

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYNAK AĞZI AÇISININ VE GEOMETRİSİNİN ZİRH
MALZEMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ
ETKİSİ**

NAZLI EZGİ İPEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

2010

**KAYNAK AĞZI AÇISININ VE GEOMETRİSİNİN ZIRH
MALZEMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ
ETKİSİ**

**THE EFFECTS OF WELDING GROOVE ANGLE AND
GEOMETRY ON MECHANICAL PROPERTIES OF ARMOR
MATERIAL**

NAZLI EZGİ İPEK

Başkent Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
MAKİNE Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2010

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından **MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda**
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan (Danışman) :
(Prof. Dr. Faruk ELALDI)

Üye :
(Prof. Dr. Can ÇOĞUN)

Üye :
(Yrd. Doç. Bedi Cenk BALÇIK)

ONAY

Bu tez 15 / 09 / 2010 tarihinde, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

.../.../2010

Prof.Dr. Emin AKATA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

TEŐEKKÜR

Bu çalıőmanın yűrűtűlmesinde benden yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve desteęiyle tezimi yűnlendiren yűksek lisans danıőmanım saygı deęer hocam Prof. Dr. Faruk Elaldı' ya teőekkűrlerimi sunarım. Deneysel çalıőmalarım sırasında bana çok yardımcı olan saygıdeęer hocalarım Prof. Dr. Ulvi Őeker, Yrd. Doç. Dr. Yusuf Usta' ya çok teőekkűr ederim. Sonlu elemanlar konusunda destekleri nedeniyle sevgili arkadaőım Kıvanç Aksungur'a ve saygıdeęer hocam Yrd. Doç. Dr. Cenk Balçık hocama gűnűlden teőekkűr ederim. Bu çalıőmayı űzellikli kılan malzemenin temini ve test numunelerinin űretimi konusunda desteklerini esirgemeyen 1. Ana Bakım Merkezi Komutanlıęı' na ve ilgili tűm personeline teőekkűrlerimi borç bilirim.

Son olarak bu tezi hazırlarken, her zaman yanımda olan ve beni destekleyen canım aileme ve tűm arkadaőlarıma teőekkűrlerimi sunarım.

ÖZ

KAYNAK AĞZI AÇISININ VE GEOMETRİSİNİN ZIRH MALZEMESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Nazlı Ezgi İPEK

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışmanın amacı, zırh çeliğinden yapılmış plakalardaki kaynak ağzı açısının ve geometrisinin çekme, basma ve eğilme mukavemetine olan etkilerini incelemektir. Numuneler, üç farklı açıda, “V” ve “X” kaynak ağzı geometrilerinde hazırlanarak, MIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Daha sonra, kaynaklı bağlantıların çekme, basma, eğilme deneyleri ile mekanik özellikleri araştırılmıştır. Söz konusu kaynak geometrisi ve kaynak ağzı açısı gibi parametrelerin çekme, basma ve eğilme dayanımlarına olan etkileri ayrıca MSC. MARC sonlu elemanlar programı ile sayısal model oluşturularak incelenmiştir. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar, sayısal sonuçlarla karşılaştırılarak sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Zırh çeliği, çekme ve basma mukavemeti, MIG kaynak yöntemi, mekanik özellikler.

Danışman: Prof. Dr. Faruk ELALDI, Başkent Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü.

ABSTRACT

THE EFFECTS OF WELDING GROOVE ANGLE AND GEOMETRY ON MECHANICAL PROPERTIES OF ARMOR MATERIAL

Nazlı Ezgi İPEK

Baskent University Institute of Science

Department of Mechanical Engineering

The purpose of the study is to examine the effects of welding groove angle and geometry on mechanical properties such as tension, compression and bending strength of butt-welded armor steel. Armor steel plates used in the study were prepared using “V” and “X” type welding geometries and three different types of groove angles and they were welded by MIG welding technique. Tension, compression and three-point-bending tests of welded joints are performed and tensile properties, bending and compression strength of the welded plates were examined. The effects of welding parameters such as welding groove geometry and welding groove angle on tension, compression and bending strength were studied numerically using finite element analysis (FEA). Three-dimensional, elastic-plastic finite element method through software MSC. MARC was applied to determine the strength of armor steel. The experimental and FEA findings are found consistent.

KEYWORDS: Armor steel, tension and compression strength, MIG welding method, mechanical properties.

Supervisor: Prof. Dr. Faruk ELALDI, Baskent University, Department of Mechanical Engineering

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. ZIRH MALZEMELERİ	8
2.1 Seramik Zırhlar	8
2.2 Alüminyum Zırhlar	9
2.3 Titanyum Zırhlar	9
2.4 Kompozit Zırhlar.....	10
2.5 Çelik Zırhlar.....	10
2.5.1 Düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelikler	11
2.5.2 Zırh çeliklerinin özellikleri	11
2.5.2.1 <u>Haddelenmiş homojen zırh çeliği</u>	12
2.5.2.2 <u>Yüksek mukavemetli zırh çelikleri</u>	12
3. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ	14
3.1 MIG (Metal Inert Gas) Kaynağı	14
3.1.1 Örtülü elektrotlar	16
3.1.2 Koruyucu gazlar	17
3.1.3 Damla iletim mekanizmaları	17
3.1.3.1 <u>Sprey ark iletimi</u>	17
3.1.3.2 <u>Kısa ark iletimi</u>	18
3.1.3.3 <u>Uzun ark iletimi</u>	19
3.1.3.4 <u>Vurumlu (pulsed) ark iletimi</u>	21
3.1.4 Akım tipi	22
3.1.5 Çalışma tekniği	24
3.1.6 Kaynak ağızlarının hazırlanması	24
3.1.6 Çeşitli malzemelerin MIG kaynağı.....	26
3.2 MAG Kaynağı.....	26
3.2.1 Kaynak telleri ve kaynak dikişinin özellikleri	27

3.2.2 Kaynak tekniği.....	27
3.3 TIG Kaynağı.....	27
3.3.1 TIG kaynak donanımları.....	29
4. TAHRİBATLI TESTLER.....	31
4.1 Çekme Testi.....	31
4.1.1 Kırılma tipleri	34
4.1.1.1 <u>Makroskopik açıdan kırılma tipleri</u>	34
4.1.1.1.1 Sünek kırılma	34
4.1.1.1.2 Gevrek kırılma.....	34
4.1.1.2 <u>Mikroskopik açıdan kırılma tipleri</u>	34
4.1.1.2.1 Klivaj (ayrılma) kırılması	34
4.1.1.2.1 Kayma kırılması	35
4.2 Basma Testi.....	35
4.3 Eğilme Testi	37
5. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR	39
5.1 DeneYlerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	39
5.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması	40
5.3 Kaynak İşlemleri.....	41
5.4 Çekme DeneYleri	43
5.5 Basma DeneYleri.....	45
5.6 Üç Nokta Eğilme DeneYleri	48
5.7 Bulgular.....	51
5.7.1 Çekme deneYlerinden elde edilen bulgular	51
5.7.2 Basma deneYlerinden elde edilen bulgular	79
5.7.3 Üç nokta eğilme deneYlerinden elde edilen bulgular	105
6. SAYISAL ÇALIŞMALAR	130
6.1 Sonlu Elemanlar Metodu.....	130
6.2 Kaynak Bağlantılarının Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi	131
6.2.1 Ağ yapısı	132
6.2.2 Malzeme ve mekanik özellikler	136
6.2.3 Mekanik gerilme analizi.....	138
6.3 Sayısal Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar	142
6.3.1 Çekme analizi sonuçları	143
6.3.2 Basma analizi sonuçları	156

6.3.3 Üç nokta eğilme analizi sonuçları.....	168
7. DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	179
8. HATA ANALİZİ	193
8.1 Çekme Deney Sonuçları İçin Yapılan Hata Analizi	193
8.2 Basma Deney Sonuçları İçin Yapılan Hata Analizi.....	199
8.3 Üç Nokta Eğilme Deney Sonuçları İçin Yapılan Hata Analizi	205
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	207
7.1 Sonuçlar.....	207
7.2 Öneriler	208
KAYNAKLAR.....	209
ÖZGEÇMİŞ	214

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1.1	MIG kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	14
Şekil 3.1.2	MIG kaynak donanımı blok şeması.....	15
Şekil 3.1.3.2.1	Kısa devre ark iletiminin gösterilişi.....	19
Şekil 3.1.3.3.1	İri damla iletimi.....	20
Şekil 3.3.1	TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.3.1.1	TIG kaynak donanımı prensip şeması.....	30
Şekil 4.1.1	Gerilme-gerinme diyagramı.....	33
Şekil 5.2.1	Yatay işleme tezgahı.....	40
Şekil 5.2.2	Deney parçalarının puntalanması.....	41
Şekil 5.3.1	MIG kaynağı ile birleştirilmiş parçalar.....	41
Şekil 5.3.2	Kaynakta çarpılmayı önleyen aparat.....	42
Şekil 5.3.3	Çekme numune yüzeylerine açılan dişlerin görünüşü.....	43
Şekil 5.4.1	Çekme test cihazı.....	43
Şekil 5.4.2	Çekme test numuneleri.....	44
Şekil 5.4.3	Plakalar için deney numuneleri boyutları.....	44
Şekil 5.5.1	Deneylerde kullanılan basma numuneleri.....	46
Şekil 5.5.2	Basma deney numunelerinin boyutları.....	46
Şekil 5.5.3	Basma testi için hazırlanmış düz plakalar.....	47
Şekil 5.5.4	Basma deney fikstürü.....	48
Şekil 5.6.1	Üç nokta eğilme deney numuneleri.....	49
Şekil 5.6.2	Üç nokta eğilme deney numune boyutları.....	49
Şekil 5.6.3	Üç nokta eğilme deney aparatı.....	50
Şekil 5.6.4	Üç nokta eğilme deneyinde kullanılan tüm aparatlar.....	50
Şekil 5.7.1.1	48V-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	51
Şekil 5.7.1.2	48V-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	52
Şekil 5.7.1.3	48V-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	52
Şekil 5.7.1.4	48V-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	53
Şekil 5.7.1.5	48V-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	53
Şekil 5.7.1.6	48X-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	54
Şekil 5.7.1.7	48X-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	54

Şekil 5.7.1.8	48X-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	55
Şekil 5.7.1.9	48X-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	55
Şekil 5.7.1.10	48X-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	56
Şekil 5.7.1.11	48X-6 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	56
Şekil 5.7.1.12	54V-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	57
Şekil 5.7.1.13	54V-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	57
Şekil 5.7.1.14	54V-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	58
Şekil 5.7.1.15	54V-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	58
Şekil 5.7.1.16	54V-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	59
Şekil 5.7.1.17	54V-6 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	59
Şekil 5.7.1.18	54X-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	60
Şekil 5.7.1.19	54X-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	60
Şekil 5.7.1.20	54X-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	61
Şekil 5.7.1.21	54X-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	61
Şekil 5.7.1.22	54X-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	62
Şekil 5.7.1.23	54X-6 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	62
Şekil 5.7.1.24	60V-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	63
Şekil 5.7.1.25	60V-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	63
Şekil 5.7.1.26	60V-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	64
Şekil 5.7.1.27	60V-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	64
Şekil 5.7.1.28	60V-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	65
Şekil 5.7.1.29	60X-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	65
Şekil 5.7.1.30	60X-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	66
Şekil 5.7.1.31	60X-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	66
Şekil 5.7.1.32	60X-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	67
Şekil 5.7.1.33	60X-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	67
Şekil 5.7.1.34	60X-6 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	68
Şekil 5.7.1.35	Kaynaklı çekme numunelerinin akma dayanımları.....	71
Şekil 5.7.1.36	Kaynaklı çekme numunelerinin çekme dayanımları.....	72
Şekil 5.7.1.37	Kaynaklı çekme numunelerinin elastisite modül değerleri.....	72
Şekil 5.7.1.38	48V kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri.....	74
Şekil 5.7.1.39	54V kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri.....	75
Şekil 5.7.1.40	60V kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri.....	76

Şekil 5.7.1.41	48X kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri.....	77
Şekil 5.7.1.42	54X kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri.....	78
Şekil 5.7.1.43	60X kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri.....	79
Şekil 5.7.2.1	48V-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	80
Şekil 5.7.2.2	48V-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	81
Şekil 5.7.2.3	48V-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	81
Şekil 5.7.2.4	48V-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	82
Şekil 5.7.2.5	48V-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	82
Şekil 5.7.2.6	48V-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	83
Şekil 5.7.2.7	48X-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	83
Şekil 5.7.2.8	48X-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	84
Şekil 5.7.2.9	48X-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	84
Şekil 5.7.2.10	48X-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	85
Şekil 5.7.2.11	48X-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	85
Şekil 5.7.2.12	48X-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	86
Şekil 5.7.2.13	54V-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	86
Şekil 5.7.2.14	54V-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	87
Şekil 5.7.2.15	54V-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	87
Şekil 5.7.2.16	54V-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	88
Şekil 5.7.2.17	54V-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	88
Şekil 5.7.2.18	54V-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	89
Şekil 5.7.2.19	54X-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	89
Şekil 5.7.2.20	54X-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	90
Şekil 5.7.2.21	54X-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	90
Şekil 5.7.2.22	54X-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	91
Şekil 5.7.2.23	54X-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	91
Şekil 5.7.2.24	54X-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	92
Şekil 5.7.2.25	60V-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	92
Şekil 5.7.2.26	60V-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	93
Şekil 5.7.2.27	60V-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	93
Şekil 5.7.2.28	60V-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	94
Şekil 5.7.2.29	60V-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	94
Şekil 5.7.2.30	60V-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	95

Şekil 5.7.2.31	60X-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	95
Şekil 5.7.2.32	60X-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	96
Şekil 5.7.2.33	60X-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	96
Şekil 5.7.2.34	60X-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	97
Şekil 5.7.2.35	60X-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	97
Şekil 5.7.2.36	60X-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı.....	98
Şekil 5.7.2.37	Kaynaklı basma numunelerinin akma dayanımları.....	101
Şekil 5.7.2.38	Kaynaklı basma numunelerinin basma dayanımları.....	101
Şekil 5.7.2.39	Kaynaklı basma numunelerinin elastisite modülü değerleri.....	102
Şekil 5.7.2.40	V Kaynaklı numunelerin basma testinden sonraki görüntüleri..	103
Şekil 5.7.2.40	X Kaynaklı numunelerin basma testinden sonraki görüntüleri..	104
Şekil 5.7.3.1	48V-1 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı	105
Şekil 5.7.3.2	48V-2 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	106
Şekil 5.7.3.3	48V-3 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	106
Şekil 5.7.3.4	48V-4 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	107
Şekil 5.7.3.5	48V-5 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	107
Şekil 5.7.3.6	48V-6 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	108
Şekil 5.7.3.7	48X-1 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	108
Şekil 5.7.3.8	48X-2 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	109
Şekil 5.7.3.9	48X-3 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	109
Şekil 5.7.3.10	48X-4 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	110
Şekil 5.7.3.11	48X-5 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	110
Şekil 5.7.3.12	48X-6 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	111
Şekil 5.7.3.13	54V-1 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	111
Şekil 5.7.3.14	54V-2 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	112
Şekil 5.7.3.15	54V-3 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	112
Şekil 5.7.3.16	54V-4 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	113
Şekil 5.7.3.17	54V-5 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	113
Şekil 5.7.3.18	54V-6 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	114
Şekil 5.7.3.19	54V-7 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	114
Şekil 5.7.3.20	54X-1 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	115
Şekil 5.7.3.21	54X-2 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	115
Şekil 5.7.3.22	54X-3 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	116

Şekil 5.7.3.23	54X-4 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	116
Şekil 5.7.3.24	54X-5 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	117
Şekil 5.7.3.25	54X-6 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	117
Şekil 5.7.3.26	60V-1 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	118
Şekil 5.7.3.27	60V-2 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	118
Şekil 5.7.3.28	60V-3 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	119
Şekil 5.7.3.29	60V-4 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	119
Şekil 5.7.3.30	60V-5 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	120
Şekil 5.7.3.31	60V-6 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	120
Şekil 5.7.3.32	60X-1 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	121
Şekil 5.7.3.33	60X-2 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	121
Şekil 5.7.3.34	60X-3 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	122
Şekil 5.7.3.35	60X-4 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	122
Şekil 5.7.3.36	60X-5 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	123
Şekil 5.7.3.37	60X-6 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı.....	123
Şekil 5.7.3.38	Eğilme numunelerinin elastisite modülü değerleri.....	127
Şekil 5.7.3.39	60V kaynaklı numunelerin eğilme testi sonrası görüntüleri.....	128
Şekil 5.7.3.40	60X kaynaklı numunelerin eğilme testi sonrası görüntüleri.....	129
Şekil 6.2.1.1	Patran’ da oluşturulmuş bir ağ modeli.....	132
Şekil 6.2.1.2	V kaynaklı çekme numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı.....	133
Şekil 6.2.1.3	X kaynaklı çekme numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı.....	134
Şekil 6.2.1.4	X kaynaklı basma numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı.....	134
Şekil 6.2.1.5	V kaynaklı basma numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı.....	135
Şekil 6.2.1.6	V kaynaklı eğilme numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı.....	135
Şekil 6.2.1.7	X kaynaklı eğilme numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı.....	136
Şekil 6.2.2.1	MARC programında tanımlanan malzemelerin gösterimi.....	137
Şekil 6.2.3.1	Zırh çeliğinin gerilme – gerinme grafiği.....	138
Şekil 6.2.3.2	Kaynak metalinin gerilme – gerinme grafiği.....	139
Şekil 6.2.3.3	Sınır koşullarının gösterimi.....	140
Şekil 6.2.3.4	X yönünde hareket sınır koşulunun gösterimi	140
Şekil 6.2.3.5	Basma testi için sınır koşullarının gösterimi.....	141
Şekil 6.2.3.6	-X yönünde hareketin gösterimi	141
Şekil 6.2.3.7	Eğilme testi için sınır koşullarının gösterimi	142

Şekil 6.3.1.1	Deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması	143
Şekil 6.3.1.2	48V için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı	144
Şekil 6.3.1.3	48V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı	145
Şekil 6.3.1.4	48X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı	145
Şekil 6.3.1.5	48X için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	146
Şekil 6.3.1.6	54V için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı	146
Şekil 6.3.1.7	54V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı	147
Şekil 6.3.1.8	54X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı	148
Şekil 6.3.1.9	54X için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı	148
Şekil 6.3.1.10	60V için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	149
Şekil 6.3.1.11	60V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	149
Şekil 6.3.1.12	60X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	150
Şekil 6.3.1.13	60X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	150
Şekil 6.3.1.14	48V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	152
Şekil 6.3.1.15	48X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	152
Şekil 6.3.1.16	54V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	153
Şekil 6.3.1.17	54X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler	153
Şekil 6.3.1.18	60V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	154
Şekil 6.3.1.19	60X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	154
Şekil 6.3.1.20	Çekme analizleri analiz-noktasal gerilme–gerinme grafikleri....	155
Şekil 6.3.1.21	Çekme analizleri mühendislik gerilme – gerinme grafikleri.....	155
Şekil 6.3.2.1	48V için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	156
Şekil 6.3.2.2	48V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	157
Şekil 6.3.2.3	48X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	158
Şekil 6.3.2.4	48X için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	158
Şekil 6.3.2.5	54V için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	159
Şekil 6.3.2.6	54V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	159
Şekil 6.3.2.7	54X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	160
Şekil 6.3.2.8	54X için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	161
Şekil 6.3.2.9	60V için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	161
Şekil 6.3.2.10	60V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	162
Şekil 6.3.2.11	60X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	162
Şekil 6.3.2.12	60X için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	163

Şekil 6.3.2.13	48V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	164
Şekil 6.3.2.14	48X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler	164
Şekil 6.3.2.15	54V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	165
Şekil 6.3.2.16	54X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	165
Şekil 6.3.2.17	60V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	166
Şekil 6.3.2.18	60X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler.....	166
Şekil 6.3.2.19	Basma analizleri analiz-noktasal gerilme-gerinme grafikleri.....	167
Şekil 6.3.2.20	Basma analizleri analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri	167
Şekil 6.3.3.1	48V için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	168
Şekil 6.3.3.2	48V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	169
Şekil 6.3.3.3	48X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	169
Şekil 6.3.3.4	48X için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	170
Şekil 6.3.3.5	54V için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	170
Şekil 6.3.3.6	54V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	171
Şekil 6.3.3.7	54X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	171
Şekil 6.3.3.8	54X için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	172
Şekil 6.3.3.9	60V için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	172
Şekil 6.3.3.10	60V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	173
Şekil 6.3.3.11	60X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	173
Şekil 6.3.3.12	60X için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı.....	174
Şekil 6.3.3.13	48V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik.....	174
Şekil 6.3.3.14	48X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik.....	175
Şekil 6.3.3.15	54V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik.....	175
Şekil 6.3.3.16	54X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik.....	176
Şekil 6.3.3.17	60V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik.....	176
Şekil 6.3.3.18	60X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik.....	177
Şekil 6.3.3.19	Eğme analizleri gerilme – gerinme grafikleri.....	178
Şekil 7.1	48V çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler.....	179
Şekil 7.2	48X çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler.....	180
Şekil 7.3	54V çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler.....	180
Şekil 7.4	54X çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler.....	181
Şekil 7.5	60V çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler.....	181
Şekil 7.6	60X çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler.....	182

Şekil 7.7	48V basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler.....	182
Şekil 7.8	48X basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	183
Şekil 7.9	54V basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	183
Şekil 7.10	54X basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	184
Şekil 7.11	60V basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	184
Şekil 7.12	60X basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	185
Şekil 7.13	48V eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	186
Şekil 7.14	48X eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	186
Şekil 7.15	54V eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	187
Şekil 7.16	54X eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	187
Şekil 7.17	60V eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	188
Şekil 7.18	60X eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler	188
Şekil 8.1.1	Varyans analizi genel tablo.....	194
Şekil 8.1.2	Akma dayanımı çoklu karşılaştırma tablosu.....	195
Şekil 8.1.3	Çekme dayanımları varyans analizi genel tablo.....	196
Şekil 8.1.4	Çekme dayanımları çoklu karşılaştırma tablosu.....	197
Şekil 8.1.5	Elastisite modülü varyans analizi genel tablo.....	198
Şekil 8.1.6	Elastisite modülü çoklu karşılaştırma tablosu.....	199
Şekil 8.2.1	Akma dayanımı varyans analizi genel tablo.....	200
Şekil 8.2.2	Akma dayanımı çoklu karşılaştırma tablosu.....	201
Şekil 8.2.3	Basma dayanımı varyans analizi genel tablo.....	202
Şekil 8.2.4	Basma dayanımı çoklu karşılaştırma tablosu.....	202
Şekil 8.2.5	Elastisite modülü varyans analizi genel tablo.....	203
Şekil 8.2.6	Elastisite modülü çoklu karşılaştırma tablosu.....	204
Şekil 8.3.1	Elastisite modülü varyans analizi genel tablo.....	205
Şekil 8.3.2	Elastisite modülü çoklu karşılaştırma tablosu.....	206

ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1.1 Zırh çeliğinin kimyasal bileşimi (%).....	39
Çizelge 5.1.2 Zırh çeliğinin mekanik özellikleri.....	39
Çizelge 5.1.3 Kaynak metalinin kimyasal bileşimi.....	39
Çizelge 5.1.4 Kaynak elektrodunun mekanik özellikleri.....	40
Çizelge 5.3.1 Kaynak parametreleri.....	42
Çizelge 5.4.1 Çekme deney numunelerinin boyut ve ölçüleri.....	45
Çizelge 5.5.1 Basma deney numunelerinin boyut ve ölçüleri.....	47
Çizelge 5.4.1 Eğme test numunelerinin boyut ve ölçüleri.....	50
Çizelge 5.7.1.1 48V kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları.....	68
Çizelge 5.7.1.2 54V kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları.....	69
Çizelge 5.7.1.3 60V kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları.....	69
Çizelge 5.7.1.4 48X kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları.....	70
Çizelge 5.7.1.5 54X kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları.....	70
Çizelge 5.7.1.6 60X kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları.....	70
Çizelge 5.7.2.1 48V kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları.....	98
Çizelge 5.7.2.2 54V kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları.....	99
Çizelge 5.7.2.3 60V kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları.....	99
Çizelge 5.7.2.4 48X kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları.....	99
Çizelge 5.7.2.5 54X kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları.....	100
Çizelge 5.7.2.6 60X kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları.....	100
Çizelge 5.7.3.1 60V kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları.....	124
Çizelge 5.7.3.2 54V kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları.....	124
Çizelge 5.7.3.3 48V kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları.....	125
Çizelge 5.7.3.4 60X kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları.....	125
Çizelge 5.7.3.5 54X kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları.....	126
Çizelge 5.7.3.6 48X kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları.....	126
Çizelge 6.2.1.1 Numuneler için kullanılan eleman sayıları	133
Çizelge 6.2.2.1 Zırh çeliği özellikler.....	137
Çizelge 6.2.2.2 Paslanmaz çelik elektrotun özellikleri.....	137

Çizelge 6.3.1.1	Çekme analizlerinden elde edilen sonuçlar.....	156
Çizelge 6.3.2.1	Basma analizlerinden elde edilen sonuçlar.....	168
Çizelge 6.3.3.1	Eğilme analizlerinden elde edilen sonuçlar.....	178
Çizelge 7.1	Çekme deneylerinden ve analizlerinden elde edilen sonuçlar....	189
Çizelge 7.2	Basma deneylerinden ve analizlerinden elde edilen sonuçlar....	189
Çizelge 7.3	Eğilme deneylerinden ve analizlerinden elde edilen sonuçlar....	190

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ε	Gerinme
ν	Poisson oranı
σ	Gerilme
L_0	İlk ölçü uzunluğu
L_c	Paralel uzunluk
L_s	Makine işleminden sonra kaynağın en büyük genişliği
L_t	Deney numunesinin toplam uzunluğu
L_u	Son ölçü uzunluğu
S_0	İlk kesit alanı
R_m	Çekme dayanımı
R_{eH}	Üst akma dayanımı
R_{eL}	Alt akma dayanımı
A	Kopma uzaması
E	Elastisite modülü
Z	Kesit daralma yüzdesi
a	Deney numunesinin kalınlığı
b	Kalibre edilmiş paralel uzunluğun genişliği
[K]	Rijitler matrisi
[R]	Bilinen yük vektörü
[D]	Düğümelerde bilinmeyen değerleri temsil eden vektör
MIG	Metal inert gaz
MAG	Metal aktif gaz
TIG	Tungsten inert gaz
RHA	Haddelenmiş homojen zırh çeliği
FEA	Finite element analysis
MMO	Makine Mühendisleri Odası
HSLA	High strength low alloy
ITAB	Isı tesiri altındaki bölge
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
ANOVA	Analysis of variance

1. GİRİŞ

Koruyucu amaçlı olarak kullanılan zırh malzemeleri sivil ve askeri amaçlı birçok kara, hava, deniz ve hatta uzay aracında kullanım alanı bulmuştur. Günümüzde tank ve benzeri savunma amaçlı araçlarda zırh çeliği yaygın kullanılmaktadır. Zırh çeliklerinin yaygın olarak kullanılmasının başlıca nedeni, bu çeliklerin sahip olduğu yüksek dayanım, yeterli tokluk, iyi kaynaklanabilirlik gibi malzeme özellikleri ve çeliklerin diğer zırh malzemelerine göre daha düşük olan üretim maliyetleridir.

Zırh çeliklerinin düşük karbon içeriğine sahip olması darbe dayanımı açısından son derece önemlidir. Çelik içindeki alaşım elementleri özellikle de karbon kaynaklanabilirliği önemli ölçüde etkilemektedir. Çelik içerisindeki karbon miktarı arttıkça kaynak bölgesinde çatlak oluşumu artar. Bu tür çatlaklar çelik performansını olumsuz yönde etkilediği için kaynak sonrası bazı işlemlerle bunların giderilmesi gerekir. Ek işlemlerin üretim maliyetlerini olumsuz yönde etkilemesi nedeniyle bu tür çeliklerin düşük karbonlu olması iyi kaynaklanabilirlik açısından gereklidir. Dolayısıyla zırh çeliklerinin düşük karbon içermesi kaynaklanabilirlik ve tokluk özellikleri açısından son derece önemlidir. Her iki özellik de zırh çeliklerinin etkin olarak kullanımında belirleyici bir role sahiptir [1].

Günümüzde metallerin birleştirilmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden birisi kaynak tekniğidir. Kaynak; metalik veya termo-plastik malzemelerin ısı, basınç veya her ikisinin etkisi altında bir malzeme ilavesi yaparak veya ilave malzeme kullanmadan gerçekleştirilen bir birleştirme işlemidir. Kaynak, birçok metal konstrüksiyonun imalatında kullanılmaktadır. Kaynak işlemi binalarda, boru hatlarında, nükleer güç ve ısı santrallerinin yapımında, otomotiv sanayinde, gemi yapımında, rafineri, kazan imalatında, uzay araçlarının yapımında, köprü inşalarında ve benzer birçok yerde uygulama alanı bulmaktadır. Kaynak tekniğinde hızlılık, ekonomiklik, güvenli ve düzgün bir bağlantı, en başta aranan özelliklerdir. Bu özelliklerin eksikliği, kaynağın zamanında yapılamaması, kaynağın hatalı olması ve kaynak maliyetinin yüksek olması gibi dezavantajlar ortaya çıkarmaktadır [2]. Kaynaklı bağlantılarda özellikle kaynak geometrisi çok önemlidir. Kaynak ağzının seçimi kullanılan malzeme, malzemenin kalınlığı ve kaynak yöntemine göre değişiklik gösterir. Çelik sac kalınlığı arttıkça kaynak ağzının açısı, dolayısı ile ek malzeme kullanımı ve sıvı metal havuzunun hacmi artmaktadır.

Kaynak bağlantı hacminin büyük tutulması beraberinde bazı problemleri de getirmektedir. Mikro-gözenek gibi kaynak hatalarının meydana gelme olasılığı yükselmekte ve kaynak malzemesinin maliyeti yükselmektedir. Bu nedenle kaynak bağlantı malzemesinin hacmi mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır. Kaynak ağzı geometrisinin ve boyutlarının seçimi ile kaynak işlevinin uygulanması kolaylaşır, ek malzemenin daha iyi nüfuz etmesi sağlanır, kaynak sırasında kaynak malzemesinin soğuması kontrol edilir, kaynak sonrası artık iç gerilmelerin etkisi azaltılabilir, maliyeti düşürülebilir [3] .

Bu konuya benzer daha önceden yapılmış çalışmalarda;

Kölük vd., [4] östenitik paslanmaz çelik malzemeyi (AISI 304 kalite), örtülü elektrod, MIG ve TIG kaynak yöntemleri ile "X" ve "V" kaynak ağzı biçimlerinde birleştirmişler ve bağlantıların dayanımlarını tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda, korozyon, mukavemet ve görünüş bakımından östenitik paslanmaz çelikleri ile örtülü elektrod, TIG, MIG kaynak yöntemleri kullanarak ana metalden farklı olmayan kaynaklı birleştirmelerin yapılabildiğini ve "V" kaynak ağzı konfigürasyonu kullanarak yüksek çekme dayanımı elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Şık A., [5] yapı çeliğini V-kaynak ağzı biçiminde, değişik gaz karışım oranlarında MIG/MAG kaynağı ile birleştirmiş, kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini incelemiştir. MIG/MAG kaynak yönteminde kullanılan gaz karışımlarının malzemenin dayanımını etkilemektedir. En iyi kaynak dikişi O₂ ilavesi yapılan karışımlarda görülmüş, mekanik özelliklerin iyileştirilebilmesi için argon ağırlıklı karışım gazlarının kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Argon gazına katılan CO₂ ve O₂ arkın kararlılığını arttırmakta ve daha düzgün bir kaynak dikişi vermektedir.

Şık A., [6] diğer bir çalışmada, üç farklı gaz karışımında MIG/MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen V-kaynak bağlantılarının çekme dayanım özelliklerini incelemiştir. Koruyucu gaz atmosferi altında yapılan kaynaklar sonucunda, çekme dayanımının, akma dayanımının ve % uzama miktarlarının değişmesi kaynak atmosferinin bir sonucu olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada MIG/MAG kaynak yönteminin, kullanılması halinde 88Ar+10CO₂ gaz karışımının en yüksek çekme dayanımını veren V-tipi kaynak bağlantısı olduğu sonucuna varılmıştır.

Li L. vd., [7] Al(Al7075-T6) levhaları, tek V-ağız ve TIG kaynağı kullanarak birleştirmişlerdir. 0°, 25°, 50°, 75° ve 90° açılarında V-ağız alın kaynak bağlantısı tasarımlarının, Al levhanın mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, kaynak bağlantısı tasarımının bağlantı dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olduğuna değinmişlerdir.

Cheng C. M. vd., [8] üç çeşit Al alaşımına tek V-ağız açılarak gaz TIG kaynağı uygulamışlar ve değişik V-uygulama açılarında oluşan açısız çarpımları incelemişlerdir. V-uygulama açısının kaynak açısız çarpılmasını etkilediğini ve V-uygulama açısı 60° olduğu zaman açısız çarpılmanın azaldığını belirtmişlerdir.

Lakshminarayanan A.K. vd., [9] 90° ve 60° V-alın kaynak geometrileri kullanarak Al(AA6061) alaşımını TIG, MIG kaynağı ile birleştirmişler ve kaynak işlemlerinin Al alaşımının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. MIG kaynak bağlantılarının dayanımının, TIG kaynak bağlantılarına göre düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bunu, MIG kaynağının yapılması esnasında çok yüksek ısı oluşması ve dolayısı ile ergimiş bölgede (sıvı metal havuzu) deformasyona karşı düşük direnç gösteren yapıların meydana gelebileceği ve dolayısıyla söz konusu kaynak bağlantısının dayanımının azaltılması şeklinde yorumlamışlardır.

Benzer bir malzeme ile yapılan bir çalışmada Taban E. vd., [10] dövme alüminyum levhaları MIG ve TIG metodları ile birleştirmişlerdir. Mekanik özellikleri saptamak için kaynaklı bağlantılara çekme ve eğilme deneyleri uygulamışlardır. TIG kaynaklı bağlantıların mukavemetinin, MIG kaynak bağlantılarına göre yüksek çıktığını belirtmişlerdir. Bunun sebebini TIG kaynağındaki ısı girdisinin düşük olmasına bağlamışlardır.

Michaleris P. vd., [11] tarafından yapılan bir çalışmada, kaynağın sebep olduğu çarpılmayı belirlemek için ABAQUS programında bir sayısal analiz metodu kullanılmıştır. Kullanılan sayısal metot, ayırık yaklaşımda üç boyutlu yapısal analizler ile iki boyutlu kaynak simülasyonlarının birleşiminden oluşmaktadır. Sayısal metot ile kaynağın sebep olduğu burkulma incelenmiştir. Bir tasarım elemanı olarak kaynak işlemlerinin etkisi, tasarım şekillerinin değerlendirilmesinde ve optimizasyonunda kullanılabilir. Bir üretim analiz elemanı olarak ise, farklı kaynak yöntemleri ve işlemleri çarpımların azaltılmasına için

değerlendirilebilir. Çalışmada kullanılan metot verimli ve etkin bulunmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlar, sayısal model yaklaşımını doğrulamaktadır.

Gök A., vd., [12] tarafından yapılan bir çalışmada, aynı kalınlıkta alın kaynağı ile birleştirilmiş çelik levhaların üç farklı kaynak geçiş formunda Franc2d/L sonlu elemanlar yazılımı ile iki boyutlu statik analizleri gerçekleştirilmiş, üç farklı kaynak geçişi için gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. Farklı geçiş bölgelerine sahip kaynaklı levhaların geçiş bölgelerinde meydana gelen X ve Y yönlerindeki gerilmeler incelenmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, genel olarak kaynak geçiş bölgelerinin başlangıcında maksimum gerilmeler meydana gelmiştir, kaynak boyunca bu gerilmelerde azalma olduğu görülmüştür. İlk kaynak noktasından başlayarak farklı geçiş formları ile gerilme değerlerinin düştüğü ve belirli bir kaynak uzunluğundan sonra gerilme değerlerinin aynı kaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda kritik bölgeden uzaklaştıkça farklı geçiş formları ve uzunlukları için gerilme değerlerinde önemli değişimler gözlemlenmemiştir. Üç farklı kaynak geçiş formunun analiz sonuçlarına göre X yönünde meydana gelen maksimum gerilme değerinin yani maksimum kritik bölgenin, dışbükey geçiş bölgesinde en yüksek olduğu görülmüştür. Y yönünde meydana gelen maksimum gerilme düz geçiş bölgesinde gözlemlenmiştir, levhaların uç bölgelerinde minimum gerilmeler elde edilmiştir.

Jiang W., vd., [13] tarafından yapılan bir çalışmada çift V geometrisinde, çok pasolu kaynak işleminin analizini yapmak için ANSYS programında üç boyutlu ısı-mekanik sonlu eleman modeli geliştirilmiştir. Büyük deformasyonlar, malzeme kalıntıları, sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri, ısı kaynağı gibi kaynakla bağlantılı lineer olmayan durumlar dikkate alınmıştır. Üç boyutlu ısı - mekanik modele, kaynak dolgu metali eklenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, üç boyutlu sonlu eleman modeli için hiçbir geometrik basitleştirmeye ihtiyaç olmadığı ve artık gerilmeyi belirlemek için bu modelin karmaşık geometrilerde kaynak edilmiş parçalara uygulanabileceği görülmüştür.

Zhang H.J., vd., [14] tarafından yapılan bir çalışmada, çok pasolu ark kaynağı ile birleştirilmiş düşük alaşımlı çelik plakalardaki gerilme dağılımının tahmini için, sonlu eleman analizi kullanılarak MARC programında üç boyutlu sayısal model oluşturulmuştur. Çok pasolu ark kaynağının sayısal modelindeki zamana bağlı

sıcaklık dağılımı, arka pasodaki gerilmeler ve artık gerilmeler tek pasolu ark kaynağı ile karşılaştırılmıştır. Sayısal model, pasolardaki gerilme analizi, Von-Misses eşdeğer gerilme analizi, artık gerilme analizinden oluşmaktadır. Çok pasolu ark kaynağının pasolar arası gerilme analizine göre, ilk ve son pasolardaki gerilmeler diğer pasolara göre daha yüksek çıkmıştır. Çok pasolu ark kaynağındaki enine artık gerilmeler, tek pasolu ark kaynağındaki gerilmelere göre daha düşüktür. Bu durumun, iki taraftaki ısı-dengesizlik ve tek pasolu ark kaynağındaki sıcaklık derecelerinin daha yüksek olmasına bağlı olduğu bulunmuştur.

Çelik A., vd., [15] tarafından yapılan bir çalışmada, AISI304 paslanmaz çelik ile St-37 ferritik çelik TIG kaynak yöntemi kullanılarak alın kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynaklı malzemelerin mekanik ve metalürjik özellikleri deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Mekanik özelliklerin saptanması için deney malzemeleri çekme işlemine tabi tutulmuştur. Farklı malzemelerin kaynağında meydana gelen gerilme dağılımları, ANSYS bilgisayar paket programında sonlu elemanlar metodu kullanılarak araştırılmıştır. Elastik-plastik gerilme analizi için çekme numunesi modellenmiştir. Farklı malzemelerin çekme deneyine göre kırılma, ferritik çelik ile dolgu malzemesi arasındaki bölgede meydana gelmiştir. Ferritik-östenitik çeliklerin kaynaklı birleştirmesi için sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan elastik-plastik gerilme analizi sonucunda, gerilme konsantrasyonunun ferritik çelik ile dolgu malzemesi geçiş yerinde olduğu belirlenmiştir. Bu da kırılmanın bu bölgede olacağını göstermiştir ve deney sonuçları ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Terasaki T., vd., [16] tarafından yapılan bir çalışmada, çift pasolu kaynakta oluşan kaynak deformasyonu sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Kaynak ısı geçişi ve iki paso arasındaki mesafenin kaynak deformasyonu üzerindeki etkileri ABAQUS programında ısı elastik-plastik analiz kullanılarak incelenmiştir. Sayısal analiz sonuçlarına göre, her bir pasodaki dikey çekme, kaynak çizgisine paralel olan gerilme dağılımına göre belirlenmiştir. Çift paso atıldıktan sonraki gerilme dağılımı, tek pasodaki duruma göre daha yüksek çıkmıştır. Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması sonucunda, çalışmada kullanılan sayısal metodun kaynak deformasyonunu belirlemede kesin sonuçlar veren bir metod olduğu belirtilmiştir.

Deng D., vd., [17] tarafından yapılan bir çalışmada 1 mm kalınlığında, düşük karbonlu çelikten yapılmış alın-kaynaklı bağlantılardaki kaynak çarpılmasını incelemek amacıyla üç boyutlu, ısıl elastik-plastik, büyük deformasyon (large displacement) sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Büyük deformasyon teorisi ile karşılaştırma yapmak amacıyla, kaynak deformasyonu ve artık gerilmelerin analizi için küçük deformasyon teorisi de kullanılmıştır. İnce kaynaklı plakalarda, kaynak sıcaklık alanı, plastik gerinme dağılımı ve artık gerilmeler sayısal olarak incelenmiştir. Büyük deformasyon analizinden elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlara daha yakın çıkmıştır. Analizlere göre, kaynak deformasyonunu belirlemede elastik sonlu eleman metodunun da doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Wu A., vd., [18] tarafından yapılan bir çalışmada, iki çelik plakanın alın kaynaklı birleştirme işlemi simüle edilmiştir. Kaynağın sonlu eleman analizi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak kaynaktaki sıcaklık dağılımını elde etmek için lineer olmayan geçici bir ısıl analiz yapılmıştır. Gerilme analizi ısıl analizden elde edilen sıcaklıklar ile geliştirilmiştir. Yapılan analizlerde ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Kaynak metali ile esas metalin ısıl ve mekanik özelliklerinin aynı olduğu varsayılmıştır. Literatürde elde edilen sonuçlarla, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak modelin geçerliliği kanıtlanmıştır.

Tank ve benzeri savunma araçlarının parçalarının montajında ve gerekli sistemlerin monte edilmesinde kaynak işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla zırh çeliklerinin kaynak kabiliyeti ve zırh çeliği kullanılarak elde edilen kaynak bağlantılarının dayanımı önem kazanmaktadır. Bu konuda yapılan literatür araştırmalarında, zırh çelikleri kullanılarak yapılan farklı açılara sahip kaynak bağlantılarının mekanik özellikleri üzerine detaylı olarak yapılmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle yapılan bu çalışma ayrı bir öneme sahiptir. Bu kapsamda uluslararası standartlara göre tasnif edilmiş zırh malzemesi kullanılarak hazırlanan numunelere 3 farklı açıda V-ağız ve X-ağız geometrilerinde kaynak ağzı açılmış ve MIG kaynak tekniği kullanılarak kaynak yapılmıştır. Hazırlanan kaynak bağlantılı numunelerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla çekme, basma, üç nokta eğilme gibi tahribatlı test yöntemleri uygulanmıştır. Kaynak ağzı açıları değiştirilerek elde edilen numunelerde kaynak ağzı açılarının çekme,

basma ve eğilme dayanımına olan etkileri sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Sayısal alışmalar MARC sonlu elemanlar programında gerçekleştirilmiştir. Sayısal elde edilen sonuçlar ile deneysel elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. ZIRH MALZEMELERİ

Zırh uygulamaları için gerekli olan malzemelerin seçimi, tehdit niteliğindeki değişik türdeki silahlar ve bunlara ait mermi tiplerinin değerlendirilmesini de içerdiğinden çok boyutlu bir çalışmadır. Zırh plakalarında bulunması gereken başlıca özellikler dayanıklılık, ısıya ve kimyasallara dayanım, düşük ağırlık, süneklik, işlenebilirlik ve tedarik edilebilirlik olarak sayılabilir. Çağdaş savunma teknolojilerinde yaygın kullanıma aday zırh malzemelerinde her türde ileri malzeme kullanılabilir. Personel ve zırhlı araç koruması için öngörülen zırh malzemeleri;

- a) Seramik ve Cam: Oksit esaslı alumina, zirkonya, titanya ve kromya; oksit-dışı esaslı bor karbür, silikon karbür, borür ve nitrürler; silikon karbür/alüminyum; camlar: S-2 zırh camlar.
- b) Metalik: Sert çelikler, zırh çelikleri, hafif alüminyum alaşımları, hafif titanyum alaşımları,
- c) Polimer Kompozit: Cam takviyeli plastik lamineler, aramid elyaf takviyeli plastikler, kevlar petek sandviç paneller, karbon kompozitler.

2.1 Seramik Zırhlar

Seramik esaslı malzemelerin özellikle hafif zırhlı sistemlerin bir parçası olarak kullanılmasının nedeni, genel olarak yüksek sertlik ve düşük yoğunluk göstermelerinden ileri gelmektedir. Bu teknik özellikler tehdit türünün çelik çekirdekli veya zırh delici mermi olması durumunda oldukça önem kazanır. Ancak seramikler gevrek kırılma gösteren malzemeler olmaları nedeni ile merminin veya delicinin yaptığı darbe ile ufak parçacıklar halinde kırılabilirler. Balistik hedef levhası yüzeyindeki sert seramik malzemenin amacı, gelen delicinin sivri ucunun ve delicinin kendisinin kırılmasını sağlamakken, seramiklerin yapıştırdığı balistik özellikli altlık malzemesinin amacı ise parçalanmış olan delicinin kinetik enerjisinin emilmesi ve parçacıklarının tutulmasıdır. Bu özellikleri nedeniyle, seramik destekli zırh sistemleri, dış yüzeyi sertleştirilmiş fakat iç kısımları yumuşak olan geleneksel çelik zırhlara benzemekle birlikte aynı balistik tehdit dereceleri için çok daha hafif olmaları nedeni ile büyük avantaja sahiptirler [19].

Tüm metalik zırhlardan daha sert ve hafif olan seramikler eğilme gerilmelerine karşı zayıf yapısını destekleyen kompozit malzeme, zırh çeliği, alüminyum ve çelik alaşımları ile birlikte zırh sistemlerinde kütleli etkinliği yüksek çözümler üretmektedir. Ön yüzeyde kullanılan seramikler, sahip oldukları yüksek sertlik, basma mukavemeti ve aşınma dayanımlarından dolayı, balistik darbe anında yüzeye yüksek hızda çarpan mermileri körleştirmek ve bunlar üzerinde deforme ve tahrip edici bir şok dalgası oluşturmak görevini üstlenmektedir [20].

2.2 Alüminyum Zırhlar

Çeliğe göre yaklaşık üçte bir oranındaki yoğunluklarıyla alüminyum alaşımları hava aracı zırhı olarak büyük ilgi çekmektedir. Belirli alaşımlar standart uçak gövdesi alaşımlarından (T3/T351 temperli 2024) ve kanat alaşımlarından (7075-T651 ve 7178-T651) daha iyi balistik koruma sağlasa da kazanımlar fazla değildir. 7039-T64 ve 5083-H131 alaşımları gibi geleneksel alüminyum zırh malzemeleri, hava aracı yapısal alaşımlarının biraz üzerinde balistik limitlere sahiptir. Araştırmalar mukavemetin artmasıyla balistik performansın geliştiğini göstermişse de bu çok önemli miktarlarda değildir. 2519 alüminyum zırh plakasında yapılan şekilsel değişikliklerin balistik performansta bir iyileştirme oluşturmadığı görülmüştür. Alüminyum alaşımları plakalar ve dövme 206 alüminyum; sert seramik ve takım çeliği döşemelerin ön ve arkasında muhafaza plakaları olarak kullanılmışlardır [19].

2.3 Titanyum Zırhlar

Geliştirilen ilk titanyum alaşımlarının balistik testler sonucunda aşırı derecede gevrek oldukları tespit edilmesine rağmen; ABD Silahlı Kuvvetleri 1950' lerin ortalarında, iyileştirilmiş performansa sahip titanyum alaşımlarının geliştirilmesi amacıyla yürütülen çalışmalara destek vermiştir. Bu çalışmalar sonucunda, yapısal uygulamalarda en yaygın kullanılan ve titanyum zırh alaşımı olarak tercih edilen Ti-6Al-4V malzemesi geliştirilmiştir. Yıllar boyunca diğer titanyum alaşımları balistik değerlendirmelere tabi tutulmuşlarsa da Ti-6Al-4V' ye belirgin bir üstünlük sağlayamamışlardır. Titanyum alaşımları, etkileyici bir tokluk seviyesiyle yüksek bir mukavemet - ağırlık oranı sunduklarından, hava aracı zırhı gibi uygulamalarda göz

ardı edilmemelidir. Titanyum alaşımları; koruyucu ve yapısal performansın istenildiği, boş ağırlığın sınırlı olduğu ve maliyet unsurlarının ikinci planda dikkate alındığı yüksek performanslı askeri hava araçlarında kullanılacak en uygun malzemeler sınıfına girebilirler.

2.4 Kompozit Zırhlar

Günümüzde metaller gibi klasik malzemelerin birçok özellikleri gelişen teknolojinin ihtiyaçları için yeterli olamayınca, daha üstün özelliklere sahip olan kompozit malzemeler üretilmeye başlanarak bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Klasik malzemelere göre kompozit malzemelerin en belirgin özellikleri hafiflik ve sağlamlıklarıdır. Yapılan araştırma ve geliştirmeler neticesinde, bu malzemelerin çekme, darbe dayanımlarının artırılması; yorulma, kimyasal direnç ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuş ve kompozit malzemeler yaygın şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır.

2.5 Zırh Çelikleri

Çelik temel zırh tipidir ve yüzyıllardan beri kullanılmaktadır. Çelik zırhlarda korumanın zırhın kalınlığına dayanması nedeniyle, diğer modern zırh tipleriyle karşılaştırıldıklarında etkinliklerinin düşük olduğu görülmektedir. Modern yüksek patlayıcı ve kinetik enerjili savaş başlıklarına karşı yeterli korumayı sağlayabilecek kalınlıktaki bir çelik zırh, kullanılabilirlik sınırlarının ötesinde aşırı bir büyüklüğe sahip olacaktır. Bununla birlikte çelik zırhların etkinliği, plakaların eğimlendirilmesi ve yuvarlaklaştırılması ile artırılabilir. Çelikler çarpan mermileri etkisiz hale getirme etkinliklerinin yanı sıra diğer zırh malzemelerine göre daha az maliyetlidirler. Yapısal olarak mükemmel, kaynaklanabilir, dayanıklı, şekillendirilebilir, korozyona dirençli, diğer yapısal unsurlarla uyumlu ve sahada onarılabilmek için çeliklerin diğer avantajlarıdır. Balistik koruma amaçlı olarak çelikler, zırhlarda yapısal olarak fonksiyon yapmanın yanı sıra çok çeşitli tehdiye karşı kullanılabilme imkanı sağlayacak şekilde mukavemet, tokluk ve sertliği kontrol etmek amacıyla bileşimsel ayarlamalar ve termo-mekanik işlemler uygulamak suretiyle modifiye edilebilirler [19].

Zırh çelikleri, az alaşımlı yüksek mukavemetli yapı çeliklerine girdiğinden, az alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerle ilgili de bilgi vermek yararlı olacaktır.

2.5.1 Düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelikler

Günümüzde çelik teknolojisinde düşük üretim maliyetleri yanında modern yapıların tasarımında ve üretiminde yüksek kaynak edilebilirlik ve tokluk değerleri aranmaktadır. Bu isteklere cevap verebilen ve üreticilerin günün ihtiyaçlarına uygun olarak sunabildikleri çelik kategorisi düşük alaşımlı yüksek mukavemetli çelikler (HSLA) olmuştur [21]. Metalürjik açıdan ince taneli yüksek mukavemetli ya da mikro alaşımlı olarak bilinen çelikler; sıradan karbon çeliklerine göre; yüksek mukavemet daha iyi tokluk ve daha üstün kaynak kabiliyeti özellikleri ve belli koşullardaki ortamlarda daha yüksek korozyon direnci kazandırılması için küçük miktarlarda alaşım elementi ihtiva edecek biçimde üretilmektedir [22].

2.5.2 Zırh çeliklerinin özellikleri

Zırh çelikleri alaşımlı çelikler olup kimyasal kompozisyon açısından, kendileri gibi sertleştirme (östenitleştirme ve su verme basamaklarından oluşur) ile temperleme aşamasından geçen ıslah çelikleri ile benzer bir kompozisyon gösterir. Nihai konumda bu çelikler yüksek temperlenmiş, yani çökelti ile sertleşen martenzitik bir mikroyapı içerir. Zırh çelikleri martenzitik karakterde olduğu için kullanım özelliklerini, yani optimum mukavemet (sertlik) ve tokluk kombinasyonunu, östenitleştirme ve su verme sonrası yapılan menevişleme (temperleme) ile elde ederler. Genelde yalın karbonlu çeliklerin temperlemesinde su verme sonrası martenzit içinde bulunan karbon Fe ile birleşerek sementit (Fe_3C) çökmesine yol açar ve böylece çökeltme sürecinde martenzitin ferrite dönüşmesiyle sertlik düşer. Ancak çelik bileşiminde varolan kuvvetli karbür yapıcı elementler, karbon ile çok daha yüksek temperleme sıcaklıklarında birleşerek değişik tip özel karbür (MC , M_2C vb.) çökeltisine neden olurlar. Bunun sonucu olarak yükselen sertliğe ikincil sertlik adı verilir. Bu karakteristik sertlik artışı karmaşık bir çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla oluşur. İkincil sertlik direkt olarak sertleştirme sürecinde östenitin karbon ve alaşım elementleriyle doyum seviyesine bağlıdır. Sertleşme işleminde

ise zırh çeliklerinde 900 - 950⁰C seviyesinde yapılan östenitleştirme sonucu matriksin gerekli karbon ve karbür oluşturuca alaşım elementleriyle doyumunu sağlanarak su verilir. İşlemdede oluşan lata tipi martenzit standart bileşimlerde (homojen zırh çelikleri) ortalama 600 ⁰C' de temperlenir [23]. Zırh çelikleri, genel olarak az alaşımlı yüksek mukavemetli yapı çelikleridir. Haddelenmiş homojen zırh çeliği ve yüksek mukavemetli çelik olmak üzere iki çeşit zırh çeliği vardır.

2.5.2.1 Haddelenmiş homojen zırh çeliği

Geleneksel zırh çeliği kalınlıklarının gelişen tehditler karşısında artması, kolay şekillenebilme ve kaynaklanabilme özelliklerine sahip haddelenmiş homojen zırh çeliğinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Çeliğe haddeme, ısıtılıp su vererek sertleştirme, tekrar ısıtılarak menevişleme işlemlerinin sırayla uygulanması sonucu tok, sünek ve homojen bir yapı elde edilmesi sağlanmıştır [24].

Karakteristik iki zırh çeliği türü olan homojen zırh çelikleri ile yüksek sertlikli zırh çelikleri arasındaki ana farklılık temperleme sıcaklığında yatmaktadır. Homojen zırh çeliklerinin martenzitik mikro - yapısı 550- 600⁰C'de temperlenir. Haddelenmiş homojen zırh çeliklerinin başlıca uygulama alanını, tank, obüs ve zırhlı muharebe araçlarının mermi, parçacıklara karşı korunması oluşturmaktadır [25].

2.5.2.2 Yüksek mukavemetli zırh çelikleri

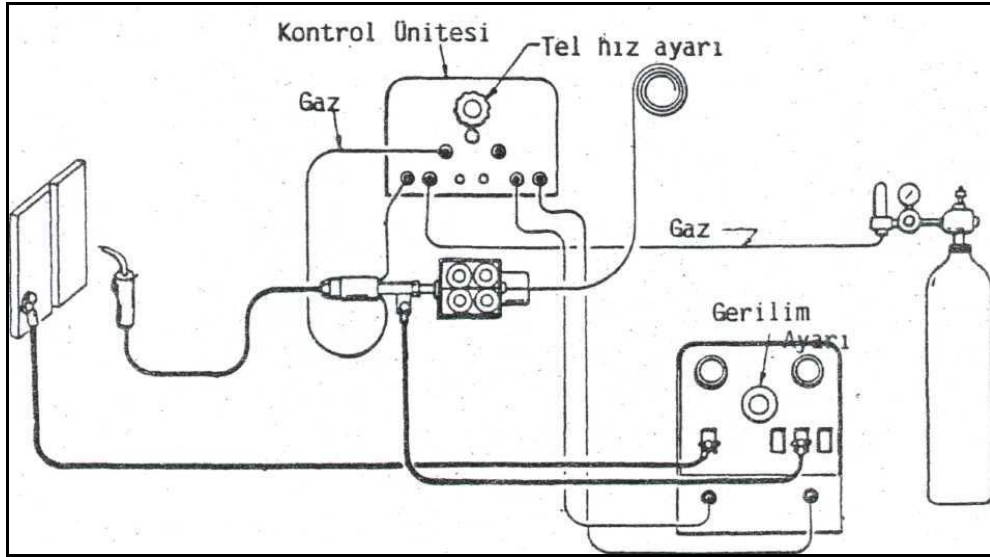
Yüksek sertlikte zırhın (High Hardness Armour) imalat yöntemi haddelenmiş homojen zırh çeliğine (RHA) benzemekte olup, 540 BSS veya 550 BSS' ye kadar varan yüksek sertlik değerlerine sahiptir, ancak kimyasal kompozisyon ve metalürjik prosesleri haddelenmiş homojen zırh çeliğinden farklı bir zırh çeliğidir. Yüksek sertlikte zırh çeliği günümüzde paletli ve tekerlekli zırhlı personel taşıyıcı ve muharebe araçları ile genel amaçlı her türlü zırhlı araçta, ilave zırh ve ana gövde malzemesi olarak kullanılmaktadır [24].

Yüksek mukavemetli zırh çeliklerinin martenzitik mikro-yapısı 150-200⁰C'de temperlenir. Yüksek sertlikteki zırh çelikleri için ticari bileşimler olan TDH (Cruseot Loire, Fransa), B555 (Tyssen, Almanya) ve CP50 (British Steel, İngiltere) çeliklerinin nihai sertlikleri 500 HB civarındadır. Tüm bu çelikler hafif araçlarda

uygulama bulmuştur ve bu pazarda çoğunlukla avantajlı olarak alüminyum alaşımlarıyla rekabet ederler [25].

Bir MIG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur:

- Bir üfleç (lüle)
- Tel şeklindeki elektrot ve muhafazasını kaynak kablosunun, soğutma suyu giriş ve çıkış elemanlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum
- Tel şeklindeki elektrotun hareketini sağlayan tertibat
- Kaynak akımının geçişini, soğutma suyunun devreye girişini, koruyucu gazın akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda dolabı
- Kaynak akım üretici
- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü [26].



Şekil 3.1.2 MIG kaynak donanımı blok şeması [26]

Avantajları:

- MIG kaynağı, örtülü elektrot kaynağına göre daha hızlıdır.
- Örtülü elektrot kaynağına göre daha derin nüfuziyet sağladığı için küçük köşe kaynakları yapmaya izin verir.
- Kaynak metalinde cüruf oluşmadığından kaynak sonrası cüruf temizliği işlemi yoktur.

- Tel şeklindeki kaynak elektrotu kaynak bölgesini sürekli beslediğinden kaynak yapanın işi azalır.
- Uygun parametreler kullanıldığı zaman her tür pozisyonda uygulanabilir [28].
- Elektrot beslenmesinin sürekli olması nedeniyle hiç durmadan uzun kaynak dikişleri çekilebilir.
- “Sprey iletim” kullanıldığında, elektrik ark kaynağına nazaran daha derin nüfuziyet elde edilir. Böylece iç köşe kaynaklarında aynı mukavemeti sağlayan daha küçük kaynak dikişi çekmek mümkün olur [22].

Dezavantajları:

- MIG kaynak ekipmanları, örtülü elektrot kaynak ekipmanlarına göre daha karmaşık, daha pahalı ve taşınması daha zordur.
- MIG kaynakta, kaynak metalinin korunması için kaynak torcunun iş parçasına yakın olması gerekir bu yüzden ulaşılması zor alanlarda MIG kaynağı ile kaynak yapmak zordur.
- MIG kaynağı, gaz korumasını kaynak bölgesinden uzaklaştırabilecek hava akımlarına karşı ek bir koruma gerektirir. Bu nedenle açık alanlarda kaynak yapmaya uygun değildir [29].
- Göreceli olarak yüksek şiddette ısı yayılması ve ark yoğunluğu nedeniyle, kaynakçılar bu yöntemi kullanmaktan kaçınmaktadır [22].

3.1.1 Örtülü elektrotlar

Elektrotlar gerçekte içine dekapanın ve alaşım elementlerinin doldurulduğu ince uzun tüplerdir. Kaynak sırasında tıpkı elektrik ark kaynağı işleminde olduğu gibi kaynak banyosu içinde erirler. Elektrotlar basit bir tüp olabilir veya enine kesitteki metal miktarını arttırmak için merkezde kenetlenmiş şeritlerden üretilirler. Elektrotların dış çapları 0,9 mm'den 3,2 mm'ye kadar değişebilir [30]. Örtülü tellerin rutil, bazik ve metal özlü olmak üzere 3 tipi vardır. Rutil karakterli örtülü teller yumuşak ark karakteristiği, yüksek kaynak kabiliyeti, kolay cüruf kalkışı ve düzgün dikiş görüntüsüne sahiptir. Her pozisyonda kaynak yapmaya uygun olması nedeniyle tersanelerde en çok kullanılan özlü teldir. Bazik tip teller yüksek mekanik özellikleri nedeniyle ince taneli ve yüksek mukavemetli çeliklerde kullanılır. Düz ve

yatay pozisyonlarda kullanılması, sınırlı uygulanma alanına neden olduğu için tersanelerde fazla kullanılmazlar. Metal özlü teller ise sprej ark modunda yatay pozisyonlarda yüksek metal yığıma hızına sahiptir. Çok az sıçrama kaybı olması ve kaynak üzerinde cüruf oluşturmaması önemli avantajlarındandır. Genellikle boruların kök pasolarında ve üst binalarda yukarıdan aşağıya köşe kaynaklarında kullanılırlar [31].

3.1.2 Koruyucu gazlar

Bütün koruyucu gaz kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MIG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekir. Ark atmosferinin karakteri, kullanılan çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağlı olarak değişir [26]. MIG kaynağında koruyucu gaz olarak argon, helyum veya ikisinin karışımı kullanılır. Hafif metallerin MIG kaynağında kullanılan argon gazının yüksek saflıkta olması gerekir (%99,99). Çelik malzemelerin MIG kaynağında ise, argon gazına oksijen ve karbondioksit gazları karıştırılır. Bu karışımda oksijen %3 ile 6, karbondioksit %5 ile 13 arasındadır. Gaz karışımına bağlı olarak, dikişte elde edilen dikiş formları değişmektedir. Karışımda oksijenin bulunması, arkın kararlılığını ve ergimiş damlaların yüzeyde kolayca tutunmalarını sağlamaktadır. Ayrıca gözenek teşekkülünü de önlemektedir [30].

3.1.3 Damla iletim mekanizmaları

MIG kaynağında metal damlalar elektrottan iş parçasına kısa devreli ark, uzun ark sprej ark iletimi ve darbeli ark iletimi olmak üzere dört temel iletim mekanizmasıyla geçer.

3.1.3.1 Sprej ark iletimi

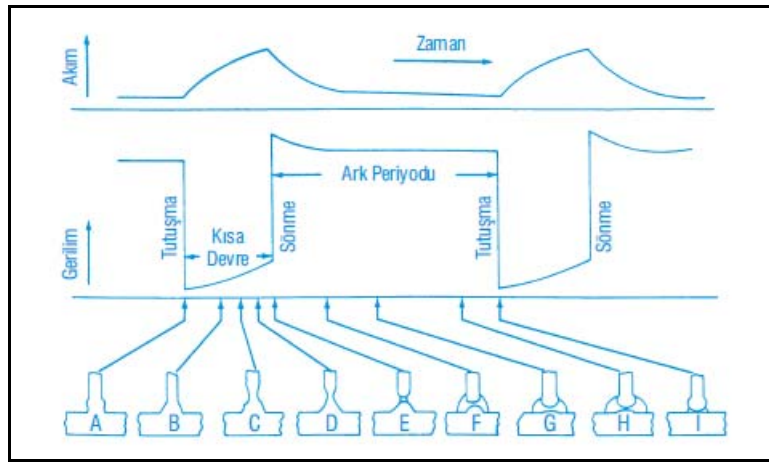
Kaynak metalinin iş parçasına sprej(duşlama) şeklinde geçişi, sprej ark halinde görülür. Kaynak metalinin iş parçasına bu şekilde taşınımı, elektrot ucunun sivrileşmesi sonucu bu sivrimiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlalar halinde geçişi ile gerçekleşir. Damlacıklar tel çapından çok küçüktür ve telden uzun ark haline göre çok daha hızlı ayrılırlar. Damla sayısı saniyede birkaç yüze kadar çıkabilir. Sprej ark genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi kullanıldığından ortaya çıkar. Sprej ark iletimi,

yüksek akım şiddetlerinde oluştuğundan özellikle kalın parçaların kaynağı için çok uygundur ve bu yöntemde sıçrama çok azdır [28]. Sprey ark metal transferi ile gerçekleştirilen MIG kaynak yöntemi, 6,5 mm'den kalın parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Çünkü elde edilen metal yığıma hızı diğer metal transferlerine oranla daha yüksektir [32]. Sprey ark yöntemindeki yüksek erime ucu nedeniyle banyo diğer ark türlerine göre daha geniş oluşur. Bu bakımdan yatay ve oluk pozisyonlarda dolgu ve kapak pasolarının çekilmesi için çok uygundur; kök pasolar için ancak altlık kullanmak koşuluyla uygulanabilir. Bu ark yönteminde yüksek güçlerde çalışıldığı için kaynak torcunun çok iyi bir şekilde soğutulması gereklidir [28].

3.1.3.2 Kısa ark iletimi

Kısa devre iletimi, gazaltı kaynağındaki en düşük kaynak akımı aralığında ve en küçük elektrot çaplarında (0,6-1,2 mm) gerçekleştirilir. Bu tip bir iletim ince kesitlerin birleştirilmesi için, pozisyon kaynağı için ve büyük kök açıklıklarını birleştirmeye uygun olan küçük ve hızla katılan bir kaynak banyosu oluşturmak için kullanılır. Metal, elektrottan iş parçasına, sadece elektrot kaynak banyosu ile temas halinde olduğu sırada iletilir. Ark aralığı boyunca herhangi bir metal iletimi olmaz. Elektrot iş parçasına saniyede 20 ila 200 kez temas eder [33]. Kısa ark yönteminde, ark oluşunca elektrotun uç kısmı hemen erimeye başlar ve burada bir damlacık oluşur. Damlacık banyoya doğru akarken elektrot ve iş parçası arasında kısa devre oluşur, gerilim düşer, akım şiddeti yükselir. Damla elektrottan kopar ve kısa devre ortadan kalkar, aynı olay tekrarlanır. Kısa ark iletiminde kaynak metali iş parçasına sadece kısa devre anında geçmekte ve ark tarafından taşınmamaktadır. Kısa ark boyu halinde düşük ark gerilimi, düşük akım şiddeti ile çalışılması ve metal transferinin kısa devre esnasında gerçekleşmesi sonucu iş parçasına uygulanan ısı girdisi çok düşüktür. Bu bakımdan ince parçaların kaynağı ve çarpılma tehlikesinin büyük olduğu haller için çok uygun bir ark türüdür. Ayrıca bu tür ark ile yapılan kaynakta kaynak banyosunun çok büyük olmaması ve hemen katılması nedeniyle, dik ve tavan kaynakları için uygun bir yöntemdir [28]. Metal iletiminin düzeni ve bu sıradaki gerilim ve akım değeri Şekil 3.1.3.2.1' de gösterilmiştir. Elektrot kaynak banyosuna temas edince, kaynak akımı artar (Şekil 3.1.3.2.1' deki A, B, C, D). Tel ucundaki erimiş damla Şekil 3.1.3.2.1' de gösterilen

D ve E safhasında daralarak telden iş parçasına geçer ve E ve F' de gösterildiği gibi ark yeniden oluşur. Akımın artma hızı elektrotu ısıtmaya ve metal iletimi sağlamaya yetecek kadar yüksek, ancak metal damlasının şiddetli ayırmasının neden olacağı sıçramayı en az düzeyde tutacak kadar düşük olmalıdır. Akımın artma hızı güç ünitesindeki "Endüktans" in ayarlanması ile kontrol edilir. En uygun endüktans ayarı hem kaynak devresinin elektrik direncine hem de elektrotun erime sıcaklığına bağlıdır. Ark oluşuktan sonra elektrot yeni bir kısa devre oluşturmak üzere ileri doğru beslenirken elektrotun ucu erir. Şekil 3.1.3.2.1' de H ile gösterilmiştir.



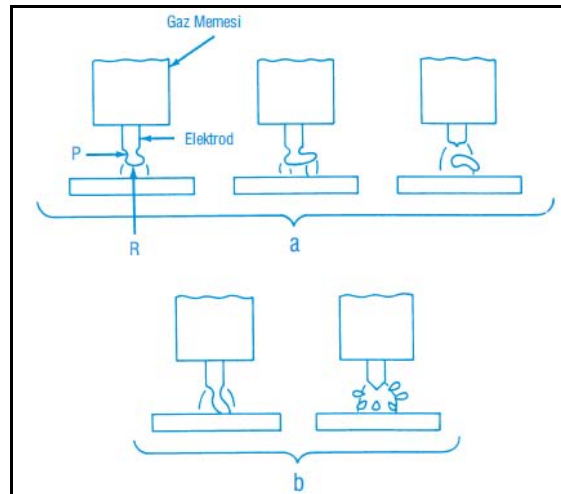
Şekil 3.1.3.2.1 Kısa devre ark iletiminin gösterilişi [33]

Elektrot ucundaki erimiş metal damlasının esas metale temasını önlemek amacıyla güç ünitesinin açık devre gerilimi düşük tutulur. Arkı sürdürmek için gerekli enerjinin bir kısmı kısa devre sırasında endüktörde depo edilen enerjiden sağlanır [33].

3.1.3.3 Uzun ark iletimi (Globüler metal taşınımı)

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali taşınımı yerine globüler (damlasal) metal taşınım hali oluşur. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrotun uç kısmında erime başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık irileşir ve elektrot çapını aştıktan sonra elektrottan kopar ve yerçekimi yardımıyla ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer. Ark geriliminin yüksek olması nedeniyle burada ark boyu uzundur ve dolayısıyla normal halde damla banyoya gelirken kısa devre oluşumu nadirdir. Bu tür ark hemen hemen bütün kullanılan koruyucu gazlar ile ortaya çıkar. Bu ark CO₂ haricindeki gazlarda alt

kısımlarındaki değerlerde görülür, buna karşın CO₂' nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde hemen hemen her çalışma bölgesinde damlasal metal taşınımı görülür. Damlaların iri olması ve metalin kaynak bölgesine yerçekimi ile taşınmasından ötürü bu yöntemde tavan kaynağı yapmak zorlaşır [28]. Doğru akım elektrot pozitif kutuplamada, kaynak akımı göreceli olarak düşük ise koruyucu gazın cinsine bağlı olmaksızın iri damla iletimi meydana gelir. Ancak CO₂ ve helyumla bu tip iletim tüm kullanılabilen kaynak akım değerlerinde oluşur. İri damla iletiminin en önemli özelliği damla çapının elektrot çapından daha büyük oluşudur. İri damla yerçekimi etkisiyle kolaylıkla hareket eder. Kısa devre damla iletiminde kullanılan akımlardan biraz daha yüksek akım değerlerinde, tam asal gaz koruması altında aksel olarak yönlenmiş iri damla iletimi elde edilebilir. Eğer ark boyu çok kısa (düşük gerilim) ise tel ucunda büyüyen damla iş parçasına temas edip aşırı ısınabilir ve parçalanarak aşırı sıçramaya neden olabilir. Bu nedenle ark, damla kaynak banyosuna değmeden önce elektrottan ayrılma imkanı bulacak kadar uzun olmalıdır. Kaynak akımı kısa devre iletimi için kullanılan akım aralığından oldukça yüksekse, karbondioksitle koruma tesadüfen yönlenmiş iri damla iletimine neden olur. Aksel iletim hareketinden saptmaya, kaynak akımının oluşturduğu ve erimiş elektrot ucuna etki eden elektromanyetik kuvvetler neden olur. (Şekil 3.1.3.3.1) Bu kuvvetlerin en önemlileri elektromanyetik büzme kuvveti (P) ile anot reaksiyon kuvveti (R) dir.



Şekil 3.1.3.3.1 İri damla iletimi [33]

Büzme kuvvetinin şiddeti kaynak akımına ve elektrot çapına bağlı olup bu kuvvet elektrot ucundaki erimiş damlanın telden ayrılmasından sorumludur. CO₂ ile

koruma yapıldığında kaynak akımı erimiş damla vasıtasıyla iletilir ve bu nedenle elektrotun ucu ark plazması tarafından sarılmaz. Ark erimiş damla yüzeyinden iş parçasına doğru hareket eder. Bunun nedeni reaksiyon kuvvetinin damlayı destekleme, yani damlanın elektrottan ayrılmasını önleme eğilimidir. Erimiş damlanın elektrottan ayrılması bu nedenle iş parçasına temas edip kısa devre yapıncaya kadar büyümesi sonucu Şekil 3.1.3.3.1' de b ile gösterilen durum oluşur. Yerçekimi kuvvetlerinin etkisi nedeniyle ayrılacak kadar büyümesi sonucu ise Şekil 3.1.3.3.1' de a ile gösterilen durum oluşur. Bunun nedeni büzme kuvvetinin, hiçbir zaman yalnız başına reaksiyon kuvvetinden daha etkin hale gelmemesidir [33].

3.1.3.4 Vurumlu (pulsed) ark iletimi

Bu yöntemin uygulanabilmesi için bu tür kaynak akımını üreten özel bir kaynak akım üreticisine ihtiyaç vardır. Burada sözü edilen darbeli doğru akım ile alternatif akımı birbirinden iyi ayırt etmek gerekir, darbeli doğru akımda akım şiddeti, saptanmış iki değer arasında seçilmiş olan frekansta değişmektedir. Bu yöntem ile arzulanan her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmadan iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak çalışmak mümkün olabilmektedir. Ayrıca frekansı ayarlayarak istenen sayıda ve irilikte erimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanabilmektedir. Darbeli ark yönteminin tek dezavantajı kaynak akım üreticinin ve tel ilerletme tertibatının pahalı ve donanım bakımının zor olmasıdır. Bu yöntemde akım şiddeti ayarı yapılırken temel akım şiddeti darbeler arasında arkın sönmeyeceği bir değerde seçilmez. Gerekli temel akım şiddetinin değeri, büyük çapta darbe frekansının etkisi altındadır, frekans yükseldikçe akım şiddeti azaltılabilir. Akım şiddetinin yükselmesi parçaya olan ısı girdisinin artmasına neden olur ve daha çok yükselmesi halinde ise darbeler arasındaki sürede de erime olabileceğinden damla oluşum düzeni yok olur. Bu bakımdan kalın ve ısıyı iyi ileten metaller, mümkün olduğu kadar kalın elektrot kullanılarak kaynatılmalıdır. Darbe akımı, elektrot ucunda temel akım tarafından oluşturulmuş damlaya, kuvvetli bir büzülme kuvveti (Pinch effect) uygular ve damla kısa devre oluşturmadan ark tarafından kaynak banyosuna taşınır. Bu şekilde kısa devresiz damla taşınımı ancak darbe akımı belirli bir değere eriştiği zaman mümkündür. Bu değer, elektrot malzemesine, koruyucu gazın türüne, tel çapına bağlı olarak

değişir. Çok yüksek şiddetli darbe akımı, damlanın daha fazla ivmelenmesine sebep olur, bu da sıçramayı artırır [28].

3.1.4 Akım tipi

MIG kaynağında doğru akım kullanılır ve elektrot, genellikle pozitif kutba bağlanır (ters kutuplama). Böylece hem derin bir nüfuziyet, hem de oksit tabakasının parçalanması sağlanmış olur. Paslanmaz çeliklerin iç köşe kaynağında ve doldurma kaynaklarında, elektrot negatif kutba bağlanır [30]. MIG kaynağında, iki farklı akım aralığı kullanılmaktadır. Yüksek akım aralığı 300 A' den daha yüksek akımları kapsar ve levhaların oluk ve iç köşe kaynak pozisyonlarında kullanılır. Bu durumda ısı girdisi, pozisyon kaynağı için çok yüksektir ve nüfuziyet, sacların el ile kaynağı için çok fazladır. Söz konusu uygulamalar için hızla katılaştan küçük bir kaynak banyosu oluşturmanın mümkün olduğu ve daha az nüfuziyet sağlayan düşük akım aralığı (50–180 A) daha uygundur. Pozisyon kaynağı göz önüne alındığında alüminyum bu konuda bir ayrıcalığa sahiptir. Alüminyumdaki yüksek akım bölgesi 220 A' den itibaren başlar ve düşey ve tavan kaynaklarında kullanılabilir. Bu pozisyonlarda kaynak yapılırken kaynak banyosu yüzey üzerinde oluşan oksit tabakası yoluyla yerinde tutulur. Aynı zamanda alüminyum yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan, ısı hızla erime bölgesinden dışarıya doğru iletilir. Ark, yüksek akımlarda çok kararlıdır. Damlalar elektrotun ucundan düzenli bir şekilde ayrılırlar ve ark içinde elektrotun eksenine doğrultusunda etki eden elektromanyetik kuvvetlerle kaynak banyosuna iletilirler. Bu olaya sprengi iletim denir. Argon gazı ile korumada damlalar kaynak yüzeyine erişmeden önce elektrottan tamamen ayrılırlar; diğer taraftan karbondioksitle korumada damla kopmadan evvel çok iri hale gelir ve kaynak banyosuna temas ederek bir kısa devre yaratır. Bu kısa devre esnasında akımda meydana gelen hızlı yükselme, küçük damlacıkların ark bölgesinden sıçrama şeklinde fırlamaları sonucunu doğurur [34].

Eğer bir pozisyon kaynağı yapılacaksa veya bir sac birleştirilecekse ısı girdisi azaltılmalıdır, ancak düşük akım değerlerinde, yani 200 A' den küçük akımlarda arktaki kuvvetler, damlaları elektrot ucundan koparıp iletemeyecek kadar küçüktür. Ark kararsızdır ve damla iletim mekanizması değiştirilmedikçe sistem kaynak için kullanılamaz. Bu problem iki şekilde çözülebilir. Kısa devre iletimi olarak bilinen

birinci halde, gerilim 21V' a kadar düşürülerek, kısa bir ark oluşturulur. 200 A' in altındaki akımlarda elektrotun ucu yavaşça erir. Elektrot arkaya doğru sabit bir hızda beslendiğinden, ark aralığı telin ucu kaynak banyosuna değinceye kadar kısılır. Bu anda güç ünitesinin çıkışı kısa devre olur ve elektrottan çok yüksek şiddette akım geçer. Eğer bunun devamına izin verilecek olursa tel erir ve sıçrama şeklinde dağılır. Kaynak devresine bir indüktansın ilavesi akım artma hızını kontrol eder. Böylece elektrotun ucu üniform olarak erir ve kaynak banyosunun içine akarak yeniden bir ark aralığı oluşturur. Bu çevrim her bir saniyede 50 ile 200 kez tekrarlanır.

Diğer bir teknik ise vurumlu (pulsed) iletim olarak bilinir. Burada ark, normal ark süresinde ve 50 ile 100 A mertebesindeki temel akımla çalıştırılır. Bu akımda, ısı kaynak banyosunda muhafaza edilir ve bir miktar elektrot ısınması da oluşur. Bu düşük temel akımın üzerine yüksek akım darbeleri (300 A' den büyük) ilave edilir. Her bir darbe sırasında ark sanki sprej bölgesinde çalışıyormuş gibi davranır ve akım düşük değerine dönmeden önce tek bir damla banyoya iletilir. Isı girdisi ortalama akımla orantılı olduğundan, bu çalışma tarzı düşük ısı girdisinde sprej tipi bir iletim sağlar. En çok kullanılan darbe frekansı 50 Hz' dir. Hem kısa devre hem de vurumlu iletim MIG kaynağının düşük akımlarda çalışmasına imkan verir. Bu ise hem pozisyon kaynağının hem de 0,8 mm kalınlığa kadar sacların birleştirilmesinin bu yöntemle mümkün olacağı anlamına gelir. Kısa devre iletimi çok kullanılan bir tekniktir; ancak çelikler ve bazı nikel alaşımları gibi göreceli olarak yüksek elektrik direncine sahip metallerde uygulanabilmektedir. Bunun nedeni elektrotun kısa devre sırasında dirençle ısıtma yoluyla eritilmesidir. Kısa devre iletimi ve darbeli ark sistemlerinin kontrolü ve kararlılıklarının artırılması güç elektroniğine sahip güç üniteleri ile mümkün olmuştur. Özellikle kısa devre iletiminde kararlı bir gerilim beslemesinin sağlanması son derece önemlidir. Güç ünitesi çıkışındaki gerilimde meydana gelen değişimler erime yetersizliğine sahip bölgelerin oluşmasına sebep olur. Güç elektroniğine sahip ünitelerde şebeke gerilimindeki değişimler kontrol edilebilir ve çıkış gerilimi denge sağlamak için ayarlanabilir.

MIG kaynağında sabit tip statik karakteristikli kaynak makineleri kullanılır. Bu makinelerde akım şiddeti ayarı, ark gerilimi ayarlanarak yapılır. Kaynak telinin

sabit hızda sevk edilmesi, ark boyunun otomatik olarak sabit tutulmasını temin eder [30].

3.1.5. Çalışma tekniği

Bilinen dikiş (kaynak bağlantı) geometrilerinin hepsine MIG kaynağı uygundur. Yatay pozisyonlarda elle veya otomatik olarak kaynak yapılabilir. Genel anlamda MIG kaynak yönteminde uygulanacak kaynak tekniği, kaynaklanan malzemenin cinsine, ısıl iletkenliğine, ağız şekline ve kaynak pozisyonuna bağlıdır. Kaynak dikişinin yüksekliği, genişliği ve nüfuziyeti aynı hımlaç tutuşunda kaynak gerilimini, kaynak akım şiddetini ve kaynak hızını değiştirerek ayarlanabilir. Bu faktörlerin etkileri toz altı kaynağında olduğu gibidir. Kaynak sırasında kaynak hımlacı, kaynak yönüne ters istikamette en fazla 30°'lik bir eğimle tutulur. Böylece kaynakçı, kaynak banyosuna ve elektrotun erime işlemine kolayca bakabilir. Eğer eğim fazla olursa, nüfuziyet azalır ve dikiş incelik. Aynı zamanda fazla eğim gazın koruma kabiliyetini azaltır, dikişte gözenek ve kalıntıların meydana gelmesine sebep olur. Böyle çalışma tarzı, ince sacların ve kök pasolarının kaynağında kullanılır. Eğer derin bir nüfuziyet ve kalın kaynak dolgusu elde edilmek istenirse, hımlaca kaynak yönünde en fazla 30°'lik bir eğim verilir.

MIG kaynak yönteminde güvenilir kaynak bağlantısı elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin başında akım şiddeti ve gerilimi gelir. Sabit gerilimli veya diğer bir deyimle yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde bu iki parametre birbirlerinden bağımsız olarak ayarlanabilir. Kaynak gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı özel tiplerde ise potansiyometre ile kademeli olarak ayarlanabilir. Kaynak akım şiddeti ise MIG kaynak akım üreteçlerinde tel iletme ünitesinden ayarlanır.

3.1.6 Kaynak ağızlarının hazırlanması

Eriyen elektrot ile gaz altı kaynağında, kaynak ağızını şekillendirmede kaynaklı parçanın şekli, kaynatılan malzemenin türü ile ilgili metalürjik hususlar ve konudaki standartlar göz önünde bulundurulur. Kaynak ağızı hazırlamada en önemli husus gereken mukavemette en iyi kalitede kaynak dikişinin gerçekleşmesini en ekonomik şekilde gerçekleştirmedir. Kaynaklı bağlantının gerek kalitesini ve gerekse de maliyetini çok önemli bir biçimde etkilediği için ağız tasarımı kaynak

teknolojisinde önemli bir konuma sahiptir. Eriyen elektrot ile gaz altı kaynağında kaynak ağız tasarımında bu özelliğin de göz önünde bulundurulması gereklidir. Bu açıdan en önemli konu kaynak yaparken kaynakçının kaynak dikişine rahat bir şekilde erişebilmesi ve kaynak yaparken de torcunu rahat bir şekilde hareket ettirebilmesidir. Bu konuda diğer önemli bir husus da gaz lülesi ile dikişin kökü arasındaki mesafedir. Dikişin kök kısmına lülenin gerektiği kadar yaklaşmaması hem kök nüfuziyetini ve hem de kaynak banyosunu koruyan gaz örtüsünün kaynak banyosunu koruma derecesini etkiler. Kaynak ağız tasarımını etkileyen en önemli faktör bağlantıdan beklenen mukavemettir. Bu değer kaynak ağızında nüfuziyet miktarını belirler. Yüksek mukavemetin gerekli olduğu veya dinamik zorlamaların etkin olduğu hallerde parça tüm kesiti boyunca kaynatılmak zorundadır ve dikiş tam bir nüfuziyete sahip olmak zorundadır. Buna karşın statik zorlanmalar halinde ancak kaynak dikişinden beklenen mukavemetin gerektirdiği kadar bir kesit kaynatılır ve bu gibi hallerde tam nüfuziyet gerekmez. Kaynaklı bağlantıda, kaynaklanan kesitin tümünün veya bir kısmının kaynaklanması, ağız formunu, kök aralığını ve kök alın yüksekliğini etkiler. Kesitin ancak bir kısmının kaynatılmasının gerekli olduğu hallerde, kök açıklığına gerek yoktur ve yüksek bir kök alını da bırakılabilir. Eriyen elektrot ile gaz altı kaynağında diğer açık ark yöntemlerine (örtülü elektrot, TIG) göre daha ince çaplı bir elektrot kullanılması nedeni ile ark daha yoğundur ve aynı akım şiddeti için nüfuziyet daha derindir. Bu bakımdan diğer yöntemlere göre daha yüksek bir kök alını ve daha dar bir kök aralığı kullanılır. Doğal olarak bu husus düşük akım şiddetlerinin kullanıldığı kısa devre ark yöntemi için geçerli değildir. Elektrot çapının diğer yöntemlere göre daha küçük olması kaynak ağız açılarının daha dar tutulmasına olanak sağlar. Kaynak ağız şekil seçimini etkileyen faktörlerden bir tanesi de kaynak pozisyonudur, örneğin oluk pozisyonunda ağız açısının dar tutulabilmesine karşın dik pozisyonda daha geniş ağız açısına gerek vardır. Dik ve tavan pozisyonlarında akım şiddetinin alt sınırları kullanıldığından kök aralığı daha büyük ve kökte alın yüksekliği daha az olmak zorundadır. Ayrıca korniş kaynaklarında, asimetric V ağız banyonun akmasına engel olduğundan simetric V ağıza tercih edilir. Kaynak ağız tasarımında en önemli etkenlerden bir tanesi de parça kalınlığıdır. MIG-MAG yönteminde iki taraftan kaynak yapmanın mümkün olduğu hallerde, uygun kök aralığı bırakmak ve akım şiddetini üst sınırlarda seçmek koşulu ile 10 mm kalınlığındaki parçalar dahi küt alın ağız ile kaynatılabilirler. Kalın parçalar için V ve

X ağızları kullanılır, parça kalınlığının daha da artması hazırlanması zor olan U ağızını daha ekonomik hale getirir, zira kalın parça halinde (15 mm' den kalın) daha az kaynak metali gerektirmesinden ötürü U ağızı daha ekonomik olmaktadır. Kaynak ağız tasarımını etkileyen diğer önemli bir husus da kaynatılan malzemenin türüdür. Örneğin alüminyumun ısıl iletkenliği çok yüksek ve erime sıcaklığı düşüktür, buna karşın paslanmaz çeliğin ısıl iletkenliği daha düşüktür. Bu bakımdan alüminyum halinde küt alın ağızı ile kaynatılabilecek azami parça kalınlığı paslanmaz çelikten daha küçük olacaktır, zira ısı kaynak bölgesini hızla terk etmekte ve kaynak banyosunun derinleşmesine olanak sağlamaktadır [26].

3.1.7 Çeşitli malzemelerin MIG kaynağı

MIG kaynağı ile hemen hemen bütün malzemelerin kaynaklanması mümkündür. Fakat bazı şartlara uyulması gerekir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında yalnız doğru akım kullanılır ve otomatik olarak ilerleyen kaynak teli, daima pozitif kutba bağlanır. Kaynak ağızlarının iyi temizlenmesi, dikişte gözenek teşekkülünü azaltır. Yapılacak kimyasal temizlemelerde zehirli gaz oluşumlarından korunmak için, iyi bir havalandırma yapılmalıdır. İnce alüminyum levhaların kaynağında çarpılmayı azaltmak için, levhalar puntalanmalı ve geri adım usulüyle kaynaklanmalıdır. Bakır ve alaşımlarının kaynağında, gerekli durumlarda 200 ila 400 °C' lik bir ön tavlama tatbik edilir. Kaynak işlemi doğru akımla ve elektrot pozitif kutba bağlanarak yapılır. Paslanmaz çeliklerin MIG usulüyle kaynaklanması, büyük üstünlük sağlar. Çünkü erimiş metal ile hava arasındaki reaksiyonlar sebebiyle, kayıplar önlenmektedir.

3.2 MAG kaynağı

Eriyen elektrotla karbondioksit atmosferi altında yapılan, gaz altı kaynak usulüdür. MIG kaynağından tek farkı, kullanılan koruyucu gazın karbondioksit olmasıdır. Bu sebepten MIG kaynak donanımı, MAG kaynağında da kullanılır. MAG sembolü, "Metal Active Gas" ifadesinin kelimelerinin baş harflerinin alınmasıyla, ortaya çıkarılmıştır. MAG kaynağı; alüminyum ve alaşımları gibi kolayca oksitlenen malzemelerin kaynağında kullanılmaz. Günümüzde büyük oranda, çelik malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır. MAG kaynağında kullanılan karbondioksit; renksiz kokusuz ve havadan ağır bir gazdır. Kullanılacak

karbondioksit gazının saf ve kuru olması gerekir. Gaz içerisinde bulunabilecek rutubet, dikiş gevrekleştirir ve gözenek teşekkülüne sebep olur. Kaynak sıcaklığında karbondioksit gazı, karbon monoksit ve oksijene ayrışır. Ayrıca CO₂, sıvı haldeki demir ile birleşerek demir oksit meydana getirir. Demir oksit ise manganez ve silisyum ile birleşerek, bu elementlerin kaybına sebep olur. Bu kaybın karşılanabilmesi için, kaynak telinin bu elementlerce zengin olması gerekir. Bundan başka CO₂, karbon ile birleşerek karbon kaybına ve karbondioksit, ayrılarak karbon teşekkülüne sebep olur. MAG kaynağında kullanılan kaynak üfleçlerinin prensibi MIG kaynağındaki üfleçlere benzemektedir. Burada da kaynak yerine üfleç içinde sürekli beslenen bir tel elektrot gelmektedir.

3.2.1 Kaynak telleri ve kaynak dikişinin özellikleri

MAG kaynağında kullanılan tellerin, kaynak sırasında meydana gelebilecek eleman kayıplarını karşılayacak bileşimde olması lazımdır. Tellerin en fazla kullanılanları; 1,6-2,4 ve 3,2 mm çaplarındadır. Kaynak dikişinin özellikleri; kaynak telinin kalitesine, karbondioksit gazının safiyet derecesine ve kaynak esnasındaki miktarına bağlıdır.

3.2.2 Kaynak tekniği

MAG kaynağında doğru akım ve ters kutuplama kullanılır. Sabit gerilimli kaynak makineleriyle kaynak yapılır. Erime gücü, akım şiddetine bağlıdır. MAG kaynağında, kısa ark boyu ile çalışılır. Ark boyu, 1 ile 2 mm arasındadır. Kaynak tabancası mümkün olduğu kadar, parçaya dik olarak tutulmalıdır. Ark boyunun büyük tutulması halinde, dikiş içerisinde gaz kabarcıkları kalır. Kaynak otomatik olarak veya el ile yapılabilir. El ile yapılması durumunda, bütün pozisyonlarda kaynak yapılabilir. Otomatik MAG kaynaklarında, derin nüfuziyetli ve düzgün görünüşlü dikişler elde edilir [27].

3.3 TIG kaynağı (Tungsten ark kaynağı)

TIG kaynak yöntemi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, kaynakçı tarafından kullanılması kolaydır, prensip olarak gaz eritme kaynağını andırır, yalnız torç biraz değişiktir, yanıcı yakıcı gaz yoktur, ısı enerjisi elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır. Bu yöntem de erimeyen bir elektrot kullanıldığı için kıvrık alın

ekonomikliğini yitirmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan 7 mm' den kalın parçaların kaynağı için önerilmez; bununla beraber yüksek kalite ve kaynak emniyetinin gerekli olduğu uçak ve uzay endüstrisinde çok pasolu kaynak uygulayarak bu olumsuzluğun etkisi azaltılmaya çalışılır.

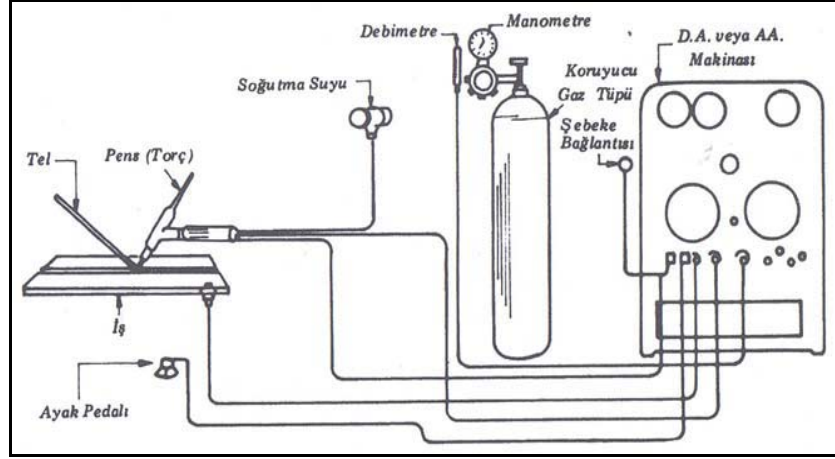
3.3.1 TIG kaynak donanımları

Bir TIG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur:

- Kaynak hamlacı diye de adlandırılan bir kaynak torcu.
- Kaynak akım ve kumanda şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli, torç bağlantı paketi.
- Kaynak akımının, gaz akışının ve gerektiğinde soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışını, arkın tutuşmasını ve alternatif akım ile çalışma halinde arkın sürekliliğini sağlayan devreleri de bünyesinde toplayan kumanda dolabı.
- Kaynak akım üretici.
- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.

TIG kaynak yönteminde bu temel donanımların yanı sıra gerek duyulduğunda veya sistemin, otomatik olarak çalışması arzu edildiğinde aşağıda belirtilmiş olan ek donanımların kullanılmasına gereksinim vardır:

- Yüksek akım şiddetleri ile çalışıldığında, ısınan torcu soğutmak için soğutma suyu sirkulasyon sistemi.
- Özellikle doldurma işlerinde kullanılmak üzere akımın kontrol ve ayarı için ayak pedalı.
- Otomatik kaynak uygulamalarında gerektiğinde torca salınım hareketleri yaptıracak bir osilatör.
- Otomatik kaynak uygulamalarında kullanılmak üzere tel besleme tertibatı.
- Otomatik kaynak uygulamaları için torç veya iş parçasını ilerletme tertibatı.
- Darbeli akım uygulamaları için, kaynak akımını ayarlanmış iki akım değeri arasında öngörülen frekansta değiştiren elektronik cihaz; bu cihaz genelde ayrı bir ünite olmayıp, kaynak akım üreticinin içine monte edilir.



Şekil 3.3.1.1 TIG kaynak donanımı prensip şeması [26]

TIG kaynak donanımı, Şekil 3.3.2'de görüldüğü gibi uygun bir akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç ve debi ayar tertibatı, tungsten elektrotu taşıyan torç, akım kabloları ve gaz hortumu ile genelde akım üretici üzerine monte edilmiş bir kontrol panelinden oluşur. Ayrıca yüksek akım şiddeti ile çalışma halinde bir de torcu soğutmak için soğutma suyu devresi vardır. El kaynağı halinde torcun hareketi ve kaynak metali beslemesi kaynakçı tarafından yapılır; yarı otomatik yöntemde torç yine kaynakçı tarafından hareket ettirilir, burada tek fark kaynak ek metalini sağlayan telin ark bölgesine otomatik olarak bir tertibat tarafından sokulması ve sürekli olarak sabit bir hızla beslenmesidir [26].

4. TAHRİBATLI TESTLER

Belirli bir uygulama için malzeme seçilirken, o malzemenin çalışma esnasında maruz kalacağı yük ve kullanılacağı çevre şartlarına uygun olup olmadığından emin olmak gerekir. Malzemelerin özellikleri bu nedenle çok önemlidir. Giriş kontrollerinde, üretim onayı verilirken ve üretim sırasında periyodik aralıklarla ana metalden ve kaynaktan alınan numunelerde yapılan tahribatlı testler ile ürünün mekanik ve kimyasal yapısı hakkında bilgi sağlanır [36].

4.1. Çekme Testi

Çekme testi, malzemelerin dayanımı hakkında esas tasarım bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmalarını sağlamak amacıyla geniş çapta kullanılır. Çekme testi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Test sırasında numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulanır, aynı anda da numunenin uzaması kaydedilir. Çekme testi sonunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait elastisite modülü, elastik sınırı, akma gerilmesi, çekme dayanımı, tokluk, kopma uzaması ve kopma büzülmesi gibi özellikler bulunabilir. Çekme deneyinde numuneye yük uygulanmaya başlandığında numunede uzama ikiye ayrılır;

Elastik uzama: Numuneye yük uygulandığında akma sınırına gelene kadar bir miktar uzama görülür. Yük kaldırıldığında bu uzama kaybolur ve numune eski haline döner.

Plastik uzama: Yük akma sınırından sonra uygulanmaya devam edildiğinde numunede kalıcı şekil değişimi meydana gelir. Yani yük kaldırıldığında numune eski haline dönemez [37].

Çekme deney cihazı karşılıklı iki tutucu (çene) tertibatından oluşup genellikle çenelerden biri sabit, diğeri ise hareketlidir. Cihazların otomatik kaydedicileri, deney esnasında uygulanan yük ve uzama miktarını grafik olarak çizer. Uzama miktarı, yatay ekseninde, yük miktarı da dikey ekseninde olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney esnasında yük uzama diyagramı elde edilmiş olur [38]. Elde edilen yük-uzama eğrisi, gerilme-gerinme şekline çevrilir.

Çekme testinde ölçülen ve testten sonra hesaplanabilecek özellikler aşağıda tanımlanmıştır;

Uzama: Deneyin herhangi bir anında ölçülen ekstensometre ölçü uzunluğundaki artmadır.

Mühendislik gerilmesi: Deney yapılırken herhangi bir anda yükün deney parçasının ilk kesit alanına (S_0) oranıdır [39].

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (4.1)$$

Mühendislik gerinmesi: Birim uzunluğa karşılık gelen şekil değiştirme olarak tanımlanır. Herhangi bir andaki uzamanın ilk boya bölünmesiyle elde edilir.

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4.2)$$

Kopma uzaması (A): Deney parçası koptuktan sonraki ölçü uzunluğundaki kalıcı uzamanın ($L_u - L_0$) ilk ölçü uzunluğuna (L_0) oranının, % olarak ifadesidir.

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100 \quad (4.3)$$

Çekme dayanımı (R_m): Makinenin kuvvet göstergesinden okunan en büyük çekme kuvvetine (F_m) karşılık gelen gerilmedir (Şekil 4.1.1) [40].

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (4.4)$$

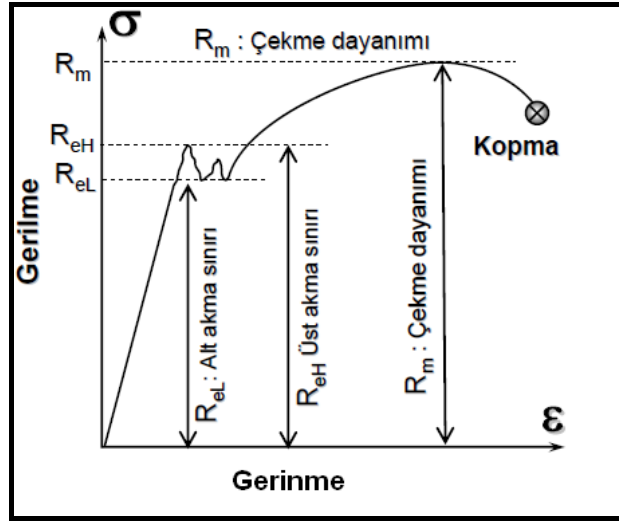
Akma dayanımı: Akma gösteren metalik malzemelerde deney yapılırken kuvvette herhangi bir artış olmadan deformasyon gösteren noktadır.

Deneme (offset) akma dayanımı: Bazı malzemelerde elastik davranıştan plastik davranışa geçiş kolaylıkla tespit edilemez. Bu durumda %0,2 plastik gerinmenin meydana geldiği gerilme değeri ofset akma dayanımı olarak kabul edilir. Bu gerilme değerini bulmak için 0,002 gerinme noktasından gerilme-gerinme eğrisinin

elastik kısmına (Hooke doğrusuna) paralel çizilir. Gerilme-gerinme eğrisinde çizginin kestiği noktadaki gerilme değeri akma dayanımı olarak kabul edilir [34].

Üst akma dayanımı (R_{eH}): Deney yapılırken kuvvette ilk düşüşün görüldüğü gerilme değeridir.

Alt akma dayanımı (R_{eL}): Geçici etkileri dikkate almaksızın plastik akma sırasındaki en küçük gerilme değeridir.



Şekil 4.1.1 Gerilme - Gerinme diyagramı [41]

Kesit daralma yüzdesi (Z): Deney sırasında kesit alanında meydana gelen maksimum değişimin (S_o-S_u), ilk kesit alanının yüzdesi (S_u) olarak ifadesidir.

$$Z(\%) = \frac{S_o - S_u}{S_o} \times 100 \quad (4.5)$$

Elastisite modülü: Elastik bölgedeki gerilme-gerinme eğrisinin eğimidir. Bu ilişki Hooke kanunu olarak ifade edilir. Elastisite modülü malzemenin rijitlik ölçüsüdür. Yüksek elastisite modülüne sahip rijit malzeme, elastik yükleme altında boyut ve şeklini korur [34].

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (4.6)$$

4.1.1 Kırılma Tipleri

Metaller, malzemeye, sıcaklığa, gerilme durumuna, yükleme oranına göre çok değişik tiplerde kırılma sergileyebilirler. Malzemelerin kırılması, birçok özelliğe göre sınıflandırılabilir. Kristallografik kırılma moduna göre bakıldığında klivaj kırılması ve kayma kırılması olarak iki farklı şekilde kırılma gözlenir. Gerinmeye göre kırılma, sünek ve gevrek kırılma olarak gerçekleştirilebilir [42].

4.1.1.1 Makroskopik açıdan kırılma tipleri

4.1.1.1.1 Sünek kırılma

Malzemeler, yavaş bir şekilde çatlakların ilerlemesi ve plastik şekil değiştirmeden sonra kırılır [43]. İyi tokluk ve süneklığe sahip metallerde sünek kırılma genel olarak taneler içinden (transgranüler) gerçekleşir. Kırılan parçalarda genellikle, boyun vermeyi de içeren büyük miktarda deformasyon gözlenir. Deformasyon son kopmadan önce gerçekleşir. Sünek kırılma aşırı yüklenme veya malzemeye yüksek bir gerilim uygulanmasından kaynaklanır [34].

4.1.1.1.2 Gevrek kırılma

Gevrek kırılma yüksek dayanımlı metallerde veya düşük tokluğa ve süneklığe sahip metallerde olur. Metaller, akma önemli bir rol oynadığında veya yüksek gerilme hızlarında (darbe gibi), kalın kesitlerde, düşük sıcaklıklarda gevrek bir şekilde kırılır. Gevrek kırılmalar, genellikle kopmaya karşı aşırı yüklenmeden daha çok darbe neden olduğunda gözlenir. Gevrek kopma, çok az bir plastik deformasyonla veya deformasyon olmadan gerçekleşir. Çatlama, normal olarak bir gerilmenin yoğunlaşmasına neden olan küçük çatlaklarda olur. Çatlak, metalde sesin hızına yaklaşan bir hızda hareket edebilir.

4.1.1.2 Mikroskopik açıdan kırılma tipleri

4.1.1.2.1 Klivaj (Ayrılma) kırılması

Numune gözle görülebilir herhangi bir plastik şekil değiştirmeye uğramadan aniden koparsa, klivaj kopmasından bahsedilebilir. Çekme yönüne dik olan düzgün yüzeyler boyunca meydana gelen klivaj kopması, kayma düzlemlerine sahip olmayan malzemelerde veya yüksek kayma direncine sahip malzemelerde görülür

[44]. Klivaj kırılması, en düşük yüzey enerjisine sahip olan kristalografik düzlemler boyunca meydana gelir. Tek eksenli gerilme halinde çatlak, çekme yönüne dik olarak ilerleme eğilimi gösterir, bu sebeple klivaj kırılmaları düz bir görünüm gösterir. Çok taneli malzemelerde, klivaj düzlemlerinin yerleşimi her tanede farklı olup, bir taneden diğer taneye geçildikçe çekme doğrultusuna dik olmayacaktır. Dolayısıyla bir tane boyutundan daha büyük mesafelerde klivaj kırılması düz görünüm göstermeyecektir, tane değiştikçe yön değiştirecektir.

Malzemelerin gevrek kırılması, genellikle klivaj kırılması şeklinde olur. Klivaj kırılması granüler veya kristalin bir görünüme sahiptir çünkü bu tip kırılma her bir tane içerisindeki bir düzlemlerde meydana gelir. Klivaj kırılmasında genellikle tanelerin şekli bozulmaz ve yüzeyin görünüşü düzdür. Kırılma yüzeyi ışığı çok iyi yansıtır ve parlak olarak görünür [45].

4.1.1.2.2 Kayma kırılması

Kayma kırılmasında, numune ilk önce kuvvetli olarak plastik şekil değiştirdikten sonra kopar. Yani, numune büzüldükten sonra kayma gerilmelerinin etkisi ile çekme yönüne 45° lik açı yapan düzlem boyunca kopar. Kayma kırılması, sünek malzemelerin tanıtıcı özelliğidir [44]. Kayma kırılması, kayma gerilmesinin kritik bir değeri aşması ile atom düzlemlerinin kayması sırasında atom bağlarının kopmasıyla meydana gelir. Atom bağlarının kayma ile kopması sonucunda meydana gelen bu kırılma, bölgesel homojen olmayan plastik deformasyon işleminden ibarettir. Metalik malzemelerde plastik deformasyon, kaymaya karşı direnci az olan atom düzlemlerinin kayması ile meydana gelir. Bu tür düzlemlere kayma düzlemleri adı verilir. Metalik malzemelerde kayma çatlakları maksimum kayma gerilmesinin bulunduğu kısımlarda ilerleme eğilimi gösterir. Çatlağın takip ettiği yol yükleme şekline, iç gerilmeler meydana getiren faktörlere ve matriks yapısına bağlıdır. Bu tip kırılma, çatlak ilerleyişi makroskopik olarak olarak çekme yönüne dik olduğundan normal kırılma veya kırık yüzeyi görünüşü lifli olduğundan lifli kırılma adını alır [45].

4.2 Basma Testi

Çekme deneyi sonucunda elde edilen gerilme–gerinme eğrisinin kullanımı sınırlıdır. Çünkü numune maksimum yükten sonra lokal olarak deforme olmaya

başlar ve boyun verir. Boyun verme sırasında, tüm deformasyon bu bölgede yoğunlaşır ve numunenin daha fazla uzamasını engeller. Bu yüzden, çekme deneyinde ulaşılabilecek en yüksek gerçek gerinme 0,5 civarındadır. Oysa herhangi bir metal şekillendirme işleminde oluşan gerçek gerinme çok daha fazladır ve 2,0 ile 4,0 arasında değişir. Malzemenin, yüksek gerinmelerdeki davranışını belirlemek için en uygun yöntem basma deneyidir.

Kırılgan malzemeler, çekme gerilmeleriyle yüklendiklerinde gerçek performanslarını gösteremezler ve beklenenin çok altındaki yüklerde kırılırlar. Bunun nedeni, gevrek malzemelerde çatlak duyarlılığının çok fazla olması ve çatlağın, ancak çekme gerilmelerinin etkisi altında ilerleyebilmesidir. İşte bu yüzden, gevrek malzemeler basma gerilmeleri altında daha güçlüdürler ve genellikle, basma yükleri altında kullanılmak için tasarlanırlar. Basma deneyinin diğer bir amacı da özellikle gevrek ve yarı gevrek malzemelerin sünekliğini ölçmek ve kırılgan malzemelerin gerçek performanslarının belirlenmesidir. Zira bu malzemelerin çekmede % uzama ve % kesit daralması değerleri hemen hemen sıfırdır [40].

Basma deneyleri ile malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilir [41]. Basma testinden elde edilen bilgiler; akma mukavemeti, akma sınırı, elastisite modülü, gerilme-gerinim eğrisi ve basma mukavemetidir. Basma mukavemeti, toplam gerinmeye ve numune geometrisine bağlı olan bir değerdir [46].

Basma deneyi sırasında numunenin kesiti devamlı olarak arttığından, çekme deneyinde görülen boyun verme problemi yoktur. Basma deneyinin diğer bir avantajı da testlerde çok küçük numunelerin bile kullanılabilmesidir. Çok pahalı malzemelerin kullanıldığı durumlarda numunelerin küçük boyutlarda hazırlanabilmesi büyük avantaj sağlar.

Basma deneyi işlem itibarı ile çekme deneyinin tamamen tersidir. Basma deneyi de çekme deneyi makinelerinde yapılır. Basma kuvvetlerinin uygulandığı malzemeler genellikle basma deneyi ile muayene edilir. Basma kuvvetlerinin uygulandığı yerlerde kullanılan malzemeler genellikle gevrek malzemelerdir. Gri dökme demir, yatak alaşımları gibi metalik ve tuğla, beton gibi metal dışı

malzemelerin basma mukavemetleri, çekme mukavemetlerinden çok daha yüksek olduğundan, bu gibi malzemeler basma kuvvetlerinin uygulandığı yerlerde kullanılırlar ve basma deneyi ile muayene edilirler [36].

4.3. Eğilme Testi

Eğilme deneyi, iki ucu iki ayrı desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle dikdörtgen veya daire kesitli düz bir deney parçasının, yön değiştirmeden orta noktasına (üç nokta eğilme deneyi) veya her iki destekten eşit mesafede iki noktaya (dört nokta eğilme deneyi) eğilme kuvveti uygulanarak yapılan deneydir. Eğilme deneyinde eğilme momenti, elastisite modülü, eğilme mukavemeti gibi değerler hesaplanır. Eğilme deneyleri genellikle dökme demir ve yüksek mukavemetli çelikler gibi gevrek ve kırılğan malzemeler için yapılır [45].

Eğilme deneyindeki amaç, kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerin oda sıcaklığında çatlama olmadan katlanabileceğini veya katlanamayacağını tespit etmektir. "A" kalınlığındaki levhaların belirli bir çapta eğilme mandreli ile iki yuvarlatılmış mesnet arasında basılarak katlanır [44]. Eğilme deneyinin prensibi; kaynaklı birleştirmelerin enine kesitleri veya yüzeylerinden biri gerilme altında olduğunda, kaynaklı bir birleştirmeden enine veya boyuna olarak alınan deney numunesinin, eğilme yönünü tersine çevirmeksizin, eğmek suretiyle plastik deformasyona tabi tutulmasıdır [47]. Bu amaçla üç tip eğilme deneyi kullanılmaktadır:

- a) Kaynak dikiş yüzeyinin eğilmesi; burada kaynağın üst yüzeyi çekmeye maruzdur.
- b) Kökün veya aksi yüzün eğilmesi; burada ya kaynağın kökü ya da aksi yüzeyi çekmeye maruzdur.
- c) Kenar eğilmesi; burada kaynağa dik doğrultuda düşey bir dilim kesilir, böylece bağlantının enine kesiti çekmeye maruz kalır.

Her bir halde, ilgili standartta belirtilmiş boyutlar ve yüzey durumuna göre hazırlanmış deney parçaları iki mesnet arasına yerleştirilir, denenen yüzeyin aksi tarafındaki yüzeye basma kafası ile basınç uygulanır. Deney parçası, alt yüzey çekmeye maruz kalacak şekilde, kenarlar birbirine paralel oluncaya kadar

mesnetler arasından aşağı doğru zorlanır. Bundan sonra yzeyde yırtılmalar ve çatlakların var olup olmadığına bakılır [44].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Deneylerde, yüksek mukavemetli bir çelik olan MIL-A 46100 zırh çeliği kullanılmıştır. Bu malzeme, yüksek mukavemet, yüksek yorulma direnci ve iyi kaynaklanabilirlik gibi malzeme özelliklerine sahip olduğu için, savunma araçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Testlerde kullanılan zırh çeliğinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 5.1.1' de ve Çizelge 5.1.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.1.1 Zırh çeliğinin kimyasal bileşimi (%).

	C	Cr	Ni	Mb	Mn
Kimyasal Bileşim (%)	0,272	0,92	0,301	0,249	0,699

Çizelge 5.1.2 Zırh çeliğinin mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı (MPa)	1660
Akma Dayanımı (MPa)	1396
Elastisite Modülü (GPa)	211,3
Uzama %	11
Poisson Oranı	0,28
Sertlik (HB)	490

Kaynak elektrodu olarak 1,6 mm çapındaki östenitik paslanmaz çelik elektrot kullanılmıştır. Kaynak malzemesinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Çizelge 5.1.3 de ve Çizelge 5.1.4 de verilmiştir.

Çizelge 5.1.3 Kaynak metalinin kimyasal bileşimi (%).

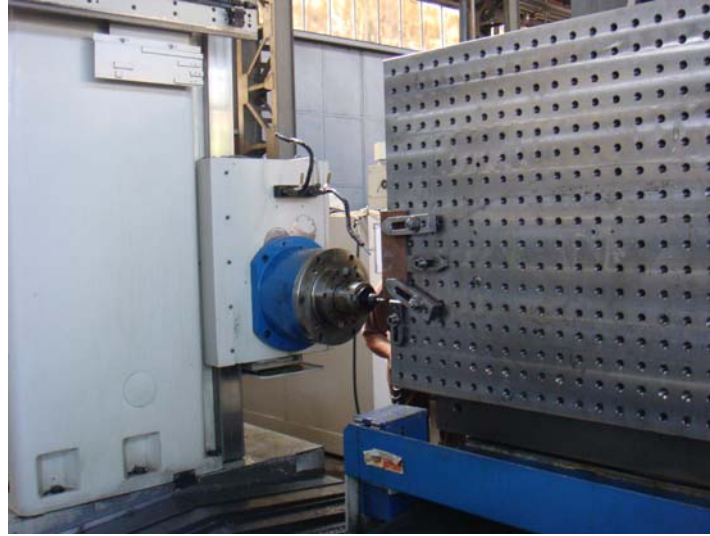
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Kimyasal Bileşim (%)	0,066	0,622	6,819	0,017	0,012	18,633	8,801

Çizelge 5.1.4 Kaynak elektrodunun mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı (MPa)	612
Akma Dayanımı (MPa)	407
Uzama %	40
Elastisite Modülü (GPa)	73,3
Poisson Oranı	0,3

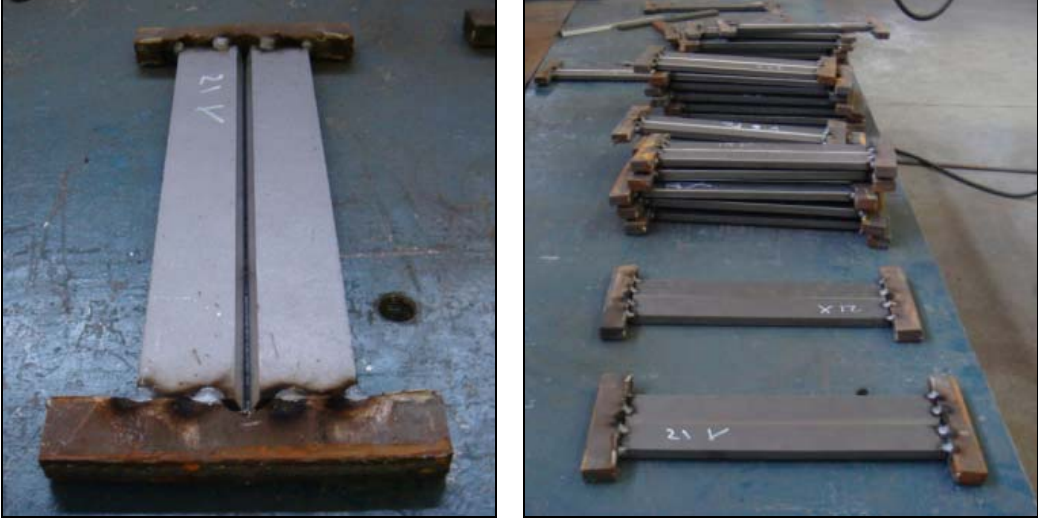
5.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Uluslararası standartlara göre tasnif edilmiş zırh çelik plakalar lazerle kesilerek gerekli işlemler için hazır hale getirilmiştir. İstenilen boyutlarda kesilen plakalara, 1. Ana Bakım Merkez Komutanlığı'nda bulunan PEGARD yatay işleme tezgahında TS EN ISO 9692-1 standardına göre 48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağzı açılmıştır (Şekil 5.2.1).



Şekil 5.2.1 Yatay işleme tezgahı

Kaynak işlemi yapılmadan önce deney parçaları düzgün bir kaynak dikişi için puntalanmıştır ve kaynak işlemi için hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.2.2).



Şekil 5.2.2 Deney parçalarının puntalanması

5.3 Kaynak İşlemleri

TS EN ISO 9692-1 standardına göre kaynak ağzı açılmış numuneler MIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir (Şekil 5.3.1). Kaynak işlemi sırasında koruyucu gaz karışımı olarak %97 Argon + %3 CO₂ kullanılmıştır. MIG kaynak işlemi için 1 mm çapında östenitik paslanmaz çelik elektrot kullanılmıştır.



Şekil 5.3.1 MIG kaynağı ile birleştirilmiş parçalar

Kaynak işleminde kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 5.3.1' de verilmiştir. Çekme deneyleri için kullanılacak numunelerin kaynak işleminde yüksek ısı girdisi sebebiyle parçalarda çarpılmalar meydana gelmiştir. Kaynak esnasında oluşacak çekme çarpılmalarını önlemek amacıyla, kaynaklanacak parçalara uygun bir bağlama aparatı tasarlanmıştır. Parçalar bu aparata yerleştirilerek kaynak işlemleri

gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde çarpılmalar ve oluşacak şekil değişimleri azaltılmıştır. Hazırlanan aparat Şekil 5.3.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3.1Kaynak parametreleri

Kaynak akımı	150 A
Kaynak gerilimi	24,5 V
Kaynak hızı	4,9 m/dak
Kaynak teli çapı	1 mm
Paso sayısı	3



Şekil 5.3.2 Kaynakta çarpılmayı önleyen aparat

MIG kaynağı ile birleştirilen parçalar standartlarda belirtilen ölçülere getirilmek için ilk önce kesilmiştir. Kaynak edilen parçalardan standartlara göre 36 adet çekme, 36 adet basma, 36 adet eğilme olmak üzere toplam 108 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Kaynak işleminden sonra kaynaklı parçalar kirpi freze ile işlenmiş ve istenilen boyutlara getirilmiştir.

Çekme deneyleri için hazırlanan numunelerin test cihazının çenelerinde kayma yapmaması ve çenelere tam oturması açısından, çekme numunelerinin uç kısımlarındaki yüzeylere freze yardımıyla 2 mm aralıkla ve 90° açıda dişler açılmıştır (Şekil 5.3.3). Son olarak yüzey pürüzlülüklerinin giderilmesi için parçaların yüzeyleri taşlanmıştır.



Şekil 5.3.3 Çekme numune yüzeylerine açılan dişlerin görünüşü

5.4 Çekme Deneyleleri

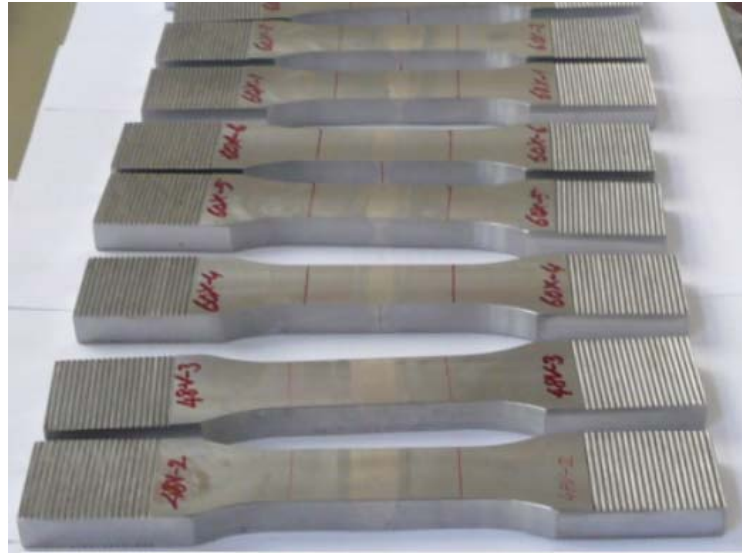
Çekme deneyleleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metalurji Bölümü'ndeki INSTRON 8503 model 500 kN çekme ve basma kapasitesine sahip üniversal test cihazında oda sıcaklığında yapılmıştır (Şekil 5.4.1). Çekme testlerinde, başlık hızı 5 mm/dak olarak seçilmiştir.



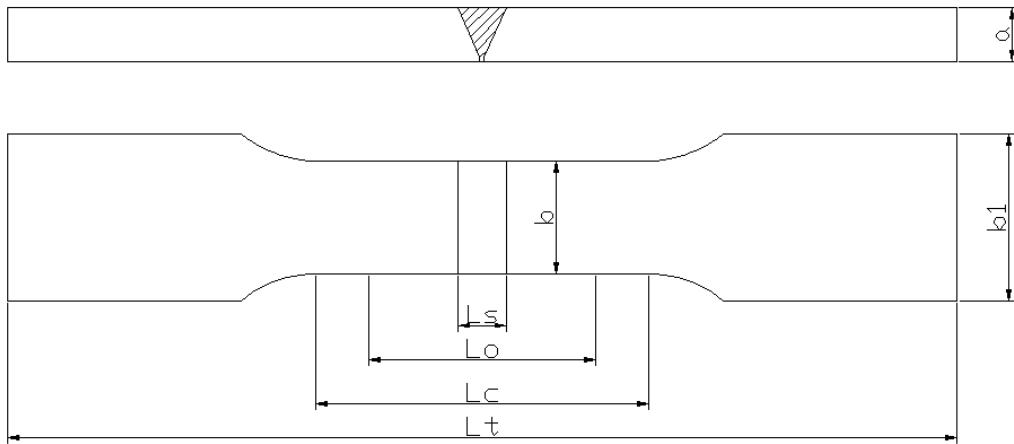
Şekil 5.4.1 Çekme test cihazı

Deney öncesinde numunelerin ilk ölçüm boyları kaydedilmiştir. Kuvvet ve uzama değerleri deney sırasında çekme cihazına bağlı bilgisayardan elde edilmiştir. Deneylerde kaydedilen kuvvet-uzama ölçüm değerleri kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan çekme numuneleri, TS 287 EN 895 standardına göre hazırlanmıştır. Çekme test numuneleri Şekil 5.4.2' de gösterilmiştir. Çekme deney numunelerinin boyutları Şekil 5.4.3' te gösterilmiştir. Çizelge 5.4.1' de çekme numunelerine ait ölçülendirmeler verilmiştir.



Şekil 5.4.2 Çekme test numuneleri



Şekil 5.4.3 Plakalar için deney numuneleri boyutları

a= Deney numunesinin kalınlığı

b= Kalibre edilmiş paralel uzunluğun genişliği

b₁= Baş kısmı genişliği

Ls= Makine işleminden sonra kaynağın en büyük genişliği

Lc= Paralel uzunluk

Lo= İlk ölçü uzunluğu

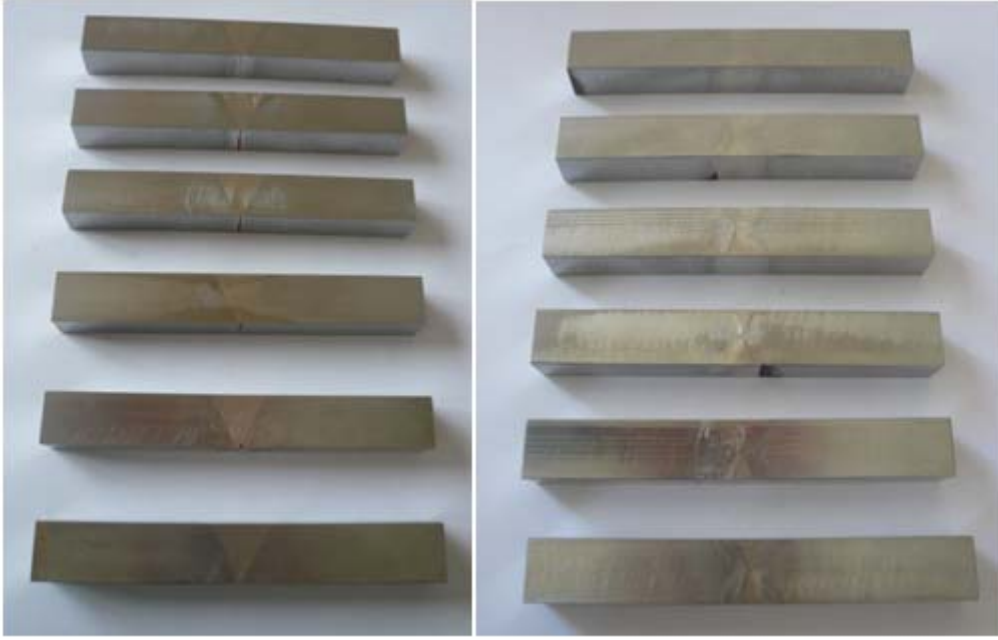
Lt= Deney numunesinin toplam uzunluğu

Çizelge 5.4.1 Çekme deney numunelerinin boyut ve ölçüleri

Numune	Çekme numunelerinin ölçüleri [mm]						
	a	b	b ₁	Ls	Lo	Lc	Lt
48X	12	25	37	5,86	50	67,18	210
54X	12	25	37	6,56	50	68,07	210
60X	12	25	37	7,34	50	69,70	210
48V	12	25	37	10,77	50	73,54	210
54V	12	25	37	12,27	50	75,38	210
60V	12	25	37	13,80	50	77,38	210

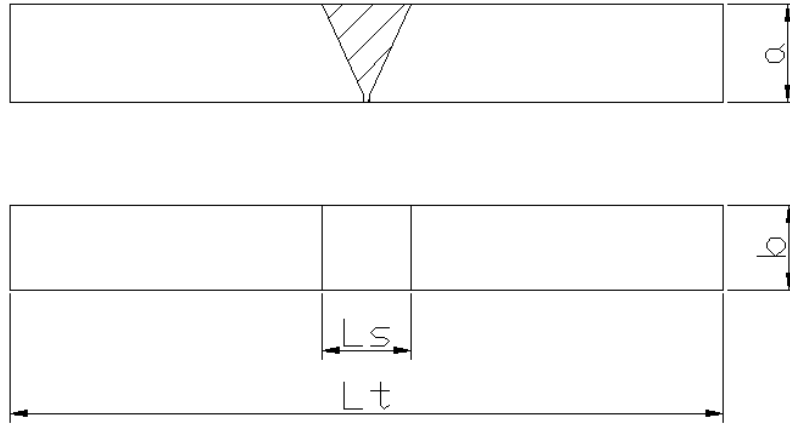
5.5 Basma Deneyleri

Basma testleri, çoğunlukla malzemelerin elastisite modülü, basma mukavemeti gibi özelliklerini belirlemek için kullanılır. Basma deneyleri de aynı şekilde, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metalurji Bölümü'nde bulunan 500kN kapasiteli INSTRON marka test cihazında gerçekleştirilmiştir. Testler 5 mm/dak basma hızında yapılmıştır. 48°, 54°, 60° açılarda ve X, V geometrilerinde kaynak ağzı açılmış olan basma test numuneleri ASTM E9-89a standardına göre hazırlanmıştır. Herbir açı ve geometri için 6 adet olmak üzere toplam 36 adet basma deney numunesi deneylerde kullanılmıştır (Şekil 5.5.1).



Şekil 5.5.1 Deneylerde kullanılan basma numuneleri

Basma deneyleri için kullanılan numune boyutları Şekil 5.5.2' de gösterilmiştir. Basma numune boyutlarına ait ölçülendirmeler Çizelge 5.5.1' de verilmiştir. Her bir konfigürasyon ve açı için 6 adet basma numunesi hazırlandığından, Çizelge 5.5.1' de verilen ölçüler ortalama değerlerdir.



Şekil 5.5.2 Basma deney numunelerinin boyutları

a= Deney numunesinin kalınlığı

b= Deney numunesinin genişliği

Ls= Makine işleminden sonra kaynağın en büyük genişliği

Lt= Deney numunesinin toplam uzunluğu

Çizelge 5.5.1 Basma deney numunelerinin boyut ve ölçüleri

Numune	Basma numunelerinin ölçüleri [mm]			
	a	b	Ls	Lt
48X	14,5	12,5	6,96	104,5
54X	14,5	12,5	7,82	104,5
60X	14,5	12,5	8,78	104,5
48V	14,5	12,5	13,09	104,5
54V	14,5	12,5	14,87	104,5
60V	14,5	12,5	16,59	104,5

Basma deneyleri için ilk olarak düz plakalar hazırlanmıştır. Hazırlanan bu plakalar, deney cihazının alt ve üst kısımlarına civatalarla bağlanmıştır (Şekil 5.5.3).



Şekil 5.5.3 Basma testi için hazırlanmış düz plakalar

Basma numunelerinin boyunun kesit boyutlarına kıyasla çok uzun olması durumunda numunede burkulma ya da numune boyunun kesit boyutlarına yakın olması durumunda numuneyi destekleyen ve yük uygulayan plakalar ile numune

arasında meydana gelen sürtünmeden dolayı numunede fıçılama görülebilir [48]. Deneylerin sabit birim şekil değiştirme hızında ve numunede burkulma olmadan gerçekleşmesi için bazı ekipmanlara ihtiyaç duyulabilir. Bu nedenle basma numuneleri için test sırasında burkulmayı önleyici bir fikstür üretilmiştir (Şekil 5.5.4). Fikstür tasarlanırken ASTM D3410-03 [49] standardından yararlanılmıştır.

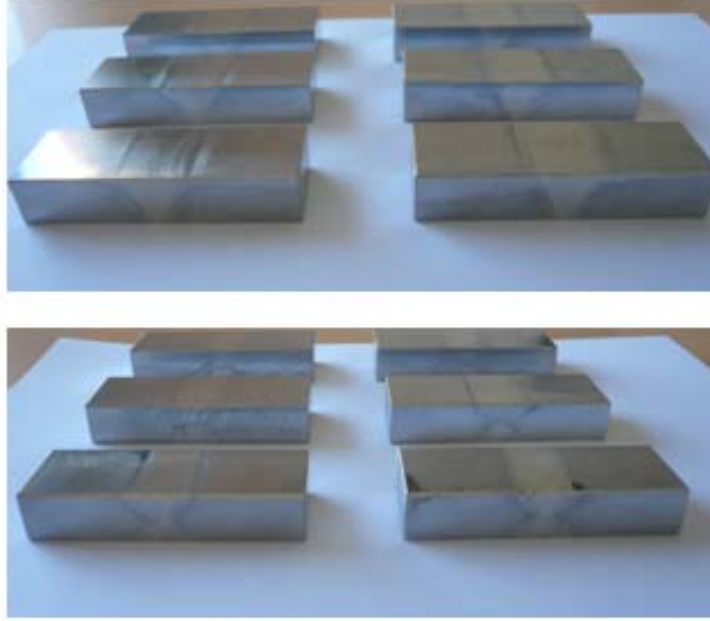


Şekil 5.5.4 Basma deney fikstürü

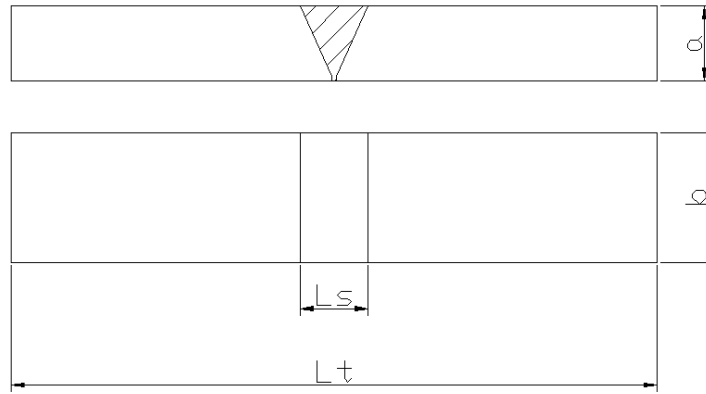
Fikstür alt plakanın üzerine, tam merkezde olacak şekilde yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Basma deneyleri sırasında numunelere cihaz kapasitesinin yeteceği oranda, numunede deformasyon oluşuncaya kadar devamlı kuvvet uygulanmıştır.

5.6 Üç Nokta Eğilme Deneyleri

Üç nokta eğilme deneylerinde 75x25x14,6 mm boyutlarında, MIG kaynağı ile birleştirilmiş numuneler kullanılmıştır (Şekil 5.6.1). TS 282 EN 910 standardına göre hazırlanan eğme numunelerinin boyutları Şekil 5.6.1' de gösterilmiştir. Eğme numunelerine ait ölçülendirmeler Çizelge 5.6.1' de verilmiştir. Testler benzer bir şekilde, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metalurji Bölümü' nde bulunan INSTRON marka çekme cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.6.1 Üç noktalı eğme deney numuneleri



Şekil 5.6.2 Üç nokta eğilme deney numune boyutları

a= Deney numunesinin kalınlığı

b= Deney numunesinin genişliği

Ls= Makine işleminden sonra kaynağın en büyük genişliği

Lt= Deney numunesinin toplam uzunluğu

Çizelge 5.6.1 Eğme test numunelerinin ölçüleri

Numune	Eğme numunelerinin ölçüleri [mm]			
	a	b	Ls	Lt
48X	14,6	25	7,01	75
54X	14,6	25	7,87	75
60X	14,6	25	8,84	75
48V	14,6	25	13,18	75
54V	14,6	25	14,97	75
60V	14,6	25	16,72	75

Test cihazının eğme deney aparatları kullanılacak test numunelerine uygun olmadığından, üç nokta eğilme deneyleri için bir aparat tasarlanmıştır ve cihazın alt kısmına bağlanmıştır (Şekil 5.6.3). Deneylerde kullanılacak eğme mandreli düz plakaya monte edilerek plaka test cihazına bağlanmıştır (Şekil 5.6.4). Eğme numuneleri hasara uğratılıncaya kadar yük artırılmıştır. Deney sırasında yük – uzama bilgileri bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 5.6.3 Üç nokta eğilme deney aparatı

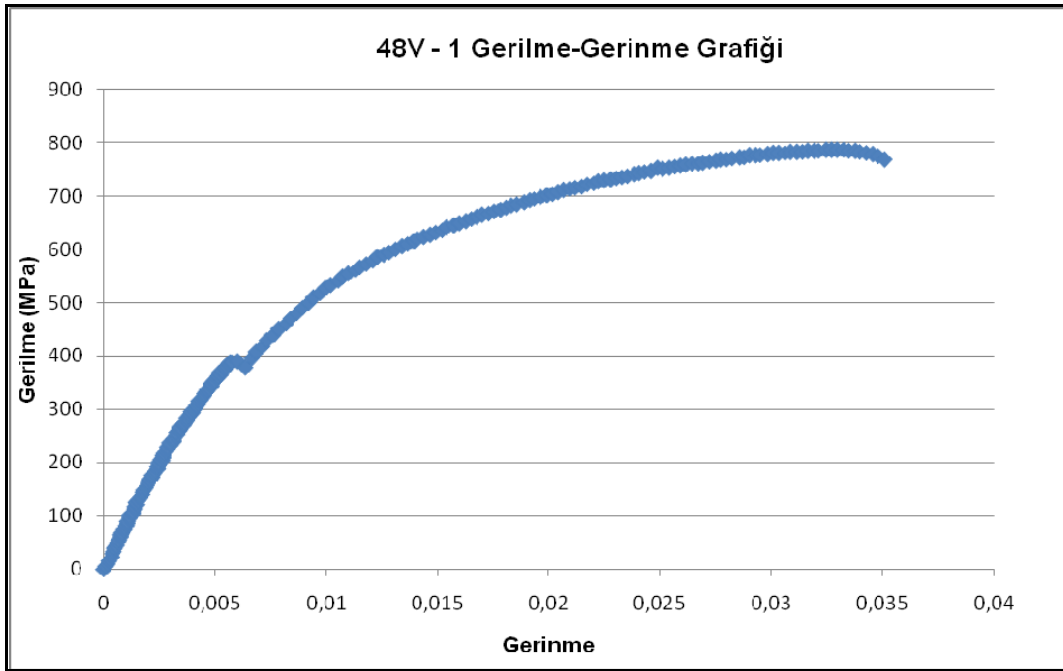


Şekil 5.6.4 Üç nokta eğilme deneyinde kullanılan tüm aparatlar

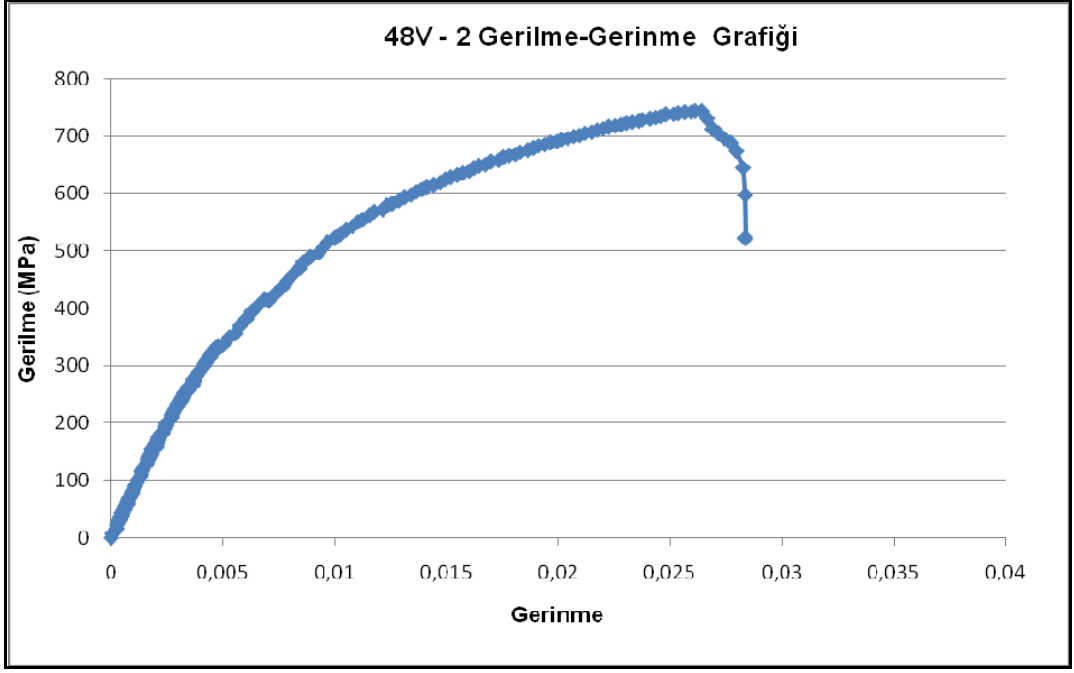
5.7 Bulgular

5.7.1 Çekme deneylerinden elde edilen bulgular

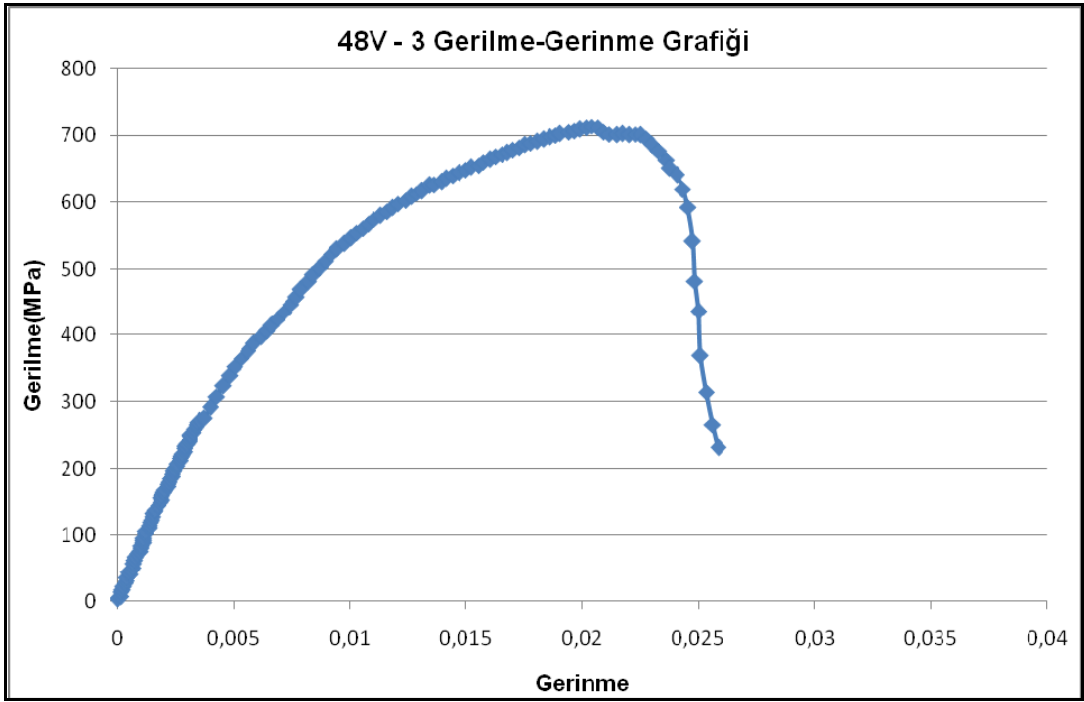
Deneysel çalışmalarda kullanılan çekme test cihazında bir ekstansometre kullanma olanağı bulunmadığından, toplam sistem ve çenelerdeki uzama değerleri dikkate alınarak cihazdan elde edilen veriler, test numunelerine ait uzama değerlerine dönüştürülmüştür. Çekme deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri kullanılarak ve Microsoft Excel programında gerekli hesaplamalar yapılarak numunelere ait gerilme-gerinme diyagramları elde edilmiştir. Her bir geometride ve açıdaki 36 adet çekme numunesi için deneyler tekrarlanmıştır. 48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağızlarına sahip çekme numunelerinin gerilme-gerinme grafikleri Şekil 5.7.1.1' den Şekil 5.7.1.34' e kadar verilmiştir. Bu grafiklerden 48°'lik açıya ve X, V geometrilerine sahip numunelere ait gerilme - gerinme diyagramları Şekil 5.7.1.1'den Şekil 5.7.1.11' e kadar olan grafiklerde gösterilmiştir.



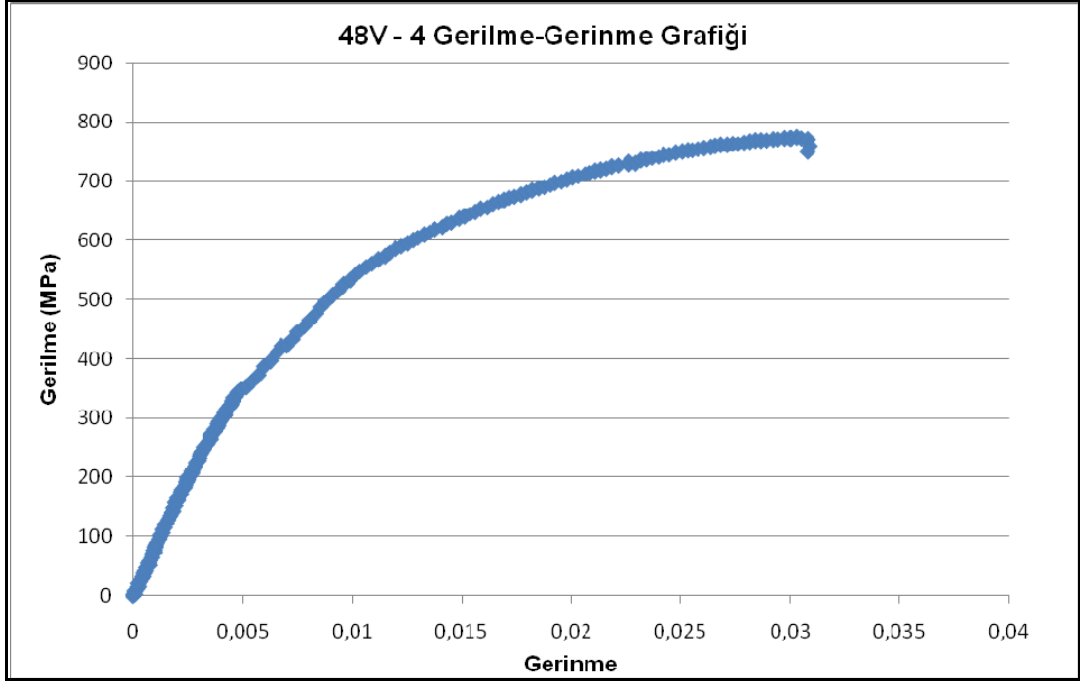
Şekil 5.7.1.1 48V-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



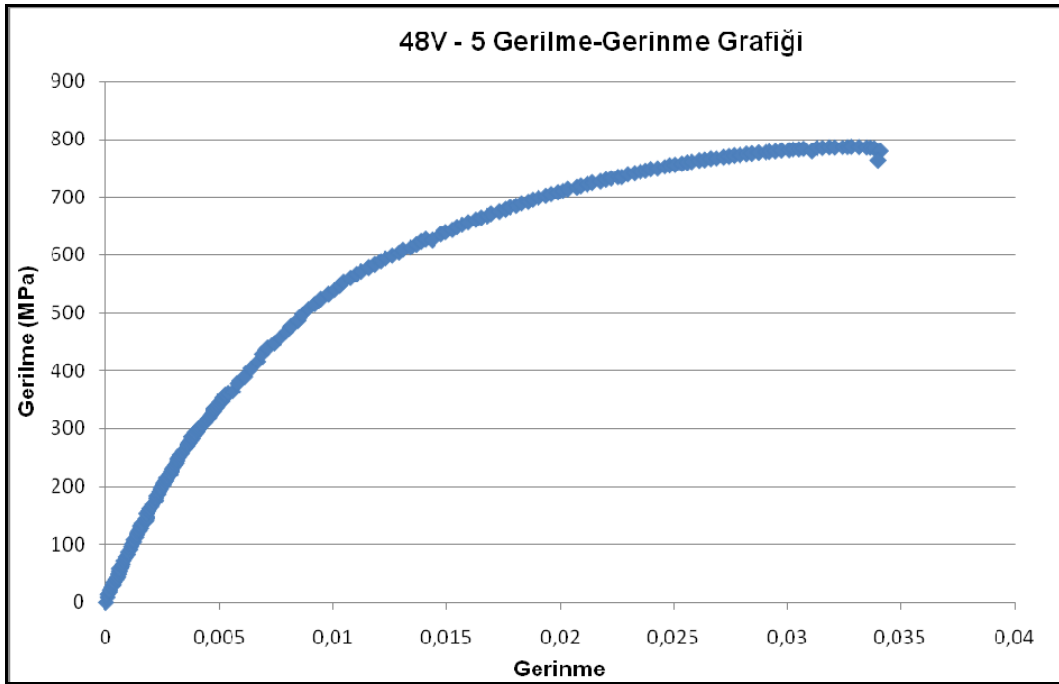
Şekil 5.7.1.2 48V-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



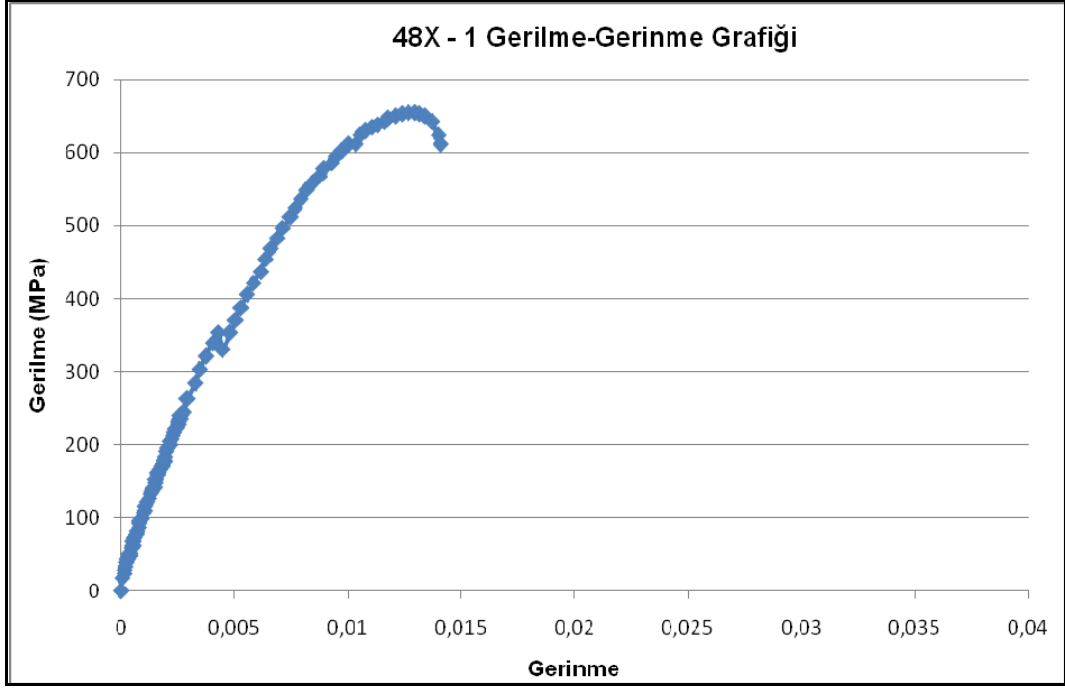
Şekil 5.7.1.3 48V-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



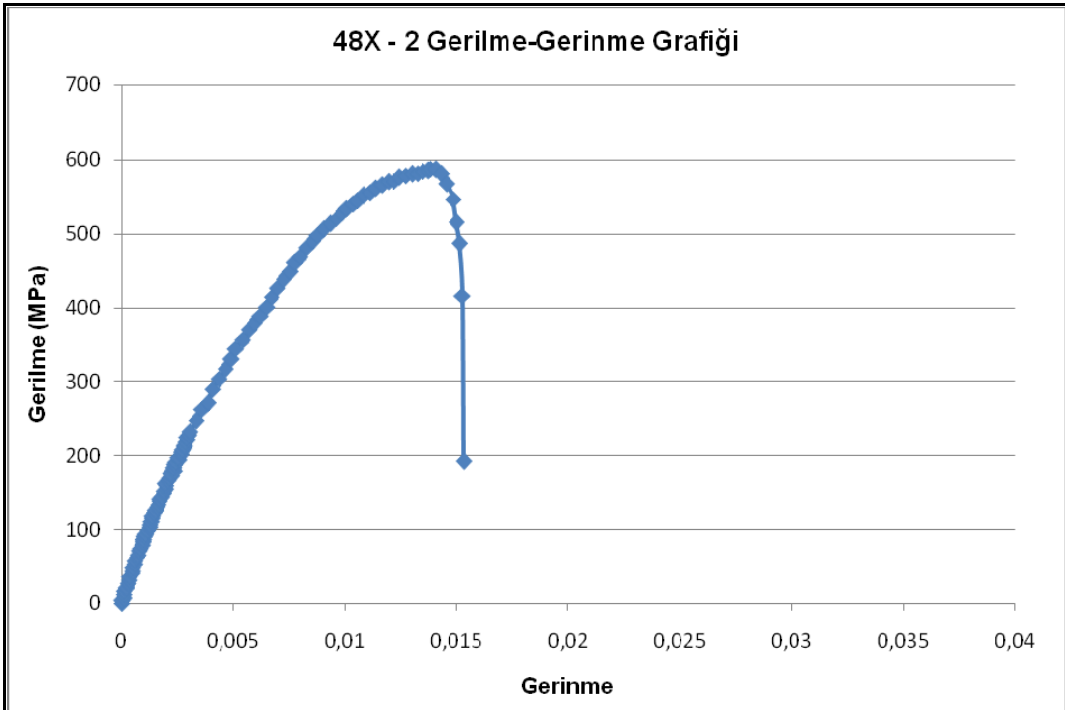
Şekil 5.7.1.4 48V-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



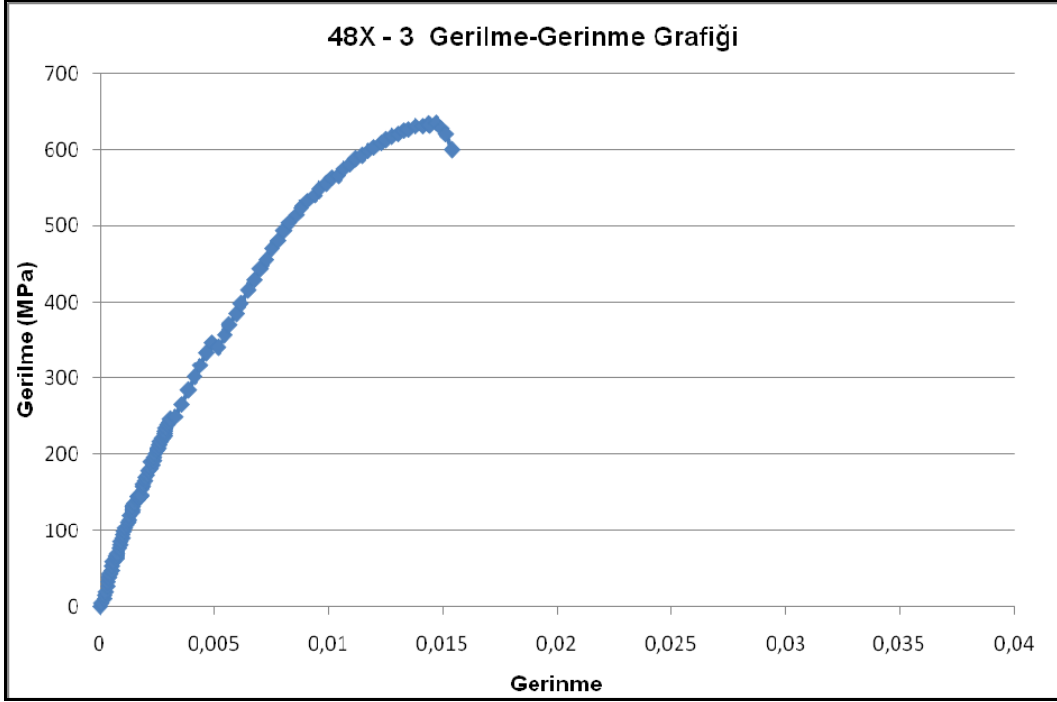
Şekil 5.7.1.5 48V-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



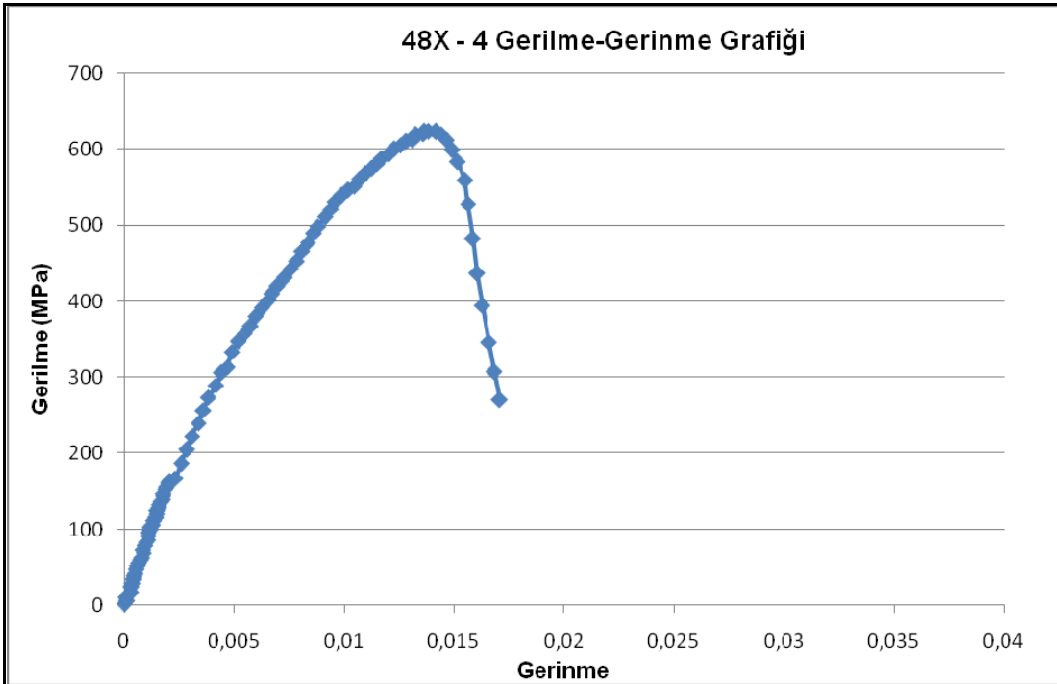
Şekil 5.7.1.6 48X-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



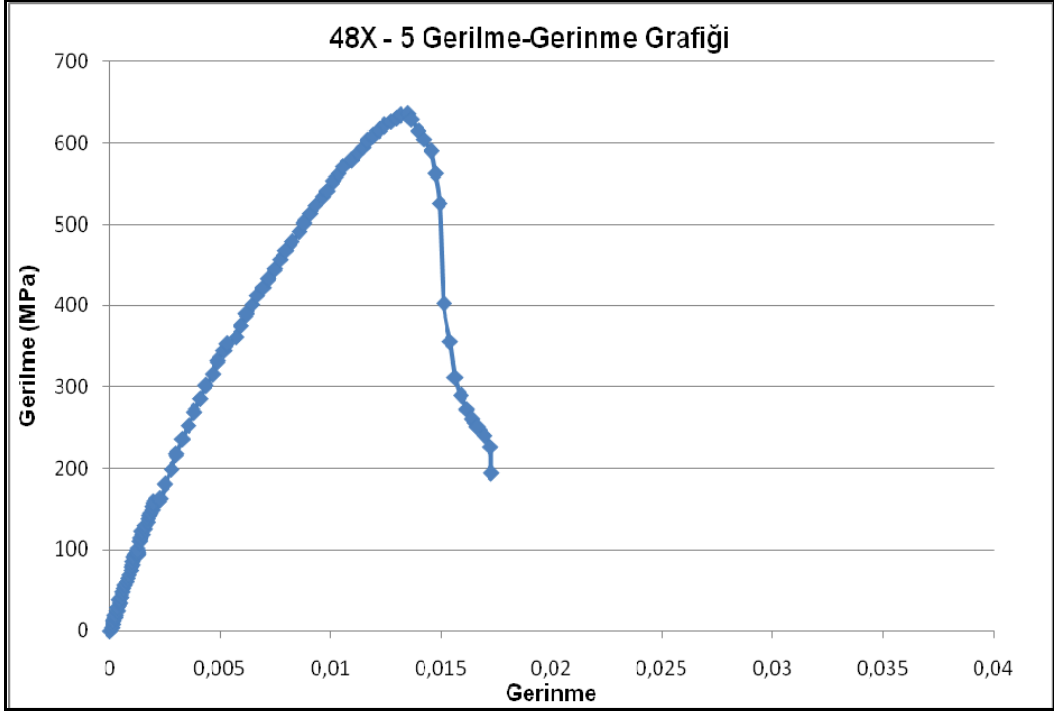
Şekil 5.7.1.7 48X-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



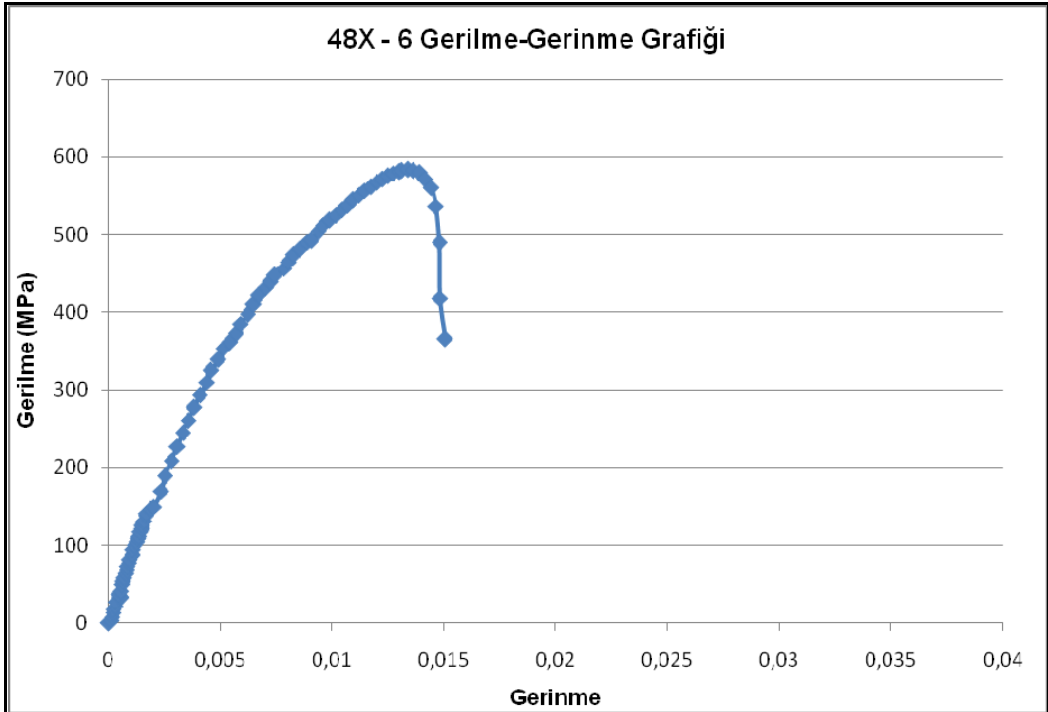
Şekil 5.7.1.8 48X-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.1.9 48X-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

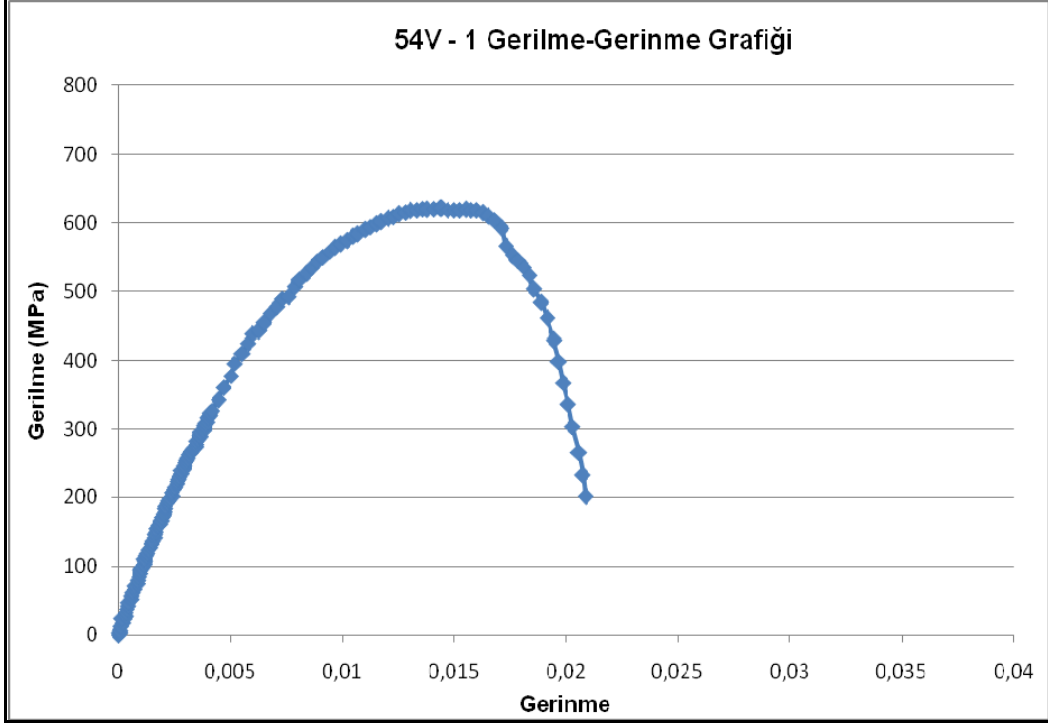


Şekil 5.7.1.10 48X-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

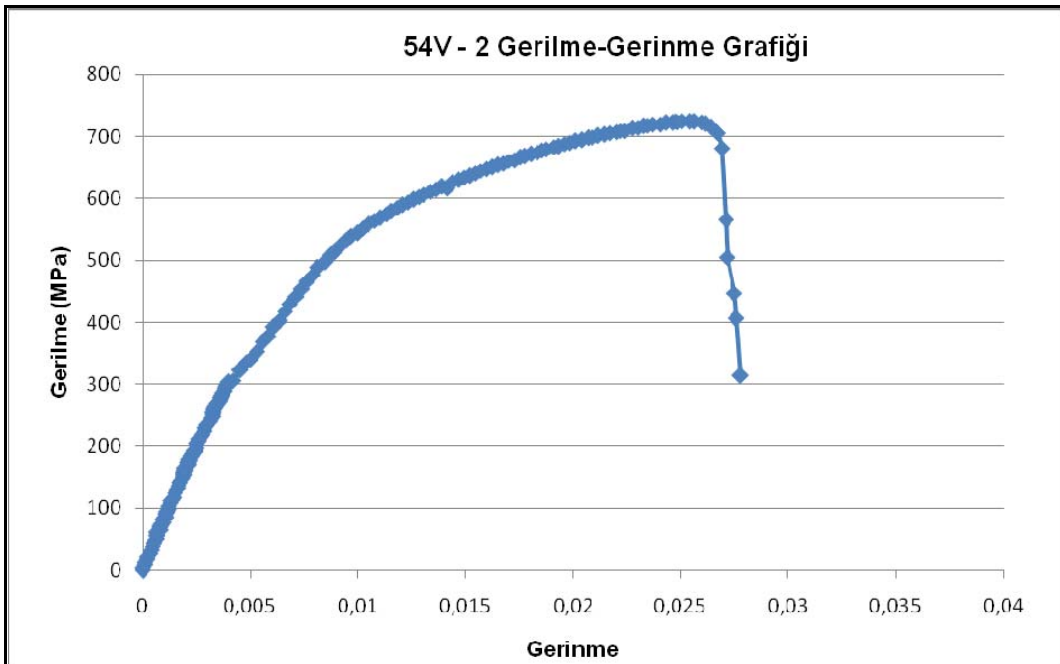


Şekil 5.7.1.11 48X-6 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

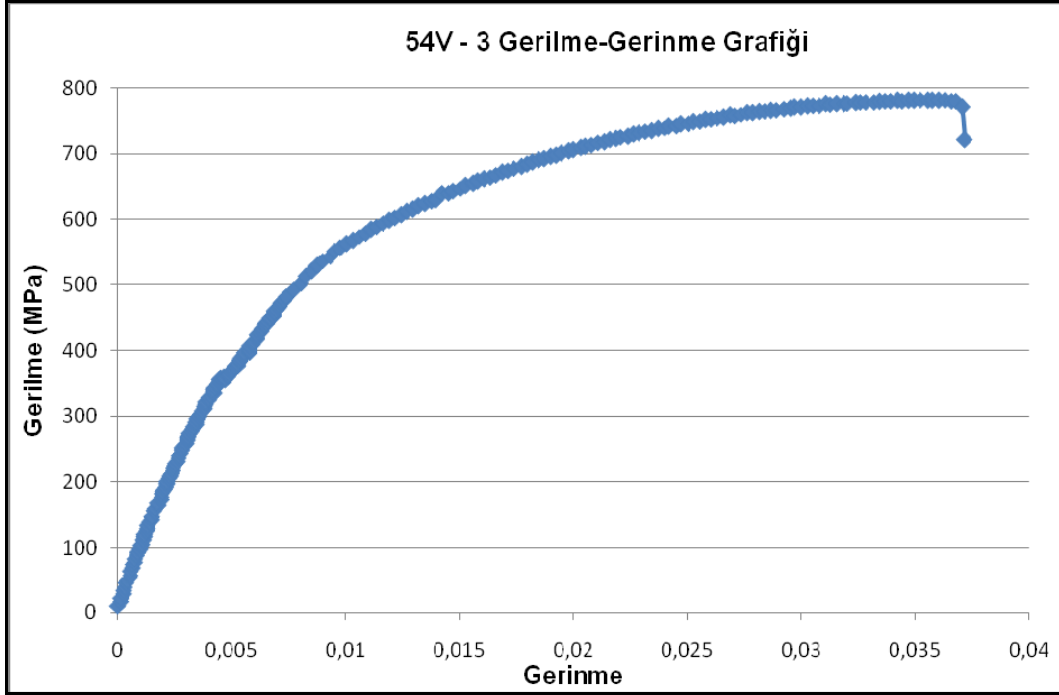
54° 'lik açıda, X ve V geometrilerindeki numunelerin çekme deneylerinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri ise Şekil 5.7.1.12' den Şekil 5.7.1.24'e kadar gösterilmiştir.



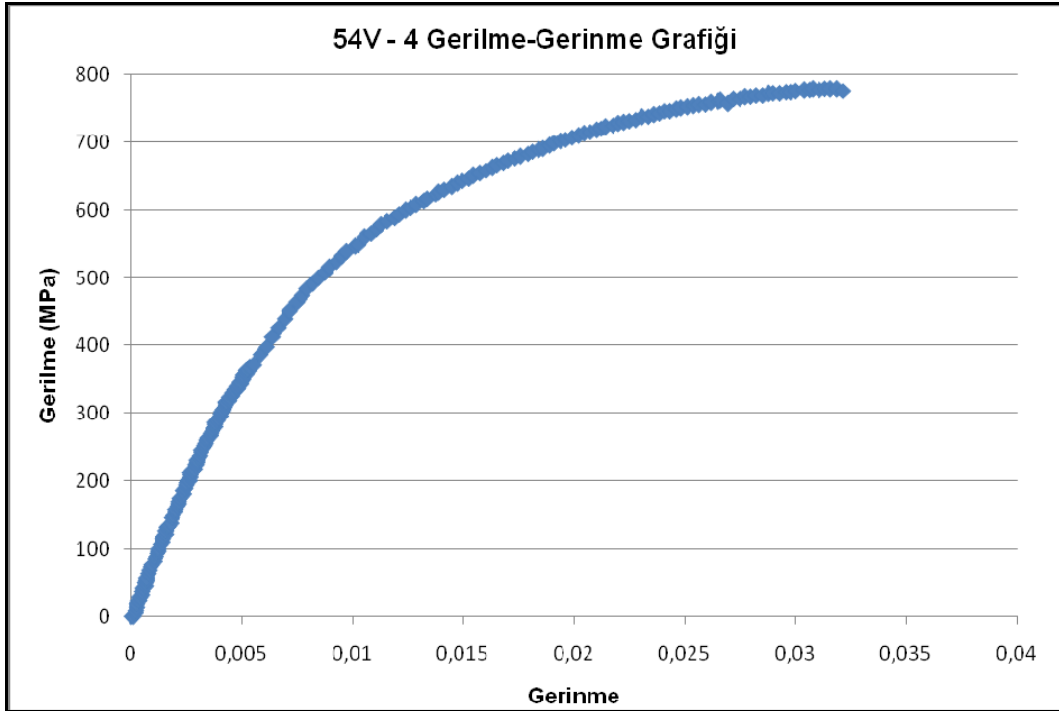
Şekil 5.7.1.12 54V-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



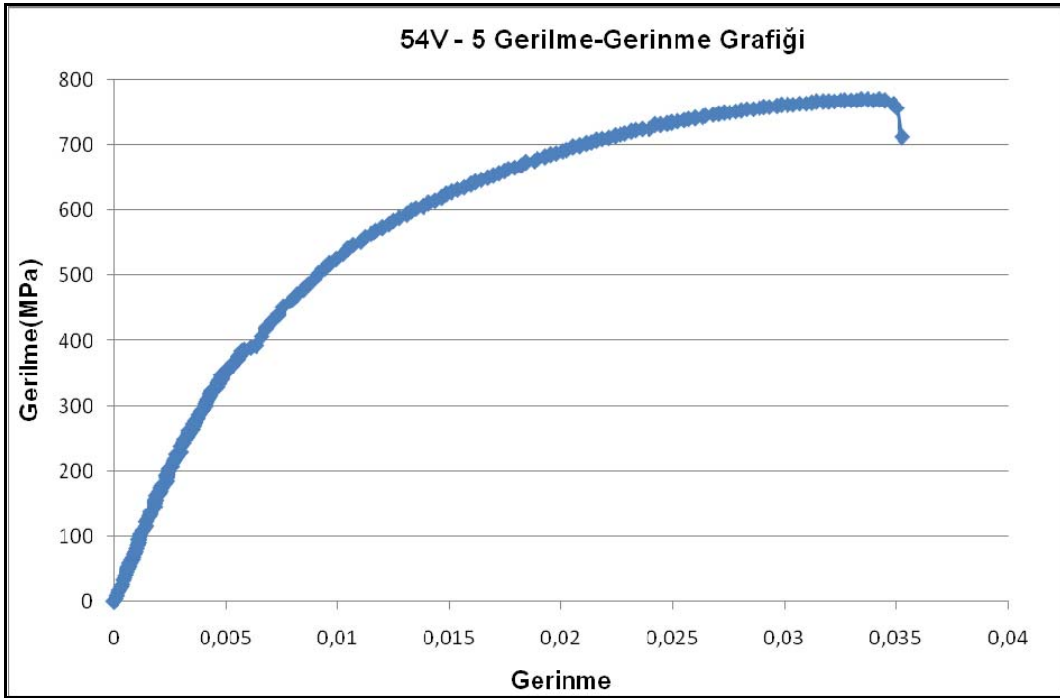
Şekil 5.7.1.13 54V-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



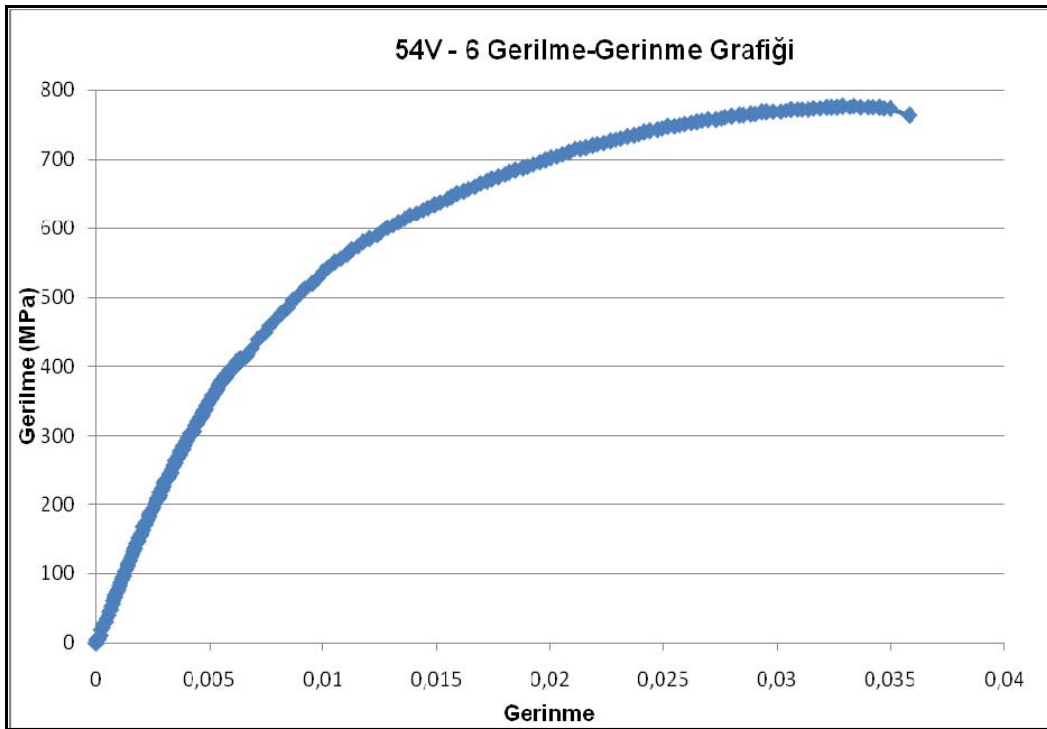
Şekil 5.7.1.14 54V-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



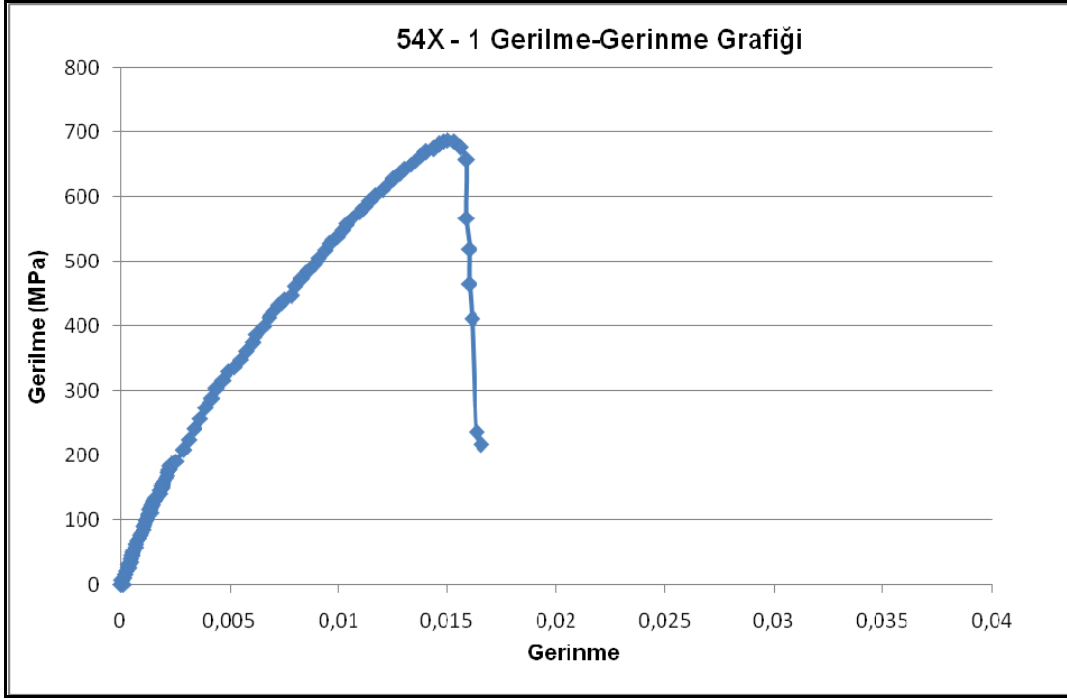
Şekil 5.7.1.15 54V-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



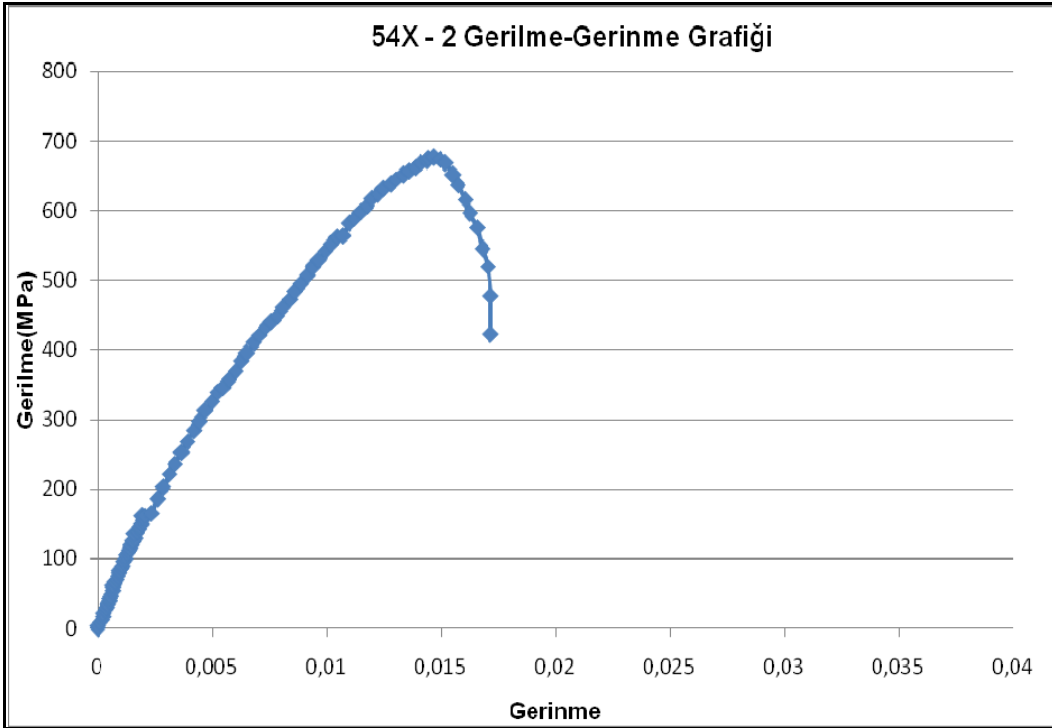
Şekil 5.7.1.16 54V-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



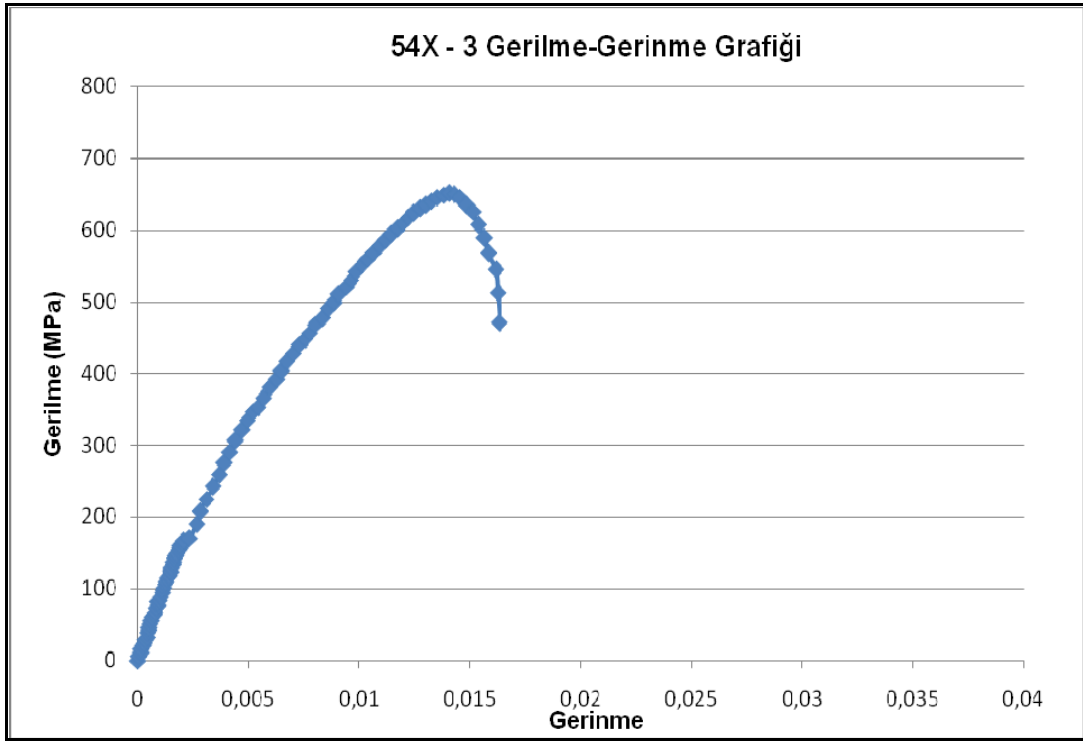
Şekil 5.7.1.17 54V-6 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



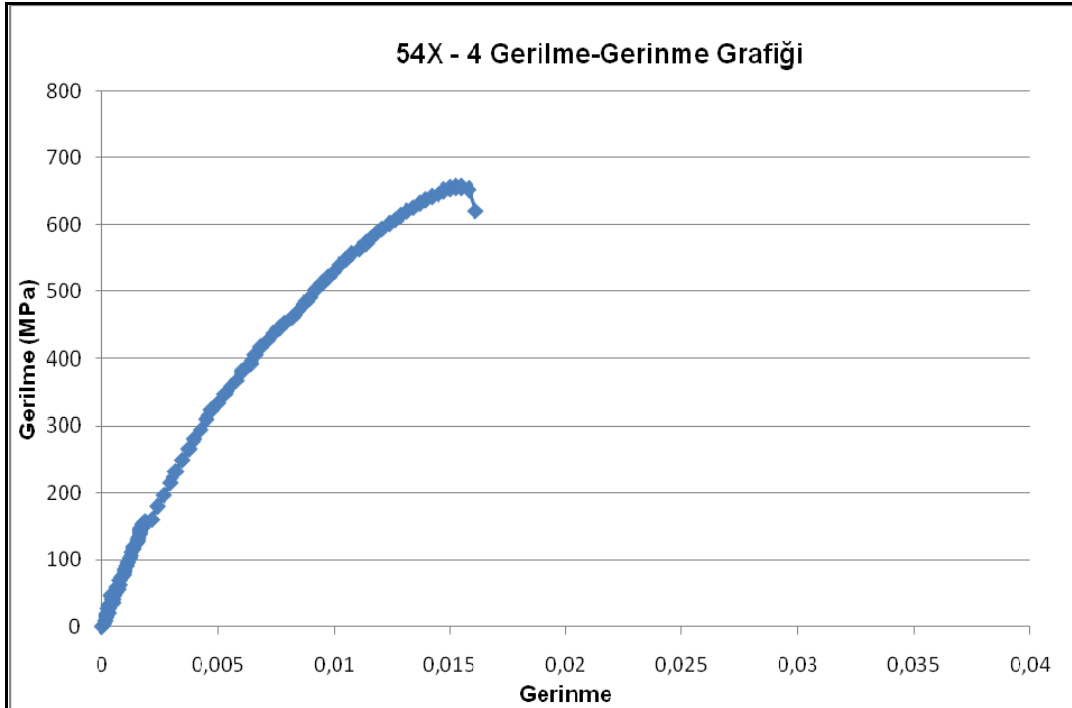
Şekil 5.7.1.18 54X-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



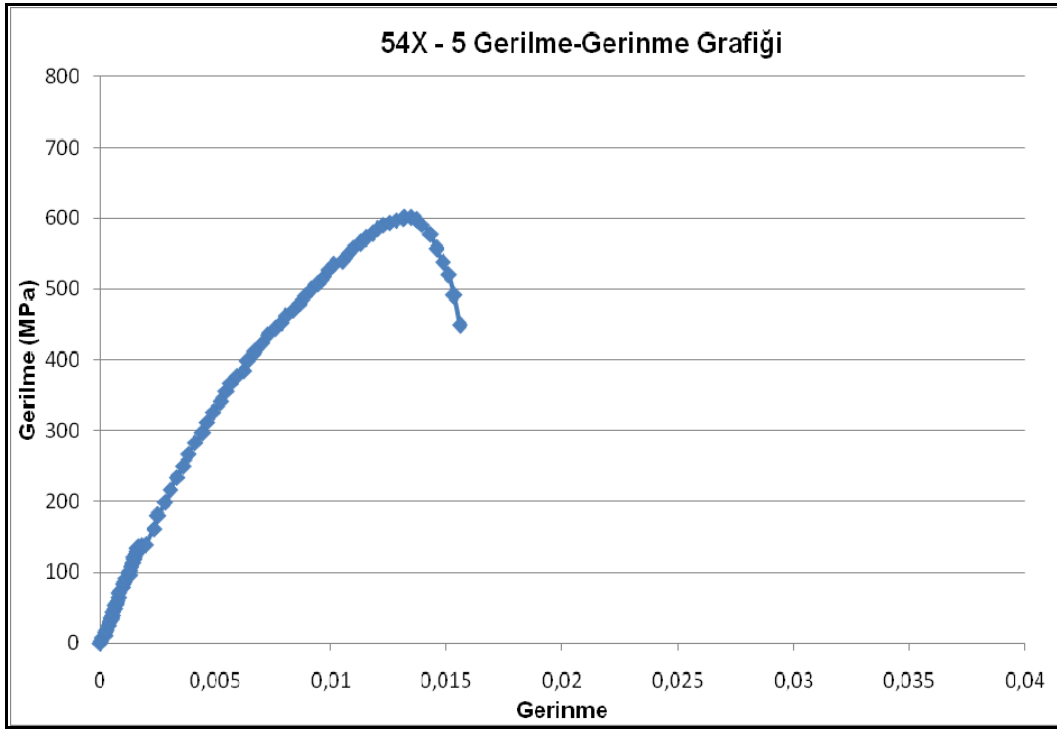
Şekil 5.5.1.19 54X-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



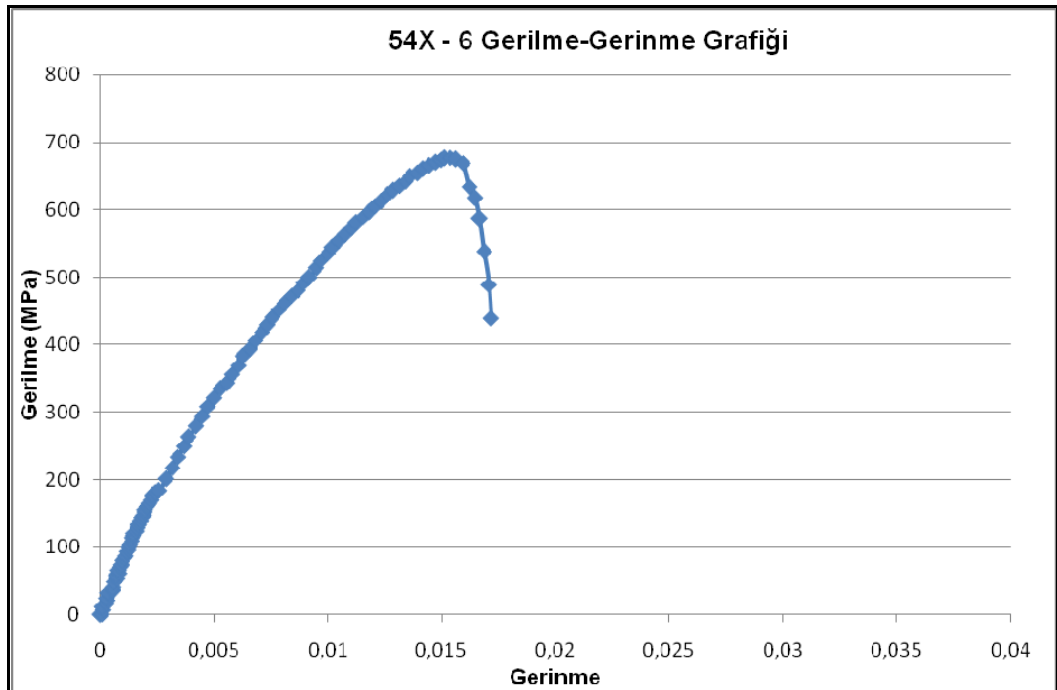
Şekil 5.7.1.20 54X-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.1.21 54X-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

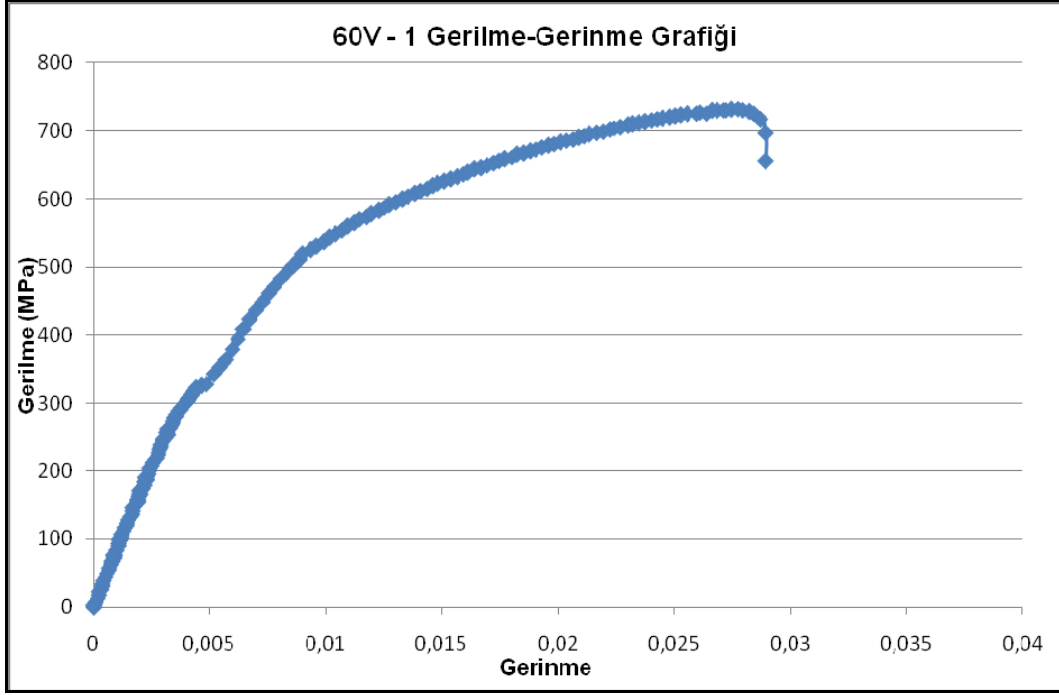


Şekil 5.7.1.22 54X-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

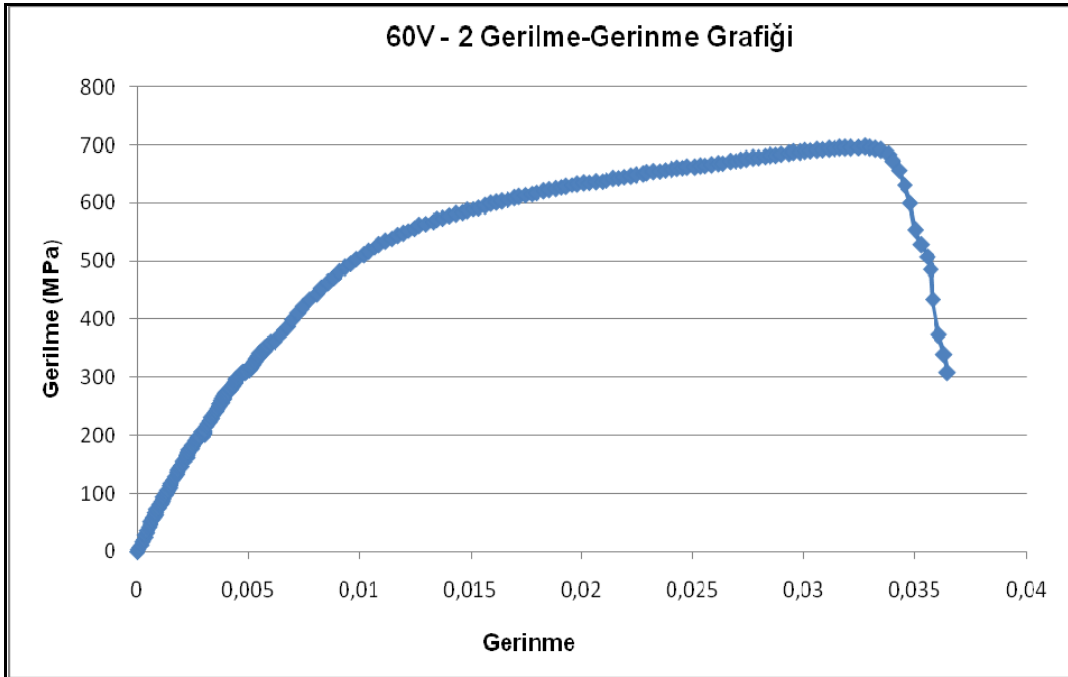


Şekil 5.7.1.23 54X-6 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

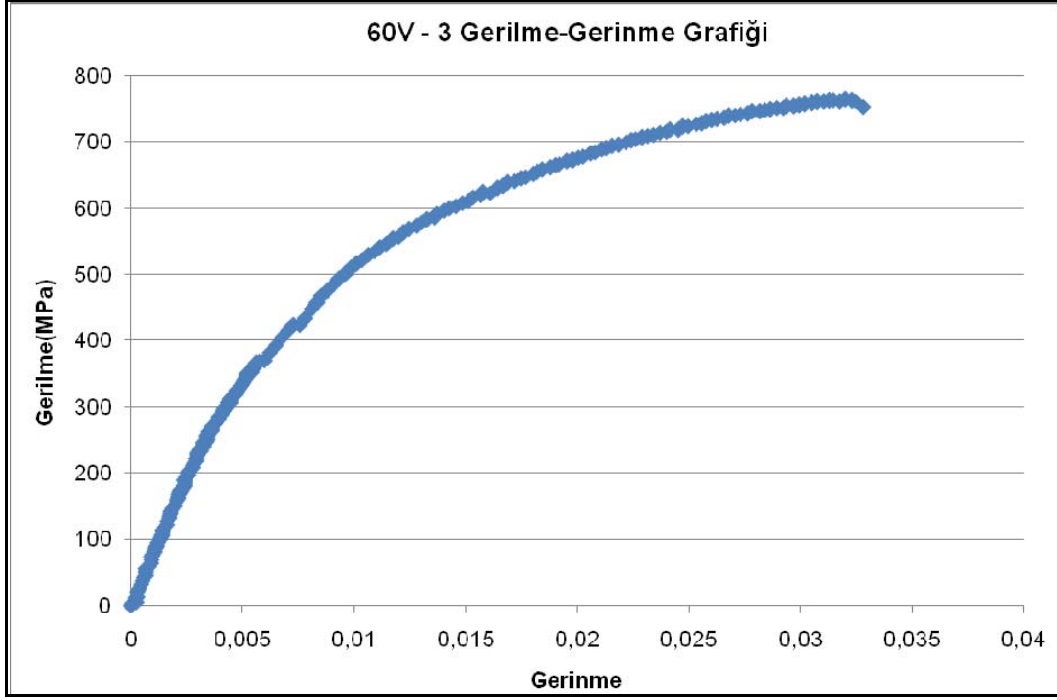
60° açıda, X ve V geometrilerindeki numunelerin çekme deneylerinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 5.7.1.24' ten Şekil 5.7.1.31'e kadar gösterilmiştir.



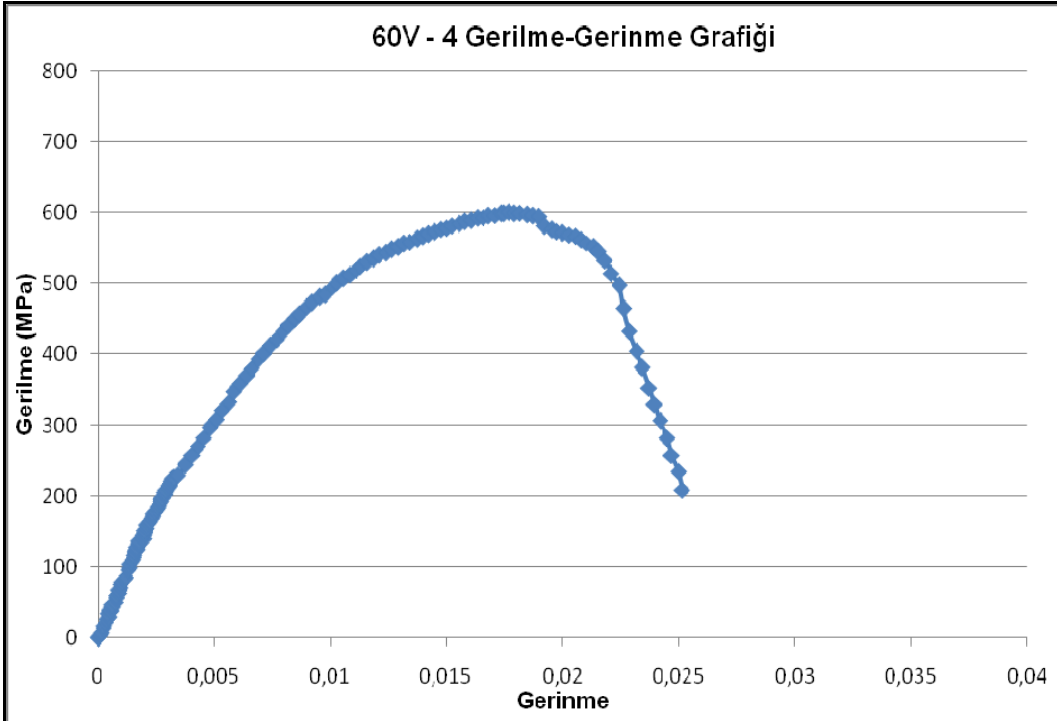
Şekil 5.7.1.24 60V-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



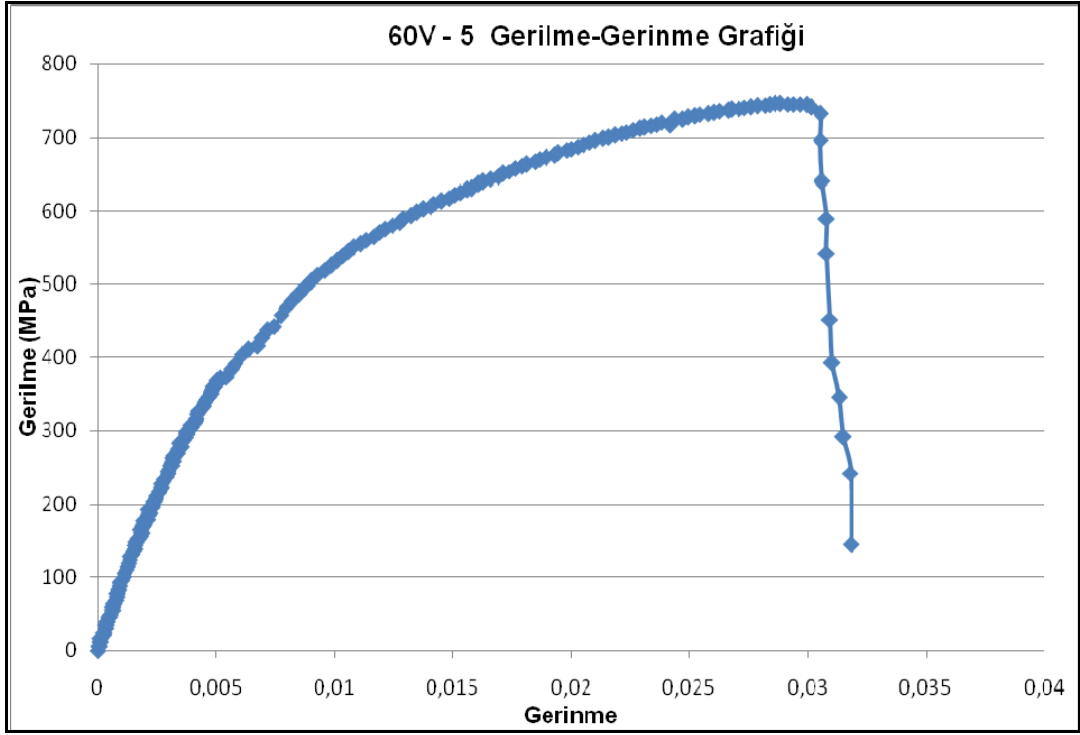
Şekil 5.7.1.25 60V-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



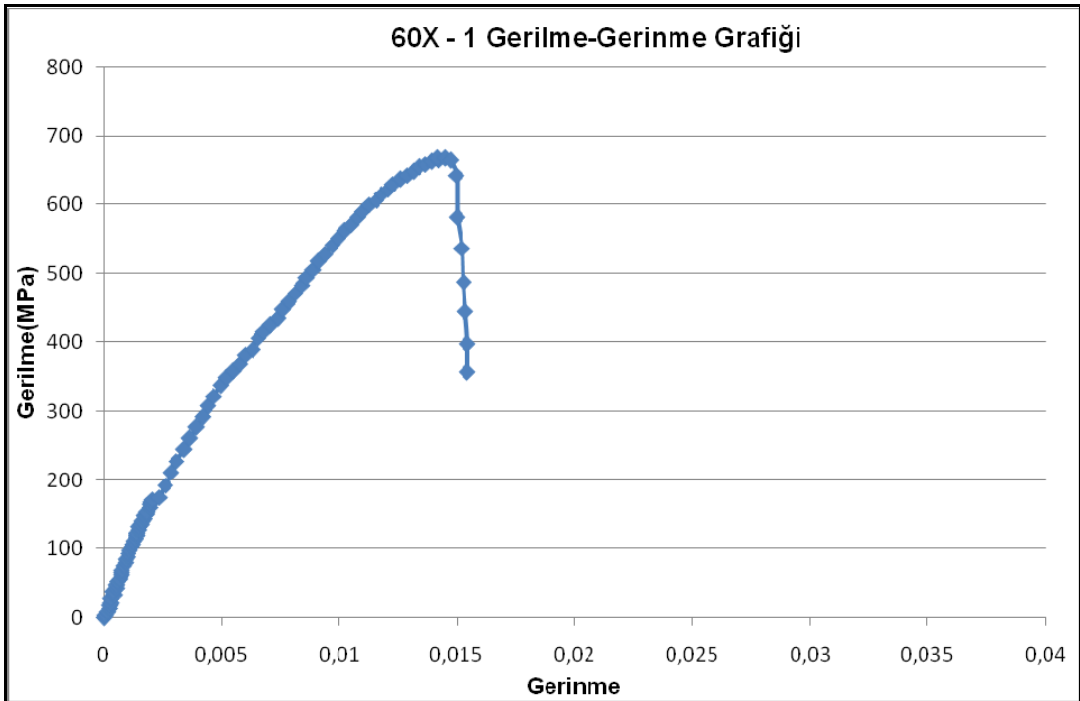
Şekil 5.7.1.26 60V-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



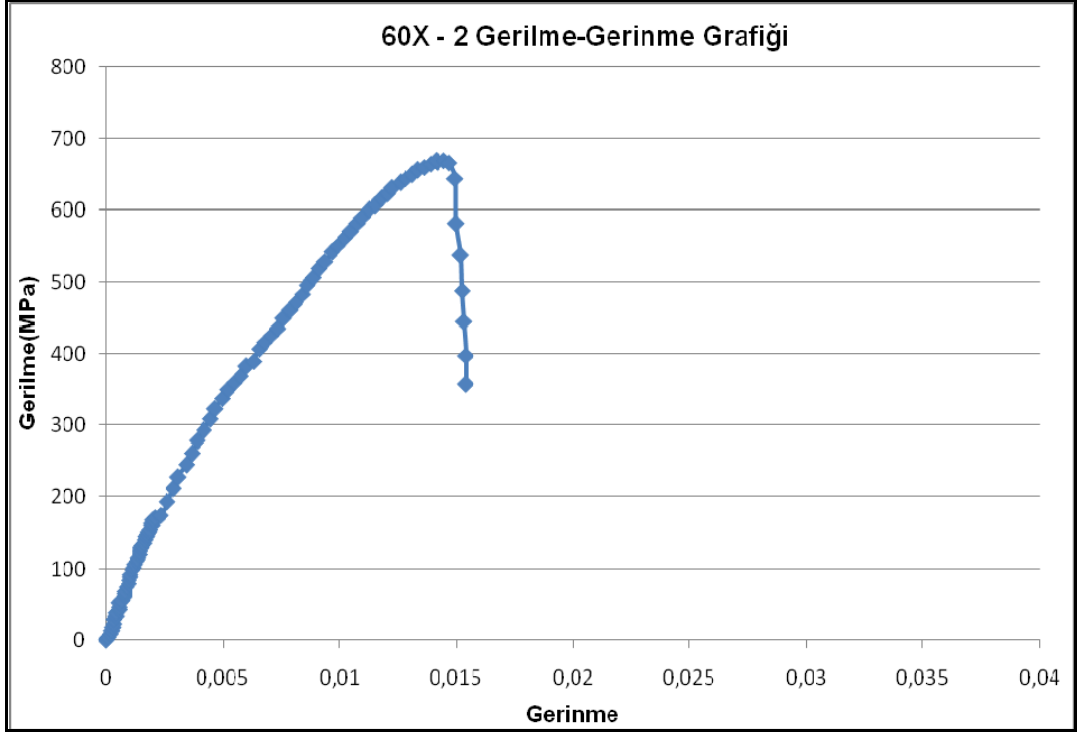
Şekil 5.7.1.27 60V-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



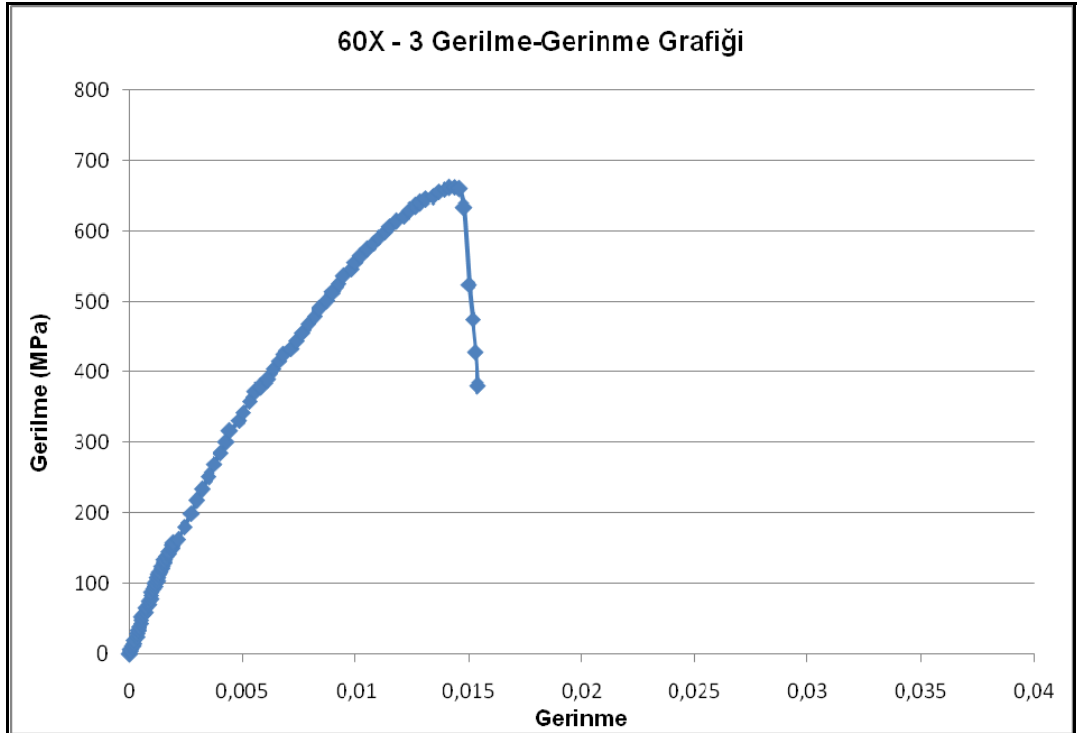
Şekil 5.7.1.28 60V-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



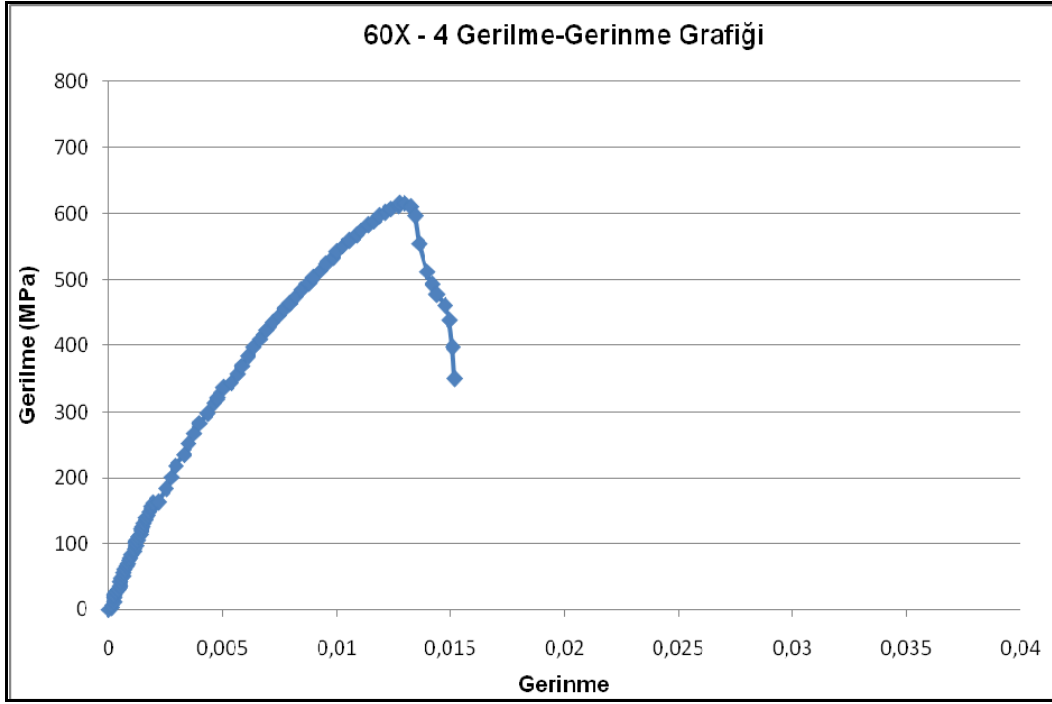
Şekil 5.7.1.29 60X-1 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



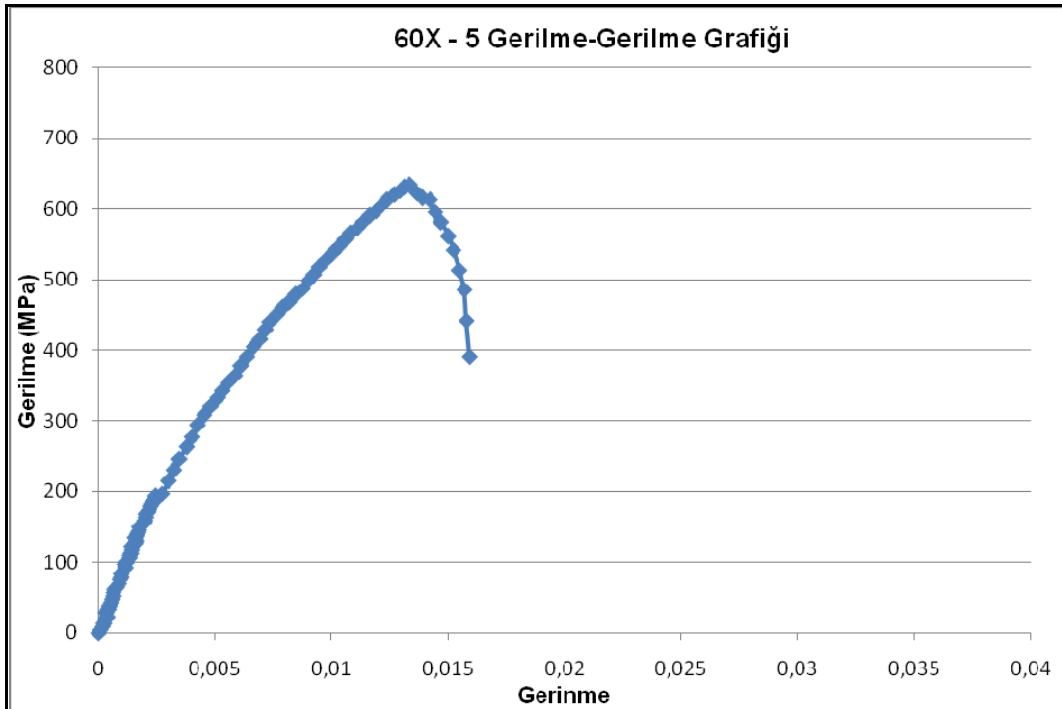
Şekil 5.7.1.30 60X-2 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



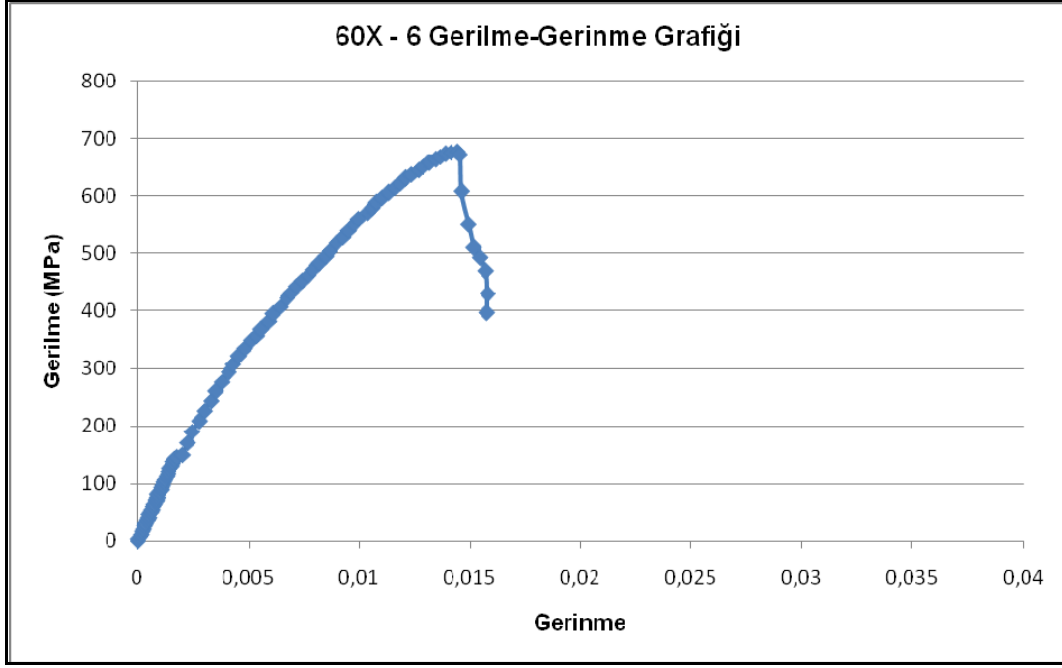
Şekil 5.7.1.31 60X-3 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.1.32 60X-4 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.1.33 60X-5 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.1.34 60X-6 çekme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

Çekme deneyi yapılan 48° açıda, V tip kaynak ağzına sahip numunelerin, hesaplanan mekanik özellikleri ve ortalama değerleri Çizelge 5.7.1.1' de verilmiştir. Akma gerilmesi ve akma noktasındaki gerinme değerleri %0,2 kaydırma metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7.1.1 48V kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları

Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Akma noktasındaki gerinme ($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
48V-1	491	787	3,5	8908,8	66,4
48V-2	489	744,4	2,8	8914,1	68,3
48V-3	491,4	713,5	2,6	8395,8	74,5
48V-4	487,6	773,2	3,1	8551,5	72,4
48V-5	507	786,8	3,4	8907,8	68,7
48V-6	538	762	3,6	-	-
Ortalama	500,5	761,1	3,2	8735,6	70,1

54° açıda ve V geometride kaynak ağzına sahip numunelerin çekme deney sonuçları Çizelge 5.7.1.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.7.1.2 54V kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları

Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Akma noktasındaki gerinme ($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
54V-1	543,5	621,6	2,1	8867,3	75,9
54V-2	497,6	725,1	2,8	8454,3	74,9
54V-3	528,7	781,8	3,7	8753,1	72,4
54V-4	516	779,7	3,2	8952,7	71,1
54V-5	478,7	770	3,5	8459,9	70,6
54V-6	511,8	777,3	3,6	9208,4	68,8
Ortalama	512,7	742,6	3,1	8782,6	72,2

60° açıda ve V geometride kaynak ağzına sahip çekme numunelerinin deney sonuçları Çizelge 5.7.1.3' te verilmiştir.

Çizelge 5.7.1.3 60V kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları

Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Akma noktasındaki gerinme ($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
60V-1	492,9	731,6	2,9	8331,326	74
60V-2	496,2	697,2	3,6	9628,647	62,5
60V-3	467,8	764	3,3	8522,275	68,7
60V-4	473,1	600,1	2,5	9208,021	63,6
60V-5	486,9	746,9	3,1	8489,595	70,1
Ortalama	483,4	708	3,1	8835,973	67,8

48° açıda ve X geometride kaynak ağzına sahip numunelerin çekme deney sonuçları Çizelge 5.7.1.4' te özetlenmiştir.

Çizelge 5.7.1.4 48 X kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları

Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Akma noktasındaki gerinme($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
48X-1	511,8	654,1	1,4	7453,6	89
48X-2	480,1	587,4	1,5	8293,3	74
48X-3	504,7	636,1	1,5	8290,8	77,3
48X-4	453,1	623,6	1,7	7830,4	76,7
48X-5	467,9	635,4	1,8	7975,1	77,7
48X-6	446,7	584,1	1,5	7426,9	77,2
Ortalama	477,4	620,1	1,6	7878,3	79

X geometrisinde ve 54° açıda kaynak ağzına sahip numunelerin çekme deney sonuçlarından elde edilen mekanik özellikler Çizelge 5.7.1.5' te verilmiştir.

Çizelge 5.7.1.5 54X kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları

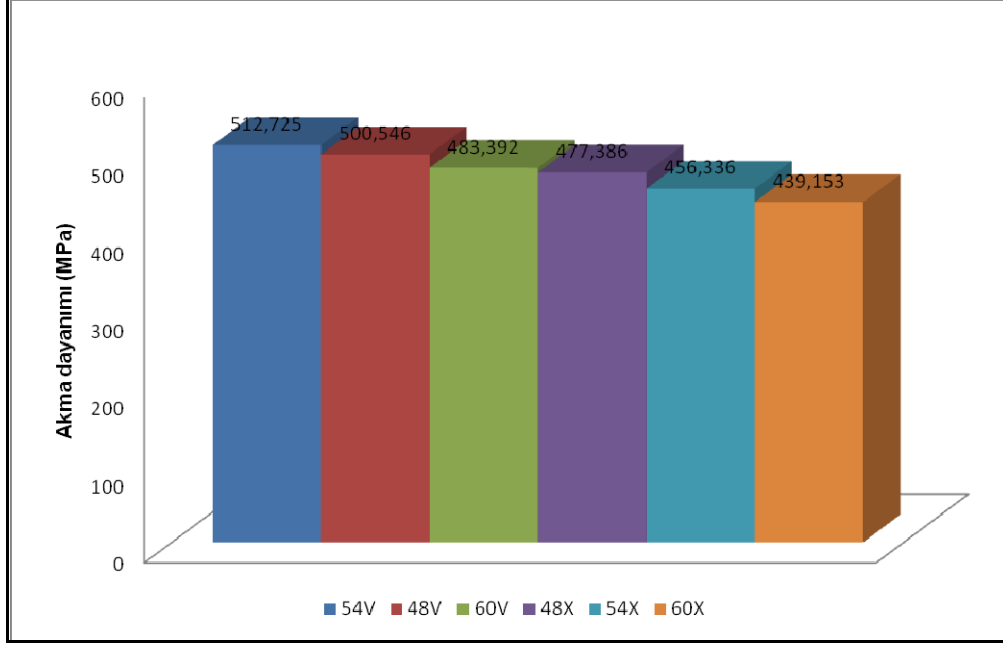
Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Akma noktasındaki gerinme($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
54X-1	441,4	687,7	1,7	7518,8	77,5
54X-2	439,6	675,7	1,7	7593,5	76,1
54X-3	477,3	650,9	1,6	8334,1	72,7
54X-4	462,3	657	1,6	8176	72,5
54X-5	444,1	601,2	1,6	7552,2	77,1
54X-6	473,3	677,5	1,7	8405,9	71,1
Ortalama	456,3	658,3	1,6	7930	74,5

60° açığa ve X tipinde kaynak ağzına sahip numunelerin çekme deney sonuçları Çizelge 5.7.1.6' da verilmiştir. Çizelge 5.7.1.6' ya göre en yüksek akma mukavemeti 444, 6 MPa olarak, 3 numaralı çekme numunesi için elde edilmiştir.

Çizelge 5.7.1.6 60X kaynaklı numunelerin çekme deney sonuçları

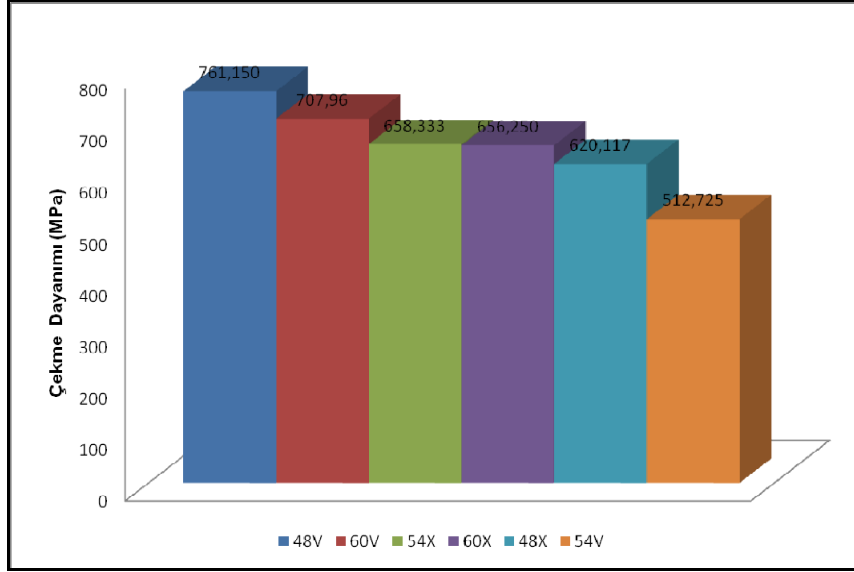
Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Akma noktasındaki gerinme($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
60X-1	425,5	668,9	1,5	7076,7	80,6
60X-2	435,7	678	1,5	7350,7	79,1
60X-3	444,6	662	1,5	7354,1	80,6
60X-4	435,1	616,8	1,5	7172,3	81,8
60X-5	440,6	634,1	1,6	7346,7	79,2
60X-6	453,2	677,7	1,6	7447,7	81,8
Ortalama	439,1	656,2	1,5	7291,4	80,5

Çekme deneyi yapılan 3 farklı açıda ve 2 farklı geometride kaynak ağzına sahip numunelerin, hesaplanan ortalama akma dayanımları karşılaştırmalı olarak Şekil 5.7.1.35' te verilmiştir.



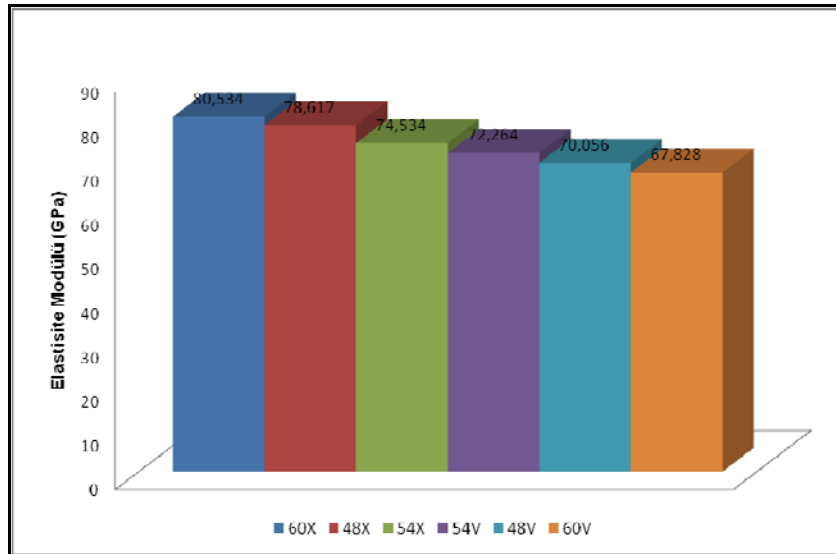
Şekil 5.7.1.35 Kaynaklı çekme numunelerinin akma dayanımları

Şekil 5.7.1.35' teki çekme deneylerinden elde edilen akma dayanım değerlerine bakıldığında, en yüksek akma dayanımı 54° V tipte kaynaklı numuneler için, 512,725 MPa elde edilmiştir. V konfigürasyona sahip numunelerin akma dayanımları, X konfigürasyona sahip numunelere göre ortalama % 9,1 oranında daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.7.1.36 Kaynaklı numunelerin çekme dayanımları

Şekil 5.7.1.36' da çekme deneyi yapılan bütün numunelerin, ortalama çekme dayanım değerleri verilmiştir. Çekme dayanım değerlerine bakıldığında, en yüksek çekme dayanım değeri 761,15 MPa, 48V kaynaklı numuneler için elde edilmiştir.

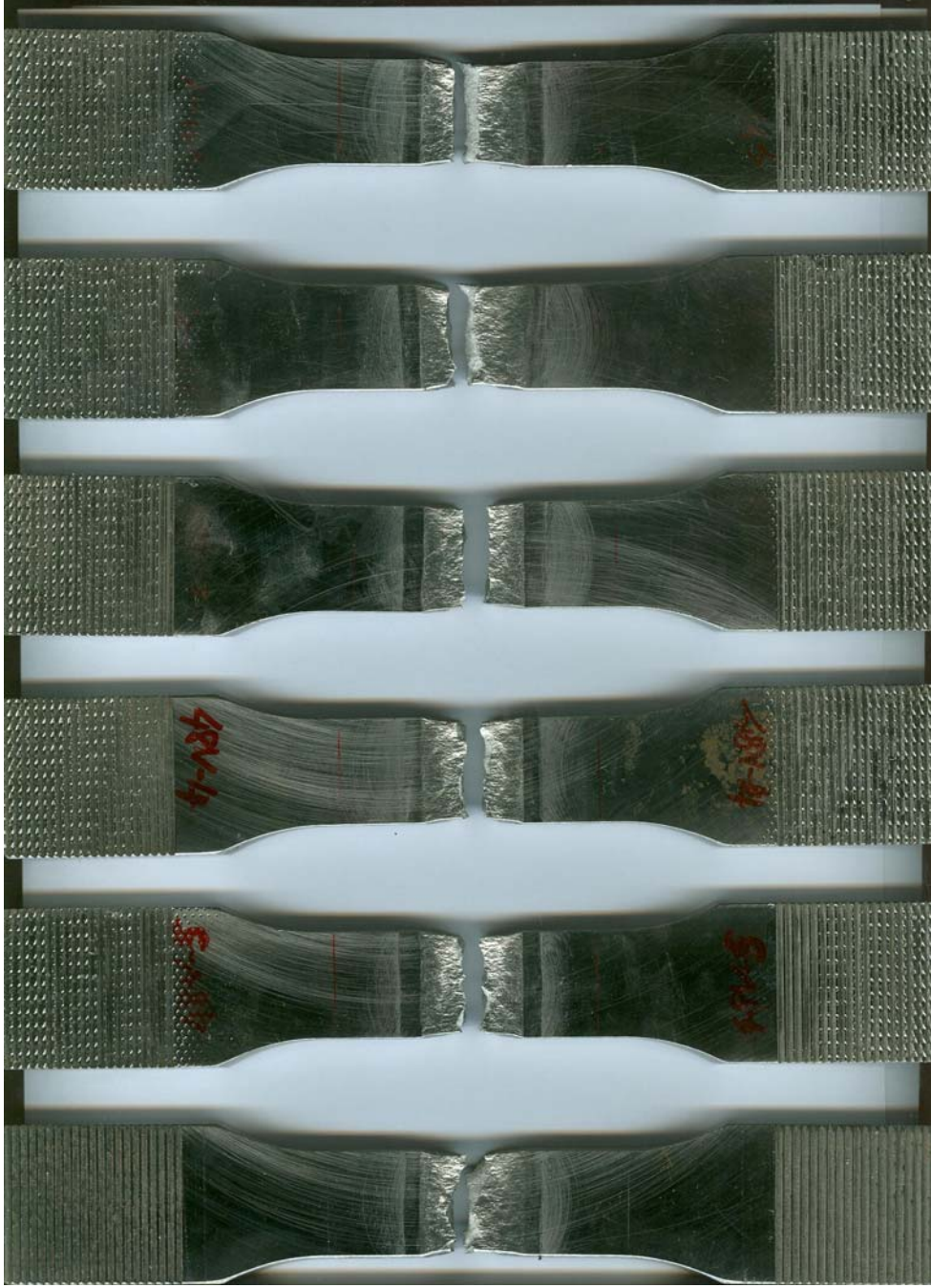


Şekil 5.7.1.37 Kaynaklı çekme numunelerinin elastisite modülü değerleri

Tüm numuneler için hesaplanan ortalama elastisite modülü değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.7.1.37' de verilmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre 60X kaynaklı numuneler en yüksek elastisite modülüne sahip çıkmıştır. Gerilme değerleri daha düşük olan numunelerin elastisite modülü yüksek çıkmıştır. X

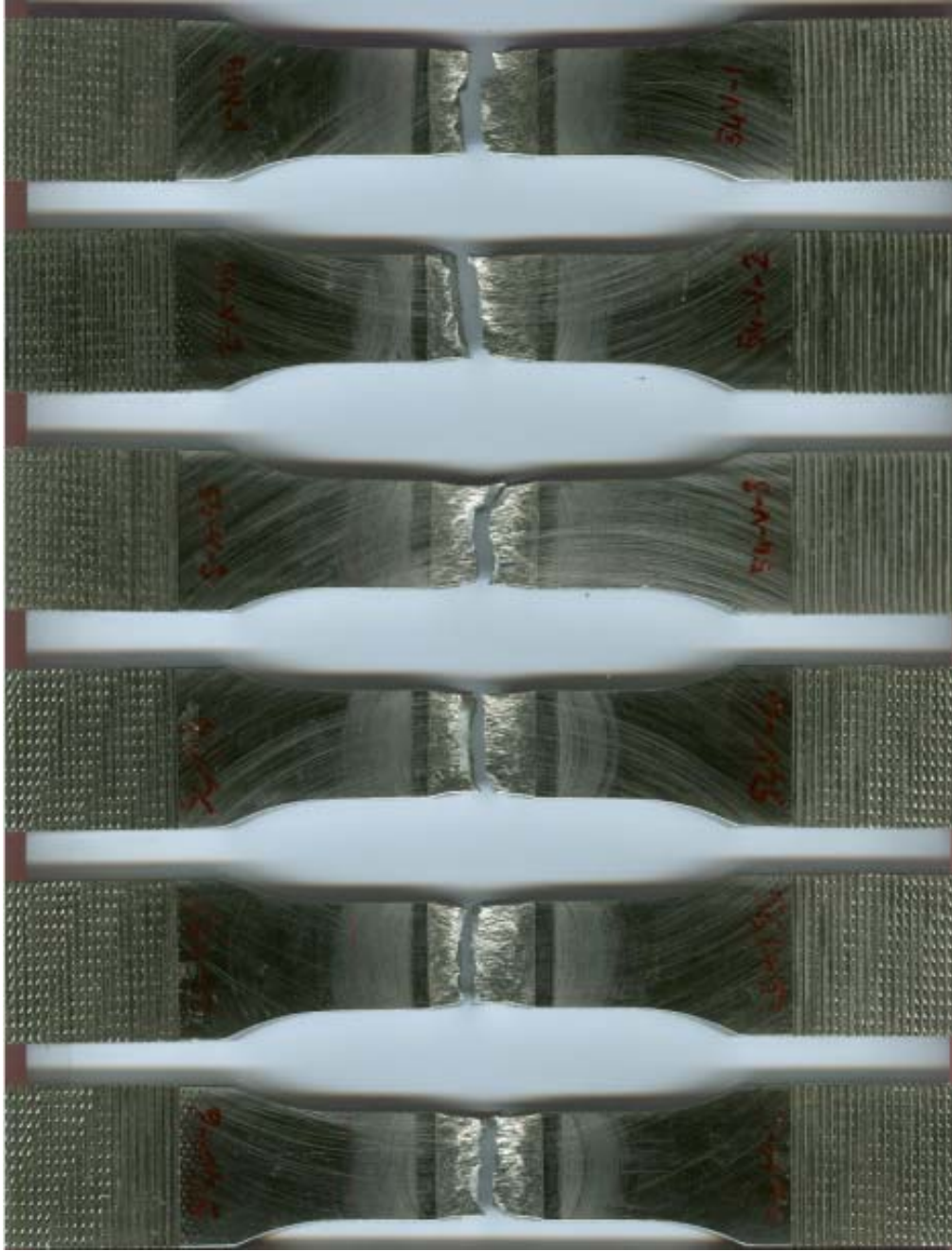
geometride kaynak ağızına sahip numunelerin elastisite modülleri, V geometriye sahip numunelere göre ortalama % 10,9 oranında daha yüksek çıkmıştır.

Çekme testleri sonucunda, 48V, 54V, 60V kaynaklı numunelerin büyük çoğunluğu kaynak bölgesinden, bir kısmı da ergime hattından kopmuştur. 48V kaynaklı numunelerin kırılma görüntüleri Şekil 5.7.1.38'de verilmiştir. 48° açıda ve V geometride kaynak ağızına sahip numunelerin tümü kaynaktan kopmuştur. Numunelerin kırılması kayma kırılması şeklinde gözlenmiştir. Numuneler büzüldükten sonra kayma gerilmelerinin etkisi ile çekme yönüne 45°'lik açı yapan düzlem boyunca kopmuştur. Kaynaklı numunelerin bir kısmında gevrek, bir kısmında sünek - gevrek kırılma gözlemlenmiştir.



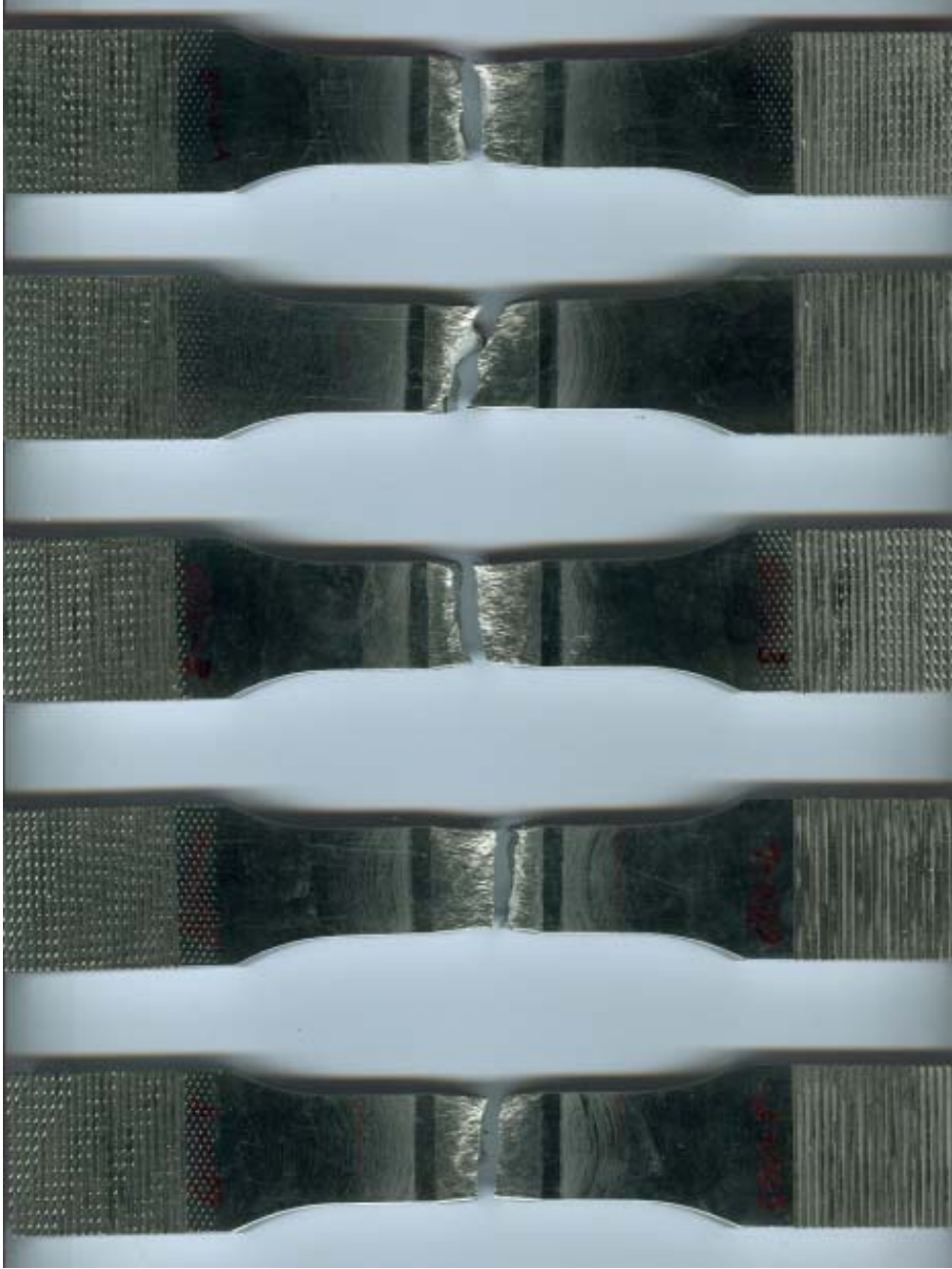
Şekil 5.7.1.38 48V kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri

54V tipindeki kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri Şekil 5.7.1.39' da verilmiştir. 54V kaynaklı numunelerde, kaynağın tam ortasından kopma gözlenmiştir. 54V kaynaklı numuneler sünek - gevrek kırılma göstermişlerdir. 54V kaynaklı numunelerin kırık yüzeylerinin görünüşü liflidir, bu tür görünüm malzemelerin sünek davranışının bir göstergesidir.



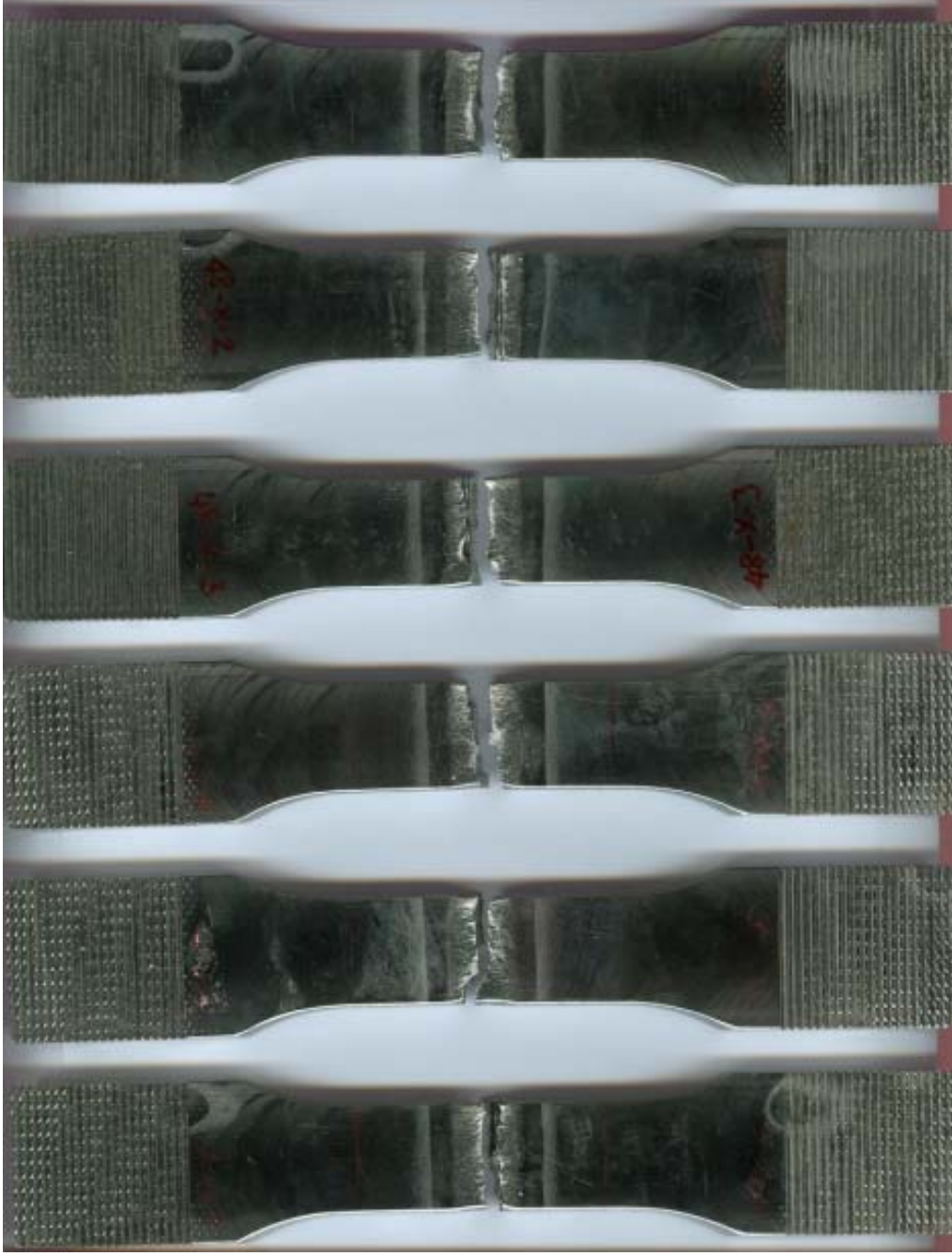
Şekil 5.7.1.39 54V kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri

60V tipinde kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası kırılma görüntüleri Şekil 5.7.1.40' ta verilmiştir. 60V kaynaklı numunelerde, kaynağın tam ortasından kopma gözlenmiştir. 60V geometrideki kaynaklı numuneler sünek – gevrek kırılma göstermişlerdir. Numunelerin bir kısmında boyun verme olayı gerçekleşmiştir.



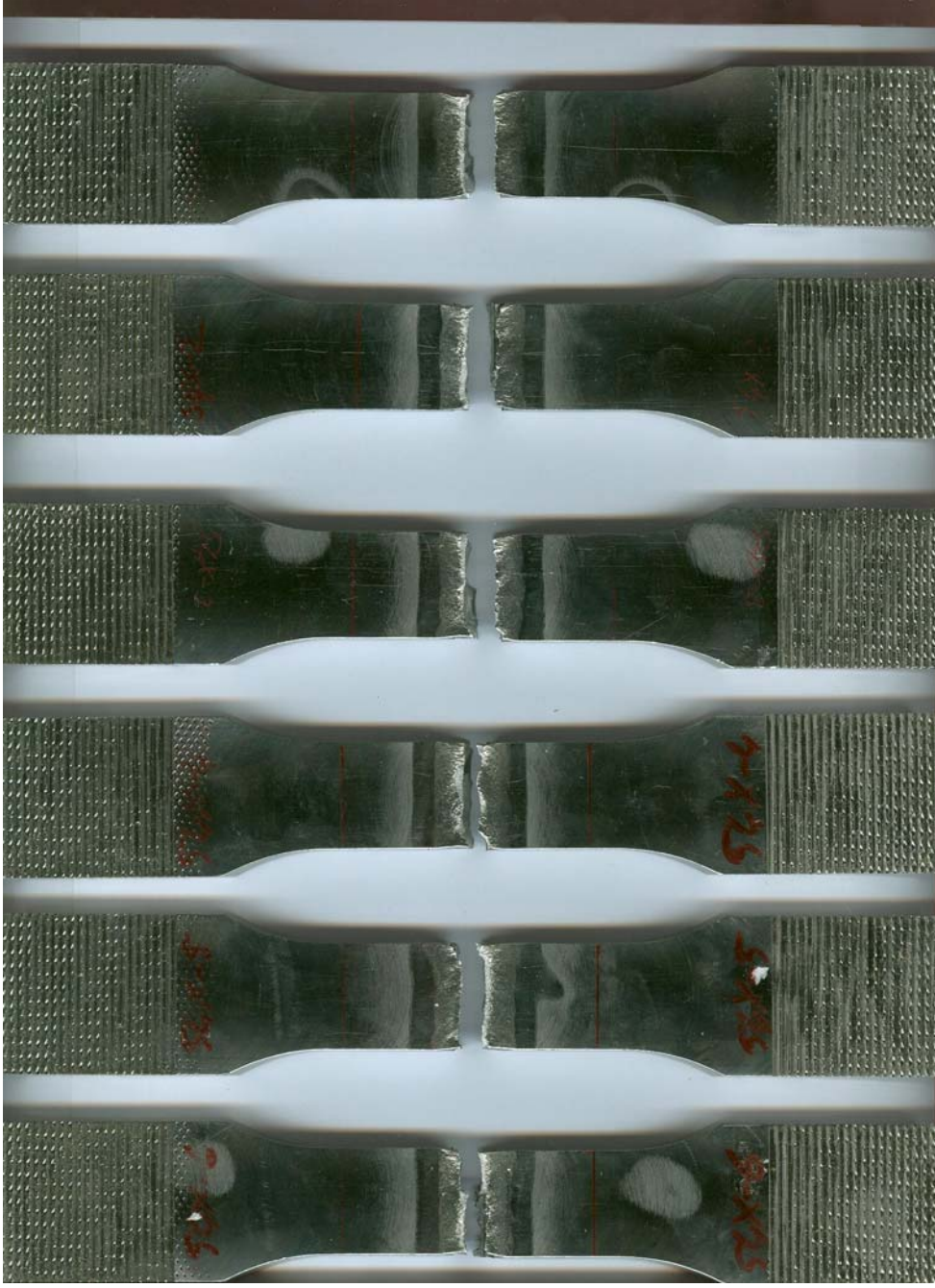
Şekil 5.7.1.40 60V kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri

Çekme testleri sonucunda, 48X, 54X, 60X kaynaklı numunelerin hepsi kaynak bölgesinden kopmuştur. 48X tipindeki kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri Şekil 5.7.1.41' de verilmiştir. 48X kaynaklı numuneler, kaynağın ergime hattından kopma göstermiştir. X geometride ve 48° açıda kaynak ağzına sahip numunelerde gevrek karakterde kırılma gözlenmiştir. 48X kaynaklı numunelerin kırılma yüzeyleri, gevrek kırılmalarda görülen düz ve kumlu yapıdadır.



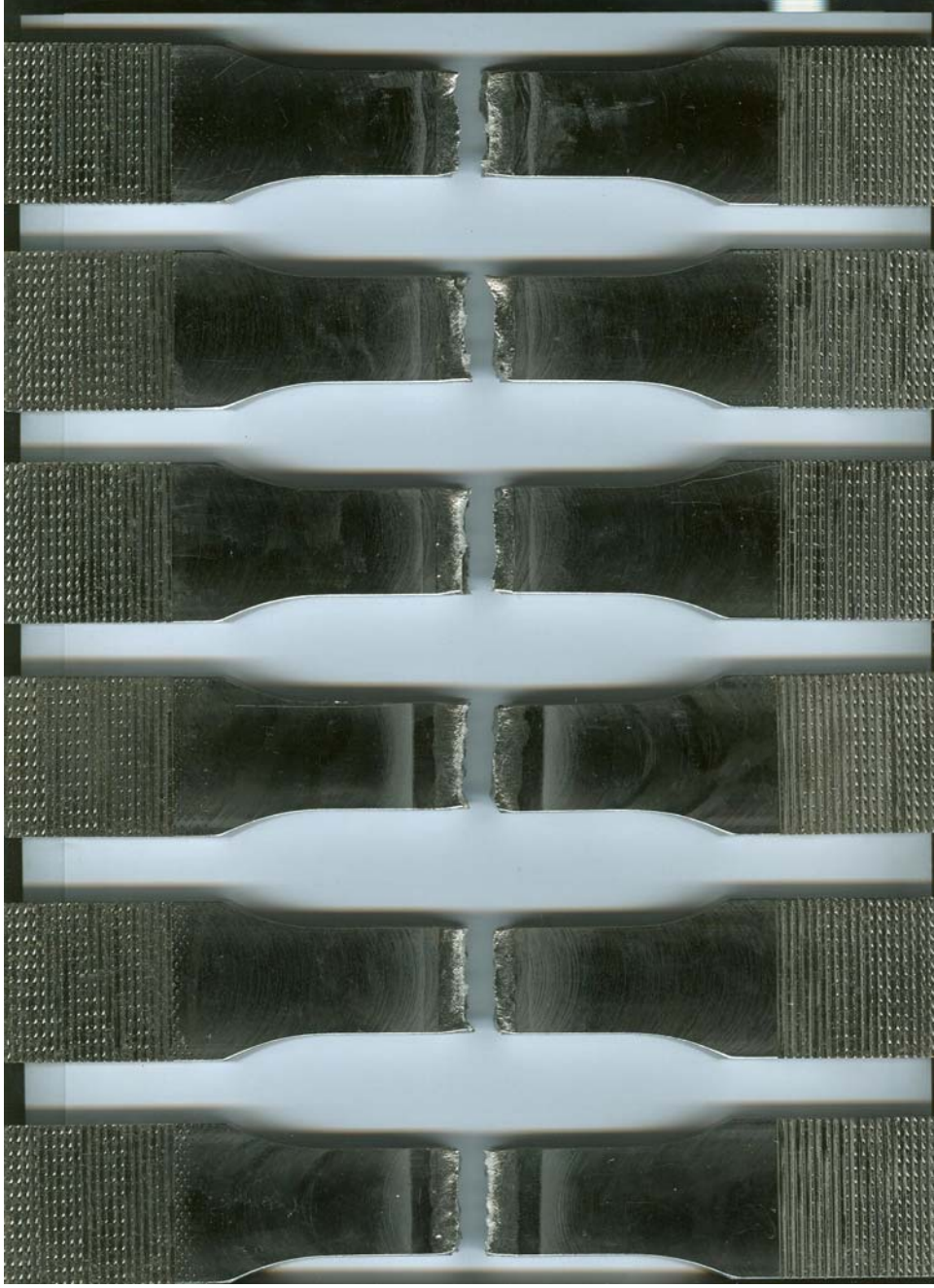
Şekil 5.7.1.41 48X kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri

54° açı ve X geometride kaynak ağzına sahip kaynak bağlantılarının çekme testi sonrası görüntüleri Şekil 5.7.1.42' de verilmiştir. 54X kaynaklı numuneler, kaynağın ergime hattından kopmuşlardır. 54X kaynaklı numunelerde gevrek karakterde kırılma gözlenmiştir. 54X kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin düz bir görünüme sahip olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.7.1.42 54X kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri

60X kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri Şekil 5.7.1.42' de verilmiştir. 60X kaynaklı numuneler, kaynağın ergime hattından kopma göstermiştir. 60X kaynaklı numunelerde sünek ve gevrek karakterde kırılma gözlenmiştir.

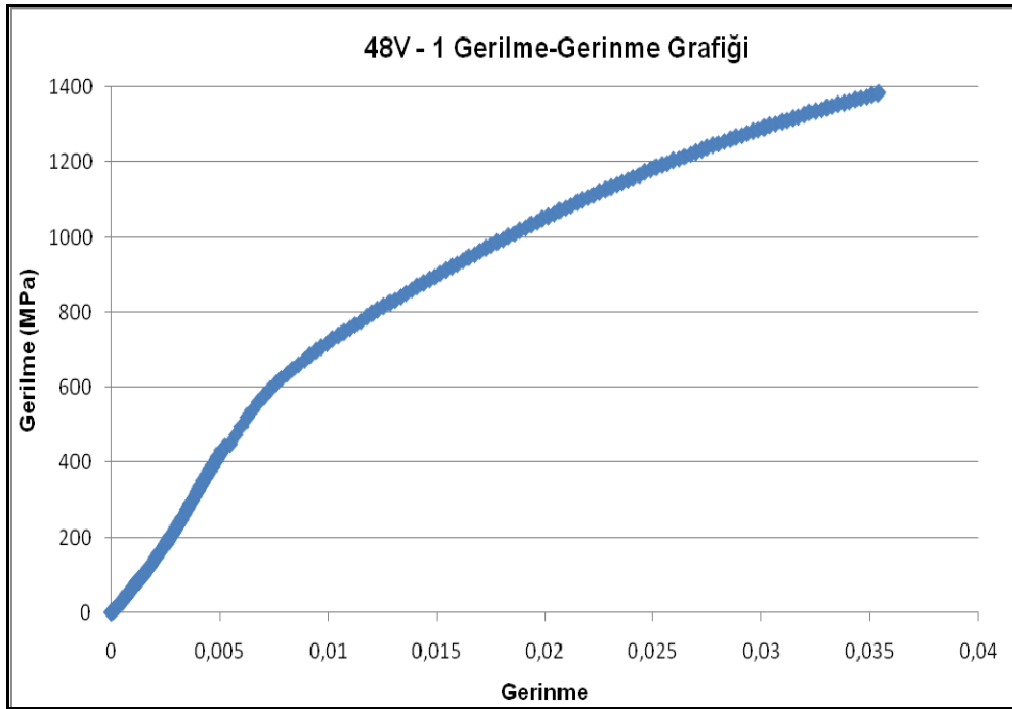


Şekil 5.7.1.42 60X kaynaklı numunelerin çekme testi sonrası görüntüleri

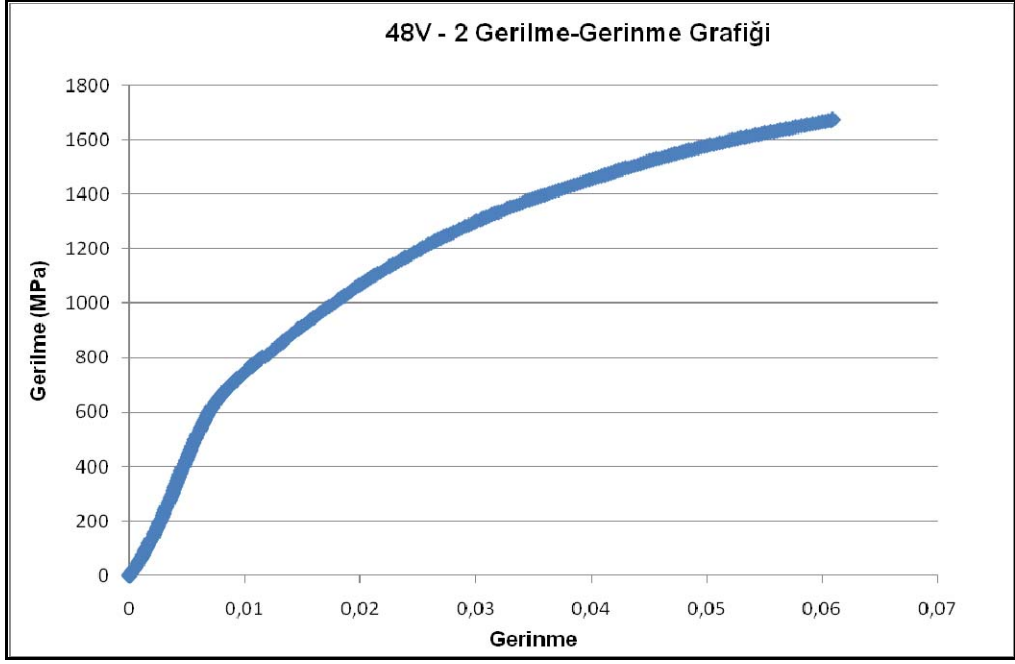
5.7.2 Basma deneylerinden elde edilen bulgular

Üç farklı açıda ve iki farklı geometride kaynak ağzına sahip 36 adet numune için basma deneyleri yapılmıştır. INSTRON 8503 model 500 kN çekme ve basma kapasitesine sahip universal test cihazında 5 mm/dak hızda gerçekleşen basma deneylerinde, numunelerin yük-uzama değerleri kaydedilmiştir. Basma

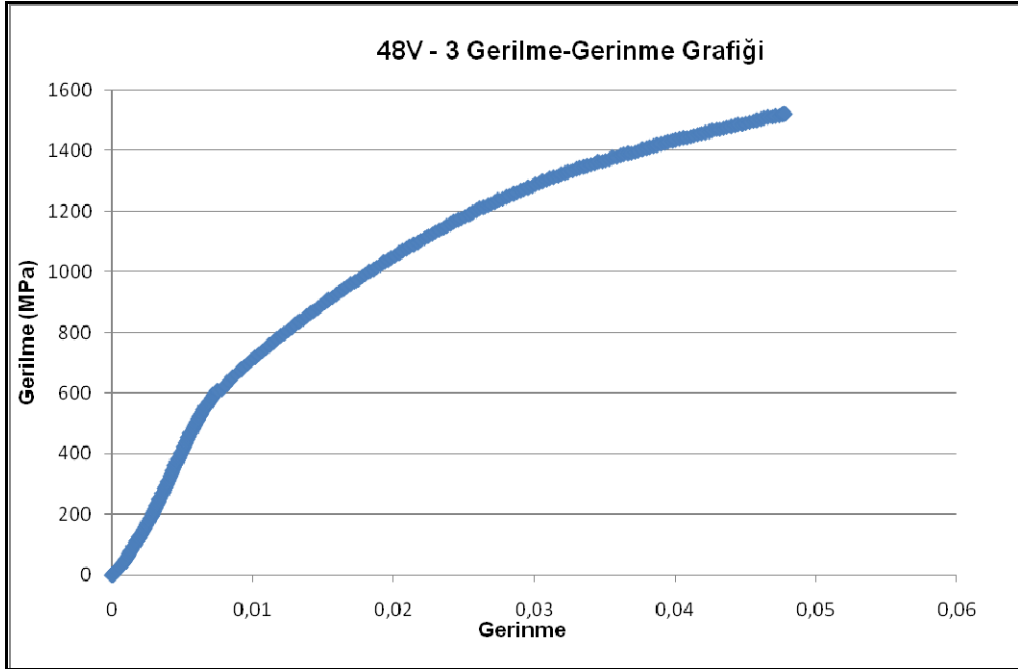
deneylerinde kullanılan test fikstürünün izin verdiği ölçüde basma yükü uygulanmaya devam edilmiş olup kırılma meydana gelmeden teste son verilmiştir. Basma deneylerinden elde edilen yük-uzama değerleri üzerinden gerekli hesaplamalar yapılarak basma numunelerine ait gerilme-gerinme diyagramları elde edilmiştir. 48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağızlarına sahip basma numunelerinin gerilme-gerinme grafikleri Şekil 5.7.2.1' den Şekil 5.7.2.36' ya kadar verilmiştir. 48° açığa ve X, V geometrilerinde kaynak ağızına sahip basma numunelerine ait gerilme-gerinme diyagramları Şekil 5.7.2.1' den Şekil 5.7.2.12' ye kadar verilmiştir.



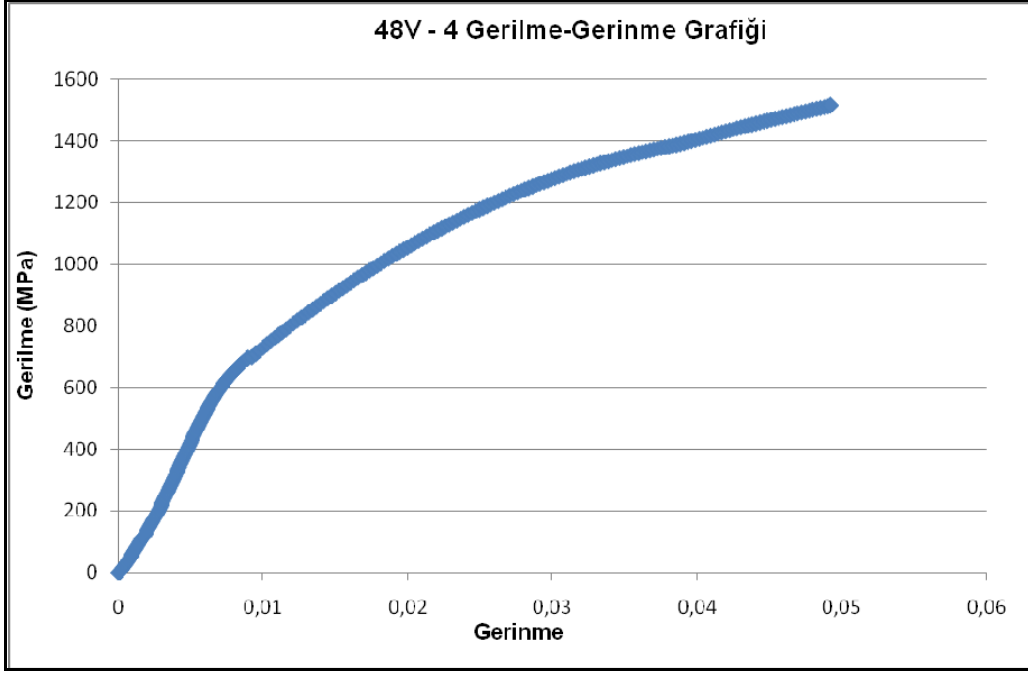
Şekil 5.7.2.1 48V-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



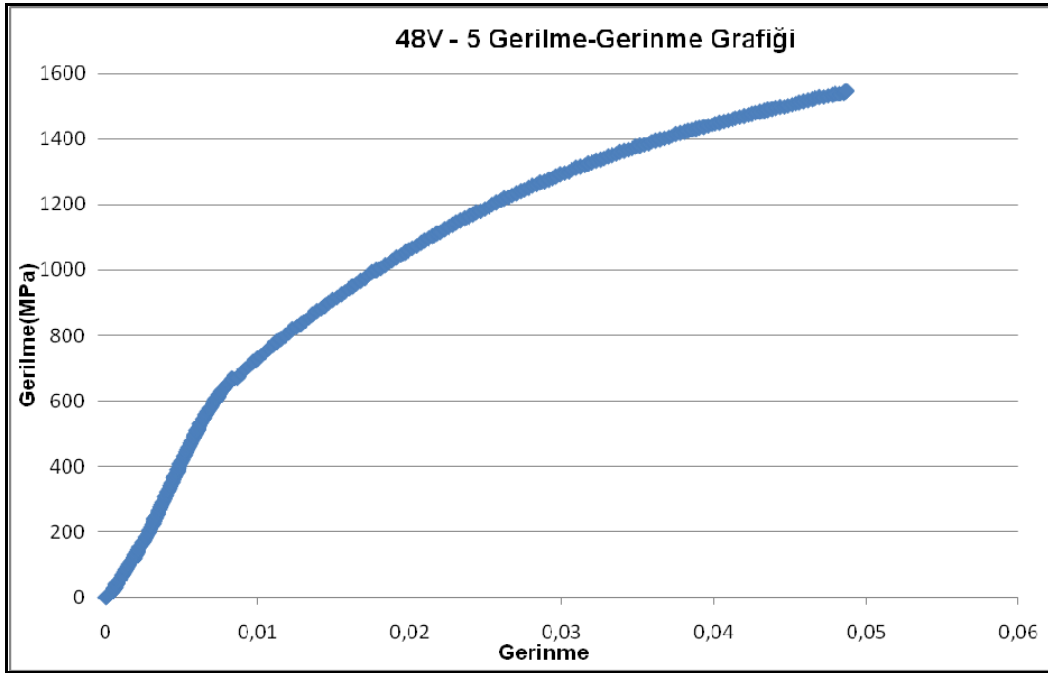
Şekil 5.7.2.2 48V-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



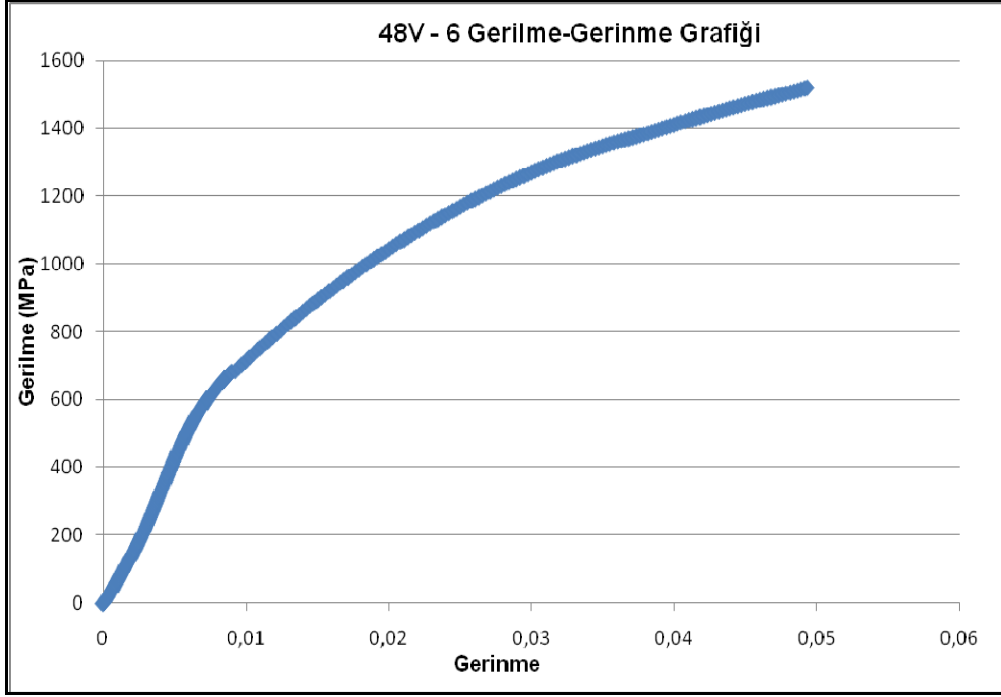
Şekil 5.7.2.3 48V-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



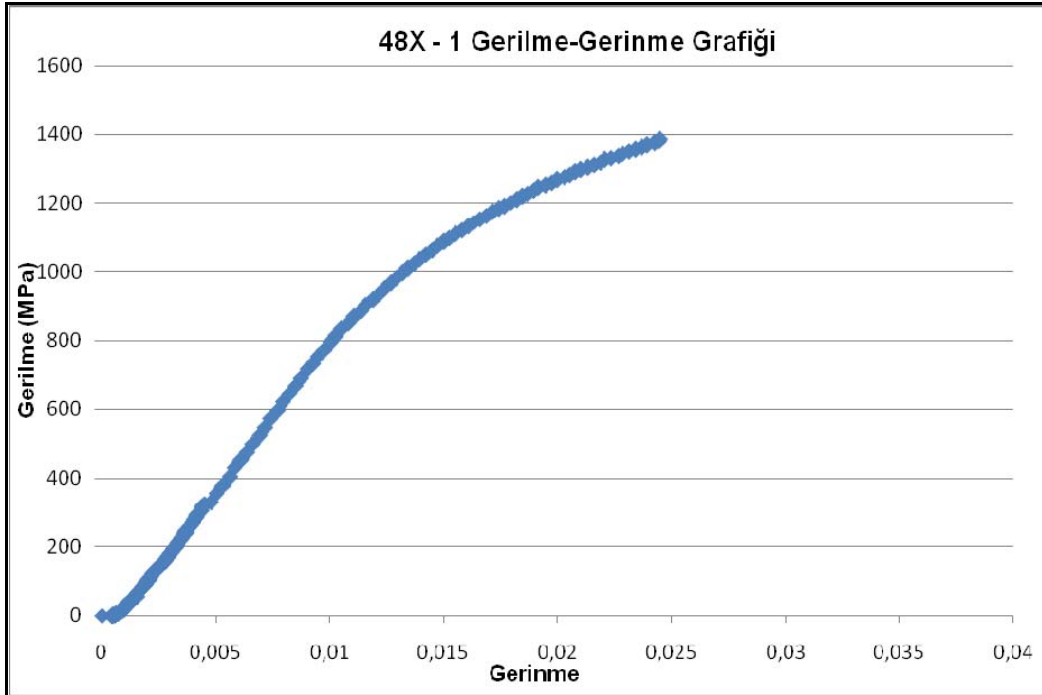
Şekil 5.7.2.4 48V-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



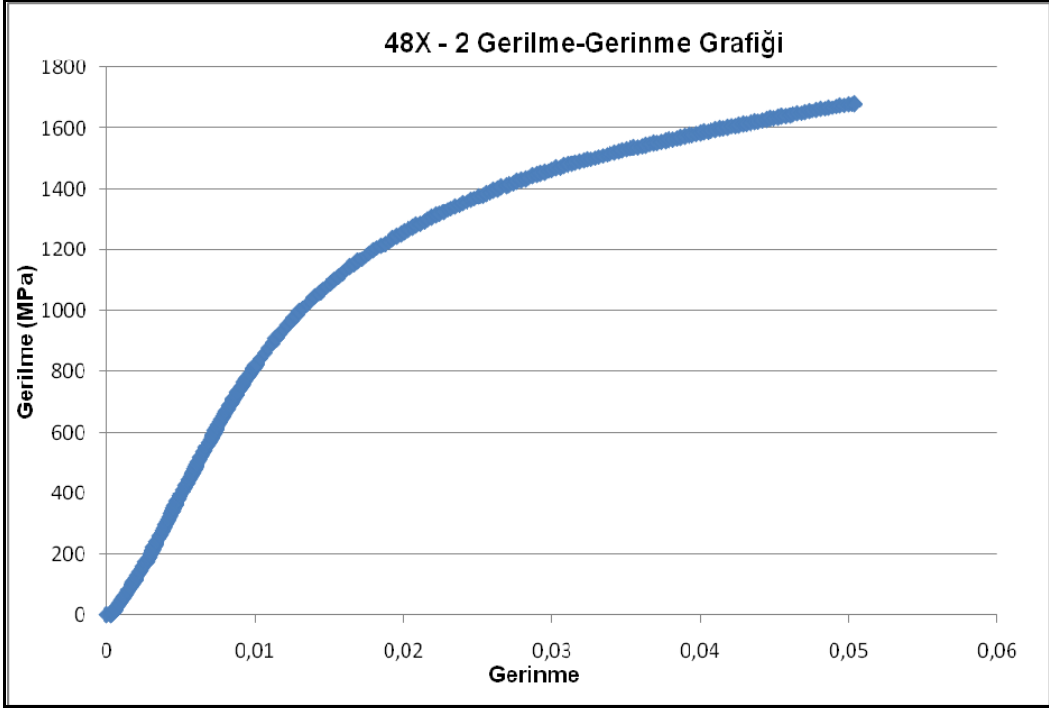
Şekil 5.7.2.5 48V-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



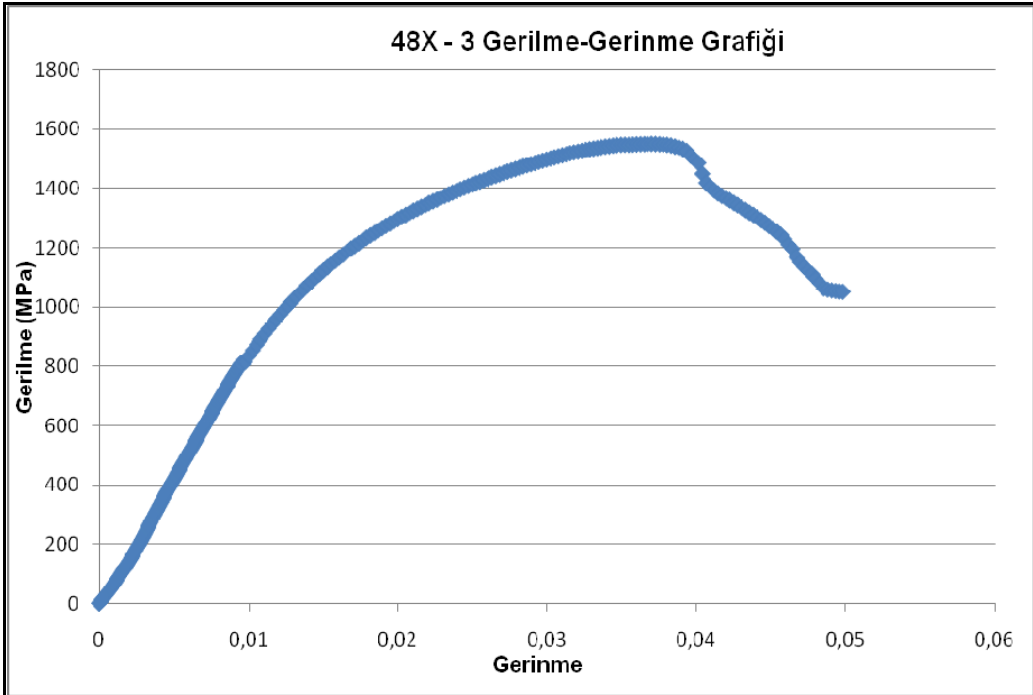
Şekil 5.7.2.6 48V-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



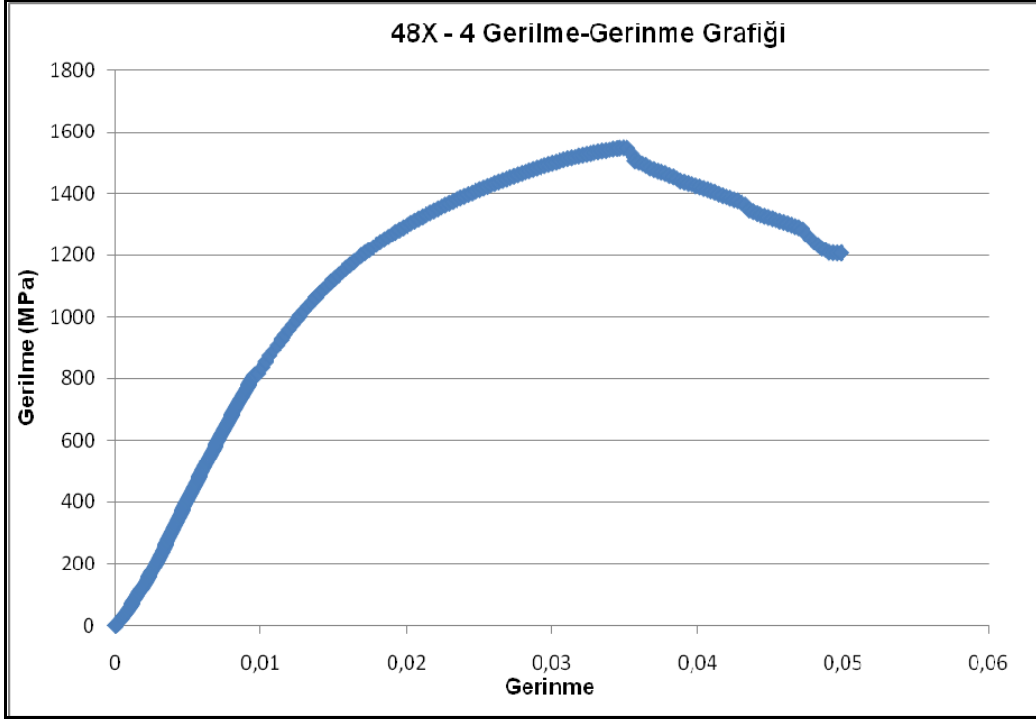
Şekil 5.7.2.7 48X-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



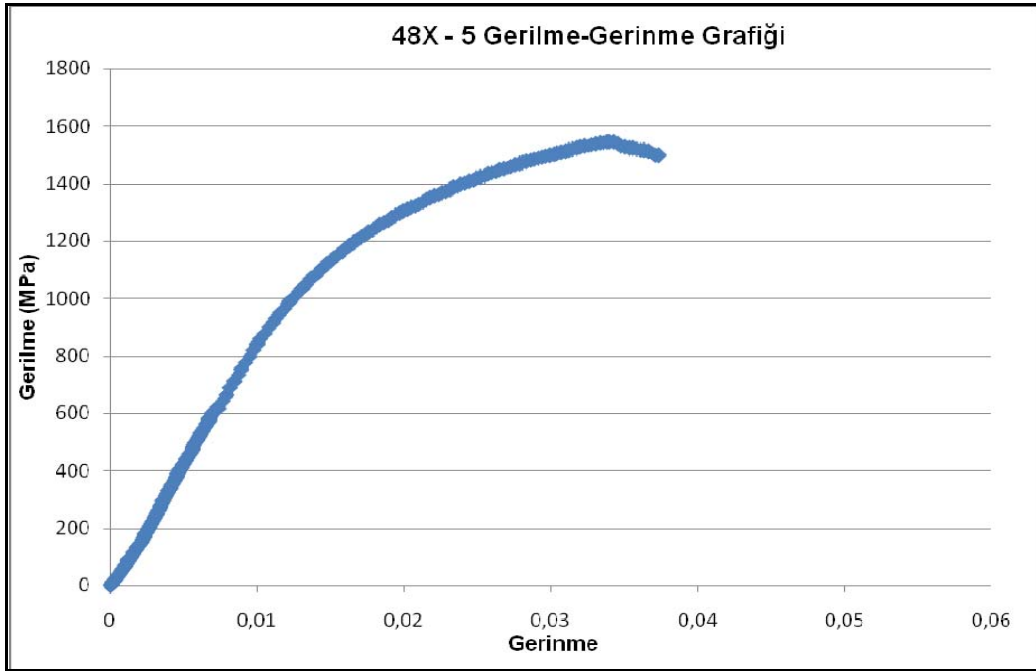
Şekil 5.7.2.8 48X-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



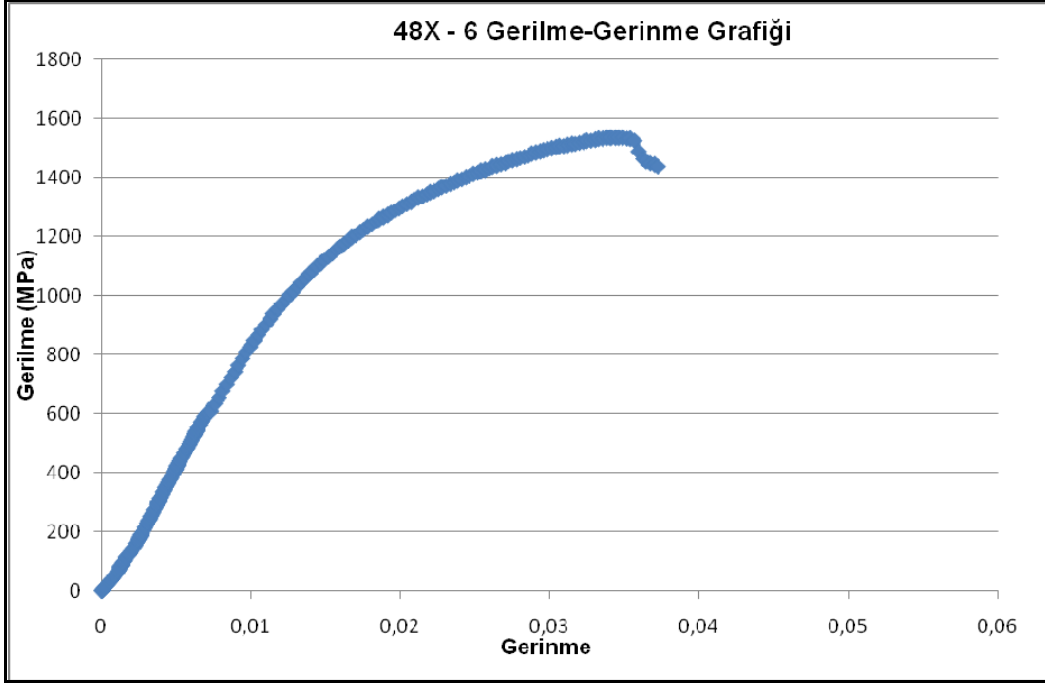
Şekil 5.7.2.9 48X-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.2.10 48X-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

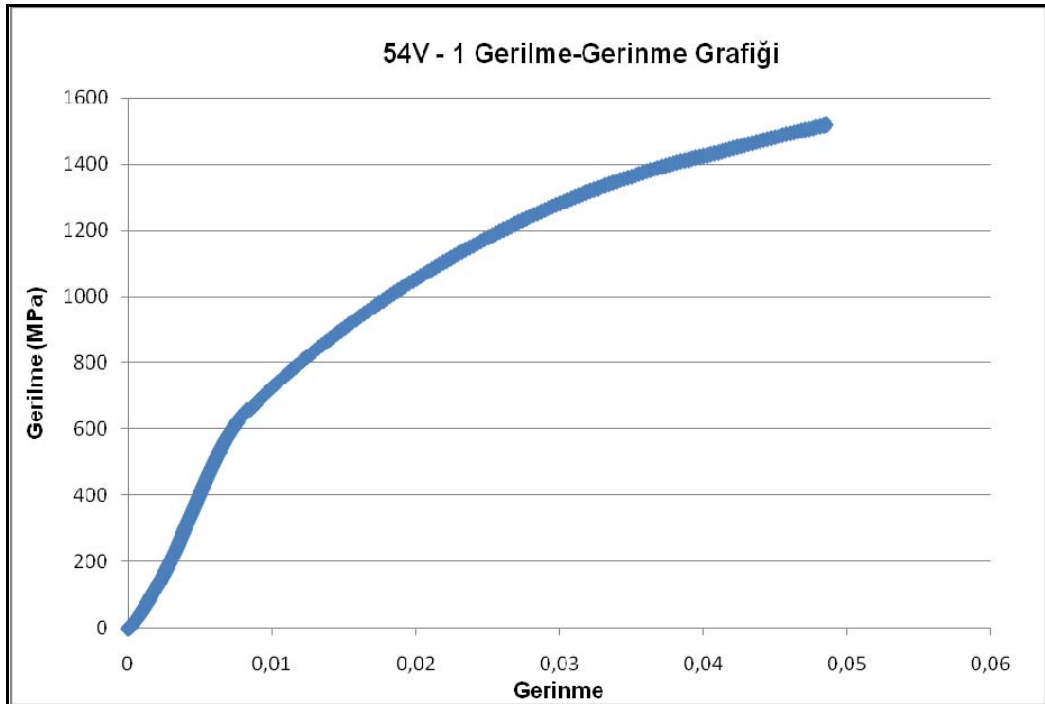


Şekil 5.7.2.11 48X-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

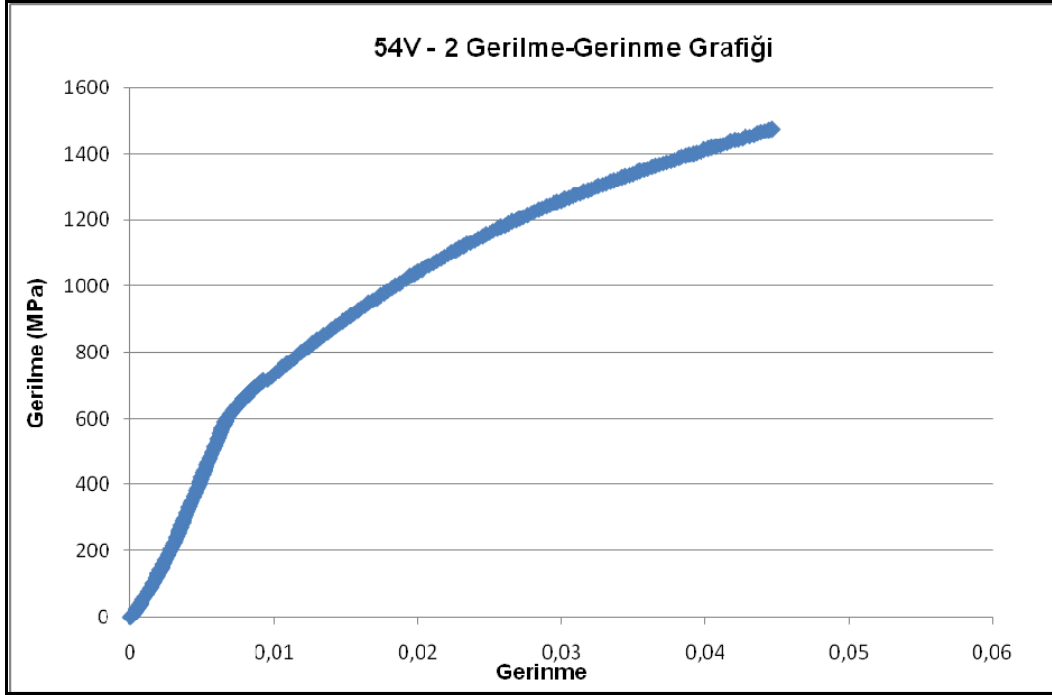


Şekil 5.7.2.12 48X-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

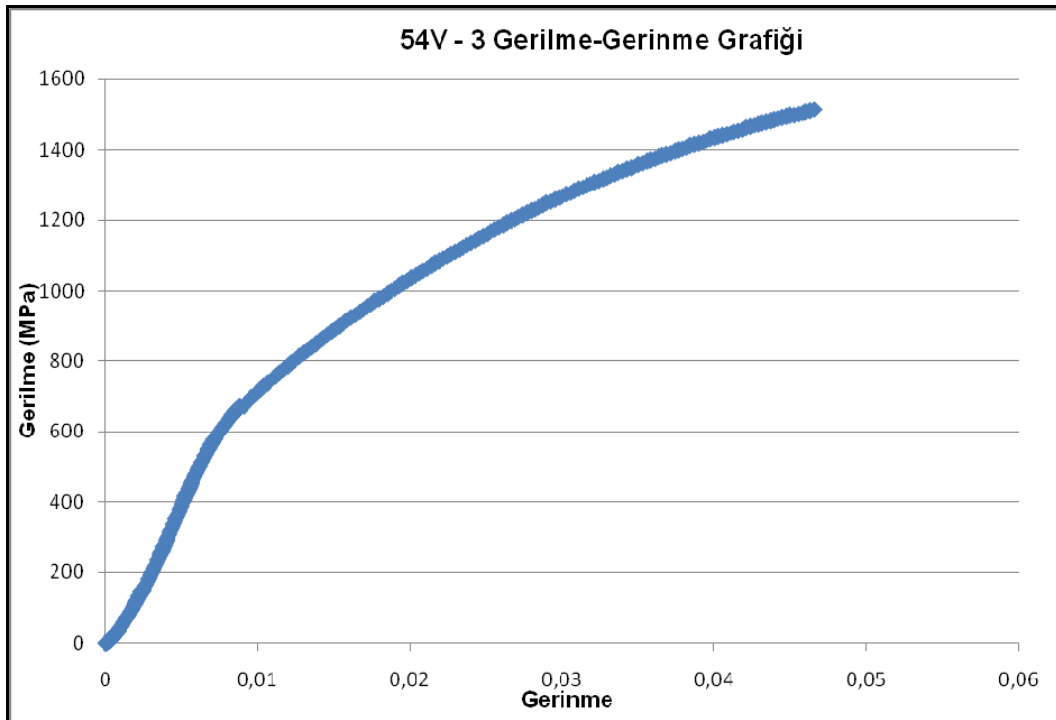
54° açıda, X ve V tip kaynak ağzına sahip numunelerin basma deneylerinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 5.7.2.13' ten Şekil 5.7.2.24' e kadar gösterilmiştir.



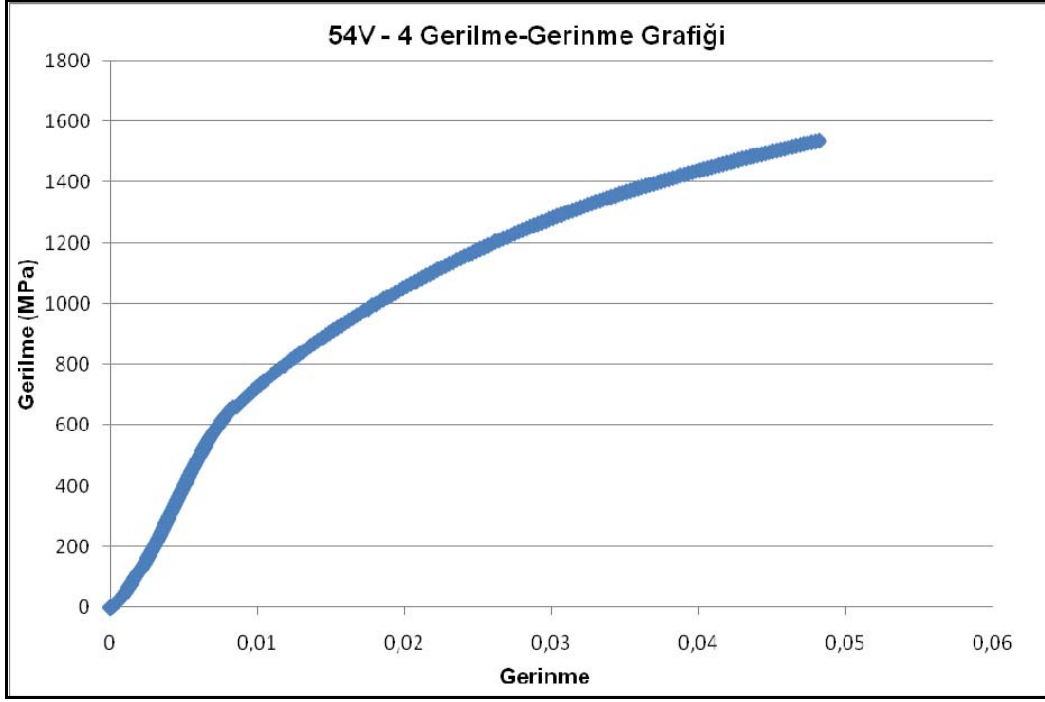
Şekil 5.7.2.13 54V-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



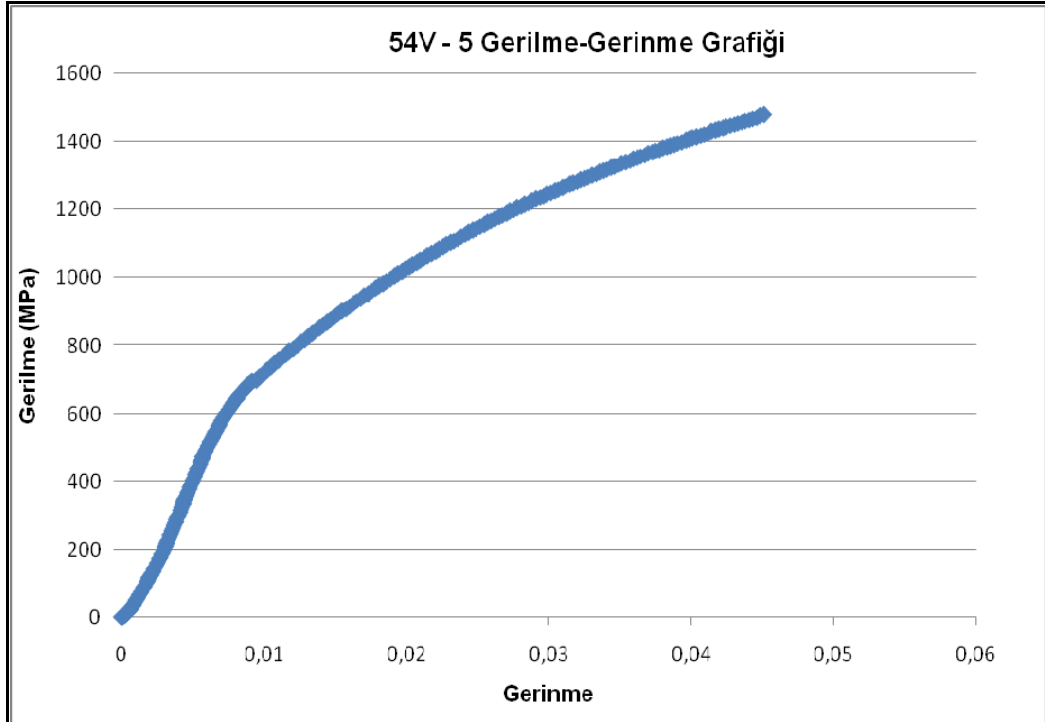
Şekil 5.7.2.14 54V-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



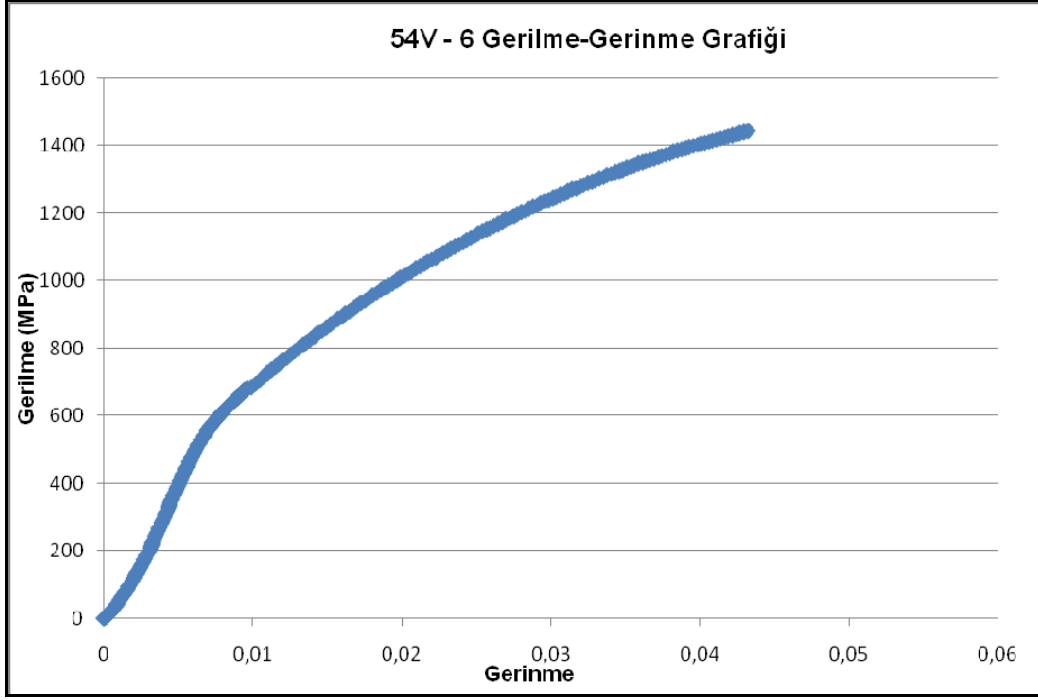
Şekil 5.7.2.15 54V-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



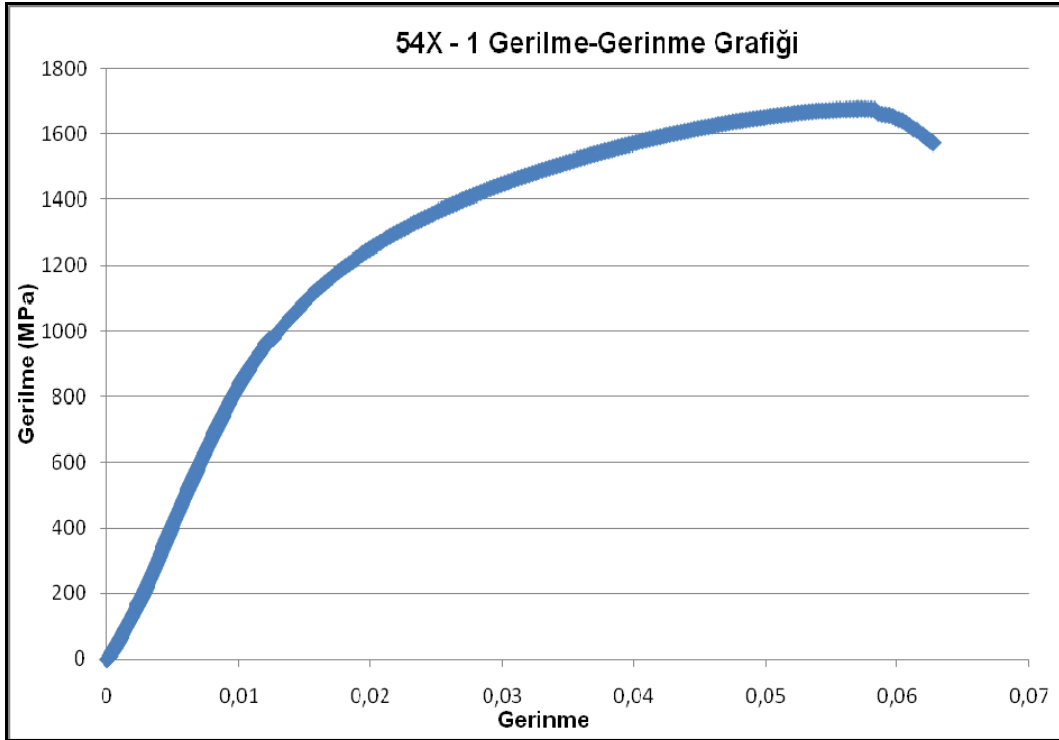
Şekil 5.7.2.16 54V-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



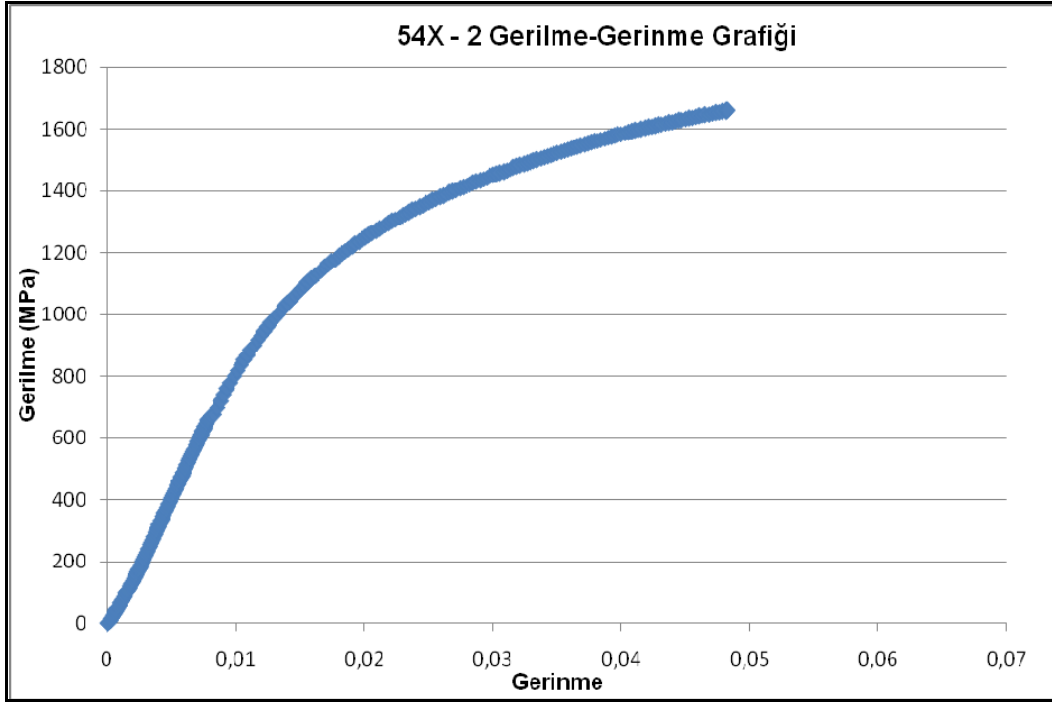
Şekil 5.7.2.17 54V-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



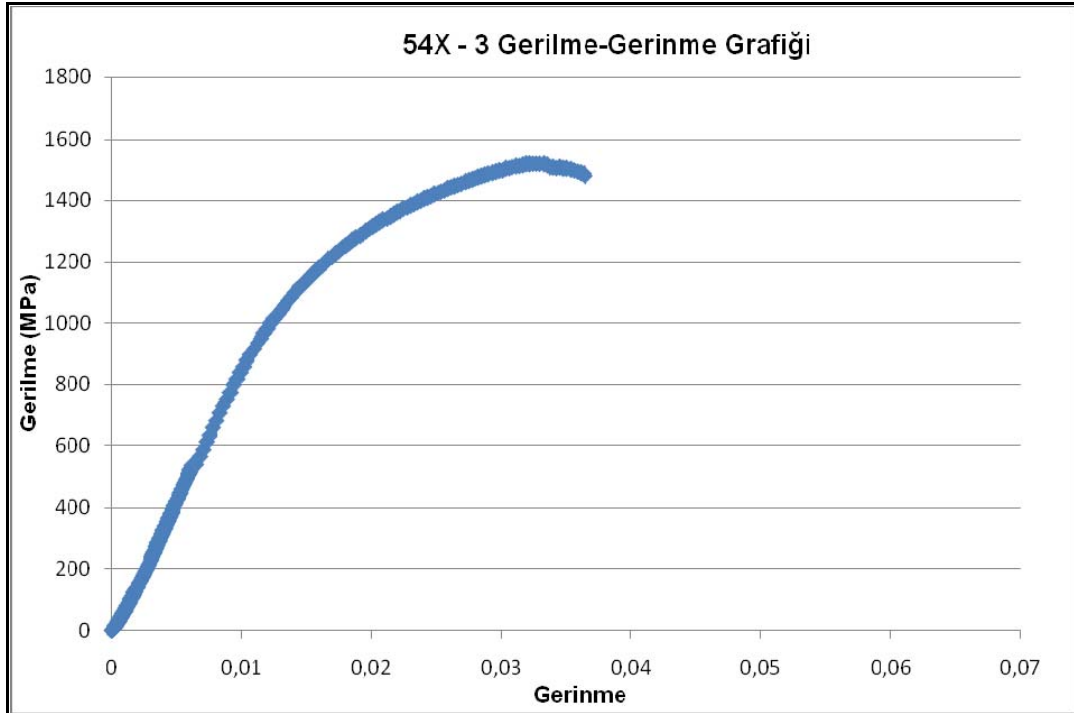
Şekil 5.7.2.18 54V-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



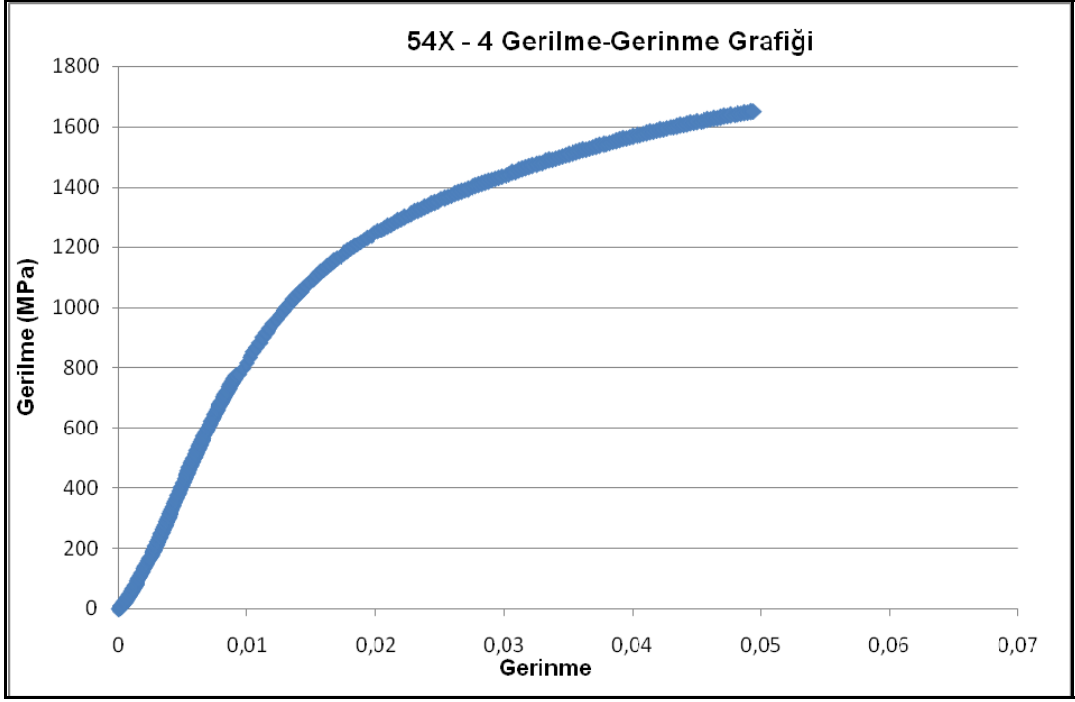
Şekil 5.7.2.19 54X-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



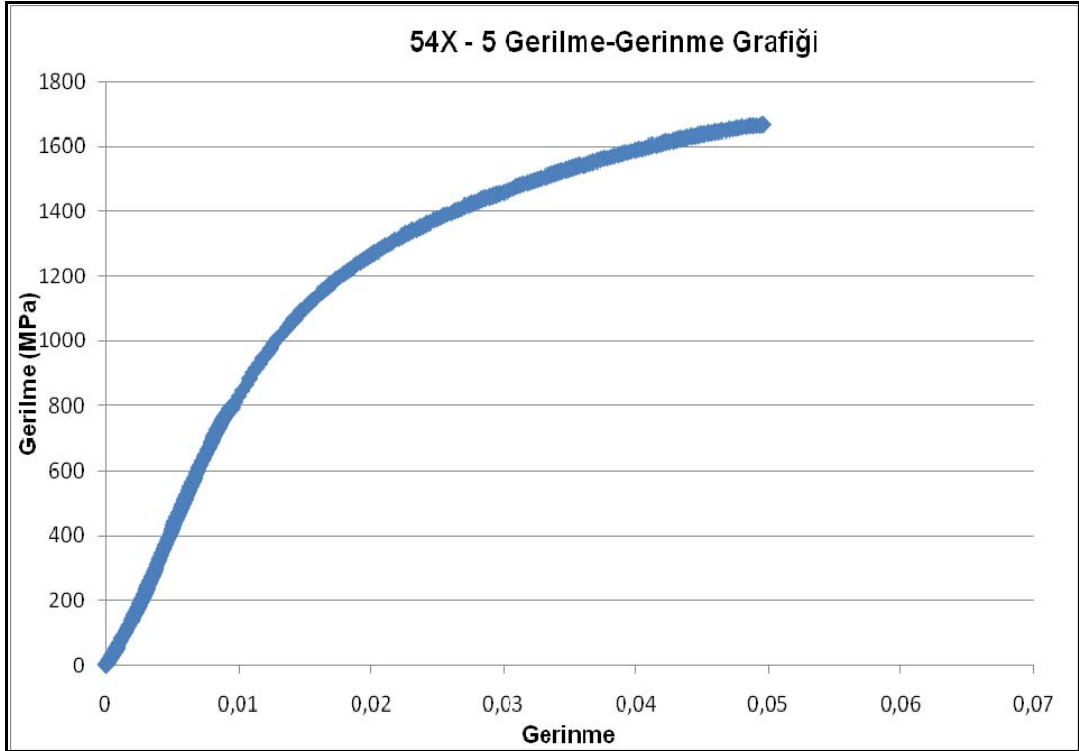
Şekil 5.7.2.20 54X-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



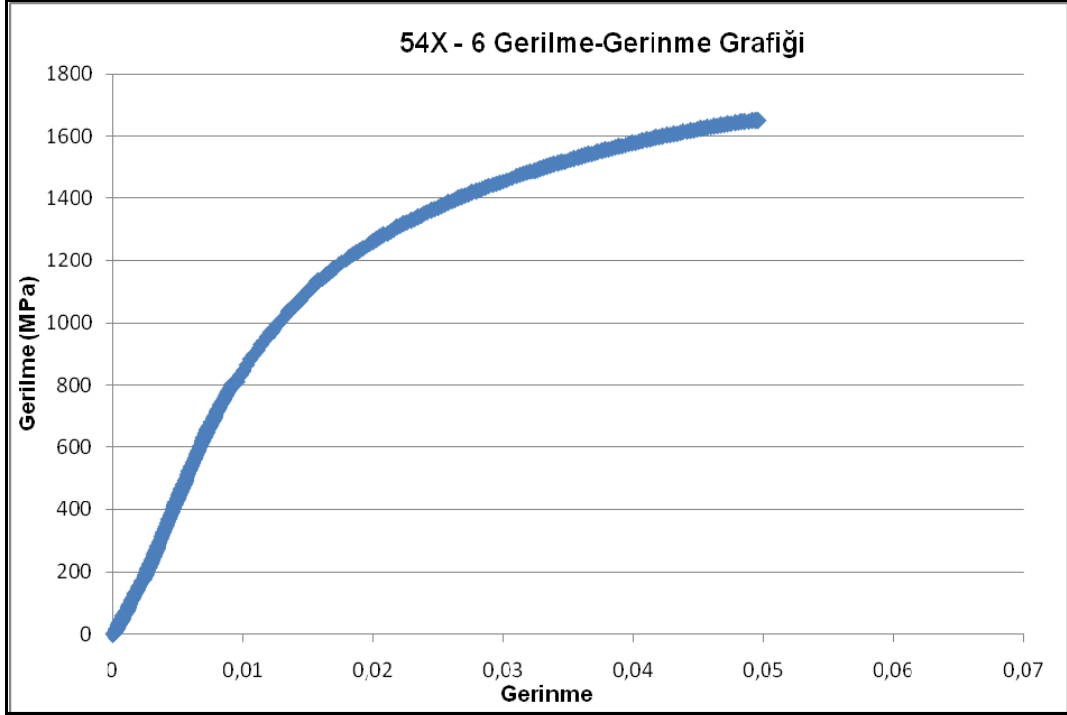
Şekil 5.7.2.21 54X-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.2.22 54X-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

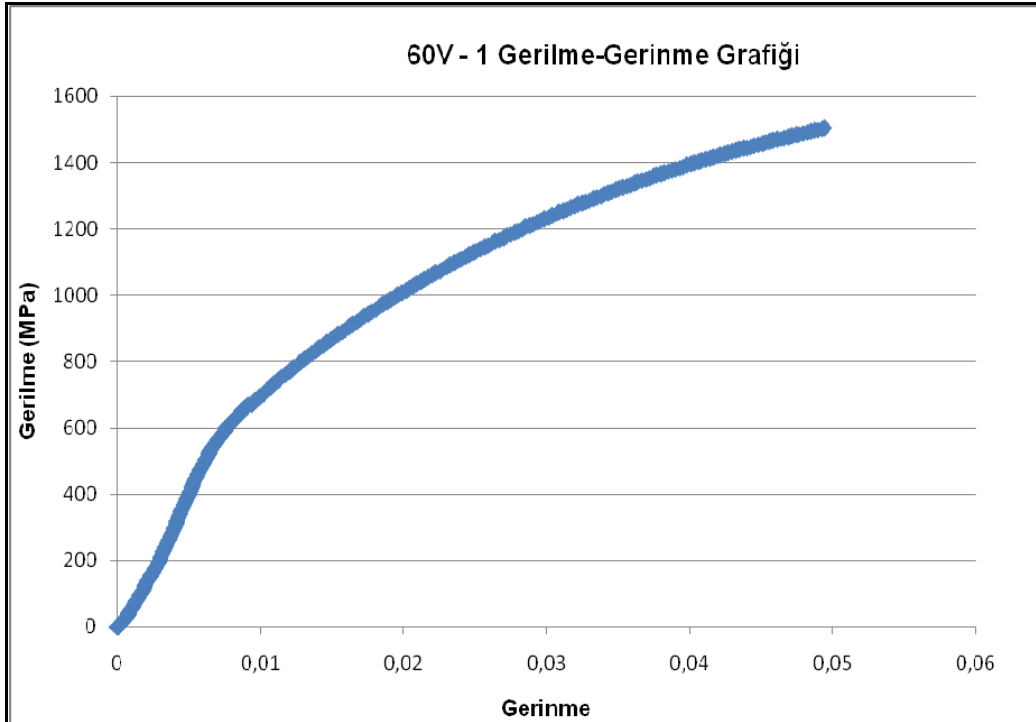


Şekil 5.7.2.23 54X-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

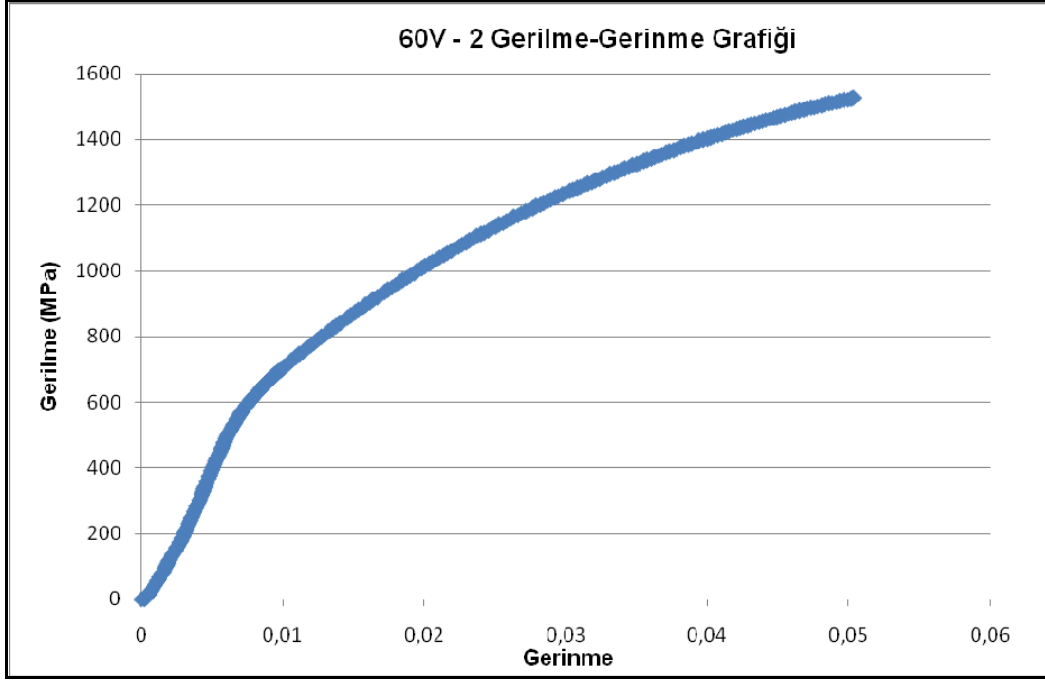


Şekil 5.7.2.24 54X-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

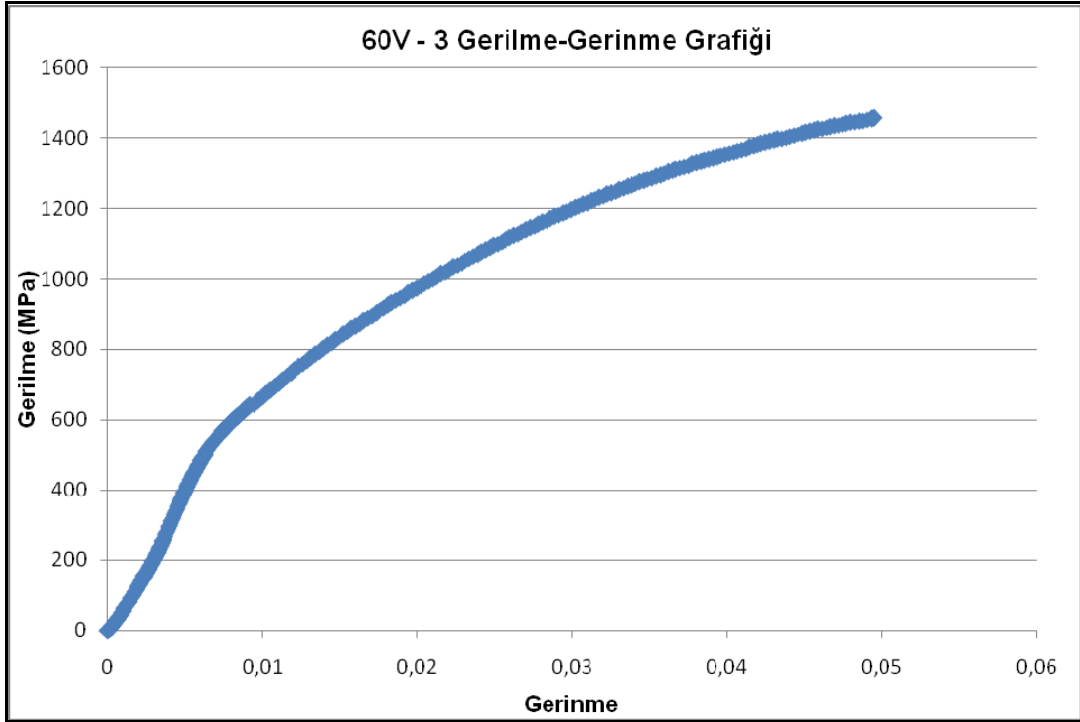
60° açıda, X ve V geometrilerinde kaynak ağzına sahip numunelerin basma deneylerinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 5.7.2.25' ten Şekil 5.7.2.36' ya kadar gösterilmiştir.



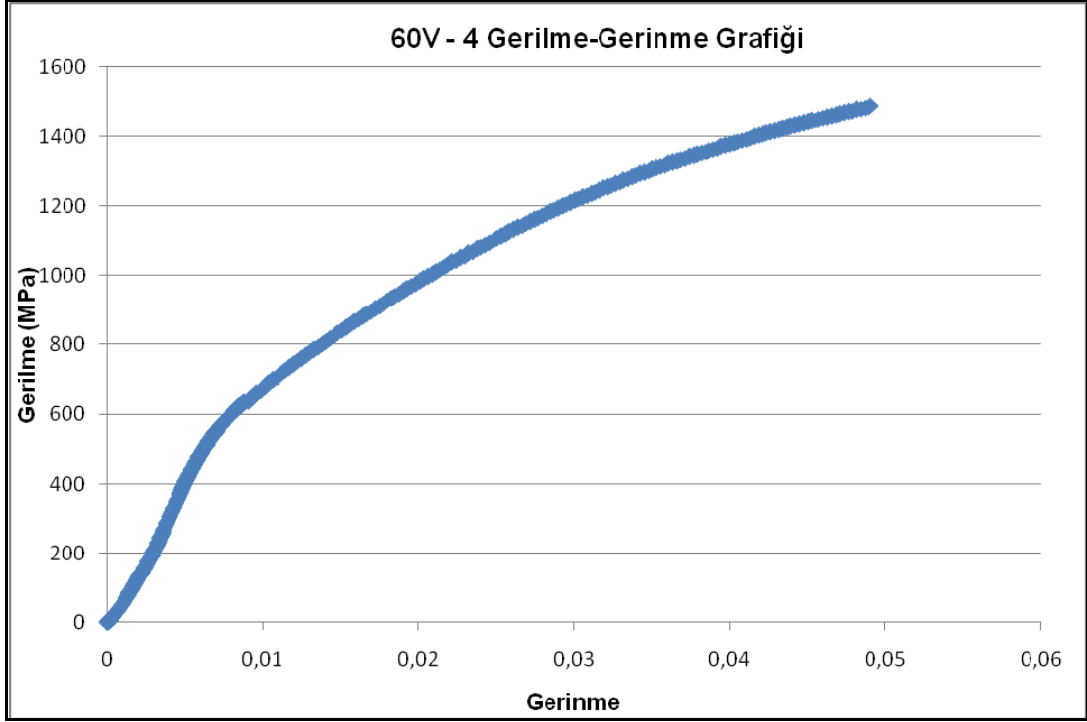
Şekil 5.7.2.25 60V-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



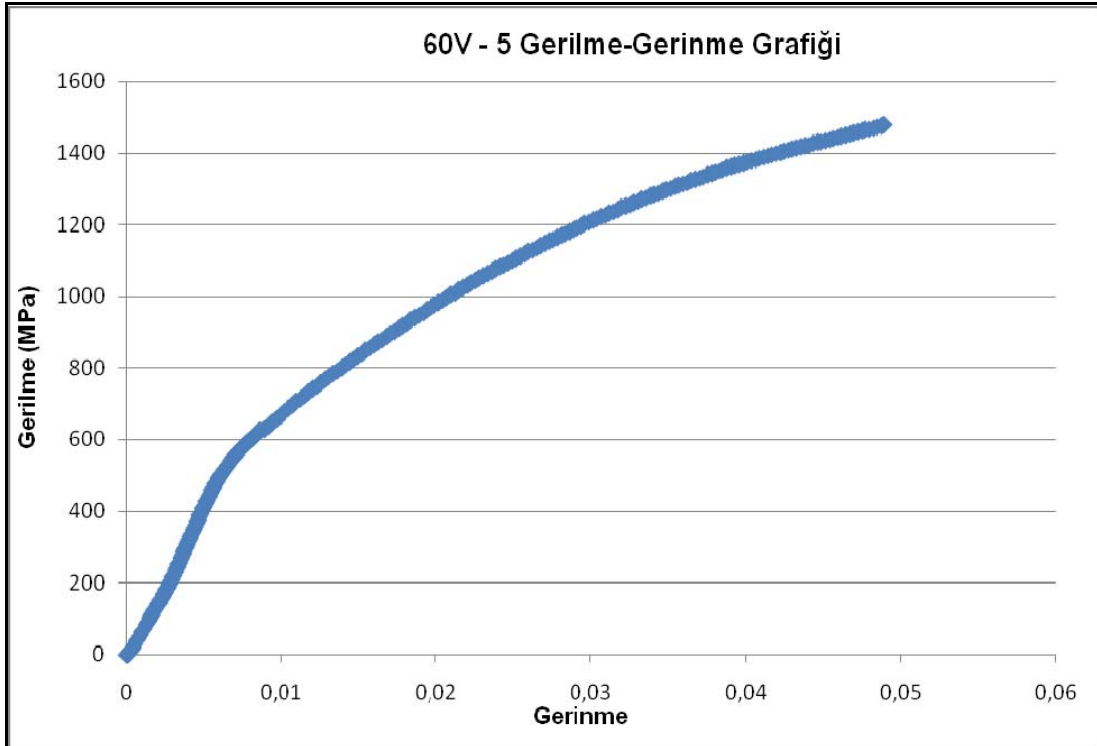
Şekil 5.7.2.26 60V-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



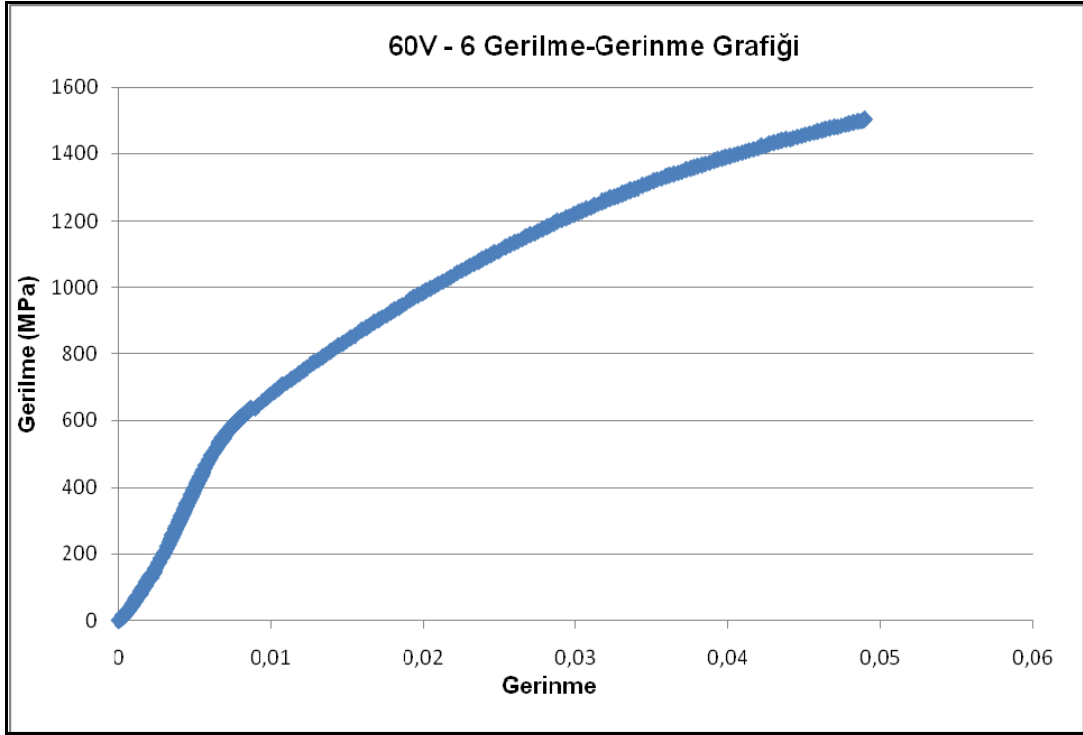
Şekil 5.5.2.27 60V-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



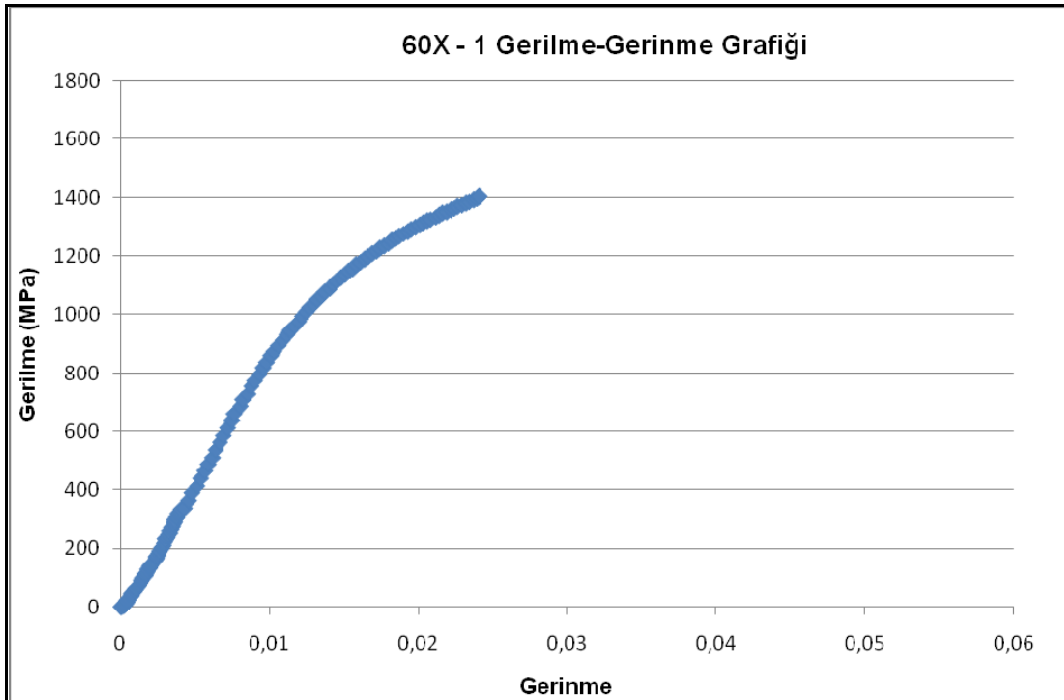
Şekil 5.7.2.28 60V-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



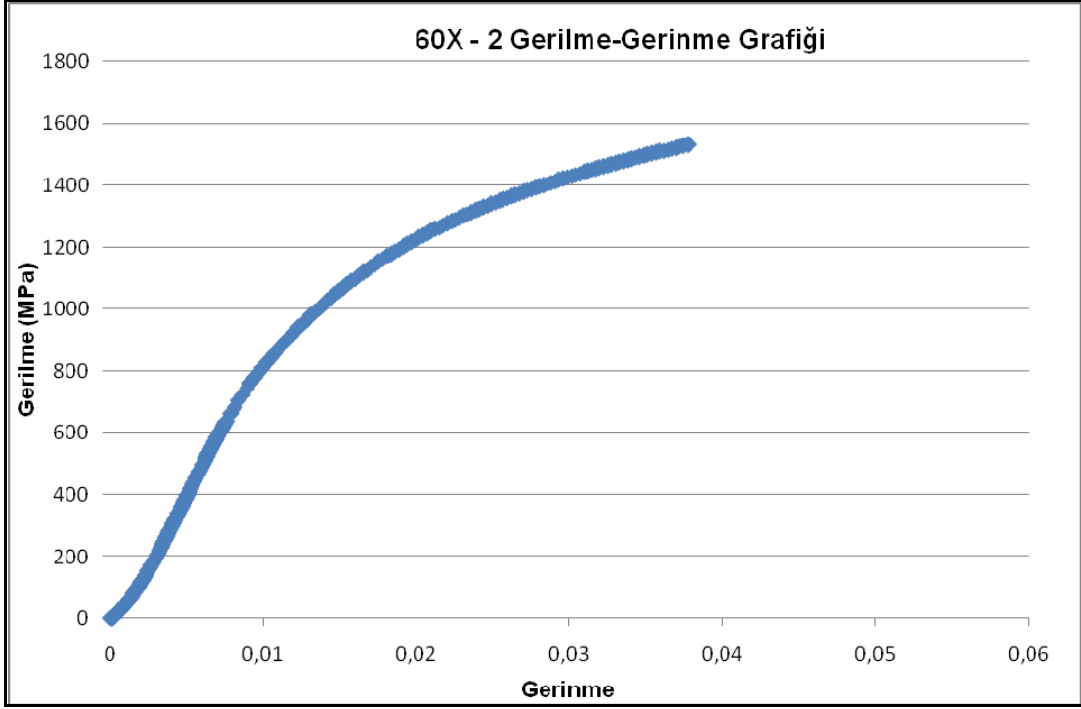
Şekil 5.7.2.29 60V-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



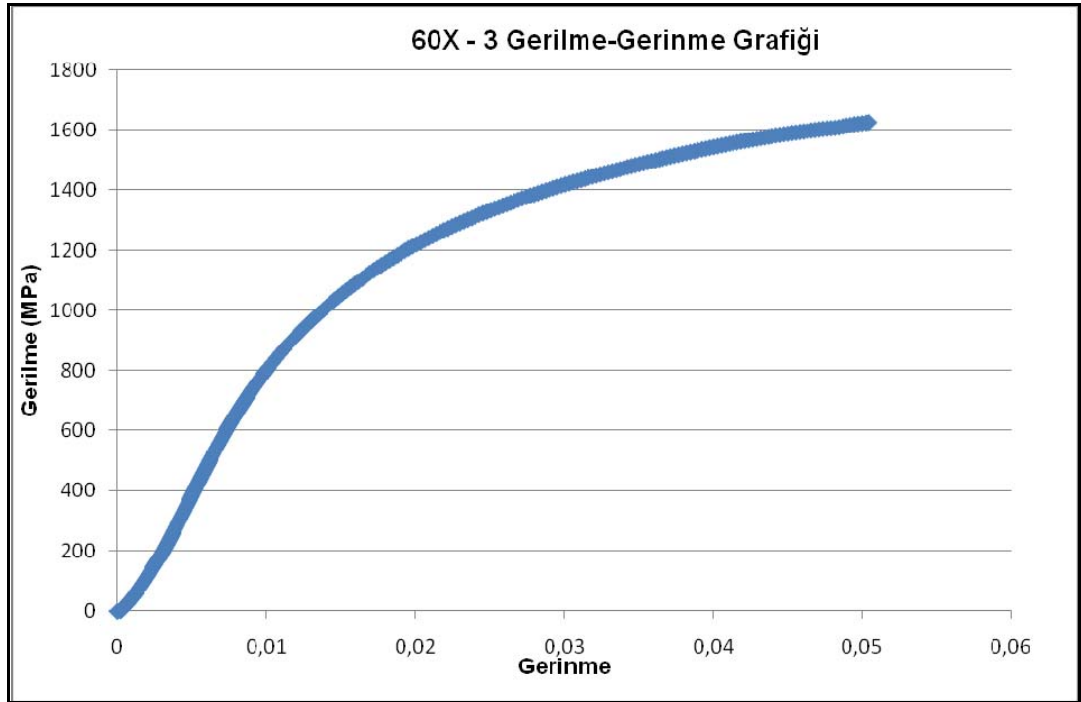
Şekil 5.7.2.30 60V-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



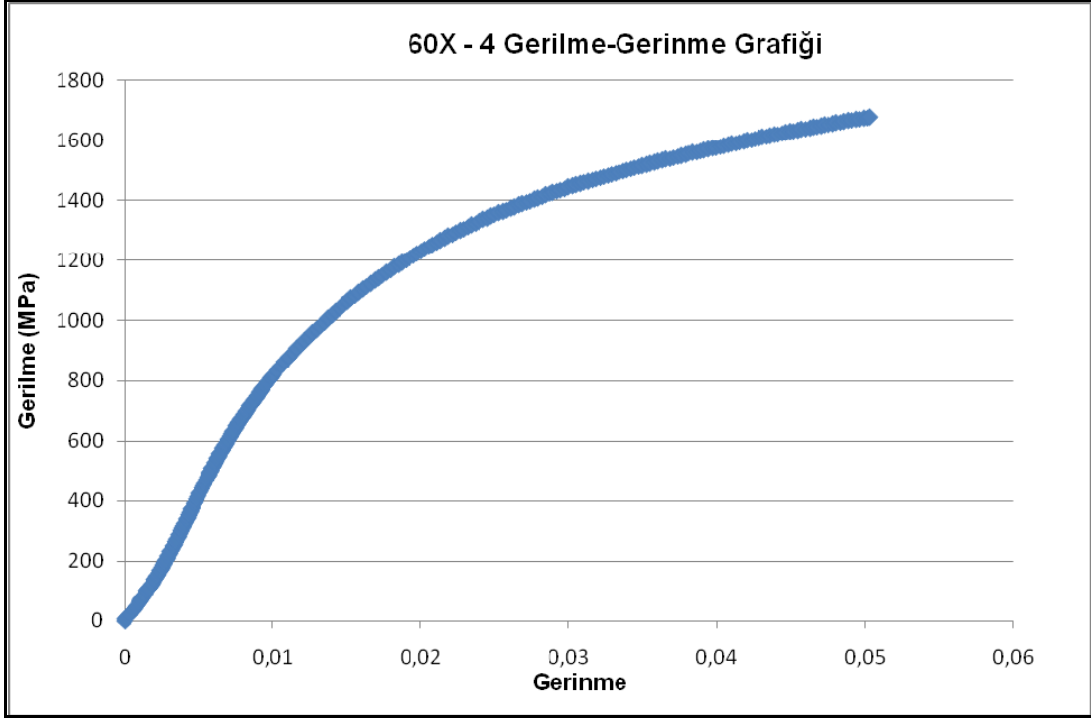
Şekil 5.7.2.31 60X-1 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



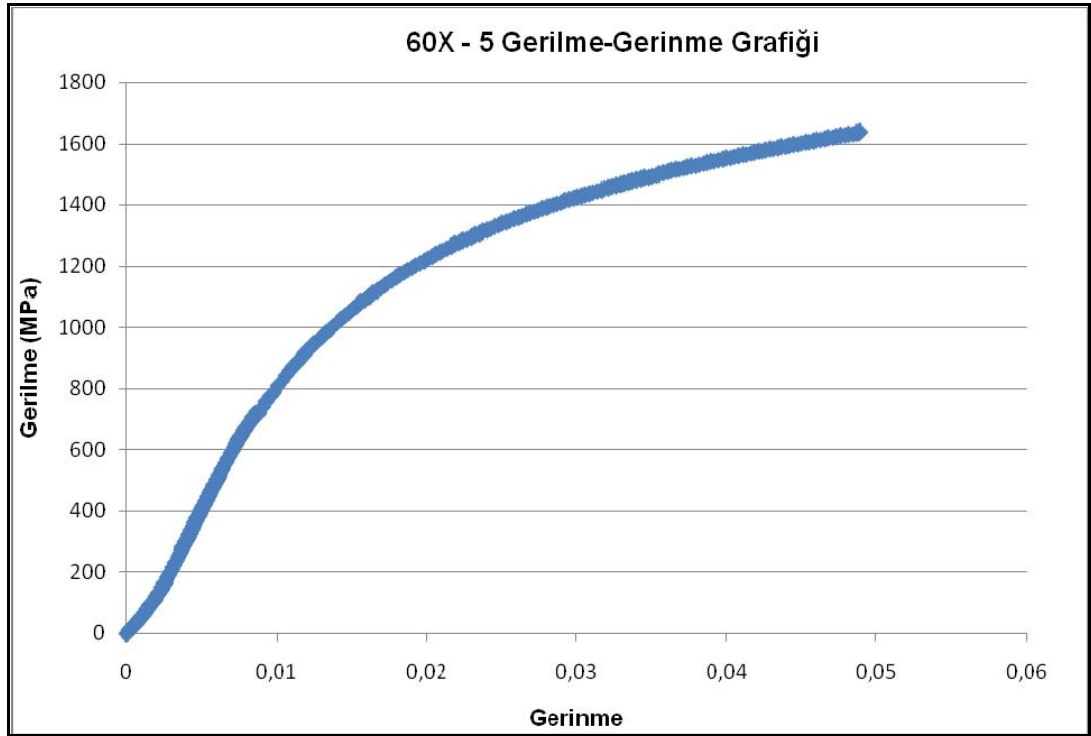
Şekil 5.7.2.32 60X-2 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



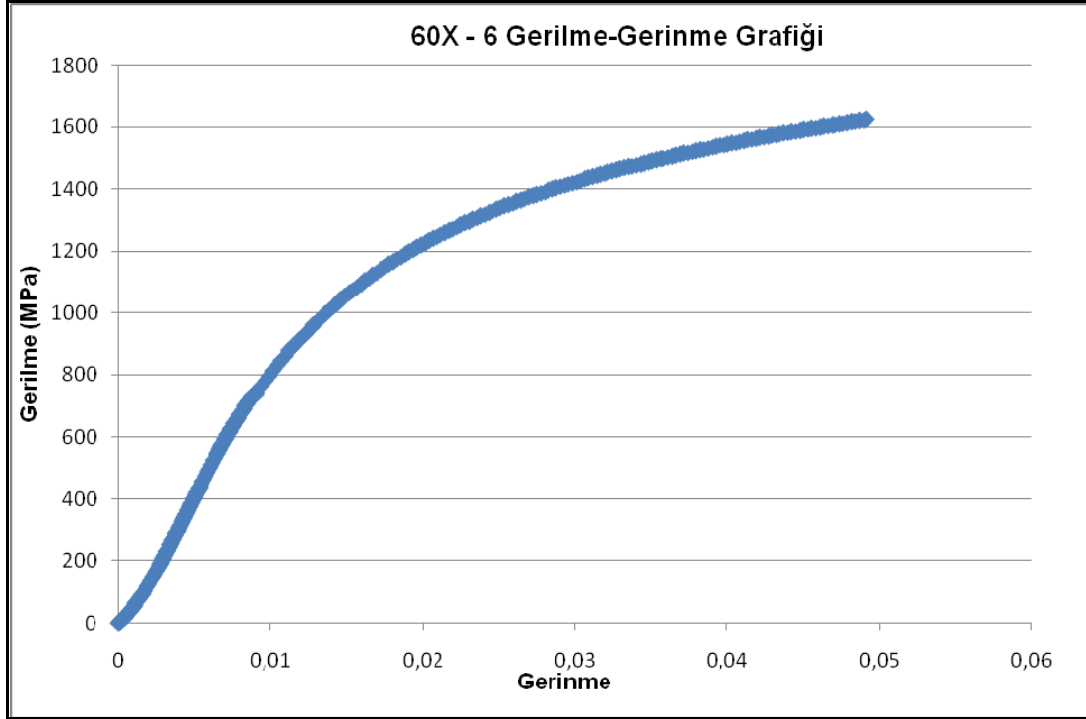
Şekil 5.7.2.33 60X-3 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.2.34 60X-4 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.2.35 60X-5 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.2.36 60X-6 basma numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

48° açıda ve V geometrisinde kaynak ağzına sahip basma numunelerinin deney sonuçları Çizelge 5.7.2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 5.7.2.1 48V kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları

Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Kısalma (%)	Akma noktasındaki gerinme($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
48V-1	748	1386,8	3,5	10713	88,1
48V-2	709,1	1673,2	6,1	9053,3	84,4
48V-3	759,3	1523,9	4,8	11204,7	85,8
48V-4	761,3	1517,3	4,9	10799	88,5
48V-5	769,3	1545,7	4,9	11016,2	88,6
48V-6	737,2	1520,2	4,9	10602,4	88
Ortalama	747,4	1527,9	4,9	10564,8	87,2

54° açıda ve V geometride kaynak bağlantısına sahip basma numunelerinin deney sonuçları Çizelge 5.7.2.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.7.2.2 54V kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları

Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Kısalma (%)	Akma noktasındaki gerinme($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
54V-1	781,3	1520,3	4,8	11421,9	85,9
54V-2	764,1	1535,7	5	10851,1	90,7
54V-3	767,2	1545,8	4,9	11438,3	86,3
54V-4	795,4	1541	4,9	11798,9	85,1
54V-5	764,7	1531	4,9	11282,6	87
54V-6	735,9	1528,9	5	11237,5	84
Ortalama	768,1	1533,8	4,9	11338,4	86,5

60° açıda ve V geometride kaynak ağzına sahip basma numunelerinin deney sonuçları Çizelge 5.7.2.3' te verilmiştir.

Çizelge 5.7.2.3 60V kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları

Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Kısalma (%)	Akma noktasındaki gerinme($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
60V-1	665,1	1504,3	4,9	9094,3	85,8
60V-2	672,8	1525,4	5	9205	87,3
60V-3	638,9	1458,4	4,9	9094,3	86
60V-4	678,6	1487,8	4,9	10135,2	87
60V-5	667,4	1478,4	4,9	9963	87
60V-6	686,3	1502,6	4,9	10221,2	87,5
Ortalama	668,2	1492,8	4,9	9618,9	86,8

48° açıda ve X geometride kaynak ağzına sahip basma numunelerinin deney sonuçları Çizelge 5.7.2.4' te verilmiştir.

Çizelge 5.7.2.4 48X kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları

Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Kısalma (%)	Akma noktasındaki gerinme($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
48X-1	1121	1385,5	2,4	15801,4	85,8
48X-2	1058,3	1681,5	5	14306,8	89,5
48X-3	1112,3	1551,7	5	1477,8	89,2
48X-4	1098,8	1544,9	5	14536,3	90,3
48X-5	1118,7	1545,7	3,7	14737,1	89,3
48X-6	1109,3	1535,6	3,7	14696,1	90,4
Ortalama	1103	1540,8	4,1	14809,3	89,1

54° açıda ve X geometrisinde kaynak ağzına sahip basma numunelerinin deney sonuçları Çizelge 5.7.2.5' te verilmiştir.

Çizelge 5.7.2.5 54X kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları

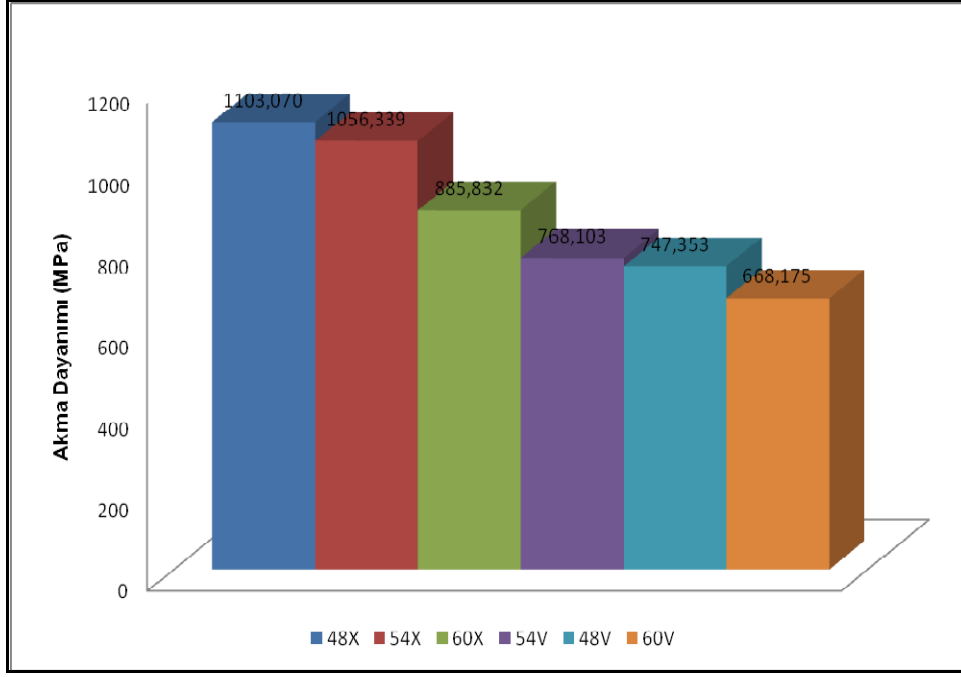
Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Kısalma (%)	Akma noktasındaki gerinme($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
54X-1	1051,1	1675,9	6,3	14163,4	88,8
54X-2	1049,8	1660,3	4,8	14315	87,5
54X-3	1133,8	1521,5	3,6	14880,5	89,6
54X-4	1025,2	1651,4	4,9	13569,2	91,9
54X-5	1055,7	1666,7	4,9	13999,5	90,7
54X-6	1022,4	1650,3	5	13208,6	93,4
Ortalama	1056,3	1637,7	4,9	14022,7	90,3

60° açıda ve X geometride kaynak ağzına sahip basma numunelerinin deney sonuçları Çizelge 5.7.2.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.7.2.6 60X kaynaklı numunelerin basma deney sonuçları

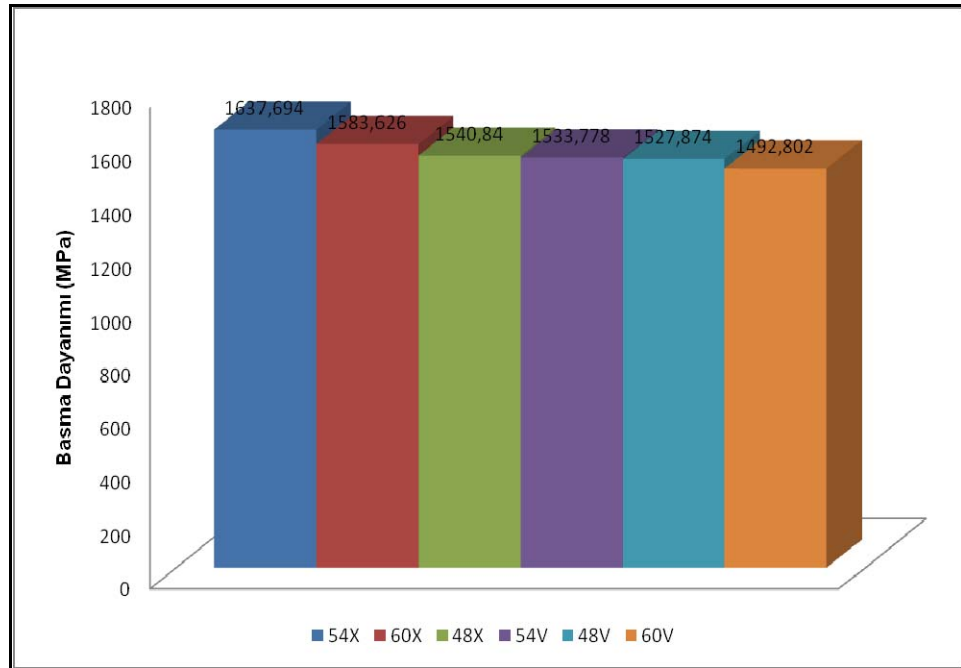
Numune	Akma Dayanımı (%0,2)(MPa)	Basma Dayanımı (MPa)	Kısalma (%)	Akma noktasındaki gerinme($\times 10^{-6}$)	Elastisite Modülü (GPa)
60X-1	1136,5	1404,8	2,4	15080,2	89
60X-2	1002,6	1531,3	3,8	15080,2	90,6
60X-3	751	1626,7	5	9225,5	89,9
60X-4	754,5	1678,7	5	9004,2	89,2
60X-5	872,8	1636,9	4,9	1115,2	90,8
60X-6	797,5	1623,3	4,9	9897,5	89,9
Ortalama	885,8	1583,6	4,3	11573,2	89,9

Her bir açı ve geometrideki numuneler için genel akma mukavemeti diyagramı Şekil 5.7.2.37' de verilmiştir. Şekil 5.7.2.37' ye göre 48X kaynaklı numuneler için basma testlerinden elde edilen en yüksek akma mukavemeti değeri ortalama 1103,07 MPa civarındadır. X konfigürasyona sahip numunelerin akma dayanımları, V konfigürasyona sahip numunelere göre ortalama %40 oranında daha yüksek çıkmıştır.



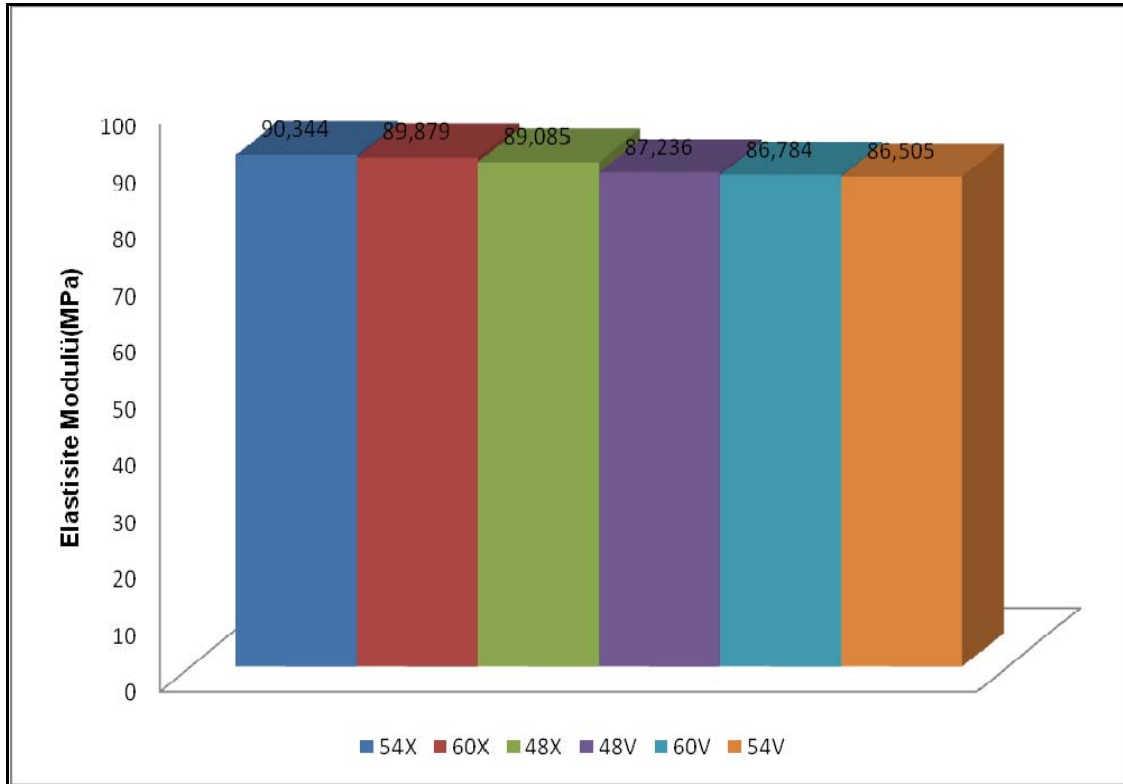
Şekil 5.7.2.37 Kaynaklı basma numunelerinin akma dayanımları

Tüm numuneler için basma dayanımları Şekil 5.7.2.38’ de verilmiştir. Basma deneylerinden elde edilen basma dayanım değerlerine bakıldığında, en yüksek basma dayanımı 54° açıda ve X geometride kaynak ağzına sahip numuneler için elde edilmiştir. X geometriye sahip numunelerin basma dayanımları, V konfigürasyona sahip numunelere göre %4,6 oranında daha yüksek çıkmıştır.



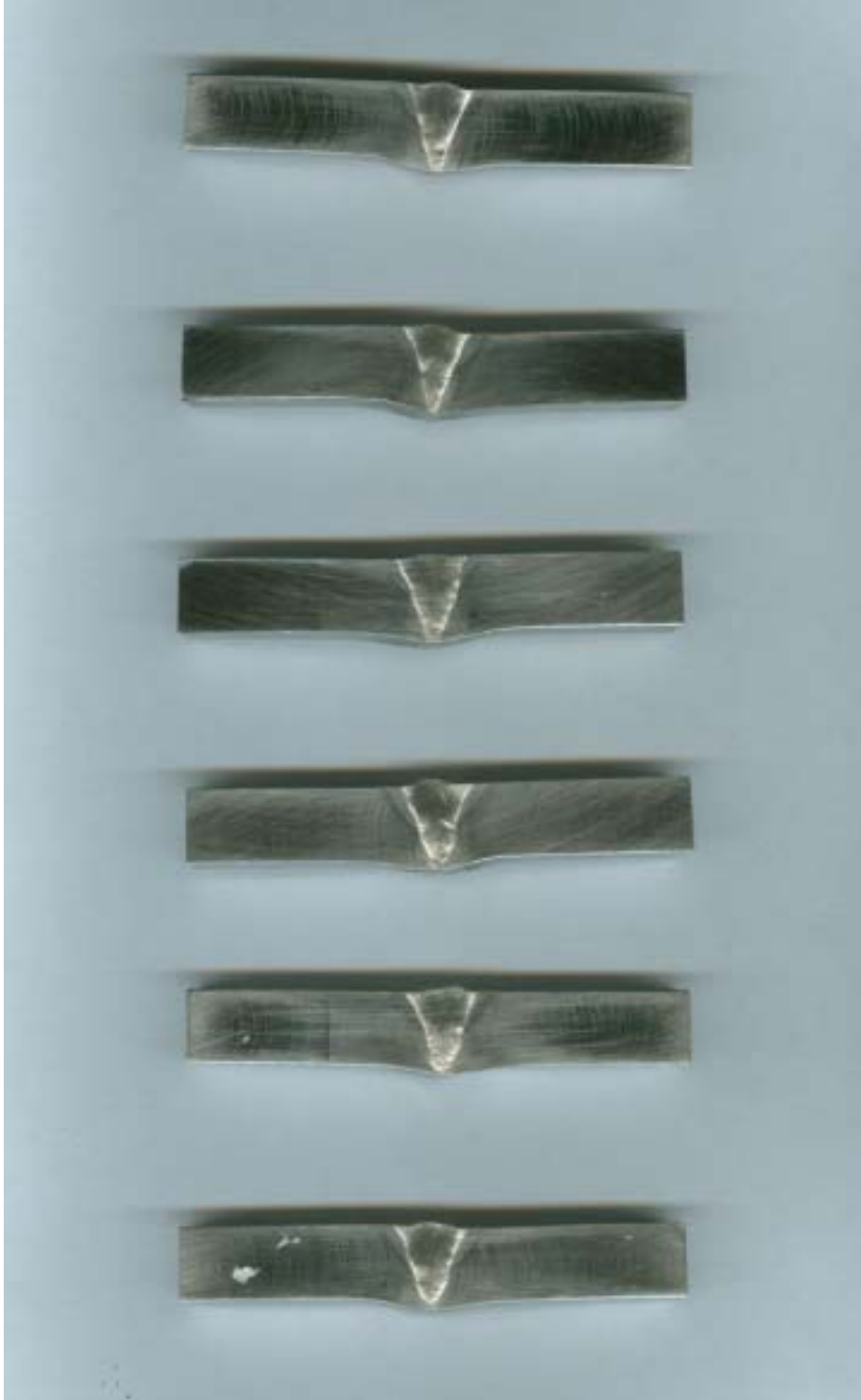
Şekil 5.7.2.38 Kaynaklı basma numunelerinin basma dayanımları

Tüm numuneler için hesaplanan ortalama elastisite modülü değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.7.2.39' da verilmiştir. Basma testi sonuçlarına göre en yüksek elastisite modülü değeri olan 90,3 GPa 54X kaynaklı numuneler için elde edilmiştir. X kaynaklı basma numunelerinin elastisite modülü değerleri, V kaynaklı numunelere göre ortalama %3,4 daha yüksek çıkmıştır. 54V kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerleri, 54X kaynaklı numunelere göre %4,4 daha düşüktür.



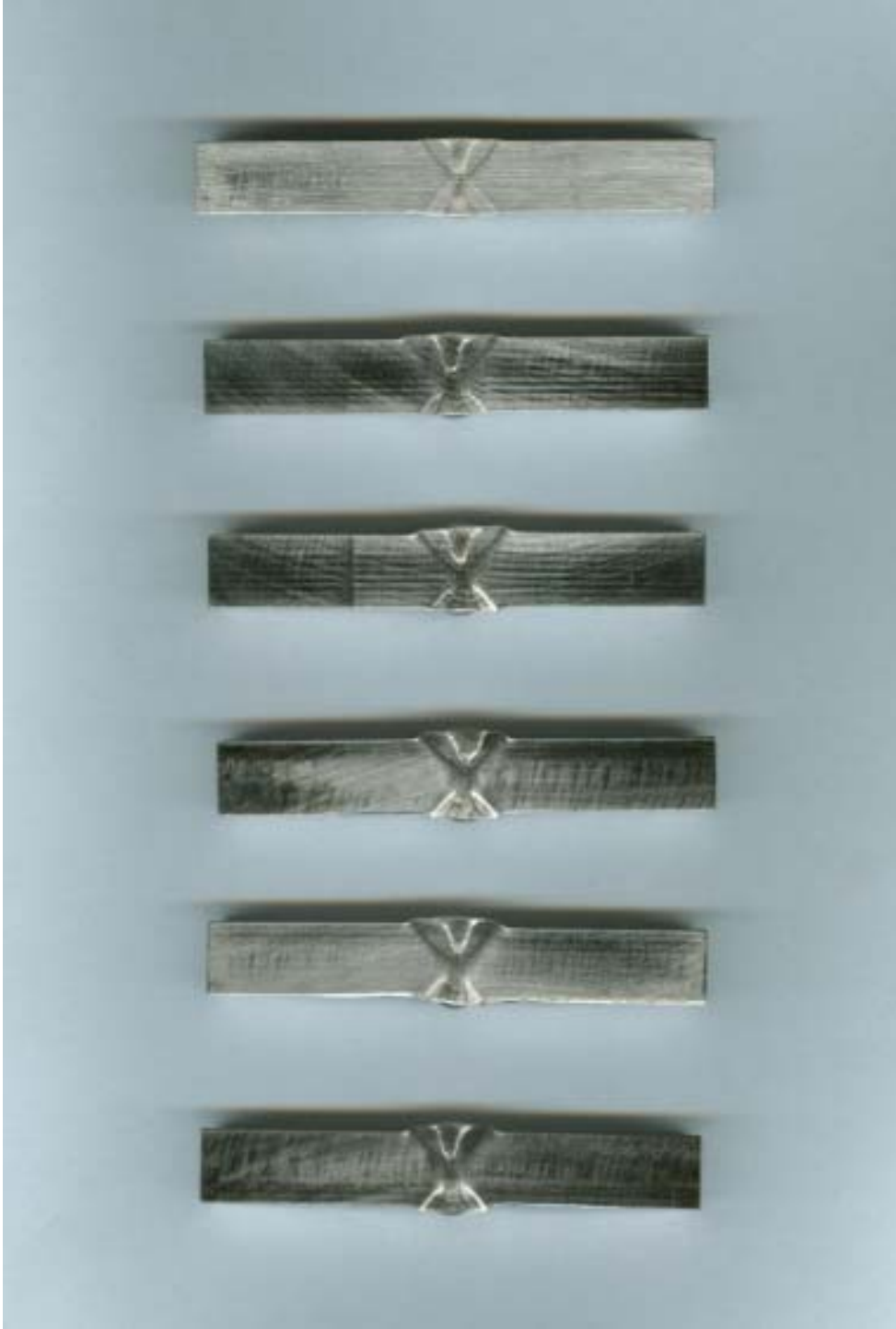
Şekil 5.7.2.39 Kaynaklı basma numunelerinin elastisite modülü değerleri

X ve V tipindeki kaynaklı numunelerin basma testi sonrası görüntüleri Şekil 5.7.2.40' ta ve Şekil 5.7.2.41' de verilmiştir. Basma testlerinden sonra, V kaynaklı numunelerin kesit alanında artma gözlenmiştir.



Şekil 5.7.2.40 V kaynaklı numunelerin basma testinden sonraki görüntüleri

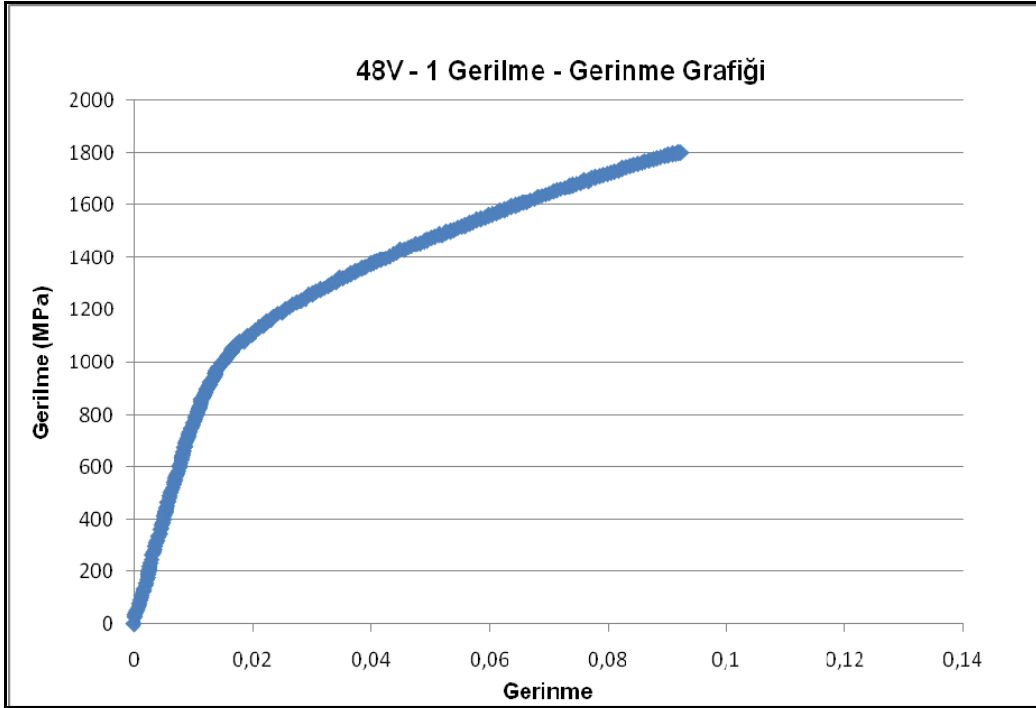
Şekil 5.7.2.41' de X kaynaklı numunelerde kaynak bölgesi kayma göstermiştir, numuneler bu şekilde deformasyona uğramışlardır. X kaynaklı basma numunelerinin kaynak kesit alanında artış görülmüştür.



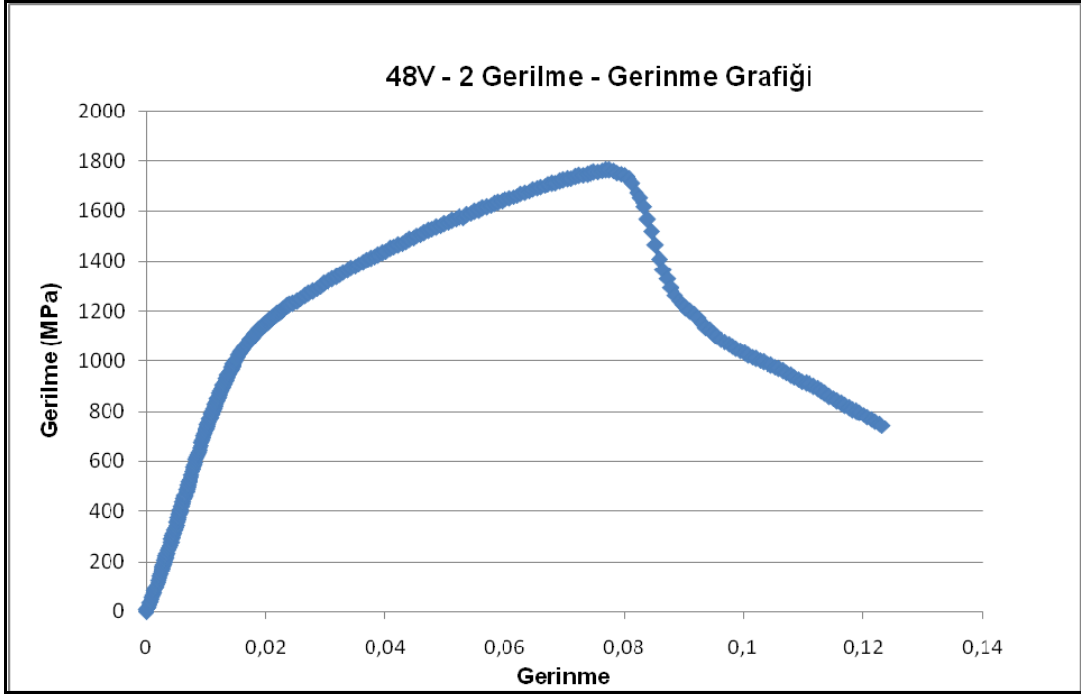
Şekil 5.7.2.41 X kaynaklı numunelerin basma testinden sonraki görüntüleri

5.7.3 Üç nokta eğilme deneylerinden elde edilen bulgular

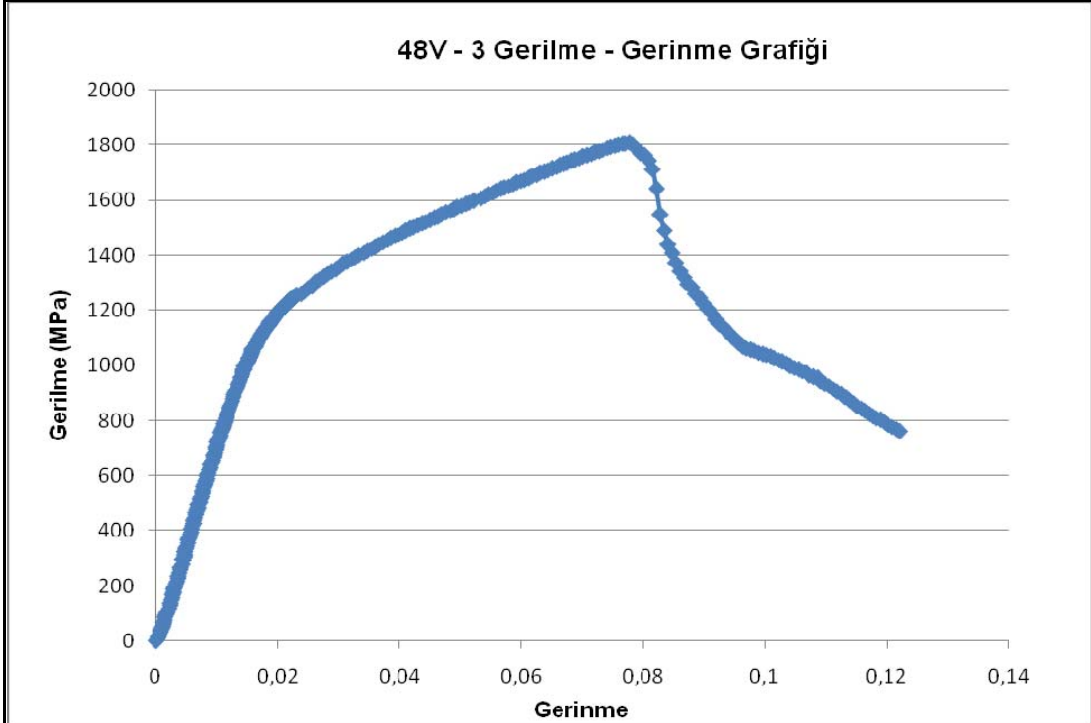
Bu çalışmada üç nokta eğilme deneylerinin yapılma amacı, kaynaklı deney numunelerinin elastisite modülü değerlerini tespit etmektir. Üç nokta eğilme deneylerinde, numunelerin yük-uzama değerleri kaydedilmiştir. Kaydedilen değerler ile gerekli hesaplamalar yapılarak, üç nokta eğilme deney numunelerine ait gerilme–gerinme grafikleri elde edilmiştir. Her bir açı ve geometri için 6 adet üç nokta eğilme deneyi yapılmıştır. X ve V geometrilerinde, 48°, 54°, 60° açılarında kaynak ağzlarına sahip çekme numunelerinin gerilme – gerinme grafikleri Şekil 5.7.3.1’ den Şekil 5.7.3.37’ ye kadar verilmiştir. 48° açığa ve X, V geometrilerinde kaynak ağzına sahip basma numunelerine ait gerilme - gerinme diyagramları Şekil 5.7.3.1’ den Şekil 5.7.3.12’ ye kadar verilmiştir.



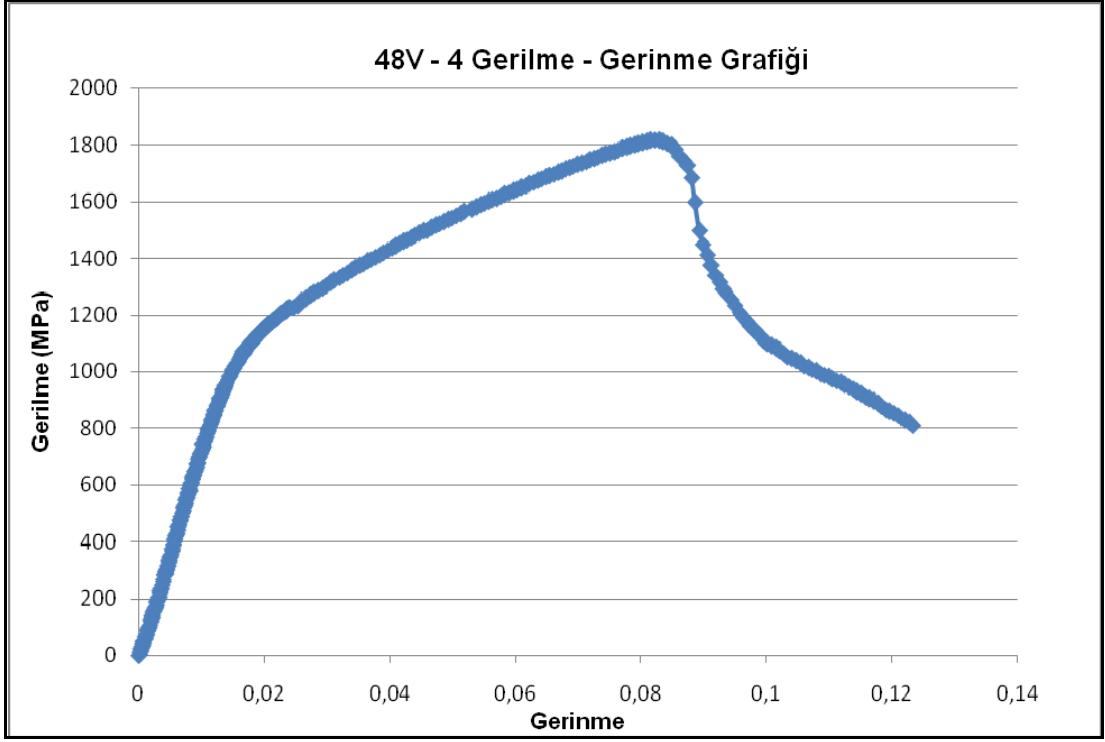
Şekil 5.7.3.1 48V-1 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



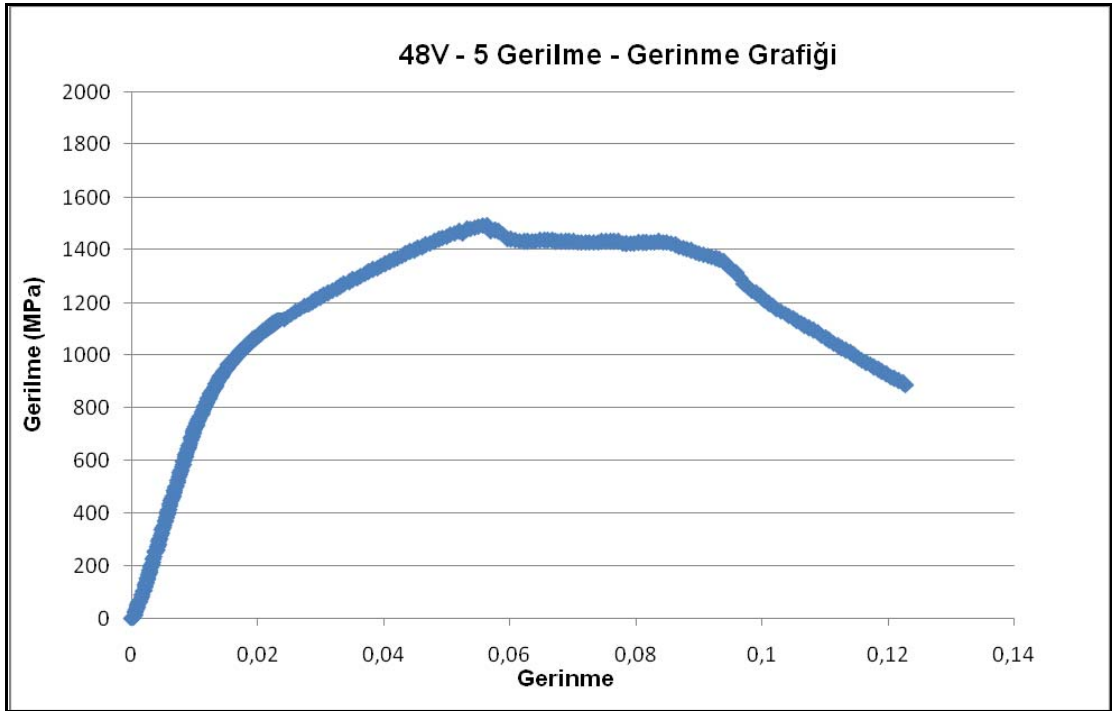
Şekil 5.7.3.2 48V-2 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



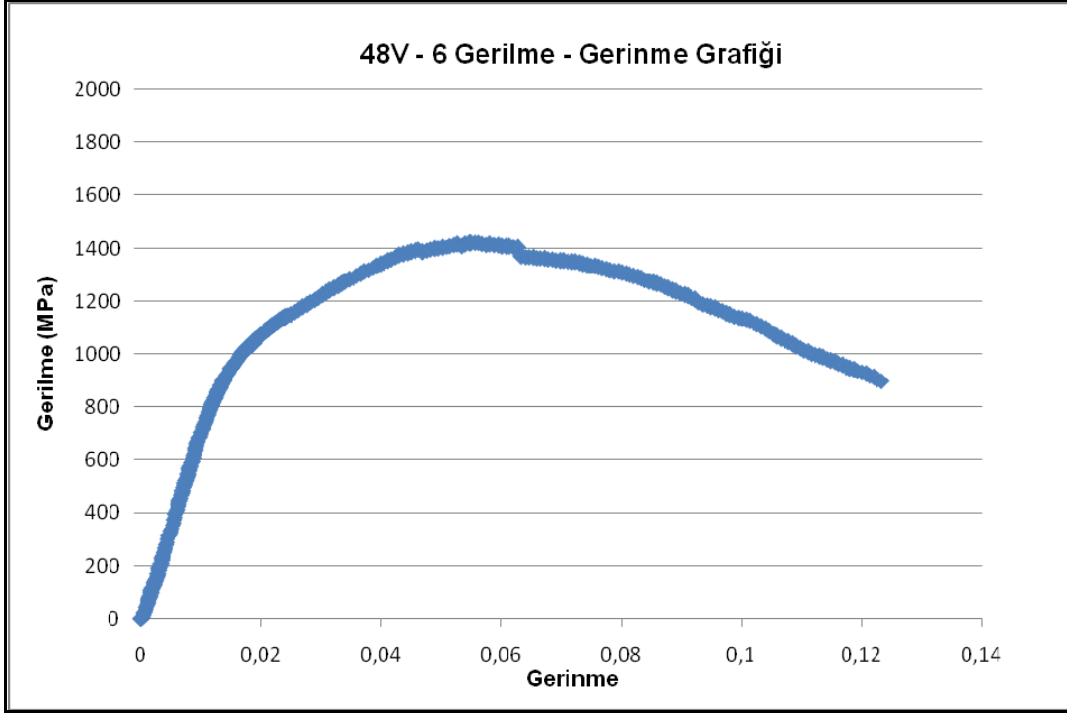
Şekil 5.7.3.3 48V-3 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



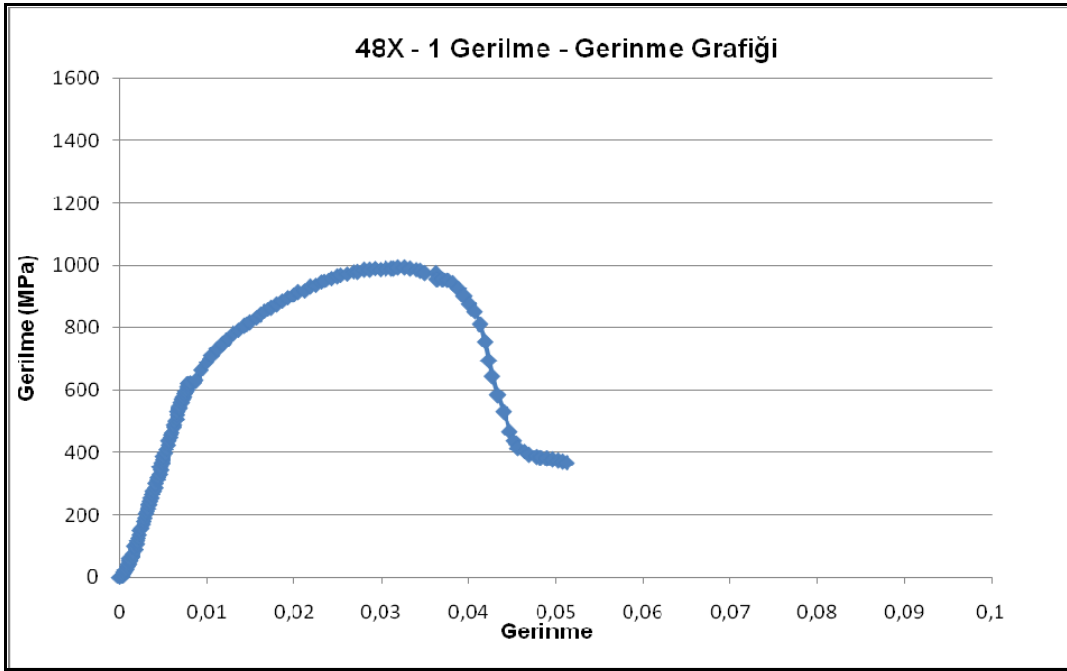
Şekil 5.7.3.4 48V-4 eğilme numunesine ait gerilme-gerilme diyagramı



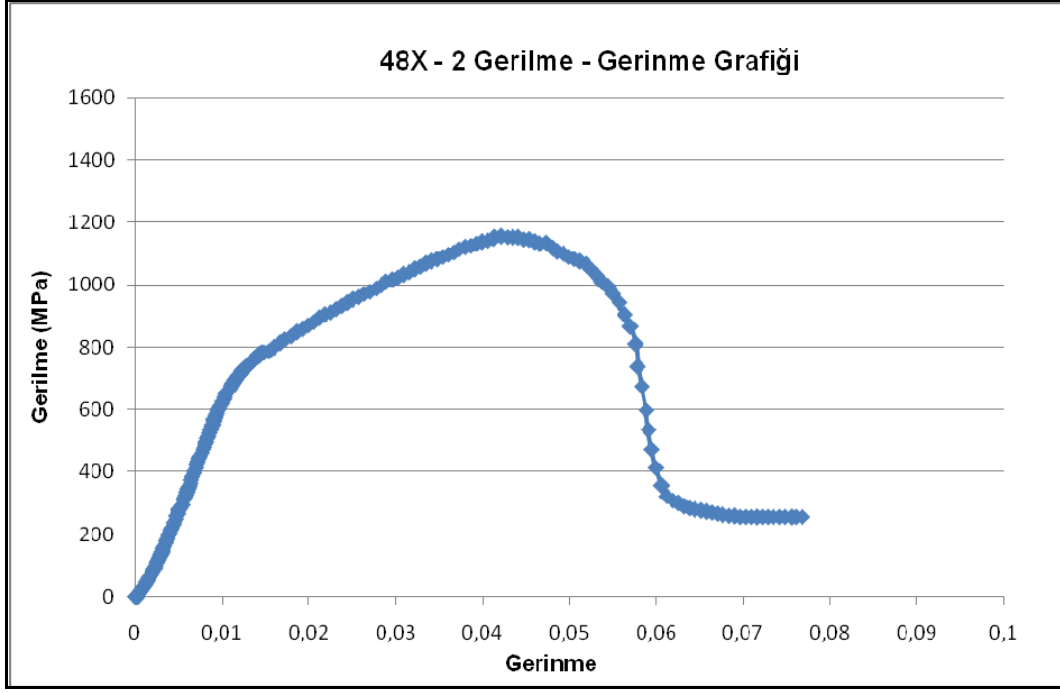
Şekil 5.7.3.5 48V-5 eğilme numunesine ait gerilme-gerilme diyagramı



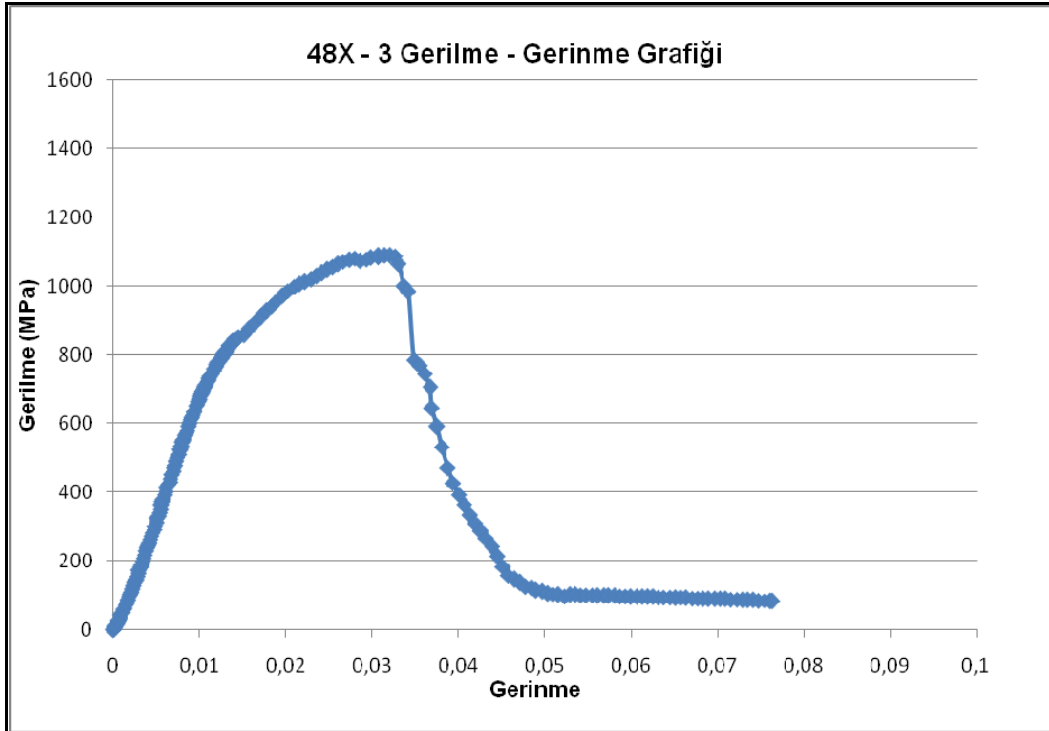
Şekil 5.7.3.6 48V-6 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



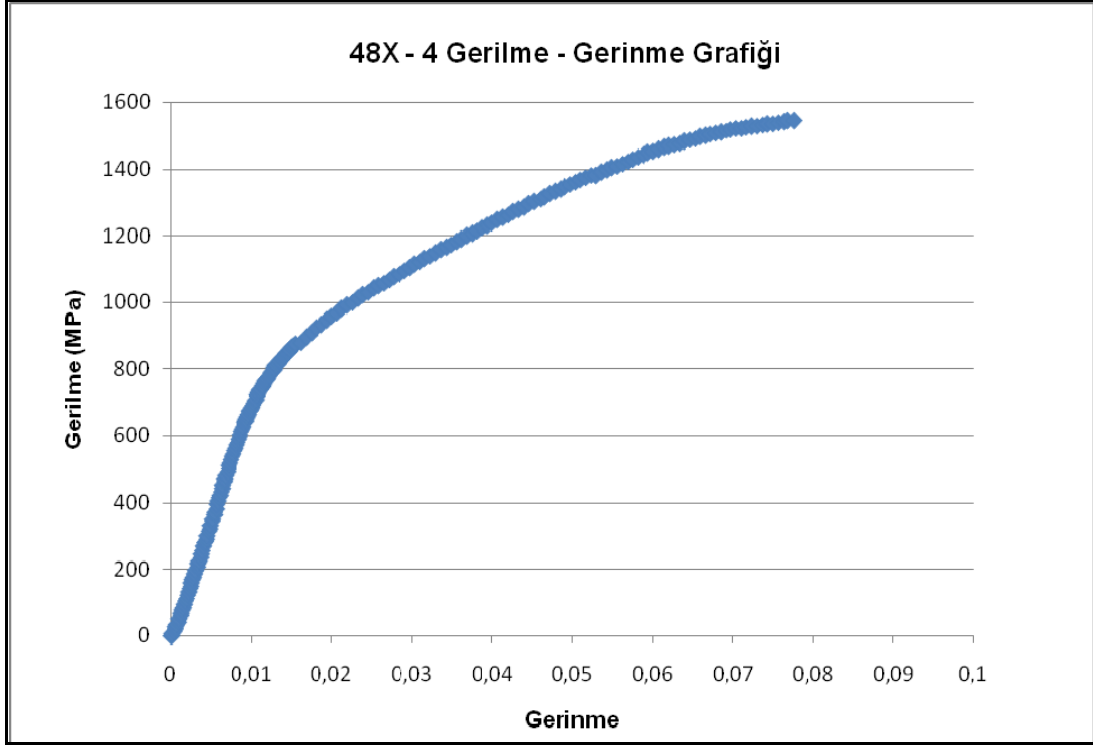
Şekil 5.7.3.7 48X-1 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



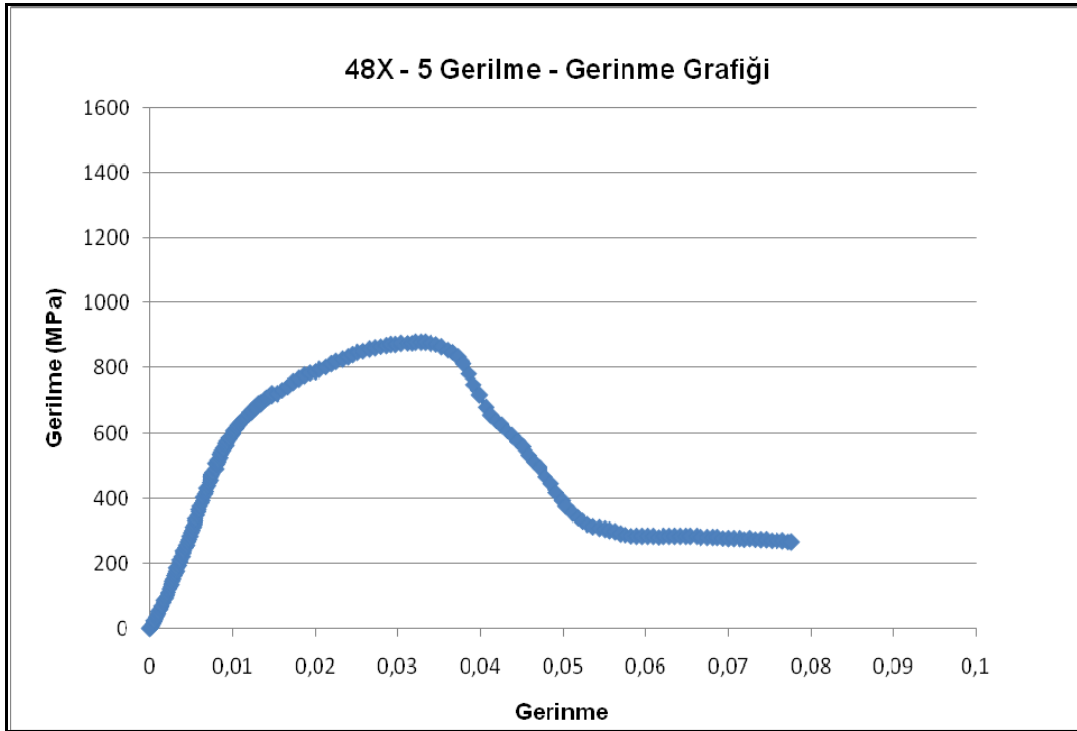
Şekil 5.7.3.8 48X-2 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



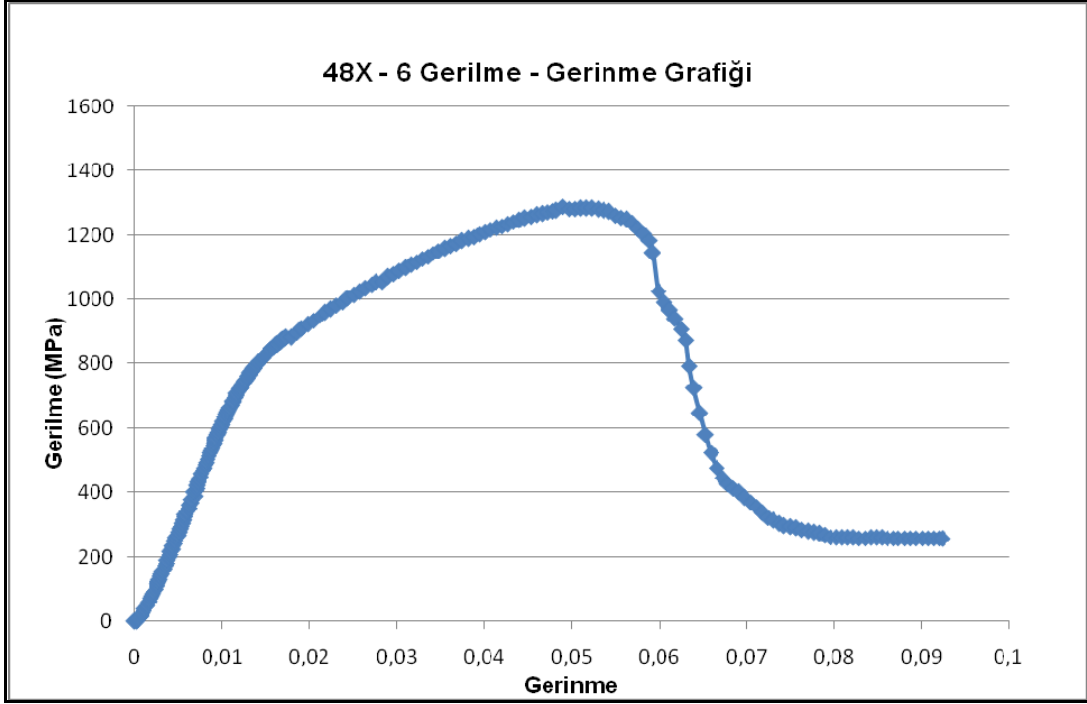
Şekil 5.7.3.9 48X-3 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.3.10 48X-4 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

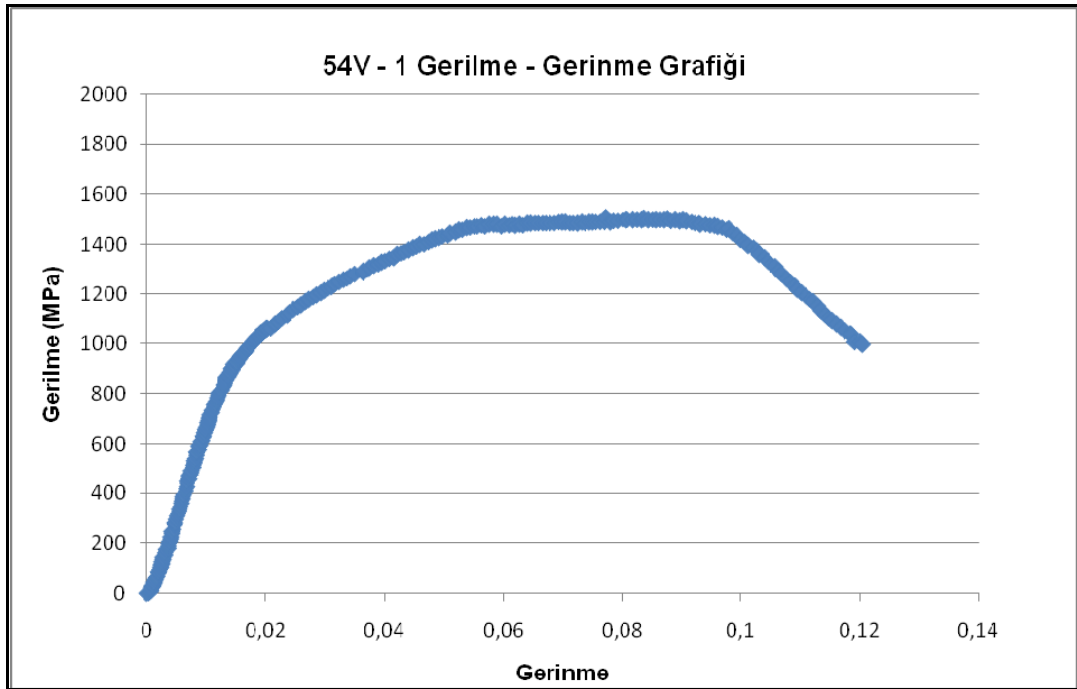


Şekil 5.7.3.11 48X-5 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

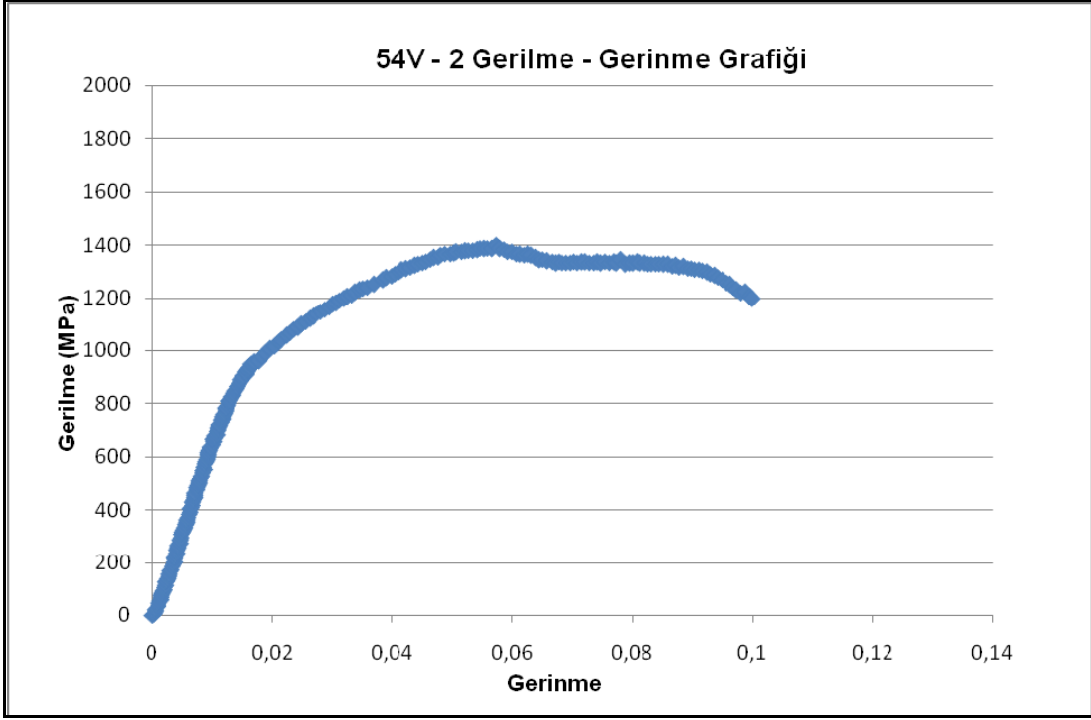


Şekil 5.7.3.12 48X-6 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

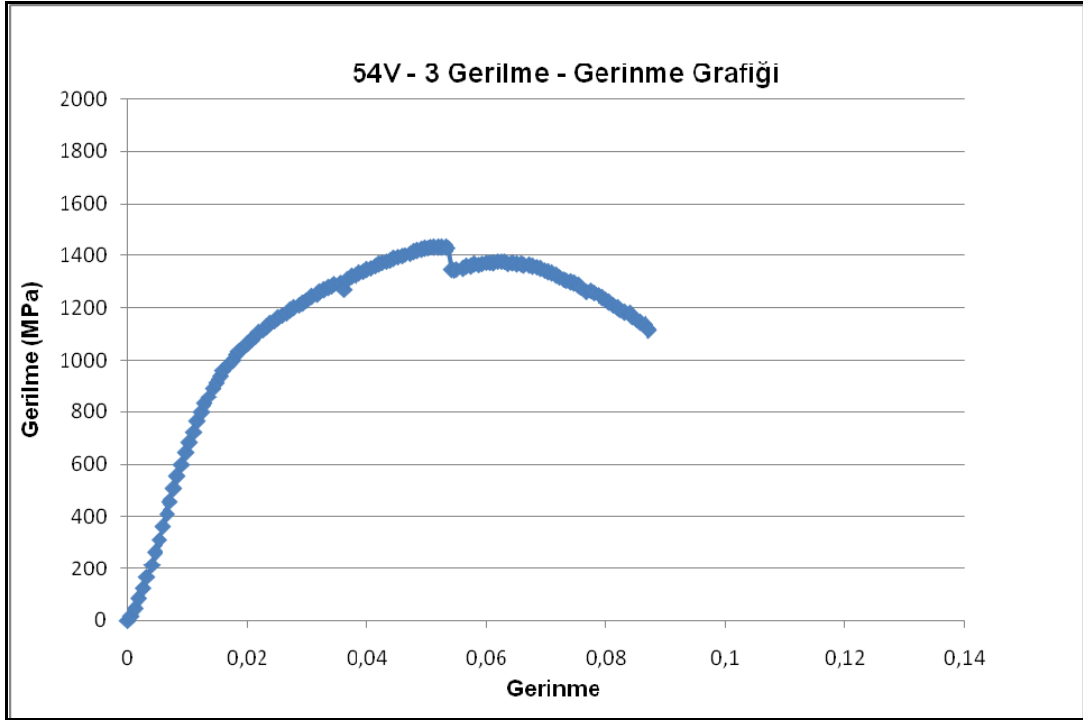
54° açıda, X ve V tip kaynak ağzına sahip numunelerin eğilme deneylerinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 5.7.3.13' ten Şekil 5.7.3.25' e kadar gösterilmiştir.



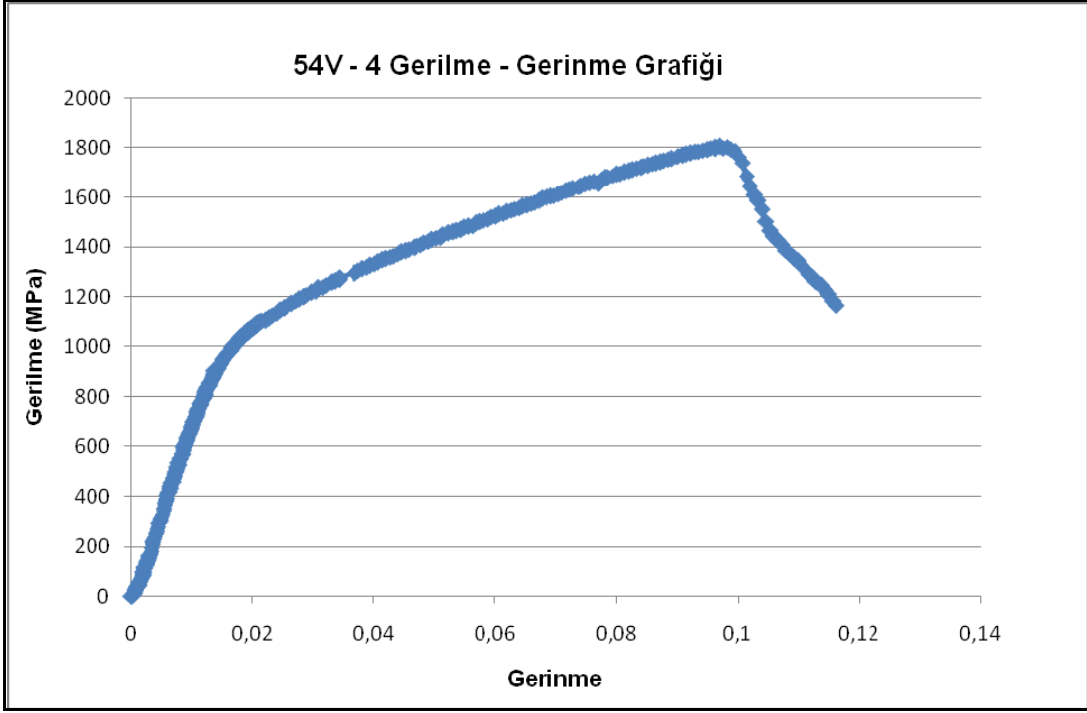
Şekil 5.7.3.13 54V-1 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



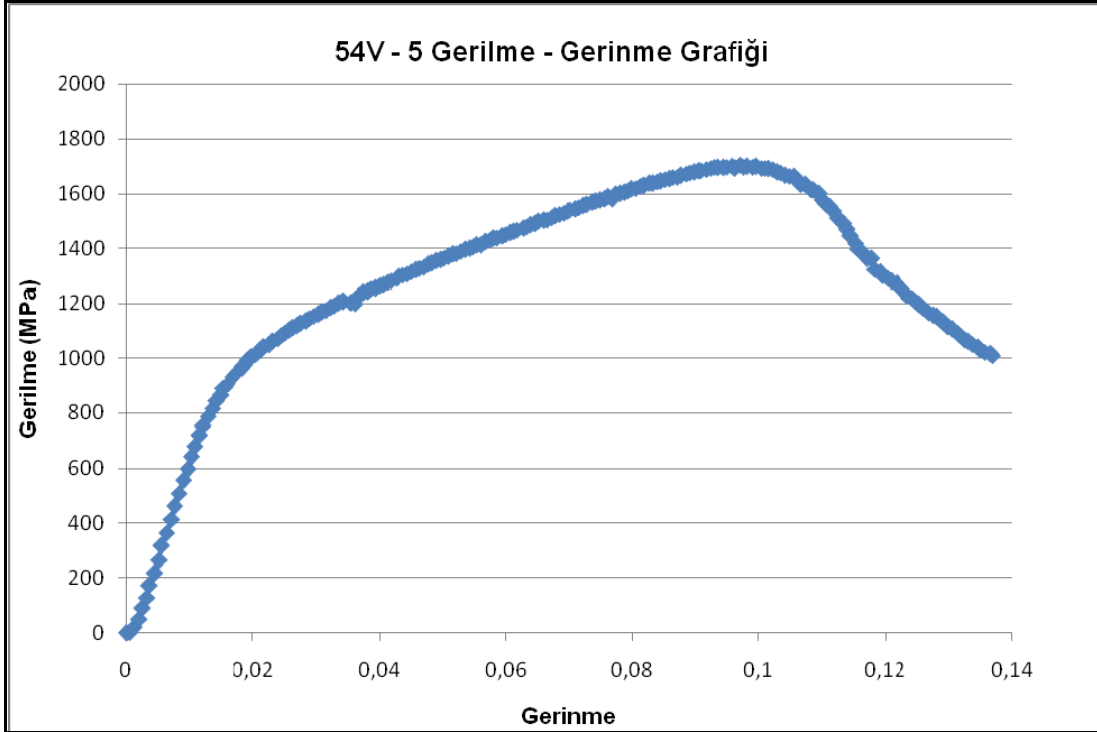
Şekil 5.7.3.14 54V-2 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



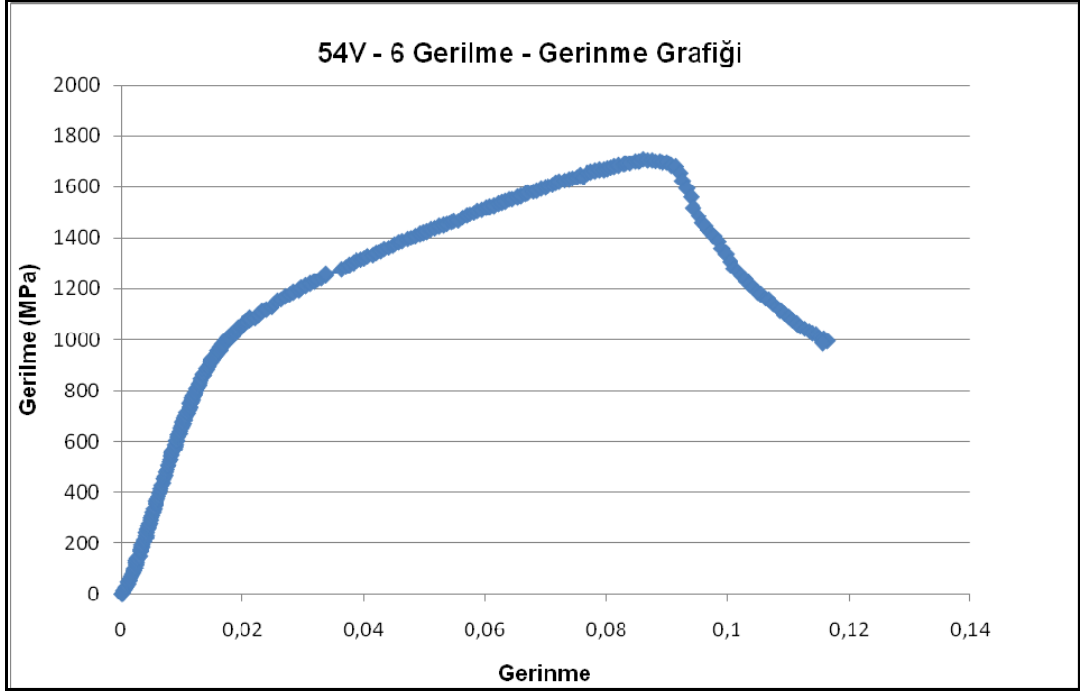
Şekil 5.7.3.15 54V-3 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



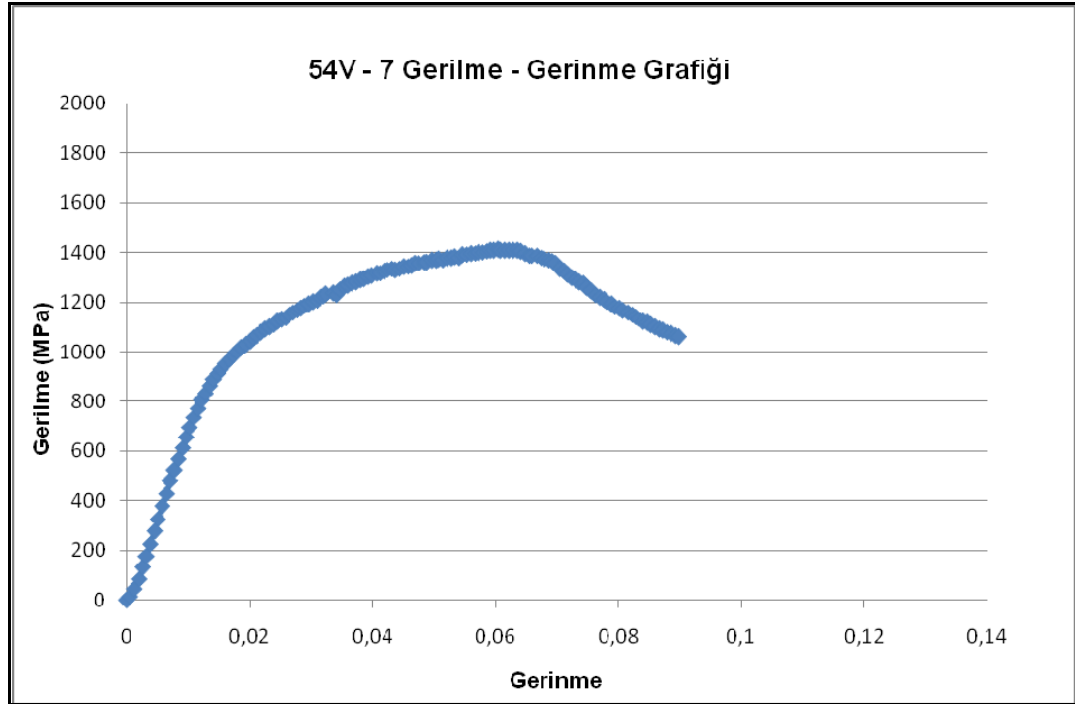
Şekil 5.7.3.16 54V-4 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



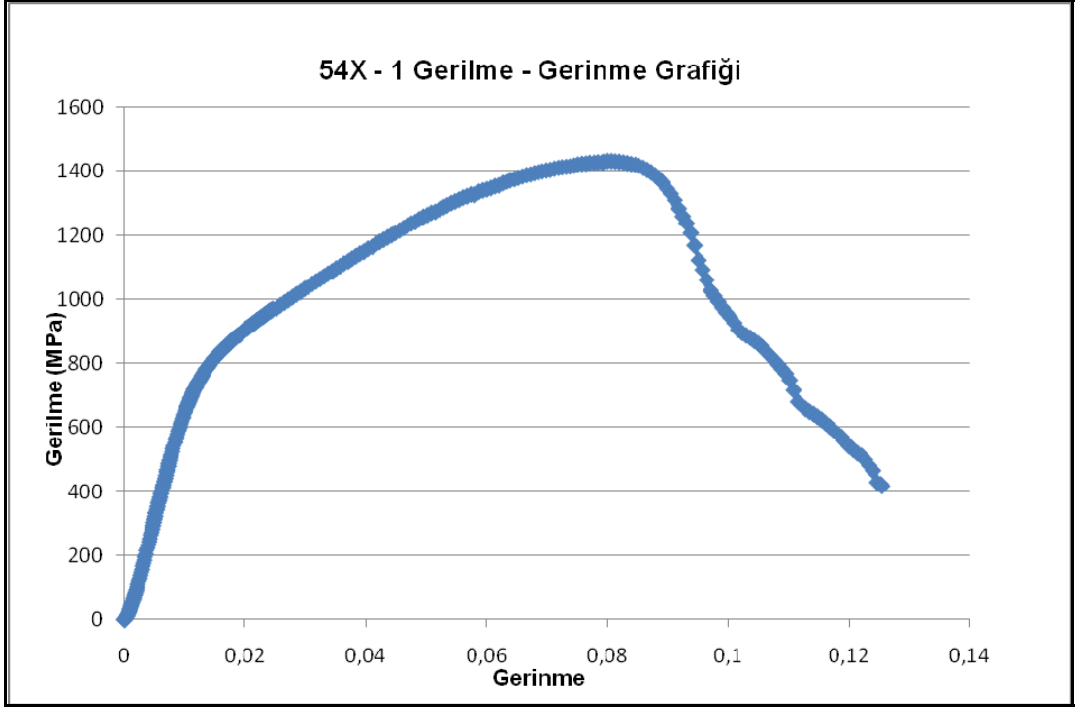
Şekil 5.7.3.17 54V-5 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



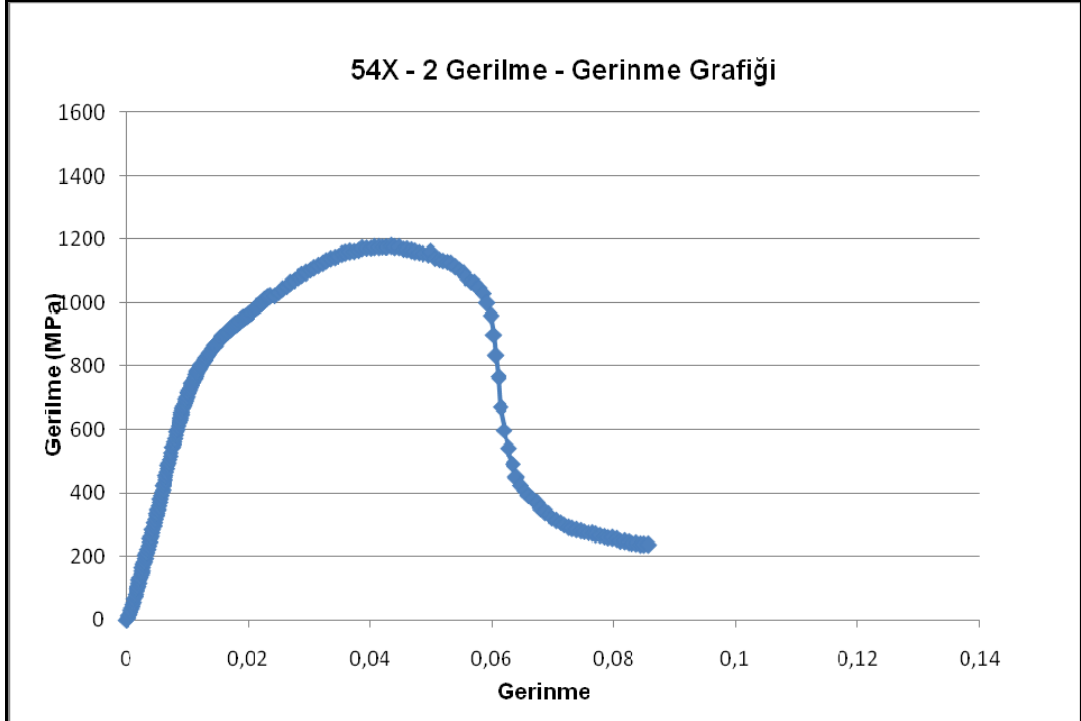
Şekil 5.7.3.18 54V-6 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



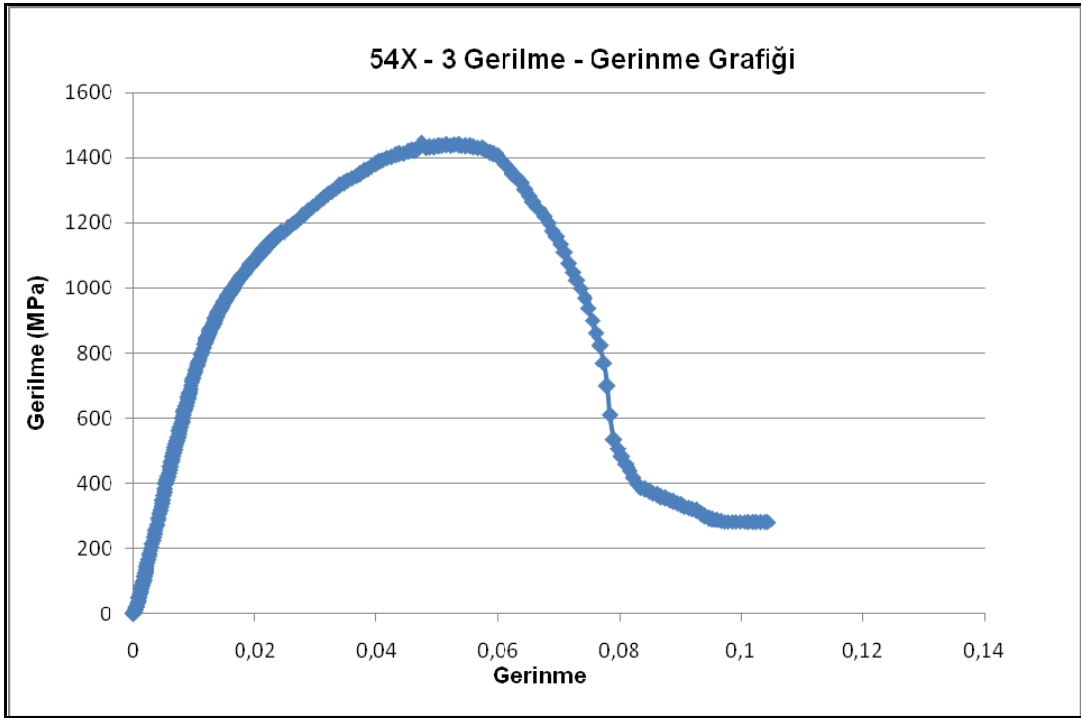
Şekil 5.7.3.19 54V-7 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



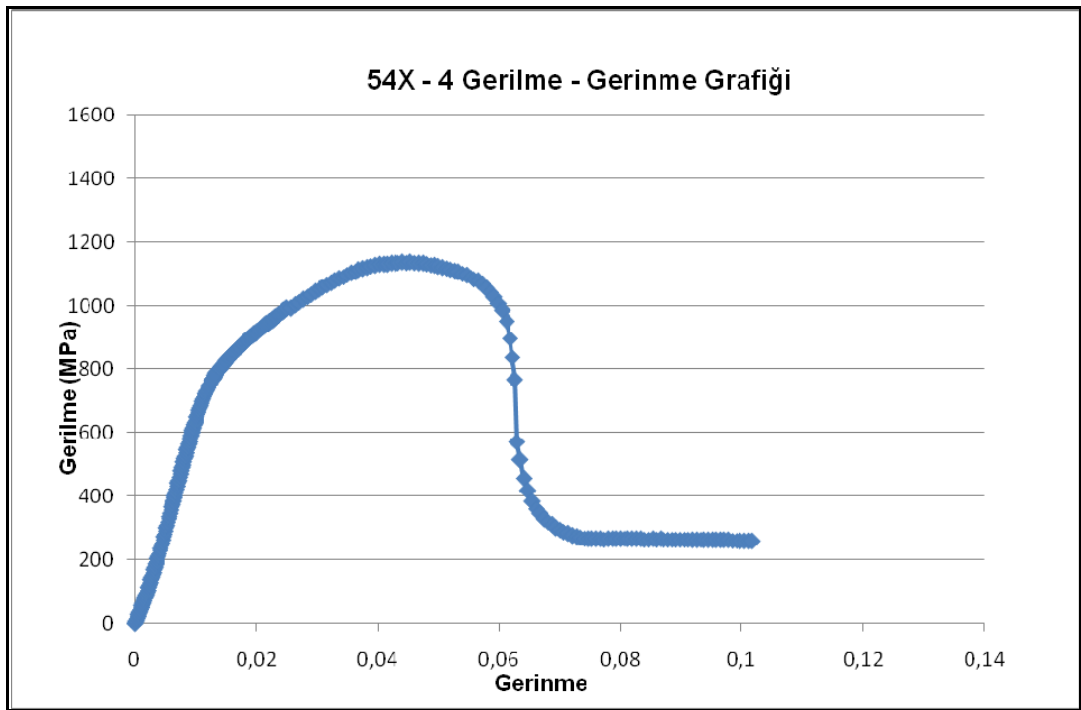
Şekil 5.7.3.20 54X-1 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



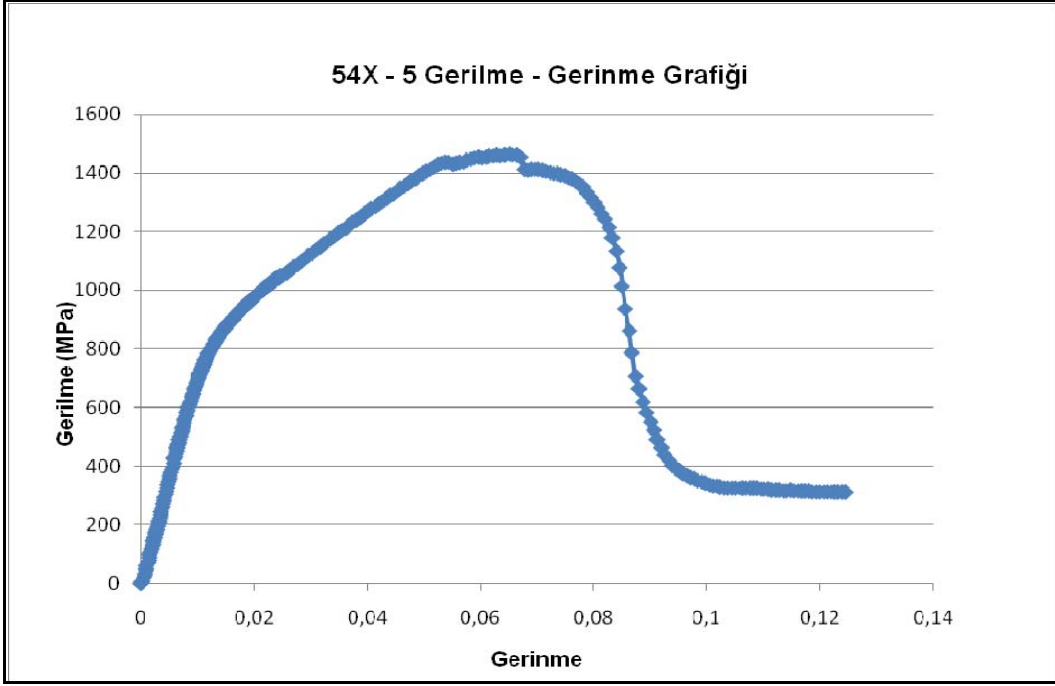
Şekil 5.7.3.21 54X-2 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



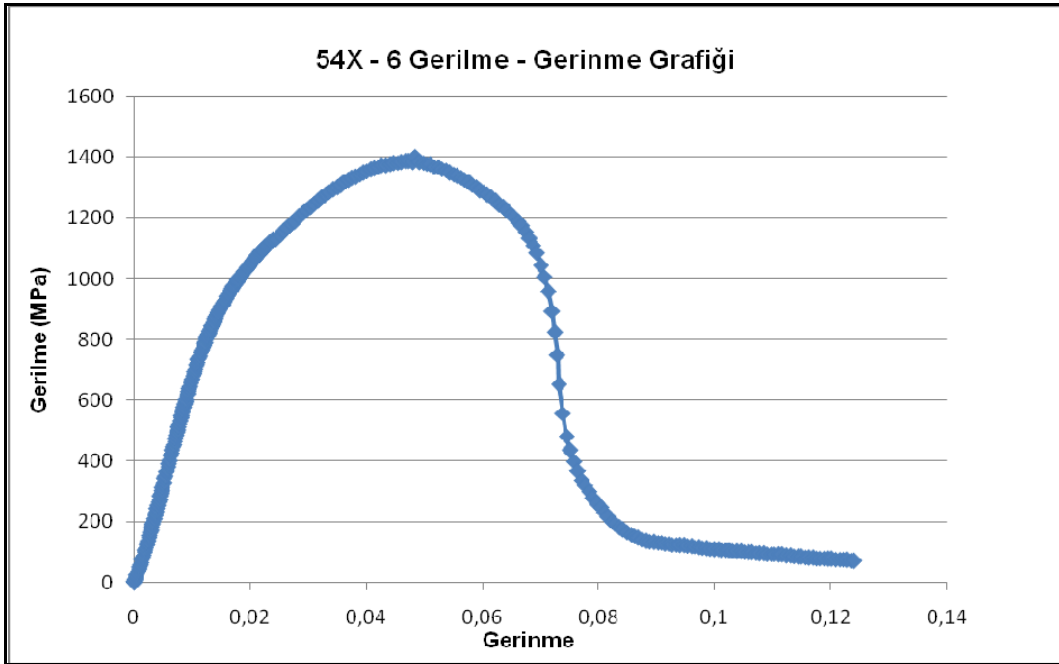
Şekil 5.7.3.22 54X-3 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.3.23 54X-4 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı

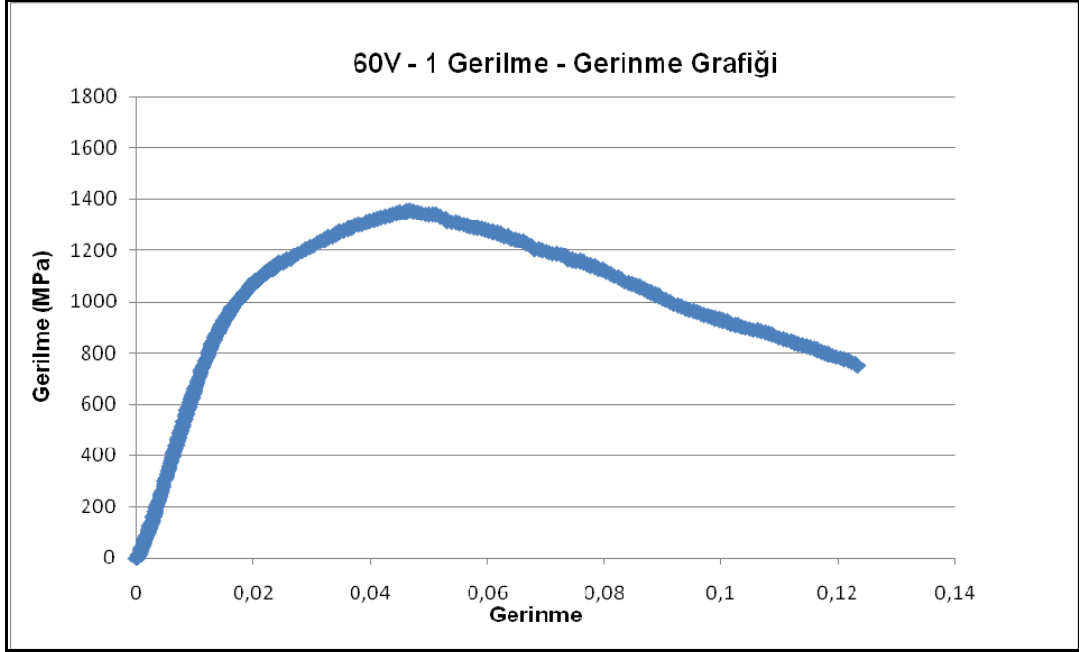


Şekil 5.7.3.24 54X-5 eğilme numunesine ait gerilme-gerilme diyagramı

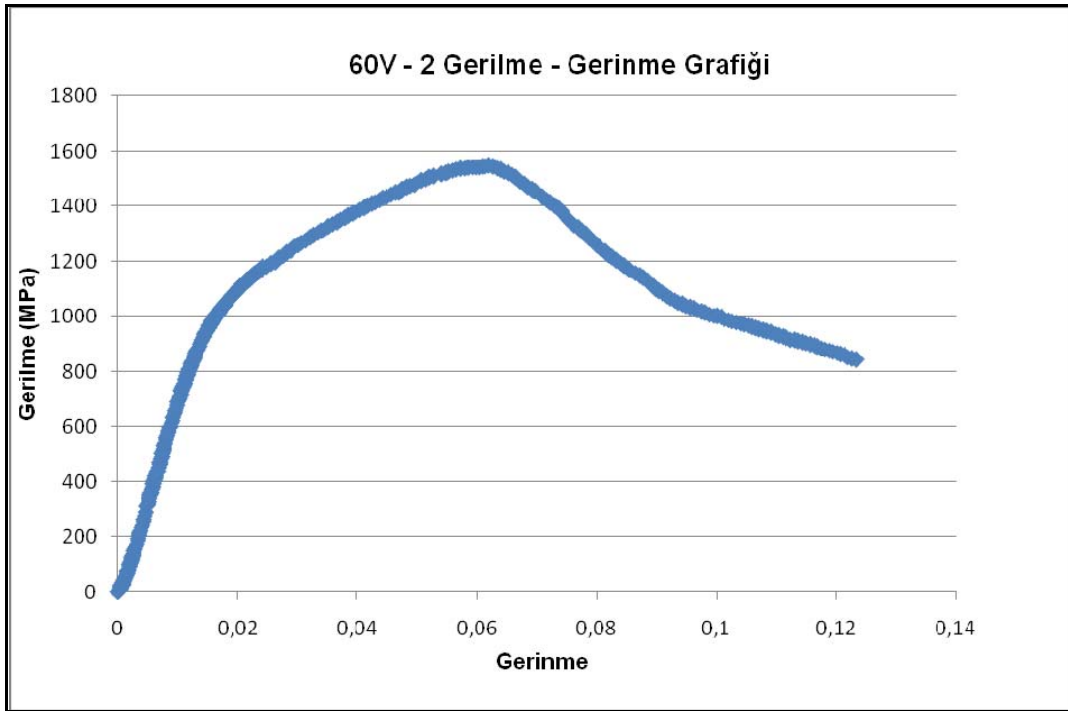


Şekil 5.7.3.25 54X-6 eğilme numunesine ait gerilme-gerilme diyagramı

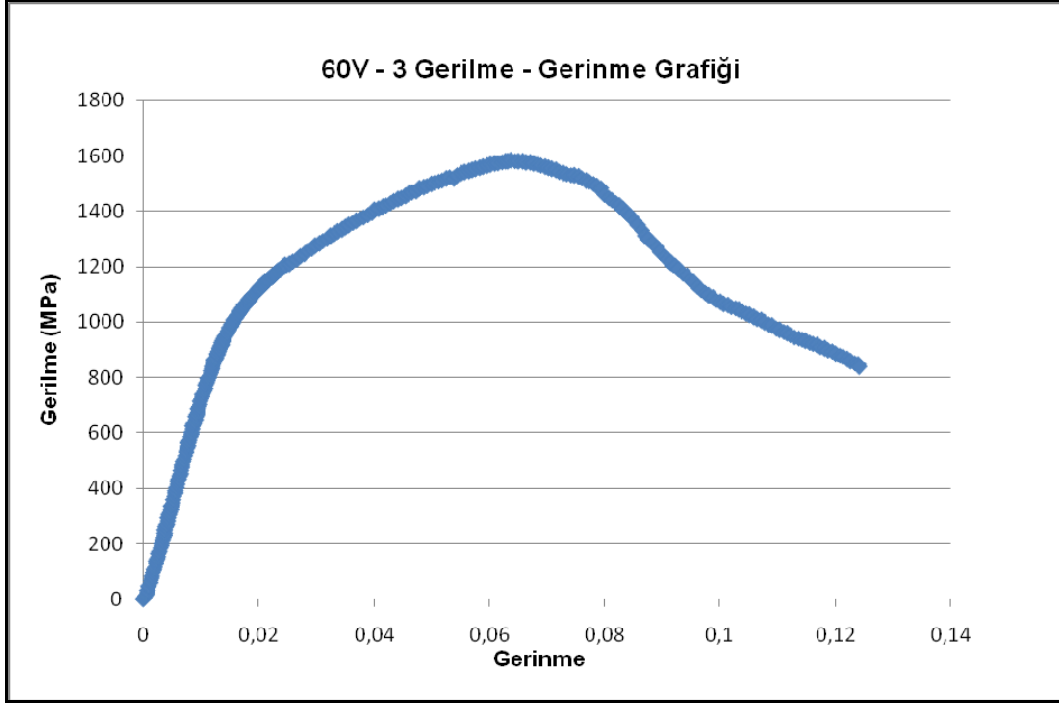
60° açıda, X ve V tip kaynak ağzına sahip numunelerin eğilme deneylerinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 5.7.3.7' ten Şekil 5.7.3.37' ye kadar gösterilmiştir.



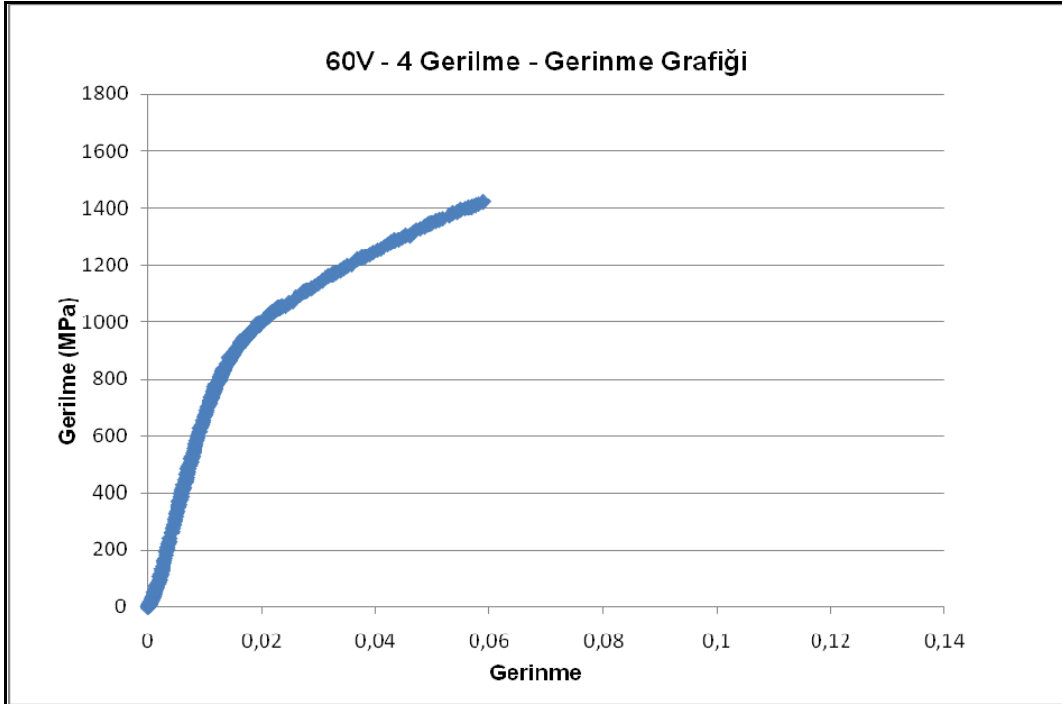
Şekil 5.7.3.26 60V-1 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



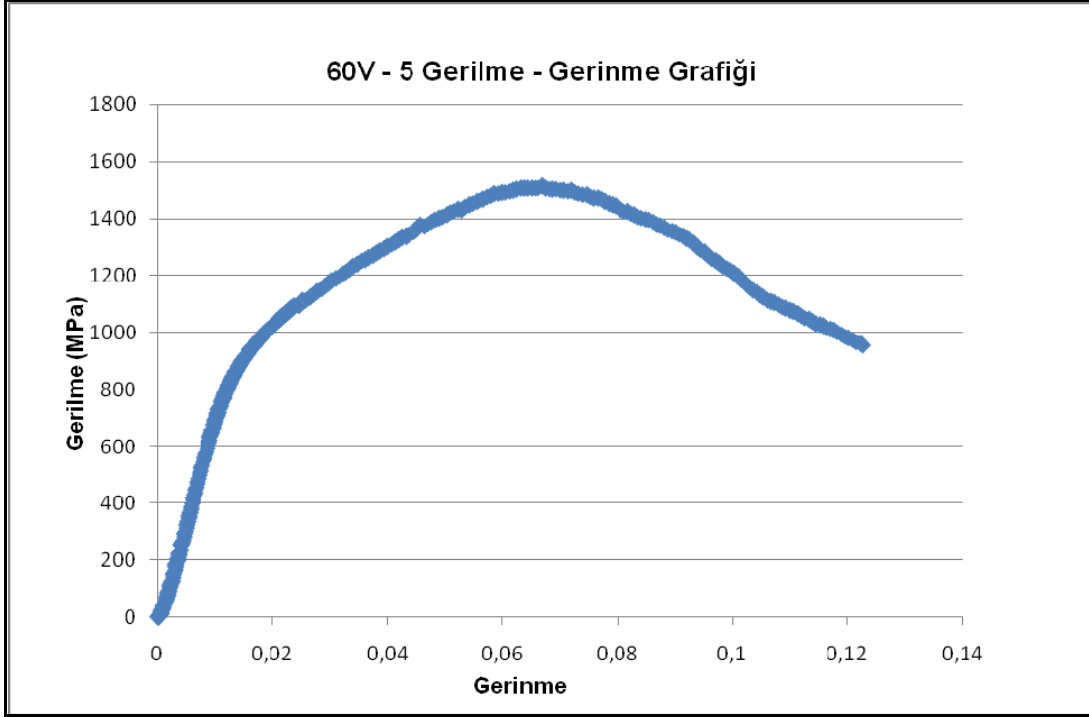
Şekil 5.7.3.27 60V-2 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



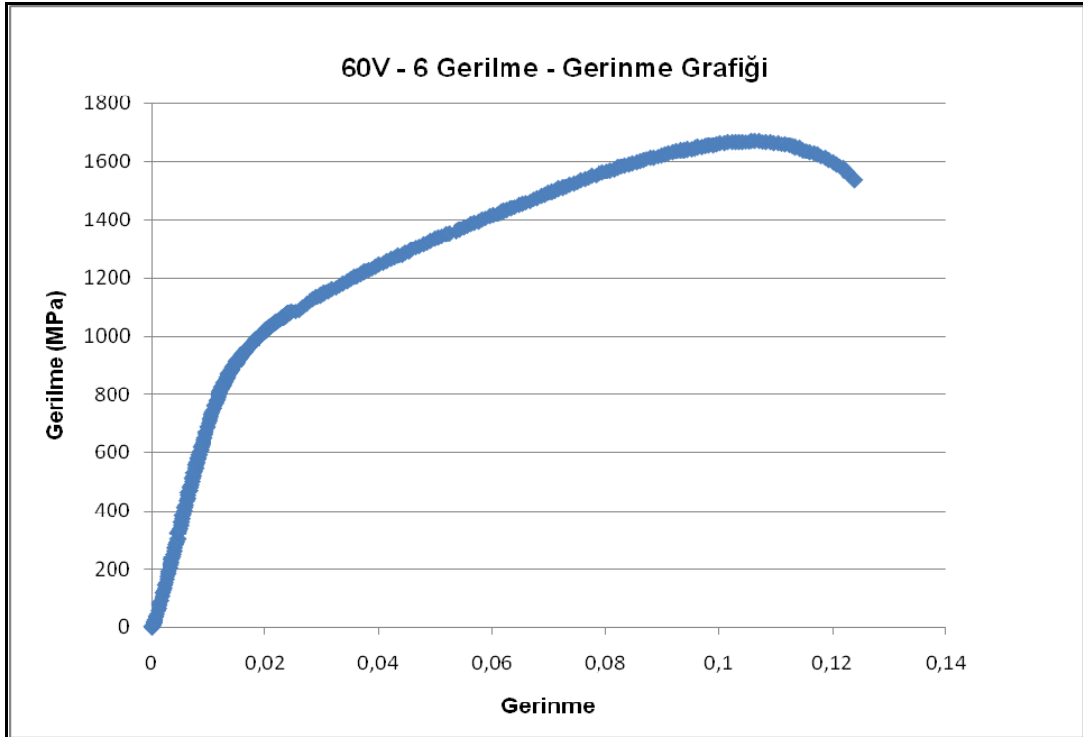
Şekil 5.7.3.28 60V-3 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



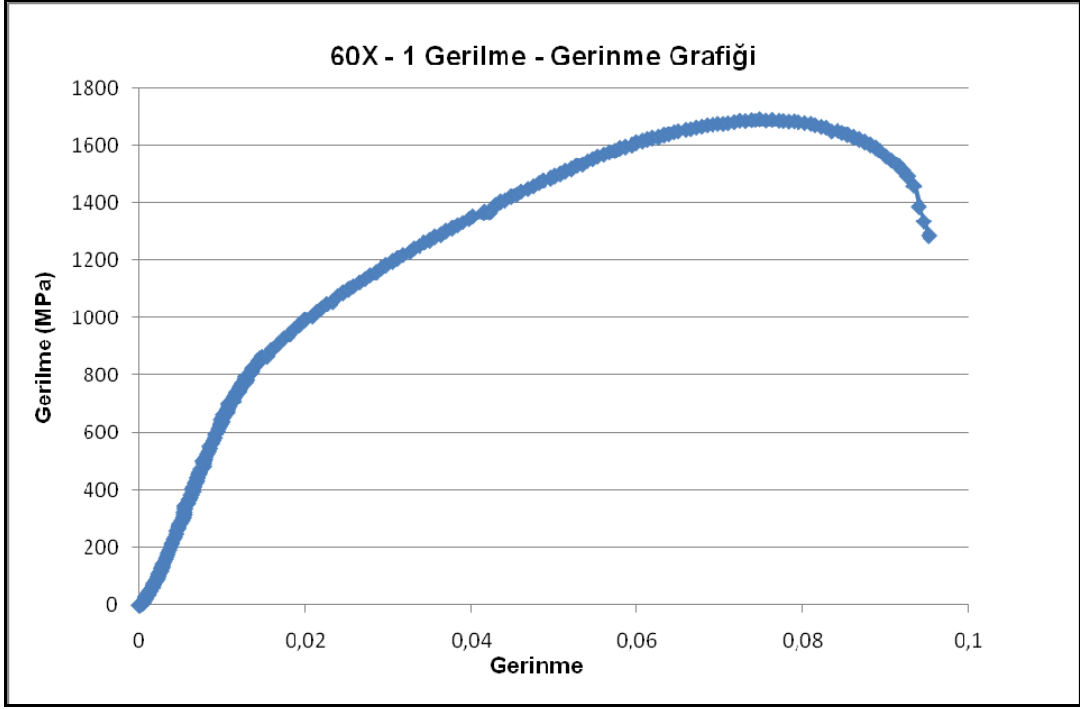
Şekil 5.7.3.29 60V-4 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



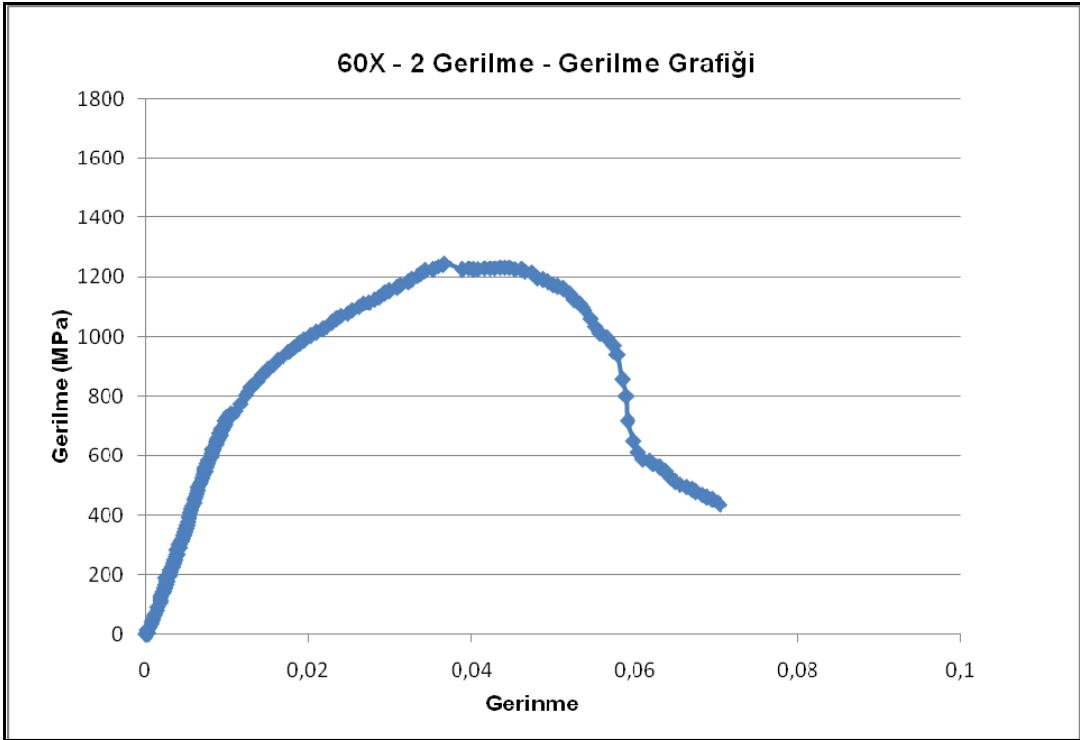
Şekil 5.7.3.30 60V-5 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



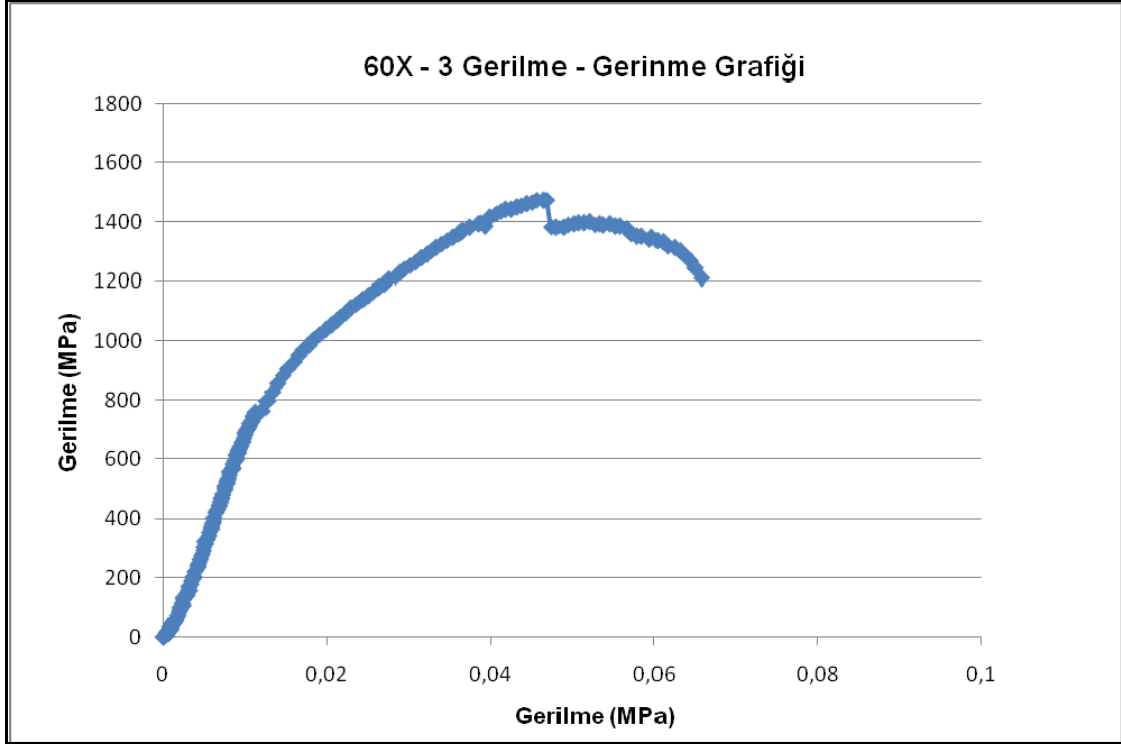
Şekil 5.7.3.31 60V-6 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



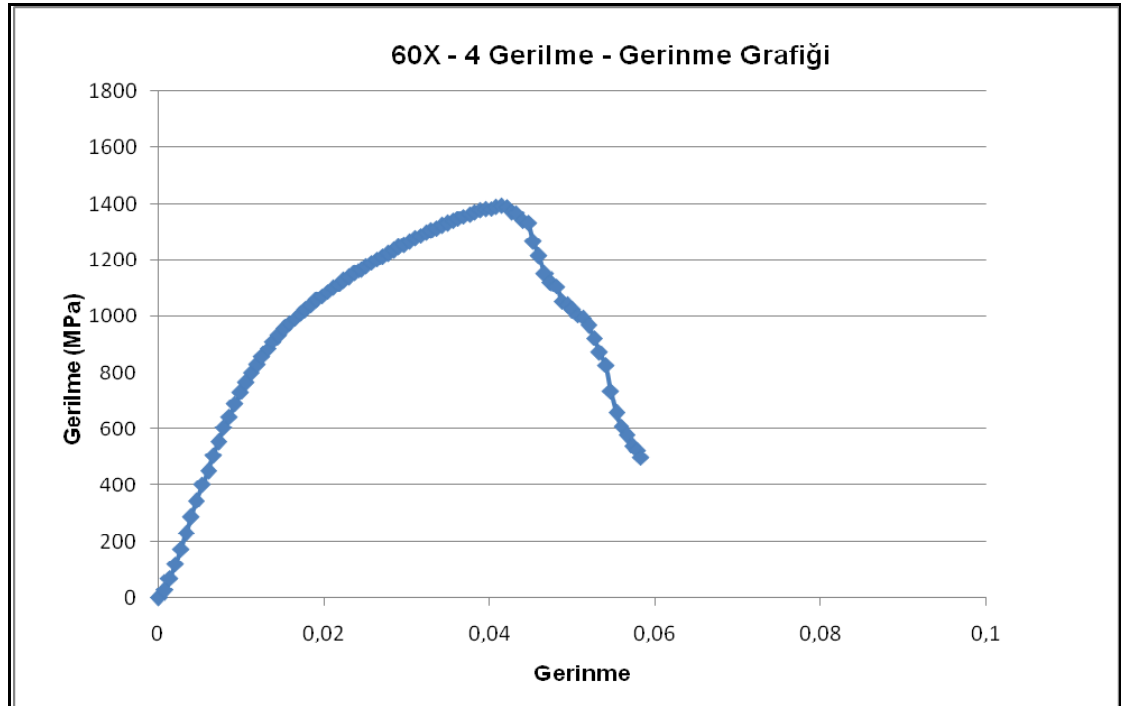
Şekil 5.7.3.32 60X-1 eğilme numunesine ait gerilme-gerilme diyagramı



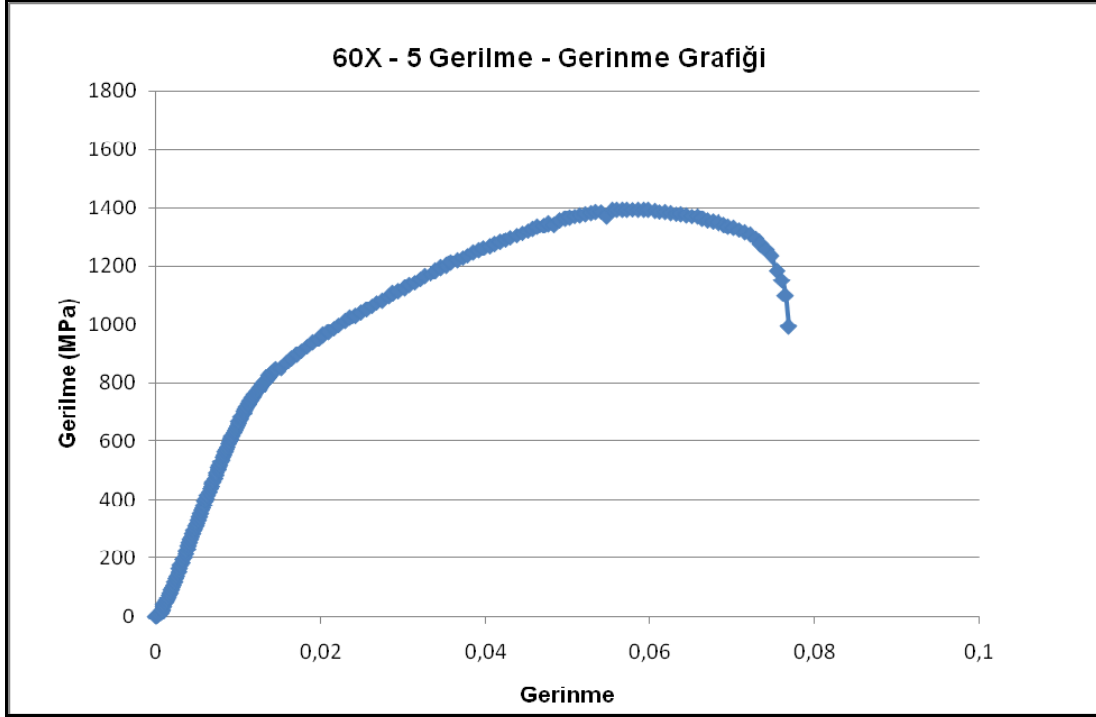
Şekil 5.7.3.33 60X-2 eğilme numunesine ait gerilme-gerilme diyagramı



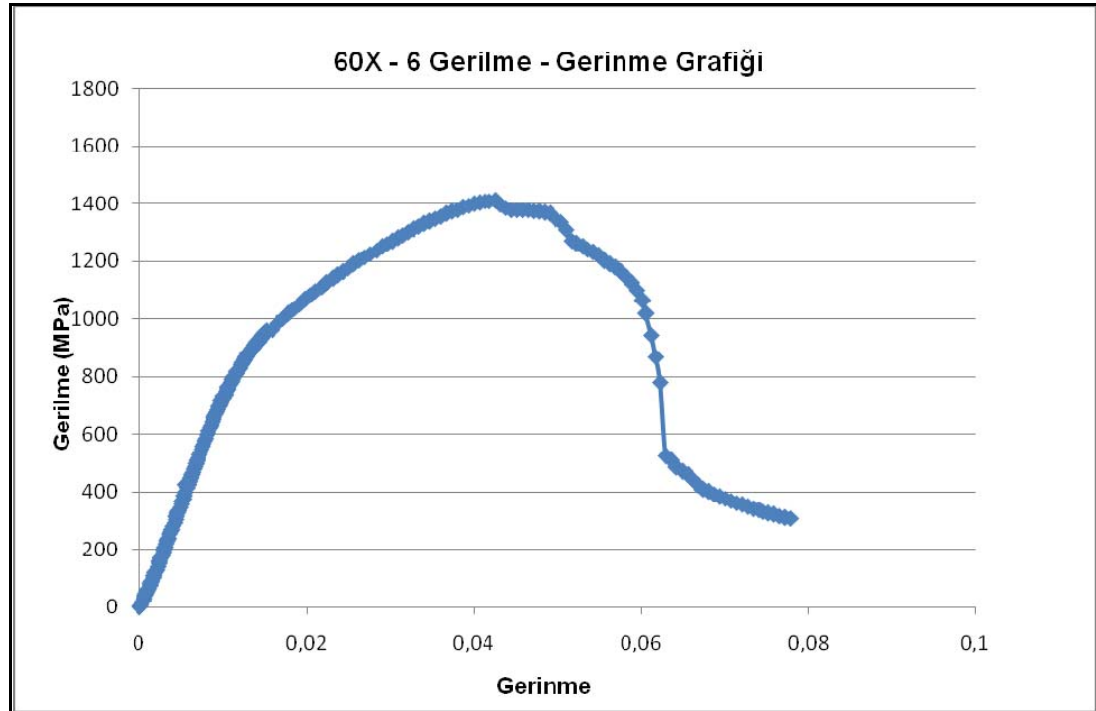
Şekil 5.7.3.34 60X-3 eğilme numunesine ait gerilme-gerinme diyagramı



Şekil 5.7.3.35 60X-4 eğilme numunesine ait gerilme – gerinme diyagramı



Şekil 5.7.3.36 60X-5 eğilme numunesine ait gerilme-gerilme diyagramı



Şekil 5.7.3.37 60X-6 eğilme numunesine ait gerilme-gerilme diyagramı

Deneylerden elde edilen veriler kullanılarak, kaynaklı numunelerin elastisite modülü ve kayma modülü gibi özellikleri belirlenmiştir. 60° açıda ve V tipinde kaynak ağzına sahip eğilme numunelerinin elastisite modülü ve kayma modülü değerleri Çizelge 5.7.3.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.7.3.1 60V kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları

Numune	Elastisite Modülü (GPa)	Kayma Modülü (GPa)
60V-1	70,3	27
60V-2	74,3	28,6
60V-3	76,4	29,4
60V-4	73,9	28,4
60V-5	75,	28,9
60V-6	74,1	28,5
Ortalama	74	28,5

54° açıda ve V geometride kaynak ağzına sahip eğilme numunelerinin elastisite modülü ve kayma modülü değerleri Çizelge 5.7.3.2' de verilmiştir.

Çizelge 5.7.3.2 54V kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları

Numune	Elastisite Modülü (GPa)	Kayma Modülü (GPa)
54V-1	71,8	27,6
54V-2	69,9	26,9
54V-3	66,6	25,6
54V-4	69,8	26,8
54V-5	62,8	24,2
54V-6	64,3	24,7
54V-7	64,5	24,8
Ortalama	67,1	25,8

48° açıda ve V geometride kaynak ağzına sahip eğilme numunelerinin elastisite modülü, kayma modülü gibi özellikleri ve ortalama değerleri Çizelge 5.7.3.3' de verilmiştir.

Çizelge 5.7.3.3 48V kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları

Numune	Elastisite Modülü (GPa)	Kayma Modülü (GPa)
48V-1	76,1	29,3
48V-2	76,1	29,3
48V-3	74,9	28,8
48V-4	75,5	29
48V-5	74,5	28,7
48V-6	73	28
Ortalama	75	28,9

60° açıda ve X tipinde kaynak ağzına sahip eğilme numunelerinin elastisite modülü, kayma modülü ve bu değerlerin ortalamaları Çizelge 5.7.3.4' te verilmiştir.

Çizelge 5.7.3.4 60X kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları

Numune	Elastisite Modülü (GPa)	Kayma Modülü (GPa)
60X-1	68,3	26,3
60X-2	76,6	29,5
60X-3	73,1	28,1
60X-4	74,7	28,7
60X-5	71,6	27,5
60X-6	74,5	28,7
Ortalama	73,1	28,1

54° açıda ve V geometride kaynak ağzına sahip eğilme numunelerinin elastisite modülü, kayma modülü özellikleri ve ortalama değerleri Çizelge 5.7.3.5' te verilmiştir.

Çizelge 5.7.3.5 54X kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları

Numune	Elastisite Modülü (GPa)	Kayma Modülü (GPa)
54X-1	67,9	26,1
54X-2	69,9	26,9
54X-3	70	26,9
54X-4	64,6	24,8
54X-5	70,1	27
54X-6	66	25,4
Ortalama	68	26,2

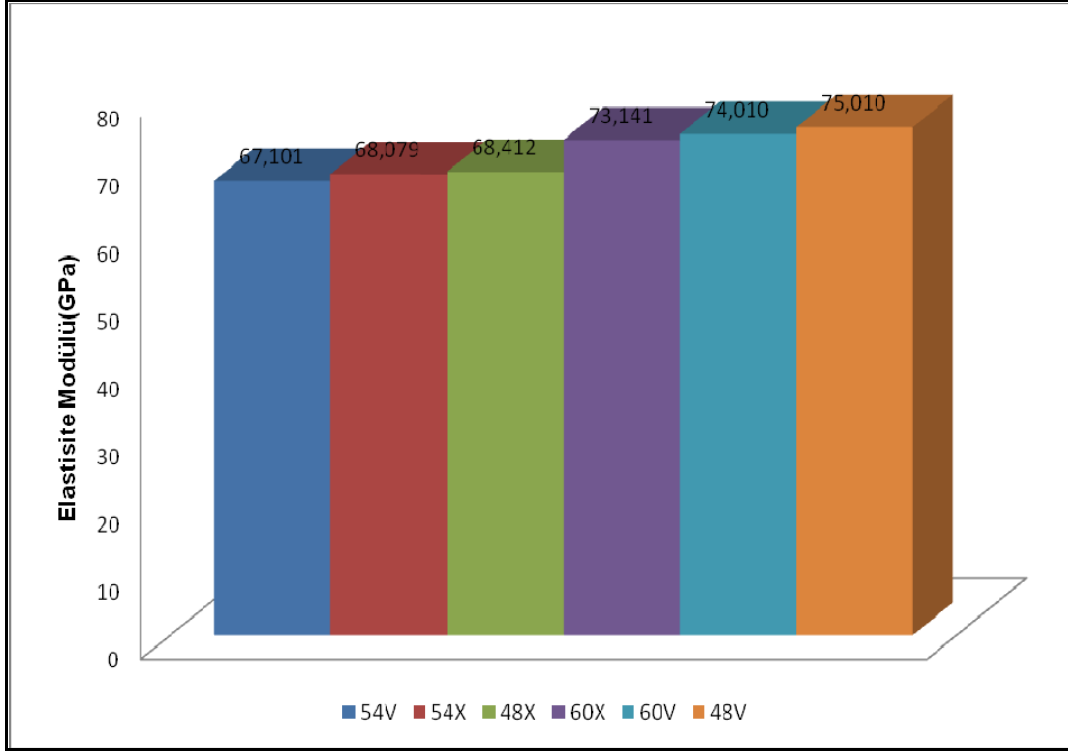
48° açıda ve V geometride kaynak ağzına sahip eğilme numunelerinin elastisite modülü ve kayma modülü değerleri ve bu değerlerin ortalamaları Çizelge 5.7.3.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.7.3.6 48X kaynaklı numunelerin eğilme deney sonuçları

Numune	Elastisite Modülü (GPa)	Kayma Modülü (GPa)
48X-1	79,9	30,7
48X-2	65,8	25,3
48X-3	68,2	26,2
48X-4	70,2	27
48X-5	61,5	23,7
48X-6	64,9	25
Ortalama	68,4	26,3

Üç farklı açıda ve iki farklı geometride kaynak ağzına sahip eğilme numunelerinin ortalama elastisite modülü değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.7.3.1' de verilmiştir. Şekil 5.7.3.1' e göre en yüksek elastisite modülü değeri 48° açı ve V tipi geometride kaynak ağzına sahip numuneler için elde edilmiştir. 48V kaynaklı numunelerde iyi nüfuziyetli birleşme sağlandığı için bu numunelerin eğilme dayanımları ve elastisite modülü değerleri yüksek çıkmıştır. 54° açı ve V tipi kaynak geometrisine sahip numunelerin elastisite modülü değerleri ortalama olarak en düşük çıkmıştır. Kaynaklı eğilme numuneleri için en düşük elastisite modülü

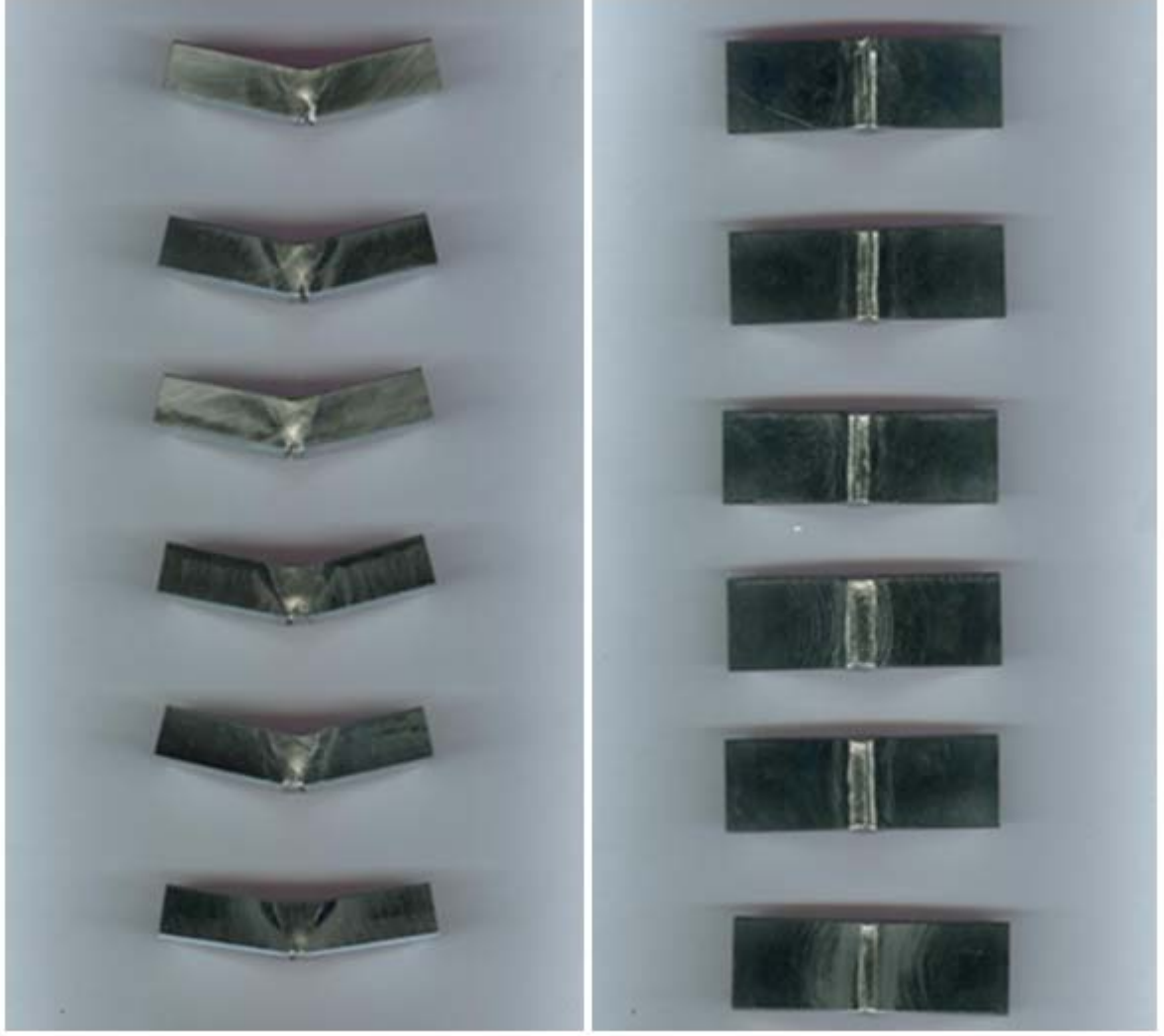
değeri 67,101 GPa, en yüksek elastisite modülü değeri 75,010 GPa olarak elde edilmiştir. 48V kaynaklı numunelerin ortalama elastisite modülü ile 48X kaynaklı numunelerin elastisite modülü arasında %9,6 fark vardır.



Şekil 5.7.3.38 Eğilme numunelerinin elastisite modülü değerleri

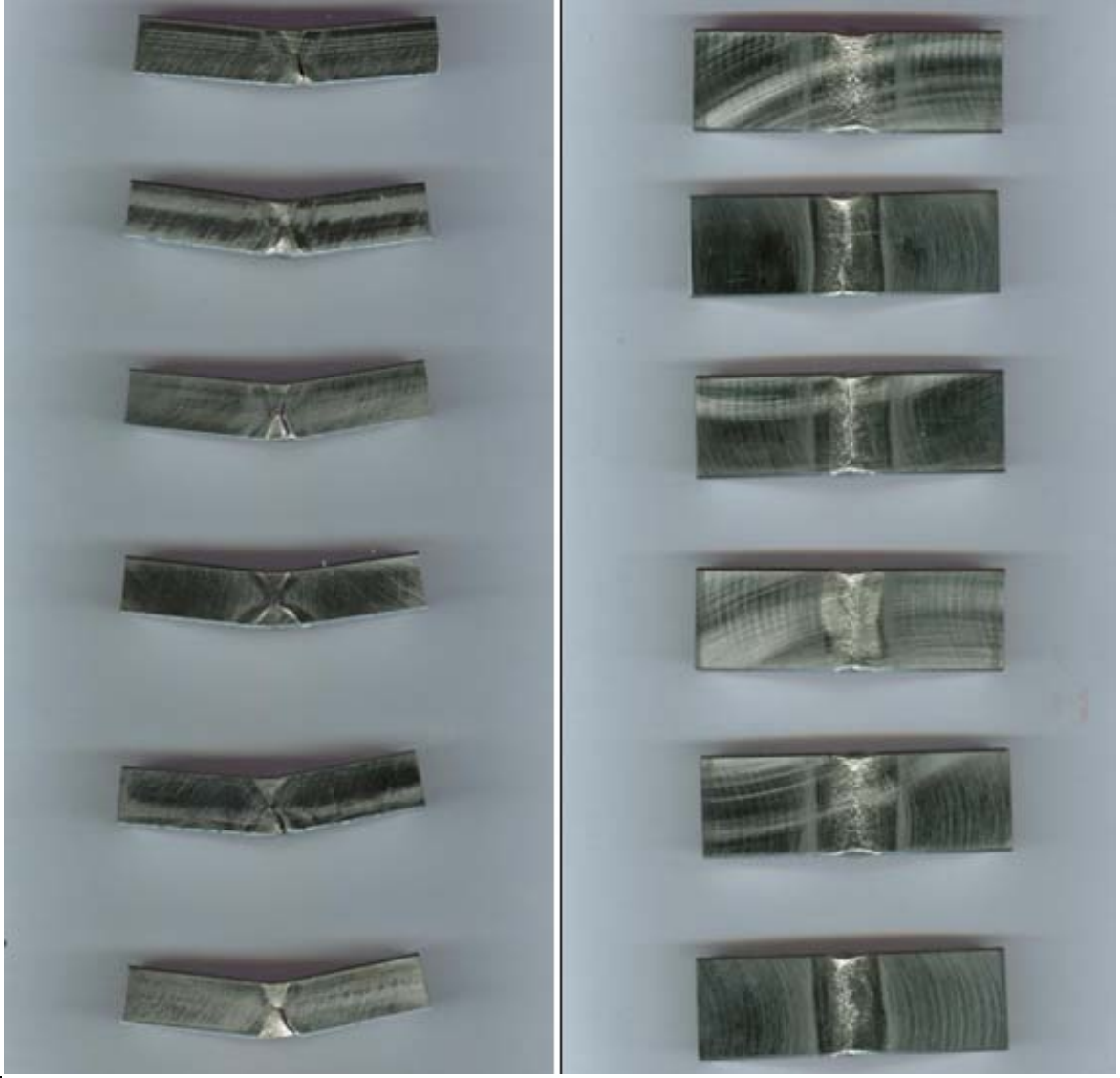
Eğilme testleri sonucunda numunelerin hepsinde kaynak bölgesinde gözle görülebilir çatlak ve yırtılmalar gözlemlenmiştir. Çatlaklar kaynak kök kısmından itibaren ilerleme göstermiştir ve numunelerin yırtılmasına yol açmıştır.

Şekil 5.7.3.2' de eğilme deneyleri sonucunda 60V kaynaklı numunelerde oluşan şekil değişimleri gösterilmiştir. 60° açı ve V geometriye sahip kaynaklı eğilme test numunelerinde, kaynağın kök bölgesinde yırtılmalar, çatlaklar görülmüştür.



Şekil 5.7.3.39 60V kaynaklı numunelerin eğilme testi sonrası görüntüleri

Şekil 5.7.3.39' da eğilme deneyleri sonucunda 60X kaynaklı numunelerde oluşan şekil değişimleri gösterilmiştir. 60X kaynaklı numunelerde, eğilme deneyleri sonrasında, çatlaklar ve kırılmalar gözlemlenmiştir.



Şekil 5.7.3.39 60X kaynaklı numunelerin eğilme testi sonrası görüntüleri

6. SAYISAL ÇALIŞMALAR

6.1. Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodu, mühendislik problemlerinin çözümünde sıkça kullanılan sayısal metotlardan biridir. Metot ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı veya ısı akısı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur [50].

Sonlu elemanlar sayısal bir yaklaşım yöntemidir. Sonlu elemanlar metodunda, karmaşık yapıların davranışlarını incelemek için bu yapılar davranışı daha önceden belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar düğüm (nod) adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler. Bu şekilde sonlu sayıda denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunda sürekli fonksiyonlar, bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün değeri o elemanın düğümlerindeki değerler kullanılarak interpolasyon ile bulunur. Bu nedenle sonlu elemanlar metodunda bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler düğümlerdeki değerlerdir. Varyasyon prensibi kullanılarak büyüklük alanının düğümlerdeki değerleri için bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının matris formundaki gösterimi

$$[K].[D]=[R] \quad (6.1)$$

şekindedir. Burada [D] büyüklük alanının düğümlerdeki bilinmeyen değerlerini temsil eden vektör, [R] bilinen yük vektörü ve [K] ise bilinen sabitler matrisidir. Gerilme analizinde [K] rijitler matrisi olarak bilinmektedir [50].

Sonlu elemanlar yönteminin statik analiz, akışkanlar mekaniği, ısı transferi, elektromanyetik analiz ve akustik gibi birçok fiziksel olayın çözümünde uygulama alanı bulması ve bilgisayarlara uygulanması kolay bir algoritmaya dayanması karşılaşılan problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır [51].

Sonlu elemanlar yönteminin günümüzdeki uygulamaları diferansiyel eşitliklerle düzenlenen fiziksel tüm problemleri kapsar. Sonlu elemanlar yönteminin yararları, çok yaygın bir alanda kullanılmasına yardımcı olmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminin avantajları:

1. Bitişik elemanlardaki malzeme özellikleri aynı olmayabilir. Bu özellik birkaç malzemenin birleştirildiği cisimlerde uygulanabilmesine imkan vermektedir.
2. Düzgün olmayan sınırlara sahip şekiller, eğri kenarlı elemanlar kullanılarak analiz edilebilirler.
3. Eleman boyutları kullanıcı tarafından değiştirilebilir. Böylece önemli değişiklikler beklenen bölgelerde daha küçük elemanlar kullanılarak hassas işlemler yapılabilirken, aynı parçanın diğer bölgeleri büyük elemanlara bölünerek işlem hızı arttırılabilir.
4. Süreksiz yüzey yüklemeleri gibi sınır durumları yöntem için zorluk oluşturmaz. Karışık sınır durumları kolaylıkla ele alınabilir [52].

6.2. Kaynak Bağlantılarının Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi

Günümüzde en çok kullanılan birleştirme yöntemlerinden biri olan kaynak işleminde malzemenin kaynak sonrası davranışlarını önceden tahmin edebilmek, kaynaklı yapının mukavemeti ve çalışma verimi açısından oldukça önemlidir [53]. Bu çalışmada, sonlu elemanlar analizlerinin yapılma amacı, kaynaklı yapılarda kritik bölgelerdeki gerilme dağılımlarını tespit etmek ve kaynaklı yapıların açı ve geometri yönünden tasarımını tespit edilen kriterlere göre yapmak ve yapılan deneysel çalışmaların doğruluğunu kanıtlamaktır. Bu çalışmada, 48°, 54°, 60° açılarında, X ve V kaynak ağız biçimlerinde hazırlanan kaynaklı numunelerin dayanımı Başkent Üniversitesi' nin lisanslı programı olan MARC sonlu elemanlar programı kullanılarak incelenmiştir. Kaynak bağlantılarında oluşan gerilmeleri incelemek için, üç boyutlu lineer olmayan elastik-plastik gerilme analizi kullanılmıştır.

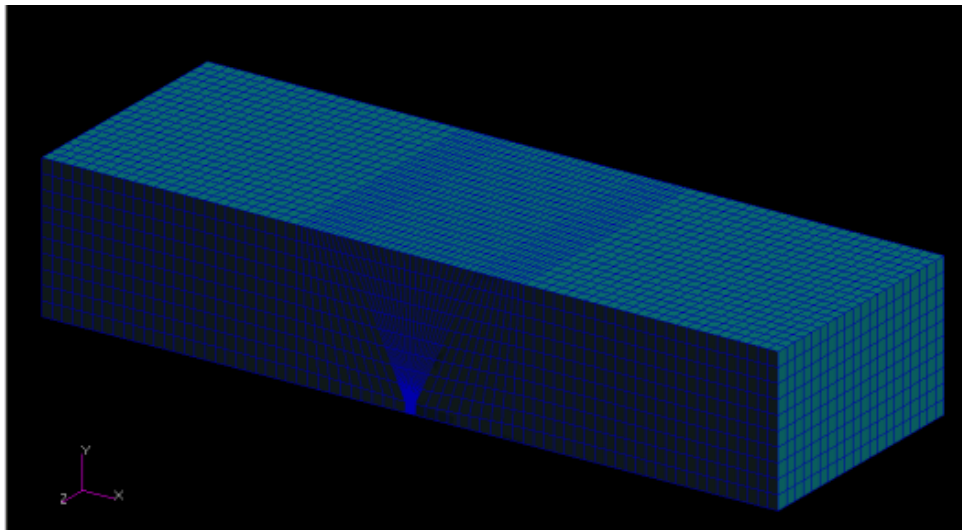
Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizdeki işleyiş şöyledir:

- Yapılar küçük parçalara bölünür (ayrılır).

- Her bir eleman üzerindeki fiziksel niceliklerin davranışları tanımlanır.
- Elemanlar düğümlerde birleştirilerek, tüm yapı için yaklaşık sistemin denklemleri oluşturulur.
- Sistemin denklemleri çözülür.
- Seçilen elemanlarda istenilen nicelikler (gerilme ve gerinmeler) hesaplanır.

6.2.1 Ağ yapısı

Sonlu elemanlar probleminin çözümünde yapılacak ilk işlem, eleman tipinin belirlenmesi ve modelin küçük parçalara ayrılmasıdır. Ağ yapısının, sayısal çözüm dengesi ve doğruluğu üzerinde geniş bir etki oluşturduğu bilinmektedir. Sonlu eleman modelinde, hesaplanmak istenen büyüklük ve bu büyüklüğün hesaplama alanı içindeki değişimini, yeterli doğrulukta verecek kadar sıklıkta bir eleman dağılımına ihtiyaç vardır. MIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin sonlu eleman ağ yapı modelleri PATRAN programında oluşturulmuştur. Kaynaklı numunelerde kaynak bölgesinde meydana gelen gerilmeleri daha hassas incelemek amacıyla bu bölgelerde ağ yapısı daha yoğun olarak kullanılmıştır. Ana metalin olduğu kısımlarda ise daha geniş aralıklarla ve daha az yoğunlukta ağ yapısı kullanılmıştır. Modelin tümüne bakıldığında ise ağ yapısında homojen bir dağılım oluşturulmuştur (Şekil 6.2.1.1).

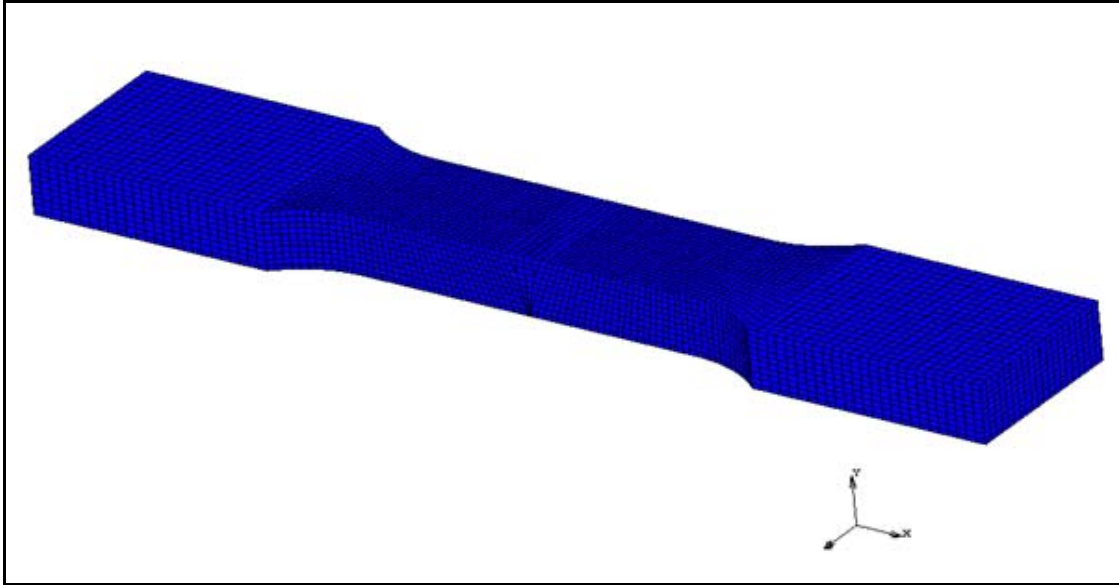


Şekil 6.2.1.1 Patran'da oluşturulmuş bir ağ modeli

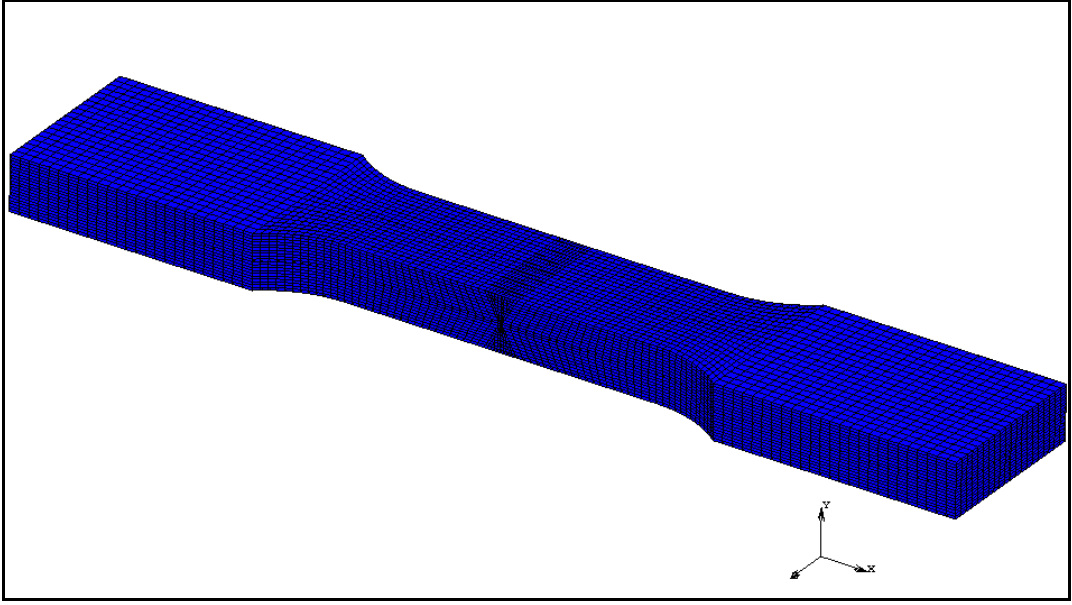
Bütün kaynaklı bağlantıların ağ yapılarında Hex8, Wedge elemanlar kullanılmıştır. 48°, 54°, 60° açılarında, X ve V kaynak ağız biçimlerinde hazırlanan çekme, basma ve eğilme numuneleri için kullanılan eleman sayıları Çizelge 6.2.1.1' de gösterilmiştir. V ve X geometrilerinde kaynak ağızlarına sahip çekme numuneleri için oluşturulan ağ yapıları Şekil 6.2.1.2 ve Şekil 6.2.1.3' te gösterilmiştir.

Çizelge 6.2.1.1 Numuneler için kullanılan eleman sayıları

Açı	Eleman Sayısı	
	X Geometrisi	V Geometrisi
48°	6070	6020
54°	6070	6080
60°	6090	6070

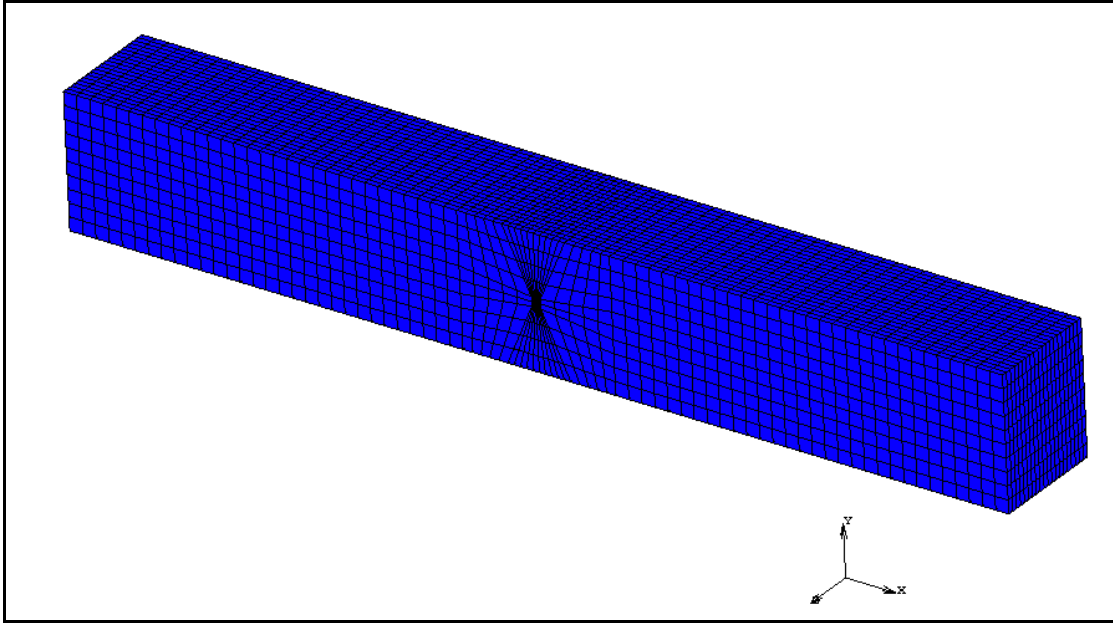


Şekil 6.2.1.2 V kaynaklı çekme numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı

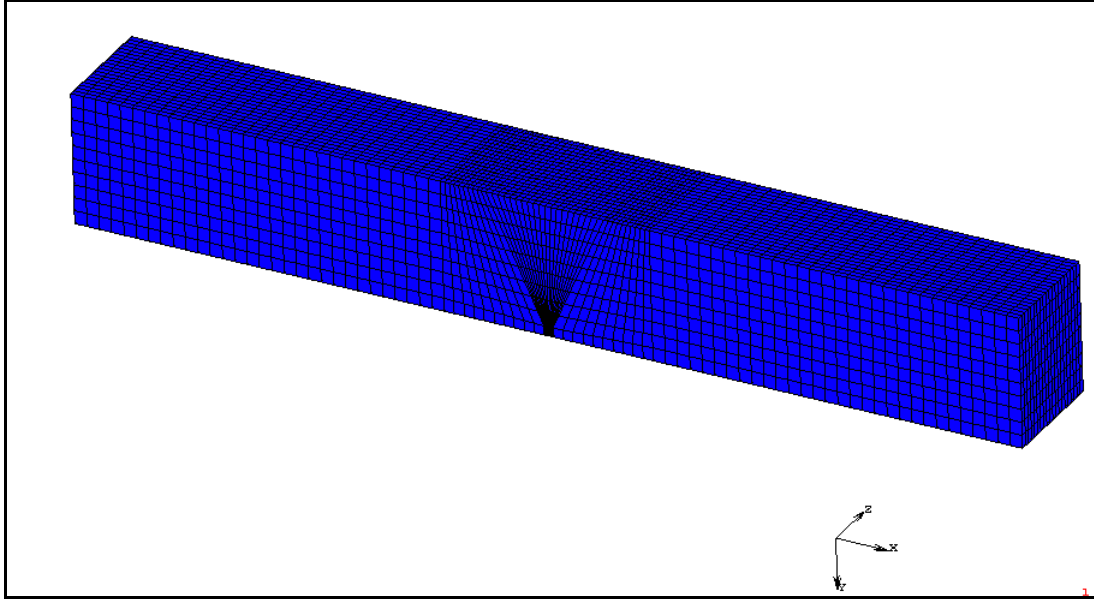


Şekil 6.2.1.3 X kaynaklı çekme numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı

X ve V geometrilerinde kaynak ağızlarına sahip basma numuneleri için oluşturulan ağ yapıları Şekil 6.2.1.4 ve Şekil 6.2.1.5' te gösterilmiştir.

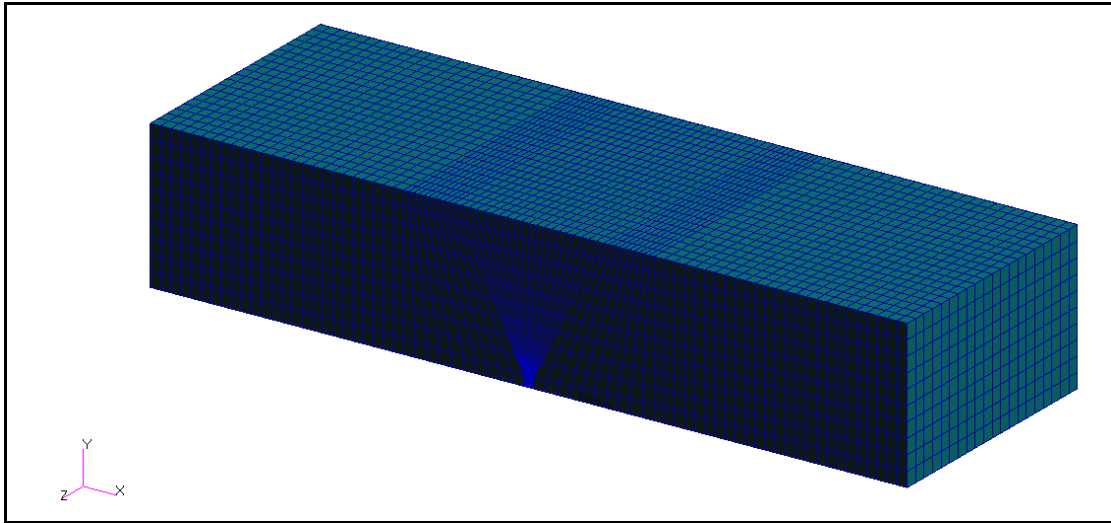


Şekil 6.2.1.4 X kaynaklı basma numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı

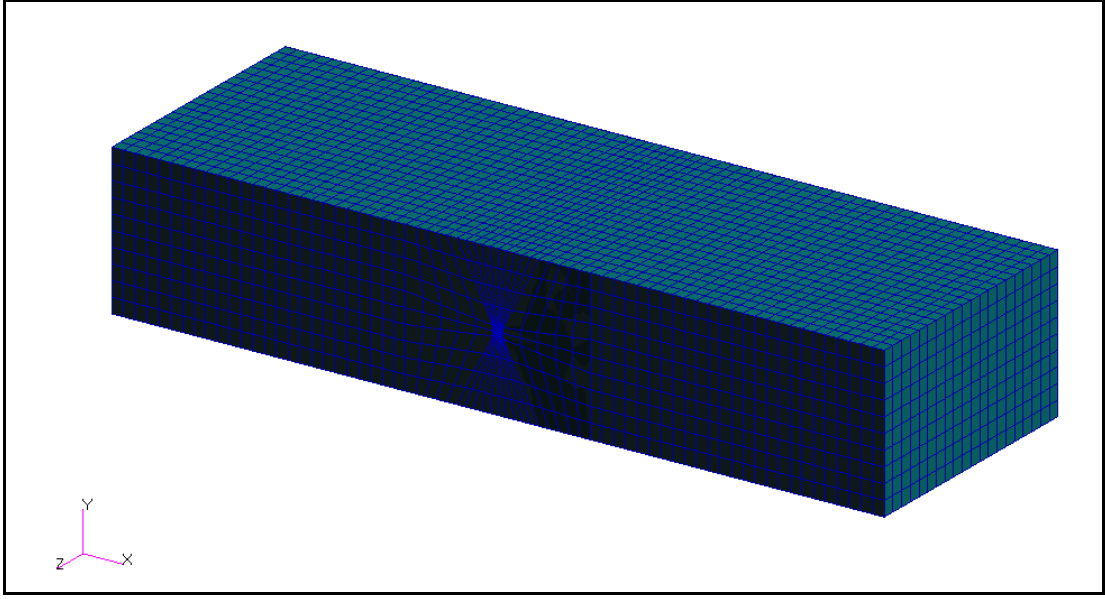


Şekil 6.2.1.5 V kaynaklı basma numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı

V ve X geometrilerinde kaynak ağızlarına sahip eğilme numuneleri için oluşturulan ağ yapıları Şekil 6.2.1.6 ve Şekil 6.2.1.7' de gösterilmiştir.



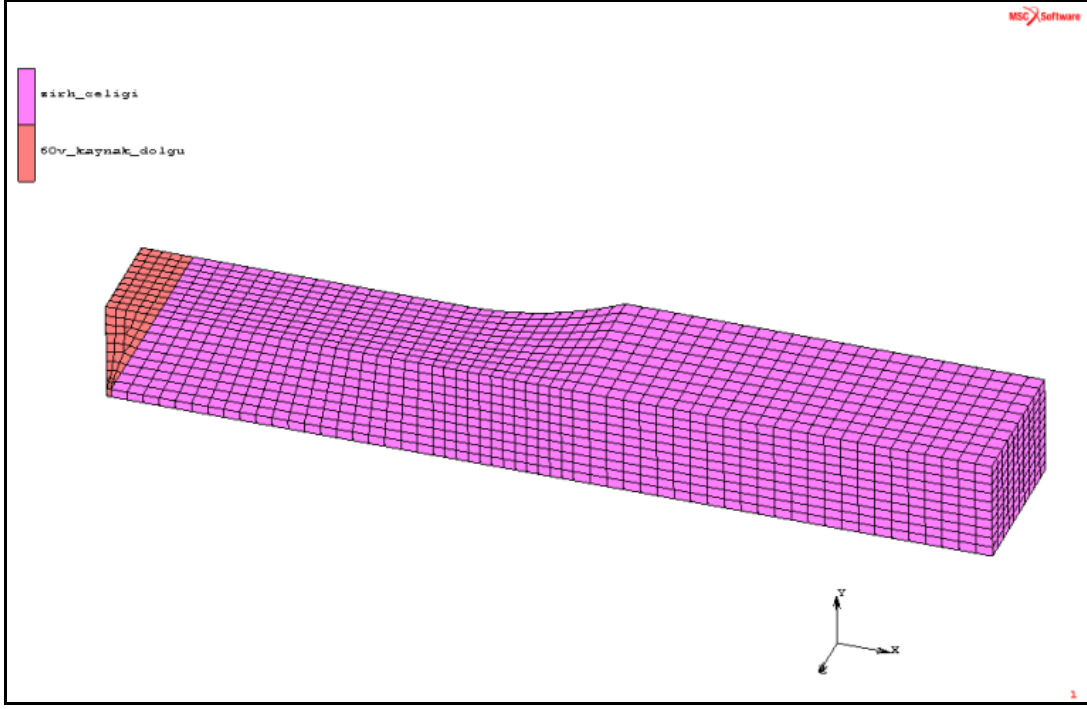
Şekil 6.2.1.6 V kaynaklı eğilme numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı



Şekil 6.2.1.7 X kaynaklı eğilme numuneleri için oluşturulmuş ağ yapısı

6.2.2 Malzeme ve mekanik özellikler

PATRAN programında ağ yapısı oluşturmuş modeller, MARC sonlu elemanlar programına aktarıldıktan sonra, numuneler için gerekli malzeme özellikleri girilmiştir. Analizlerde kullanılan kaynak metali ve ana metal için ayrı ayrı malzeme tanımları yapılmıştır. Şekil 6.2.2.1' de sayısal modelde tanımlanan malzemeler gösterilmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinde, kaynak malzemesi ve ana metalin elastisite modülü (E), poisson oranı (ν) gibi mekanik özellikleri girilmiştir. Malzemelerin izotropik davranış gösterdiği kabulü yapılmıştır, anizotropi için herhangi bir malzeme tanımı yapılmamıştır. MARC sonlu elemanlar analizi programında ana metal ve kaynak malzemelerine ait çekme deneylerinden elde edilen gerilme -gerinme diyagramları ayrı ayrı programda girdi olarak kullanılmıştır.



Şekil 6.2.2.1 MARC programında tanımlanan malzemelerin gösterimi

Analizlerde kullanılan ana metal ve kaynak metalinin özellikleri Çizelge 6.2.2.1 ve Çizelge 6.2.2.2' de verilmiştir.

Çizelge 6.2.2.1 Zırh çeliği özellikler

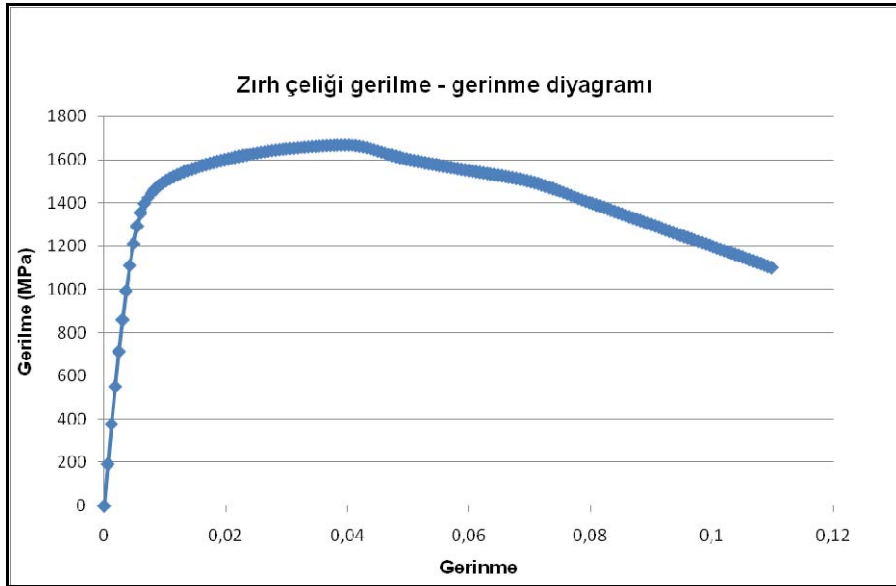
Çekme Dayanımı (MPa)	1660
Akma Dayanımı (MPa)	1396
Uzama %	11
Elastisite Modülü (GPa)	211,3
Poisson Oranı	0,28

Çizelge 6.2.2.2 Paslanmaz çelik elektrotun özellikleri

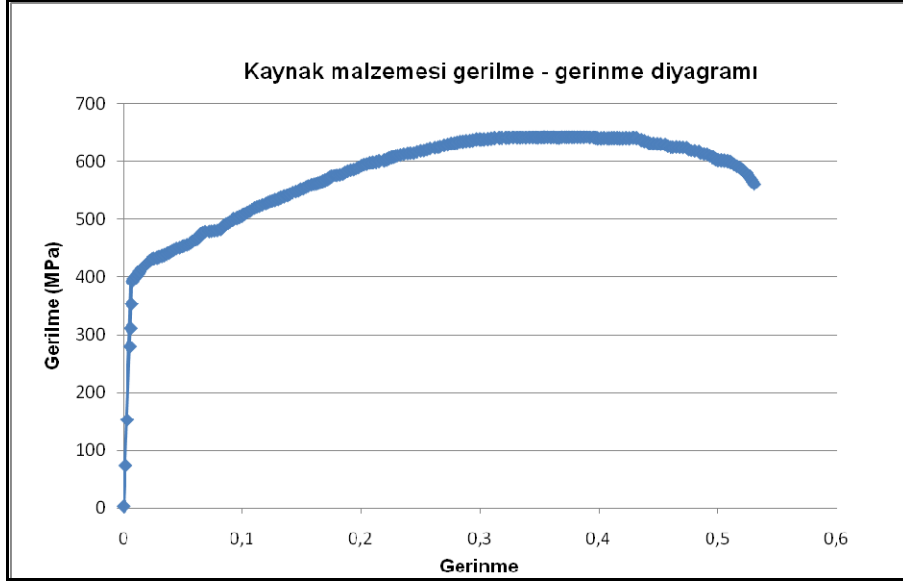
Çekme Dayanımı (MPa)	612
Akma Dayanımı (MPa)	407
Uzama %	40
Elastisite Modülü (GPa)	73,3
Poisson Oranı	0,3

6.2.3 Mekanik gerilme analizi

PATRAN sonlu elemanlar programında ağ yapısı oluşturulan modellerin analizleri MARC sonlu elemanlar analiz programında gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu, elastik-plastik, lineer olmayan mekanik model kullanılmıştır. Elasto-plastik malzeme modeli temelinde Von Mises akma kriteri hesaba katılmıştır. Çekme, basma, üç nokta eğilme deneylerinin sonlu elemanlar analizlerinde güvenilir sonuçlar elde etmek için, en önemli koşullardan biri malzeme modelinin tam olarak tanımlanabilmesidir. Bunun anlamı kurulan modelin en uygun şekilde kalibre edilmesidir. Çekme, basma, üç nokta eğilme testlerinde kullanılan malzemenin deformasyonu, plaka düzlemindeki çekme kuvvetleri ile gerçekleştirilir. Bu prosedürün standart yolu, çekme testlerinden elde edilen gerilme-gerinme çıktılarından malzeme parametrelerini elde etmektir. Bu amaçla ana malzeme ve kaynak malzemesinin elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), mühendislik gerilme-gerinme diyagramı analiz programında girdi olarak kullanılmıştır. MARC sonlu elemanlar programında kullanılan malzemelere ait gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.2.3.1 ve 6.2.3.2' de gösterilmiştir.



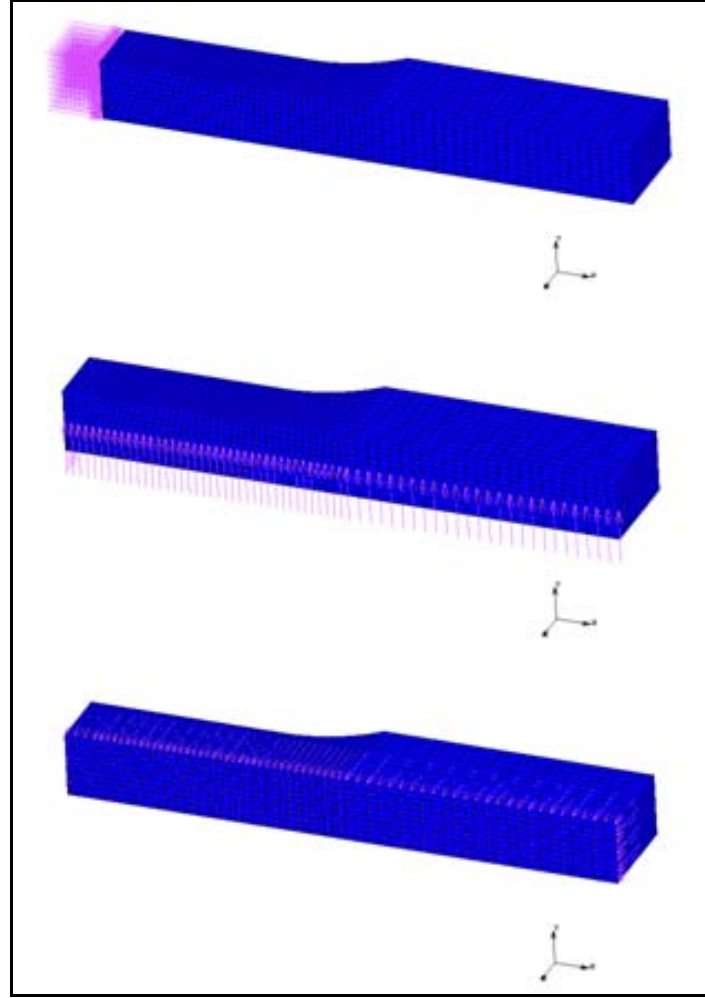
Şekil 6.2.3.1 Zırh çeliğinin gerilme-gerinme grafiği



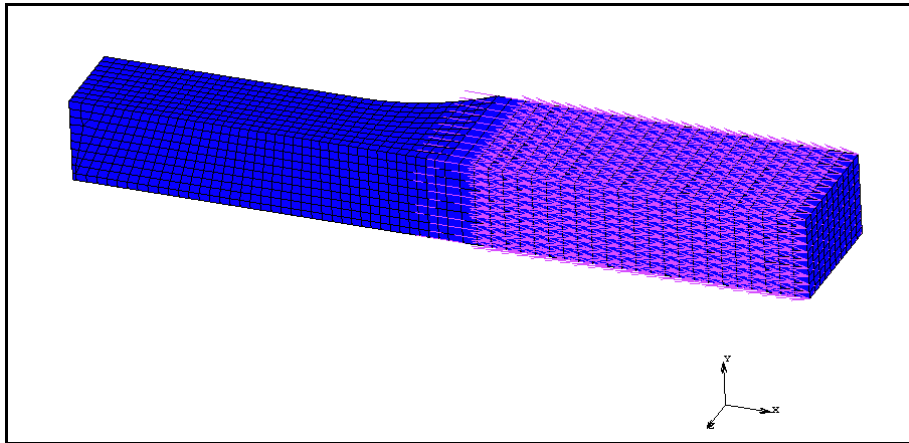
Şekil 6.2.3.2 Kaynak metalinin gerilme-gerinme grafiği

Simetrik yapılarda modelin sadece bir kısmının hesaplamalarda kullanılması yeterli olabilmektedir. Eksenel simetrik durumlarda, numune kesitinin her yönde aynı deformasyon özelliği gösterdiği varsayılmaktadır. Çekme numuneleri x, y, z eksenine göre simetrik olduğundan, V biçiminde kaynak ağzına sahip çekme numunelerinde için modelin dörtte biri, X biçiminde kaynak ağzına sahip numuneler için modelin sekizde biri esas alınarak analizler yapılmıştır.

Sonlu elemanlarla modelleme çok geniş ve karmaşık bir işlemdir. Değişik parçalar arasındaki ilişkiler, elemanlar, yüklemeler, kontak koşulları gibi parametrelerin doğru ve en uygun şekilde tanımlanması güvenilir sonuçlar elde edilmesi açısından çok önemlidir. Bu açılarından sınır koşullarının doğru olarak anlaşılıp, modellenmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada, çekme numunelerinin gerilme analizlerinde, sınır şartı olarak y, z ve x eksenleri üzerindeki düğüm noktalarında yer değiştirmeler sınırlandırılmıştır. Model ve sınır koşulları gösterimi Şekil 6.2.3.3' de verilmiştir. Çekme analizlerinde x yönünde çekme hareketi modellenerek hareket kontrolü uygulanmıştır. Sınır koşulu Şekil 6.2.3.4' te gösterilmiştir.



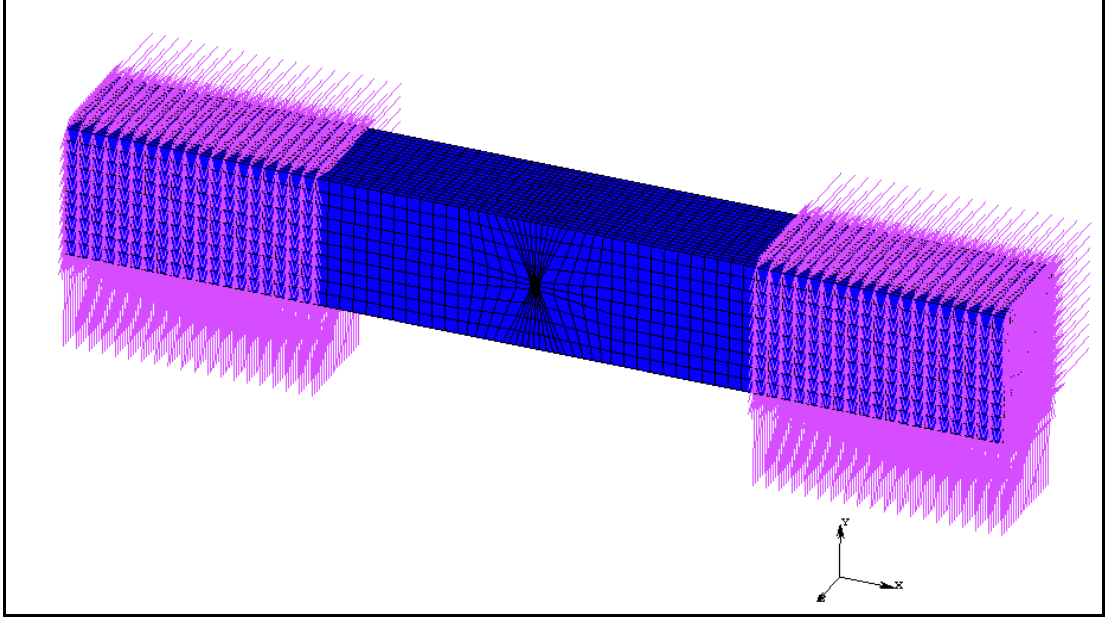
Şekil 6.2.3.3 Sınır koşullarının gösterimi



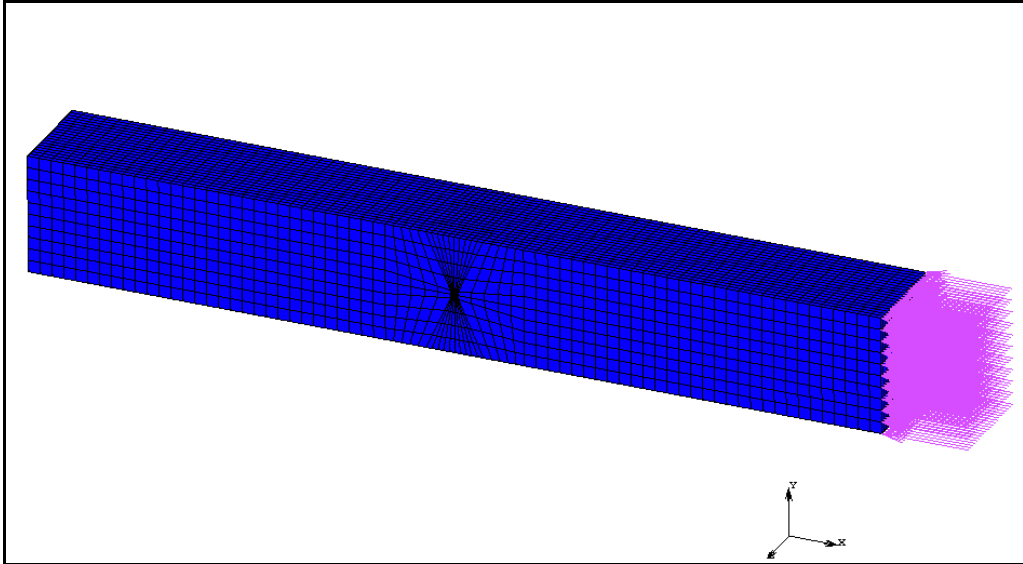
Şekil 6.2.3.4 X yönünde hareket sınır koşulunun gösterimi

Sonlu elemanlar analizleri sonuçlarına göre basma yükleri etki ettiğinde, hazırlanan boyutlardaki numunenin burkulacağı görülmüş, bunun engellenebilmesi ve burkulma olmadan dik yükler ile deformasyonu görebilmek amaçlı olarak burkulmayı önleyici fikstür tasarımına ulaşılmıştır. Sınır koşulları olarak, fikstürün

numuneyi tuttuğu bölümlerin hareketi sınırlandırılmıştır (şekil 6.2.3.5). Basma analizlerinde -x yönünde basma hareketi modellenerek hareket kontrolü uygulanmıştır (şekil 6.2.3.6).



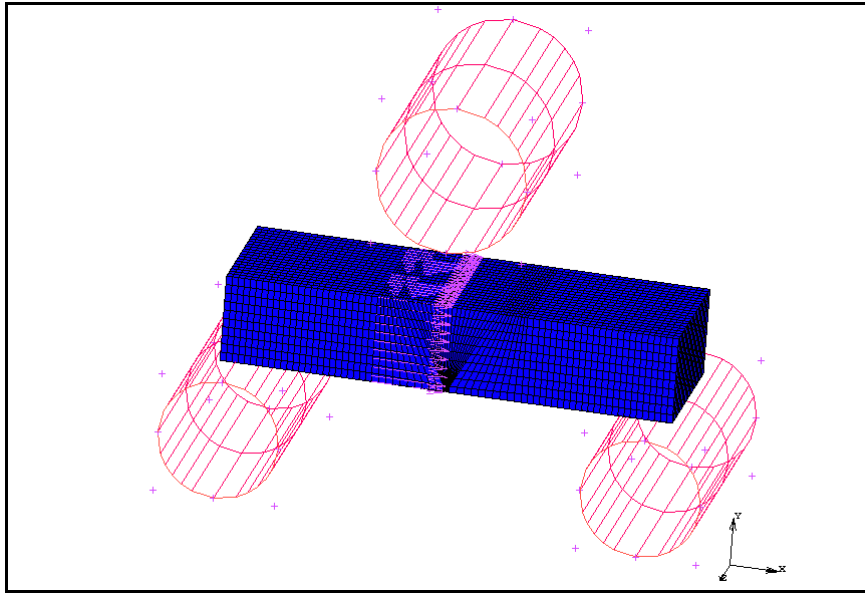
şekil 6.2.3.5 Basma testi için sınır koşullarının gösterimi



şekil 6.2.3.6 -X yönünde hareketin gösterimi

Eğilme deneyi, sınır şartları mandrel ve destek silindirlerinin konumlandırılmasına göre oluşturulmuştur. Sınır koşul olarak numunenin eğilme esnasında tam merkez hattının kaymaması için orta hattın x ve z eksenlerinde hareketi engellenmiştir. Eğilme deneyi için verilen sınır koşulları Şekil 6.2.3.7' de gösterilmiştir.

Üç nokta eğilme analizleri için oluşturulan modelde kullanılan silindirlerin, rijit olduğu ve sürtünmenin olmadığı kabulü yapılmıştır. Mandrel hareketi için zaman tabanlı hareket tanımlaması yapılmıştır. Numunenin, mandrel ve silindirlerle olan kontak mekanizmaları ayarlanarak sonlu elemanlar modellemesi yapılmıştır.



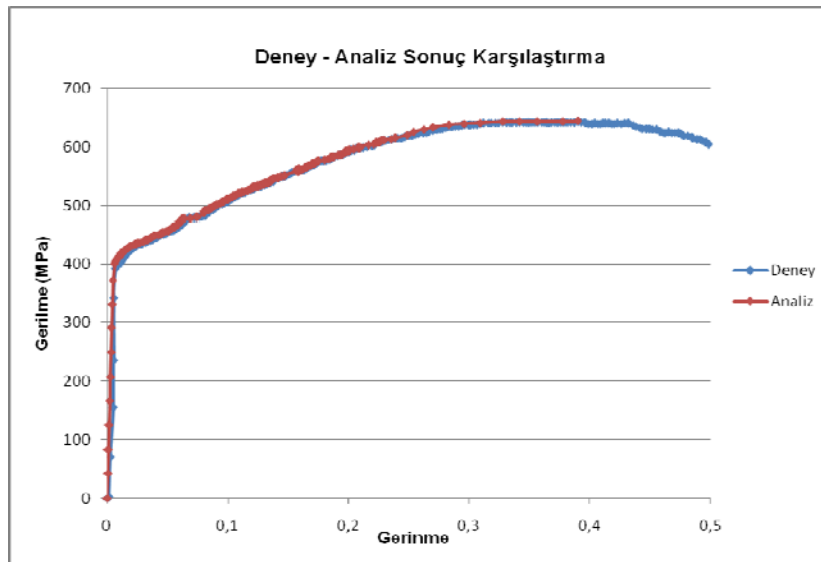
Şekil 6.2.3.7 Eğilme testi için sınır koşullarının gösterimi

6.3 Sayısal Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışmada, 48°, 54°, 60° açılarında, X ve V kaynak ağzı biçimlerinde hazırlanan MIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin dayanımı MARC sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak incelenmiştir. Kaynak bağlantılarında oluşan gerilmeler, üç boyutlu lineer olmayan elastik-plastik gerilme analizi kullanılarak belirlenmiştir. Kaynaklı numuneler için programa girilen malzemelerin izotropik özelliğe sahip olduğu kabulü yapılmış, anizotropi faktörü için malzeme modeli oluşturulmamıştır. Belirli kabullere göre modellenen kaynaklı numunelerin gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir açıda ve geometrideki kaynaklı numuneler için yapılan analizlerden gerilme dağılımları ve gerilmeler elde edilmiştir.

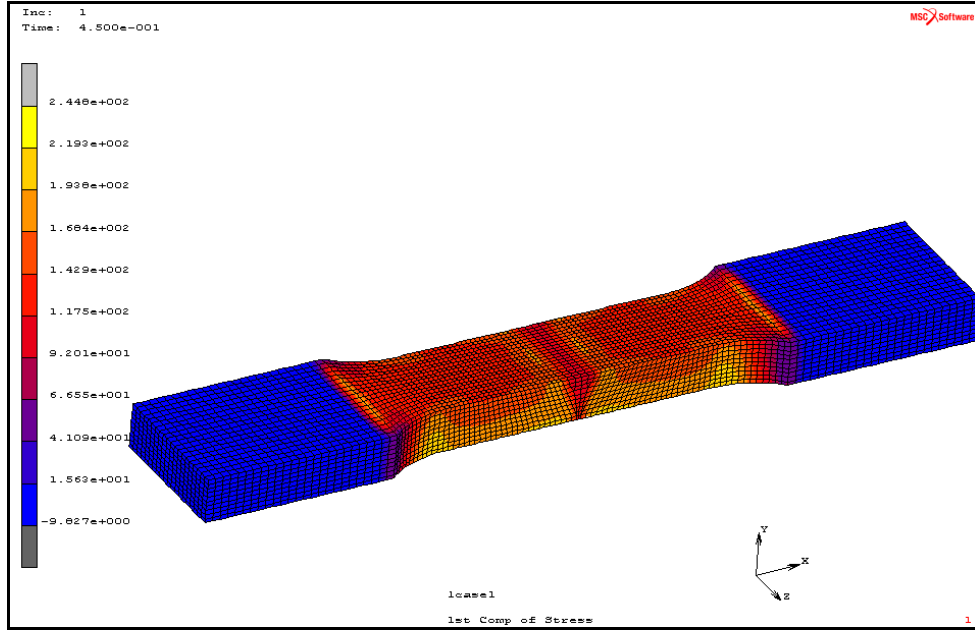
6.3.1 Çekme analizi sonuçları

48°, 54°, 60° açılarında, X ve V kaynak ağız biçimlerinde hazırlanan MIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin Patran programında ağ yapı modelleri oluşturulmuştur. Ağ yapıları oluşturulan kaynaklı çekme numunelerinin MARC sonlu elemanlar analiz programında yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan sayısal analizlerdeki test prosedürü, iteratif bir işlemdir ve çok zaman alıcıdır. Yeterli doğrulukta, çıktığı doğru veren, çok zaman almayan bir model oluşturma yoluna gidilmiştir. MARC programında kaynaklı bağlantılar için oluşturulan modelin geçerliliğini kanıtlamak ve modelde malzeme tanımlarının doğru yapıp yapılmadığını test etmek amacıyla, modelin basit olarak bir analizi yapılmıştır. Bu basit analizde, numunenin tamamının tek bir malzemeden oluştuğu kabul edilmiştir. Malzeme olarak sadece kaynak metali kullanılmış ve kaynak metaline ilişkin elastisite modülü, poisson oranı, çekme deneyinden elde edilen gerilme-gerinme grafiği gibi özellikler programda girdi olarak kullanılmıştır. Modelin iki boyutlu analizi MARC programında gerçekleştirilmiştir. Kaynak malzemesine ait çekme analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafiği ile deneyden elde edilen gerilme-gerinme grafiği karşılaştırmalı olarak Şekil 6.3.1.1’de gösterilmiştir. İki grafik arasında fark görülmemektedir. Bu şekilde modelin doğru sonuçlar veren bir model olduğu kanıtlanmıştır.



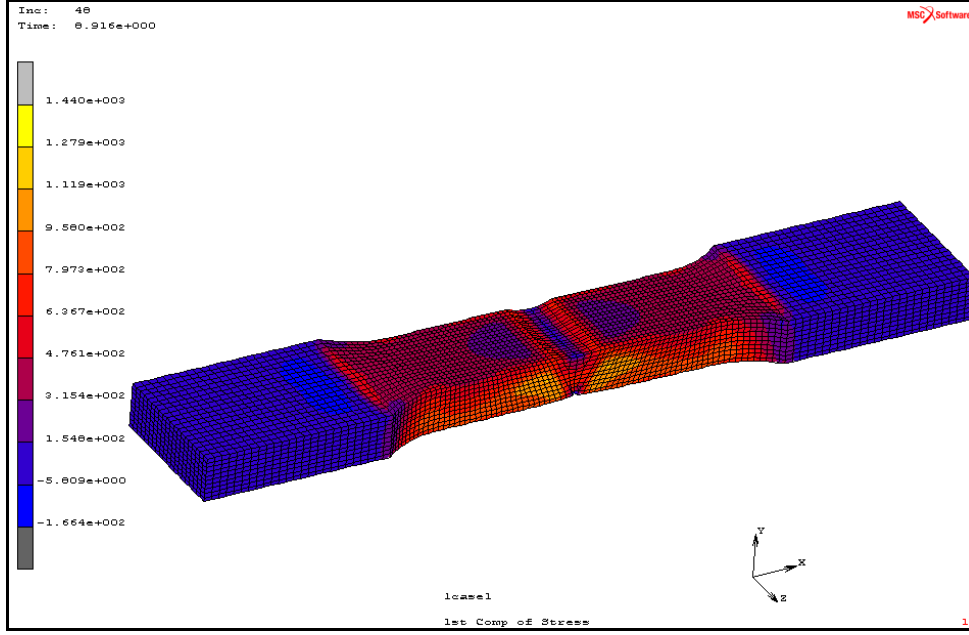
Şekil 6.3.1.1 Deney ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Çekme analizleri artışı ilerleme (increment) metoduyla yapılmıştır. Belirli zamanlardaki çekme analiz sonuçları kaydedilmiştir. MARC sonlu elemanlar programında gerçekleştirilen analizlerden, çıktı olarak gerilme-gerinme değerleri elde edilmiştir. 48° açı ve V geometriye sahip numunenin çekme analizlerinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.1.2 ve Şekil 6.3.1.3' te gösterilmiştir.



Şekil 6.3.1.2 48V için başlangıç anı x eksenine yönündeki gerilme dağılımı

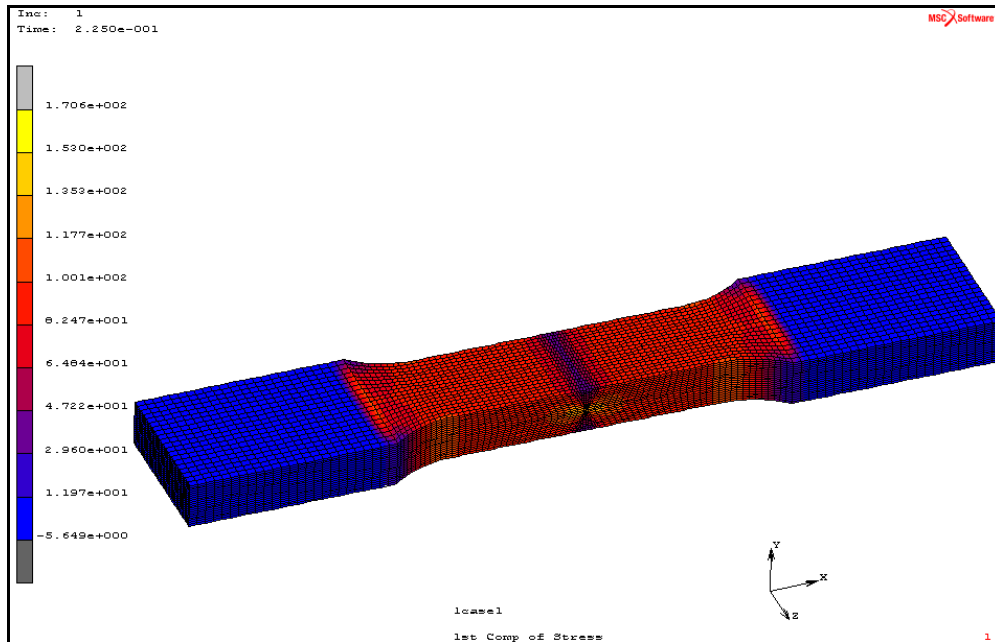
Şekil 6.3.1.2' deki 48 V kaynaklı deney numunesinin çekme test simülasyonu sonuçları incelendiğinde, kaynak kök bölgesinde ve ana metal ile kaynak metalinin arasındaki geçiş bölgelerinde x yönündeki gerilme yoğunluğunun yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 6.3.1.2' de çenelerin numuneyi tuttuğu mavi ile gösterilen bölgelerde gerilme çok düşük değerler göstermiş ve sifıra yakın olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6.3.1.3 48V için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

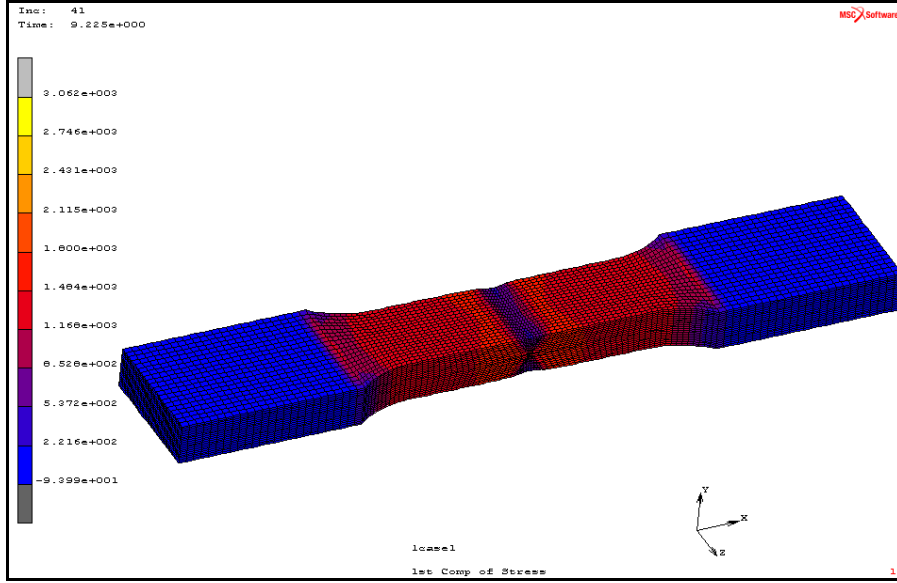
Ana metal ile kaynak malzemesi geçiş bölgelerinde çekme gerilmelerinden basma gerilmelerine yön değişimlerinin olduğu Şekil 6.3.1.3' te görülmektedir. Şekil 6.3.1.3' te gösterilen 48V kaynaklı çekme numunesinin kaynak üst ve alt kesitlerinde boyun verme gerçekleşmiştir.

48° açılı ve X geometriye sahip numunenin çekme analizlerinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.1.4' te ve Şekil 6.3.1.5' te gösterilmiştir.



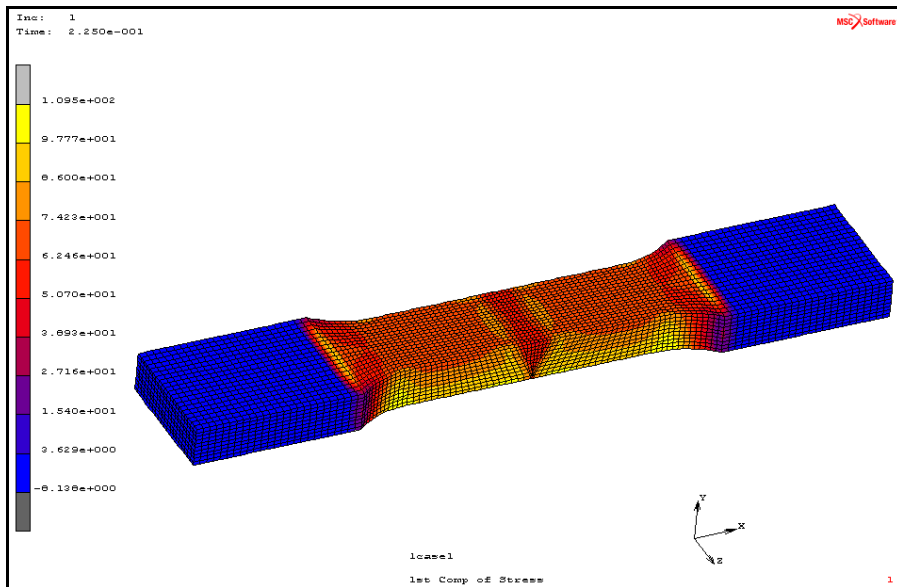
Şekil 6.3.1.4 48X için başlangıç anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

Şekil 6.3.1.4' te kaynaklı numunenin ısı tesiri altındaki bölgesinde, kaynak kök kısmında ve ana metal kısmında gerilmeler yüksek çıkmıştır. Başlangıç anında Şekil 6.3.1.4' teki sonuçlara göre kaynaklı numunenin, kaynak bölgesinde düşük gerilmeler elde edilmiştir. Şekil 6.3.1.5' te analizin bitiminde kaynak bölgesinde boyun verme gerçekleşmiştir. En yüksek gerilmeler ısı tesiri altındaki bölgede (ITAB) gözlemlenmiştir.



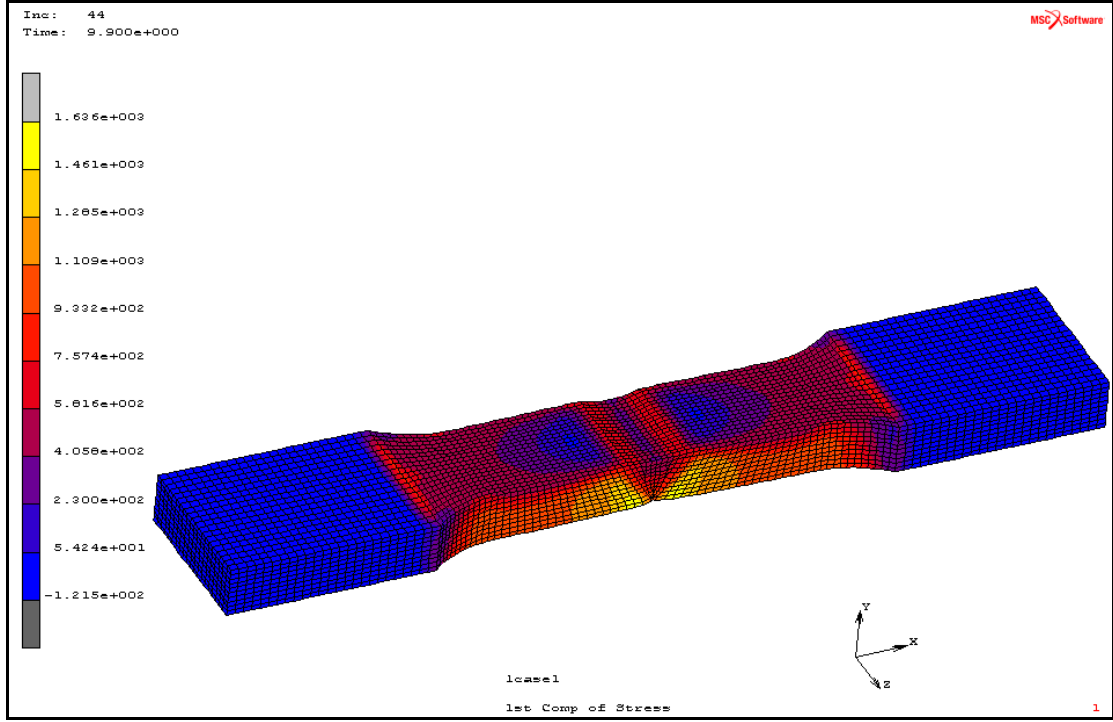
Şekil 6.3.1.5 48X için bitiş anı x eksenli yönündeki gerilme dağılımı

54° açı ve V geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.1.6 ve Şekil 6.3.1.7' de gösterilmiştir.



Şekil 6.3.1.6 54V için başlangıç anı x eksenli yönündeki gerilme dağılımı

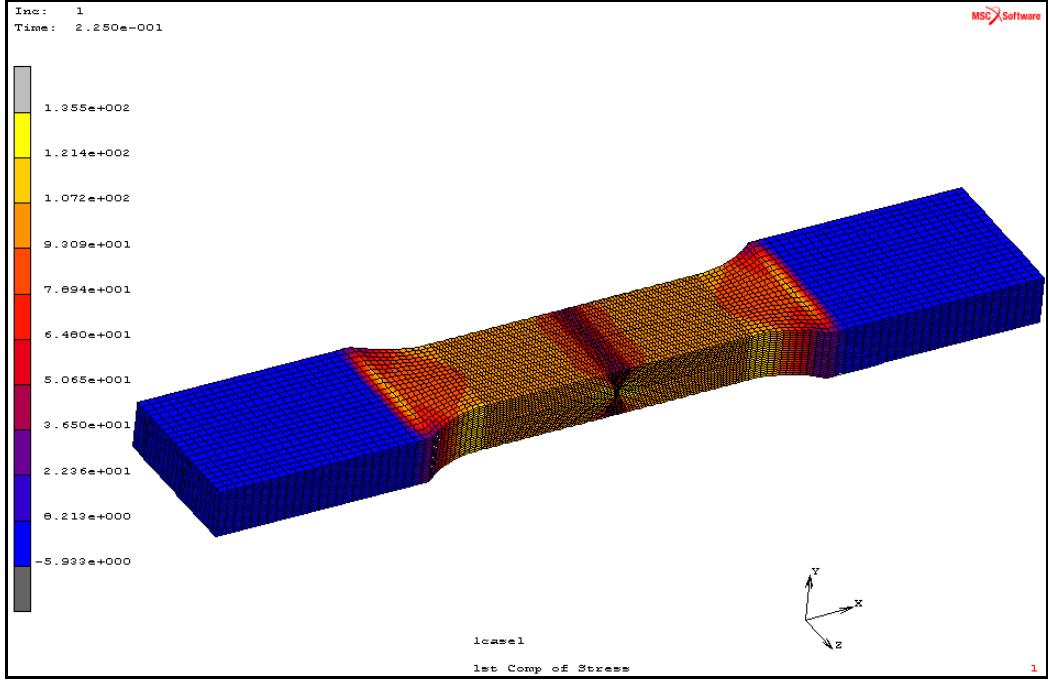
Şekil 6.3.1.6' da 54° açı ve V geometriye sahip kaynak numunesinde, ısı tesiri altındaki bölgede, kaynak metali ve ana metal arasındaki geçiş bölgelerinde gerilmeler daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 6.3.1.7 54V için bitiş anı x eksenli yönündeki gerilme dağılımı

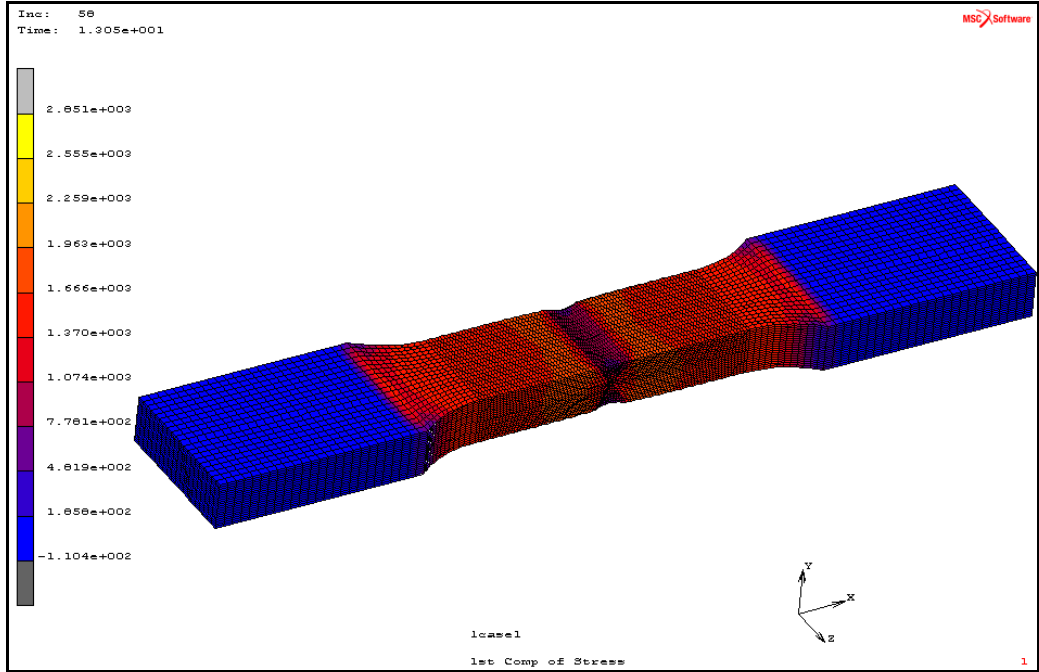
Şekil 6.3.1.7' ye bakıldığında, kaynaklı numunenin son deformasyon anında kaynağın kök kısmında ve kaynak metali ve ana metal geçiş bölgesinde gerilmeler maksimum seviyeye ulaşmıştır. Kaynaklı numunede boyun verme gerçekleşmiştir. Esas metal ve ana metal geçiş bölgesinde çekme gerilmelerinden basma gerilmelerine doğru yön değişimlerinin olduğu görülmüştür.

54° açı ve X geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.1.8 ve Şekil 6.3.1.9' da gösterilmiştir. Şekil 6.3.1.8' de 54X kaynaklı numunede kritik gerilme bölgelerinin, X kaynağın kök bölgesi, ısı tesiri altındaki bölge olduğu görülmektedir.



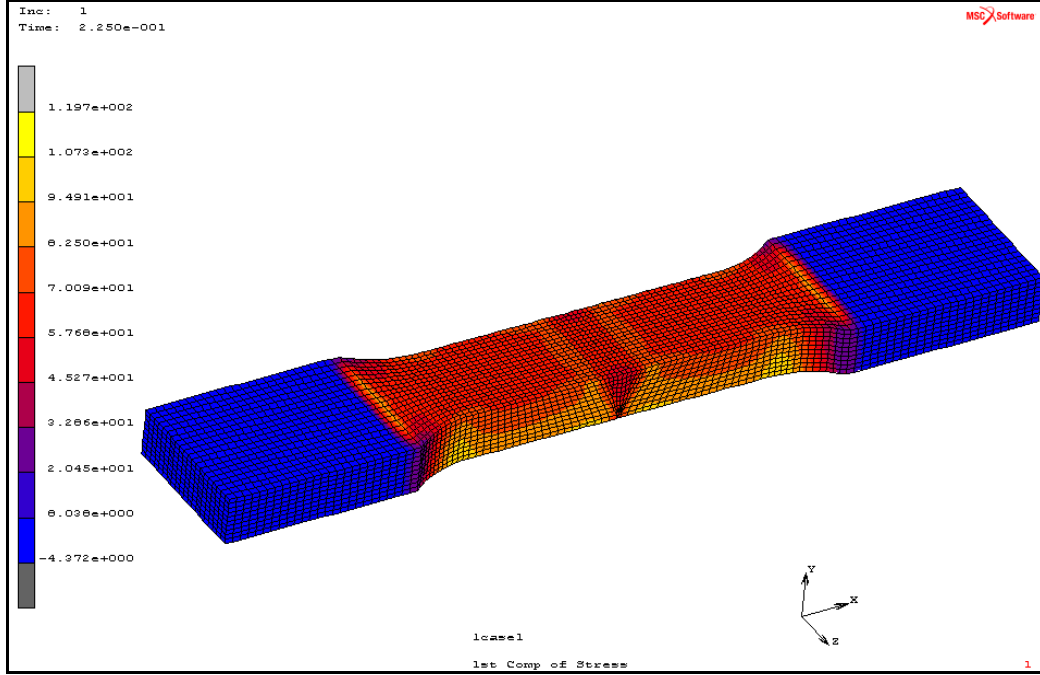
Şekil 6.3.1.8 54X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı

Şekil 6.3.1.9' da 54X kaynaklı numunede boyun verme olayı gerçekleşmiştir. Kaynak bölgesindeki gerilmelerde azalma gözlemlenmiştir.

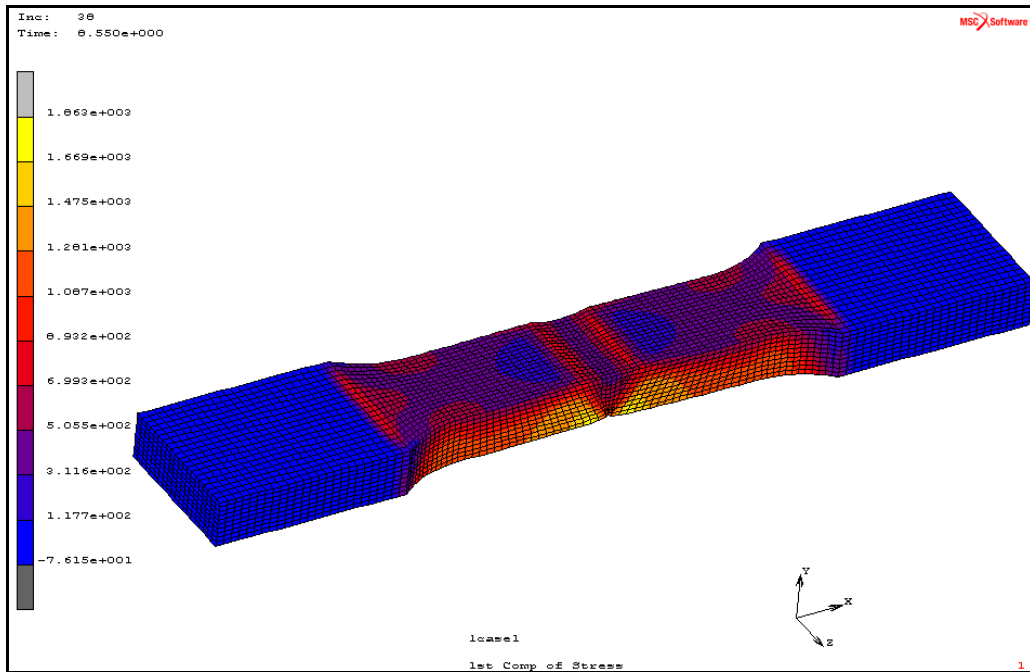


Şekil 6.3.1.9 54X için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı

60° açılı ve V geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.1.10 ve Şekil 6.3.1.11’de gösterilmiştir. Şekil 6.3.1.10’da 60V kaynaklı numune için gerilmelerin ITAB bölgesinde ve kaynak geçiş bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

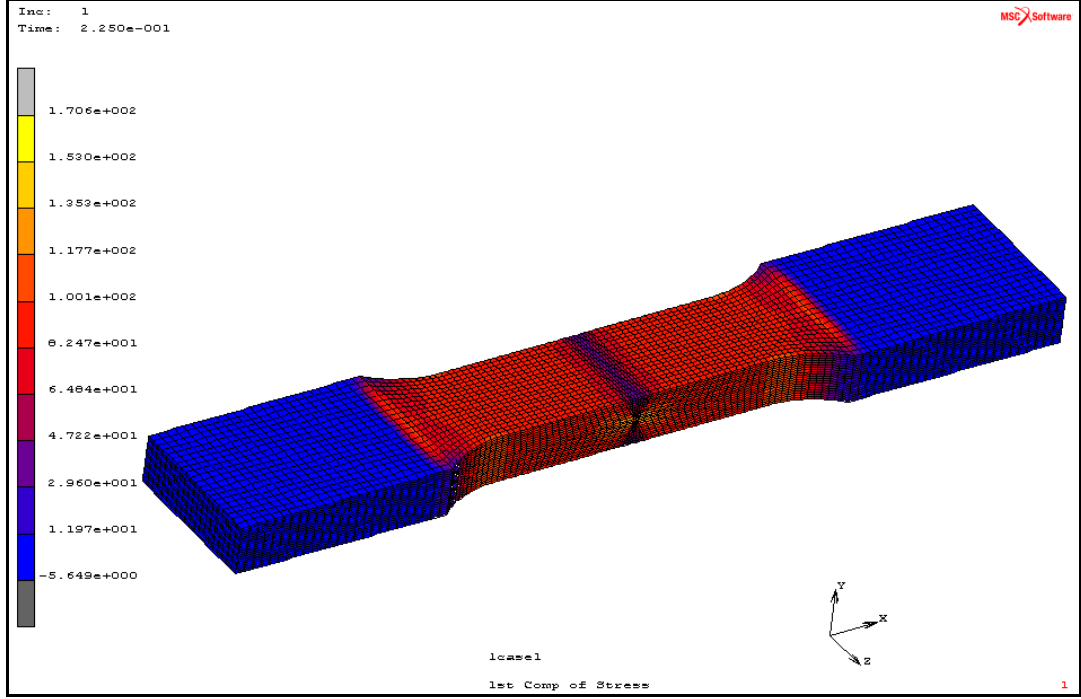


Şekil 6.3.1.10 60V için başlangıç anı x eksenindeki gerilme dağılımı

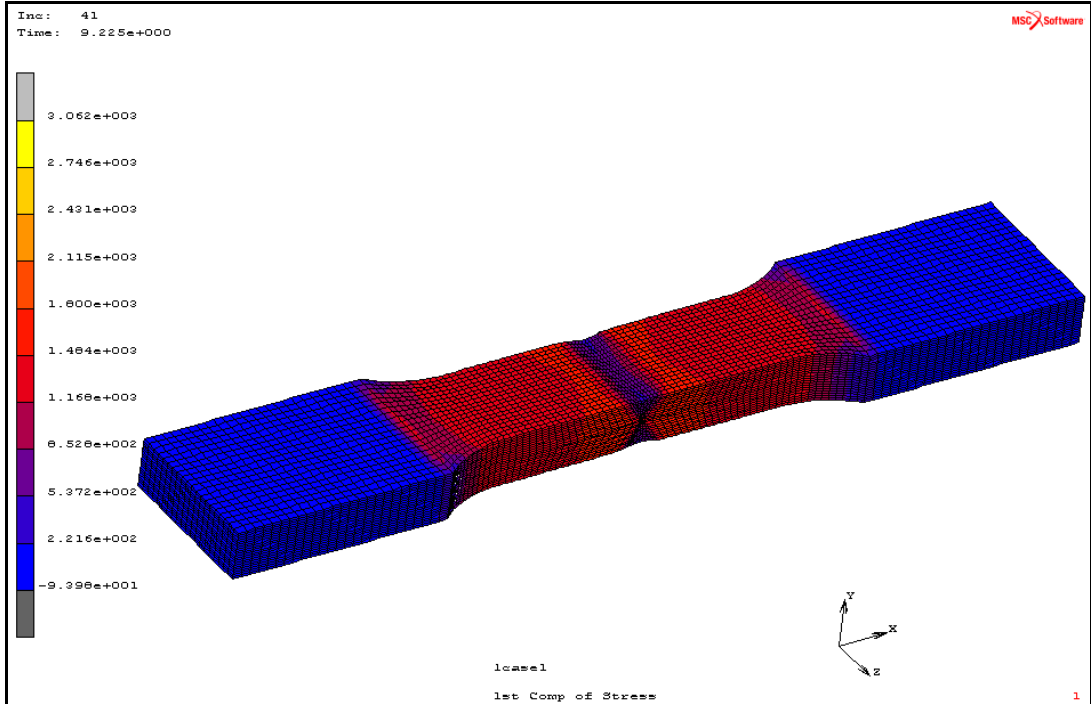


Şekil 6.3.1.11 60V için bitiş anı x eksenindeki gerilme dağılımı

60° açı ve X geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.1.12 ve Şekil 6.3.1.13' te gösterilmiştir. Şekil 6.3.1.12' de en yüksek gerilmeler kaynağın kök kısmında çıkmıştır. Şekil 6.3.1.13' te kaynak bölgesinde gerilmeler azalmış, ısı tesiri altındaki bölgede gerilmeler artmıştır.



Şekil 6.3.1.12 60X için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

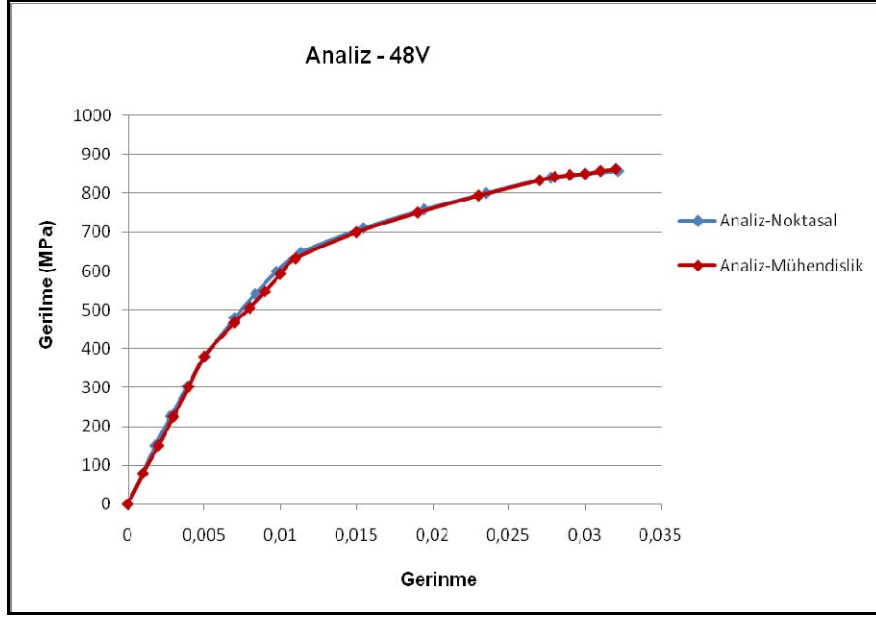


Şekil 6.3.1.13 60X için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

48°, 54°, 60° açılarında, X ve V kaynak ağız açılarına sahip numunelerin MARC sonlu elemanlar programında yapılan çekme analizlerinden, çıktı olarak gerilme-gerinme, deplasman (displacement) değerleri elde edilmiştir. Sonlu elemanlar programında girdi verisi olarak malzemelere ait mühendislik gerilme-gerinme grafikleri kullanılmıştır. Sonuçlar üzerinde iki farklı analiz tipi yapılarak gerilme-gerinme grafikleri elde edilmiştir. Bunlar:

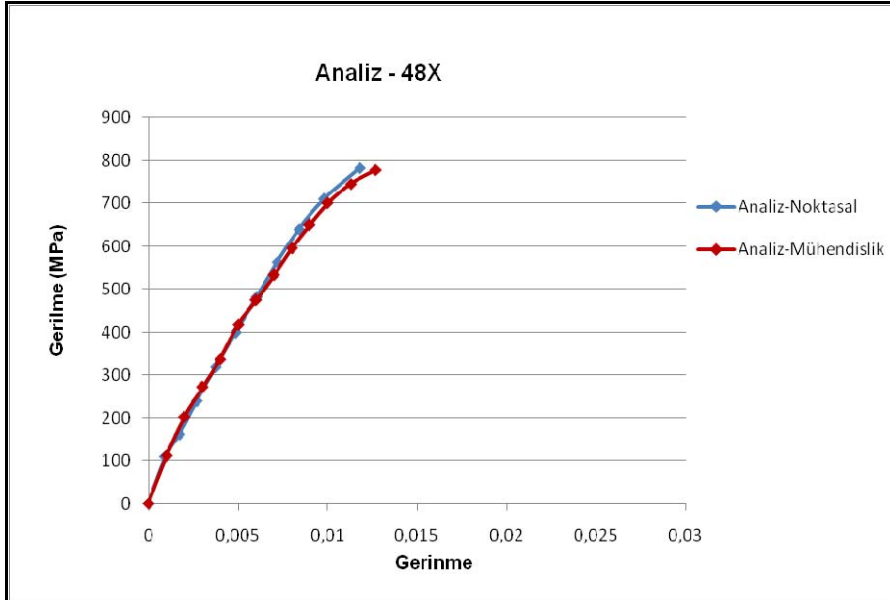
- a) Analiz-noktasal: Sonlu eleman analizinde, kaynak ortasında bulunan bir düğüm seçilerek gerilme-gerinme değerleri elde edilmiştir. Sonlu eleman analizinin her kuvvet artırımında bu değerler alınarak analiz-noktasal gerilme-gerinme grafiği elde edilmiştir.
- b) Analiz- mühendislik: Deneysel olarak hesaplanan mühendislik gerilme-gerinme değerleri numunenin tamamı üzerindeki davranışı göstermektedir. Bu davranışı sayısal analizde de aynı şekilde gözlemleyebilmek için, analiz-mühendislik yaklaşımı seçilmiştir. Bu yaklaşımda, sonlu eleman analizi sonucu çıkan tüm numunenin deformasyon değeri, ilk numune boyutuna bölünerek mühendislik gerinmesi bulunmuştur. Mühendislik gerilme değerleri için, rastgele seçilmiş beş ayrı noktadan gerilme değerlerinin ortalaması alınmıştır. Bu işlem sonlu eleman analizinin her kuvvet artırımında da devam ederek analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafiği elde edilmiştir.

48° açı ve V geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.1.14' te gösterilmiştir.



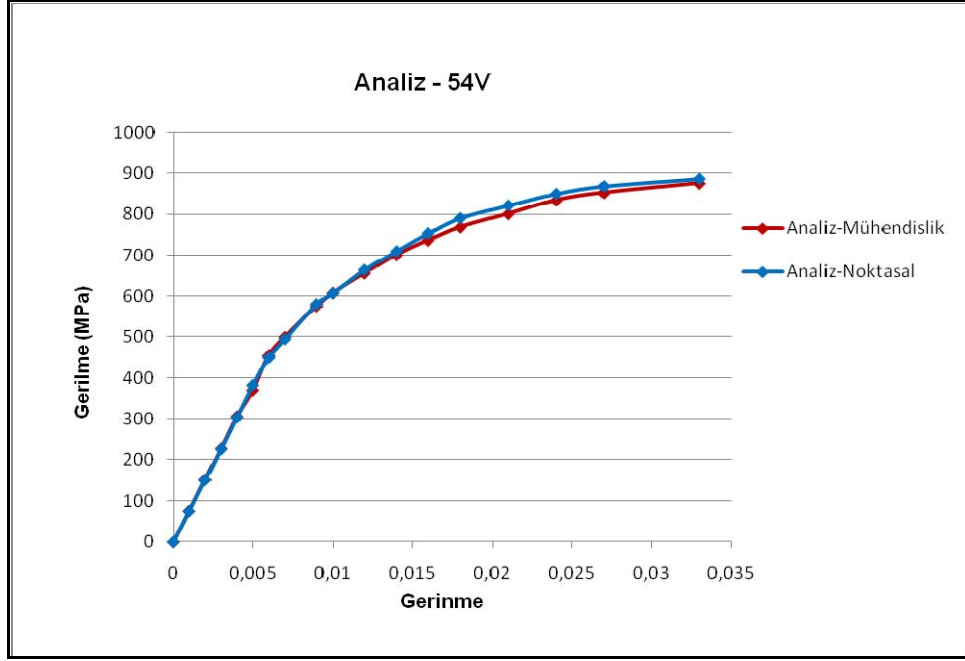
Şekil 6.3.1.14 48V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

48° açı ve X geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.1.15' te gösterilmiştir.



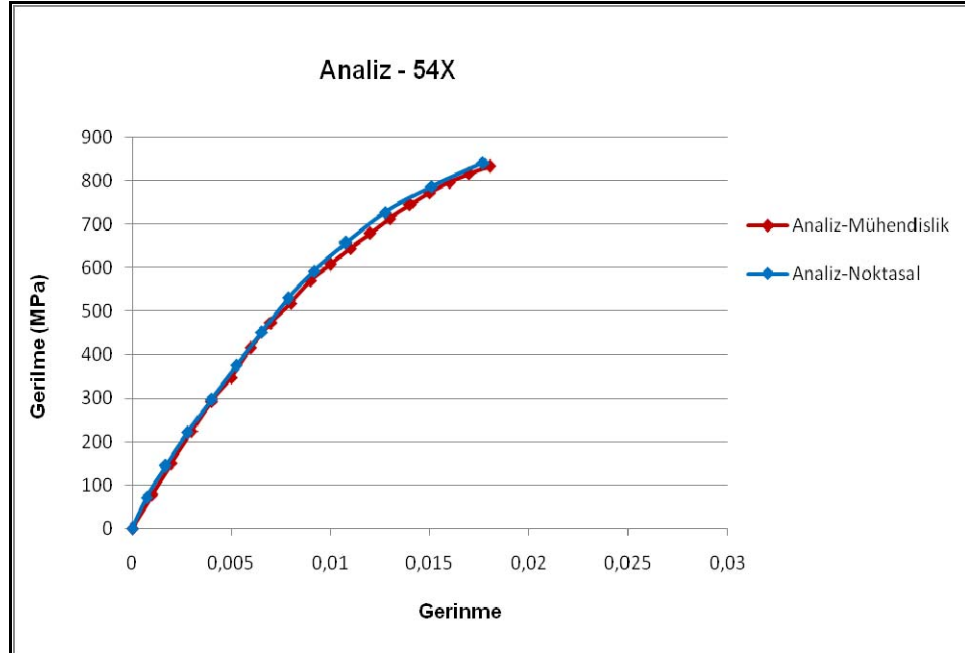
Şekil 6.3.1.15 48X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

54° açı ve V geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.1.16' da gösterilmiştir.



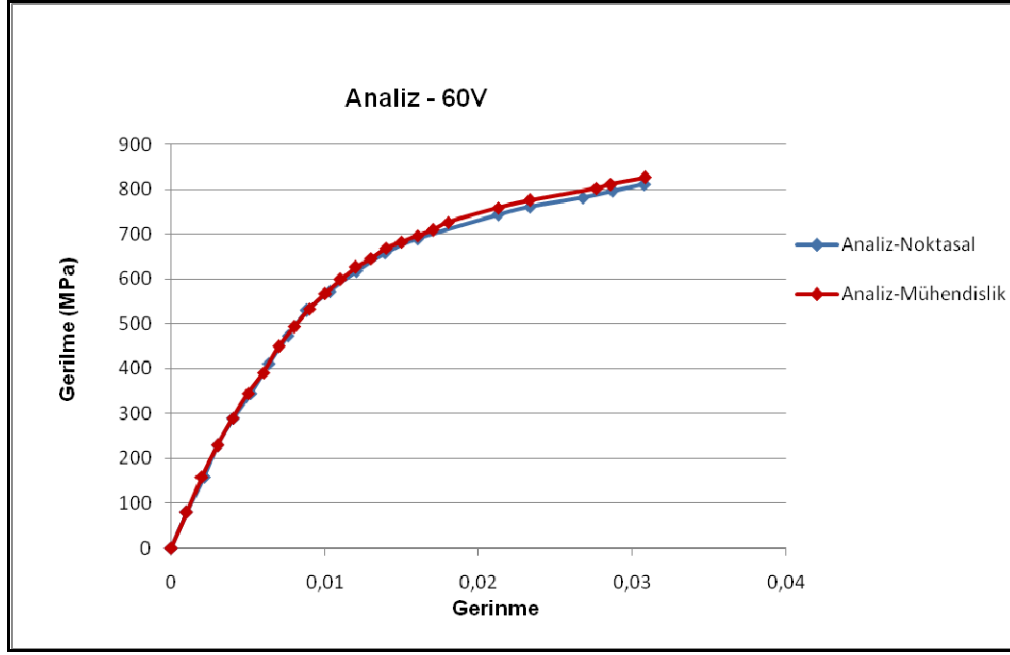
Şekil 6.3.1.16 54V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

54° açı ve X geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.1.17' de gösterilmiştir.



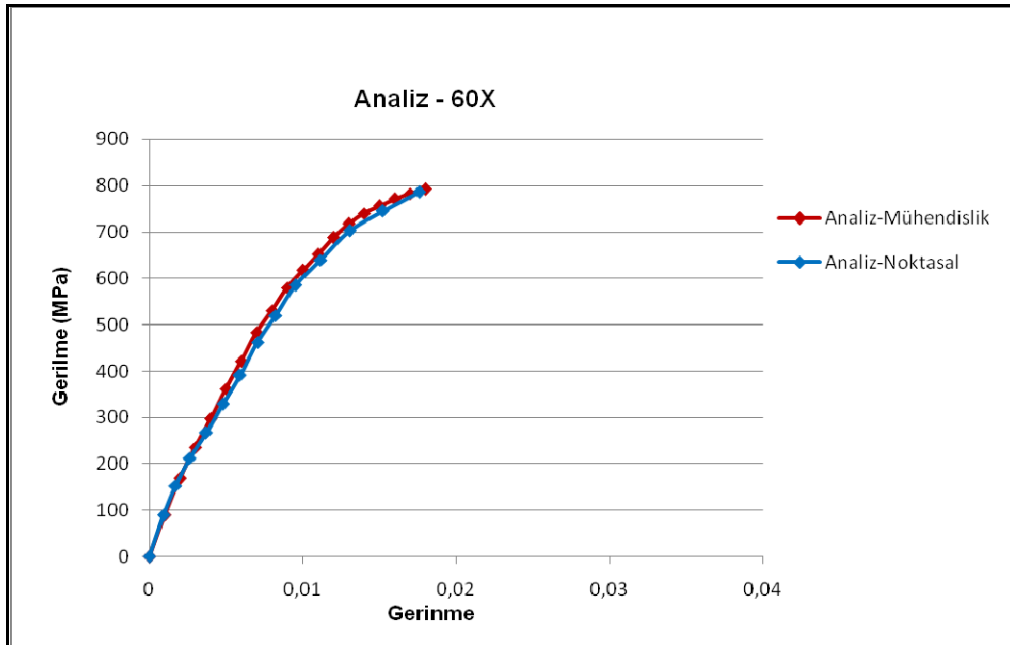
Şekil 6.3.1.17 54X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

60° açı ve V geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.1.18' de gösterilmiştir.



Şekil 6.3.1.18 60V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

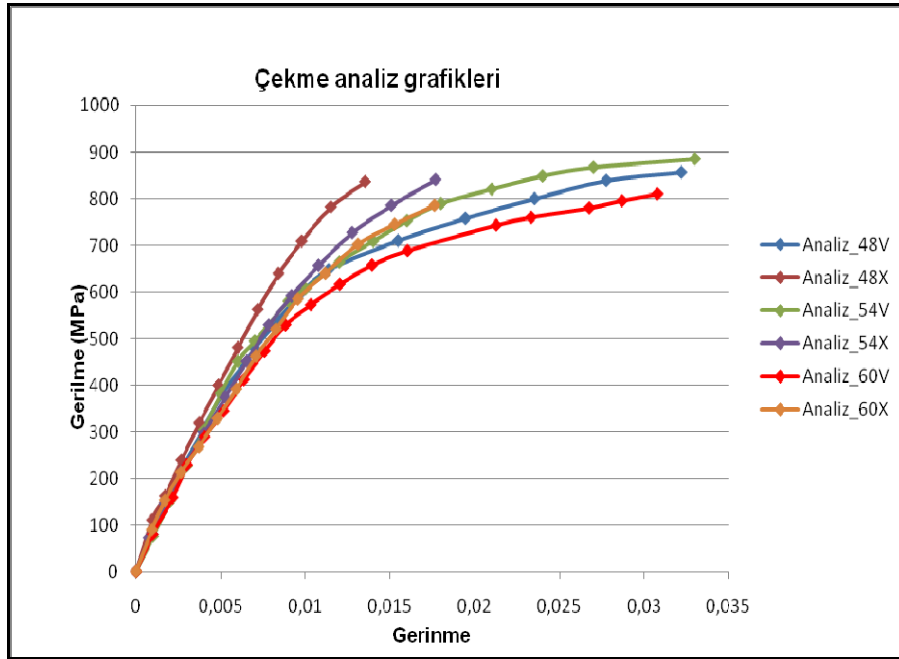
60° açı ve X geometriye sahip numunenin çekme analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.1.18' de gösterilmiştir.



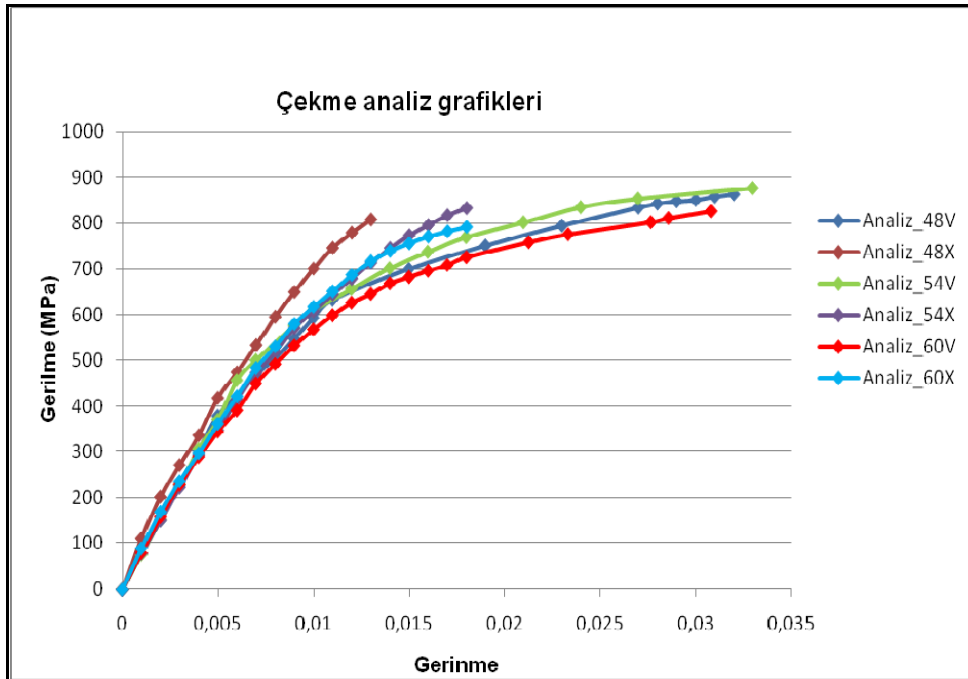
Şekil 6.3.1.19 60X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

48°, 54°, 60° açılarında, V ve X geometrilerinde kaynak ağzına sahip numunelerin çekme analizlerinden elde edilen bütün analiz noktasal gerilme-gerinme ve analiz

mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.1.20 ve Şekil 6.3.1.21' de gösterilmiştir.



Şekil 6.3.1.20 Çekme analizleri analiz-noktasal gerilme-gerinme grafikleri



Şekil 6.3.1.21 Çekme analizleri mühendislik gerilme-gerinme grafikleri

Her bir açıda ve geometrideki kaynaklı numuneler için yapılan analizlerden analiz-noktasal gerilme-gerinme eğrileri elde edilmiştir. Bu grafiklere göre kaynaklı numunelerin akma dayanımı, elastisite modülü gibi özellikleri belirlenmiştir. Çekme numunelerinin analiz sonuçlarından elde edilen mekanik özellikler Çizelge

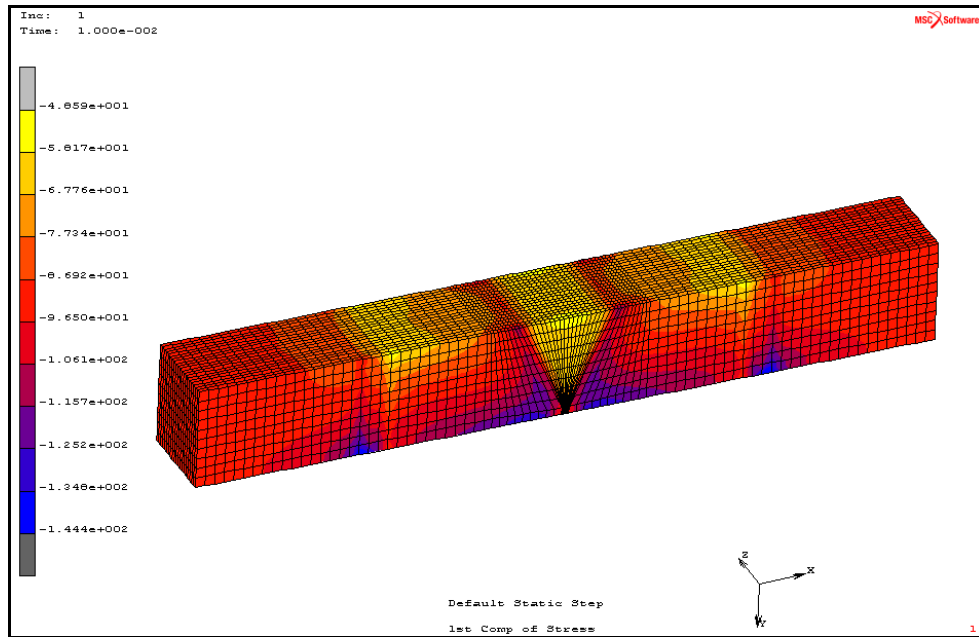
6.3.1.1'de verilmiştir. Çizelge 6.3.1.1' deki sonuçlara göre, 54V kaynaklı numuneler en yüksek akma dayanımı ve elastisite modülü değerine sahip çıkmıştır.

Çizelge 6.3.1.1 Çekme analizlerinden elde edilen sonuçlar

Çekme Analizleri	48V	48X	54V	54X	60V	60X
Akma Dayanımı (MPa)	478,5	480,8	494,5	451,6	473,4	461,9
Elastisite Modülü (GPa)	69,8	74,4	77	69	63,1	61,7

6.3.2 Basma analizi sonuçları

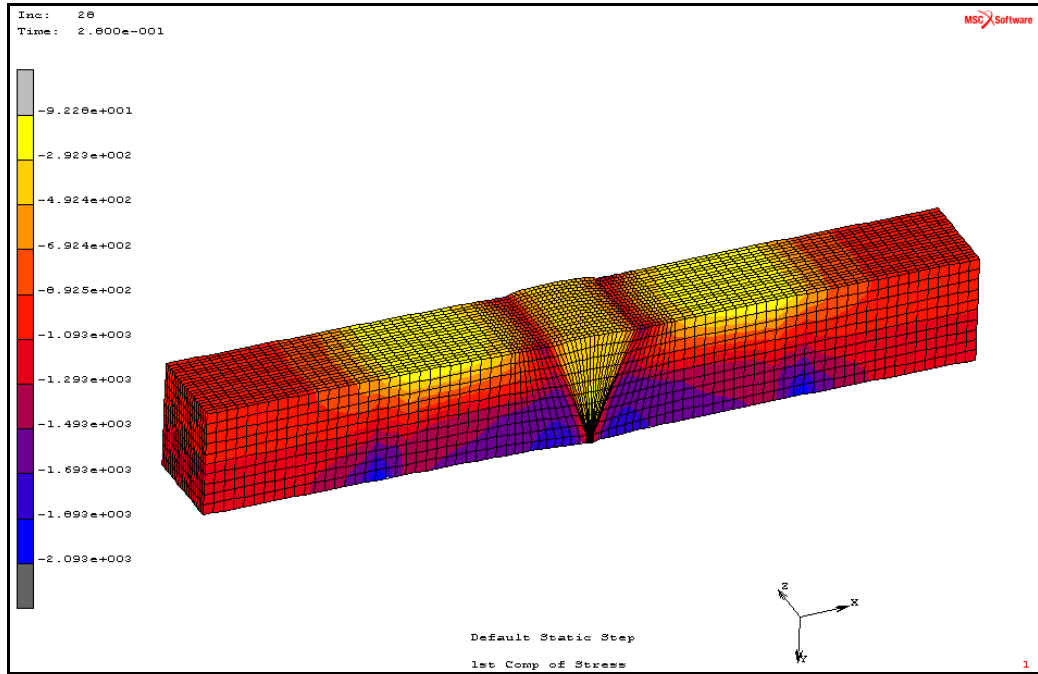
Üç farklı açı ve iki farklı geometrideki deney numunelerinin basma analizleri MARC sayısal analiz programında yapılmıştır. Basma numunelerinin analizlerinden belirli zamanlardaki gerilme dağılımları elde edilmiştir. 48° açı ve V geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.2.1 ve Şekil 6.3.2.2' de gösterilmiştir.



Şekil 6.3.2.1 48V için başlangıç anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

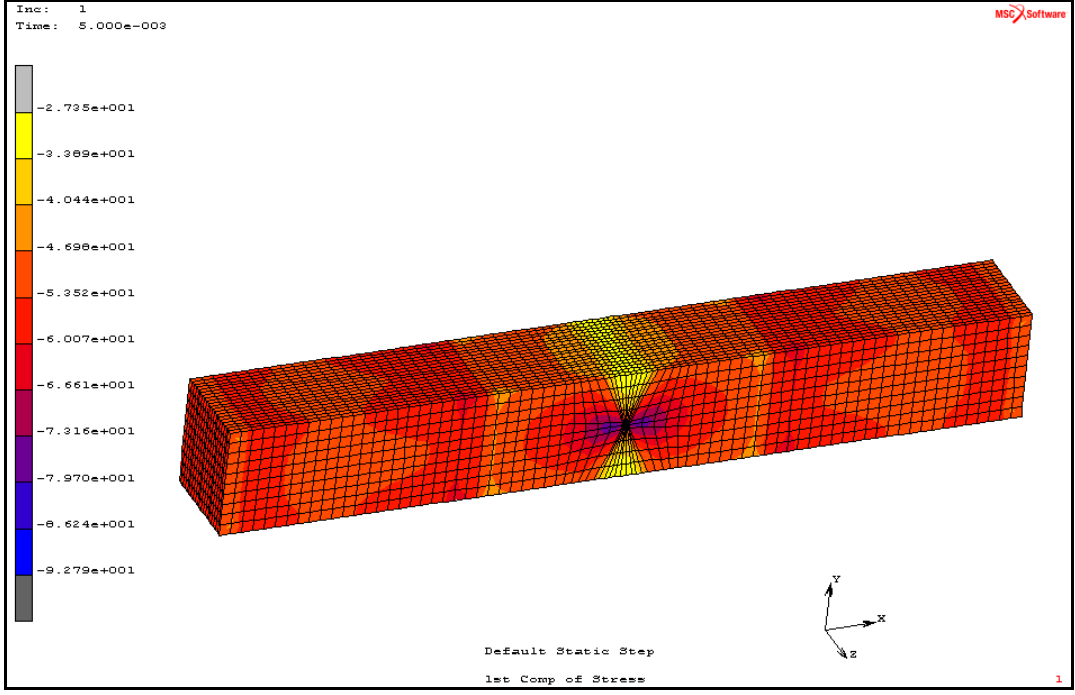
Şekil 6.3.2.1' de, ana metal ile kaynak malzemesinin geçiş bölgesi düzleminde, gerilme değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Basma deneyleri, numunenin burkulmasını önlemek amacıyla özel olarak hazırlanan bir fikstür ile yapılmıştır. Basma analizlerinde de deney ile aynı şartlar sağlanmıştır ve fikstür analizde sınır şartı olarak modellenmiştir. Şekil 6.3.2.1' de fikstürün bulunduğu bölgelerin çıkışıdaki kesitte gerilme yoğunluğunun fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 6.3.2.2' de 48V kaynaklı numunede, gerilmeler kaynak metali ile ana metal geçiş bölgelerinde maksimum olmaktadır. Numunenin kaynak kesit alanında devamlı bir artma gözlemlenmiştir.



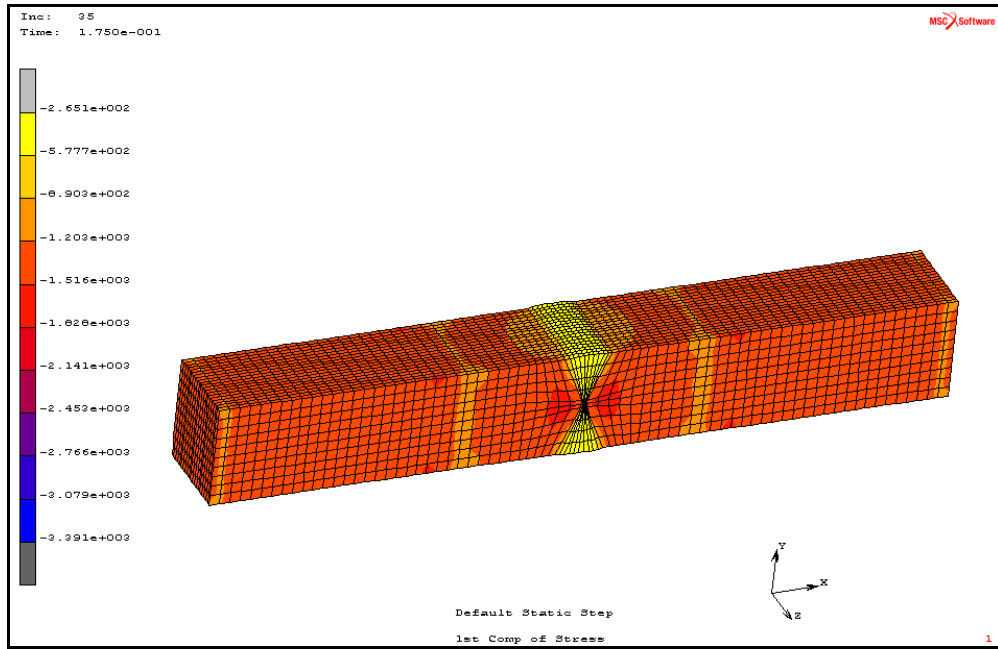
Şekil 6.3.2.2 48V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı

48° açılı ve X geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.2.2 ve Şekil 6.3.2.3' te gösterilmiştir.



Şekil 6.3.2.3 48X için başlangıç anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

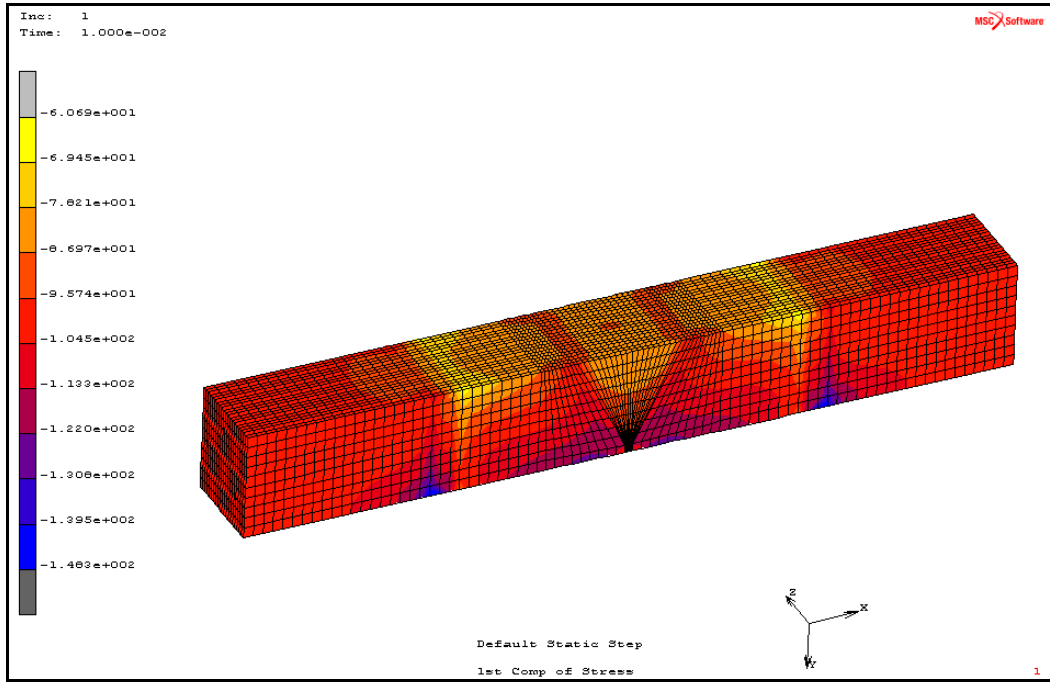
Şekil 6.3.2.3' te 48X kaynaklı numunede kaynağın kök kısmında ve kök kısmına yakın bölgelerde gerilmeler yüksek çıkmıştır.



Şekil 6.3.2.4 48X için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

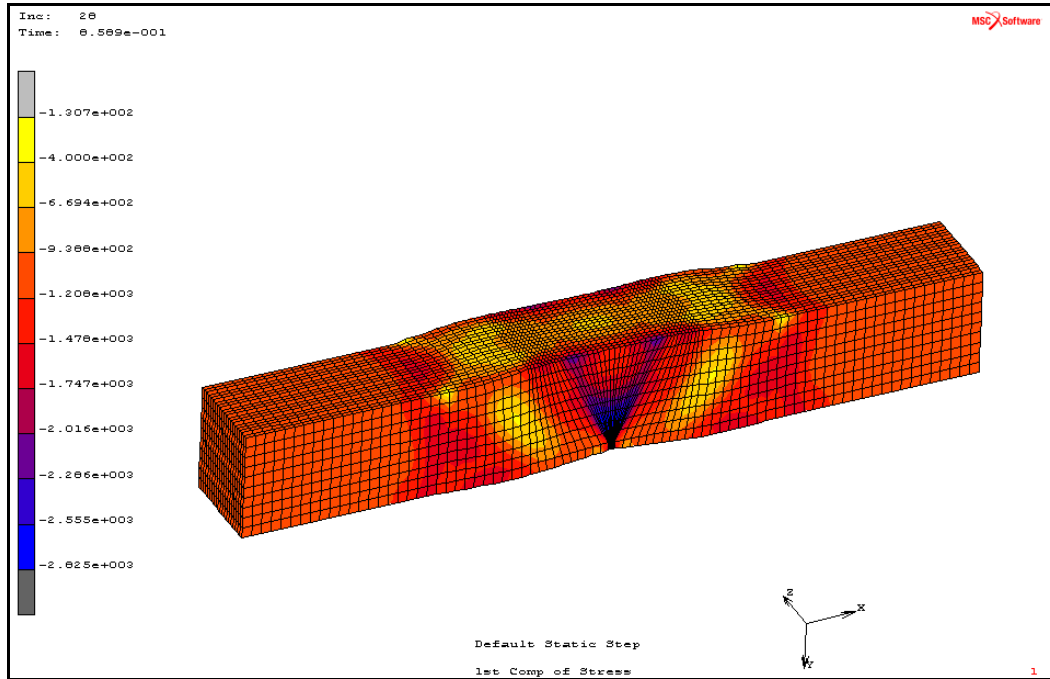
48X kaynaklı basma numunesinin kaynak kısmı iyice genişleyerek Şekil 6.3.2.4' teki gibi deforme olmuştur. Kaynak bölgesindeki gerilmeler, ana metale göre daha düşük çıkmıştır.

54° açı ve V geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.2.5 ve Şekil 6.3.2.6' da gösterilmiştir.



Şekil 6.3.2.5 54V için başlangıç anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

Şekil 6.3.2.5' te 54° açı ve V kaynak ağzına sahip numunede en yüksek gerilmeler ana metalde gözlemlenmiştir.



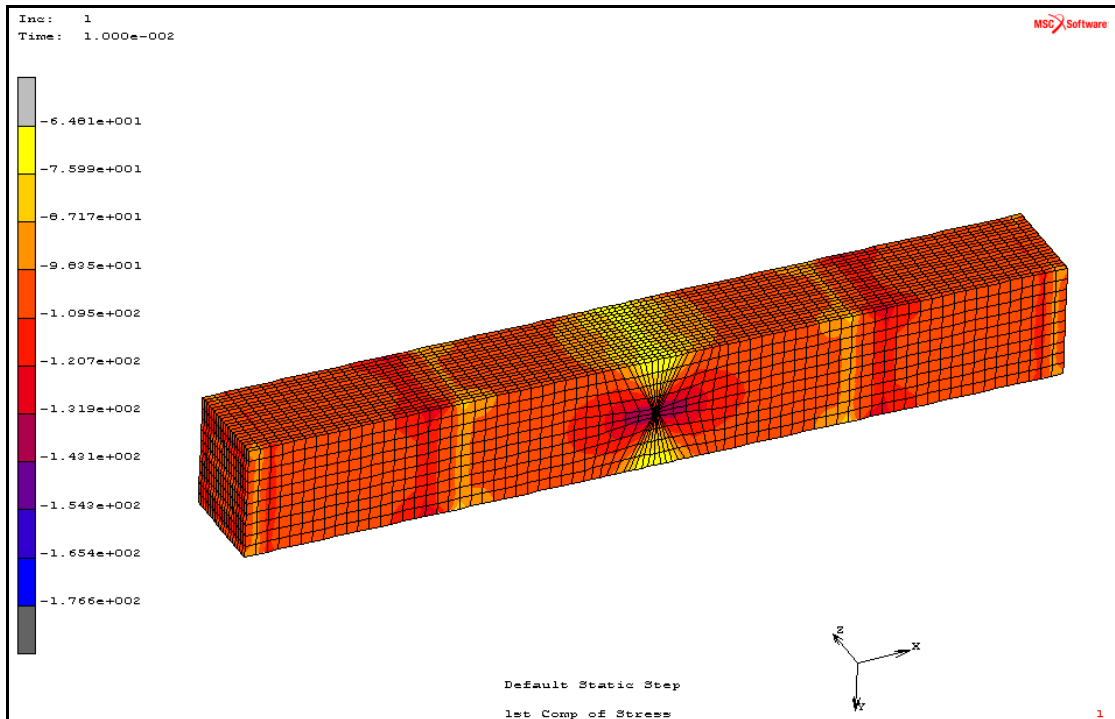
Şekil 6.3.2.6 54V için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

Şekil 6.3.2.6' da 54V kaynaklı numunenin kesit alanında büyüme gözlenmiştir. Kaynağın kök bölgesinde ve bu bölgeye yakın kısımlarda gerilmeler yüksek çıkmıştır. Ana metaldeki gerilmelerin, kaynak bölgesindeki gerilmelere göre daha düşük olduğu görülmektedir.

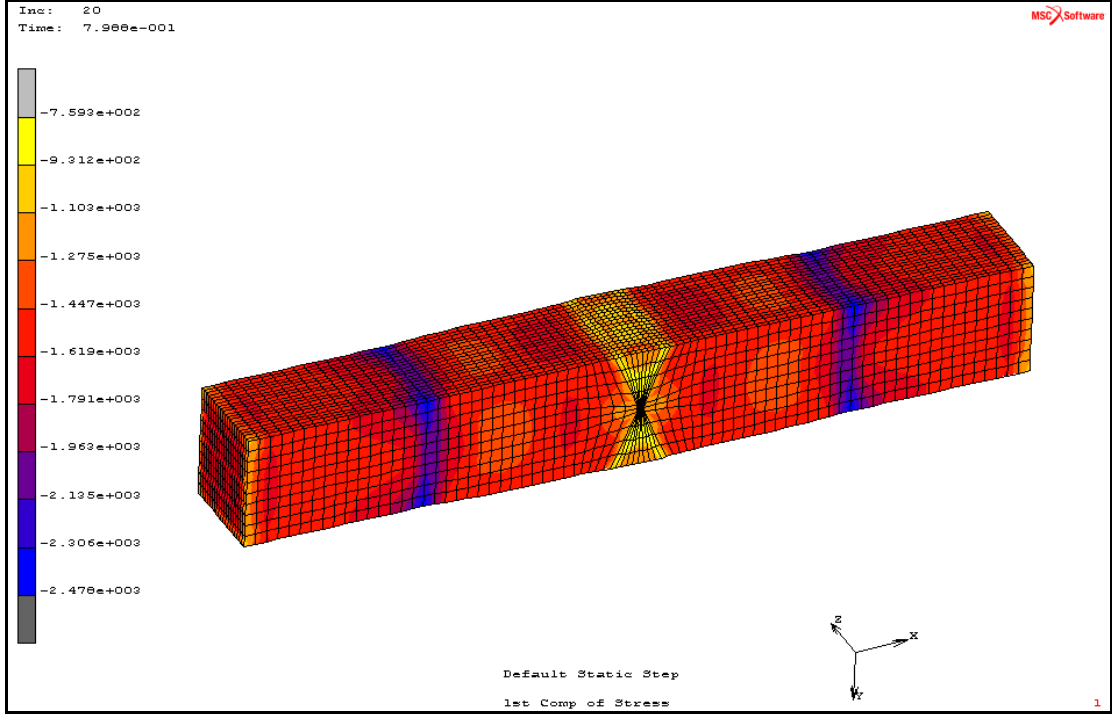
54° açı ve X geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.2.7 ve Şekil 6.3.2.8' de gösterilmiştir.

Şekil 6.3.2.7' de 54X kaynaklı numunede ana metaldeki gerilmelerin, kaynak metaline göre daha yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir ancak maksimum gerilme dağılımı kaynağın kök bölgesi civarında elde edilmiştir.

Şekil 6.3.2.8' de 54X kaynaklı basma numunesindeki maksimum gerilmeler, fikstürün numuneyi tuttuğu bölgelerin tam sınırında oluşmuştur. Ana metalde gerilme yoğunluğu kaynak metaline göre daha fazladır.

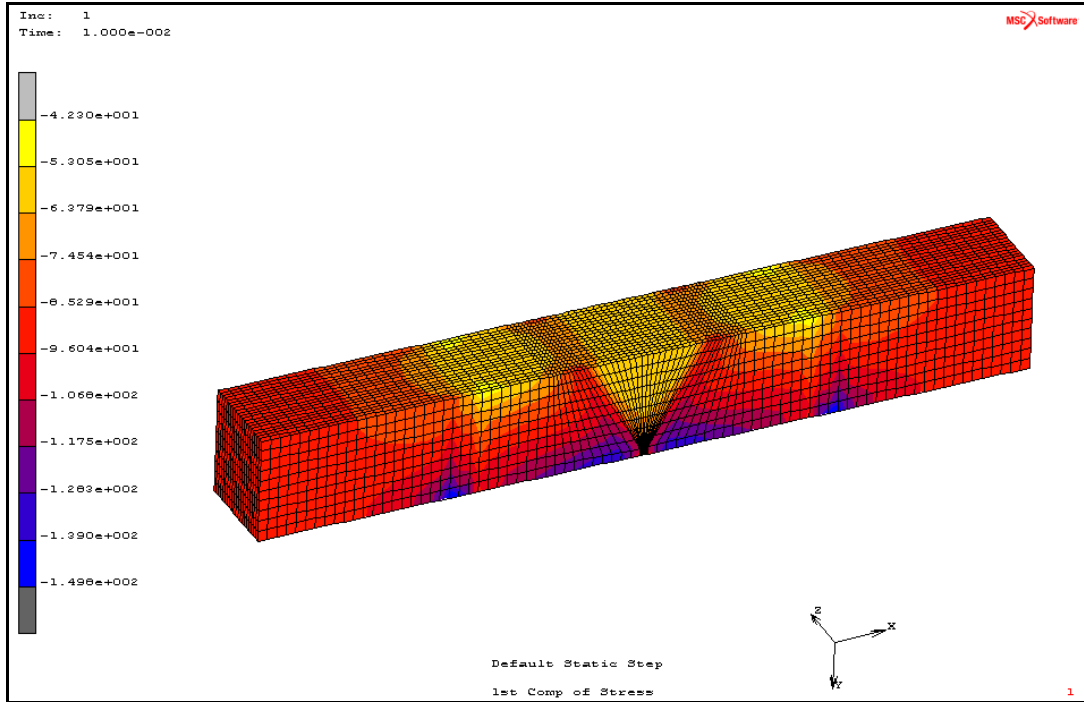


Şekil 6.3.2.7 54X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı

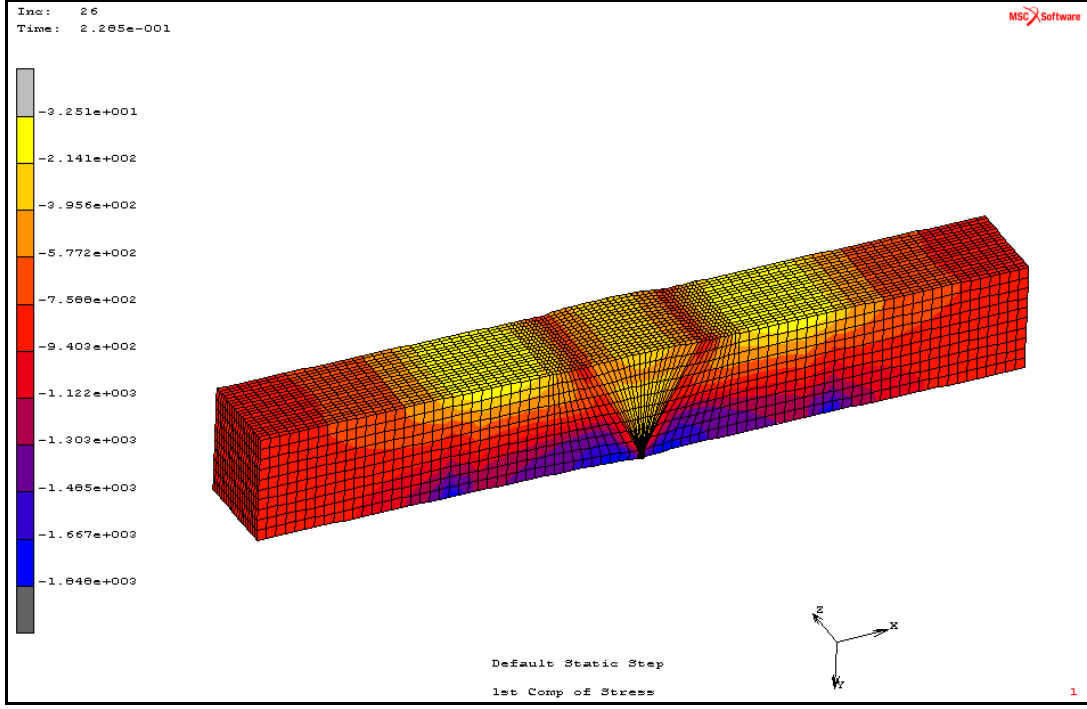


Şekil 6.3.2.8 54X için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

60° açılı ve V geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.2.9 ve Şekil 6.3.2.10' da gösterilmiştir. Şekil 6.3.2.10' da kaynaklı numunede oluşan gerilmeler kaynağın kök kısmına yakın bölgelerde yüksek çıkmıştır.

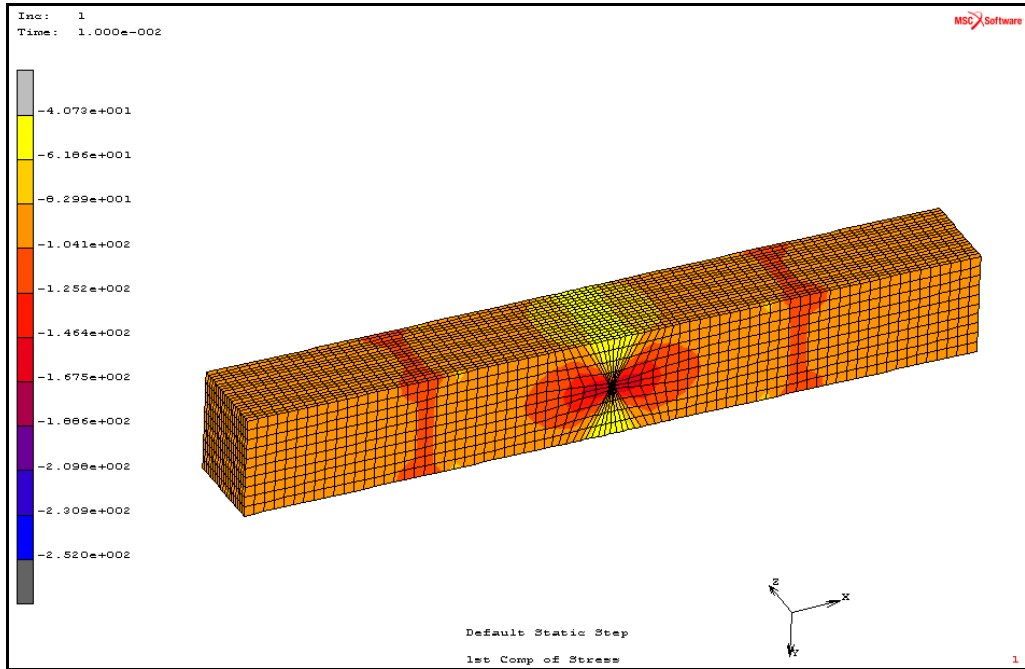


Şekil 6.3.2.9 60V için başlangıç anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

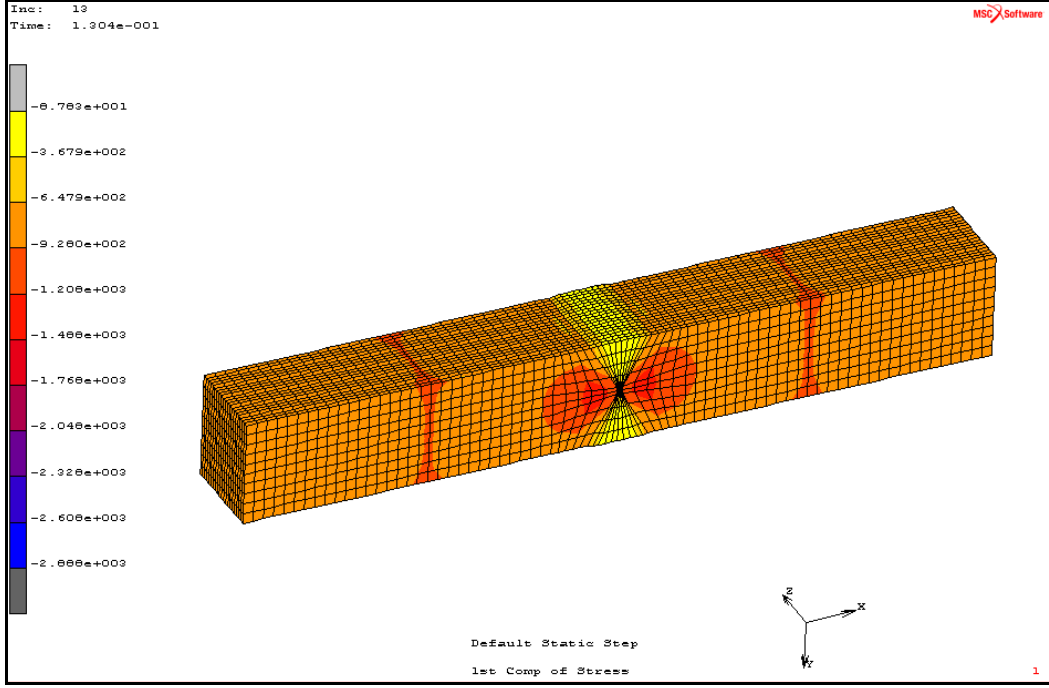


Şekil 6.3.2.10 60V için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

60° açılı ve X geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.2.11 ve Şekil 6.3.2.12’de gösterilmiştir. Şekil 6.3.2.11’de kaynak kök kısımlarında ve çevresinde gerilmeler yoğunluktur.



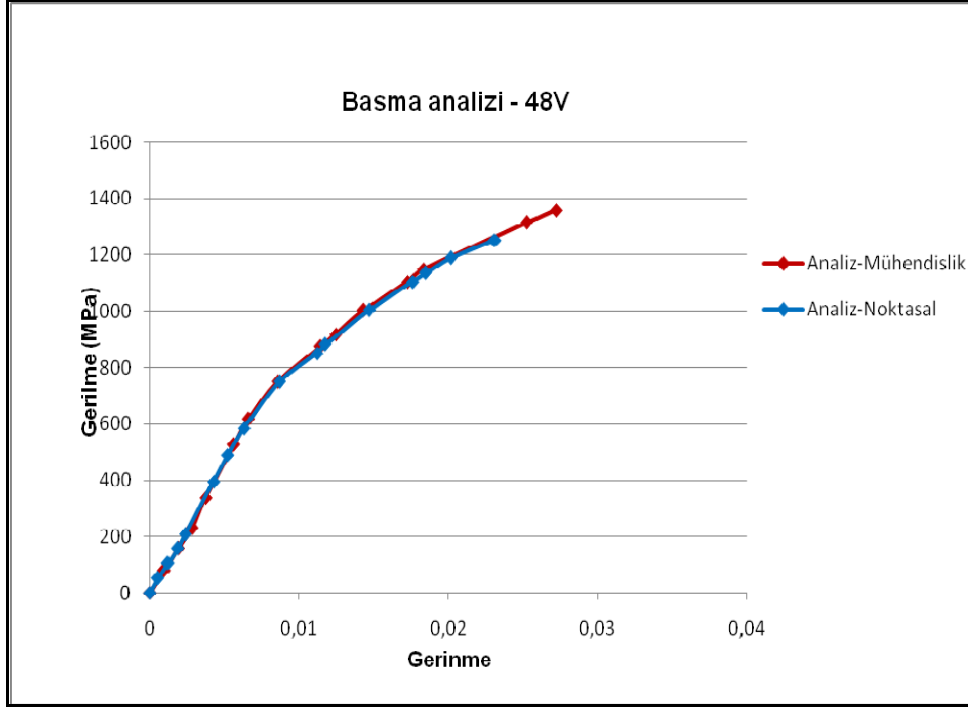
Şekil 6.3.2.11 60X için başlangıç anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı



Şekil 6.3.2.12 60X için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

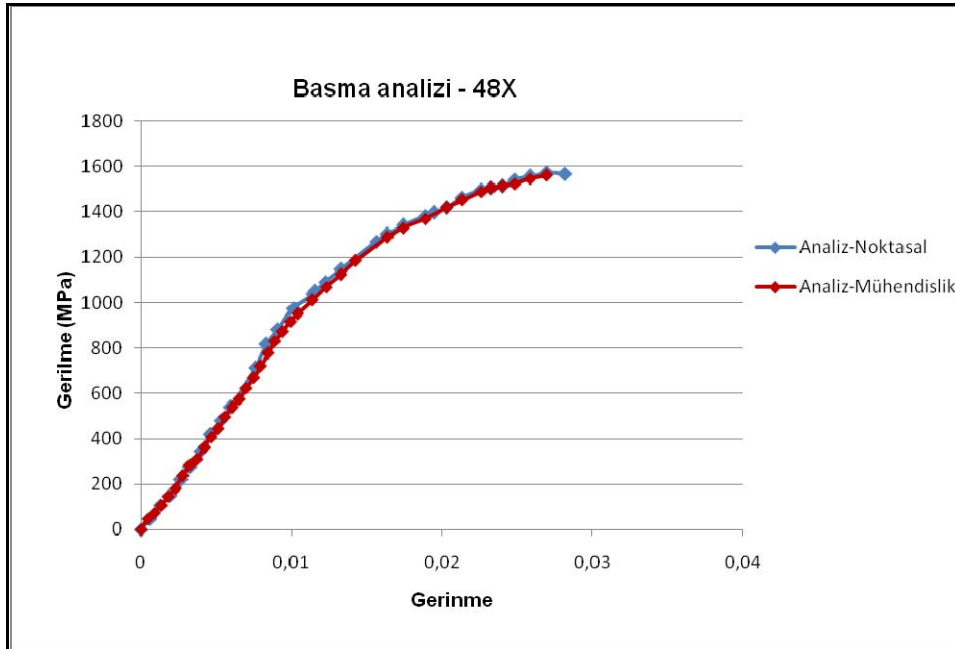
Üç farklı açıda ve iki farklı geometride kaynak ağızı açılına sahip numunelerin MARC sonlu elemanlar programında gerçekleştirilen basma analizlerinden, çıktı olarak gerilme-gerinme, deplasman (displacement) değerleri elde edilmiştir. Sonlu elemanlar programında girdi verisi olarak çekme deneylerinden elde edilen malzemelere ait mühendislik gerilme-gerinme grafikleri kullanılmıştır. Sonuçlar üzerinde iki farklı analiz tipi yapılarak gerilme-gerinme grafikleri elde edilmiştir. Sonlu elemanlar analizlerinden numunelere ait analiz-mühendislik ve analiz-noktasal gerilme-gerinme diyagramları elde edilmiştir.

48° açısı ve V geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen analiz-noktasal ve mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.2.13' te gösterilmiştir.



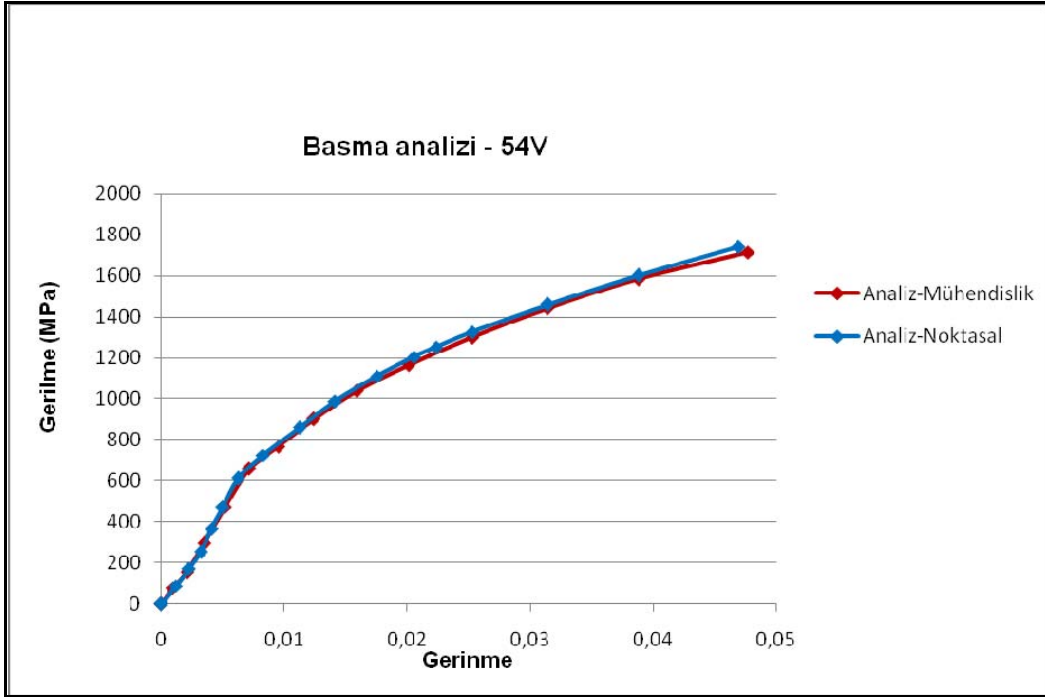
Şekil 6.3.2.13 48V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

48° açı ve X geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.2.14' te gösterilmiştir.



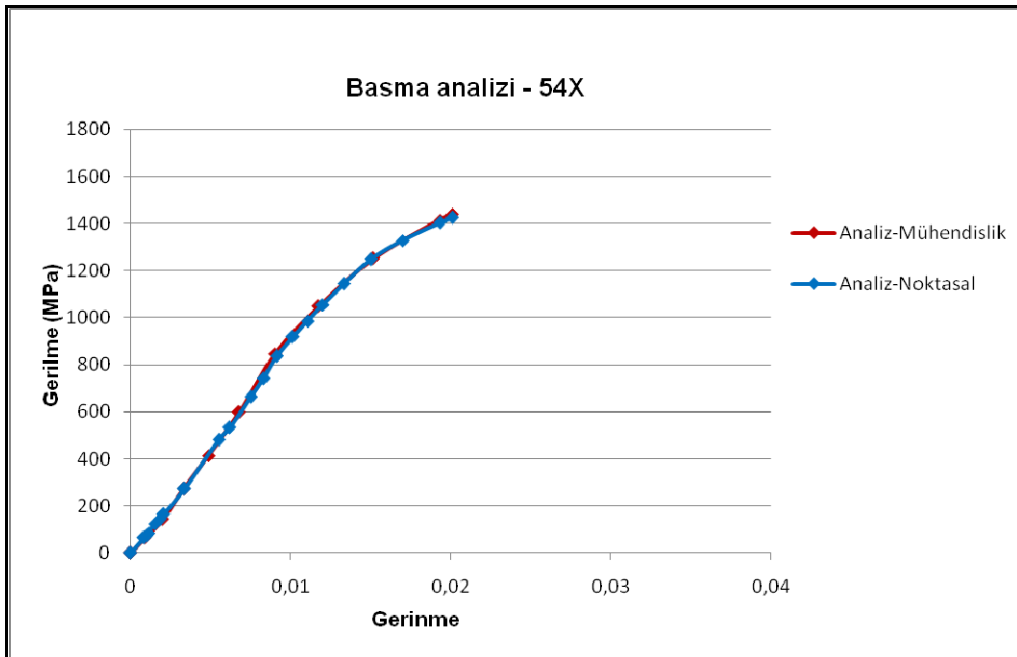
Şekil 6.3.2.14 48X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

54° açı ve V geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.2.15' te gösterilmiştir.



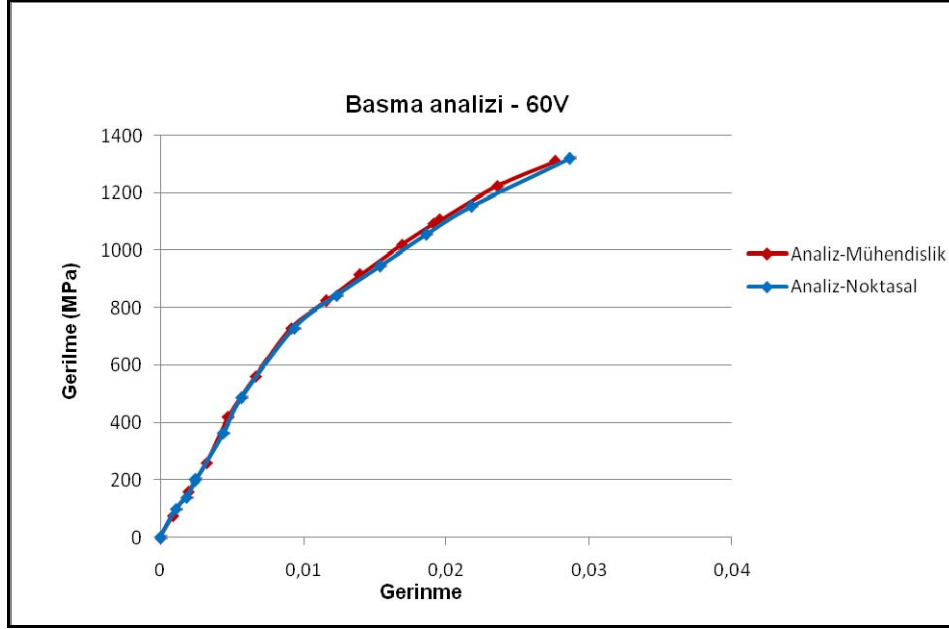
Şekil 6.3.2.15 54V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

54° açılı ve X geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.2.16' da gösterilmiştir.



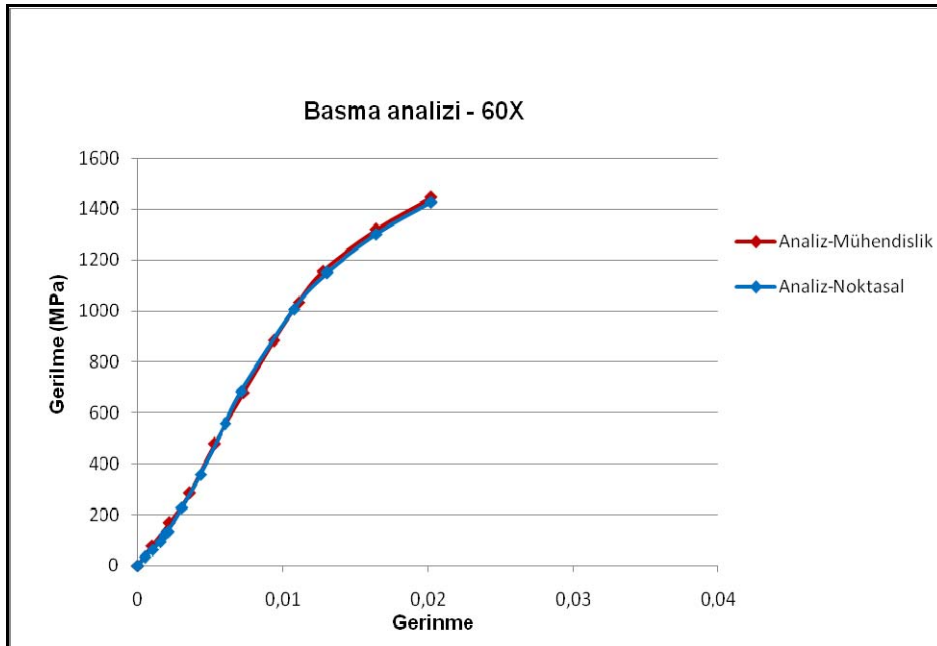
Şekil 6.3.2.16 54X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

60° açılı ve V geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.2.17'de gösterilmiştir.



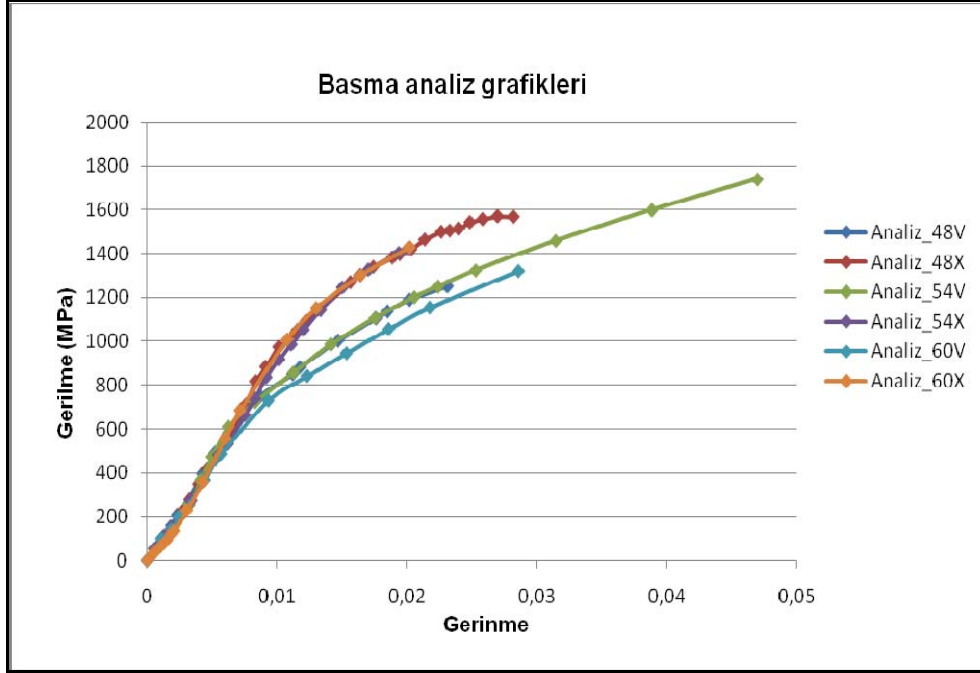
Şekil 6.3.2.17 60V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

60° açılı ve X geometriye sahip numunenin basma analizinden elde edilen analiz-noktasal ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.2.18'de gösterilmiştir.

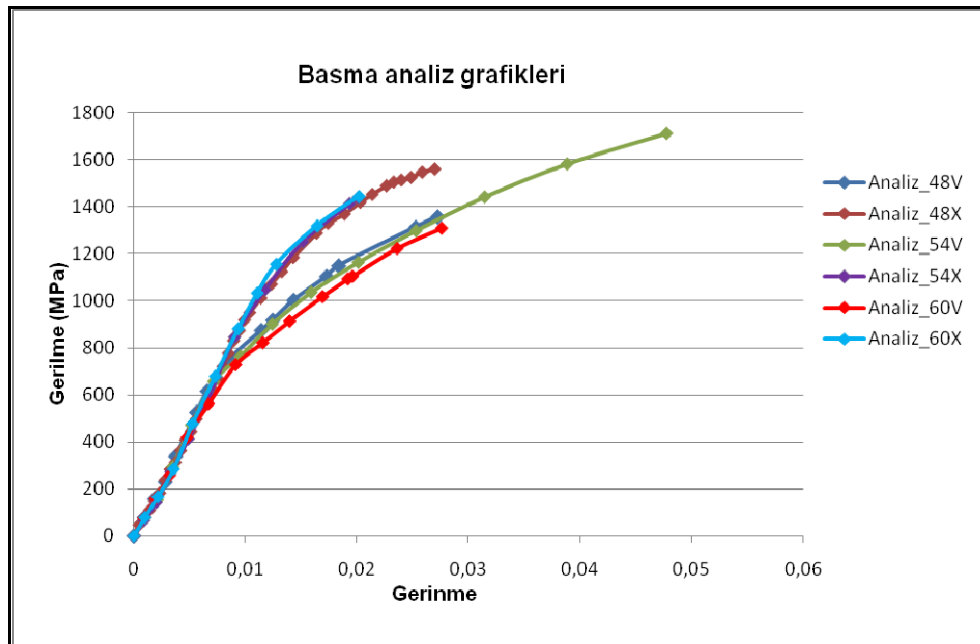


Şekil 6.3.2.18 60X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafikler

48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağzına sahip numunelerin basma analizlerinden elde edilen tüm analiz-noktasal gerilme-gerinme ve analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.2.19 ve Şekil 6.3.2.20'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3.2.19 Basma analizleri analiz-noktasal gerilme-gerinme grafikleri



Şekil 6.3.2.20 Basma analizleri analiz-mühendislik gerilme-gerinme grafikleri

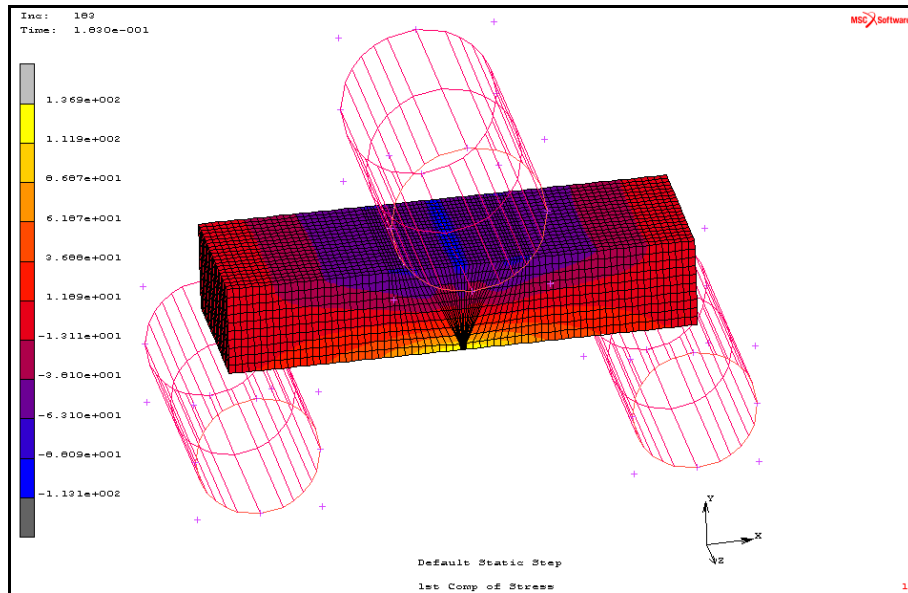
48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağız açısına sahip basma numunelerinin analiz sonuçlarından elde edilen mekanik özellikler Çizelge 6.3.2.1’de verilmiştir. Çizelge 6.3.2.1’deki sonuçlara göre maksimum akma dayanımı 54X kaynaklı numuneler için elde edilmiştir.

Çizelge 6.3.2.1 Basma analizlerinden elde edilen sonuçlar

Basma Analizleri	48V	48X	54V	54X	60V	60X
Akma Dayanımı (MPa)	750,2	1092,5	723,6	1054,2	729,2	1007,7
Elastisite Modülü (GPa)	92,8	91,8	97	90,4	84	90,1

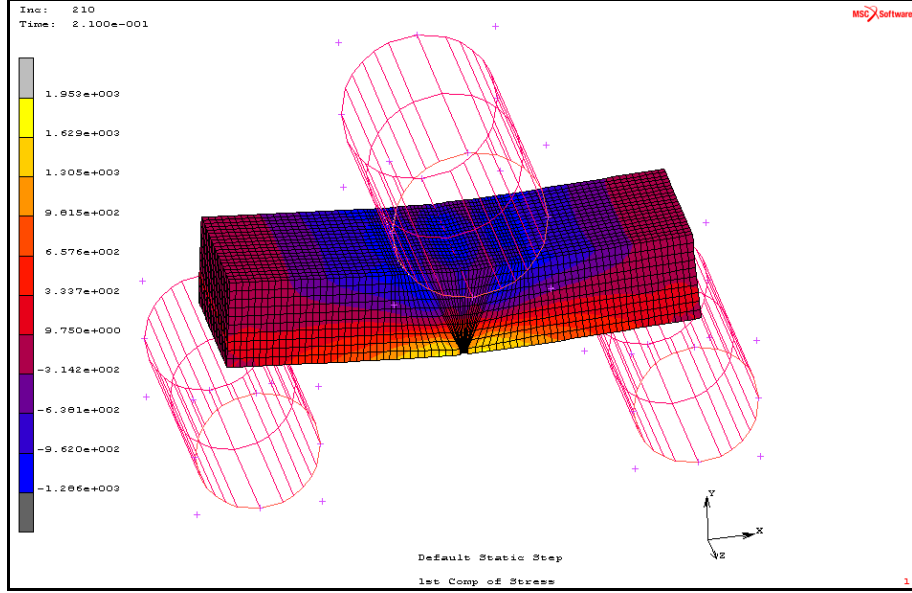
6.3.3 Üç nokta eğilme analizi sonuçları

48° açı ve V geometrisine sahip numunenin eğilme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.3.1 ve Şekil 6.3.3.2’de gösterilmiştir. Şekil 6.3.3.1’de 48V kaynaklı numunelerde kaynağın üst bölgelerinin basma gerilmeleri altında, kaynağın kök kısımlarının ise çekme gerilmesi altında olduğu gözlemlenmiştir.



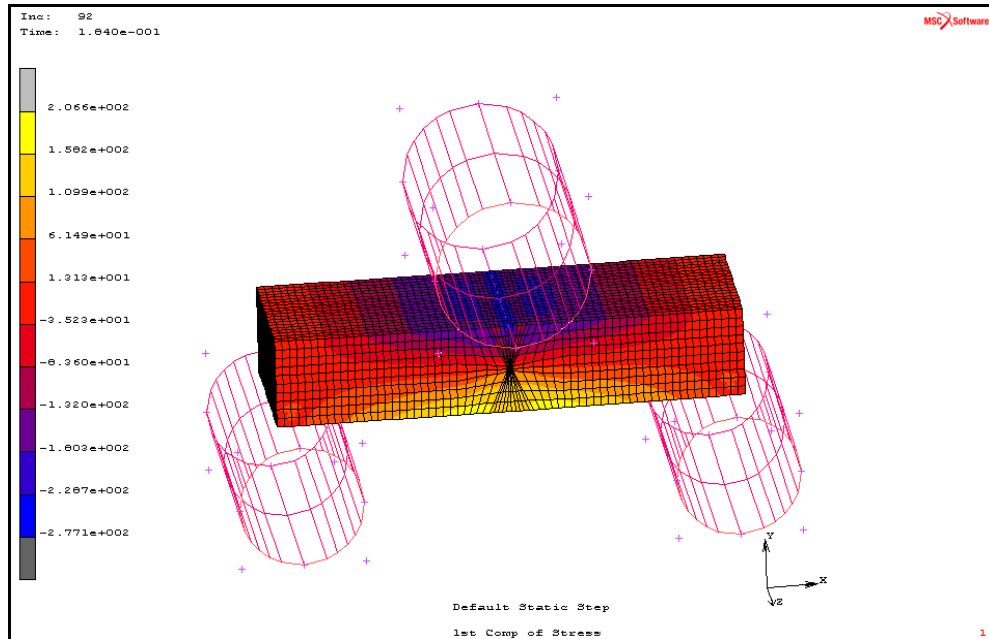
Şekil 6.3.3.1 48V için başlangıç anı x eksenli yönündeki gerilme dağılımı

48V kaynaklı numunenin son deformasyon hali Şekil 6.3.3.2' de görülmektedir. Basma gerilmeleri kaynağın üst kısmında yoğunlaşmıştır. En yüksek gerilmeler kaynağın kök kısmı ve kaynak ana metal geçiş kısımlarında gözlemlenmiştir.



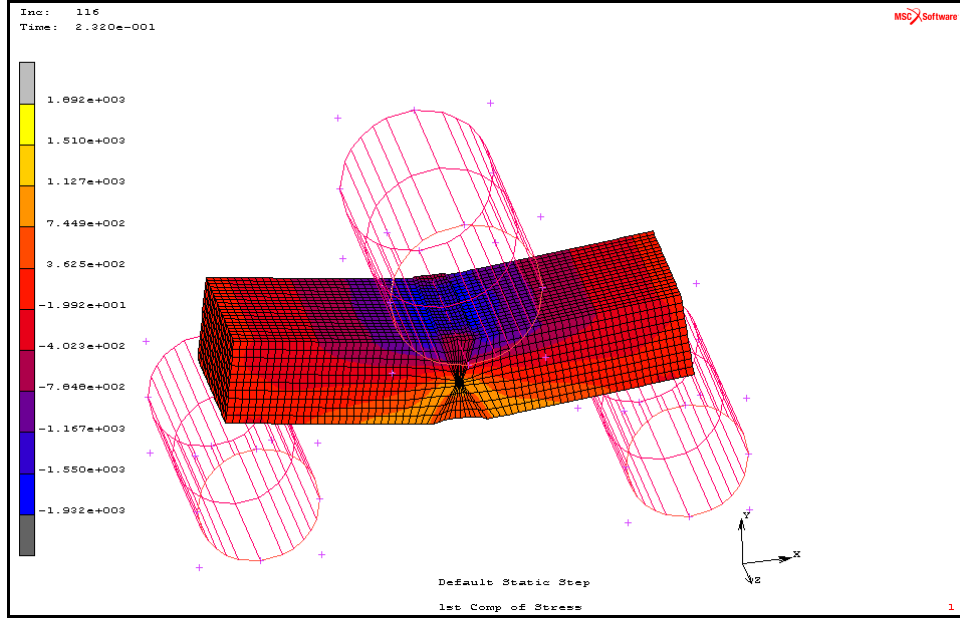
Şekil 6.3.3.2 48V için bitiş anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı

48° açı ve X geometrisine sahip numunenin eğilme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.3.3 ve Şekil 6.3.3.4' te gösterilmiştir. Şekil 6.3.3.3' te en yüksek gerilmeler kaynağın alt ve üst bölgelerinde, kaynak kök bölgesinde meydana gelmiştir.



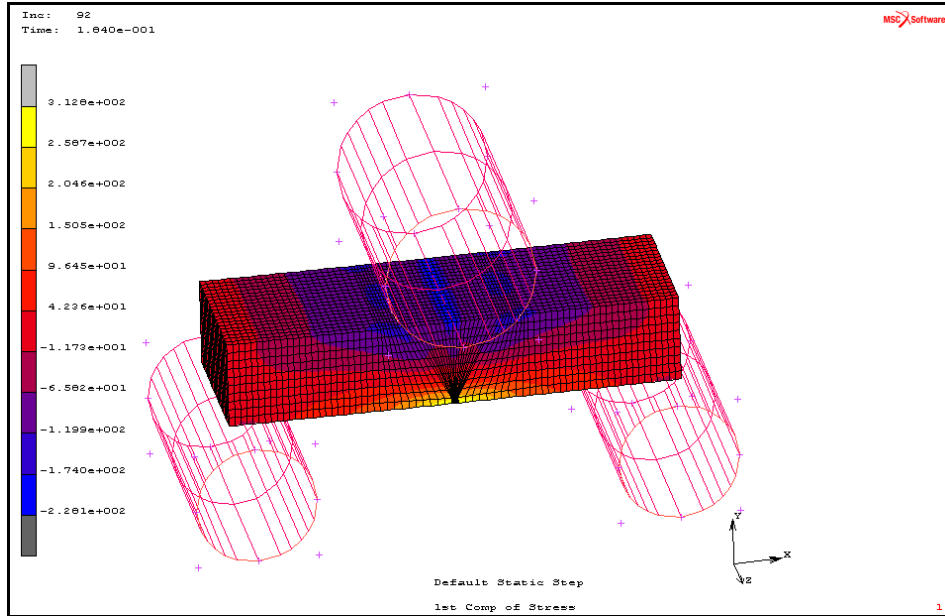
Şekil 6.3.3.3 48X için başlangıç anı x eksenini yönündeki gerilme dağılımı

Şekil 6.3.3.4' te kaynaklı numunedeki kaynak bölgesinin tamamen deforme olduğu görülmektedir. Gerilmeler, ısı tesiri altındaki bölgede, kaynağın üst bölgesinde yoğunlaşmıştır.



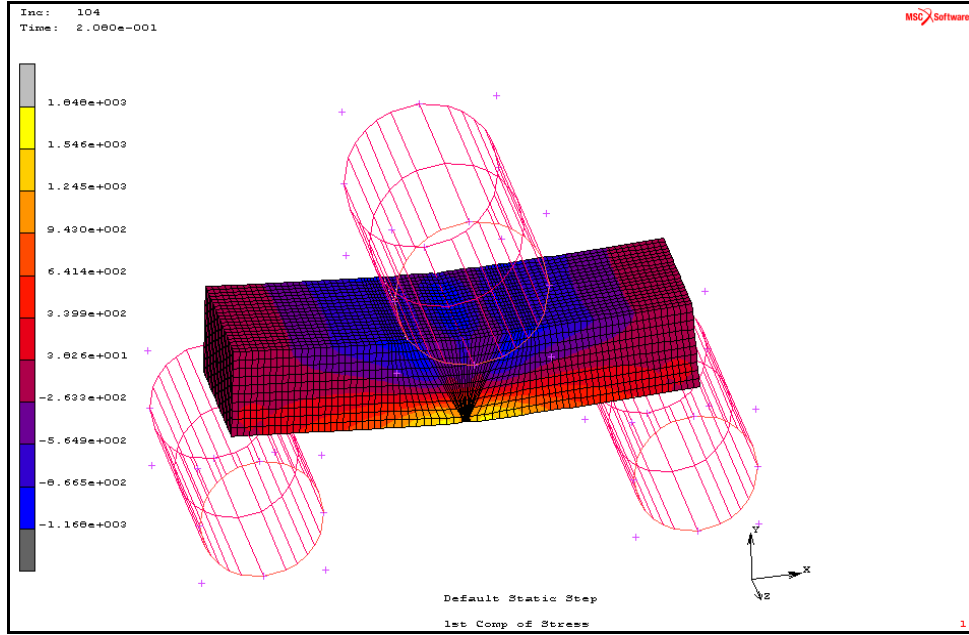
Şekil 6.3.3.4 48X için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

54° açısı ve V geometrisine sahip numunenin eğilme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.3.5 ve Şekil 6.3.3.6' da gösterilmiştir. Maksimum gerilme kaynağın kök bölgesinde çıkmıştır.



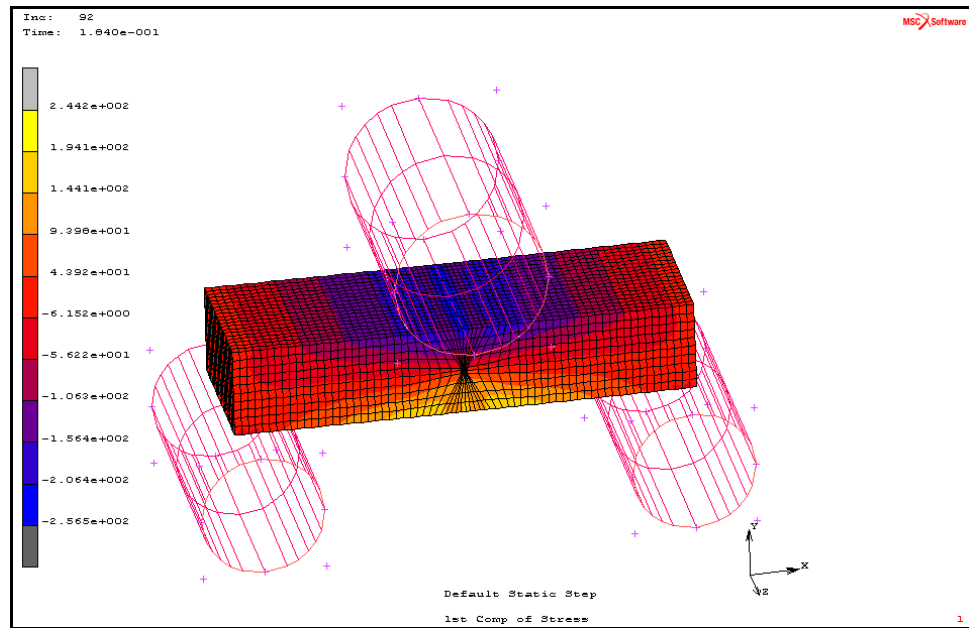
Şekil 6.3.3.5 54V için başlangıç anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

Şekil 6.3.3.6'da kaynağın kök bölgesinde elde edilen gerilme değerleri yüksektir. En yüksek gerilme değerleri 1800 MPa civarında çıkmıştır.



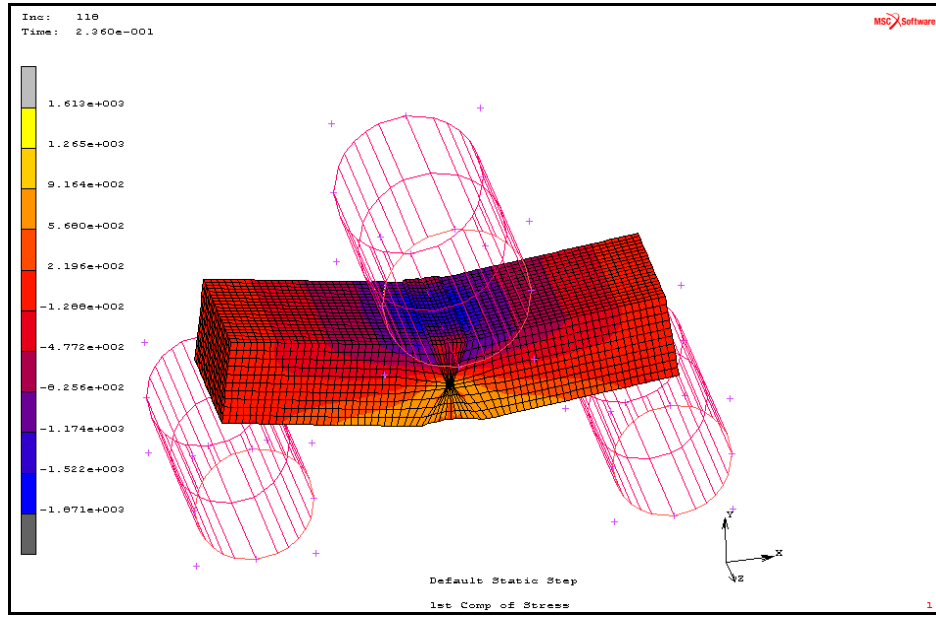
Şekil 6.3.3.6 54V için bitiş anı x eksenine yönündeki gerilme dağılımı

54° açılı ve X geometrisine sahip numunenin eğilme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.3.7 ve Şekil 6.3.3.8' de gösterilmiştir.



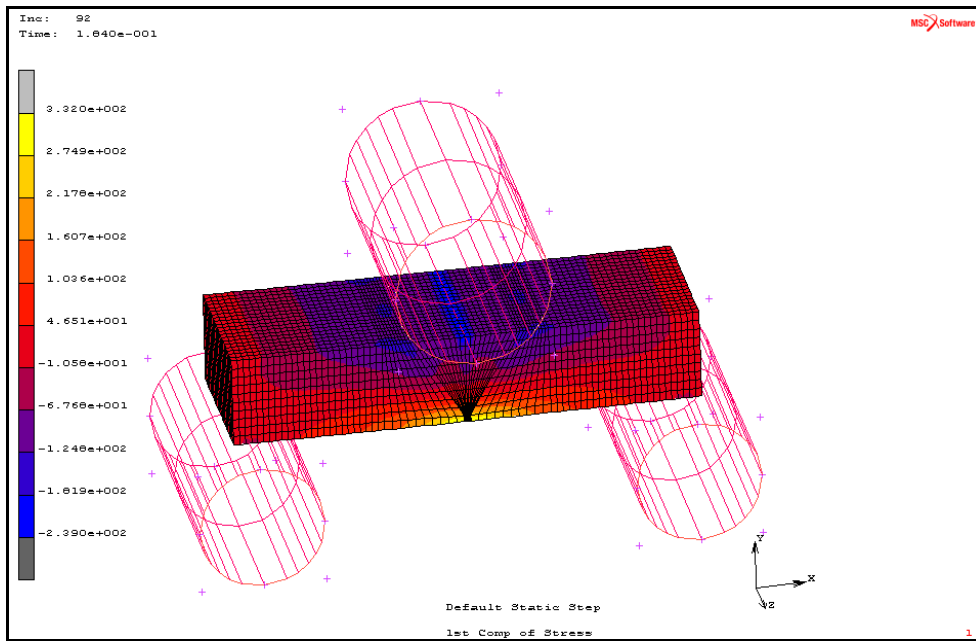
Şekil 6.3.3.7 54X için başlangıç anı x eksenine yönündeki gerilme dağılımı

Şekil 6.3.3.8' e bakıldığında kaynağın iyice deforme olduğu ve kaynak bölgesinde gerilmelerin yükseldiği gözlemlenmiştir.



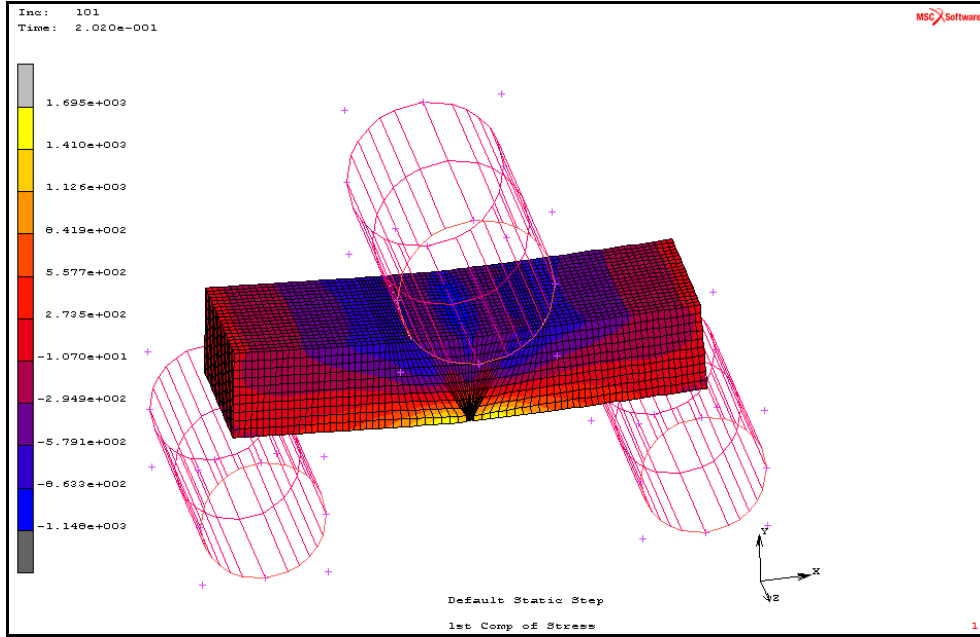
Şekil 6.3.3.8 54X için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

60° açılı ve V geometrisine sahip numunenin eğilme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.3.9 ve Şekil 6.3.3.10' da gösterilmiştir. Şekil 6.3.3.9' da gerilmelerin kaynak kök bölgesi kısmında yoğunlaştığı görülmektedir.



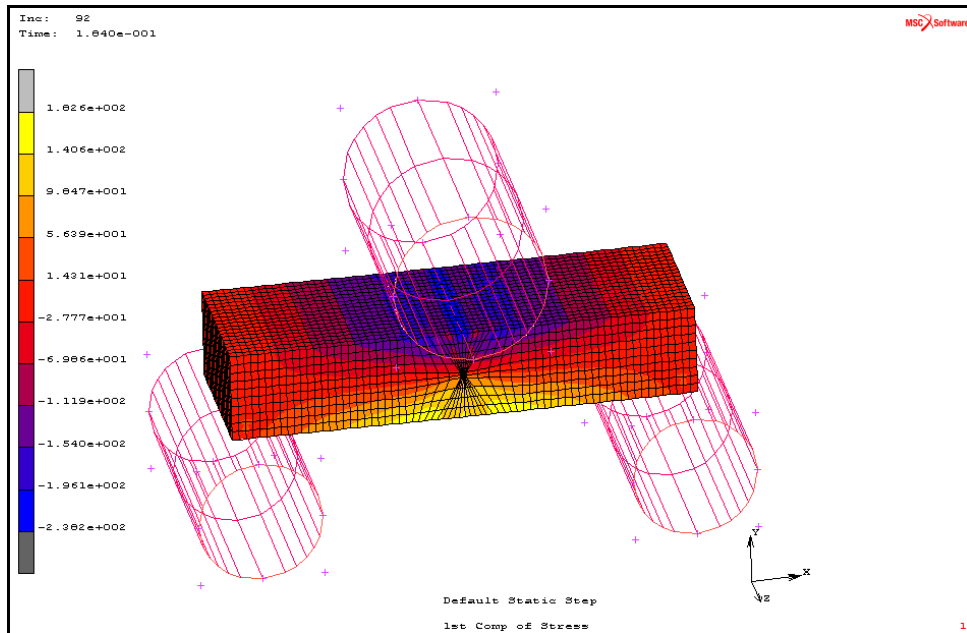
Şekil 6.3.3.9 60V için başlangıç anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

Şekil 6.3.3.9' da maksimum gerilmeler 1600 MPa civarında kaynağın kök bölgesinde çıkmıştır.



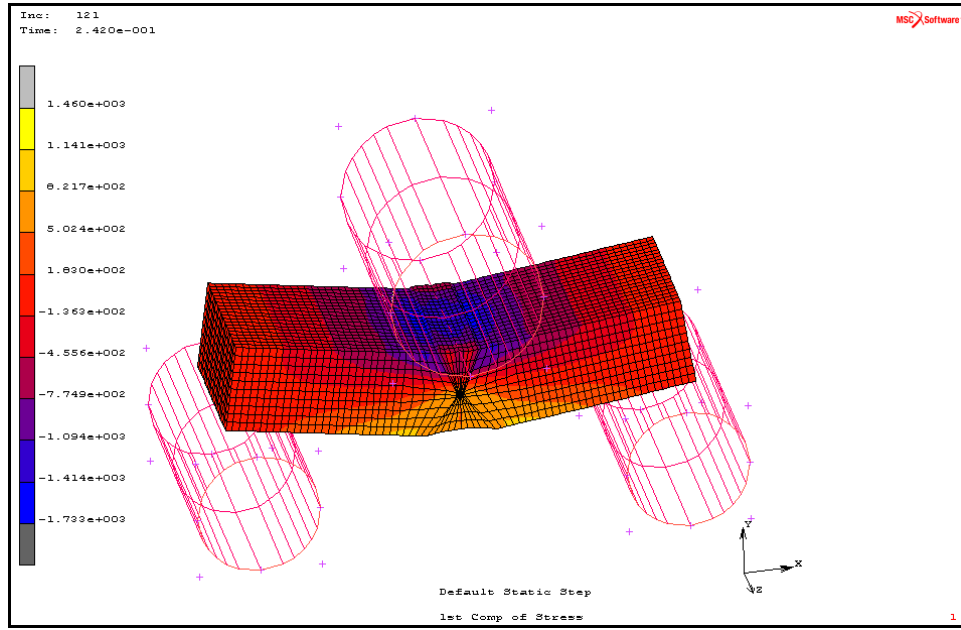
Şekil 6.3.3.10 60V için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

60° açı ve X geometrisine sahip numunenin eğilme analizinden elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.3.3.11 ve Şekil 6.3.3.12' de gösterilmiştir. Şekil 6.3.3.11' de en kritik gerilme bölgelerinin kaynağın alt kısımları ve kaynak kök kısmı olduğu görülmüştür.



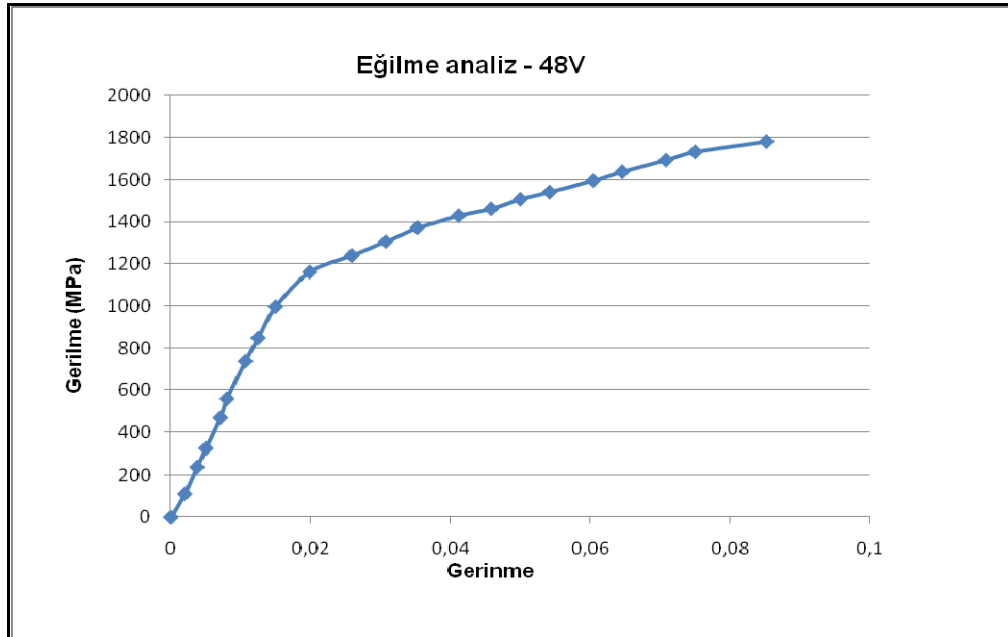
Şekil 6.3.3.11 60X için başlangıç anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

Şekil 6.3.3.12 'de en yüksek gerilmeler, kaynak bölgesinde 1460 MPa olarak bulunmuştur.

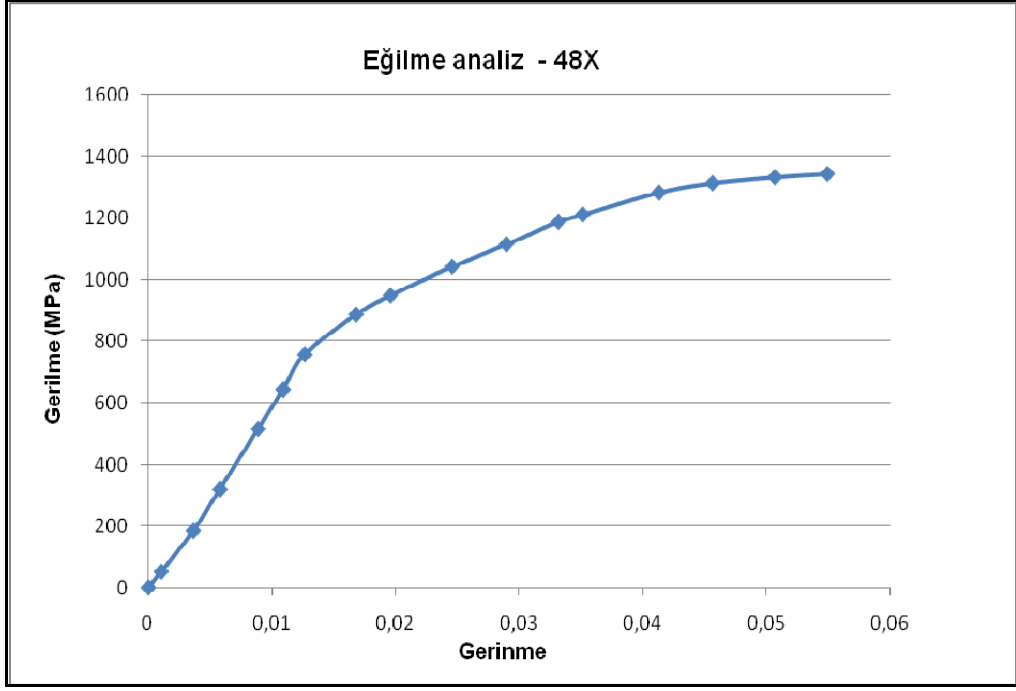


Şekil 6.3.3.12 60X için bitiş anı x eksenı yönündeki gerilme dağılımı

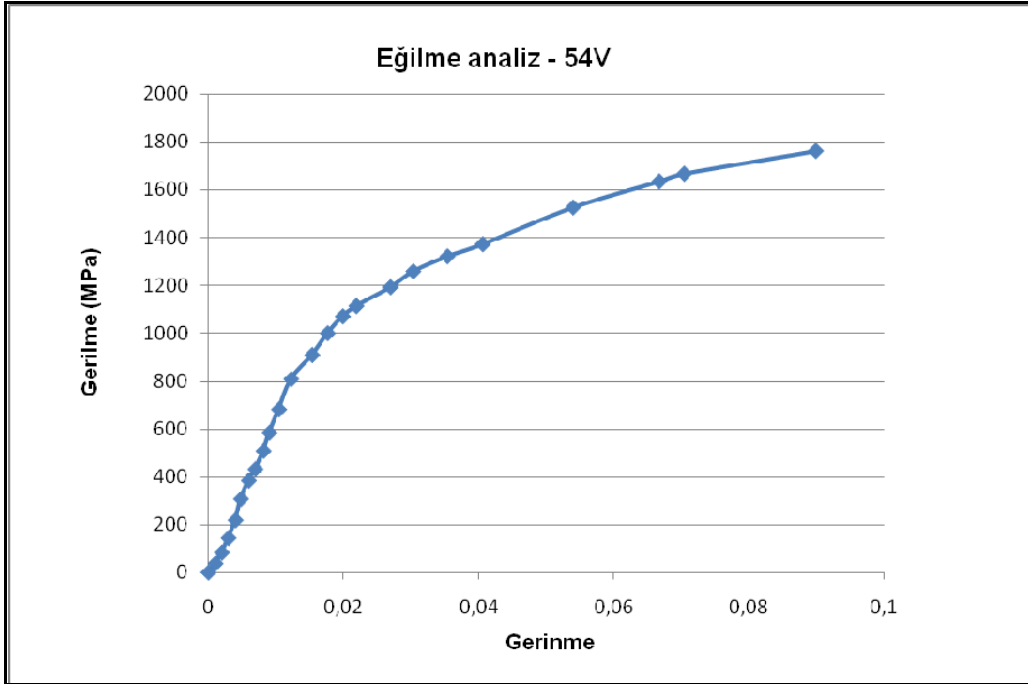
48°, 54°, 60° açılarında V ve X geometrilerinde kaynak ağzına sahip numunelerin MARC sonlu elemanlar programında gerçekleştirilen üç nokta eğilme analizlerinden elde edilen sonuçlara göre numunelere ait gerilme-gerinme eğrileri çizilmiştir. 48° açı ve V geometriye sahip numunenin eğilme analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafiği Şekil 6.3.3.13' te gösterilmiştir.



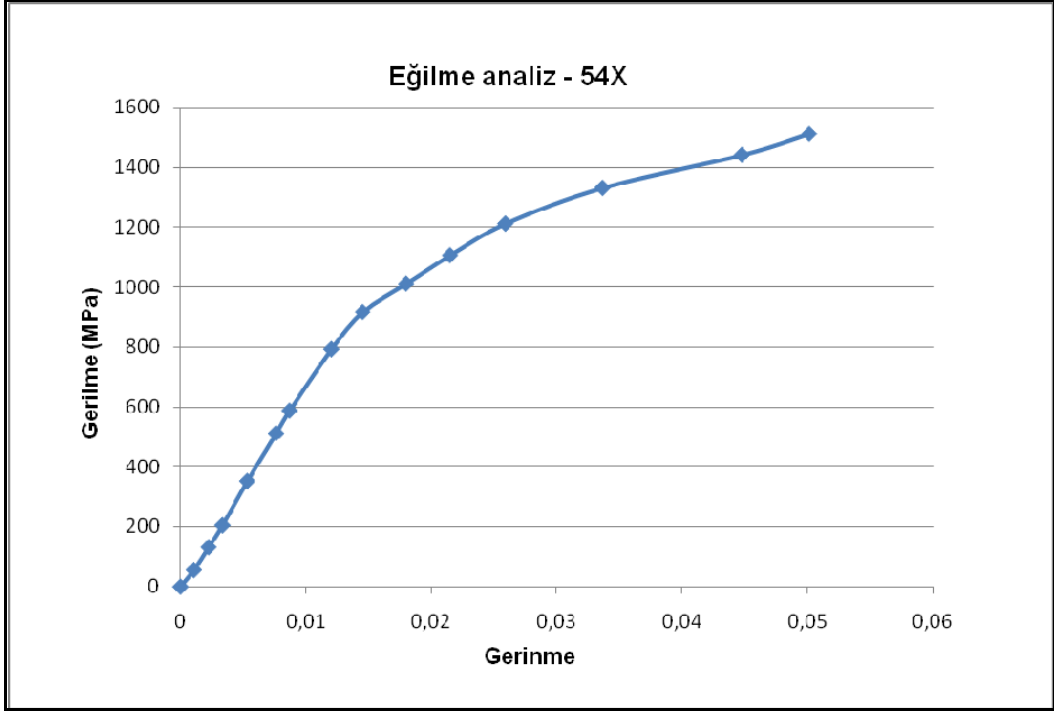
Şekil 6.3.3.13 48V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik



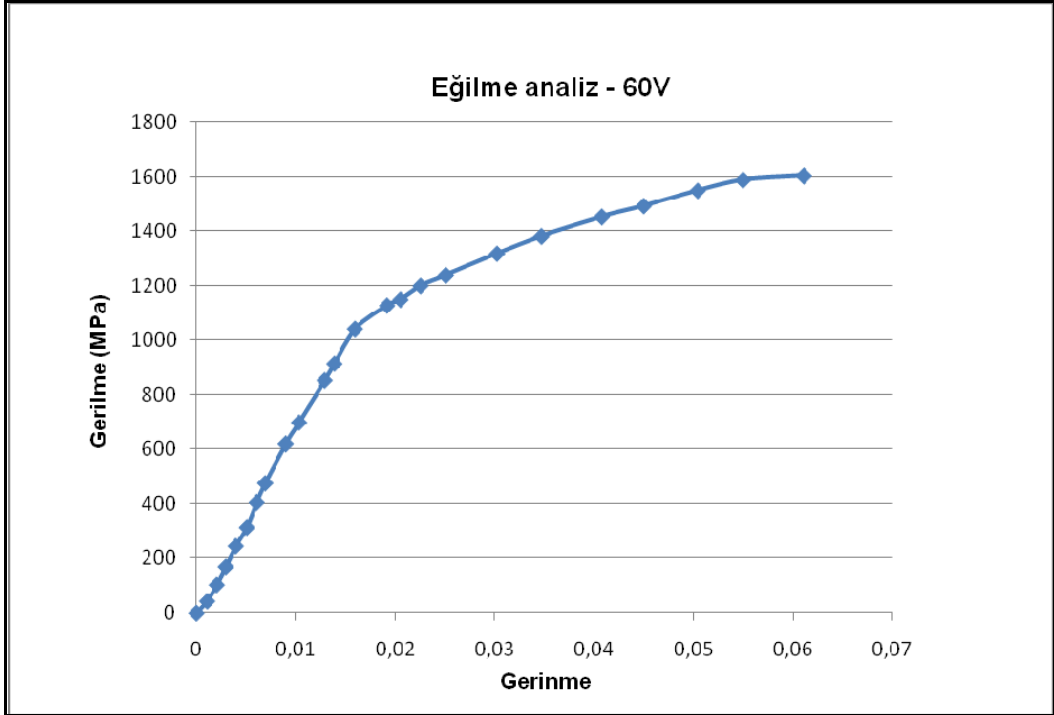
Şekil 6.3.3.14 48X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik



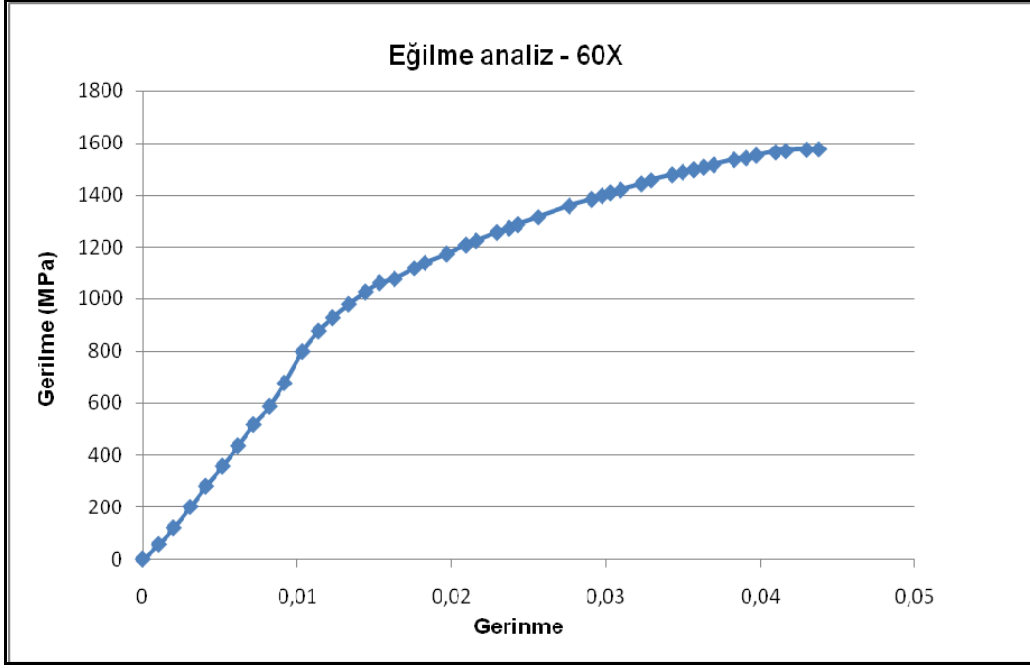
Şekil 6.3.3.15 54V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik



Şekil 6.3.3.16 54X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik

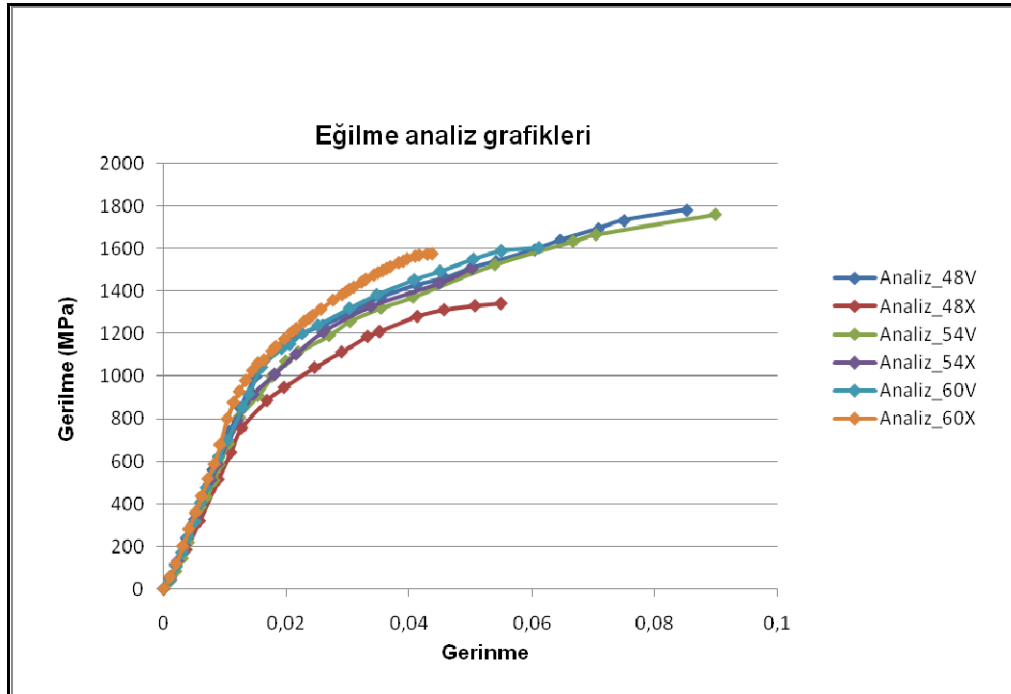


Şekil 6.3.3.17 60V kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik



Şekil 6.3.3.18 60X kaynaklı numune için analizden elde edilen grafik

Üç farklı açıda X ve V geometrilerinde kaynak ağzına sahip numunelerin eğilme analizlerinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 6.3.3.19’ da gösterilmiştir.



Şekil 6.3.3.19 Eğilme analizleri gerilme-gerinme grafikleri

48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağızı açısına sahip numunelerin eğilme analiz sonuçlarından elde edilen elastisite modülü değerleri Çizelge 6.3.2.1’de verilmiştir. Çizelge 6.3.2.1’deki sonuçlara göre, en yüksek elastisite modülü değeri, 60X kaynaklı numuneler için elde edilmiştir. En düşük elastisite modülü değeri 63 MPa, en yüksek elastisite modülü değeri 75,5 MPa olarak bulunmuştur.

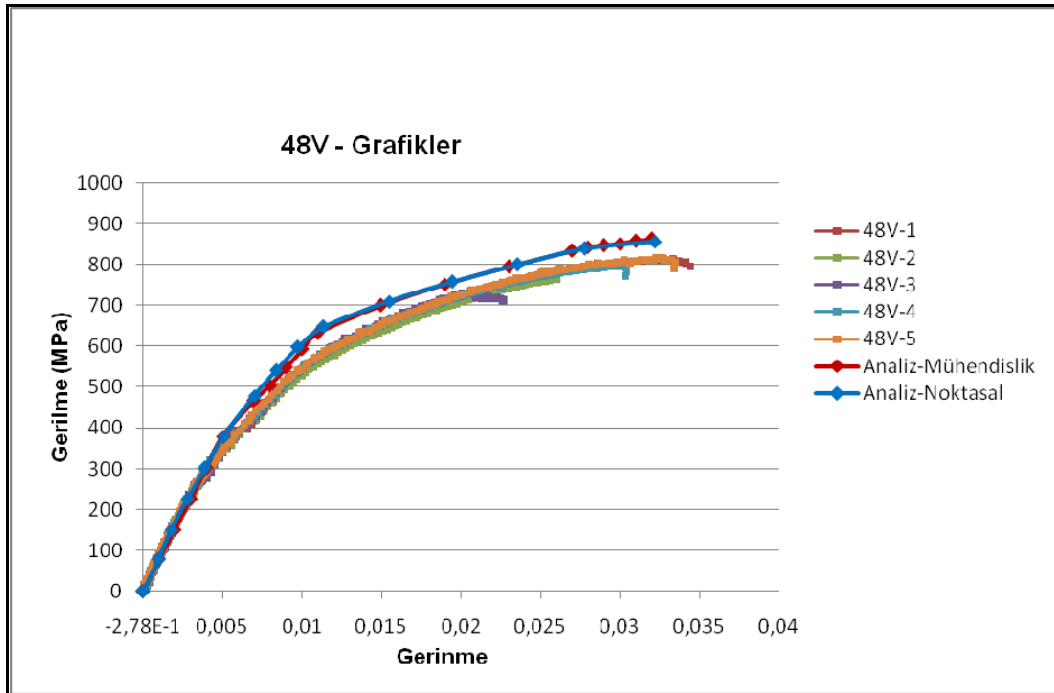
Çizelge 6.3.3.1 Eğilme analizlerinden elde edilen sonuçlar

Eğilme Analizleri	48V	48X	54V	54X	60V	60X
Elastisite Modülü (GPa)	74,4	63	70	70,6	74,9	75,5

7. DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

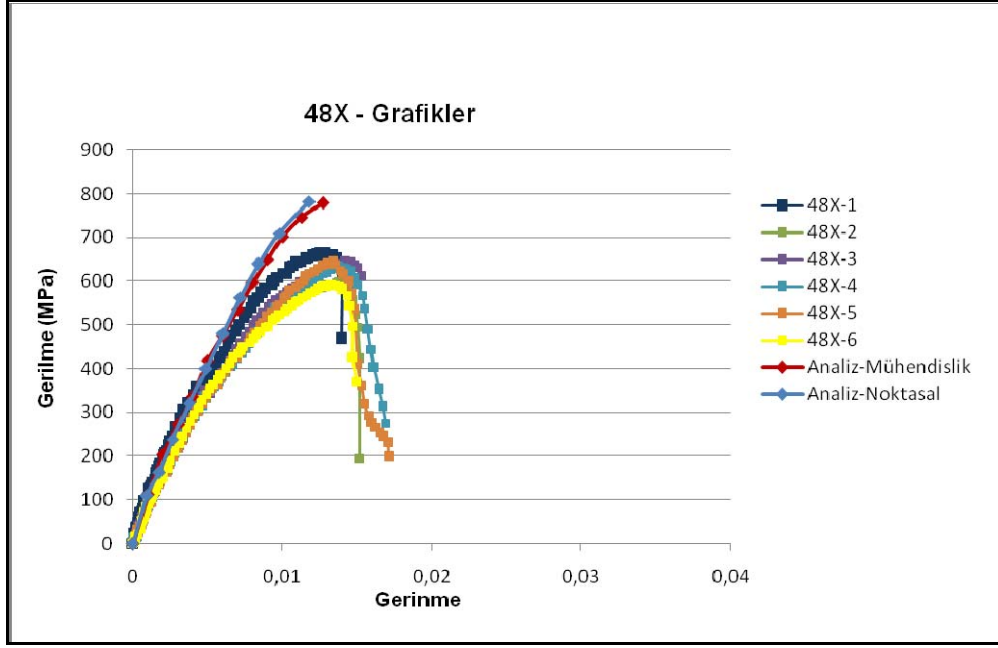
X ve V geometrilerinde, 48°, 54°, 60° açılarında kaynak ağzına sahip MIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla numunelere çekme, basma, üç nokta eğilme gibi tahribatlı test yöntemleri uygulanmıştır. Kaynak ağzı açılarının ve geometrilerinin çekme, basma ve eğilme dayanımına olan etkileri sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. MARC sonlu elemanlar programında gerçekleştirilen sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çekme, basma ve eğilme analizlerinden, çıktı olarak mühendislik gerilme-gerinme değerleri elde edilmiştir. Deneyden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri ile sonlu eleman analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri birbirlerine yakın çıkmışlardır.

48° açı ve V geometriye sahip numunelerin çekme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



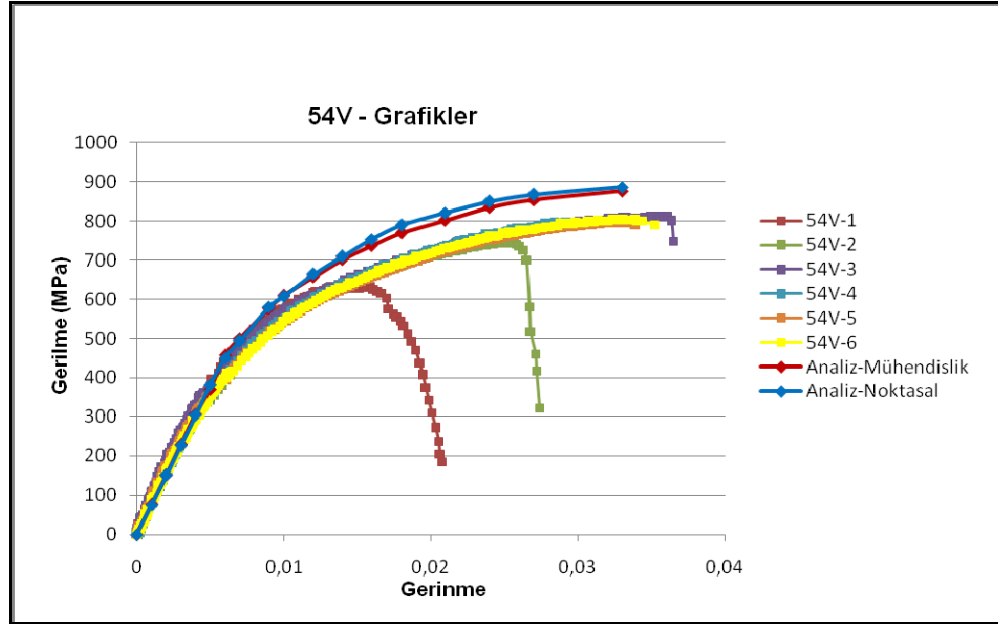
Şekil 7.1 48V çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

48° açı ve X geometriye sahip numunelerin çekme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.2' de gösterilmiştir.



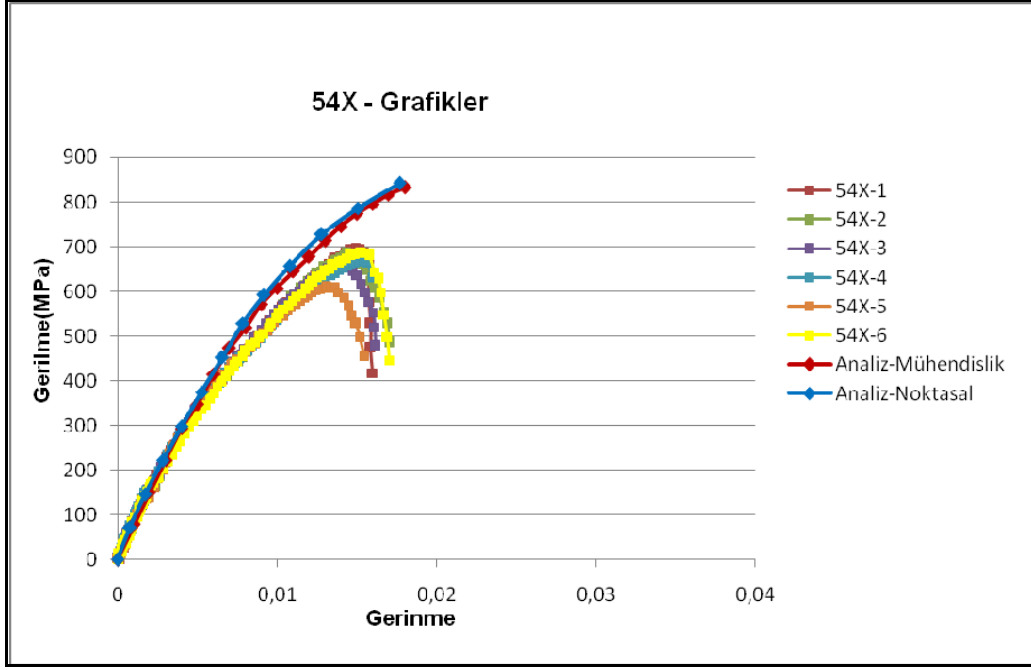
Şekil 7.2 48X çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

54° açı ve V geometriye sahip numunelerin çekme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.3' te gösterilmiştir.



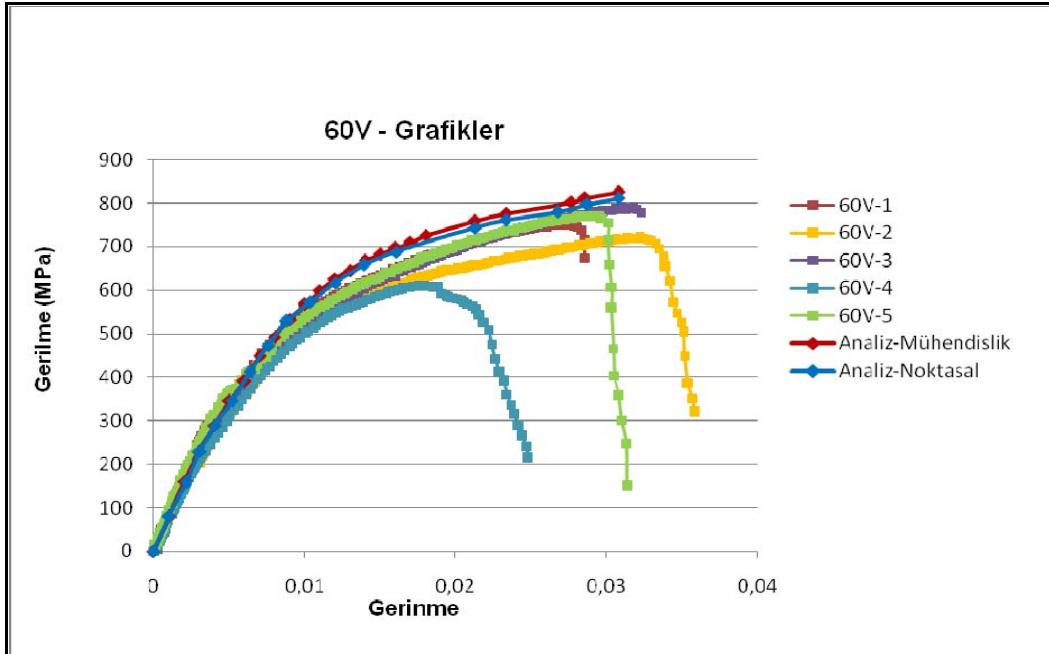
Şekil 7.3 54V çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

54° açı ve X geometriye sahip numunelerin çekme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.5' te gösterilmiştir.



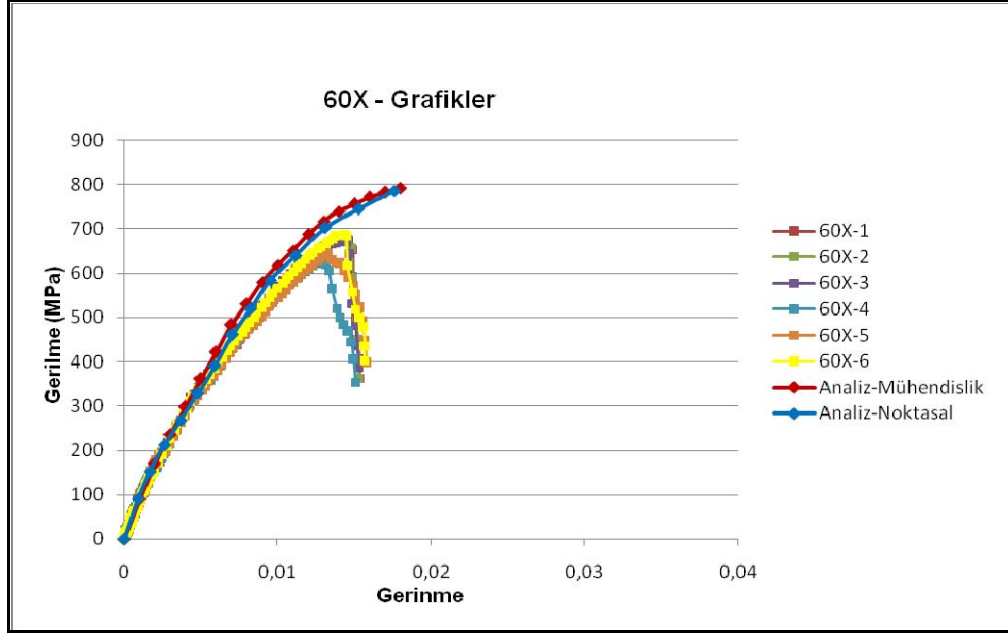
Şekil 7.4 54X çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

60° açı ve V geometriye sahip numunelerin çekme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.5' te gösterilmiştir.



Şekil 7.5 60V çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

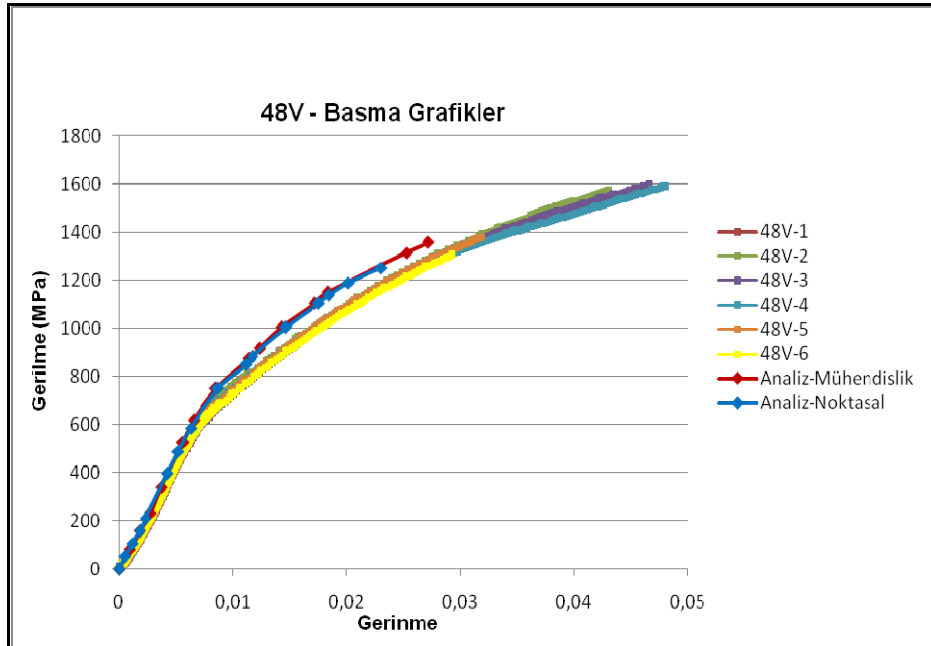
60° açı ve X geometriye sahip numunelerin çekme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.6' da gösterilmiştir.



Şekil 7.6 60X çekme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

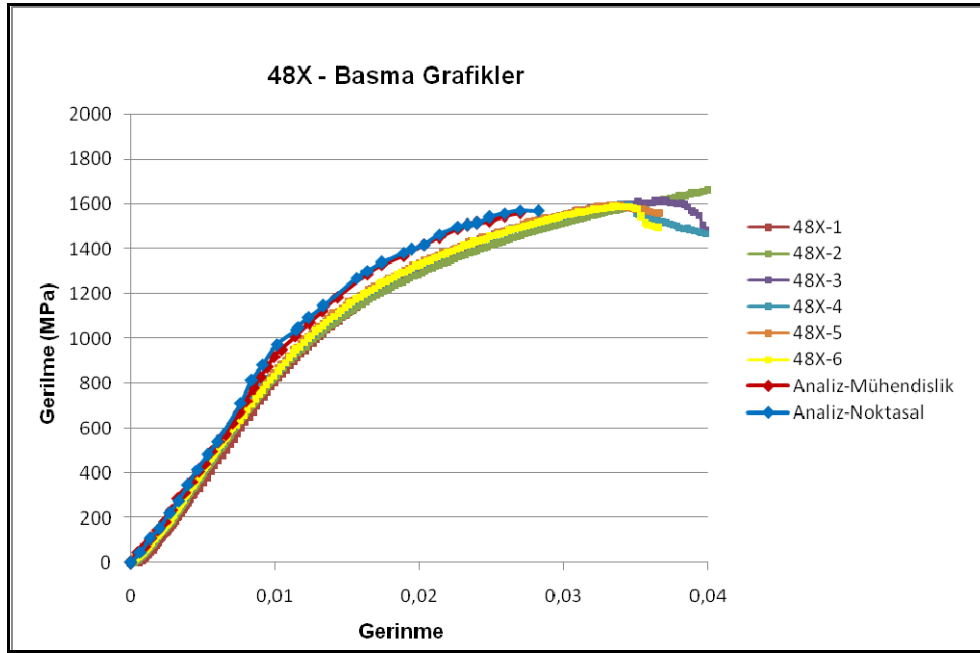
Şekil 7.1'den Şekil 7.6'ya kadar olan çekme grafiklerinde görüldüğü üzere, değişik kaynak geometrisi ve kaynak ağzı açılına bağlı olarak, elastik bölgede önemli bir farklılık görülmemekle beraber, plastik bölgeye bakıldığında %8,8 ile %22 arasında farklılıklar saptanmıştır.

48° açı ve V geometriye sahip numunelerin basma deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.7' de gösterilmiştir.



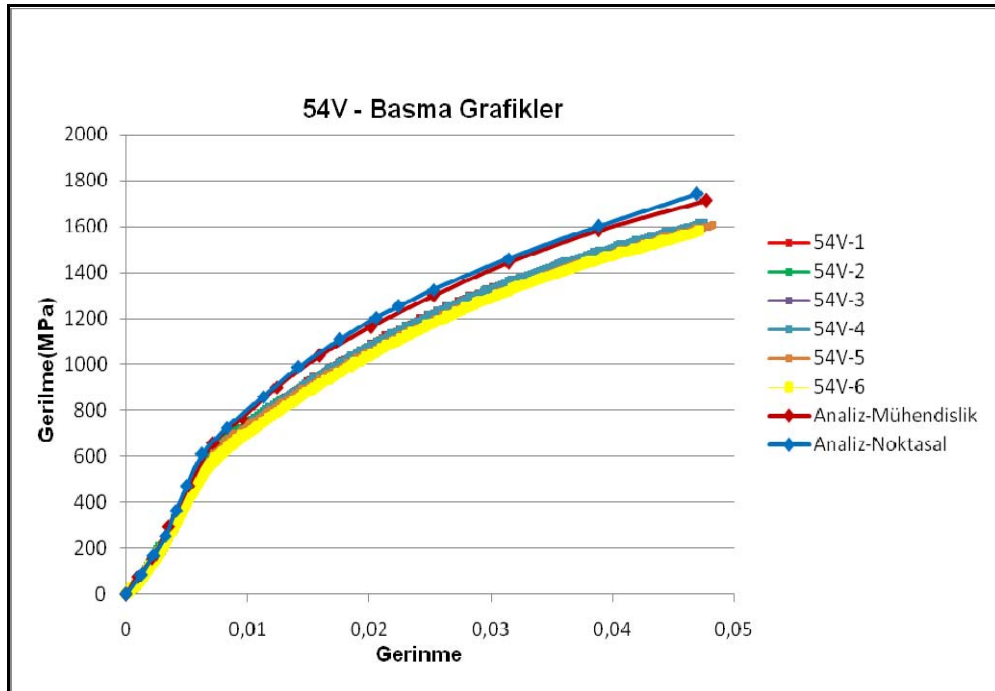
Şekil 7.7 48V basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

48° açılı ve X geometriye sahip numunelerin basma deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.8’de gösterilmiştir.



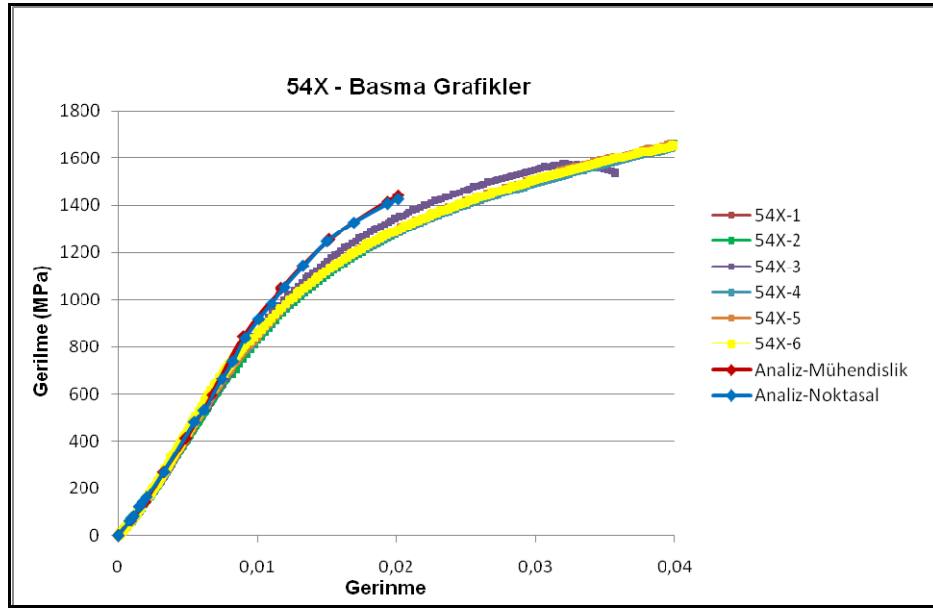
Şekil 7.8 48X basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

54° açılı ve V geometriye sahip numunelerin basma deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.9’da gösterilmiştir.



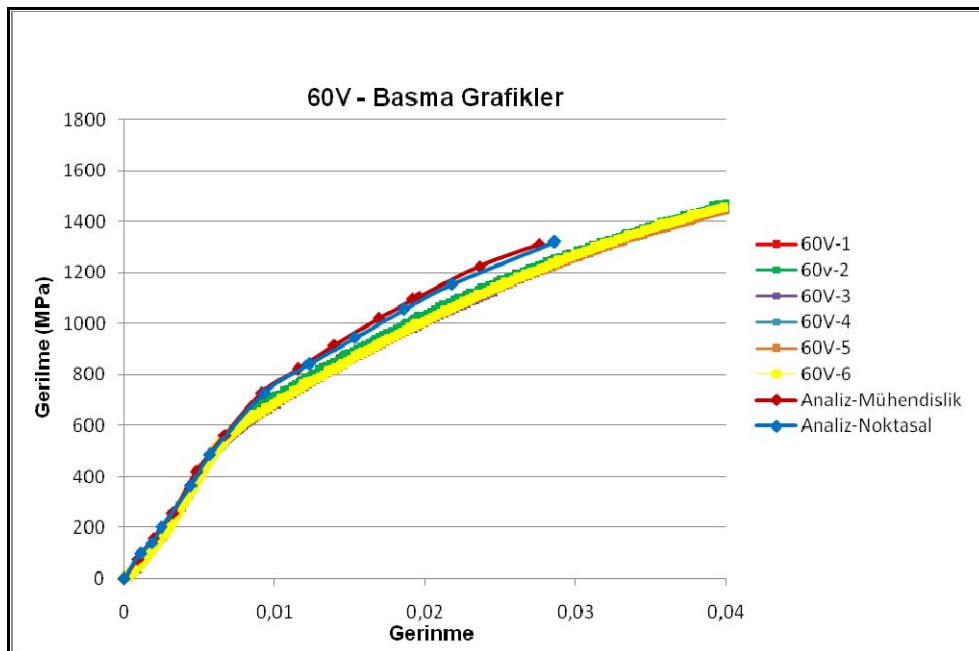
Şekil 7.9 54V basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

54° açı ve X geometriye sahip numunelerin basma deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.10' da gösterilmiştir.



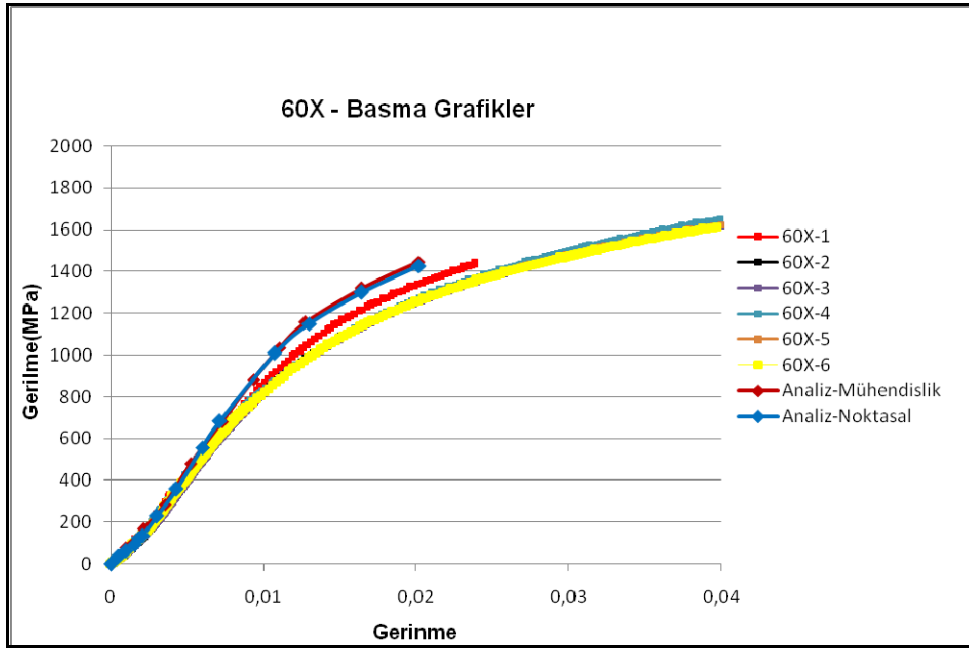
Şekil 7.10 54X basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

60° açı ve V geometriye sahip numunelerin basma deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.11' da gösterilmiştir.



Şekil 7.11 60V basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

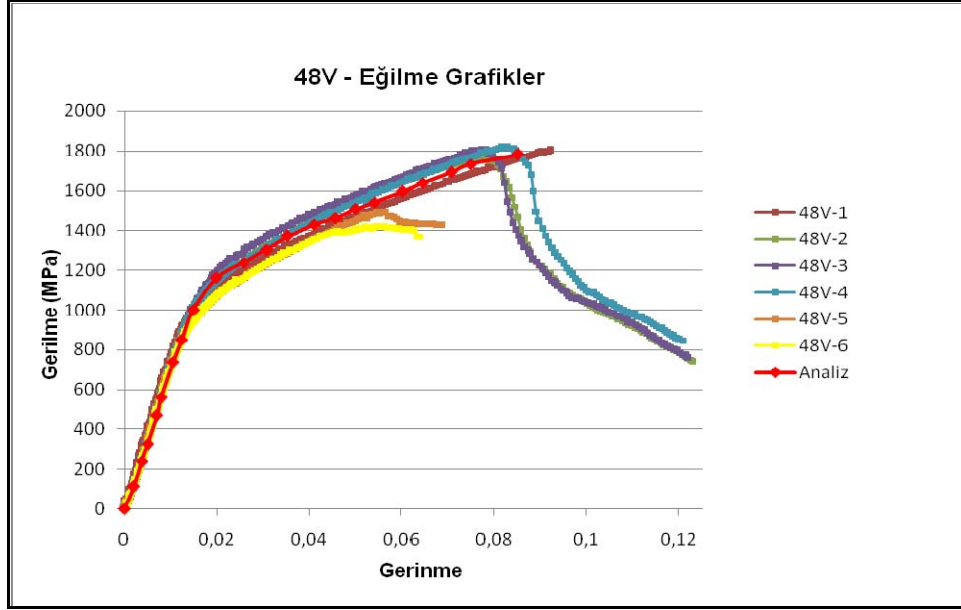
60° açı ve X geometriye sahip numunelerin basma deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.12' de gösterilmiştir.



Şekil 7.12 60X basma deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

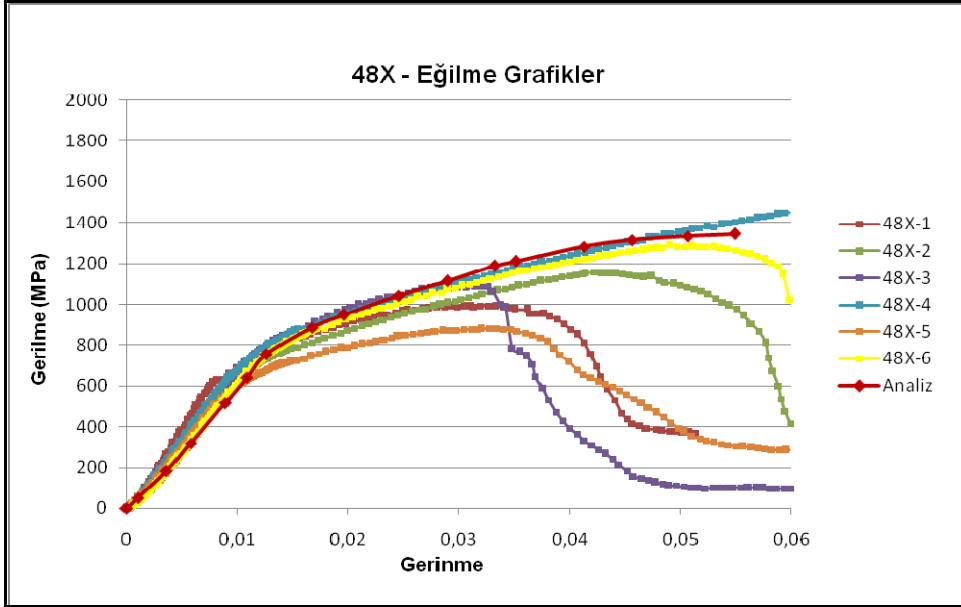
Şekil 7.7'den Şekil 7.12'ye kadar olan basma grafiklerine bakıldığında, değişik kaynak geometrisi ve kaynak ağızı açılarına bağlı olarak, elastik bölgede önemli bir farklılık görülmemektedir, plastik bölge kısmında %9 ile %15,2 arasında farklılıklar saptanmıştır.

48° açı ve V geometriye sahip numunelerin eğilme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.13' te verilmiştir.



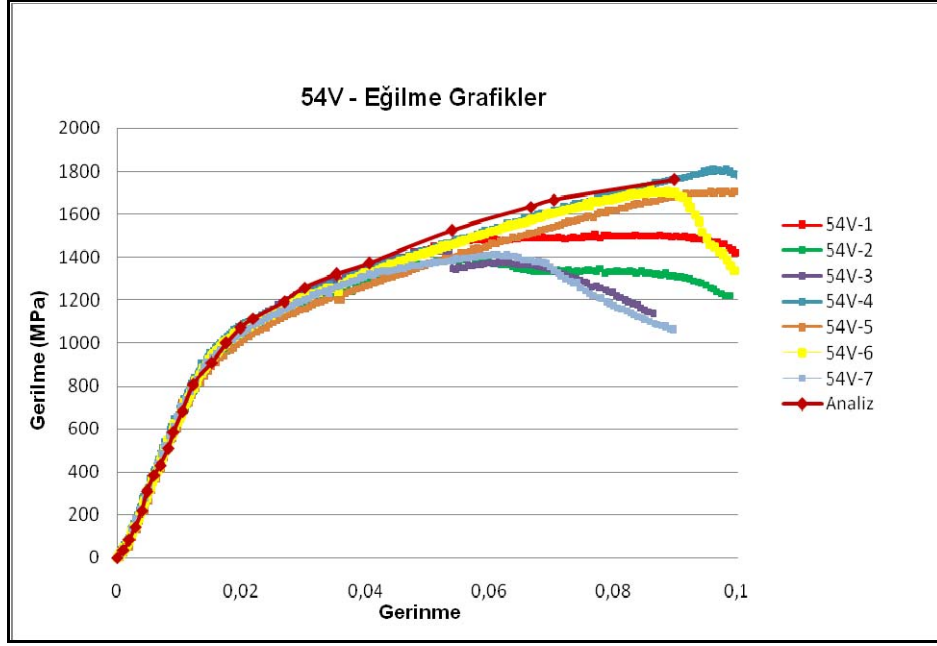
Şekil 7.13 48V eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

48° açılı ve X geometriye sahip numunelerin eğilme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.14' te verilmiştir.



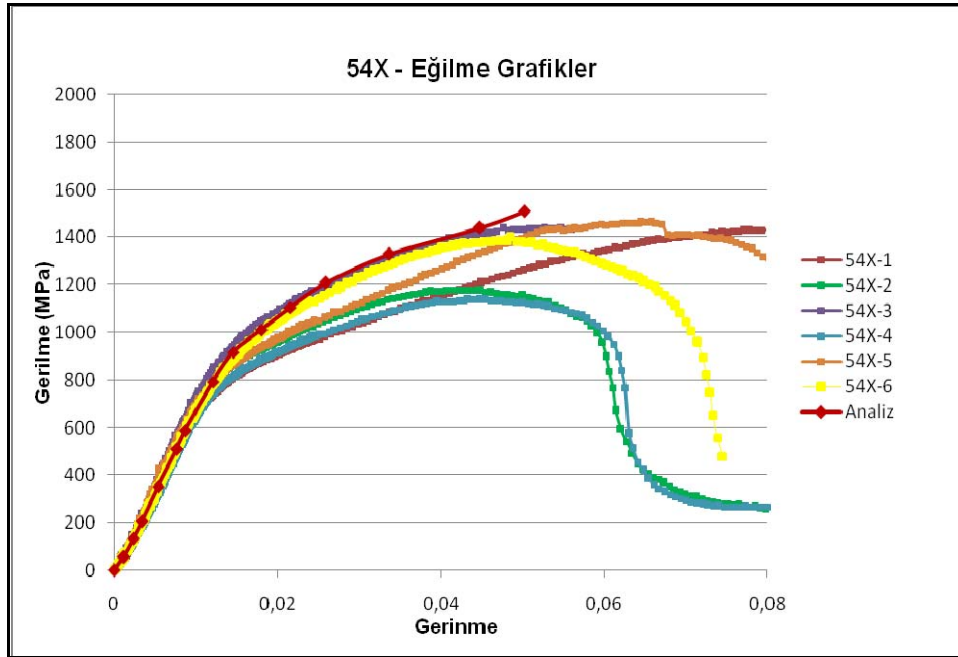
Şekil 7.14 48X eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

54° açılı ve V geometriye sahip numunelerin eğilme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.15' te verilmiştir.



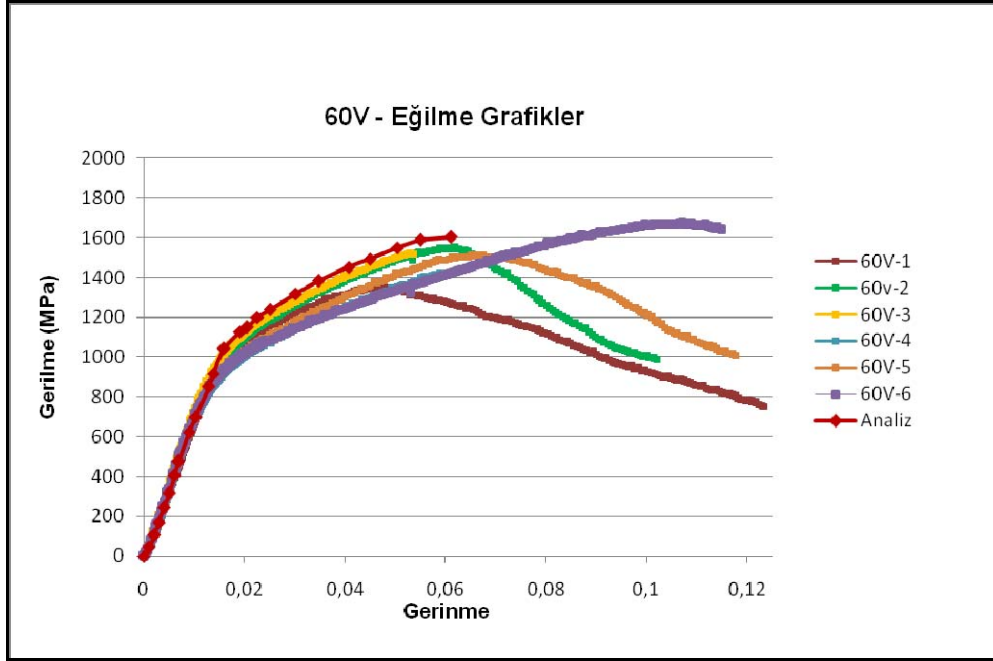
Şekil 7.15 54V eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

54° açılı ve X geometriye sahip numunelerin eğilme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.16’da verilmiştir.



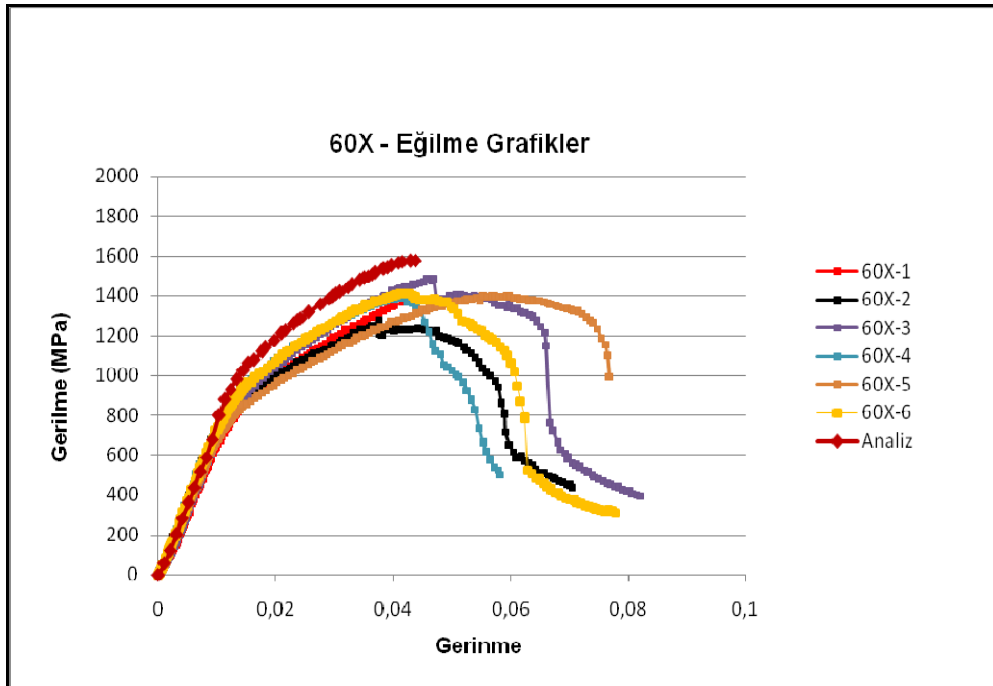
Şekil 7.16 54X eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

60° açılı ve V geometriye sahip numunelerin eğilme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerinme grafikleri Şekil 7.17’de verilmiştir.



Şekil 7.17 60V eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

60° açı ve X geometriye sahip numunelerin eğilme deneylerinden ve analizinden elde edilen gerilme-gerilme grafikleri Şekil 7.18' de verilmiştir.



Şekil 7.18 60X eğilme deneylerinden ve analizden elde edilen grafikler

Şekil 7.13'ten Şekil 7.18'e kadar olan eğilme grafiklerinde görüldüğü üzere, değişik kaynak geometrisi ve kaynak ağzı açılarına bağlı olarak, elastik bölgede önemli bir

farklılık görülmemektedir, plastik bölge kısmında %3,7 ile %14,9 arasında farklılıklar saptanmıştır.

48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağzı açısına sahip çekme, numunelerinin deney ve analiz sonuçlarından elde edilen mekanik özellikler Çizelge 7.1' de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Çekme deneylerinden ve analizlerinden elde edilen sonuçlar

	Akma Dayanımı (MPa)(Deney)	Akma Dayanımı (MPa)(Analiz)	Elastisite Modülü (GPa)(Deney)	Elastisite Modülü (GPa)(Analiz)	Akma Dayanımı Hata (%)	Elastisite Modülü Hata (%)
48V	500,5	478,5	70	69,8	4,6	0,3
54V	512,7	494,5	72,2	77	3,7	6,6
60V	483,4	473,4	67,8	63,1	2,1	7,5
48X	477,4	480,8	78,6	74,4	0,7	5,6
54X	456,3	451,6	74,5	69,1	1,0	7,9
60X	439,2	461,9	80,5	61,7	5,2	30,4

48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağzı açısına sahip numunelerin, basma deney ve analiz sonuçlarından elde edilen mekanik özellikleri Çizelge 7.2' de verilmiştir.

Çizelge 7.2 Basma deneylerinden ve analizlerinden elde edilen sonuçlar

	Akma Dayanımı (MPa)(Deney)	Akma Dayanımı (MPa)(Analiz)	Elastisite Modülü (GPa)(Deney)	Elastisite Modülü (GPa)(Analiz)	Akma Dayanımı Hata (%)	Elastisite Modülü Hata (%)
48V	747,4	750,2	87,2	92,8	0,4	6,3
54V	768,1	723,6	86,5	97,1	6,2	12,2
60V	668,2	729,2	86,8	84	9,1	3,3
48X	1103	1092,5	89,1	91,9	0,9	3,1
54X	1056,3	1054,2	90,3	90,4	0,2	0,07
60X	885,8	1007,7	89,9	90,1	13,8	0,2

48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağız açısına sahip numunelerin, üç nokta eğilme deney ve analiz sonuçlarından elde edilen mekanik özellikleri Çizelge 7.3' de verilmiştir.

Çizelge 7.3 Eğilme deneylerinden ve analizlerinden elde edilen sonuçlar

	Elastisite Modülü (GPa)(Deney)	Elastisite Modülü (GPa)(Analiz)	Kayma Modülü (GPa)(Deney)	Kayma Modülü (GPa)(Analiz)	Elastisite Modülü Hata (%)	Kayma Modülü Hata (%)
48V	75	74,4	28,9	28,6	0,8	0,8
54V	67,1	70,1	25,8	26,9	4,4	4,4
60V	74	74,9	28,5	28,8	1,2	1,2
48X	68,4	63,1	26,3	24,3	8,5	8,5
54X	68,1	70,6	26,2	27,2	3,7	3,8
60X	73,1	75,5	28,1	29	3,2	3,2

Çekme testlerinden ve analizlerinden elde edilen sonuçlara göre 54° açı ve V geometriye sahip numunelerin en yüksek dayanıma sahip olduğu belirlenmiştir. Numunelerin basma deneyleri ve analizlerinden elde edilen mekanik özellikleri, çekme deneylerinden elde edilen özelliklere göre daha yüksek çıkmıştır. Basma testlerinde numunenin kesiti sürekli arttığı için kuvvet de artar dolayısıyla çekme testlerine göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Deneylerden ve analizlerden elde edilen verilere göre en yüksek akma dayanımını, basma testi sonucunda 48X kaynaklı numuneler vermiştir. Bu sonuçlara göre deneysel elde edilen verilerle, sayısal analizden elde edilen veriler birbirine yakın çıkmıştır.

Deney ve analiz sonuçları arasında oluşan farklılıklar, deneyde ve sayısal analizlerde oluşan hatalardan kaynaklanmaktadır. Deneysel çalışmadaki hata kaynakları şu şekilde söylenebilir;

- Deneylerde kullanılan bazı numunelerin kaynak nüfuziyetinin farklı olması sebebiyle numuneler plastik bölgede farklı davranış göstermiştir. Bu

farklılıktan ötürü sayısal analizlerden elde edilen gerilmeler ile deneylerden elde edilen gerilmeler plastik bölgede değişiklik göstermiştir.

- Deneylerde kullanılan numunelerde çatlaklar, boşluklar gözlemlenmiştir. Sayısal analizde bu tür durumlar modellenemediği için, deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçlar plastik bölgede farklılık yaratmaktadır.
- Deneylerin yapıldığı test cihazından ve ortam koşullarından kaynaklı sistematik hataların sonuçların farklı çıkmasında etkisi vardır.
- Deneylerde kullanılan malzemelerin imalatından, numunelerin kaynak işlemindeki farklı ısı girdilerinden dolayı deneysel verilerle sayısal veriler arasında fark oluşabilmektedir.
- Sayısal analizlerde belirli düğümlerdeki gerilme- gerinme değerleri alınarak deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Ancak deneylerde herhangi bir noktaya gerinim ölçer (strain gage) bağlanarak ölçüm yapılmamıştır bu sebeple analizden alınan gerilme ve gerinme değerleri ile deneyden alınan veriler arasında farklılıklar gözlemlenmiştir.

Sayısal çalışmadaki hata kaynakları şu şekilde sıralanabilir;

- Sonlu elemanlar analizinde kuvvet için verilen sınır koşullarında deneyde zaman zaman aynı koşullar sağlanamadığından sayısal sonuçlar, deneysel ile birebir örtüşmeyebilmektedir.
- Lineer olmayan problemlerin çözümünde, karmaşıklığı gidermek için bazı kabuller yapılır. Bu kabullerden biri de malzemeyi izotropik kabul etmektir. Bu sebeple bu çalışmada, sonlu elemanlar analizlerinde kullanılan malzemelerin izotropik özelliğe sahip olduğu kabul edilmiştir. Kaynağın tek pasoda yapıldığı varsayılmıştır. Sonuç olarak, hazırlanan sayısal modelde çözümün kolaylığı açısından kabuller (basitleştirmeler) yapılmıştır. Bu kabuller sonuçların hassasiyetini etkilemektedir ve deneysel ile analiz sonuçları arasında farklılık yaratmaktadır. Ancak artan karmaşıklığın yaratacağı etkiler düşünüldüğü zaman elde edilen sonuçlar yeterince birbirine yakınsamış kabul edilebilir.

- Kaynak ile zırh malzemesi ara yüzeyinin (ıslanma yüzeyi) sonlu elemanlar programında tam deney numunesindeki gibi modellenememesi ve ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) sonlu elemanlar ile modellenmesinin güç olması gibi faktörler sonlu elemanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında fark oluşturmaktadır.

8. HATA ANALİZİ

Deney planlaması ve analizinin ilk adımı tek yönlü varyans analizidir. Varyans analizi (ANOVA), çeşitli populasyonların ortalamaları arasındaki farkları tanımlamak için kullanılan istatistiksel bir uygulamadır. İki'den çok bağımsız grup verilerinin değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analizi kullanılır. Buradaki tek yön ifadesi, grupları birbirinden ayıran tek özellik olduğu, ya da grupların tek değişkeninin değerleri ile ayrıldığı anlamına gelir. Tek yönlü varyans analizinde iki hipotez vardır. H_0 hipotezi, grupların arasında fark yoktur şeklinde ifade edilir. H_1 hipotezi, ise en azından bir grup ortalaması diğerlerinden farklıdır şeklinde ifade edilir. Test sonucunda H_0 kabul edilirse H_1 reddedilir. H_0 reddedilirse H_1 kabul edilir. Tek yönlü varyans analizinde (one way ANOVA) iki temel varsayım vardır. Her bir grup normal dağılımdan gelir ve göreceli olarak grupların varyansları homojendir. Varyansların homojenliği testi SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programında tek yönlü varyans analizi ile yapılır. SPSS programı istatistiksel analize yönelik bir bilgisayar programıdır. SPSS, Excel benzeri bir arayüz ile çalışır, mühendisler, matematikçiler, istatistikçiler, araştırmacılar tarafından kullanılır. Programa, belirli veriler girilerek istenilen sonuçlar elde edilir. Varyans analizi sonuçlarından öncelikle varyans analizi tablosundaki sig.= p (anlamlılık) değeri incelenir. P değeri istatistiksel testin uygulanmasından sonra elde edilir. $P > 0,05$ ise gruplar arasında anlamlı bir fark yoktur. $P < 0,05$ ise gruplar arasında incelenen özellik bakımından anlamlı fark olduğu anlaşılır. Bu çalışmada, tek yönlü varyans analizi ve varyans analizinin uygulanması sonucu, F istatistiğinden yararlanılarak, ikiden fazla ortalama arasındaki farkın anlamlı olup olmadığı tespit edilmiştir. Deneylerden elde edilen ölçüm sonuçları için gerekli istatistiksel hata analizi SPSS programında yapılmıştır.

8.1 Çekme Deney Sonuçları İçin Yapılan Hata Analizi

48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağzına sahip numuneler için çekme deneylerinden elde edilen akma mukavemeti, çekme mukavemeti, elastisite modülü gibi özellikler için SPSS programında ayrı ayrı hata analizleri yapılmıştır. 48V, 54V, 60V, 48X, 54X, 60X kaynaklı numunelerin her biri bir grup olarak düşünülmüştür. Her gruptaki numunelerin akma dayanımları, çekme dayanımları, elastisite modülü değerleri, SPSS üzerinde grup sırasına göre

yazılmıştır, SPSS programı ile incelenmiştir. Bu metod ile her bir gruptaki akma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü gibi parametreler analiz edilmiş ve gruplar arasında her bir parametre için istatistiksel anlamda önemli bir farklılık olup olmadığı ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar tablolar halinde gösterilmiştir. Hata analizleri % 95 güven aralığında yapılmıştır.

Akma dayanımları için SPSS programında yapılan hata analizi çıktısı Şekil 8.1.1 ve Şekil 8.1.2’ de gösterilmiştir. Karşılaştırılmak istenen grup ortalamalarının ikiden çok olması halinde F testi kullanılır. Akma dayanımlarına ait varyans analizi (ANOVA) genel tablosunda, Sig. ile ifade edilen değer hesaplanan test istatistiğine ait anlamlılık düzeyini belirtir. Sig= p=0,000 ($p<0,05$) olduğundan gruplar arasında fark olduğu görülmektedir (Şekil 8.1.1).

ANOVA

ad	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22302,237	5	4460,447	12,258	,000
Within Groups	10552,832	29	363,891		
Total	32855,069	34			

Şekil 8.1.1 Varyans analizi genel tablo

Şekil 8.1.2 yerleşim sıklığına ait ortalamaları, standart hataları ve güven aralıklarını göstermektedir. Örneğin standart sapmasına standart hata denir. Güven aralığı ise, elde edilen bir örneklem değerinin etrafında oluşturulan ve ana kütle değeri içereceği beklenen sınırlardır [54]. Şekil 8.1.2’ de Grup-1 48V, Grup-2 54V, Grup-3 60V, Grup-4 48X, Grup-5 54X, Grup-6 60X kaynaklı numunelerin akma dayanımlarını ifade etmektedir. Şekil 8.1.2’ deki sonuçlara göre, Grup1 ile Grup6 arasında yani 48V kaynaklı numuneler ile 60X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında anlamlı fark vardır. Sig.= 0,005<0,05 olduğundan, 48V kaynaklı numunelerin akma dayanımları ile 54X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında fark olduğu söylenebilir. 54V kaynaklı numuneler ile 54X kaynaklı numunelerin anlamlılık düzeyine bakıldığında grupların aynı olmadığı görülmektedir. 54V kaynaklı numunelerin akma dayanımları ile 60X kaynaklı numunelerin akma dayanımları farklıdır. Grup-2 ile Grup-6 arasındaki farka ilişkin %95’ lik güven aralığının alt sınırı 39,99, üst sınırı 107,145 olarak çıkmıştır.

Anlamlılık düzeyine (önemlilik durumu=Sig.) bakıldığında, 60V kaynaklı numuneler ile 60X kaynaklı numuneler akma dayanımları yönünden farklıdır.

ad
Tukey HSD

(I) grup	(J) grup	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-12,17883	11,01349	,875	-45,7532	21,3956
	3,00	17,15440	11,55104	,676	-18,0587	52,3675
	4,00	23,15983	11,01349	,314	-10,4146	56,7342
	5,00	44,20983 [*]	11,01349	,005	10,6354	77,7842
	6,00	61,39250 [*]	11,01349	,000	27,8181	94,9669
2,00	1,00	12,17883	11,01349	,875	-21,3956	45,7532
	3,00	29,33323	11,55104	,146	-5,8799	64,5464
	4,00	35,33867 [*]	11,01349	,035	1,7643	68,9131
	5,00	56,38867 [*]	11,01349	,000	22,8143	89,9631
	6,00	73,57133 [*]	11,01349	,000	39,9969	107,1457
3,00	1,00	-17,15440	11,55104	,676	-52,3675	18,0587
	2,00	-29,33323	11,55104	,146	-64,5464	5,8799
	4,00	6,00543	11,55104	,995	-29,2077	41,2186
	5,00	27,05543	11,55104	,210	-8,1577	62,2686
	6,00	44,23810 [*]	11,55104	,008	9,0250	79,4512
4,00	1,00	-23,15983	11,01349	,314	-56,7342	10,4146
	2,00	-35,33867 [*]	11,01349	,035	-68,9131	-1,7643
	3,00	-6,00543	11,55104	,995	-41,2186	29,2077
	5,00	21,05000	11,01349	,416	-12,5244	54,6244
	6,00	38,23267 [*]	11,01349	,018	4,6583	71,8071
5,00	1,00	-44,20983 [*]	11,01349	,005	-77,7842	-10,6354
	2,00	-56,38867 [*]	11,01349	,000	-89,9631	-22,8143
	3,00	-27,05543	11,55104	,210	-62,2686	8,1577
	4,00	-21,05000	11,01349	,416	-54,6244	12,5244
	6,00	17,18267	11,01349	,630	-16,3917	50,7571
6,00	1,00	-61,39250 [*]	11,01349	,000	-94,9669	-27,8181
	2,00	-73,57133 [*]	11,01349	,000	-107,1457	-39,9969
	3,00	-44,23810 [*]	11,55104	,008	-79,4512	-9,0250
	4,00	-38,23267 [*]	11,01349	,018	-71,8071	-4,6583
	5,00	-17,18267	11,01349	,630	-50,7571	16,3917

Şekil 8.1.2 Akma dayanımı çoklu karşılaştırma tablosu

Çekme dayanımları için SPSS programında yapılan hata analizinden elde edilen çıktılar Şekil 8.1.3 ve Şekil 8.1.4' te gösterilmiştir. Sig.=p=0,000 ($p<0,05$) olduğu için grupların farklı olduğu söylenebilir (Şekil 8.1.3).

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	90718,018	5	18143,604	9,955	,000
Within Groups	52852,932	29	1822,515		
Total	143570,950	34			

Şekil 8.1.3 Çekme dayanımları varyans analizi genel tablo

Şekil 8.1.4' te Grup -1, 48V, Grup-2 54V, Grup-3 60V, Grup-4 48X, Grup-5 54X, Grup-6 60X kaynaklı numunelerin çekme dayanımlarını ifade etmektedir. Şekil 8.1.4' teki sonuçlara göre, önemlilik durumu=Sig.=0,000 olduğundan 48V kaynaklı numuneler ile 48X kaynaklı numunelerin çekme dayanımları arasında fark olduğu söylenebilir. 48V kaynaklı numunelerin çekme dayanımları ile 54X kaynaklı numunelerin çekme dayanımları arasında fark vardır. 48V kaynaklı numuneler ile 60V kaynaklı numunelerin çekme dayanımları arasında fark vardır. 54V kaynaklı numuneler ile 48X kaynaklı numunelerin çekme dayanımları arasında fark vardır. 54V kaynaklı numunelerin çekme dayanımları ile 54X kaynaklı numunelerin çekme dayanımları arasında fark vardır. 54V kaynaklı numunelerin çekme dayanımları ile 60X kaynaklı numunelerin çekme dayanımları arasında fark vardır. 60V kaynaklı numunelerin çekme dayanımları ile 48X kaynaklı numunelerin çekme dayanımları arasında fark vardır.

cd
Tukey HSD

(i) grup	(j) grup	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	18,56667	24,64762	,973	-56,5711	93,7044
	3,00	53,19000	25,85064	,336	-25,6151	131,9951
	4,00	141,03333 [*]	24,64762	,000	65,8956	216,1711
	5,00	102,81667 [*]	24,64762	,003	27,6789	177,9544
	6,00	104,90000 [*]	24,64762	,002	29,7623	180,0377
2,00	1,00	-18,56667	24,64762	,973	-93,7044	56,5711
	3,00	34,62333	25,85064	,761	-44,1818	113,4285
	4,00	122,46667 [*]	24,64762	,000	47,3289	197,6044
	5,00	84,25000 [*]	24,64762	,021	9,1123	159,3877
	6,00	86,33333 [*]	24,64762	,017	11,1956	161,4711
3,00	1,00	-53,19000	25,85064	,336	-131,9951	25,6151
	2,00	-34,62333	25,85064	,761	-113,4285	44,1818
	4,00	87,84333 [*]	25,85064	,022	9,0382	166,6485
	5,00	49,62667	25,85064	,411	-29,1785	128,4318
	6,00	51,71000	25,85064	,366	-27,0951	130,5151
4,00	1,00	-141,03333 [*]	24,64762	,000	-216,1711	-65,8956
	2,00	-122,46667 [*]	24,64762	,000	-197,6044	-47,3289
	3,00	-87,84333 [*]	25,85064	,022	-166,6485	-9,0382
	5,00	-38,21667	24,64762	,636	-113,3544	36,9211
	6,00	-36,13333	24,64762	,688	-111,2711	39,0044
5,00	1,00	-102,81667 [*]	24,64762	,003	-177,9544	-27,6789
	2,00	-84,25000 [*]	24,64762	,021	-159,3877	-9,1123
	3,00	-49,62667	25,85064	,411	-128,4318	29,1785
	4,00	38,21667	24,64762	,636	-36,9211	113,3544
	6,00	2,08333	24,64762	1,000	-73,0544	77,2211
6,00	1,00	-104,90000 [*]	24,64762	,002	-180,0377	-29,7623
	2,00	-86,33333 [*]	24,64762	,017	-161,4711	-11,1956
	3,00	-51,71000	25,85064	,366	-130,5151	27,0951
	4,00	36,13333	24,64762	,688	-39,0044	111,2711
	5,00	-2,08333	24,64762	1,000	-77,2211	73,0544

Şekil 8.1.4 Çekme dayanımları çoklu karşılaştırma tablosu

Numunelerin elastisite modülü değerleri için SPSS programında yapılan hata analizi çıktısı Şekil 8.1.5 ve Şekil 8.1.6' da gösterilmiştir. Elastisite modülü değerlerine ait varyans analizi genel tablosunda $p=0,000$ ($p<0,05$) olduğundan gruplar arasında fark olduğu görülmektedir (Şekil 8.1.5).

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	669,684	5	133,937	10,528	,000
Within Groups	356,224	28	12,722		
Total	1025,908	33			

Şekil 8.1.5 Elastisite modülü varyans analizi genel tablo

Şekil 8.1.6' da Grup-1, 48V kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-2 54V kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-3 60V kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-4 48X kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-5 54X kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-6 60X kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini ifade etmektedir. Şekil 8.1.6' daki sonuçlara göre, 48V kaynaklı numuneler ile 48X kaynaklı numunelerin elastisite modülleri arasında fark vardır. 48V kaynaklı numunelerin elastisite modülleri ile 54X kaynaklı numunelerin elastisite modülleri arasında fark vardır. 48V kaynaklı numuneler ile 60X kaynaklı numunelerin elastisite modülleri arasında fark vardır. 54V kaynaklı numuneler ile 48X kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerleri arasında fark vardır. 54V kaynaklı numunelerin elastisite modülleri ile 60X kaynaklı numunelerin elastisite modülleri arasında fark vardır. 60V kaynaklı numunelerin elastisite modülleri ile 48X kaynaklı numunelerin elastisite modülleri arasında fark vardır. 60V kaynaklı numunelerin elastisite modülleri ile 54X kaynaklı numunelerin elastisite modülleri arasında fark vardır. 60V kaynaklı numunelerin elastisite modülleri ile 60X kaynaklı numunelerin elastisite modülleri arasında fark vardır.

em
Tukey HSD

(I) grup	(J) grup	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-2,20900	2,15982	,906	-8,8092	4,3912
	3,00	2,22800	2,25586	,918	-4,6656	9,1216
	4,00	-8,56067*	2,15982	,006	-15,1608	-1,9605
	5,00	-4,47733	2,15982	,330	-11,0775	2,1228
	6,00	-10,47900*	2,15982	,001	-17,0792	-3,8788
2,00	1,00	2,20900	2,15982	,906	-4,3912	8,8092
	3,00	4,43700	2,15982	,339	-2,1632	11,0372
	4,00	-6,35167*	2,05931	,047	-12,6447	-,0587
	5,00	-2,26833	2,05931	,877	-8,5613	4,0247
	6,00	-8,27000*	2,05931	,005	-14,5630	-1,9770
3,00	1,00	-2,22800	2,25586	,918	-9,1216	4,6656
	2,00	-4,43700	2,15982	,339	-11,0372	2,1632
	4,00	-10,78867*	2,15982	,000	-17,3888	-4,1885
	5,00	-6,70533*	2,15982	,045	-13,3055	-,1052
	6,00	-12,70700*	2,15982	,000	-19,3072	-6,1068
4,00	1,00	8,56067*	2,15982	,006	1,9605	15,1608
	2,00	6,35167*	2,05931	,047	,0587	12,6447
	3,00	10,78867*	2,15982	,000	4,1885	17,3888
	5,00	4,08333	2,05931	,377	-2,2097	10,3763
	6,00	-1,91833	2,05931	,935	-8,2113	4,3747
5,00	1,00	4,47733	2,15982	,330	-2,1228	11,0775
	2,00	2,26833	2,05931	,877	-4,0247	8,5613
	3,00	6,70533*	2,15982	,045	,1052	13,3055
	4,00	-4,08333	2,05931	,377	-10,3763	2,2097
	6,00	-6,00167	2,05931	,068	-12,2947	,2913
6,00	1,00	10,47900*	2,15982	,001	3,8788	17,0792
	2,00	8,27000*	2,05931	,005	1,9770	14,5630
	3,00	12,70700*	2,15982	,000	6,1068	19,3072
	4,00	1,91833	2,05931	,935	-4,3747	8,2113
	5,00	6,00167	2,05931	,068	-,2913	12,2947

Şekil 8.1.6 Elastisite modülü çoklu karşılaştırma tablosu

8.2 Basma Deney Sonuçları İçin Yapılan Hata Analizi

48°, 54°, 60° açılarında, X ve V geometrilerinde kaynak ağzına sahip numunelerin basma deneylerinden elde edilen akma mukavemeti, basma mukavemeti, elastisite modülü gibi özellikler için SPSS programında % 95 güven aralığında ayrı ayrı hata analizleri yapılmıştır.

Akma dayanımları için SPSS programında yapılan hata analizi çıktısı Şekil 8.2.1 ve Şekil 8.2.2' de gösterilmiştir. Akma dayanımlarına ait varyans analizi genel tablosunda $p=0,000$ ($p<0,05$) olduğundan gruplar arasında fark olduğu görülmektedir (Şekil 8.2.1).

ANOVA

ad	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	932638,158	5	186527,632	41,013	,000
Within Groups	136439,950	30	4547,998		
Total	1069078,108	35			

Şekil 8.2.1 Akma dayanımı varyans analizi genel tablo

Şekil 8.2.2' de Grup-1, 48V, Grup-2 54V, Grup-3 60V, Grup-4 48X, Grup – 5 54X, Grup – 6 60X kaynaklı numunelerin akma dayanımlarını ifade etmektedir. Şekil 8.2.2' deki varyans analizi sonuçlarına göre, 48V kaynaklı numuneler ile 48X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında önemlilik durumuna (Sig.) bakılarak fark olduğu söylenebilir. 48V kaynaklı numuneler ile 54X kaynaklı numunelerin akma dayanımları farklıdır. 48V kaynaklı numuneler ile 60X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında anlamlı fark vardır. 54V kaynaklı numunelerin akma dayanımları ile 48X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında fark vardır. 54V kaynaklı numunelerin akma dayanımları ile 54X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında fark vardır. 60V kaynaklı numunelerin akma dayanımları ile 48X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında fark olduğu söylenebilir ve bu iki grubun ortalaması %95 güven aralığında, -553,3214 ile -316,4673 aralığında değer alır. 60V kaynaklı numunelerin akma dayanımları ile 54X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında anlamlı fark çıkmıştır. Sig.=0,000 değerini aldığı için, 60V kaynaklı numunelerin akma dayanımları ile 60X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında fark vardır. 48X kaynaklı numunelerin akma dayanımları ile 60X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında anlamlı fark olduğu görülmektedir. 54X kaynaklı numunelerin akma dayanımları ile 60X kaynaklı numunelerin akma dayanımları arasında fark vardır.

ad
Tukey HSD

(I) grup	(J) grup	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-20,75000	38,93584	,994	-139,1770	97,6770
	3,00	79,17783	38,93584	,348	-39,2492	197,6049
	4,00	-355,71650 [*]	38,93584	,000	-474,1435	-237,2895
	5,00	-308,98600 [*]	38,93584	,000	-427,4130	-190,5590
	6,00	-138,47883 [*]	38,93584	,015	-256,9059	-20,0518
2,00	1,00	20,75000	38,93584	,994	-97,6770	139,1770
	3,00	99,92783	38,93584	,137	-18,4992	218,3549
	4,00	-334,96650 [*]	38,93584	,000	-453,3935	-216,5395
	5,00	-288,23600 [*]	38,93584	,000	-406,6630	-169,8090
	6,00	-117,72883	38,93584	,052	-236,1559	,6982
3,00	1,00	-79,17783	38,93584	,348	-197,6049	39,2492
	2,00	-99,92783	38,93584	,137	-218,3549	18,4992
	4,00	-434,89433 [*]	38,93584	,000	-553,3214	-316,4673
	5,00	-388,16383 [*]	38,93584	,000	-506,5909	-269,7368
	6,00	-217,65667 [*]	38,93584	,000	-336,0837	-99,2296
4,00	1,00	355,71650 [*]	38,93584	,000	237,2895	474,1435
	2,00	334,96650 [*]	38,93584	,000	216,5395	453,3935
	3,00	434,89433 [*]	38,93584	,000	316,4673	553,3214
	5,00	46,73050	38,93584	,833	-71,6965	165,1575
	6,00	217,23767 [*]	38,93584	,000	98,8106	335,6647
5,00	1,00	308,98600 [*]	38,93584	,000	190,5590	427,4130
	2,00	288,23600 [*]	38,93584	,000	169,8090	406,6630
	3,00	388,16383 [*]	38,93584	,000	269,7368	506,5909
	4,00	-46,73050	38,93584	,833	-165,1575	71,6965
	6,00	170,50717 [*]	38,93584	,002	52,0801	288,9342
6,00	1,00	138,47883 [*]	38,93584	,015	20,0518	256,9059
	2,00	117,72883	38,93584	,052	-,6982	236,1559
	3,00	217,65667 [*]	38,93584	,000	99,2296	336,0837
	4,00	-217,23767 [*]	38,93584	,000	-335,6647	-98,8106
	5,00	-170,50717 [*]	38,93584	,002	-288,9342	-52,0801

Şekil 8.2.2 Akma dayanımı çoklu karşılaştırma tablosu

Basma dayanımları için SPSS programında yapılan hata analizi çıktısı Şekil 8.2.3 ve Şekil 8.2.4' te gösterilmiştir. Akma dayanımlarına ait varyans analizi genel tablosunda $p=0,027$ ($p<0,05$) olduğundan gruplar arasında fark olduğu görülmektedir (Şekil 8.2.1).

Şekil 8.2.4' te Grup-1 48V, Grup-2 54V, Grup-3 60V, Grup-4 48X, Grup-5 54X, Grup-6 60X kaynaklı numunelerin basma dayanımlarını ifade etmektedir. Şekil 8.2.4' teki varyans analizi sonuçlarına göre, 60V kaynaklı numuneler ile 54X

kaynaklı numunelerin basma dayanımları arasında fark olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer kaynaklı numune grupları arasında fark yoktur. Bunun sebebi basma dayanımı değerleri birbirine çok yakındır, bu yüzden farklılık çıkmamaktadır.

ANOVA

bd

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	77299,054	5	15459,811	2,984	,027
Within Groups	155441,786	30	5181,393		
Total	232740,840	35			

Şekil 8.2.3 Basma dayanımı varyans analizi genel tablo

bd

Tukey HSD

(i) grup	(j) grup	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-5,90383	41,55877	1,000	-132,3087	120,5011
	3,00	35,07183	41,55877	,957	-91,3331	161,4767
	4,00	-12,96600	41,55877	1,000	-139,3709	113,4389
	5,00	-109,82017	41,55877	,118	-236,2251	16,5847
	6,00	-55,75183	41,55877	,760	-182,1567	70,6531
2,00	1,00	5,90383	41,55877	1,000	-120,5011	132,3087
	3,00	40,97567	41,55877	,919	-85,4292	167,3806
	4,00	-7,06217	41,55877	1,000	-133,4671	119,3427
	5,00	-103,91633	41,55877	,156	-230,3212	22,4886
	6,00	-49,84800	41,55877	,834	-176,2529	76,5569
3,00	1,00	-35,07183	41,55877	,957	-161,4767	91,3331
	2,00	-40,97567	41,55877	,919	-167,3806	85,4292
	4,00	-48,03783	41,55877	,854	-174,4427	78,3671
	5,00	-144,89200 [*]	41,55877	,017	-271,2969	-18,4871
	6,00	-90,82367	41,55877	,274	-217,2286	35,5812
4,00	1,00	12,96600	41,55877	1,000	-113,4389	139,3709
	2,00	7,06217	41,55877	1,000	-119,3427	133,4671
	3,00	48,03783	41,55877	,854	-78,3671	174,4427
	5,00	-96,85417	41,55877	,214	-223,2591	29,5507
	6,00	-42,78583	41,55877	,904	-169,1907	83,6191
5,00	1,00	109,82017	41,55877	,118	-16,5847	236,2251
	2,00	103,91633	41,55877	,156	-22,4886	230,3212
	3,00	144,89200 [*]	41,55877	,017	18,4871	271,2969
	4,00	96,85417	41,55877	,214	-29,5507	223,2591
	6,00	54,06833	41,55877	,782	-72,3366	180,4732
6,00	1,00	55,75183	41,55877	,760	-70,6531	182,1567
	2,00	49,84800	41,55877	,834	-76,5569	176,2529
	3,00	90,82367	41,55877	,274	-35,5812	217,2286
	4,00	42,78583	41,55877	,904	-83,6191	169,1907
	5,00	-54,06833	41,55877	,782	-180,4732	72,3366

Şekil 8.2.4 Basma dayanımı çoklu karşılaştırma tablosu

Basma deneylerinden elde edilen elastisite modülü değerleri için SPSS programında yapılan hata analizi çıktısı Şekil 8.2.5 ve Şekil 8.2.6' da gösterilmiştir. Akma dayanımlarına ait varyans analizi genel tablosunda $p=0,001$ ($p<0,05$) olduğundan gruplar arasında fark olduğu görülmektedir (Şekil 8.2.5).

ANOVA

em

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	83,755	5	16,751	6,037	,001
Within Groups	83,241	30	2,775		
Total	166,996	35			

Şekil 8.2.5 Elastisite modülü varyans analizi genel tablo

Şekil 8.2.6' da Grup-1, 48V kaynaklı numunelerin elastisite modüllerini, Grup-2 54V kaynaklı numunelerin elastisite modüllerini, Grup-3 60V kaynaklı numunelerin elastisite modüllerini, Grup-4 48X kaynaklı numunelerin elastisite modüllerini, Grup-5 54X kaynaklı numunelerin elastisite modüllerini, Grup-6 60X kaynaklı numunelerin elastisite modüllerini ifade etmektedir. Şekil 8.2.6' daki varyans analizi sonuçlarına göre, sig.=0,031 olduğu için 48V kaynaklı numuneler ile 54X kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerleri arasında fark vardır. 54V ile 54X kaynaklı numuneler arasında elastisite modülü değerleri yönünden fark olduğu söylenebilir. 54V kaynaklı numuneler ile 60X kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerleri aynı değildir, bu gruplar arasında anlamlı bir fark vardır. 60V kaynaklı numune grubu ile 54X kaynaklı numune grubunun elastisite modülü ortalamalarının farklı olduğu görülmektedir. 60V kaynaklı numuneler ile 60X kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerleri arasında fark vardır.

em
Tukey HSD

(I) grup	(J) grup	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	,72083	,96172	,974	-2,2043	3,6460
	3,00	,44150	,96172	,997	-2,4837	3,3667
	4,00	-1,85900	,96172	,403	-4,7842	1,0662
	5,00	-3,11817*	,96172	,031	-6,0433	-,1930
	6,00	-2,65283	,96172	,093	-5,5780	,2723
2,00	1,00	-,72083	,96172	,974	-3,6460	2,2043
	3,00	-,27933	,96172	1,000	-3,2045	2,6458
	4,00	-2,57983	,96172	,109	-5,5050	,3453
	5,00	-3,83900*	,96172	,005	-6,7642	-,9138
	6,00	-3,37367*	,96172	,016	-6,2988	-,4485
3,00	1,00	-,44150	,96172	,997	-3,3667	2,4837
	2,00	,27933	,96172	1,000	-2,6458	3,2045
	4,00	-2,30050	,96172	,191	-5,2257	,6247
	5,00	-3,55967*	,96172	,010	-6,4848	-,6345
	6,00	-3,09433*	,96172	,033	-6,0195	-,1692
4,00	1,00	1,85900	,96172	,403	-1,0662	4,7842
	2,00	2,57983	,96172	,109	-,3453	5,5050
	3,00	2,30050	,96172	,191	-,6247	5,2257
	5,00	-1,25917	,96172	,778	-4,1843	1,6660
	6,00	-,79383	,96172	,960	-3,7190	2,1313
5,00	1,00	3,11817*	,96172	,031	,1930	6,0433
	2,00	3,83900*	,96172	,005	,9138	6,7642
	3,00	3,55967*	,96172	,010	,6345	6,4848
	4,00	1,25917	,96172	,778	-1,6660	4,1843
	6,00	,46533	,96172	,996	-2,4598	3,3905
6,00	1,00	2,65283	,96172	,093	-,2723	5,5780
	2,00	3,37367*	,96172	,016	,4485	6,2988
	3,00	3,09433*	,96172	,033	,1692	6,0195
	4,00	,79383	,96172	,960	-2,1313	3,7190
	5,00	-,46533	,96172	,996	-3,3905	2,4598

Şekil 8.2.6 Elastisite modülü çoklu karşılaştırma tablosu

8.3 Üç Nokta Eğilme Deney Sonuçları İçin Yapılan Hata Analizi

Üç farklı açıda, iki farklı geometride kaynak ağzına sahip numunelerin eğilme deneylerinden elde edilen elastisite modülü değerleri için SPSS programında % 95 güven aralığında hata analizi yapılmıştır.

Elastisite modülü için SPSS programında yapılan hata analizi çıktısı Şekil 8.3.1 ve Şekil 8.3.2' de gösterilmiştir. Elastisite modülü değerlerine ait varyans analizi genel tablosunda $p=0,003$ ($p<0,05$) olduğundan gruplar arasında fark olduğu görülmektedir (Şekil 8.3.1).

ANOVA

em

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	391,835	5	78,367	4,644	,003
Within Groups	523,119	31	16,875		
Total	914,954	36			

Şekil 8.3.1 Elastisite modülü varyans analizi genel tablo

Şekil 8.3.2' de Grup-1, 48V kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-2 54V kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-3 60V kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-4 48X kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-5 54X kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerini, Grup-6 60X kaynaklı numunelerin elastisite modüllerini ifade etmektedir.

Şekil 8.3.2' deki varyans analizi sonuçlarına göre, sadece 48V kaynaklı numuneler ile 54V kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerleri arasında fark çıkmıştır. 48V kaynaklı numuneler ile 54V kaynaklı numuneler, %95 güven aralığında, 0,9716 ile 14,8449 aralığında değer alır. Sadece bir grup için fark çıkmasının sebebi, kaynaklı numunelerin elastisite modülü değerlerinin birbirine çok yakın olmasıdır.

em
Tukey HSD

(I) grup	(J) grup	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	7,90824*	2,28542	,018	,9716	14,8449
	3,00	1,00017	2,37169	,998	-6,1983	8,1987
	4,00	1,00017	2,37169	,998	-6,1983	8,1987
	5,00	6,59783	2,37169	,088	-,6007	13,7963
	6,00	6,59783	2,37169	,088	-,6007	13,7963
2,00	1,00	-7,90824*	2,28542	,018	-14,8449	-,9716
	3,00	-6,90807	2,28542	,051	-13,8447	,0286
	4,00	-6,90807	2,28542	,051	-13,8447	,0286
	5,00	-1,31040	2,28542	,992	-8,2470	5,6262
	6,00	-1,31040	2,28542	,992	-8,2470	5,6262
3,00	1,00	-1,00017	2,37169	,998	-8,1987	6,1983
	2,00	6,90807	2,28542	,051	-,0286	13,8447
	4,00	,00000	2,37169	1,000	-7,1985	7,1985
	5,00	5,59767	2,37169	,202	-1,6008	12,7962
	6,00	5,59767	2,37169	,202	-1,6008	12,7962
4,00	1,00	-1,00017	2,37169	,998	-8,1987	6,1983
	2,00	6,90807	2,28542	,051	-,0286	13,8447
	3,00	,00000	2,37169	1,000	-7,1985	7,1985
	5,00	5,59767	2,37169	,202	-1,6008	12,7962
	6,00	5,59767	2,37169	,202	-1,6008	12,7962
5,00	1,00	-6,59783	2,37169	,088	-13,7963	,6007
	2,00	1,31040	2,28542	,992	-5,6262	8,2470
	3,00	-5,59767	2,37169	,202	-12,7962	1,6008
	4,00	-5,59767	2,37169	,202	-12,7962	1,6008
	6,00	,00000	2,37169	1,000	-7,1985	7,1985
6,00	1,00	-6,59783	2,37169	,088	-13,7963	,6007
	2,00	1,31040	2,28542	,992	-5,6262	8,2470
	3,00	-5,59767	2,37169	,202	-12,7962	1,6008
	4,00	-5,59767	2,37169	,202	-12,7962	1,6008
	5,00	,00000	2,37169	1,000	-7,1985	7,1985

Şekil 8.3.2 Elastisite modülü çoklu karşılaştırma tablosu

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, zırh çeliği kullanarak hazırlanan numunelere 48°, 54°, 60° açıları ve X, V geometrilerinde kaynak ağzı açılmıştır. Kaynak ağzı açılan numuneler MIG kaynak tekniği ile birleştirilmiştir. Kaynak bağlantı açısının ve geometrisinin, bağlantının mekanik özelliklerine olan etkileri sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Sayısal elde edilen sonuçlar ile deneysel elde sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sayısal elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçların yaklaşık olarak uygunluk sağladığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir;

- Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçları ile sayısal analiz sonuçları mekanik özellikler bazında kabul edilebilir oranda birbirine yakınsamıştır. Böylece sayısal model ile deneysel sonuçların doğrulanması sağlanmıştır.
- Sayısal sonuçlarla desteklenen deneysel sonuçlara göre, çekme yükleri altında en iyi dayanıma sahip numuneler V geometride ve 54° açıda kaynaklı numunelerdir.
- Yapılan analizlere ve deneylere göre, basma yükleri etki ettiğinde 48° açı ve X şeklinde kaynak ağzına sahip numuneler en iyi dayanıma sahip çıkmıştır. X geometrideki kaynak bağlantıları basma kuvveti etki ettiğinde, V kaynak ağzına sahip bağlantılara göre daha iyi dayanım gösterirler.
- Yapılan mekanik testler sonucunda, kaynaklı numunelerin tamamı kaynak bölgesinden kopmuştur. Bunun sebebi, kullanılan kaynak malzemesinin mukavemeti, ana metale göre düşük kalmaktadır.
- Eğilme yükü altında 48° açı ve V geometride kaynak ağzına sahip kaynaklı numuneler en iyi mukavemeti sağlar.
- V tipi kaynak ağzına sahip bağlantılar çekme kuvvetlerine maruz bırakıldığında, X geometride kaynak ağzına sahip bağlantılara göre daha iyi dayanım gösterirler.

- X kaynaklı numunelerin bir kısmı kaynak bölgesinden ve bir kısmı kaynak ıslanma yüzeyinden kırılmışlardır. Islanma yüzeyinden kırılmaların, yeterli nüfuziyet sağlanamamasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Bu durum X kaynaklı numunelerin dayanımını düşürmektedir.
- V kaynak ağzına sahip numunelerin, X kaynak ağzına sahip numunelere göre daha yüksek çekme mukavemetine ve % uzama değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu numuneler, kaynak sırasında daha az ısı girdisine maruz kalmış oldukları söylenebilir.
- Mekanik testlere tabi tutulan numuneler, farklı kuvvet tiplerinde farklı dayanım özellikleri göstermişlerdir. Tank ve benzeri savunma araçlarına çekme, basma, eğilme kuvvetleri gibi tek tip bir kuvvet etki edeceği gibi, bu kuvvetler birlikte de etki edebilir dolayısıyla bu çalışma ile savunma araçlarındaki kaynak bağlantılarına farklı kuvvetler etki ettiğinde malzemenin nasıl davranış göstereceği belirlenmiştir.

9.2 Öneriler

- Ana malzeme olarak kullanılan zırh çeliği ile kaynak dolgu malzemesi olarak kullanılan elektrot alaşımı kaynak edilebilirliği açısından birbiri ile uyumlu olmakla birlikte, mekanik özellikler açısından akma ve çekme mukavemetleri açısından büyük farklılık göstermektedir. Daha yüksek mekanik özellikleri olan elektrot kullanılması uygun olacaktır.
- Bu tez konusu üzerinde detaylı mikroyapı çalışmaları yapılarak, mekanik özellikler ile mikroyapı arasındaki ilişkiler incelenebilir.
- Farklı kompozisyonlarda kaynak elektrotları kullanarak, kaynak işlemleri yapılabilir ve kaynaklı numunelerin mukavemeti incelenebilir.
- Farklı kaynak ağzı açısı ve geometrisine sahip kaynak bağlantılarının sonlu eleman programları ile ısı analizleri yapılabilir.

KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] ATAPEK, H., Zırh çeliklerinin fiziksel metalürjik esaslar doğrultusunda geliştirilmesi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006.
- [2] KURŞUN, T., Gazaltı kaynak tekniğinde kullanılan koruyucu gaz ve gaz karışımlarının 19Mn6 kalite çeliğinin kaynatılmasında mekanik özelliklere etkisi ve tozaltı kaynağı ile karşılaştırılması, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 1998.
- [3] ÖZDEN H., Gemi inşaatında kalın çelik sac bağlantılarının işletme mukavemeti, Kaynak Teknolojisi 4. Ulusal Kongresi 1. Oturum Bildiriler Kitabı, s.34, 2003.
- [4] Kölük, F., Gülenç, B., Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak yönteminin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi, Teknoloji Dergisi, cilt 7, 2004.
- [5] Şık, A., MIG/MAG kaynak yöntemiyle birleştirilen çelik malzemelerde ilave tel türleri ve koruyucu gaz karışımların eğmeli yorulma ömürlerine etkilerinin araştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt 22, no.4, 2007.
- [6] Şık, A., Yapı çeliğinin (St52-3) MIG/MAG kaynağında gaz karışımlarının çekme dayanımı özelliklerine etkisi, Trakya University Journal Science, no.7, s.9-15, 2006.
- [7] Li, L., Orme, K., Yu W., Effect of joint design on mechanical properties of AL7075 weldment, ASM International, 2005.
- [8] Cheng, C.M., Chou, C.P., Lee, I.K., Lin, H.Y., Distortion analysis of single V-groove butt welding on heat treatable aluminum alloys, Journal of Materials Science Technology, vol.21, no.5, 2005.
- [9] Lakshminarayanan, A.K., Balasubramanian, V., Elangovan, K., Effect of welding processes on tensile properties of AA6061 aluminium alloy joints, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007.
- [10] Taban E., Kaluç E., EN AW-5083-H321 alüminyum alaşımının MIG, TIG ve sürtünen eleman birleştirme (FSW) kaynaklı bağlantıların mekanik ve mikro yapısal özellikleri, Mühendis ve Makine, cilt 46, no.541, 2005.

- [11] Michaleris, P. and Debicari, A., Prediction of welding distortion, *Welding Journal*, 1996.
- [12] Gök, A., Gök, K., Ünal, G.H., Kalkan, M.A., Aynı kalınlığa sahip levhaların alın kaynağı ile birleştirme durumlarının gerilme yığılmasına etkisi, *TEKNOLOJİ*, cilt 10, sayı 2, s.81-89, 2007.
- [13] Jiang, W., Yahiaoui, K., Hall F., and Laoui, T., Finite element simulation of multi-pass welding: full three-dimensional versus generalized plane strain or axisymmetric models, *J. Strain Analysis*, s.587-597, 2005.
- [14] Zhang, H. J., Zhang, G. J., Cai, C. B., Gao, H. M., Wu, L., Numerical simulation of three dimensional stress field in double sided double arc multipass welding process, 2003.
- [15] Çelik, A., Özel, A., Farklı malzemelerin kaynağının deneysel ve teorik incelenmesi, *Kaynak Teknolojisi 2. Ulusal Kongresi*, s.21-30, 1999.
- [16] Terasaki, T., Fukikawa, T., Takanori, K. and Akiyama, T., Welding deformation produces by two – pass welding, *Welding International*, cilt 23, no.11, 2009.
- [17] Deng, D., Murakawa, H., Prediction of welding distortion and residual stress in a thin plate butt - welded joint, *Computational Materials Science*, vol.43, 2008.
- [18] Wu, A., Syngellakis, S., Mellor, B.G., Finite element analysis of residual stresses in a butt weld, *The Post Graduate Conference in Engineering Materials Proceedings*, University of Southampton.
- [19] Gençoğlu, S., Zırh teknolojilerindeki gelişmeler, *Savunma Sanayi Müsteşarlığı Dergisi*, no.5, s.58-67, 2008.
- [20] Evcı, C., Seramik kompozit zırh sistemlerinin kara platformu uygulamaları, balistik performansa ve penetrasyona etki eden yapısal parametreler, 4. *Savunma Teknolojileri Kongresi Değerlendirme Bildirileri*, cilt 2, s.69-80, 2008.
- [21] Lakshminarayanan, A.K., Balasubramanian, V., Elangovan, K., Effect of welding processes on tensile properties of AA6061 aluminium alloy joints, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2007.
- [22] AWS, *Welding Science and Technology*, 9th Edition, USA, 2001.
- [23] Karagöz, Ş., Yılmaz, A., Atapek, H., Zırh çelikleri ve geliştirilmesi, *Savunma Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı*, cilt 1, s.501-511, 2006.

- [24] Altın, G., Kara muharebe araçlarında beka uygulamaları, Savunma Sanayi Müsteşarlığı Dergisi, no:5, s.38-40, 2008.
- [25] Karagöz Ş., Atapek H., Yılmaz, A., araçlarda su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerin zırh malzemesi olarak kullanımı ve balistik açıdan mekanik performansları, Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Bursa, 2008.
- [26] Ertürk, İ., Gazaltı Kaynak Teknikleri, Türkiye Halk Bankası A.Ş. Fon Kredileri Müdürlüğü, Ankara, 1987.
- [27] ANIK, S., Kaynak Tekniği El Kitabı Yöntemler ve Donanımlar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1991.
- [28] Tülbentçi, K., MIG/MAG Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, 1990.
- [29] OSTWALD, F. and MUNOZ., J., Manufacturing processes and systems, John Wiley and Sons, 781s, 1996.
- [30] ERYÜREK, B., BODUR, O., DİKİCİOĞLU, A., Kaynak Teknolojisinin Esasları, Birsen Yayınevi, 1996.
- [31] Asarkaya, M., Tersanelerde uygulanan ve uygulanabilecek kaynak yöntemleri, Gemi Mühendisliği ve Sanayimiz Sempozyumu, 2004.
- [32] ODABAŞ, C., Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım alanları, Kaynak Yöntemleri, 2. Baskı, 2004.
- [33] ERYÜREK, B.İ., Gazaltı Kaynağı, İTÜ Makine Fakültesi, 2. Baskı, 2003.
- [34] ERDOĞAN, M., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, 364s, cilt1, 2002.
- [35] KURT, İ., TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [36] Pasinli, A., Malzeme Teknolojisi Ders Notları, 2008.
- [37] KAYALI, E.S., ENSARİ, C., DİKEÇ, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ Matbaası, 1983.
- [38] ELEKTRİKÇİ, O., TIG kaynağı ile birleştirilmiş demir esaslı T/M malzemelerin kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2007.
- [39] Türk Standardı, TS 138 EN 10002-1 – Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi -Bölüm1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu, 2004.

- [40] ÖÇALAN, O., Tahribatlı Malzemelerin Muayeneleri, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
- [41] Ün, H., Pamukkale Üniversitesi Malzeme Bilimi Ders Notları, <http://hun.pamukkale.edu.tr/dersleri.htm>, 2010.
- [42] DIETER, G.E., Mechanical Metallurgy, Mc Graw Hill, 751s, 1988.
- [43] KAKANI, S.L., KAKANI, A., Material Science, New Age Publishers, 600s, 2004.
- [44] ANIK, S., ANIK E.S., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Birsen Kitabevi Yayınları, İstanbul, 1977.
- [45] ASARKAYA, M., Gemi inşasında kullanılan kaynak yöntemlerinin mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006.
- [46] ASTM E9-89a, Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature, 2000.
- [47] Türk Standardı, TS 282 EN 910-Metalik Malzemelerde Kaynak Dikişleri Üzerinde Tahribatlı Muayeneler-Eğme Deneyleri, 2002.
- [48] BACAĞ, S., Düşük mukavemetli malzemeler için mekanik deneylerin yapılabileceği masaüstü deney cihazının tasarımı ve kurulması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2006.
- [49] ASTM Standard D3410-03, Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear Loading, American Society for Testing and Materials, 2003.
- [50] ERGİN, A., BAYRAKTARKATAL, E., ÜNSAN, Y., Sonlu Elemanlar Metodu ve Gemi İnşaatı Sektöründeki Uygulamaları Seminer Kitabı, 95s, İstanbul, 2000.
- [51] BENLİ, S., Kaynaklı parçalarda oluşan artık gerimelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2004.
- [52] AKIN, E., Çentikli çekme deneyinin sonlu eleman yöntemi ile incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [53] Yavuz, N., Özcan, R., Polat, F.G., Tozaltı kaynak bağlantısının sonlu elemanlar yöntemi ile termal ve mekanik analizi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt10, sayı2, 2005.

[54] İRGÜREN, M., Sağlık bilimlerinde varyans analizi ile ilgili bir deneme, Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi Tıp Fakültesi, 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Nazlı Ezgi İpek, 1985 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğretimini Bahçelievler İlkokulu'nda, ortaokul ve lise eğitimini Dr. Rıdvan Dr. Binnaz Ege Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2003 yılında kazandığı Başkent Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2007 yılında mezun oldu. 2007 yılından bu yana, Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Araştırma konuları, malzeme, kaynak, sonlu elemanlar analizidir.