının el ile kontrolü için numuneler üzerine eşit aralıklarla çizgiler çekilmiştir.

Deneyde kullanılan numunelerin çekme testine tabi tutulduğu cihazlar Çizelge 5.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1 Numunelerin test edildiği cihazlar

Numune Grubu	Numune	Numunenin Şekli	Çekme Cihazı
1	TS EN 10130	Dikdörtgensel	Mohr & Federhaff
2	TS EN 10130	Dikdörtgensel	Mohr & Federhaff
3	AISI 4140	Dairesel	Besmak
4	AISI 4140	Dairesel	Besmak
5	S235JR (St37)	Dikdörtgensel	Zwick & Roell
6	S235JR (St37)	Dikdörtgensel	Zwick & Roell

Deneyde kullanılan numuneler Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

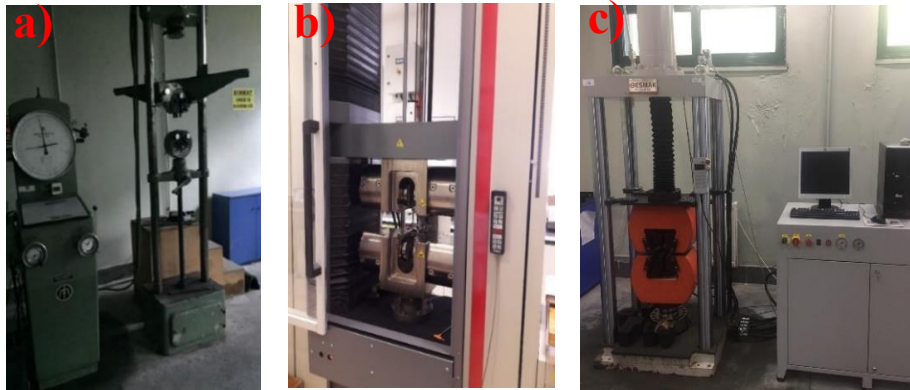


Şekil 5.1 Deney numuneleri a) Grup 1&2 b) Grup 3&4 c) Grup 5&6

Çekme Testinin uygulanışı aşağıdaki 9 adımdan oluşmaktadır:

- İlk adım olarak, test cihazları deney koşullarına uygunluk göstermesi için konfigüre edilir.
- Test numunesi iki ucundan çenelere bağlanır.
- Numunedeki esnekliğin giderilmesi için 2-5 N arasında ön yük uygulanır.
- Numunelere ait kalınlık, genişlik ve ilk ölçüm boyu değerleri kumpas yardımıyla ölçülür ve bu değerler cihaza girilir.
- Çekme hızı tüm numunelerde aynı olacak şekilde ayarlanmıştır.
- Cihazın gösterge ekranında okunan kuvvet ve uzama değerleri sıfırlanır.
- Başlangıç düğmesine basılmasıyla test başlatılır ve numune kopuncaya kadar kuvvet-uzama değerleri kayıt altına alınır.
- Numunenin kopması sonrasında; kopma uzunluğu ve kesit çapı kumpasla tekrar ölçülür.
- Cihazdan edinilen Gerilme-Gerinim eğrisi ve sonuçlar yardımıyla hesaplamalar yapılır. Elde edilen sonuçlar ve hesaplamalar ilerleyen sayfalardaki tablolarda yer almaktadır.

Çekme deneyinin yapıldığı cihazlar Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Çekme deneyi cihazları. (a) Mohr & Federhaff, (b)Zwick&Roell, (c) Besmak

5.2 Deney Numuneleri Kimyasal Analizi

Hazırlanan deney numunelerinin Hilger Analytical cihazında kimyasal bileşim analizleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.2’de kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 5.2 Deney numunelerinin kimyasal bileşimleri

Malzeme	TS EN 10130		AISI 4140		S235JR (St37)	
Numune Kesiti	Dikdörtgen	Dikdörtgen	Dairesel	Dairesel	Dikdörtgen	Dikdörtgen
Alaşımlar Elementi	1.Numune Grubu	2.Numune Grubu	3.Numune Grubu	4.Numune Grubu	5.Numune Grubu	6.Numune Grubu
Fe	99,33	99,35	97,07	97,01	98,96	98,19
C	0,05	0,04	0,40	0,40	0,14	0,19
Si	0,02	0,02	0,23	0,28	0,13	0,19
Mn	0,13	0,13	0,83	0,79	0,55	0,72
P	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
S	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Cr	0,02	0,02	1,10	0,93	0,02	0,09
Mo	0,01	0,01	-	0,18	0,02	0,01
Ni	0,03	0,03	0,02	0,19	0,03	0,12
Al	0,05	0,05	0,02	0,01	0,05	0,01
As	0,02	0,02	-	-	0,00	-
B	0,00	0,00	-	-	0,00	-
Co	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,05
Nb	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Pb	0,00	0,00	-	-	0,00	-
Sn	0,02	0,02	-	-	0,00	-
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
W	0,05	0,06	-	-	0,01	0,01

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneyisel çalışmalar sonucunda tüm numuneler için elde edilen sonuçlardan Bölüm 4'teki adımların izlenmesi ve formüllerin uygulanmasıyla belirsizlik değerleri hesaplanmıştır.

6.1 Numune Grubu 1

Çekme deneyi sonrasında 1 numaralı numune grubuna ait elde edilen veriler Çizelge 6.1'de paylaşılmıştır.

Çizelge 6.1 Numune grubu 1'in çekme deneyi sonuçları

Numune	t ₀ (mm)	w ₀ (mm)	% Uzama	F (N)	Rm (MPa)
1	0,49	20,35	37,55	3480,76	346
2	0,50	20,37	39,90	3511,90	346
3	0,49	20,37	40,65	3473,49	348
4	0,49	20,38	38,75	3443,72	343
5	0,49	20,36	41,00	3434,48	341,4
6	0,49	20,38	49,05	3486,96	348
7	0,50	20,36	38,10	3445,46	340,46
8	0,50	20,38	35,10	3491,14	346
9	0,50	20,37	47,60	3461,19	339
10	0,49	20,36	43,50	3474,40	344
Ortalama	0,49	20,368	41,12	3470,35	344,19
Standart Sapma	0,004	0,01033	4,42	24,19	3,1437

Çizelge 6.1'deki sonuçlardan faydalanılarak Bağıntı 4.5 yardımıyla A tipi belirsizlik hesabı aşağıdaki şekildedir:

$$\mu_a = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{3,1437}{\sqrt{10}} = 0,99$$

Bu bağıntıda; S deneysel standart sapmayı, n numune sayısını μ_a ise A tipi belirsizliği temsil etmektedir.

Geniştirilmiş A tipi belirsizlik hesabında %95 güven aralığı tercih edilmiştir ve Bağntı 4.18 yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\mu = k \cdot Uc = 2,26 \times 0,99 = 2,25$$

%95 güven aralığında A tipi belirsizlik hesabıyla 1. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y=y \pm \mu = 344,19 \pm 2,25 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

Bu bağıntıda; k kapsam faktörünü, μ_c ise elde edilen standart belirsizlik değerini ifade etmektedir. Kapsam faktörünün belirlenmesinde Çizelge 2.3'ten yararlanılmıştır. Dikdörtgensel kesitli 1 numaralı numune grubunda B tipi ölçüm belirsizliğinin hesaplanması için öncelikle kuvvet, kalınlık ve genişliğe ait hassasiyet katsayıları hesaplanmalıdır. İlgili hassasiyet katsayıları sırasıyla; Bağntı 4.7, Bağntı 4.9 ve Bağntı 4.10 yardımıyla hesaplanmıştır ve aşağıda gösterilmiştir.

$$C_F = \frac{\partial \sigma}{\partial F} = \frac{1}{TW} = \frac{\sigma}{F} = \frac{344,186}{3470,35} = 0,09$$

$$C_T = \frac{\partial \sigma}{\partial T} = \frac{1}{T^2 W} = \frac{-\sigma}{T} = \frac{-344,186}{0,49} = -696,11$$

$$C_W = \frac{\partial \sigma}{\partial W} = \frac{-F}{TW^2} = \frac{-\sigma}{W} = \frac{-344,186}{20,368} = -16,90$$

Ayrıca bileşenler arasında ilişki olması sebebiyle korelasyon katsayısı hesaplanmalıdır. Kovaryansın da hesaplanması sonrasında bileşik belirsizlik değeri Bağntı 4.14 ile hesaplanmaktadır.

$$\mu_c^2 = C_w^2 \times \mu_w^2 + C_t^2 \times \mu_t^2 + C_f^2 \times \mu_f^2 + 2 \times r(\bar{T}, \bar{W}) \times C_t \times \mu_t \times C_w \times \mu_w \quad (4.14)$$

İlk adım olarak belirsizlik bileşenlerinin standart sapma değeri Bağntı 4.15 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$s(\bar{T}, \bar{W}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (Ti - \bar{T})(Wi - \bar{W}) \quad (4.15)$$

Bu işlemin sonucu olarak $s(\bar{T}, \bar{W}) = -1,76 \times 10^{-7}$ olarak elde edilmektedir. Elde edilen değerden Bağntı 4.16 yardımıyla korelasyon katsayısı hesaplanmaktadır.

$$r(\bar{T}, \bar{W}) = \frac{s(\bar{T}, \bar{W})}{s(\bar{T})s(\bar{W})} \quad (4.16)$$

İşlem sonucunda Korelasyon Katsayısı -0,005 olarak hesaplanmıştır. Bu değer oldukça küçük olması nedeniyle ihmal edilebilmektedir. Bu çalışmada, diğer tüm numunelerde korelasyon katsayısı ihmal edilmiştir.

2. gruba ait hassasiyet katsayıları Çizelge 6.2’de gösterilmiştir

Çizelge 6.2 Numune grubu 1’e ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları

Rm (MPa)	T (mm)	W (mm)	C _f	C _t	C _w	μ _f	μ _t	μ _w	r(T,W)
344,19	0,49	20,37	0,10	-696,11	-16,90	24,19	0,004	0,01	-0,005

Tablodaki değerlerin bileşik belirsizlik getirilmesi amacıyla Bağntı 4.13 kullanılmaktadır.

$$\mu_c^2 = C_t^2 \times \mu_t^2 + C_w^2 \times \mu_w^2 + C_f^2 \times \mu_f^2 = (0,09)^2 \times (24,19446)^2 + (-696,11)^2 \times (0,00363)^2 + (-16,90)^2 \times (0,01033)^2$$

Bunun sonucu olarak 1 numaralı numune grubuna ait B tipi standart belirsizlik değeri 3,49 olarak elde edilmektedir.

%95 güven aralığında Genişletilmiş B tipi belirsizlik ve Bağntı 4.18 yardımıyla hesaplanmıştır ve aşağıda belirtilmiştir

$$\mu = k \cdot \mu_c = 2,26 \times 3,49 = 7,89$$

%95 güven aralığında B tipi belirsizlik hesabıyla 1. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y = y \pm \mu = 344,19 \pm 7,89 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

1. numune grubunun belirsizlik değerleri izelge 6.3'te yer almaktadır.

Çizelge 6.3 Numune grubu 1'in belirsizlik değerleri

Belirsizlik	Değer (MPa)	% Rm
A Tipi lüm Belirsizliği	0,99	0,29%
B Tipi lüm Belirsizliği	3,49	1,01%
A Tipi Genişletilmiş lüm Belirsizliği	2,25	0,65%
B Tipi Genişletilmiş lüm Belirsizliği	7,89	2,29%

6.2 Numune Grubu 2

Çekme deneyi sonrasında 2. numune grubuna ait sonuçlar izelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 Numune grubu 2'nin çekme deneyi sonuçları

Numune	t ₀ (mm)	w ₀ (mm)	% Uzama	F (N)	Rm (MPa)
1	0,49	20,36	35,50	3521,67	353
2	0,50	20,37	42,25	3498,48	344
3	0,50	20,36	38,50	3532,80	345
4	0,50	20,37	45,50	3461,04	342
5	0,49	20,37	40,60	3533,38	354
6	0,50	20,35	41,25	3490,03	343
7	0,49	20,39	46,55	3526,86	353
8	0,50	20,35	36,20	3565,76	352
9	0,49	20,38	37,60	3550,98	352
10	0,49	20,36	39,80	3554,41	353
Ortalama	0,50	20,37	40,38	3523,54	349,13
Standart Sapma	0,005	0,013	3,67	32,220	4,926

Çizelge 6.4'teki sonuçlardan faydalanılarak Bağntı 4.5'e göre A tipi belirsizlik aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\mu_a = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{4,926}{\sqrt{10}} = 1,56$$

Bu bağntıda; S deneysel standart sapmayı, n numune sayısını μ_a ise A tipi belirsizliği temsil etmektedir. Genişletilmiş A tipi belirsizlik hesabında %95 güven aralığı tercih edilmiştir ve Bağntı 4.18 yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Bu bağntıda K kapsam faktörünü, μ_c ise elde edilen standart belirsizlik değerini ifade hesaplanmalıdır.

$$\mu = k \cdot U_c = 2,26 \times 1,56 = 3,52$$

%95 güven aralığında A tipi belirsizlik hesabıyla 2. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y=y \pm \mu = 349,13 \pm 3,52 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

2. gruba ait hassasiyet katsayıları sırasıyla; Bağntı 4.7, Bağntı 4.9 ve Bağntı 4.10 yardımıyla hesaplanmış ve Çizelge 6.5'te gösterilmiştir.

$$C_F = \frac{\partial \sigma}{\partial F} = \frac{1}{TW} = \frac{\sigma}{F} = \frac{349,125}{3523,54} = 0,1$$

$$C_W = \frac{\partial \sigma}{\partial W} = \frac{-F}{TW^2} = \frac{-\sigma}{W} = \frac{-349,125}{20,366} = -17,14$$

$$C_T = \frac{\partial \sigma}{\partial T} = \frac{1}{T^2W} = \frac{-\sigma}{T} = \frac{-349,125}{0,50} = -704,448$$

Çizelge 6.5 Numune grubu 2'ye ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları

Rm (MPa)	T (mm)	W (mm)	C _f	C _t	C _w	μ _f	μ _t	μ _w
349,13	0,50	20,37	0,01	-704,45	-17,14	32,22	0,005	0,013

2 numaralı numune grubuna ait B tipi bileşik belirsizlik Bağntı 4.13 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\mu_c^2 = C_t^2 \times \mu_t^2 + C_w^2 \times \mu_w^2 + C_f^2 \times \mu_f^2 \quad (4.13)$$

$$\mu_c^2 = (0,004584)^2 \times (-704,448)^2 + (-17,1425)^2 \times (0,013)^2 + (0,099084)^2 \times (32,22)^2$$

Bunun sonucu olarak, 1 numaralı numune grubuna ait B tipi standart belirsizlik değeri 4,55 olarak elde edilmektedir. Bağntı 4.18 yardımıyla %95 güven aralığında Genişletilmiş B tipi belirsizlik hesaplanmıştır.

$$\mu = k \cdot \mu_c = 2,26 \times 4,55 = 10,28$$

%95 güven aralığında B tipi belirsizlik hesabıyla 2. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y = y \pm \mu = 349,13 \pm 10,28 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

2. numune grubuna ait hesaplanan tüm belirsizlikler Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6 Numune grubu 2'nin belirsizlik değerleri

Belirsizlik	Değer (MPa)	% Rm
A Tipi Ölçüm Belirsizliği	1,56	0,45%
B Tipi Ölçüm Belirsizliği	4,55	1,30%
A Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	3,52	1,01%
B Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	10,28	2,95%

6.3 Numune Grubu 3

3. numune grubunun çekme deneyi sonuçları Çizelge 6.7'de yer almaktadır.

Çizelge 6.7 Numune grubu 3'ün çekme deneyi sonuçları

Numune	d ₀ (mm)	% Uzama	F (N)	Rm (MPa)
1	10,02	9,22	83306,73	1057,0
2	10,03	10,28	83394,12	1056,0
3	10,02	10,05	84638,69	1073,9

Çizelge 6.7 Numune grubu 3'ün çekme deneyi sonuçları (devamı)

Numune	d ₀ (mm)	% Uzama	F(N)	R _m (MPa)
4	10,04	10,20	83402,24	1054,0
5	10,01	14,09	84556,36	1075,0
6	10,02	13,67	84646,57	1074,0
7	10,03	14,46	84025,90	1064,0
8	10,02	13,42	83621,99	1061,0
9	10,02	16,33	82912,66	1052,0
10	10,04	10,29	84589,17	1069,0
Ortalama	10,03	12,20	83909,44	1063,59
Standart Sapma	0,01	2,455	660,94	8,87

Çizelge 6.7'deki sonuçlardan faydalanılarak A tipi belirsizlik aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\mu_a = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{8,87}{\sqrt{10}} = 2,81$$

Genişletilmiş A tipi belirsizlik hesabında %95 güven aralığı tercih edilmiştir ve Bağıntı 4.18 yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\mu = k \cdot \mu_c = 2,26 \times 2,81 = 6,35$$

%95 güven aralığında A tipi belirsizlik hesabıyla 3. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y=y \pm \mu = 1063,59 \pm 6,35 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

Dairesel kesite sahip 3 numaralı numune grubunda B tipi ölçüm belirsizliğinin hesaplanması için öncelikle kuvvet ve yarıçapa ait hassasiyet katsayıları hesaplanmalıdır. İlgili hassasiyet katsayıları sırasıyla yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_{d_0} = \frac{\partial \sigma}{\partial f} = \frac{(0 \times \frac{\pi d_0^2}{4} - (2 \frac{\pi d_0}{4} \times F))}{\frac{\pi^2 d_0^4}{16}} = \frac{8F}{\pi d_0^3} = \frac{8 \times (83909,44)}{\pi \times (10,025)^3} = 212,19$$

$$C_F = \frac{\partial \sigma}{\partial F} = \frac{1}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{1}{78,89} = 0,012675$$

Elde edilen verilerle birlikte ilgili parametrelere ait standart sapma değerleri Çizelge 6.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 Numune grubu 3’e ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları

Rm (MPa)	d ₀ (mm)	S ₀ (mm ²)	C _{d0}	C _f	μ _f	μ _{d0}	Fm (N)
1063,59	10,025	78,89	212,19	0,013	660,94	0,01	83909,44

Yukarıdaki tablodaki değerler kullanılarak Bağıntı 4.13 yardımıyla bileşik belirsizlik hesabı yapılmıştır.

$$\mu_c^2 = C_{d_0}^2 \times \mu_{d_0}^2 + C_f^2 \times \mu_f^2 = (212,1866)^2 \times (0,009718)^2 + (0,012675)^2 \times (660,94)^2$$

$$\mu_c = 8,63$$

B tipi bileşik belirsizliğin 8,63 olarak hesaplanması sonrasında, %95 güven aralığında Genişletilmiş B tipi belirsizlik hesaplanmış ve aşağıda belirtilmiştir.

$$\mu = k \cdot \mu_c = 2,26 \times 8,63 = 19,50$$

%95 güven aralığında B tipi belirsizlik hesabıyla 3. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y = y \pm \mu = 1063,59 \pm 19,50 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

3. numune grubuna ait hesaplanan tüm belirsizlikler Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9 Numune grubu 3’ün belirsizlik değerleri

Belirsizlik	Değer (MPa)	% Rm
A Tipi Ölçüm Belirsizliği	2,81	0,26%
B Tipi Ölçüm Belirsizliği	8,63	0,81%
A Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	6,35	0,60%
B Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	19,50	1,83%

6.4 Numune Grubu 4

4. numune grubunun çekme deneyi sonuçları Çizelge 6.10’da yer almaktadır.

Çizelge 6.10 Numune grubu 4’ün çekme deneyi sonuçları

Numune	D ₀ (mm)	% Uzama	F _(N)	Rm (MPa)
1	10,01	12,90	82668,59	1051,00
2	10,03	11,24	82288,52	1042,00
3	10,02	10,02	83251,56	1056,30
4	10,04	11,80	83259,80	1052,20
5	10,02	14,04	83700,80	1062,00
6	10,02	12,00	83543,17	1060,00
7	10,03	14,52	82920,29	1050,00
8	10,02	11,25	82833,84	1051,00
9	10,03	16,00	83394,12	1056,00
10	10,03	10,04	84341,78	1068,00
Ortalama	10,03	12,38	83220,27	1054,85
Standart Sapma	0,008	1,97	580,95	7,30

Çizelge 6.10'daki sonuçlardan faydalanılarak Bağntı 4.5'e göre A tipi belirsizlik aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\mu_a = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{7,30}{\sqrt{10}} = 2,31$$

Genişletilmiş A tipi belirsizlik hesabında %95 güven aralığı tercih edilmiştir ve Bağntı 4.18 yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\mu = k \cdot \mu_c = 2,26 \times 2,31 = 5,22$$

%95 güven aralığında A tipi belirsizlik hesabıyla 4. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y=y \pm \mu = 1054,85 \pm 5,22 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

İlgili hassasiyet katsayıları sırasıyla Bağntı 4.8 ve Bağntı 4.11 ile hesaplanmıştır.

$$C_F = \frac{\partial \sigma}{\partial F} = \frac{1}{\frac{\pi d_0^2}{4}} = \frac{1}{78,89} = 0,012675$$

$$C_{d_0} = \frac{\partial \sigma}{\partial f} = \frac{(0 \times \frac{\pi d_0^2}{4} - (2 \frac{\pi d_0}{4} \times F))}{\frac{\pi^2 d_0^4}{16}} = \frac{8F}{\pi d_0^3} = 210,44$$

Çizelge 6.11 Numune grubu 4'e ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları

Rm (MPa)	d ₀ (mm)	S ₀ (mm ²)	C _{d0}	C _f	μ _{d0}	μ _f	Fm (N)
1054,85	10,03	78,89	210,44	0,013	0,01	580,95	83220,27

Çizelge 6.11'deki değerlerin bileşik belirsizlik getirilmesi amacıyla Bağntı 4.12

kullanılmaktadır.

$$\mu_c^2 = C_{d_0}^2 \times \mu_{d_0}^2 + C_f^2 \times \mu_f^2$$

$$\mu_c^2 = (210,4439)^2 \times (0,008498)^2 + (0,012675)^2 \times (580,95)^2 = 7,58$$

4 numaralı numune grubuna ait B tipi bileşik belirsizlik değeri 7,58 olarak elde edilmektedir. %95 güven aralığında Genişletilmiş B tipi belirsizlik hesaplanmıştır.

$$\mu = k \cdot \mu_c = 2,26 \times 7,58 = 17,13$$

%95 güven aralığında B tipi belirsizlik hesabıyla 4. numune grubuna ait ölçüm sonucu;
 $Y=y\pm\mu = 1054,85 \pm 17,13 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

Çizelge 6.12 Numune grubu 4'ün belirsizlik değerleri

Belirsizlik	Değer (MPa)	% Rm
A Tipi Ölçüm Belirsizliği	2,31	0,22%
B Tipi Ölçüm Belirsizliği	7,58	0,72%
A Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	5,22	0,49%
B Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	17,13	1,62%

6.5 Numune Grubu 5

5. numune grubunun çekme deneyi sonuçları Çizelge 6.13'te yer almaktadır.

Çizelge 6.13 Numune grubu 5'in çekme deneyi sonuçları

Numune	t_0 (mm)	w_0 (mm)	% Uzama	F (N)	Rm (MPa)
1	1,98	20,33	31,05	16604	412,49
2	1,96	20,38	30,18	16624	416,17
3	1,95	20,34	31,18	16572	417,82
4	1,94	20,33	31,46	16553	419,70
5	1,99	20,36	26,14	16608	409,91
6	1,98	20,35	30,24	16584	411,59
7	1,95	20,36	29,58	16658	419,58

Çizelge 6.13 Numune grubu 5'in çekme deneyi sonuçları (devamı)

Numune	t ₀ (mm)	w ₀ (mm)	% Uzama	F (N)	R _m (MPa)
8	1,95	20,36	29,49	16650	419,37
9	1,95	20,36	30,65	16703	420,71
10	1,97	20,33	30,65	16651	415,75
Ortalama	1,96	20,35	30,06	16620,70	416,31
Standart Sapma	0,017	0,017	1,52	45,575	3,821

Çizelge 6.13'deki sonuçlardan faydalanılarak Bağntı 4.5'e göre A tipi belirsizlik aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\mu_a = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{3,821}{\sqrt{10}} = 1,21$$

Bu eşitlikte; S deneysel standart sapmayı, n numune sayısını, μ_a ise A tipi belirsizliği temsil etmektedir.

Geniştirilmiş A tipi belirsizlik hesabında %95 güven aralığı tercih edilmiştir ve Bağntı 4.18 yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Bu eşitlikte; k kapsam faktörünü, μ_c ise elde edilen standart belirsizlik değerini ifade etmektedir.

$$\mu = k \cdot \mu_c = 2,26 \times 1,21 = 2,73$$

%95 güven aralığında A tipi belirsizlik hesabıyla 5. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y=y \pm \mu = 416,31 \pm 2,73 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

İlgili hassasiyet katsayıları sırasıyla Bağntı 4.7, Bağntı 4.9 ve Bağntı 4.10 yardımıyla hesaplanmış ve Çizelge 6.14'te gösterilmiştir.

$$C_F = \frac{\partial \sigma}{\partial F} = \frac{1}{TW} = \frac{\sigma}{F} = \frac{416,31}{16621} = 0,03$$

$$C_T = \frac{\partial \sigma}{\partial T} = \frac{1}{T^2 W} = \frac{-\sigma}{T} = \frac{-416,31}{1,96} = -212,40$$

$$C_W = \frac{\partial \sigma}{\partial W} = \frac{-F}{TW^2} = \frac{-\sigma}{W} = \frac{-344,186}{20,368} = -16,90$$

Çizelge 6.14 Numune grubu 5'e ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları

Rm (MPa)	T (mm)	W (mm)	C _f	C _t	C _w	μ _f	μ _t	μ _w
416,31	1,96	20,35	0,03	-212,40	-20,46	45,58	0,017	0,017

Bağıntı 4.12 ve Bağıntı 4.13 yardımıyla bileşik belirsizlik hesaplanmıştır.

$$\mu_c^2 = C_t^2 \times \mu_t^2 + C_w^2 \times \mu_w^2 + C_f^2 \times \mu_f^2 = (-212,4024)^2 \times (0,017)^2 + (20,46)^2 \times (0,017)^2 + (0,025048)^2 \times (45,58)^2$$

B tipi standart belirsizlik değeri 3,48 olarak elde edilmektedir. %95 güven aralığında Genişletilmiş B tipi belirsizlik Bağıntı 4.18 yardımıyla hesaplanmıştır. $U = k \cdot Uc = 2,26 \times 3,78 = 8,53$

%95 güven aralığında B tipi belirsizlik hesabıyla 5. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y = y \pm \mu = 416,31 \pm 8,53 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

5. numune grubuna ait hesaplanan tüm belirsizlikler Çizelge 6.15'te verilmiştir.

Çizelge 6.15 Numune grubu 5'in belirsizlik değerleri

Belirsizlik	Değer (MPa)	% Rm
A Tipi Ölçüm Belirsizliği	1,21	0,29%
B Tipi Ölçüm Belirsizliği	3,78	0,91%
A Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	2,73	0,66%
B Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	8,53	2,05%

6.6 Numune Grubu 6

6. numune grubunun çekme deneyi sonuçları Çizelge 6.16’da yer almaktadır.

Çizelge 6.16 Numune grubu 6’nın çekme deneyi sonuçları

Numune	t ₀ (mm)	w ₀ (mm)	% Uzama	F (N)	R _m (MPa)
1	1,98	20,32	27,00	16657	414,01
2	1,99	20,35	28,69	16650	411,15
3	1,97	20,32	27,50	16636	415,58
4	1,98	20,34	27,39	16643	413,25
5	1,98	20,39	30,26	16631	411,94
6	1,99	20,35	28,63	16650	411,15
7	1,99	20,34	33,63	16693	412,41
8	1,97	20,35	28,79	16664	415,67
9	1,96	20,34	30,75	16634	417,24
10	1,95	20,35	29,71	16662	419,88
Ortalama	1,96	20,345	29,23	16652	414,23
Standart Sapma	0,01350	0,01958	1,98	18,43909	2,86

Çizelge 5.17’deki sonuçlardan faydalanılarak Bağntı 4.5’e göre A tipi belirsizlik hesabı aşağıdaki şekildedir:

$$\mu_a = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{2,86}{\sqrt{10}} = 0,90$$

Genişletilmiş A tipi belirsizlik hesabında %95 güven aralığı tercih edilmiş ve Bağıntı 4.18 yardımıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Bu eşitlikte; k kapsam faktörünü, μ_c ise elde edilen standart belirsizlik değerini ifade etmektedir.

$$\mu = k \cdot \mu_c = 2,26 \times 0,90 = 2,04$$

%95 güven aralığında A tipi belirsizlik hesabıyla 6. numune grubuna ait ölçüm sonucu; $Y = y \pm \mu = 414,23 \pm 2,04 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

İlgili hassasiyet katsayıları sırasıyla; Bağıntı 4.7, Bağıntı 4.9 ve Bağıntı 4.10 yardımıyla hesaplanmış ve Çizelge 6.17’de gösterilmiştir.

$$C_F = \frac{\partial \sigma}{\partial F} = \frac{1}{TW} = \frac{\sigma}{F} = \frac{414,23}{16652} = 0,02$$

$$C_T = \frac{\partial \sigma}{\partial T} = \frac{1}{T^2 W} = \frac{-\sigma}{T} = \frac{-414,23}{1,976} = -209,63$$

$$C_W = \frac{\partial \sigma}{\partial W} = \frac{-F}{TW^2} = \frac{-\sigma}{W} = \frac{-344,186}{20,368} = -16,90$$

Çizelge 6.17 Numune grubu 6’ya ait ortalama değerler ve hassasiyet katsayıları

Rm (MPa)	T (mm)	W (mm)	C_f	C_t	C_w	μ_f	μ_t	μ_w
414,23	1,98	20,35	0,025	-209,63	-20,36	18,44	0,014	0,020

Çizelge 6.17’deki değerlerin bileşik belirsizlik haline getirilmesi amacıyla Bağıntı 4.12 kullanılmaktadır.

$$\mu_c^2 = C_t^2 \times \mu_t^2 + C_w^2 \times \mu_w^2 + C_f^2 \times \mu_f^2 = (-209,63)^2 \times (0,014)^2 + (-20,46)^2 \times (0,020)^2 + (0,025)^2 \times (18,44)^2$$

6. numune grubuna ait B tipi standart belirsizlik değeri 2,89 olarak elde edilip %95 güven aralığında Genişletilmiş B tipi belirsizlik Bağıntı 4.18 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$U = k \cdot U_c = 2,26 \times 2,89 = 6,54$$

%95 güven aralığında B tipi belirsizlik hesabıyla 6. numune grubuna ait ölçüm sonucu;
 $Y=y\pm\mu = 414,23 \pm 6,54 \text{ MPa}$ şeklinde raporlanmaktadır.

6. numune grubuna ait hesaplanan tüm belirsizlikler Çizelge 6.18’de yer almaktadır.

Çizelge 6.18 Numune grubu 6’nın belirsizlik değerleri

Belirsizlik	Değer (MPa)	% Rm
A Tipi Ölçüm Belirsizliği	0,90	0,22%
B Tipi Ölçüm Belirsizliği	2,89	0,69%
A Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	2,04	0,49%
B Tipi Genişletilmiş Ölçüm Belirsizliği	6,54	1,56%

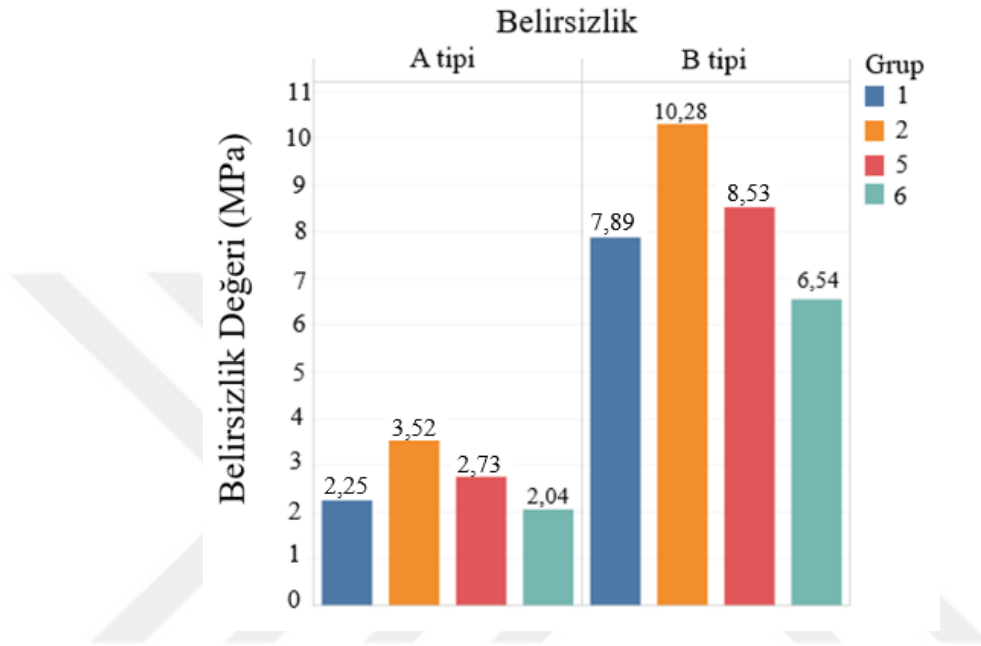
Deneyssel çalışmalar sonucunda tüm numuneler için elde edilen belirsizlik değerleri Çizelge 6.19’da belirtilmiştir.

Çizelge 6.19 Tüm numunelerin genişletilmiş belirsizlik değerleri

Numune Grubu	Ölçüm Belirsizlikleri (MPa) ¹			
	A Tipi (MPa)	% Rm	B Tipi (MPa)	% Rm
1	2,25	% 0,65	7,89	% 2,29
2	3,52	% 1,01	10,28	% 2,94
3	6,35	% 0,60	19,50	% 1,83
4	5,22	% 0,49	17,13	% 1,62
5	2,73	% 0,66	8,53	% 2,05
6	2,04	% 0,49	6,54	% 1,58

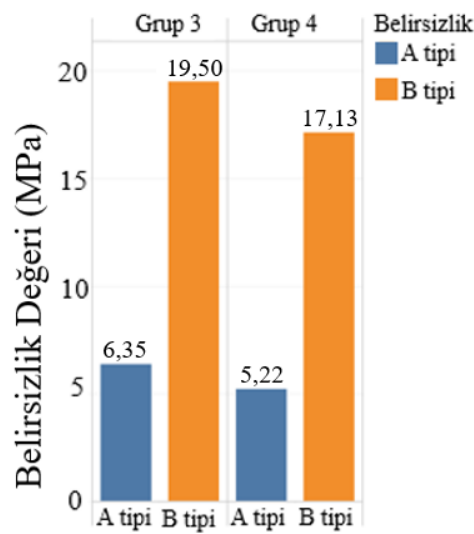
¹ Numune gruplarının ortalama çekme mukavemetlerine göre yüzde değeri hesaplanmıştır.

Karşılaştırmalar sonucunda dikdörtgenel numunelerde B tipi Belirsizlik Değerlerinin daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir.



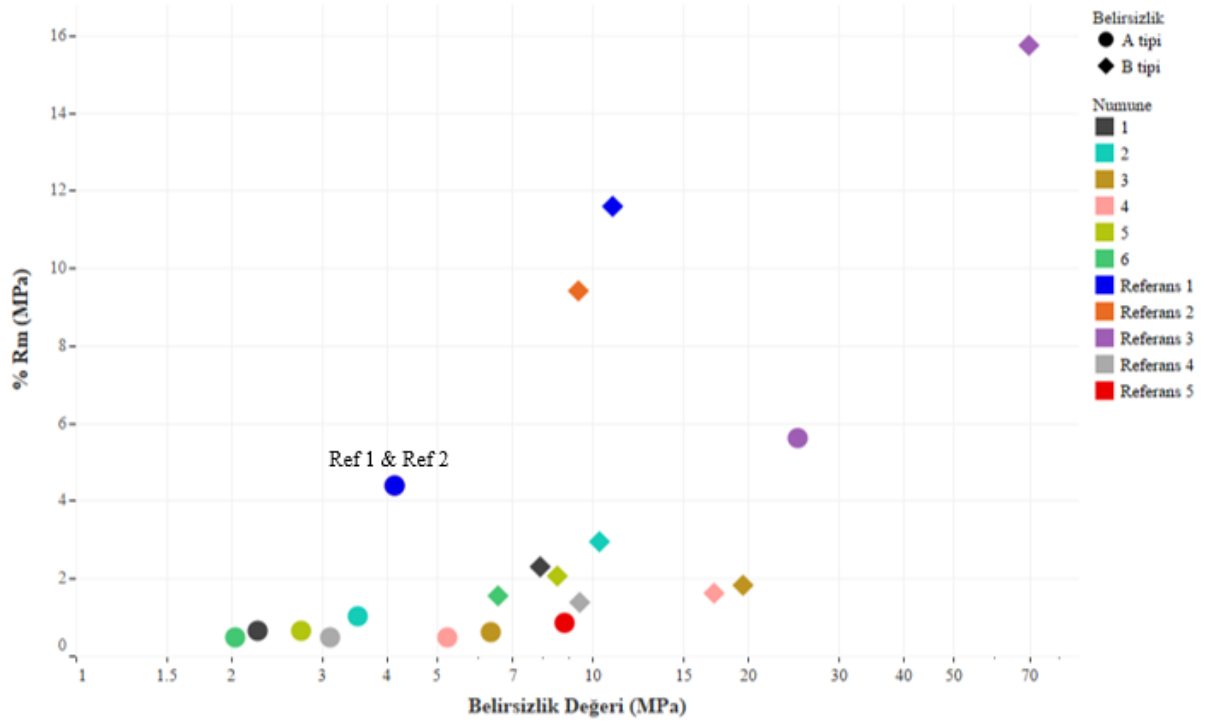
Şekil 6.1 Dikdörtgen kesitli numunelerin belirsizlik değerleri

Benzer şekilde, karşılaştırmalar sonucunda dairesel kesitli numunelerde de B tipi belirsizlik değerlerinin daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6.2 Dairesel kesitli numunelerin belirsizlik değerleri

Test sonuçlarından elde edilen değerlerin referans alınan makale ve tez çalışmalarına ait belirsizlik değerleriyle karşılaştırılmasına Şekil 6.3'te yer verilmiştir [18], [38], [39], [40], [41].



Şekil 6.3 Tüm numunelerin belirsizlik değerlerinin karşılaştırılması

Referans olarak kullanılan tez ve makaleler Çizelge 6.20'de detaylı olarak belirtilmiştir.

Çizelge 6.20 Referans tez ve makalelerin belirsizlik değerleri

Referans No	Kaynak	Rm (MPa)	A Tipi	% Rm	B Tipi	% Rm
1	GUM, 2002 [18]	94,02	4,14	4,40	10,94	11,60
2	GUM, 2014 [38]	94,01	4,14	4,40	9,36	9,95
3	Malpally [39]	442,61	24,87	5,62	69,59	15,72
4	Adamczak [40]	675,21	3,11	0,46	9,41	1,39
5	Toros Ş. , Keleşoğlu E. [41]	1052,71	8,81	0,84	* ¹	

¹ 5 numaralı referans tezde numune çapları aynı olduğu için B tipi belirsizlik hesaplanamamıştır.

Bu çalışmada elde edilen değerlerin literatürde yer alan değerlerle de karşılaştırılması sonrasında karşılaşılan sonuçlar aşağıda ifade edilmiştir:

- Bu çalışmada çeşitli kaynaklardan faydalanılarak çekme deneyi için A ve B tipi belirsizliklerin hesabına yönelik bir metot önerilmiş ve birbirine özdeş numuneler kullanılarak metodun anlamlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
- Her iki tip belirsizlik hesabında da yüzdesel olarak en yüksek belirsizlik değerine 2. numune grubunda ulaşılmıştır.
- Yüzdesel olarak en düşük ölçüm belirsizliği değerine ise 6. numune grubunda ulaşılmıştır.
- A tipi ve B tipi belirsizliklerde birbirine en yakın dağılıma 6. numune grubunda ulaşılmıştır.
- A tipi belirsizlik hesabı B tipine göre tüm numune gruplarında daha hassas sonuçlar vermiştir. Daha hassas belirsizlik değerleri elde etmek isteyen araştırmacıların A tipi belirsizlik hesabını tercih etmesi önerilir. Bununla birlikte, değişik belirsizlik kaynaklarını kullanması gereken ölçümlerde test personelinin B tipini tercih etmesi zorunluluktur.

KAYNAKLAR

- [1] T.C. Bilim,Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Metrolojide Ölçüm Belirsizliği, <http://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/metrolojide-olcum-belirsizligi/388>, 15.02.2019.
- [2] Howart, P. ve Redgrave, F., (2003). Metrology in short, <https://www.euramet.org/publications-media-centre/documents/metrology-in-short>, 15 Şubat 2019.
- [3] İ.Koçaş “Geçmişten Günümüze Ölçü Birimleri Ve Metroloji” TÜBİTAK Bilim ve Teknik, 28-33, Ekim 2009.
- [4] Akdemir, E., (2010). Tarım Traktörleri Koruyucu Yapı Statik Testlerinde Kullanılan Malzeme Test Makinasının Kalibrasyon Yöntemi Ve Belirsizlik Yönünden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [5] Ünal, M., (2006). Bir Yüksek Gelirim Laboratuvarının Ölçüm Belirsizliğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Bacak, S., (2006). Düşük Mukavemetli Malzemeler İçin Mekanik Deneylerin Yapılabileceği Masaüstü Deney Cihazının Tasarımı ve Kurulması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [7] Sadıkhov, E ve Kangı, R., (1995). Ölçüm Belirsizliği. Gebze-Kocaeli : Ulusal Metroloji Enstitüsü, Ölçüm Belirsizliği, <http://www.ume.tubitak.gov.tr/sites/images/ume/ume-95-014.pdf>, 15 Şubat 2019.
- [8] Merve, A., (2005) Yüksek Doğruluğa Sahip 100 Kv Yüksek Doğru Gerilim Bölücüsü, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] ISO/IEC Guide 99-12:2007, (2007). International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms, ISO, 1st Edition, Geneva.
- [10] BIPM, International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf, 15 Şubat 2019.
- [11] BIPM, (2006). The International System of Units (SI), https://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf, 15 Şubat 2019.

- [12] ISO/IEC 17025:2017, (2017). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, ISO, 3. Baskı, Cenevre.
- [13] BIPM, (2012). What is treacability, <https://www.bipm.org/en/bipm-services/calibrations/traceability.html>, 20 Aralık 2018.
- [14] ISO/IEC Guide 98-3, (2008). Uncertainty of measurement -- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995), ISO, 1st Edition, Geneva.
- [15] Doğan, M. ve Nalbant, M., (2012), “Ölçme Belirsizliği ve 50 mm Nominal Uzunluktaki Ölçü Bloğuna Uygulanması”, Politeknik Dergisi, 10(4):363-371.
- [16] Altın, M., (2010), Hassas Sıcaklık Ölçümünde Ölçüm Belirsizliği İçin Farklı Modellemeler ve Deneysel Karşılaştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [17] Coleman, H. W. ve Steele, W. G., (2009). Experimentation, Validation, and Uncertainty Analysis for Engineers, 4h Edition, WILEY, New Jersey.
- [18] Adams, T.M. (2002). G104 - A2LA Guide for Estimation of Measurement Uncertainty In Testing, http://redsang.ial.sp.gov.br/site/docs_leis/im/im6.pdf, 15 Şubat 2019.
- [19] University of Florida, Statistical Tables, <http://users.stat.ufl.edu/~aa/sta6126/tables.pdf> , 20 Aralık 2018.
- [20] Castrup, H. (2007). Distributions for Uncertainty Analysis, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.493.5377&rep=rep1&type=pdf>, 15 Şubat 2019.
- [21] Çatlı, S., (2012). 10 kN Kapasiteli Pozisyon Kontrollü Çekme Test Cihazının Optimum Tasarımı ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [22] ISO 6892-1, (2016). Metallic materials – Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature, ISO, 1st Edition, Cenevre.
- [23] ASTM E8 / E8M-16a, (2016). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM, 1. Baskı, Pennsylvania.
- [24] DIN 50125, (2016). Testing of Metallic materials- Tensile test pieces, DIN, 4.Baskı, Berlin.
- [25] Sakarya Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği 6. Ders Notu, http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/70503/31923/6._ders_notu.pdf , 15 Şubat 2019.
- [26] Warren Design & Technology, Typical load-extension graph for mild steel, <https://www.the-warren.org/AlevelRevision/engineering/stressstrain.htm>, 15 Şubat 2019.

- [27] İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü malzeme bilimi ders notu, 15 Şubat 2019, <https://ninova.itu.edu.tr/tr/dersler/kimya-metalurji/1600/mal-201/ekkaynaklar?g160200>.
- [28] Pekel, H., (2008). Sıcaklık ve Çekme Hızının AA 5754-O Sacların Şekillendirilebilirliğine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [29] ResearchGate, How can modulus of elasticity be calculated using a stress-strain curve, www.researchgate.net/post/How_can_modulus_of_elasticity_be_calculated_using_a_stress-strain_Curve, 15 Şubat 2019.
- [30] Saatçı, G., (2014). Çekme Testleri İçin Yeni Bir Yazılım Geliştirilmesi ve Denenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [31] Mindivan, H., Çekme-Basma Deney Föyü, Yüksek Lisans Tezi, Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik.
- [32] Jastrzebski, Z. D., “The Nature and Properties of Engineering Materials”, John Wiley & Sons, Singapur, 1987.
- [33] Quora, What is elasticity and why is it an important property in metals, 15 Şubat 2019, <https://www.quora.com/What-is-elasticity-and-why-is-it-an-important-property-in-metals>.
- [34] Dieter, G.E, (1988), Mechanical Metallurgy, McGRAW-HILL, 3rd edition, Philadelphia.
- [35] Askeland, D.R ve Fulay, P.P., (2010), The Science and Engineering of Materials, Cengage Learning, 6th edition, Stamford.
- [36] Loveday, M. S., (1999). Room Temperature Tensile Testing: A Method for Estimating Uncertainty of Measurement, http://publications.npl.co.uk/npl_web/pdf/cmmt_mn48.pdf , 15 Şubat 2019.
- [37] Türkak, (2013). Kalibrasyonda Ölçüm Belirsizliğinin Değerlendirilmesi, <http://www.turkak.org.tr/TURKAKSITE/docs/EA402.pdf>, 15 Şubat 2019.
- [38] Adams, T.M. (2014). G104 - A2LA Guide for Estimation of Measurement Uncertainty In Testing. [http:// www.a2la.org/guidance/est_mu_testing.pdf](http://www.a2la.org/guidance/est_mu_testing.pdf), 15 Şubat 2019.
- [39] Malpally, D.R., (2014). Uncertainty Analysis of Mechanical Properties from Miniature Tensile Testing of High Strength Steels, Master of Science Thesis, Utah State University, Utah.
- [40] Adamczak, S., Bochnia, J., (2012). “Stress and Strain Measurements in Static Tensile Tests”, Metrol. Meas. Syst., 19:531-540.

- [41] Toros, Ş., (2015), Çekme, Darbe ve Sertlik Ölçümlerinde Laboratuvarlar Arası Karşılaştırma ve Yetkinlik Testleri ve Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



ÇEKME DENEYİNİN TEKRARLANABİLİRLİĞİ

Çekme deneyinde belirli malzeme türlerinin laboratuvarlar arası çalışmalardaki tekrarlanabilirlikleri Çizelge A.1’de belirtilmiştir.

Çizelge A.1 Malzemelerin tekrarlanabilirliklerinin laboratuvarlar arası karşılaştırılması [22]

Malzeme Türü	Malzeme Kodu	Çekme Mukavemeti (MPa)	Tekrarlanabilirlik $\pm$ %
Alüminyum			
Şerit	AA5754	212,3	4,7
Şerit	AA5182-0	275,2	1,4
Şerit	AA6016-T4	228,3	1,8
	EC-H 19	176,9	4,9
	2024-T 351	491,3	2,7
Çelik			
Şerit	DX56	301,1	5,0
Düşük Karbon, Levha	HR3	335,2	5,0
Şerit	ZStE 180	315,3	4,2
AISI 105	Fe510C	552,4	2,0
	C22	596,9	2,8
Levha	S355	564,9	2,4
Östenitik	SS316L	568,7	4,1
Östenitik	X2CrNi18-10	594,0	3,0
Östenitik	X2CrNiMo18-10	622,5	3,0
AISI 316	X7CrNiMo17-12-2	694,6	2,4
Martenzitik	X12Cr13	1253,0	1,3
Yüksek Mukavemetli	30NiCrMo16	1167,8	1,5
Nikel Alaşımları			
INCONEL 600	NiCr15Fe8	695,9	1,4
Nimonic 75	(BCR-661)	749,6	1,9
Nimonic 75	(BCR-661)	754,2	1,3

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet SOY
Doğum Tarihi ve Yeri : 05.07.1993 / İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca, İspanyolca
E-posta : mehmsoy@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Malzeme Programı	Yıldız Teknik Üniversitesi	Devam
Lisans	Metalurji ve Malzeme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lise	Matematik-Fen	Pertevniyal Lisesi	2011

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017-2019	Mercedes-Benz Türk	PEP Projesi Çalışanı
2019-Devam	Roche Müstahzarları A.Ş.	e-Pazarlama Sorumlusu

YAYINLARI

Bildiri

1. Metalik Malzemelerin Oda Sıcaklığında Yapılan Çekme Testlerinde A ve B Tipi Ölçüm Belirsizliklerinin Karşılaştırılması / 4th International Congress on Natural and Engineering Sciences” Uluslararası Kongresi Sözlü Sunumu/ Ekim 2018 / Muğla-Türkiye

