

**KAFES KİRİŞ SİSTEMLERDE OPTİMUM KAYNAK SIRASI PLANI VE
DİSTORSİYON (ÇARPILMA) KUVVETLERİNİN BELİRLENMESİ**

Halil İbrahim VURAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL İŞLERİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2006

ANKARA

Halil İbrahim VURAL tarafından hazırlanan KAFES KİRİŞ SİSTEMLERDE OPTİMUM KAYNAK SIRASI PLANI VE DİSTORSİYON (ÇARPILMA) KUVVETLERİNİN BELİRLENMESİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



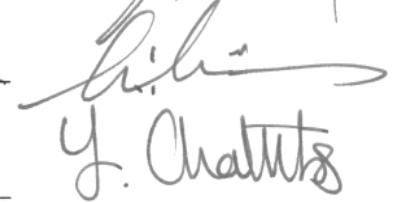
Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ

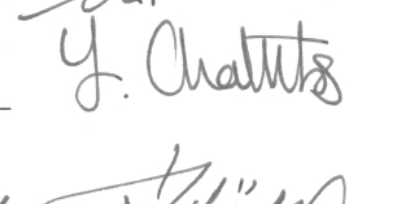
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Metal İşleri Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Adem Kurt 
26.04.2006

Üye : Prof. Dr. Mahmut İZCİLER 
26.04.2006

Üye : Doç. Dr. Ramazan ÇITAK 
26.04.2006

Üye : Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ 
26.04.2006

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ERTÜRK 
26.04.2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Halil İbrahim VURAL

**KAFES KİRİŞ SİSTEMLERDE OPTİMUM KAYNAK SIRASI PLANI VE
DİSTORSİYON (ÇARPILMA) KUVVETLERİNİN BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Halil İbrahim VURAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Nisan 2006

ÖZET

Bu çalışmada, çelik konstrüksiyon kafes kiriş sistemlerdeki kaynaklı birleştirmelerin sebep olduğu distorsiyon etkilerini minimize etmek için uygun kaynak sırası planının (KSP) belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, distorsiyon kuvvetlerini belirleyebilmek için rijit bir kafes çerçeve hazırlanmış ve distorsiyon kuvvetlerini ölçen gerinim ölçerli (strain gauge) kuvvet algılayıcı plakalar (KAP) kafes kiriş ile rijit çerçeve arasına yerleştirilmiştir. Uygulanan KAP'larda plakalarında oluşan distorsiyon kuvvetleri Data Logger'a ve kişisel bilgisayara aktarılmıştır. Bu sayede, KSP/distorsiyon ilişkisi bilgisayar ortamında AMR Win Kontrol programı ile analiz edilmiştir. 20 değişik kombinasyondaki KSP'ler vasıtasıyla kafes kiriş düğüm noktalarına uygulanan kaynak işlemleri sonucu oluşan distorsiyon etkileri belirlenmiştir. Mümkün olduğunca birbirinden uzak düzenlenmiş birleştirme sırası ve homojen ısı dağılımı içeren KSP'lerde minimum distorsiyon kuvvetleri belirlenmiştir.

Ancak özellikle merkezde başlayan veya bitirilen ve belirli bölgede yoğun kaynak işlemi içeren KSP’lerde ise en büyük distorsiyon kuvvetleri tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 710
Anahtar Kelimeler : Kafes giriş, kaynak sırası planı (KSP), distorsiyon, distorsiyon kuvvetleri
Sayfa Adedi : 144
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ

**DETERMINATION OF OPTIMUM WELDING PROCESS SPECIFICATION
AND DISTORTION FORCES IN THE LATTICE BEAM STRUCTURES**

(M.Sc. Thesis)

Halil İbrahim VURAL

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

April 2006

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate welding process specification (WPS) which causes minimum distortion in the welded lattice beam systems of steel constructions. For this purposes, a rigid steel frame and force measuring plates (FMP) were prepared. These plates were placed between the rigid frame and the lattice beam for measuring distortion forces. Distortion forces created by different applications of WPS in the lattice beam were transferred to data-logger and then to personal computer (PC). The relationship between WPS and distortion forces has been analyzed by using AMR Win Control programme. Effects of 20 different combinations of WPS on distortion forces in the lattice beam were determined. It was found that minimum distortion forces were observed for WPS includes homogenous heat gradient and welding joint points arranged as remote as possible to each other on the lattice beam.

WPS which was including starting or finishing of welding at central of beam and welding process concentrated in a small area of beam caused formation of maximum distortion forces.

Science Code : 710

Key Words : Lattice beam, welding process specification (WPS), distortion, distortion forces

Page Number: 144

Adviser : Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ'a, yine tecrübelerinden faydalandığım Tayfun FINDIK'a, yardımını esirgemeyen Alpay ÖZER'e, çevirilerde yardım ve desteğini veren arkadaşım Duygu AYDIN'a, yazım aşamasında yordduğum kardeşim Zeynep ELİBOL'a ve ailesine, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan Özer PAMUK ve çok değerli arkadaşlarıma ve eşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	iix
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAKLI BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	4
2.1. Ergitmeli Kaynaklar Yöntemleri.....	4
2.1.1. Gaz ergitme kaynağı.....	5
2.1.2. Ark kaynak yöntemleri.....	6
2.1.3. Elektron ışın kaynağı.....	9
2.1.4. Lazer ışın kaynağı.....	11
2.2. Ergitmesiz Kaynak Yöntemleri.....	11
2.2.1. Difüzyon kaynağı.....	12
2.2.2. Elektrik direnç kaynağı.....	13
2.2.3. Ultrasonik kaynak.....	14
2.2.4. Sürtünme kaynağı.....	15
2.2.5. Patlamalı kaynak.....	16
3. KALINTI GERİLMELER.....	19
3.1. Kalıntı Gerilmelerin Sebepleri.....	19

Sayfa

3.2. Kalıntı gerilmelerin oluşumu.....	21
3.2.1. Yapısal uyumsuzluk nedeniyle oluşan kalıntı gerilmeler.....	21
3.2.2. Düzenli dağılmayan plastik şekil değişimi ile meydana gelen kalıntı gerilmeler.....	26
3.3. Kaynak Esnasında Oluşan Termal Gerilmeler ve Metal Hareketleri.....	26
3.4. Kaynaklı Yapılarda Tipik Kalıntı Gerilmeler.....	32
3.4.1. Alın kaynağında kalıntı gerilmeler.....	32
3.4.2. Kenar kaynaklarında kalıntı gerilmeler.....	32
3.4.3. İç köşe kaynağında kalıntı gerilmeler.....	34
3.4.4. Yarık kaynağında kalıntı gerilmeler.....	34
3.5. Kaynaklı Yapılarda Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi.....	37
3.6. Kalıntı Gerilmelerin Ölçümünde Kullanılan Birim Uzama Ölçerler (Strain Gauges).....	43
3.6.1. Birim uzama ölçerlerin yapısı.....	44
3.6.2. Tam, yarım ve çeyrek Wheatstone köprüleri.....	45
3.6.3. Birim uzama ölçer yapıştırıcıları.....	47
4. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE DİSTORSİYON.....	48
4.1. Distorsiyonların Fiziksel Esasları.....	48
4.2. Kaynaklı Birleştirmelerde Distorsiyon Oluşmasına Etki Eden Faktörler.....	51
4.2.1. Konstrüksiyonun rijitlik derecesi.....	51
4.2.2. Malzemenin metalürjik özellikleri.....	52
4.2.3. Isıl genleşme katsayısı.....	52
4.2.4. Isıl iletkenlik katsayısı	52
4.2.5. Kaynak hızı.....	53

Sayfa

4.2.6. Kaynak metalinin erime sıcaklığı	53
4.2.7. Akma sınırı.....	53
4.2.8. Elastiklik modülü.....	53
4.3. Kaynaklı Birleştirmelerde Çeşitli Distorsiyon Tipleri.....	53
4.3.1. Kaynaklı birleştirmelerde enine çekme.....	57
4.3.2. Kaynaklı birleştirmelerde boyuna çekme.....	64
4.3.3. Kaynaklı birleştirmelerde açısal distorsiyon.....	67
4.4. Burkulma Distorsiyonu.....	72
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	77
5.1. Malzeme ve Kaynak Parametreleri.....	77
5.2. Deney Sistemi ve Kullanılan Cihazlar.....	78
5.3. Kaynak Sırası Planı.....	81
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	85
6.1. I. Grup KSP.....	87
6.2. II. Grup KSP.....	91
6.3. III. Grup KSP.....	98
6.4. İdeal Grup KSP.....	102
6.5. Aynı KSP'nin Farklı Uygulama Halleri.....	112
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	116
KAYNAKLAR.....	118
EKLER.....	121
EK-1. Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri.....	122
ÖZGEÇMİŞ.....	144

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ek kaynak metali kullanılarak yapılan ergitme kaynağı.....	5
Şekil 2.2. Ek kaynak metali kullanılmadan yapılan ergitme kaynağı	5
Şekil 2.3. Elektrik arkının oluşumu	6
Şekil 2.4. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi	7
Şekil 2.5. TIG kaynak yönteminde kaynak bölgesi	8
Şekil 2.6. MIG kaynak yönteminde ark bölgesi	8
Şekil 2.7. Toz altı kaynak yönteminde kaynak bölgesi	9
Şekil 2.8. Sürtünme kaynak mekanizmasının sembolik gösterilişi.....	16
Şekil 2.9. Patlama kaynağı şematik gösterimi.....	17
Şekil 3.1. Taşlama ile talaş kaldırılan bir malzemede oluşan kalıntı gerilmeler.....	20
Şekil 3.2. Kaynaklı bir parçada kalıntı gerilmeler.....	20
Şekil 3.3. Farklı uzunluktaki çubukların uç bölgelerinden birleştirilmeleri sonucu oluşan kalıntı gerilmeler.....	21
Şekil 3.4. Üç çubuklu çerçevede, ortadaki çubuğun gerilme-sıcaklık eğrisi.....	22
Şekil 3.5. Akma mukavemetinin sıcaklıkla değişimi.....	24
Şekil 3.6. Kalıntı gerilmelerinin gözlemlendiği değişik parçalar.....	25
Şekil 3.5. Kaynak esnasında sıcaklık ve gerilme dağılımının şematik gösterilişi	28
Şekil 3.6. Tek pasolu alın kaynak birleştirmesinde kalıntı gerilme dağılımı	29
Şekil 3.7. Alın kaynağındaki kalıntı gerilmelerin tipik dağılımı	31
Şekil 3.9. Bir kenar kaynağında kalıntı gerilmeler	33
Şekil 3.10. T kaynak birleştirmelerinde kalıntı gerilme dağılımı.....	35
Şekil 3.11. Bir yarık kaynak dikişi.....	36

Şekil	Sayfa
Şekil 3.12. Bir yarık kaynak dikişi çevresinde kalıntı gerilme dağılımı	36
Şekil 3.13. Röntgen (X-ray) difraksiyon tekniklerinin şematik kullanılışı.....	39
Şekil 3.14. Gerilme gevşetme tekniğinin bir plakaya uygulanışı.....	41
Şekil 3.15. Mathar-Soete delme tekniğinde 120° yıldız şeklinde yerleştirilmiş gerilme ölçerler.....	42
Şekil 3.16. Gunnert delme metodu.....	43
Şekil 3.17. Bir birim uzama ölçerin yapısı.....	44
Şekil 3.18. Wheatstone köprüsünde renk ve sayı kotları.....	45
Şekil 3.19. Wheatstone köprü türleri.....	46
Şekil 4.1. Serbest metal bir çubukta ısınma ve soğuma sonucunda boyut değişimi.....	49
Şekil 4.2. Uzunlamasına sınırlandırılmış metal bir çubukta ısınma ve soğuma sonucunda yığılma biçiminde boyut değişimi.....	50
Şekil 4.3. Sabitlenmiş bir metal çubukta ısınma ve soğuma esnasında görülen olaylar.....	50
Şekil 4.4. Parçaların kaynak işlemlerinde oluşan durumlar.....	51
Şekil 4.5. Çeşitli distorsiyon şekilleri.....	54
Şekil 4.6. Kaynaklı bir parça üzerinde çekme gerilmeleri ve distorsiyon türleri.....	55
Şekil 4.7. Kaynaklı yapılarda açısız distorsiyonlar.....	56
Şekil 4.8. İç köşe kaynaklarında boyuna çekmenin nötr eksene göre değişimi.....	56
Şekil 4.9. Örtülü elektrotla kaynak esnasında kaynatılmayan kısımda dönme distorsiyonu	58
Şekil 4.10. Tozaltı kaynağı esnasında kaynatılmayan kısımda dönme Distorsiyonu.....	58
Şekil 4.11. Alın kaynağı yapılan çelik levhalarda kalınlığın büzülmeye etkisi.....	59

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. Alın kaynaklarında enine çekmeyi azaltmak için uygulanan metotların şematik diyagramı.....	61
Şekil 4.13. Alın kaynaklarında, kök açıklığının ve elektrot çapının enine Çekmeye etkisi.....	62
Şekil 4.14. Çeşitli kaynak sırası ile kaynatılan bir yarık kaynağı numunesinde oluşan enine çekmenin dağılımı.....	63
Şekil 4.15. Boyuna çekmenin, mukavemet kesiti Ap ile kaynak metali kesiti Aw'nin bir fonksyonu olarak değişimi.....	65
Şekil 4.16. I köşebentte oluşan boyuna distorsiyon.....	66
Şekil 4.17. İç köşe kaynağı ile birleştirilmiş parçalarda oluşan boyuna distorsiyon.....	66
Şekil 4.18. Fe 37 Çeliğinden yapılmış iç köşe birleştirmelerinde açısai distorsiyonun kaynak dikiş yüksekliği ile değişimi.....	67
Şekil 4.19. Bilezik tipi deney parçasında kaynak geometrileri.....	69
Şekil 4.20. Bilezik tipi deney parçasında metal ağırlığının açısai değişime etkisi.....	69
Şekil 4.21. Çeşitli kaynak yöntemlerinin ve dikiş şeklinin açısai değişime etkisi	70
Şekil 4.22. Tek V kaynak ağzında sac kalınlığının açısai distorsiyona etkisi	71
Şekil 4.23. İç köşe kaynaklı iki yapıda, açısai değişme sonucu oluşan distorsiyon.....	71
Şekil 4.24. Çeşitli sac kalınlıklarında ve akım şiddetlerinde iç köşe dikişlerinde oluşan açısai değişme.....	73
Şekil 4.25. İç köşe dikişlerinde meydana gelen açısai distorsiyon	73
Şekil 4.26. Kaynaklı bir parçada kalınlığın burkulma distorsiyonuna etkisi.....	75
Şekil 4.27. Farklı kalınlıktaki saclardan yapılan kutularda burkulma distorsiyonu.....	75
Şekil 4.28. Alın kaynağında ki burkulma distorsiyonu için kritik kalınlık.....	76

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1. Deney numunesi.....	77
Şekil 5.2. Kuvvet algılayıcı plaka (KAP).....	78
Şekil 5.3. Deney düzeneği.....	79
Şekil 5.4. Deney numunesinde ki 8 düğüm noktası.....	82
Şekil 6.1.1 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	88
Şekil 6.2. Kafes kiriş sistemin 1 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (rijit olmayan yapı).....	88
Şekil 6.3. 5 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	89
Şekil 6.4. Kafes kiriş sistemin 5 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	89
Şekil 6.5. 10 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	90
Şekil 6.6. Kafes kiriş sistemin 10 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	90
Şekil 6.7. 2 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	92
Şekil 6.8. Kafes kiriş sistemin 2 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (pasolar arası soğuma zamanı verilmemiş ve rijit olmayan yapı).....	92
Şekil 6.9. 3 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	93
Şekil 6.10. Kafes kiriş sistemin 3 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	93
Şekil 6.11. 4 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	94
Şekil 6.12. Kafes kiriş sistemin 4 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	94
Şekil 6.13. 14 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	95
Şekil 6.14. Kafes kiriş sistemin 14 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	95
Şekil 6.15. 15 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	96

Şekil	Sayfa
Şekil 6.16. Kafes giriş sistemin 15 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri	96
Şekil 6.17. 16 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	97
Şekil 6.18. Kafes giriş sistemin 16 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	97
Şekil 6.19. 8 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	99
Şekil 6.20. Kafes giriş sistemin 8 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	99
Şekil 6.21. 9 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	100
Şekil 6.22. Kafes giriş sistemin 9 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	100
Şekil 6.23. 18 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	101
Şekil 6.24. Kafes giriş sistemin 18 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	101
Şekil 6.25. 6 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	103
Şekil 6.26. Kafes giriş sistemin 6 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	103
Şekil 6.27. 7 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	104
Şekil 6.28. Kafes giriş sistemin 7 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	104
Şekil 6.29. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	105
Şekil 6.30. Kafes giriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	105
Şekil 6.31. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	106
Şekil 6.32. Kafes giriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (rijit olmayan yapı).....	106
Şekil 6.33. 12 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	107

Şekil	Sayfa
Şekil 6.34. Kafes giriş sistemin 12 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	107
Şekil 6.35. 13 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	108
Şekil 6.36. Kafes giriş sistemin 13 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	108
Şekil 6.37. 17 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	109
Şekil 6.38. Kafes giriş sistemin 17 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	109
Şekil 6.39. 19 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	110
Şekil 6.40. Kafes giriş sistemin 19 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	110
Şekil 6.41. 20 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	111
Şekil 6.42. Kafes giriş sistemin 20 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri.....	111
Şekil 6.43. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	113
Şekil 6.44. Kafes giriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (rijit yapı).....	113
Şekil 6.45. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	114
Şekil 6.46. Kafes giriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (pasolar arası soğuma zamanı verilmemiş).....	114
Şekil 6.47. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz.....	115
Şekil 6.48. Kafes giriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (rijit olmayan yapı).....	115

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü ve çekme plakaları.....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
KAP	Kuvvet Algılayıcı Plaka
KSP	Kaynak Sırası Planı
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
TIG	Tungsten Inert Gas

1. GİRİŞ

Kaynak birleştirme işleminin büyük çoğunluğu ısı içerir. Parçaların birbirine kaynak yöntemleriyle birleştirilmesi esnasında, malzemeler lokal olarak ısıtıldığı için kaynak yapılan bölgenin her tarafındaki ısı dağılımı düzenli değildir. Kaynak işlemi sürdüğü müddetçe de ısı dağılımında sürekli değişiklikler olur. Düzensiz ısı dağılımları ise iş parçasının ısınan kısımları ile soğuk kısımları arasında termal gerilmeler oluşturur. Kaynak metali sıvı haldeyken en büyük hacme sahiptir. Kaynak metali katılaştıkça ve katı halde soğurken hacim azalır yani büzülme gösterir. Kaynak metaline komşu olan ana metal (ITAB) de kaynak enerjisi tesiri ile ısınır. Isınan ana metal de soğurken büzülme ister. Ancak, hem kaynak metalinin hem de ana metalin büzülme eğilimleri, onları çevreleyen soğuk iş parçası tarafından engellenir. Kaynaklı konstrüksiyonun rijitliği de büzülme engellemesine katkı sağlar. Büzülmenin sınırlanması ise kaynak bölgesinde kalıntı gerilme oluşumuna neden olur. Bu kalıntı kaynak gerilmeleri, soğuma sonrasında da mevcut olduklarından ‘kalıntı gerilme’ adını alır. Kaynak bölgesi sıcak iken akma mukavemeti çok düşük olduğundan, oluşan kaynak gerilmeleri plastik şekil vermeye neden olur. Yani kaynaklı birleştirmede şekil değişimi ‘distorsiyon’ (çarpılma) meydana gelir [1, 2].

Kaynaktaki kalıntı gerilmelerin iki önemli etkisi vardır:

1. Distorsiyona sebep olurlar.
2. Kaynağın erken kırılmasına yol açabilirler [3].

Tüm kaynak yöntemlerinde karşılaşılan en önemli sorun distorsiyonlardır. Aynı malzeme ve aynı konstrüksiyon halinde bile özgül ısı girdisi ve kaynak bölgesinin genişliğine bağlı olarak distorsiyon miktarları değişir. Esasen distorsiyonların; yapının rijitlik derecesi, kütlesi, malzemenin akma sınırı, elastiklik modülü, ısı genleşme katsayısı, ısı iletim katsayısı, ergime sıcaklığı, özgül ısı girdisi, kaynak bölgesinin boyutları, konstrüksiyon ile kaynak bölgesi arasındaki sıcaklık farkı gibi büyük bir çoğunluğu sıcaklığın fonksiyonu olarak değişen çok çeşitli faktörlerin

etkisinde olması, önceden hassas bir biçimde hesaplanmalarını olanaksız kılar. Bu bakımdan literatürde var olan çeşitli bağlantılar ile uygulamalar sonucu elde edilmiş deneyimlerden yararlanmak daha gerçekçi sonuçlar vermektedir [4].

Distorsiyon kontrolü bazı tekniklerle sağlanabilir. En çok kullanılan yöntem kaynak öncesi ve kaynak esnasında birleşme şeklini kontrol edebilmektir. Bu yöntemin örnekleri olarak parçaların kaynaktan önceki ilk pozisyonlarını uygun seçerek distorsiyon etkilenmelerini önlemek veya parçaları sabitleyerek kaynak esnasında hareket etmelerini ve çarpılmalarını engelleyebilme sayılabilir. Bir başka yararlı yöntem de, kaynak yığılmasını birleşme ekseninin her iki tarafına dengeli bir biçimde dağıtmaktır. Kaynak yönteminin seçimi ve kaynak sırası planı (KSP), kalıntı gerilme ve distorsiyonun oluşumuna etki eder. Son olarak parçalarda oluşan çarpıklıklar mekanik yöntemlerle düzeltilebildiği gibi ısı ve alev etkisiyle de düzeltme yapılabilir [5].

Yapılan bu çalışmada, kafes kiriş sistemlerindeki düğüm noktalarının kaynaklı birleştirilmesi sonucu meydana gelen kendini çekme kuvvetleri ve distorsiyon eğilimleri incelenmiştir. Aynı malzeme ve aynı konstrüksiyon üzerinde değişik kaynak sırası planları uygulanarak, bu kaynak sırası planlarının, kafes kiriş sisteminde meydana getirdiği distorsiyon etkileri araştırılmıştır. Bu konuda C.Hackmair, E.Werner, M.Pönisch, kaynak sırası planının T bağlantılı yapılar üzerindeki distorsiyonuna etkilerini çalışmış ve bunları modelleyerek distorsiyonların önceden tahmini konusunda çalışmalar yapmıştır. Uygulamada iki farklı şekilde yapılan dört kaynak sırası planı karşılaştırılmıştır. Kaynak sonuçlarının bilgisayar ortamında simülasyonu yapılmış ve ölçülen distorsiyonlar ile hesaplanan distorsiyonlar kıyaslanmış ve bunlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.

Bu amaçla 3 adet kafes kiriş sistemine toplam 21 farklı kaynak sırası planı uygulanarak elektrik ark kaynak yöntemi ile kaynak çekilmiştir. Kaynaklı birleştirme işlemi sonunda, soğumanın tamamlanmasının ardından (büzülme bittikten sonra) gözlemlenen ölçümler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda kafes kiriş sistemler için distorsiyonları en aza indirecek uygun kaynak sırası planı belirlenmeye

alışılış ve bu plan hakkında genel bir yargıya ulaşılışı hedeflenmiştir. Uygun kaynak sırası planını tespit ederek, kaynak öncesi ve kaynak esnasındaki tedbirlerin en aza indirilmesi sağlanmaya alışılıştır. Bilindiği gibi en uygun kaynak sırası planında bile distorsiyon oluşumunu engellemek mümkün değildir. Ancak kaynak sonrası distorsiyon oluşumunun minimum seviyeye indirilmesi, bunların düzeltme işlemlerini kolaylaştıracak veya böyle bir düzeltmeye ihtiyaç duyulmayacaktır.

2. KAYNAKLI BİRLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

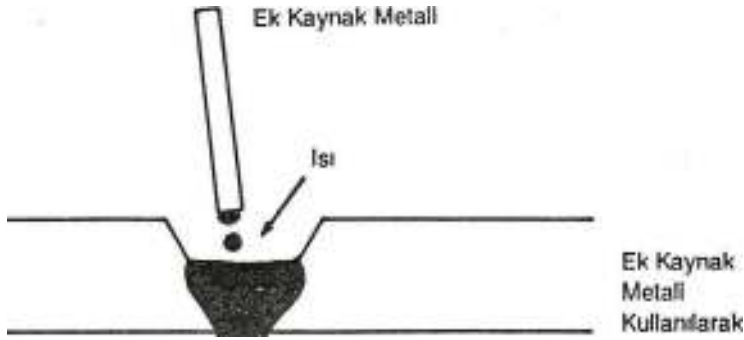
Kaynaklı birleştirme işlemleri çok sayıda ürünün geliştirilmesinde temel teşkil etmektedir. Kaynak işleminin beklenenden daha fazla üretim zorlukları oluşturduğu görülmektedir. Birçok sebep bu durumu açıklamaktadır. Kaynaklı birleştirmeler birden fazla işlem değişkenini kapsamaktadır ve hepsinin çözülmesi gerekli bazı problemleri vardır. Kaynaklı birleştirme problemleri çoğunlukla işlem esnasında meydana gelir. Meydana gelen gerilmeler birçok uygun olmayan birleştirmelere sebep olmaktadır [7].

Kaynak; aynı veya ergime aralıkları birbirine yakın iki veya daha fazla metalik veya termoplastik parçayı ısı, basınç veya her ikisini birden kullanarak, aynı türden bir malzeme katarak veya katmadan birleştirme işlemidir [4]. Günümüze kadar birçok kaynak yöntemi bulunmuş ve her bir kaynak yöntemi farklı ihtiyaçları karşılamıştır. Bu kaynak yöntemleri uygulamadaki farklılıklarına göre ergitmeli kaynak yöntemleri ve ergitmesiz kaynak yöntemleri olarak sınıflandırılabilir.

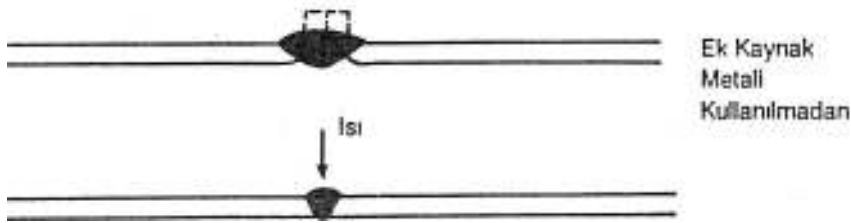
2.1. Ergitmeli Kaynaklar Yöntemleri

Ergitme kaynağında genel olarak aynı cinsteki metaller, birleşme yerlerinden ergitilir ve ilave katkı maddeli veya maddesiz olarak birleştirilir. Birleştirme yapılacak malzeme yalnız sıcaklığın etkisi ile bölgesel olarak ergitip birleştirme gerçekleştirilir. Bu yöntemlerde kaynak sıcaklığı birleştirilecek malzemelerin ergime sıcaklıklarından daha yüksektir [4].

Şekil 2.1’de ek kaynak metali kullanılarak yapılan ergitme kaynağı, Şekil 2.2’de ek kaynak metali kullanılmadan yapılan ergitme kaynağı görülmektedir.



Şekil 2.1. Ek kaynak metali kullanılarak yapılan ergitme kaynağı [4]



Şekil 2.2. Ek kaynak metali kullanılmadan yapılan ergitme kaynağı [4]

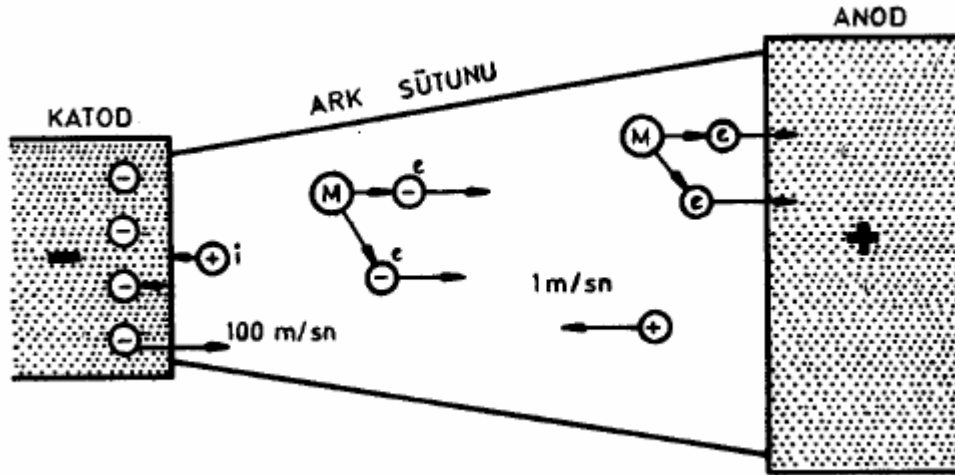
2.1.1. Gaz ergitme kaynağı

Ergime için gerekli olan ısının biri yanıcı gaz, diğeri yakıcı olan gazların yakılması ile oluşan alevden faydalanarak sağlandığı kaynak yöntemidir. Yakıcı gaz olarak genellikle oksijen kullanılır. Bu nedenle bu kaynak yöntemi oksijen kaynağı olarak da adlandırılır. Yanıcı gaz olarak ise genellikle asetilen kullanılır, çünkü bu gazla yüksek sıcaklıklara erişebilir. Bunun dışında hidrojen, metan, propan, bütan, propan-bütan karışımı, hava gazı ve benzin ile benzol buharı kullanılan yanıcı gazlardır [8, 9].

Basit ve sıklıkla kullanılan bir sistem olan gaz ergitme kaynak yöntemi, gaz tüpleri, gaz basınç regülatörleri, hortumlar ve kaynak torçlarından meydana gelir. Çok değişik metallere uygulanmasına rağmen, karbonlu çelik saclar, karbonlu çelik tüp ve borularda devamlı kullanılmaktadır. Isı kontrolü, parçalar arasında geniş aralığa izin vermesi ve kaynak havuzunun açık bir şekilde gözlenebilmesi en önemli avantajları arasında sayılabilir [7].

2.1.2. Ark kaynak yöntemleri

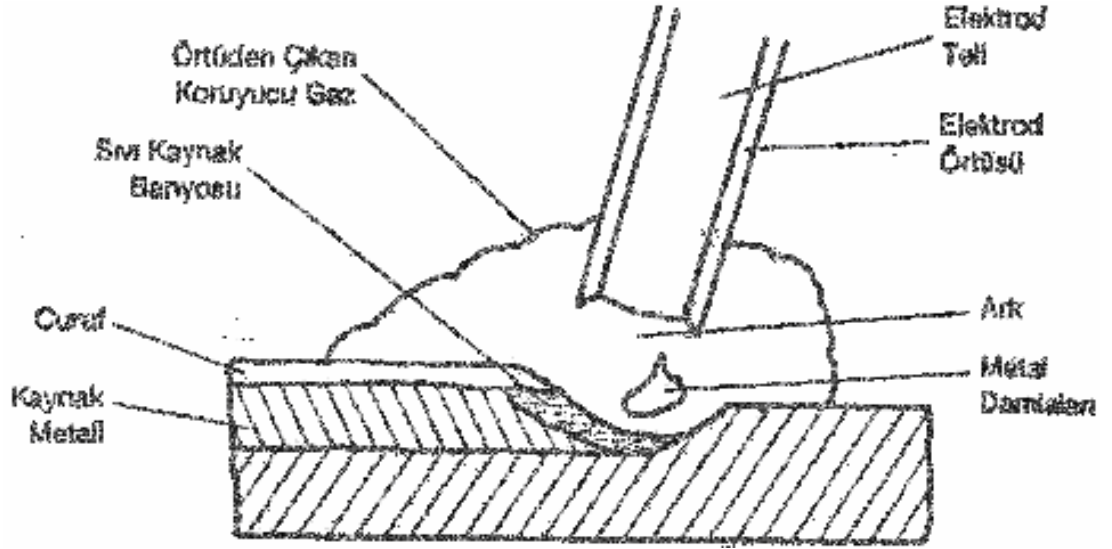
Temel ilkeleri elektrik arkından elde edilen ısıya dayanan ark kaynak teknikleri elektriğin bulunmasıyla geliştirilmeye başlamıştır. Ark ergitme kaynaklarında metal malzeme, yalnız ark sıcaklığının etkisiyle bölgesel olarak ek kaynak metali ile birlikte eritilip birleştirilir. Kaynak bölgesini doldurmak için gerekli ilave kaynak metalini kaynak bölgesine aktarılması ve kaynak banyosunun havanın olumsuz etkilerinden korunması biçimlerine göre çeşitli ark kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. Günümüzde en fazla ark kaynak yöntemleri kullanılmaktadır [10].



Şekil 2.3. Elektrik arkının oluşumu [11]

Elektrik ark kaynağı

Ergime için gerekli ısının elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark vasıtasıyla sağlandığı bir ergitme kaynağı yöntemidir. Elektrik arkı yüksek sıcaklığından dolayı malzeme kaynak yapılan bölgede ergir. Aynı zamanda katkı maddesi olarak elektrot da erir ve böylece eriyen elektrot kaynak metali haline geçer. Ark ile birlikte elektrot örtüsü de ısıdan dolayı erir ve erime esnasında açığa çıkan gaz ark bölgesini atmosferden korur. Oluşan cürufta kaynak dikişini örterek kaynak metalinin korunmasını sağlar. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi Şekil 2.4.'deki gibi oluşmaktadır [4].



Şekil 2.4. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi [4]

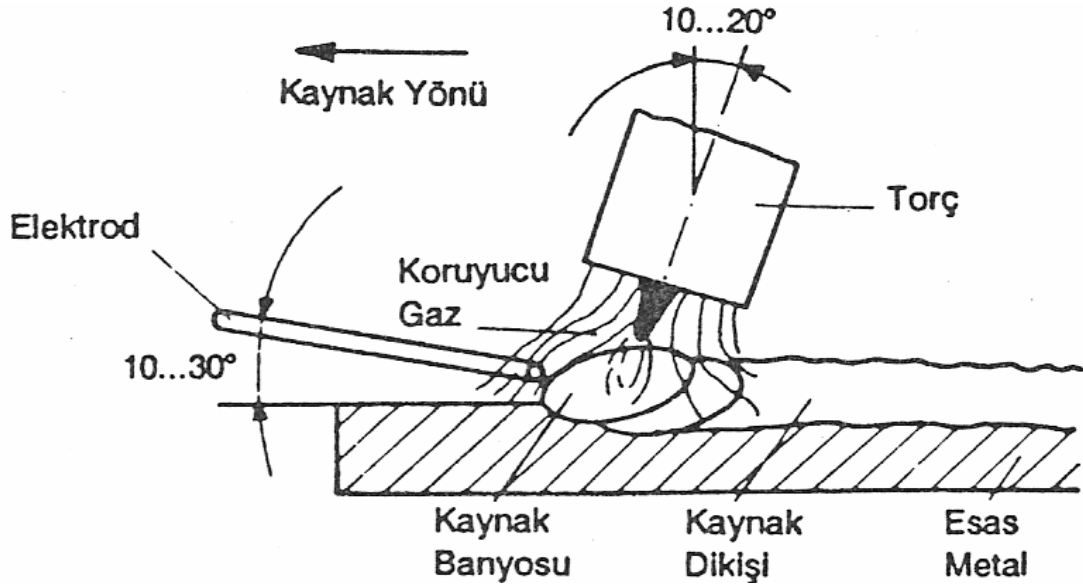
Değişik özellikteki malzemelere uygulanabilmesi, her pozisyonda kaynak yapılabilmesi ve farklı konstrüksiyonlarda iyi sonuçlar vermesi nedeniyle uygulama alanı çok geniş bir yöntemdir. Kafes kiriş sistemlerin kaynaklı birleştirilmelerinde de sıkça kullanılan bu yöntemi bizde çalışmalarımızda kullanmayı tercih ettik.

Gaz altı ark kaynağı (Koruyucu gaz kaynağı)

Kaynak yapılan alanın koruyucu bir gaz atmosferi ile korunduğu ark kaynak yöntemidir. Koruyucu gaz kaynağı, ergimeyen elektrotlu bir tungsten elektrotu olan koruyucu gaz kaynağı (TIG) ve ergiyen bir tel elektrotu olan metal koruyucu gaz kaynağı (MIG-MAG) olarak iki gruba ayrılır. Her iki metotta ark köprüsü ve ergiyik banyosu bir koruyucu gaz vasıtasıyla atmosfere karşı perdelenir. Koruyucu gazın seçimi, malzemeye ve kaynak metoduna bağlıdır [12].

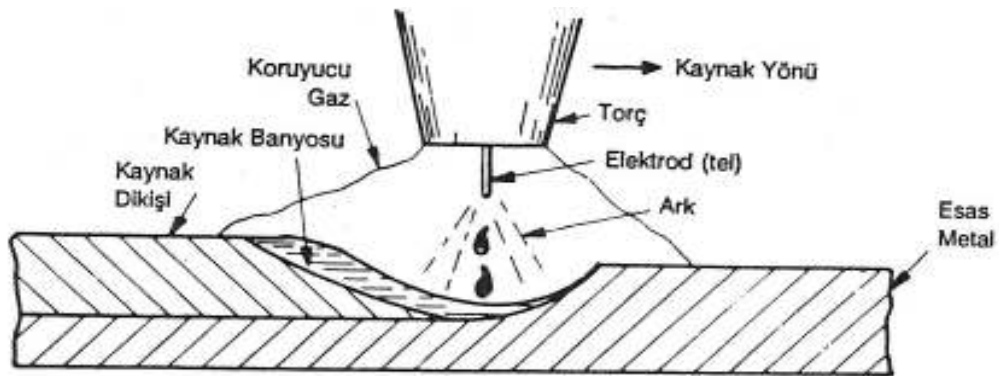
Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı enerjisi bir Tungsten elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlanmaktadır. TIG kaynağı, “Tungsten Inert Gas” kelimelerinin baş harflerinin alınması ile meydana gelmiştir. TIG kaynağında tungsten elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturulur ve bu ark havanın etkisinden

argon ve helyum gazı atmosferi ile korunur. Kaynak işlemi için ayrıca ilave metale ihtiyaç vardır [13].



Şekil 2.5. TIG kaynak yönteminde kaynak bölgesi

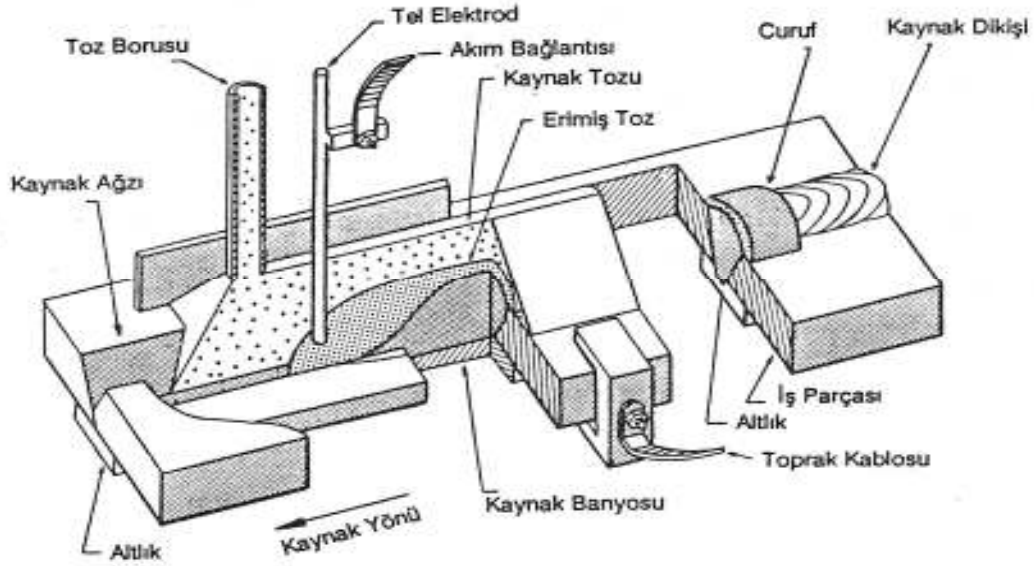
MIG kaynağı, asal gaz atmosferi altında eriyen elektrotla yapılır. Kaynak için gerekli olan ark kaynak torcundan gelen çıplak kaynak teli aracılığıyla oluşur. TIG kaynağında olduğu gibi ilave tel kullanılmasına gerek yoktur. Genellikle argon gazının kullanıldığı bu yöntem adını “Metal Inert Gas” kelimelerinin baş harflerinden almıştır. Ergiyen elektrotla aktif olan karbondioksit atmosferi altında yapılan MAG kaynağı adını “Metal Active Gas” kelimelerinin baş harflerinden almıştır. MIG kaynağından tek farkı kullanılan koruyucu gazdır [13].



Şekil 2.6. MIG kaynak yönteminde ark bölgesi

Toz altı ark kaynağı

Kaynak arkı, otomatik olarak gelen çıplak bir elektrot ile iş parçası arasında meydana gelirken aynı zamanda kaynak alanına devamlı olarak bir toz dökülür ve ark bu tozun altında yanar. Kaynak yüzeyi, hareket halinde çekilerek sevk edilen, ince taneli toz tarafından örtülür ve bundan dolayı görülmez. Ark boyu sahasında toz eritilir. Ergiyik banyosunu ortamın atmosferine karşı perdeleyen ve kaynak dikişini uzun süre içinde soğumasını sağlayan cüruf meydana gelir. Ergimeyen, fazla gelen toz temizlenir ve tekrar kullanılır. Kaynaktan sonra oluşan cüruf temizlenir [8,11,12].



Şekil 2.7. Toz altı kaynak yönteminde kaynak bölgesi

Otomatik bir kaynak usulü olmanın yanında yüksek güçlü olan toz altı kaynak yöntemi ile kalın parçaların kaynağı yapılabilmektedir. Bunun yanında yalnız yatay pozisyonlarda kullanılabilmesi ve yüksek ısı girdisi nedeniyle gerilmeleri arttırma yönünde olumsuzlukları mevcuttur.

2.1.3. Elektron ışın kaynağı

Elektron ışın kaynak yöntemi, yüksek hızlı elektron demetinin malzemeye çarpması sonucunda malzemenin ısınması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem kaynak

derinliğinin kaynak genişliğine 25/1 oranına kadar yüksek kaliteli kaynak elde etme imkanı sağlamaktadır [14].

Bu yöntemde, elektron ışınlarının kaynak bölgesine şiddetli bombardımanı ile ergitme sağlanır ve kaynak işlemi gerçekleştirilir. Elektron ışınları iş parçasına temas ettiğinde ve nüfuziyet başladığında ışınların kinetik enerjileri ısı enerjisine dönüşür. Çok geniş metalik malzeme üzerinde uygulama alanına sahip olan yöntemin kaynak kalitesi oldukça yüksektir. Bu kaynak yönteminde gerekli ısı elektron ışınlarından sağlanır. Elektron ışınları ile temin edilen ısı veya gücün yoğunluğu klasik kaynak tekniklerinden daha yüksektir. Bu güç sayesinde tabancadan 1 m. uzaklıklara kadar çalışma imkanı doğar. Yöntemin ilk uygulamaları reaktörler, roket, otomotiv ve uçak sanayi gibi yeni konularda olmuştur. Fakat farklı metallerin elektron ışın kaynağı kullanılarak birleştirilmeleri son yıllarda ilgi çekici konulardan olmuştur. Lazer ışınları ile elde edilen sonuçlar ince ve hassas kaynak işleri için iyi uyum göstermesine rağmen, kalın kesitli malzemelerde iyi sonuçlar alınamaması bu tekniği geliştirmiştir [7,15].

Elektron ışın kaynağının temel avantajı; derin ve dar bir dikiş elde edilmesidir. Yüksek birleşme oranı, minimum ısıdan etkilenen bölge ve geniş akım seçeneği yöntemin özelliklerindendir [7,16].

Elektron ışın kaynağının avantajları yanında iki adet dezavantajı bulunmaktadır;

1. Elektronların havada hareketleri tam olarak kontrol edilemediği için yüksek vakum ortamı gerektirmektedir.
2. Elektron demetiyle kaynak işleminin gerçekleştirilmesi sırasında, yüksek hıza ulaştırılmış elektronlar zararlı X ışınlarının çıkmasına neden olmaktadır. Bu da pahalı koruyucu tedbirler gerektirmektedir [14].

2.1.4. Lazer ışın kaynağı

Montaj parçalarının sürekli olarak küçülmesi, birleştirme tekniklerinin daha küçük alanlara yayılmasını gerekli kılması bu yöntemin gelişimine hız vermiştir. Lazer ışın kaynağı, yüksek yoğunluklu lazer diye adlandırılan yapışık optik enerji kaynağı kullanılarak yapılır. Lazer ışınlarının yapışık doğası ışınların küçük bir noktada toplanmasına ve yüksek enerji yoğunluğunun oluşmasına izin verir [7,8].

Lazer ışın kaynağı, elektron ışın kaynağı kadar yüksek kalitede vakum ortamı gerektirmeden ve kaynak işlemi esnasında X ışınları üretmeden gerçekleştirilmektedir. Lazer ışın demetinin yüksek derecede uyumluluğu odaklanarak çok küçük bir noktaya 10^6 W/cm^2 'nin üzerinde bir güç yoğunluğunun uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Bu değer ark kaynakları için en fazla $5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$ 'dir. Lazer ışın demetindeki bu güç yoğunluğunda, malzeme tabanında ısı yayılımı çok hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Lazer ışın kaynağında, ışın demetinin odaklandığı yerdeki leke çapına düşün malzemeyi eritecek kadar enerji uygulanmalıdır [14].

Çok sayıda araştırma ve uygulama, lazer ışın kaynağının hassas ve yüksek kalitede bir birleştirme sağladığını göstermiş ve bu durum bilimde araştırılması gereken bir alan, teknolojide ise uygulanması ve geliştirilmesi gereken bir malzeme işleme yöntemi haline gelmiştir [14].

Diğer kaynak yöntemlerine göre lazer ışın kaynağına üstünlük kazandıran en önemli nitelikler; lazerin temiz bir enerji kaynağı olması, dolgu malzemesi kullanmadan kaynağın gerçekleştirilebilmesi, ısıdan etkilenen dar bir bölgeye sahip olması, yüksek kaynak hızı ve farklı metallerin kaynatılabilirliği sayılabilir [14].

2.2. Ergitmesiz Kaynak Yöntemleri

Endüstride kullanılan malzemelerin, gelişen teknoloji ile birlikte günümüz ihtiyaçlarına cevap verememesi ya da istenilen özellikleri karşılayamaması

araştırmacıları yeni malzeme oluşumları konusunda araştırmaya sevk etmiştir. Ayrıca klasik kaynak yöntemleri kullanılan malzemelerin birleştirilmeleri işlemlerinde yetersiz kalmışlardır. Ergitmeli kaynak yöntemlerinde metal malzemeler, ısı kaynakları vasıtası ile oluşturulan sıcaklığın etkisiyle bölgesel olarak ertitilip birleştirirler. Bu yöntemlerde, kaynak yöntemine ve kaynak parametrelerine bağlı olarak kaynak metalin ve hemen onu çevreleyen ITAB'ın özelliklerinde birçok metalürjik değişim meydana gelmektedir. Meydana gelen bu değişimlerden dolayı kaynaklı bölgenin mekanik özellikleri etkilenmektedir. Aynı şekilde kaynak metalindeki tanelerin yönü ve büyüklüğü de mekanik özelliklerde değişmelere neden olmaktadır. Metallerin, özelliklerini kaybetmeden birleştirilmesi ve sadece benzer değil farklı malzemelerin birbirleriyle birleştirilmeleri, geleneksel kaynak yöntemlerinden farklı olan ertitmesiz kaynak yöntemleri ile mümkün olabilmektedir [17].

Katı hal kaynak yöntemleri olarak da bilinen ertitmesiz kaynak yöntemlerinde ilave dolgu malzemesi kullanılmadan, ana malzemenin ertime noktası altında temas yüzeylerinde birleşme meydana gelmektedir. Bu işlemler özellikleri aynı ya da farklı malzemeler arasında yüksek kaliteli birleştirmeler üretmek için ya parçaların deformasyonunu ya da difüzyon ve sınırlı deformasyonunu kapsamaktadır [7].

2.2.1. Difüzyon kaynağı

Difüzyon bağı birçok ertitmesiz kaynak yöntemlerinden biridir. Difüzyon kaynağında bir sıvı ara yüzeye ihtiyaç duyulmamakta veya ertime ve yeniden katılaşma sergileyen bir döküm ürünü oluşturulmamaktadır [7].

Difüzyon kaynağının çok eski bir geçmişi ve yaygın bir kullanım alanı vardır. Difüzyon kaynağının M.Ö. 3200'lü yıllarda kullanılıyor olması etkili ve basit bir yöntem olduğunu göstermektedir [18]. Günümüzde ise difüzyon kaynağı, geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynağı zor olan malzemelerin birleştirilmesinde vazgeçilmez önemli bir kaynak yöntemi olup, modern bir birleştirme yöntemidir [19].

Difüzyon kaynağı; birleştirilmek üzere eşleştirilmiş iki yüzeyin, malzemelerin ergime sıcaklıklarının altındaki bir sıcaklıkta, plastik akmaya sebep olmayacak bir basınçta, katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalürjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzemelerin özelliklerini önemli bir ölçüde etkilemeyecek bir süre tutulmasıyla uygulanan bir kaynak yöntemidir [20].

Difüzyon kaynağında birleştirilecek yüzeylerin birbiri ile teması sağlanıp, kaynak için gerekli ısı ve zamana ulaşılması ile yüzeyler arasındaki temas alanı artar. Kaynağın ilk aşamasında yüzeydeki pürüzlülüklerde akma ve sürünme mekanizmaları ile ara yüzeyde büyük bir alanda temas sağlanır. Bu esnada birleşme genelde tane sınırlarında oluşur. Basıncın etkisi ile yüzeydeki oksit filmi kırılarak oksitlerin kırılmış olan noktalarından atom akışı başlar. Bu aşamadan sonra difüzyonun etkisi deformasyondan daha önemlidir. Birçok gözenek tane sınırı difüzyonu neticesinde kaybolur ve birleşme yerinden tane içine geçerek tane içinde oluşur. Son olarak, birleşmenin tamamlandığı ve malzemeler arasındaki atomik bağın gerçekleştiği aşama meydana gelir. Bu aşamada gözenekler hacim difüzyonu ile büyük oranda yok edilir [17].

Difüzyon kaynağı; sıcaklık, basınç, zaman, yüzey pürüzlülüğü, kaynak atmosferi gibi kaynak şartlarının, tane boyutu, kristal yapı, atom yarı çapı, yeniden kristalleşme sıcaklıkları, yüzey enerjileri gibi malzemelerin fiziksel, kimyasal özelliklerine ve farklı yada aynı cins malzeme olma gibi metalürjik özelliklerin etkisi altındadır [21].

2.2.2. Elektrik direnç kaynağı

Metalik malzemeler elektrik akımını iletirken bir direnç gösterir. Elektrik direnç kaynağı da, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçasının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basınç uygulaması ile yapılan bir kaynak yöntemidir. Isı kaynak edilecek bölgede meydana gelir ve basınç kaynak makinesindeki elektrotlar veya çeneler yardımıyla uygulanır. Elektrik direnç kaynağı için gerekli olan alçak gerilim ve yüksek akım şiddeti kaynak transformatörlerinden

sağlanır. Basıncıta hidrolik veya mekanik donanımlarla temin edilebilir. Elektrik direnç kaynağı farklı usullerle uygulanmaktadır [13];

1. Nokta kaynağı
2. Dikiş kaynağı
3. Alın kaynağı

2.2.3. Ultrasonik kaynak

Ultrasonik kaynak, özellikleri aynı ve farklı malzemelerin bindirme biçiminde birleştirilmesinde kullanılan bir ergitmesiz kaynak yöntemi olup, malzemelerin titreşim ve basınç altında birleştirilmesi olarak tarif edilebilir. Bu kaynak yönteminde koruyucu toz, pasta gibi temizleme maddelerine ve kaynak dikişine katkıda bulunacak ilave tele ihtiyaç yoktur. Birleştirilecek parçalar plastik şekil değiştirme sonucu kaynak edilmiş olur. Birleştirme anında plastik şekil değişikliği sonucu bir miktar ısı meydana gelse de bu ısı parçalarda herhangi bir fiziksel şekil değişimine neden olmaz [22].

Ultrasonik kaynak yönteminde birleştirilecek parçalar, hareketli ultrasonik frekansla titreşen bir çene ile sabit duran bir altlık arasına konur ve hafif bir kuvvetle baskı uygulanır. Çene tarafından oluşturulan titreşimler, yüzeye paralel olarak üstteki parçalara iletilir ve temas yüzeylerinde yani alt ve üst kaynak yüzeylerinde izafi bir harekete neden olur. İşlem sonunda parçalar birbirine kaynaklanmış olur [8].

Ultrasonik kaynak yöntemini etkileyen bazı faktörler bunmaktadır. Bu faktörler; ultrasik güç, baskı kuvveti, kaynak zamanı olarak sıralanabilir. Bu faktörler kaynak edilecek malzemenin özellikleri, kalınlığı ve bağlantının geometrisine göre değişirler [23].

Ultrasonik kaynağın avantajları şu şekilde sıralanabilir:

1. Farklı metaller birleştirilebilir.

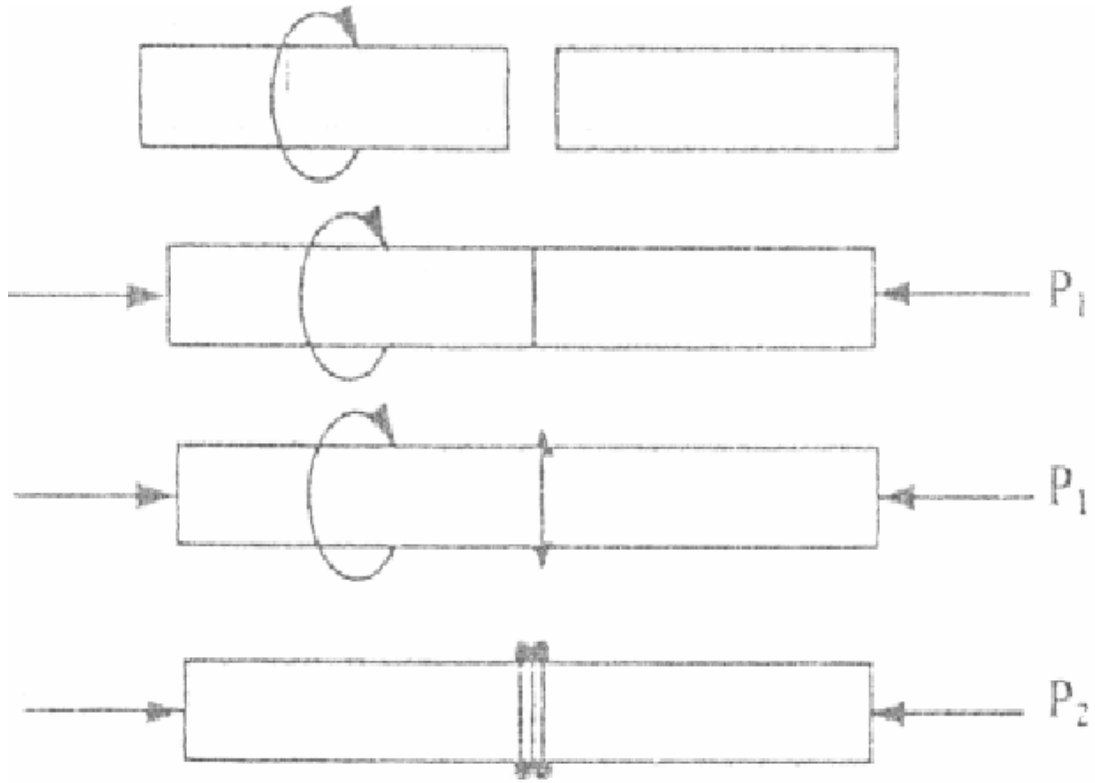
2. Kalın malzemelerle ince malzemelerin birleştirilmesine izin verir.
3. İyi ısı ve elektrik iletkenliği olan birleştirmeler sağlar.
4. Ergime ısıya ulaşmadan metaller birleşir.
5. Verimli enerji kullanımı vardır.
6. İlave malzeme, toz veya özel atmosfer gerektirmez.
7. Özel temizlik işlemi gerektirmez.

2.2.4. Sürtünme kaynağı

Sürtünme kaynağı, elektrik enerjisi veya diğer kaynaklardan ısı enerjisi uygulamadan malzeme yüzeyleri arasındaki mekanik dönme hareketinin ısı enerjisine dönüşmesi ile kaynak için gerekli ısının elde edilerek yapıldığı bir katı hal kaynak işlemidir. Sürtünme kaynakları, ara yüzey kaynak sıcaklığına ulaşana kadar sabit bir iş parçasıyla dönen bir iş parçasının sabit veya belirli olarak artan basınç altında yapılır ve sonunda dönme durdurularak işlem tamamlanır. Birbirinin ters yönüne dönen her iki parçada hareketli olan sürtünme kaynağı sistemleri de bulunmaktadır. Sürtünme ısı iş parçasının ara yüzey sıcaklığını hızla arttırarak ergime derecesinin altında belli bir değere getirir ve plastik sıcaklık aralığında ısınan bölgeye uygulanan basıncın etkisi altında birleşme meydana gelir [24].

Yakın zamana kadar geçerliliğini koruyan sürtünme kaynağının, sadece yuvarlak kesite sahip parçalar için kullanılma sınırlılığı günümüzde ortadan kalkmıştır. Dönen torna aynasının istenilen pozisyonda frenlenebilmesi ile yuvarlak kesitli olmayan parçaların da kaynağına imkan bulunmuştur. Bu durumda merkezlenme problemi ortaya çıkmaktadır [25].

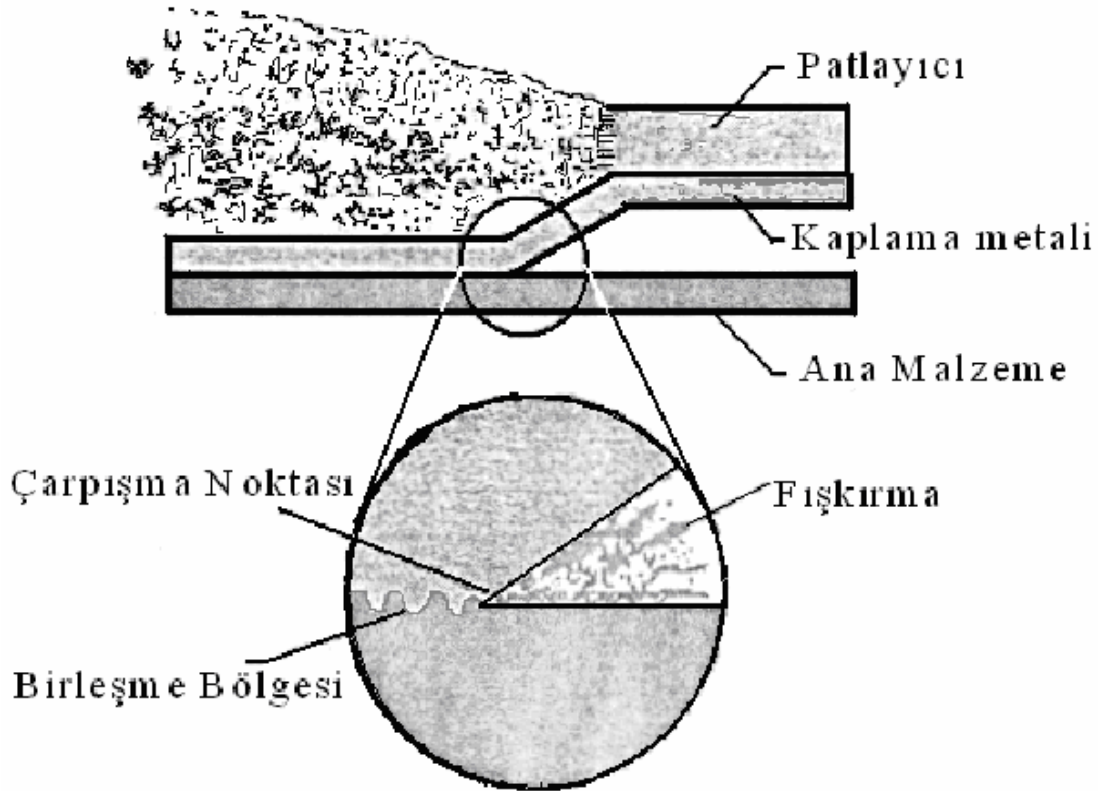
Sürtünme kaynağında bir ergime bölgesinin olmayışı, ısının tesiri altındaki bölgenin darlığı ve kaynağın çevresinde plastik olarak deforme olmuş malzemenin varlığı en belirgin özellikleri teşkil eder. Uygun malzeme seçimi, kaynak dizaynı, sürtünme süresi, sürtünme basınç kuvveti, devir sayısı, yığma basınç kuvveti ve yığma süresi gibi kaynak parametrelerine bağlı olarak kaynak kalitesi arttırılabilir [17].



Şekil 2.8. Sürtünme kaynak mekanizmasının sembolik gösterilişi

2.2.5. Patlamalı kaynak

Patlamalı kaynak yöntemi, iki metal arasında yüksek hızdaki eğimli çarpışma sonucu meydana gelir. Patlama kaynağı; patlayıcı ile elde edilen yüksek basınç yardımıyla iki ya da daha fazla metali birleştirmek için kullanılan bir katı hal kaynak yöntemidir. Metal yüzeylerin çarpışması sonucu yeterli bir çarpışma enerjisi meydana geldiğinde bu yüzeyler oluşan ilk temaslarını birbirleri üzerinde bir akış sergileyerek devam ettirirler ve sonuçta bir katı hal birleşmesi meydana gelir. Bu işlem dışarıdan herhangi bir ısı verilmediği için soğuk teknik olarak tanımlanmasına rağmen işlemin dinamiğinden dolayı kaynak ara yüzeyinde bölgesel yüksek sıcaklıklar oluşabilir. Burada patlayıcının infilakı ile birlikte ısı meydana gelmesine rağmen, metal parçalarda ısı transferi için gerekli zaman yoktur ve metallerde ısı akışı sezilemez. Bu işlemdeki ısı ve akış, esas malzemenin dayanımına eşit veya daha yüksek bir dayanıma sahip ara yüzey birleşmesi sağlar [17].



Şekil 2.9. Patlama kaynağı şematik gösterimi

Patlamalı kaynak yönteminde eğimli çarpışma çok önemlidir. Eğimli çarpışma metal yüzeylerinde bir tabakanın metal jeti şeklinde çarpışma ara yüzeyinden uzaklaşmasına neden olur. Bu metal jeti dışarı atılırken aynı zamanda çarpışan metal yüzeyinin temizliğini de gerçekleştirmektedir. Metal yüzeyinde bulunan oksit, yağ gibi kaynak için zararlı etkiler, oluşan jet ile dışarı atılmaktadır [17].

Temiz metal yüzeyleri, patlayıcı tarafından oluşturulan yüksek basınç altında sıkıştırılır. İki malzemenin atomlarının toplam enerjisi birbirine yaklaştıkça azalır ve bir çekici ve bağlayıcı kuvvet ortaya çıkar. Bu yüzden malzemeler arasında atomik boyutta bir birleşme meydana gelir. Atomik boyuttaki bu birleşme tüm ara yüzey boyunca ilk çarpışma noktasından itibaren ilerler ve malzemeler arasında birleşme gerçekleşmiş olur [26].

Patlamalı kaynak yöntemi, aynı özellikteki iki ya da daha fazla metali birleştirmek için kullanılabilir olmasına rağmen bu yöntemin en büyük ticari potansiyeli,

korozyon dayanımının amaçlandığı kaplamalı metallerin üretimi ve farklı metallerin birleştirilmesi için kullanılabilir olmasıdır [17].

3. KALINTI GERİLMELER

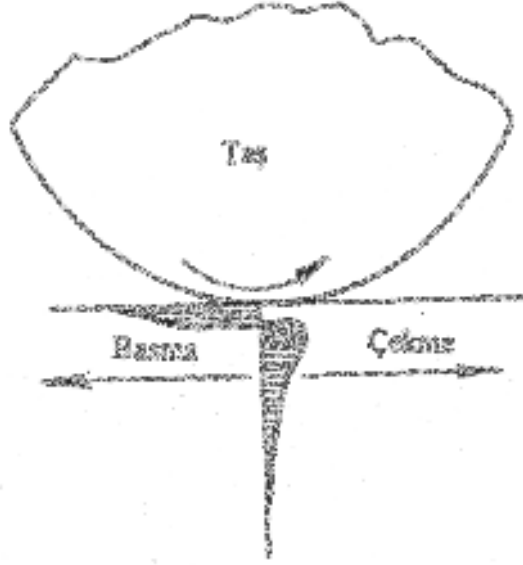
Bir konstrüksiyonda sadece elastik şekil değişimine müsaade edilir. Uygulanan bir dış kuvvet, konstrüksiyonu oluşturan elemanlarda bir iç gerilme oluşturur. İç gerilmelerde elastik şekil değişimine neden olur. Dış kuvvet kaldırılınca iç gerilmeler ve elastik şekil değişimleri yok olur. Bir konstrüksiyona uygulanan bütün dış kuvvetler kaldırılrsa bile mevcut elemanlarda kalan gerilmelere ‘kalıntı gerilme’ denir. Bu gerilmelere; artık gerilmeler, gizli gerilmeler, reaksiyon gerilmeleri gibi adlar verilmektedir [2].

Kalıntı gerilmeler çekme veya basma gerilmesi şeklinde olabilmektedir. Kalıntı gerilmeler esas olarak üniform olmayan plastik deformasyona ve / veya üniform olmayan sıcaklık değişimine bağlı olarak meydana gelir [27].

3.1. Kalıntı Gerilmelerin Sebepleri

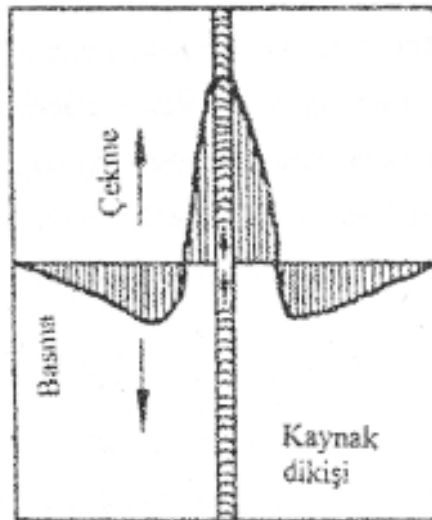
Kalıntı gerilmeler, işlenmiş bir parçada tüm dış yükler kaldırıldıktan sonra kalan gerilmelerdir. Metal parçaların üretilmesi sırasında, düzensiz plastik deformasyon ve düzensiz sıcaklık değişimine bağlı olarak kalıntı gerilmeler meydana gelir. Kalıntı gerilmeler malzeme bünyesinde, çeşitli imalat basamakları sırasında oluşurlar. Düz sac levha, çeşitli profilde çubuk gibi birçok malzemede, haddeleme dövme veya dökme esnasında oluşabilirler. Hatta malzemenin bükülmesi, biçim verilmesi, kesilmesi, işlenmesi, taşlanması, kaynağı gibi imalat metotları esnasında da kalıntı gerilmeler oluşabilirler. Mesela taşlama ile yüzeyinde ince talaş kaldırılan bir malzemede oluşan kalıntı gerilme dağılımı Şekil 3.1. de görülmektedir [28].

İmalatın değişik aşamalarında ki ısı işlemlerde kalıntı gerilmeleri etkileyebilir. Örneğin, yüksek sıcaklıkta su verme kalıntı gerilmelere yol açarken, gerilim giderme tavlaması bunları azaltabilir [3]



Şekil 3.1. Taşlama ile talaş kaldırılan bir malzemede oluşan kalıntı gerilmeler

Kalıntı gerilmeler, malzeme düzensiz bir ısı dağılımına maruz bırakılarak oluşturulmuş ise, termal (ısıl) gerilme olarak adlandırılır. Kaynaklı bir parçada meydana gelen kalıntı gerilmeler, termal gerilmelere örnek teşkil eder (Şekil 3.2) [5].



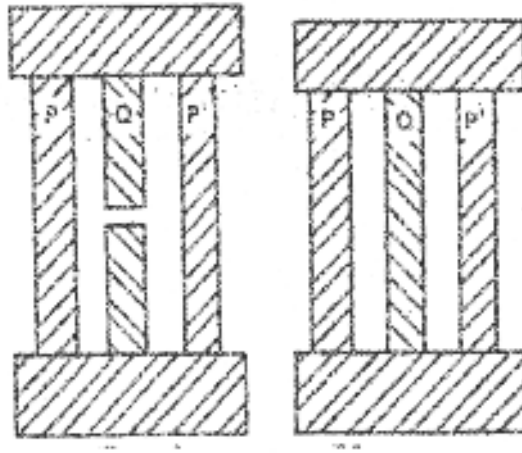
Şekil 3.2. Kaynaklı bir parçada kalıntı gerilmeler [2]

3.2. Kalıntı gerilmelerin oluşumu

Kalıntı gerilmeler, kendilerini meydana getiren mekanizmalara göre adlandırılır. Bunlar; yapısal uyumsuzluk sonucu meydana gelen kalıntı gerilmeler ve plastik şekil verme ile meydana gelen kalıntı gerilmelerdir [1].

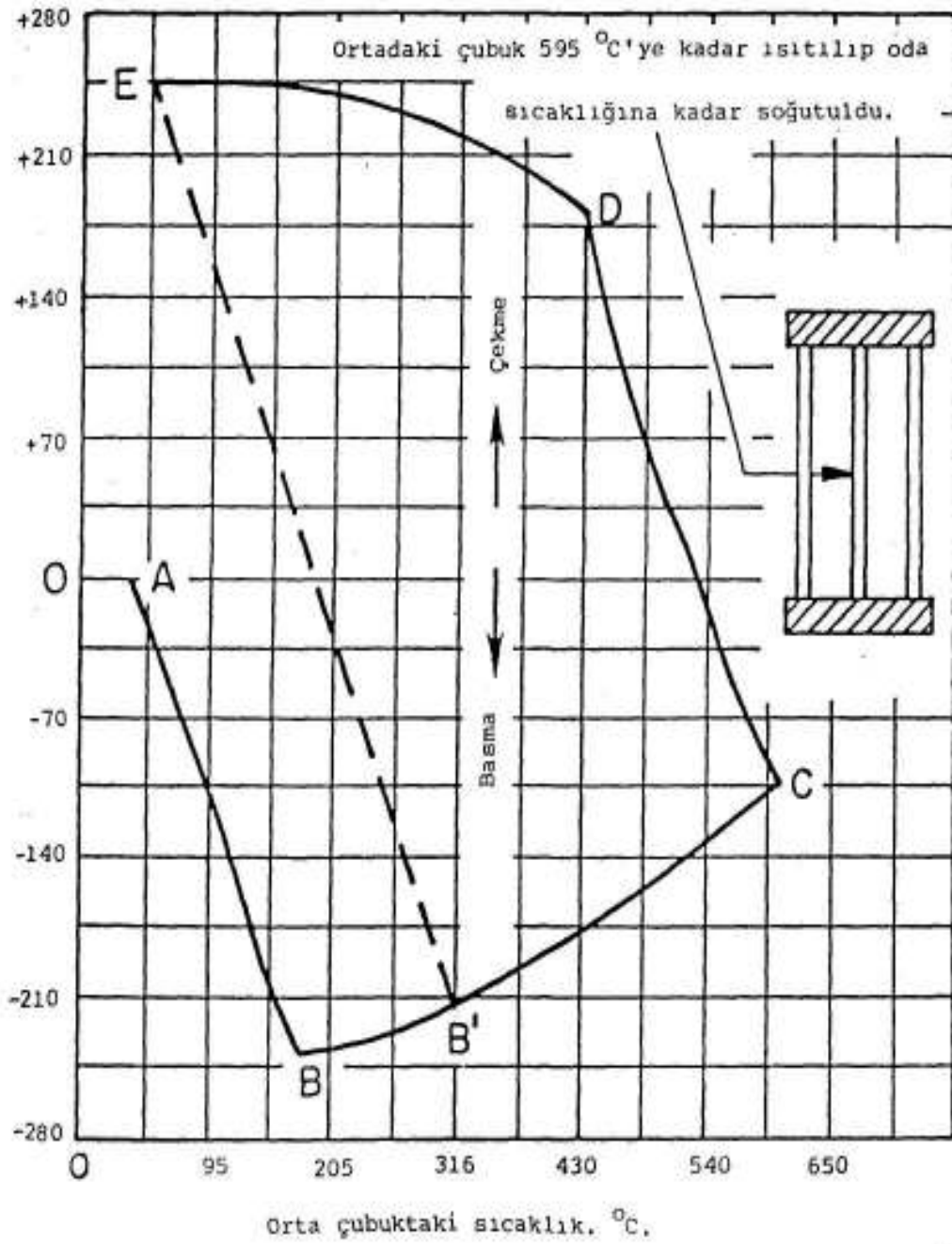
3.2.1. Yapısal uyumsuzluk nedeniyle oluşan kalıntı gerilmeler

Kalıntı gerilmelerin oluşmasına klasik bir örnek olarak, farklı uzunluktaki çubukların uç bölgelerinden birbirine birleştirilmeleri gösterilebilir. Şekil 3.3'te üç tane çubuk görülmektedir. Kısa çubukta Q çekme gerilmeleri, uzun çubuklarda ise P ve P' basma gerilmeleri oluşur [3].



Şekil 3.3. Farklı uzunluktaki çubukların uç bölgelerinden birleştirilmeleri sonucu oluşan kalıntı gerilmeler

Şekil 3.4'te ısıtma ve soğutma işlemleri esnasında konstrüksiyondaki uyumsuzluk sonucu, kalıntı gerilmelerin oluşumu gösterilmektedir. Sistemde, boyları ve kesitleri birbirine eşit üç çubuk, her iki başından rijit iki blok ile arasına monte edilmiştir. Yanlardaki iki çubuk deney süresince oda sıcaklığında muhafaza edilirken, ortadaki çubuk 595°C'ye kadar ısıtılıyor ve daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutuluyor.

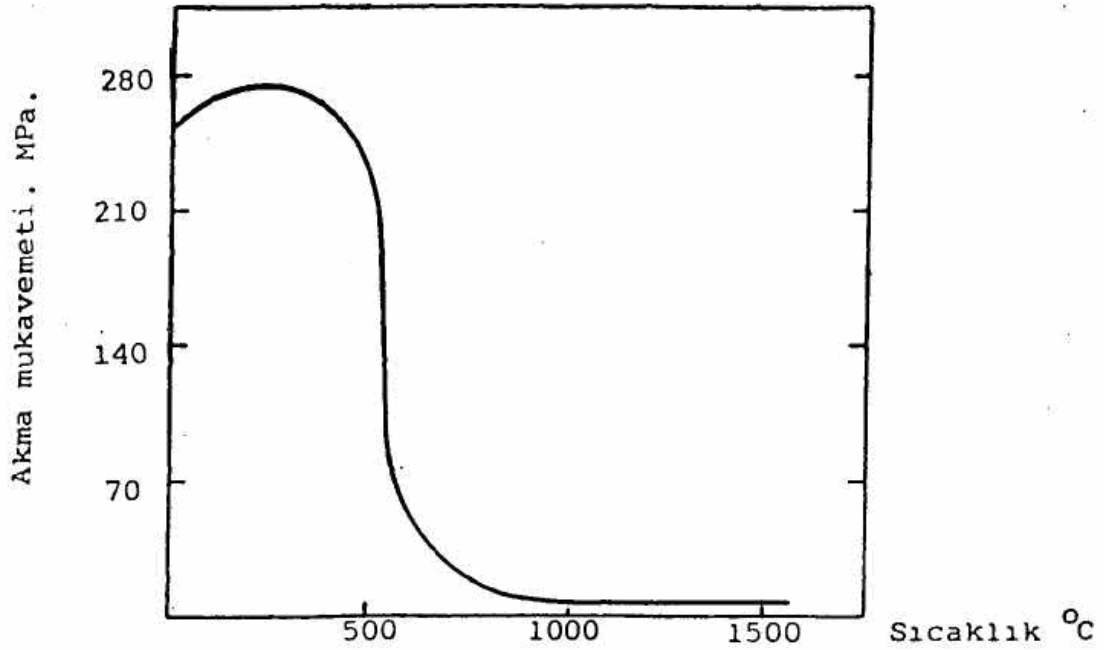


Şekil 3.4. Üç çubuklu çerçevede, ortadaki çubuğun gerilme-sıcaklık eğrisi [2]

Üç çubuklu sistemde çubuklar rijit bloklar arasında bulunduklarından çubuk boy uzunlukları sürekli eşit kalır. Bu nedenle çubuklarda gerilme oluşmuştur. Isınma kademesinde çubuklardan sadece bir tanesi ısındığından, ısınan çubuk genişlemek isterken diğerleri büzülmeye çalışacaktır. Soğuma kademesinde ise ters yönde şekil değişimleri gerçekleşecektir, orta çubuk büzülecektir. Bu şekil değişimleri çubuklarda çekme veya basma gerilmelerinin oluşumu sonucunda meydana gelecektir. Şekildeki diyagram, ortadaki çubukta sıcaklık etkisiyle oluşan gerilmeye göre çizilmiştir ve kalıntı gerilmelerin oluşumunu göstermektedir. İki yan çubuk, ortadaki çubukta oluşan deformasyona karşı koyarlarken her birinde oluşan gerilme, ortadaki çubukta oluşan gerilmenin yarısı nispetindedir.

Ortadaki çubuk ısıtıldığı zaman uzaması, yanlardaki çubuklar tarafından engellendiği için basma gerilmeleri oluşur. Sıcaklık artırıldığında parçadaki gerilmeler de değişim gösterir (AB eğrisi). B noktasında sıcaklık yaklaşık 170°C 'ye geldiği zaman basma gerilmeleri parçanın akma noktasına kadar ulaşır. Bu noktaya kadar gerilme lineer olarak artmaktadır. Sıcaklık artmaya devam ettikçe, orta çubuktaki gerilme, akma gerilmesine bağlı olarak azalır. Bunu BC eğrisinde görmekteyiz.

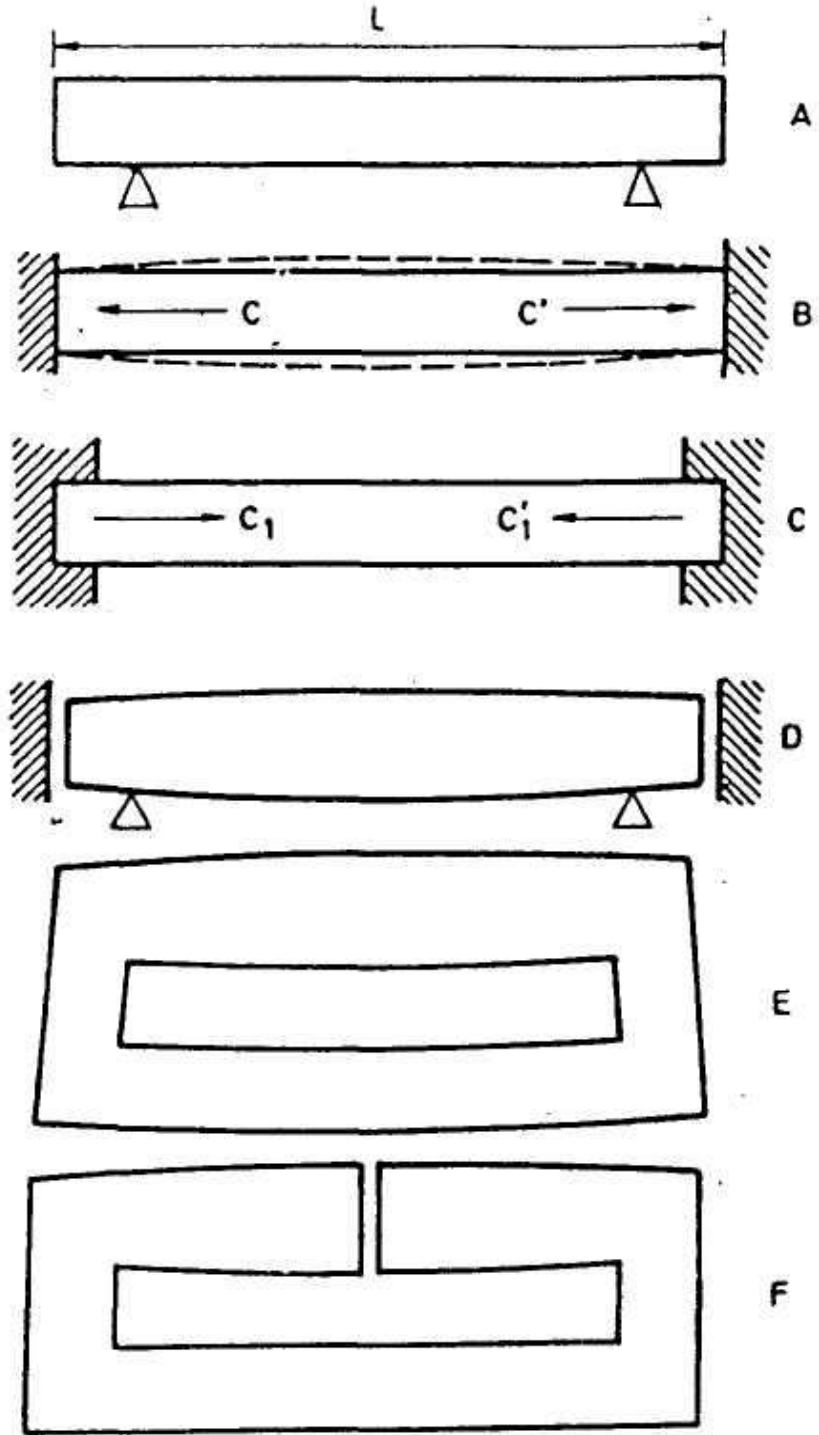
Sıcaklık 595°C 'den aşağıya düşürülürken, orta çubuk büzülme eğilimi gösterecektir. Sıcaklık düştükçe çubuktaki basma gerilmeleri de hızla düşer ve yön değiştirerek çekme gerilmelerini oluştururlar. Diyagramdaki D noktasına gelindiğinde, çekme gerilmeleri, orta çubuğun akma noktasına kadar ulaşmıştır. Bu noktadan sonra sıcaklık azaldıkça gerilme, her sıcaklık derecesindeki akma gerilmesi olarak sınırlanır. Böylece orta çubukta, oda sıcaklığındaki mevcut çekme gerilmesine eşit kalıntı çekme gerilmesi oluşur. Her bir yan çubukta oluşan kalıntı gerilmeler, basma gerilmeleridir. Ve orta çubuktaki çekme gerilmesinin yarısına eşittir. B'E çizgisi, orta çubuğun oda sıcaklığındaki akma gerilmesine eşit değerdeki kalıntı gerilmelerin, 315°C 'nin üzerinde herhangi bir sıcaklığın tatbikiyle oluşabileceğini göstermektedir .



Şekil 3.5. Akma mukavemetinin sıcaklıkla değişimi [1]

Gerilme konusunu daha etraflıca ele almak maksadıyla bazı uygulamalar üzerinde açıklamalar yapılabilir. Örneğini basitçe iki mesnet üzerine konmuş numune parçayı 650°C 'nin altında üniform olarak ısıtırsak, (Şekil 3.6.A) parça oda sıcaklığına kadar soğuduğunda ilk boyutlarına döner. Buna karşılık, elastikiyet sınırının çok altında bir sıcaklığa kadar ısıtılan aynı numune parça, her iki ucundan sıkıca tespit edilecek olursa, genişlemesine imkan verilmemiş olur (Şekil 3.6.B). Geçici olarak elastik basma gerilmeleri (C-C') oluşacak ve sadece parçanın kesiti genişleme etkisine maruz kalacaktır. Soğuma esnasında parça yeniden başlangıçtaki kesitine dönecektir. Buna karşılık aynı parça her iki ucundan tespit edilmiş olursa (Şekil 3.6.C) soğuma esnasında (C₁-C₁') çekme gerilmeleri oluşacaktır.

Bu kez de Şekil 3.6.D'de ki parça, 650°C 'nin oldukça üzerinde bir sıcaklığa ısıtılacak olursa metal, plastik deformasyona uğrayarak yanal olarak şekil değiştirir. Parça oda sıcaklığına kadar soğuduğunda uzunluğundan kaybetmiş olur, fakat uğradığı yanal şekil bozulmasını muhafaza eder (Şekil 3.6.D). Oluşan boyuna çekmenin miktarı, 650°C 'nin üzerindeki sıcaklıkta tahditleme nedeniyle oluşan ezilmeye eşdeğerdedir.



Şekil 3.6. Kalıntı gerilmelerinin gözlemlendiği değişik parçalar [11]

Geometrik şekle sahip bir parçanın, bir bölgesinin numune olarak ısıtıldığını düşünelim (Şekil 3.6.E). Bu durumda parçanın tümü bir iç eğme zorlanmasına maruz kalarak şekil değiştirecektir. Numunenin ortadan testereyle kesilmesi halinde, ısıtılmış kısımlar ilk şekillerine dönme imkanı bulurlar ve böylece kalıntı gerilmeler serbest kalmış olur (Şekil 3.6.F). Çoğunlukla termal çekme gerilmeleri adıyla anılan bu gerilmeler ısıtma sıcaklığıyla orantılı olarak büyük değerlere ulaşabilirler. Sonuçta esas metalin dönüşüm bölgelerinde, metalin ergime bölgesinde, kaynağın kendisinde, genellikle sıcak iken veya soğuduktan sonra çatlaklar ortaya çıkmaktadır. Burada konunun anlaşılması açısından basit örnekler verilmiştir. Gerçekte, çelik yapılarda kalıntı gerilmeler çok daha karmaşık dağılımlar göstermektedir.

3.2.2. Düzenli dağılmayan plastik şekil değişimi ile meydana gelen kalıntı gerilmeler

Bilindiği gibi bir malzeme üniform olarak ısıtıldığı zaman, düzenli bir genleşme gösterir ve cismin içinde termal gerilmeler oluşmaz. Diğer taraftan, malzeme düzensiz olarak ısıtılırsa, sıcaklık farkı olan bölgelerde termal gerilmeler oluşur. Bu termal gerilmelerin sonunda lokal şekil değişimleri meydana gelir. Meydana gelen şekil değişimleri hem elastik hem de plastik şekil değişimleri olabilir. Bir cisme uygulanan dış kuvvetler de lokal plastik şekil değişimine yol açabilir. Bu lokal plastik şekil değişimleri cismin içerisinde kalıntı gerilmelerin oluşumuna neden olur [28].

3.3. Kaynak Esnasında Oluşan Termal Gerilmeler ve Metal Hareketleri

Kaynak yapılırken kaynak ısısı ile iş parçası lokal olarak ısınır. Kaynak bölgesinde ısı dağılımı homojen değildir. Kaynak işlemi devam ederken de kaynak işleminden sonrada sıcaklık dağılımında büyük farklılıklar görülür. Kaynak termal çevrimi sırasında kaynak bölgesinde termal gerilmeler meydana gelir [1].

Kaynak esnasındaki gerilmeler ve ısı değişimleri şematik olarak Şekil 3.7’de görülmektedir. Kaynak kordonu, levha malzeme üzerine x eksenine boyunca

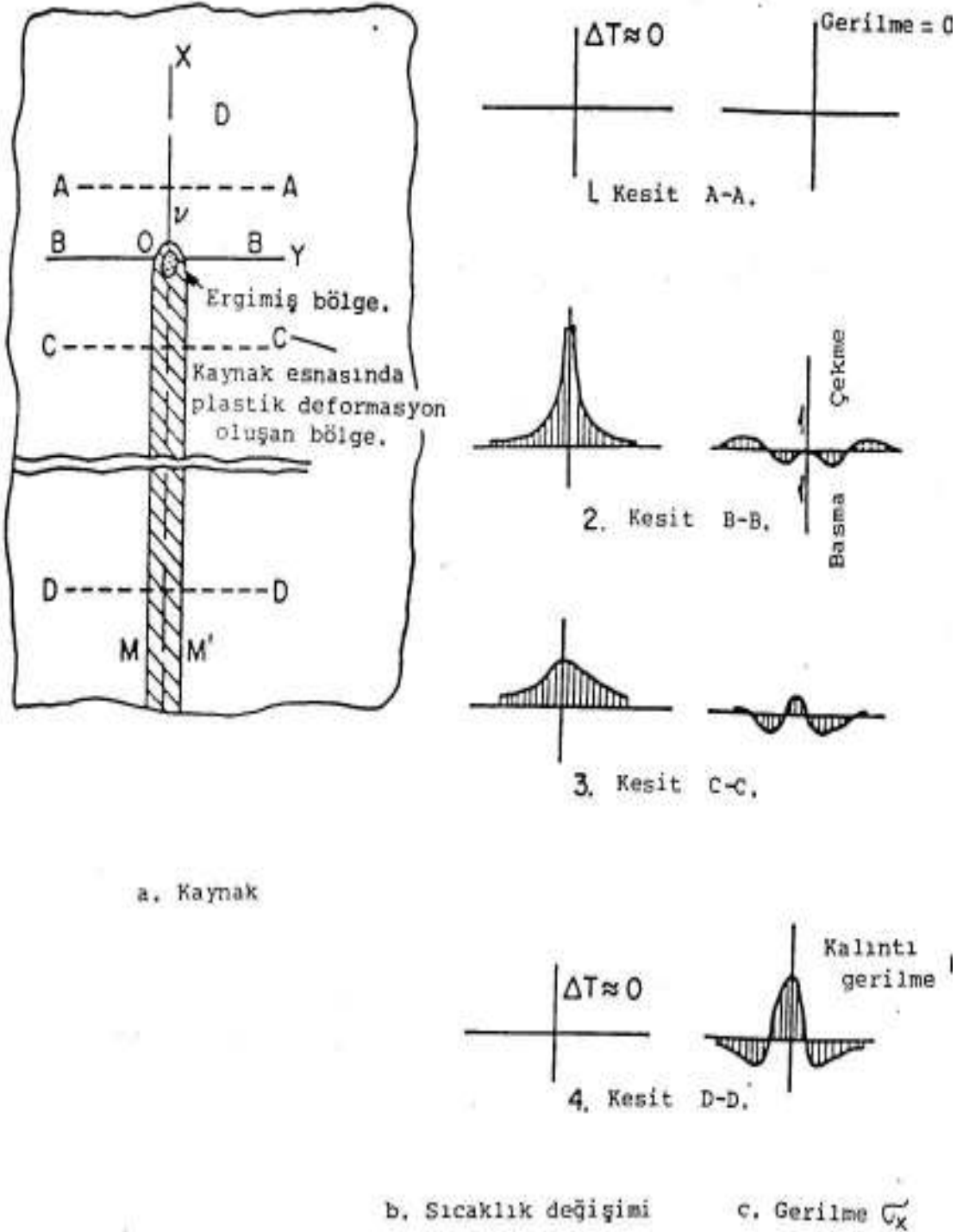
yapılmıştır, v hızıyla ilerleyen kaynak arkı, o noktasında geçici olarak durdurulmuştur.

(M-M') taranmış alanı, kaynak esnasında ısı gerilmelerden dolayı, plastik deformasyon oluşan bölgeyi göstermektedir, o noktasındaki elips bölge, ergiyik metal bölgesini göstermektedir. Taranmış kısmın dışında kalan bölge, tüm kaynak işlemi esnasında elastik olarak kalır. Şekil 3.7.b, çeşitli dikine kesitlerdeki sıcaklık dağılımını göstermektedir. Kaynak arkının ilerisindeki A-A kesitinde sıcaklık kaynağa bağlı olarak değişmekle birlikte ΔT çoğunlukla sıfırdır. Kaynak arkından geçen B-B kesiti boyunca ısı dağılım diyagramı çok diktir. Kaynak arkının biraz gerisinde kalan C-C Kesitinde ısı dağılım diyagramı biraz daha az diktir. Kaynak arkından oldukça uzakta kalan D-D kesitinde ise ısı dağılımı kaynağa bağlı olmakla beraber sıfıra çok yakındır.

Şekil 3.7.c'de iki eksenli gerilme düzleminde x yönündeki, y yönündeki ve kesme gerilmelerinin yukarıdaki kesitlerde dağılımı gösterilmektedir. A-A kesitinde, kaynaktan dolayı termal gerilmeler sıfır kabul edilebilir. B-B kesitinde, kaynak arkı altındaki bölgede, ergimiş metalin yüklere karşı koyamayışı nedeniyle gerilmeler sıfıra yakındır. Kaynak arkının hemen yanındaki bölgede, ısıdan daha az etkilenen bölgenin, metalin genleşmesini engellemesinden dolayı basma gerilmeleri oluşmakta.

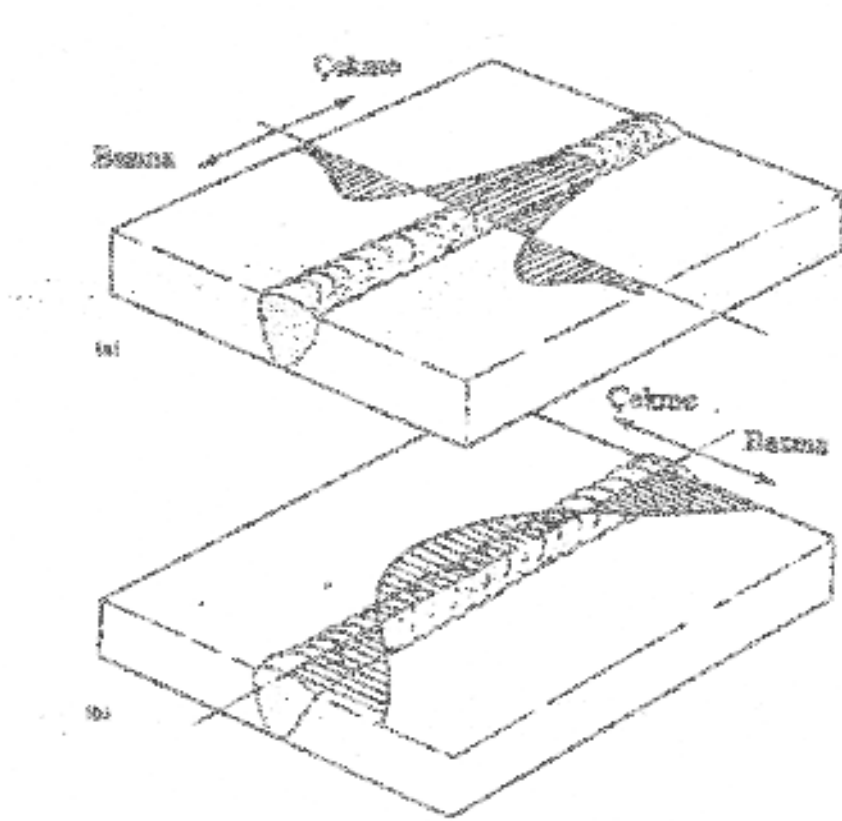
Bu bölgelerdeki gerilmeler arttıkça ve malzemenin akma mukavemeti düştükçe, gerilmeler esas metalin akma mukavemeti değerinde kalır. Basma gerilmelerinin değeri, sıcaklık azaldıkça ve kaynaktan mesafe arttıkça maksimumdan geçer.

Bununla birlikte, kaynaktan uzaktaki bölgelerde gerilmeler, çekme gerilmeleridir ve kaynağa yakın bölgelerdeki basma gerilmeleriyle birbirini dengelerler. B-B kesitindeki gerilme dağılımını Şekil 3.5.c'de görülmektedir.



Şekil 3.5.c’de görüldüğü gibi C-C kesitinde kaynak metali ve esas metalin kaynağa yakın bölgeleri soğumaya, dolayısıyla çekme gerilmeleri nedeniyle büzölmeye çalışır. Kaynağa olan mesafe arttıkça gerilmeler önce basma sonra çekme gerilmeleri halini alır. D-D kesiti boyunca, kaynaktan uzaktaki bölgelerde basma gerilmeleri oluşurken, kaynağa yakın bölgelerde yüksek çekme gerilmeleri oluşur.

Kaynak bölgesinde sadece kaynak dikiş i ilerleme doğrultusunda değil diğer doğrultularda da gerilmeler oluşur. Kaynak doğrultusunda, kaynak doğrultusu eninde ve kaynak düzlemine dik gerilmeler meydana gelebilmektedir. Şekil 3.6’da tek pasolu alın kaynaklarında kesiti gösterilen düzlemlerinde boylamasına ve enlemesine meydana gelen gerilmeler görölmektedir. Bu gerilmeler içinde önemli olan kaynak doğrultusunda oluşan gerilmelerdir. Çünkü bu gerilmelerin değeri daha fazladır.



Şekil 3.6. Tek pasolu alın kaynak birleştirmesinde kalıntı gerilme dağılımı
a) Boylamasına gerilme dağılımı b) Enlemesine gerilme dağılımı [1]

Kaynak esnasında oluşan termal gerilmeler, malzemenin oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar olan ısı aralığında oluşan plastik deformasyonlar sonucu ortaya çıkar ve oldukça karmaşıktırlar. Çünkü plastik deformasyonun analizi özellikle yüksek sıcaklıklarda zordur. Matematiksel analizler de şimdilik sadece basit durumlar için sınırlıdır.

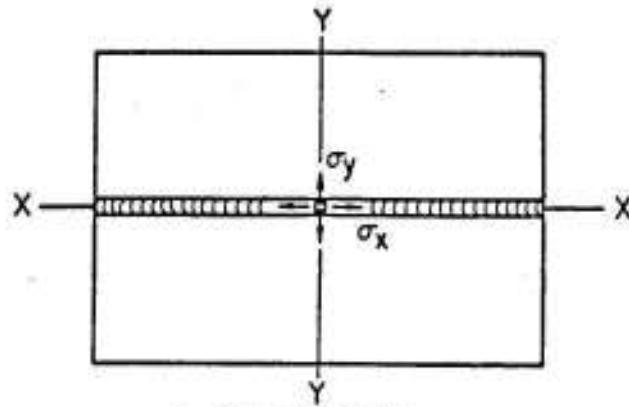
Bir kaynaklı konstrüksiyonun imalatı esnasında oluşan kalıntı gerilmeler iki temel esasa bağlıdır;

- a) Hareketi serbest olan (tahdit edilmemiş) parçaların kaynağı esnasında oluşan kalıntı gerilmeler.
- b) İş parçalarının büzülme hareketinin engellenmesine bağlı oluşan reaksiyon (karşı) gerilmeler [1].

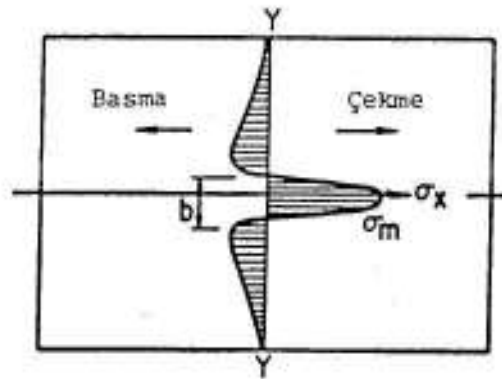
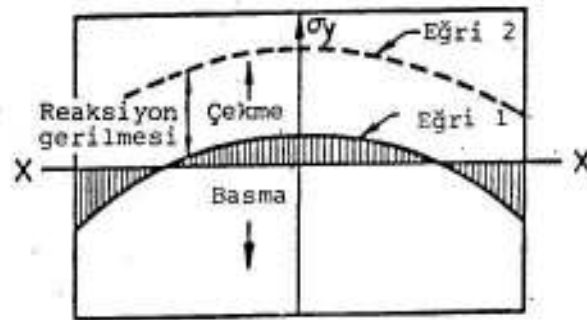
Alın kaynaklarında boyuna ve enine oluşan kalıntı gerilmelerin tipik dağılımı Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Kaynak yönüne paralel olan gerilmeler ve enine olanlar olarak belirlenmiştir. Şekil 3.7.b'de boyuna kalıntı gerilmelerin dağılımı görülmektedir.

Kaynağa yakın bölgede yüksek değerlerde çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu gerilmeler, kaynak metali genişliğinin birkaç katı bir mesafeden sonra hızla azalarak basma gerilmelerine dönüşürler. Gerilme dağılımının iki karakteristik parametresi mevcuttur: kaynak bölgesinde oluşan maksimum gerilme ve çekme kalıntı gerilmelerin olduğu bölgenin genişliği. Alçak karbonlu çeliklerde yapılan kaynaklarda maksimum kalıntı gerilme, genellikle kaynak metalinin akma gerilmesi kadar yüksek olur.

Kaynak dikişi boyunca oluşan enine kalıntı gerilmelerin dağılımı Şekil 3.7.c'de 1 nolu eğri ile gösterilmektedir. Kaynak ekinin orta kısmında nispeten düşük değerlerde çekme gerilmeleri, uç kısımlarda ise basma gerilmeleri oluşur.



a. Alın kaynağı

b. Y-Y eksenini boyunca (σ_x)'nin dağılımıc. X-X eksenini boyunca (σ_y)'nin dağılımı.

Şekil 3.7. Alın kaynağındaki kalıntı gerilmelerin tipik dağılımı [28]

Eğer kaynaklı birleştirmenin, yana doğru büzülmesi. Engellenmiş ise, kaynak boyunca hemen hemen üniform olan çekme gerilimleri, reaksiyon gerilimlerine ilave edilir. Bununla birlikte, büzülmeyi engellemenin, kalıntı gerilmelerin dağılımına çok az bir etkisi vardır. Kaynak 25 mm gibi kalın bir parçaya uygulandığı zaman, kalınlık doğrultusundaki kalıntı gerilmeler önem kazanır.

3.4. Kaynaklı Yapılarda Tipik Kalıntı Gerilmeler

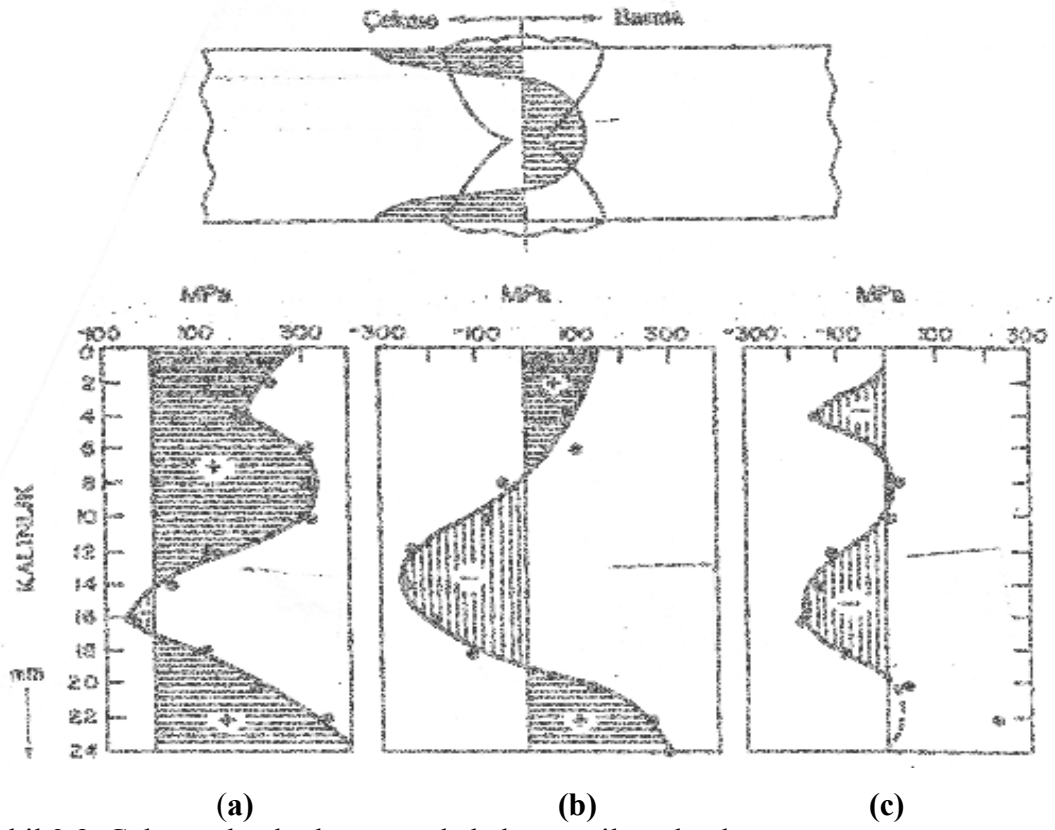
3.4.1. Alın kaynağında kalıntı gerilmeler

Tek dikişli alın kaynak birleştirmelerinde tipik kalıntı gerilme dağılımı Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de görülmektedir.

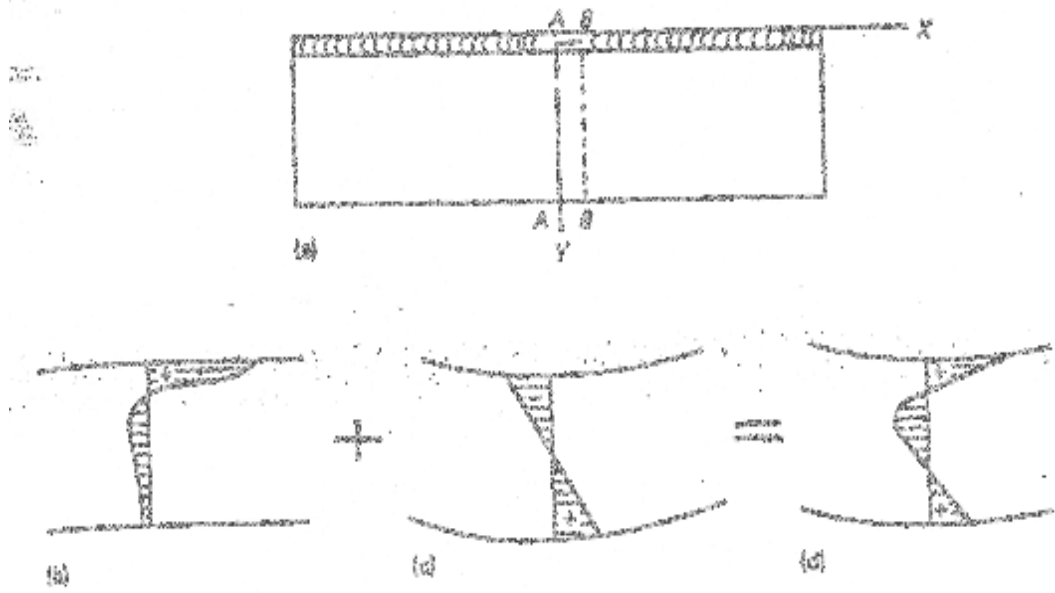
Alın kaynağı yapılan parça kalınlığı arttıkça kalınlık doğrultusundaki gerilmeler önem kazanır, 25 mm’den daha kalın parçalarda daha belirgin hale gelir. Şekil 3.8’de her iki taraftan kaynatılan alın kaynak birleştirme kalınlık doğrultusunda muhtemel gerilme dağılımı görülmektedir. İlk pasolarda oluşan çekme gerilmeleri daha sonraki dikişlerden etkilenmektedir. Kalıntı gerilme dağılımı kalınlık boyunca değişmektedir. Şekil 3.8’de ayrıca boylamasına, enine ve yüzeye dik gerilmeler görülmektedir.

3.4.2. Kenar kaynaklarında kalıntı gerilmeler

Şekil 3.9’da kenar kaynağında oluşan kalıntı gerilmeler görülmektedir. Bu şekilde, Şekil 3.8’deki herhangi bir A-A düzlemindeki boylamasına gerilme dağılımının nasıl olduğu açıklanmıştır.



Şekil 3.8. Çok pasolu alın kaynağında kalıntı gerilme dağılımı
a) Boylamasına gerilme b) Enine gerilme c) Yüzeye dik gerilme [28]



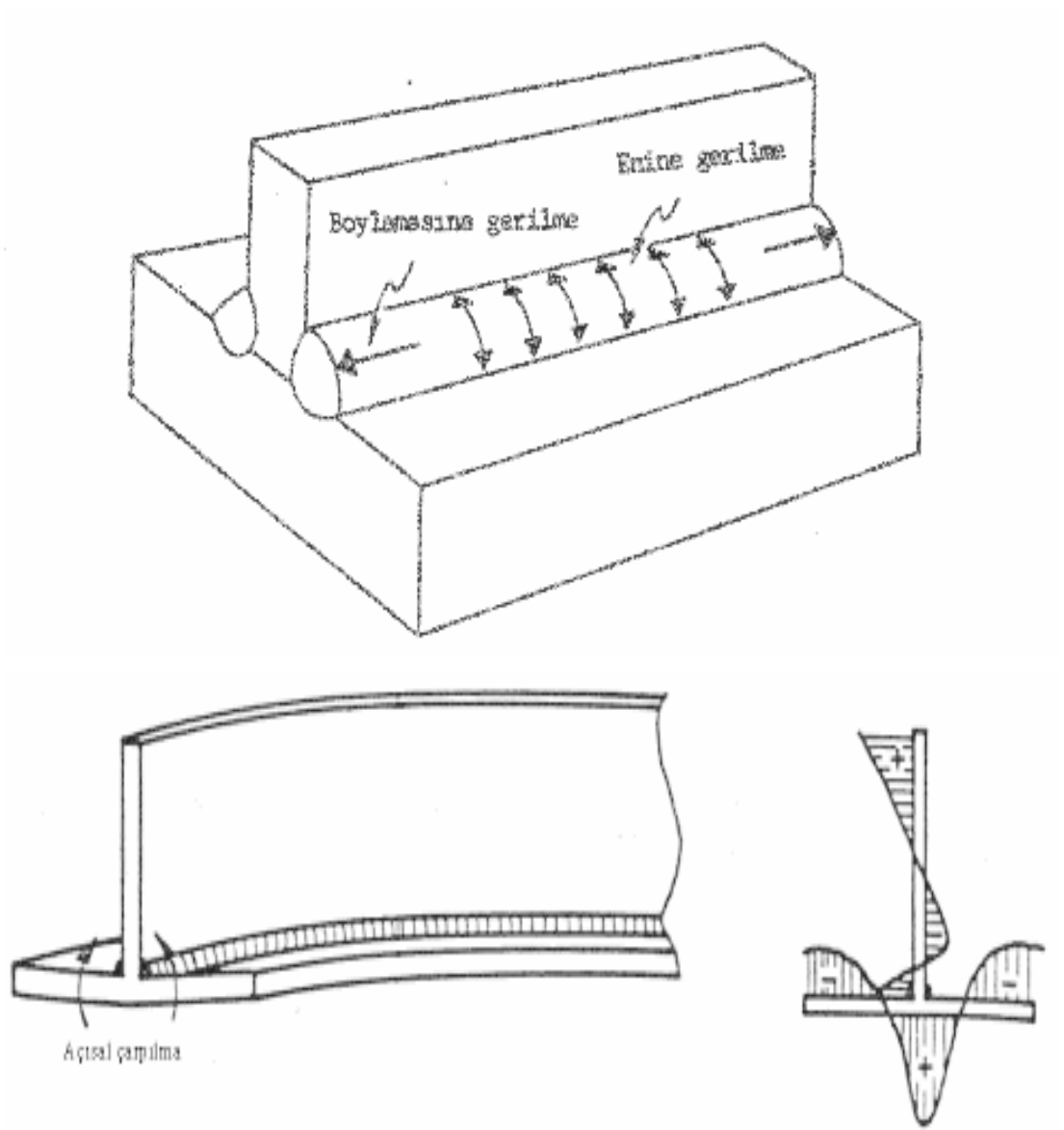
Şekil 3.9. Bir kenar kaynağında kalıntı gerilmeler [28]

3.4.3. İç köşe kaynağında kalıntı gerilmeler

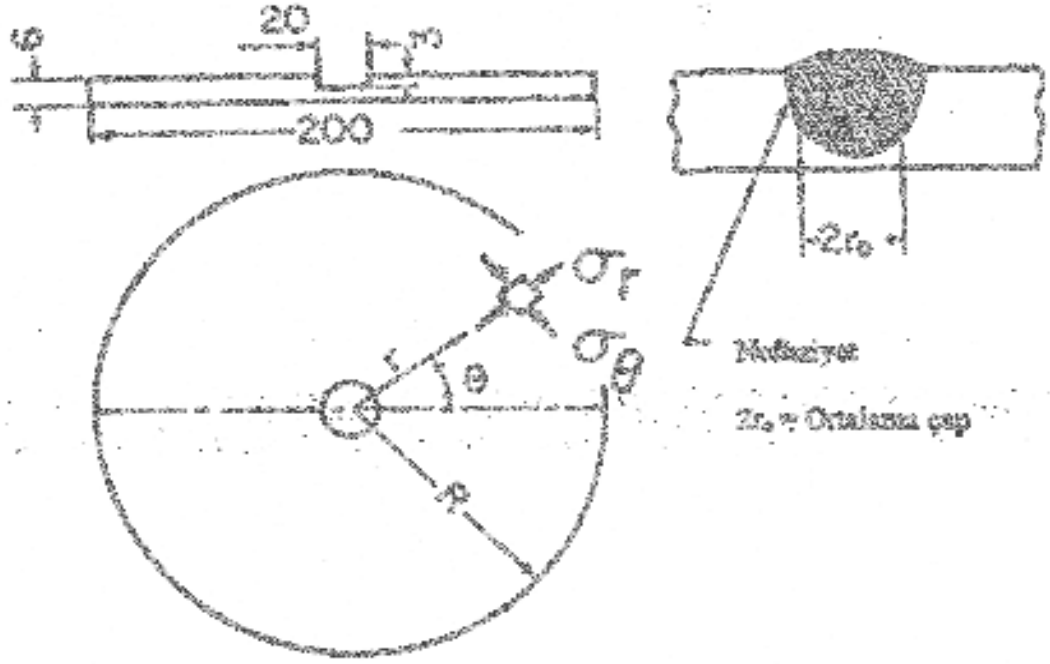
İç köşe kaynağı sırasında iş parçasının sadece yüzeyinde ince bir tabaka ergimektedir. Ergime meydana geldiğinde parçanın boylamasına ve enlemesine genişmesi kuvvetle engellenir. Dikişin soğuması sırasında büzülmeğe karşı aynı engelleme ortaya çıkar. Tespit edilmiş çift taraflı bir iç köşe dikişinde, birinci dikiş enine istikamette bir etki yapar. Böylece büyük kısmı dikişte toplanan üç eksenli bir gerilme hali meydana gelir. Bunun bütün dikiş kesitine, her tarafında çekme etkisi yapan hacimsel bir gerilme hali meydana getirdiği tahmin edilmektedir. Şekil 3.10'da T iç köşe birleştirmesinde kaynak metalinin büzülmesi ve bunun engellemesi sonucunda oluşan tipik kalıntı gerilme dağılımı ve distorsiyon görülmektedir. Kaynak dikişinin çevresinde yüksek çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Kaynaklı yapının flanaj kısmının kaynak dikişinin uzağında basma gerilmeleri oluşur. Federde veya kaburgada ise kalıntı gerilme dağılımı daha kompleks olmaktadır. Kaynak dikişinin boylamasına büzülmesi sonucu olarak kaburganın üst tarafında çekme gerilmeleri oluşur.

3.4.4. Yarık kaynağında kalıntı gerilmeler

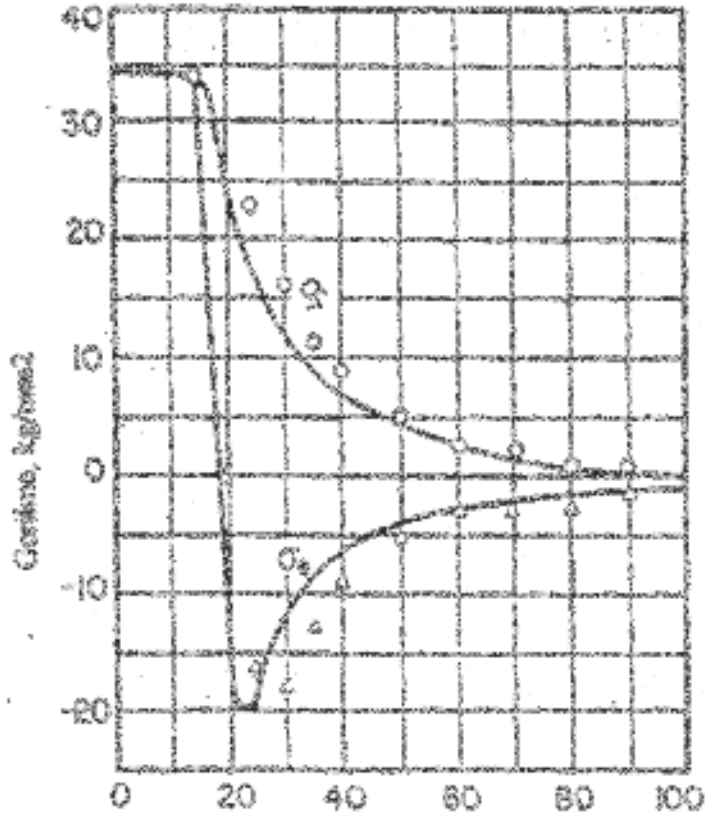
Bir yarık kaynak dikişi Şekil 3.11'de ve dikiş çevresinde kalıntı gerilme dağılımı ise Şekil 3.12'de görülmektedir. Alaşımsız çelik levhada 20 mm çaplı ve 3 mm derilikli yarığa kaynak yapılmıştır. Kaynak bölgesindeki kalıntı gerilmeler birim uzama rozetleri yardımı ile ölçülmüştür. Kaynak dikişine dik ve teğet doğrultudaki gerilmeler ölçülmüştür. Kaynak metalinde ve çevresinde dik ve teğet gerilmeleri olup malzeme akma mukavemeti kadardır. Kaynak dikişinden uzaklaşınca dik gerilmeler çekme olarak kalırken teğetsel olanlar ise basma gerilmeleri haline gelmektedir. Dikişe olan mesafe arttıkça her iki gerilmeye azalmaktadır.



Şekil 3.10. T kaynak birleştirmelerinde kalıntı gerilme dağılımı [11,28]



Şekil 3.11. Bir yarık kaynak dikişi [27]



Şekil 3.12. Bir yarık kaynak dikişi çevresinde kalıntı gerilme dağılımı [27]

3.5. Kaynaklı Yapılarda Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi

Metallerdeki kalıntı gerilmelerin ölçülmesi için birçok yöntem ve teknik kullanılmıştır. Halen mevcut olan ölçme yöntemleri dört grupta toplanır. Kullanım sıklıklarına göre bu yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz [1]:

- a- Gerilme gevşetme (relaksasyon) teknikleri.
- b- Röntgen (X-ray) difraksiyon teknikleri.
- c- Gerilmeye hassas özelliklerin kullanıldığı teknikler.
- d- Çatlama teknikleri.

Gerilme gevşetme tekniklerinde, elastik gerilme değişimi ölçülerek kalıntı gerilmeler bulunur. Bu teknik, numune parçaları keserek veya bir parça kopararak kalıntı gerilmeleri gevşetmek suretiyle uygulanır. Çoğunlukla gerilme değişimini ölçmek için mekanik veya elektrikli gerilimölçerler kullanılır. Kalıntı gerilmeleri tespit etmek için, numune parçaları bölmede kullanılan birçok teknik vardır. Bazı teknikler plakalar için uygunken, bazıları silindirler, borular veya dolu malzemeler için uygundur. Gerilme gevşemesi sırasında gerilme değişimi, elektrikli veya mekanik gerilimölçerler kullanmak yerine kafes sistemi, gevrek kaplama veya foto elastik kaplama kullanmak suretiyle de hesaplanabilir. Gerilme gevşetme tekniklerinin, numune parça üzerinde tahribata sebep oluşu bir dezavantajdır. Buna rağmen bu teknikler güvenilir bilgiler verdiklerinden, kaynaklardaki kalıntı gerilmelerin ölçülmesinde kullanılan en yaygın tekniklerdir.

Kristal yapıya sahip metallerdeki elastik gerilmeler, röntgen (X-ray) difraksiyon teknikleri kullanılarak kafes parametresini ölçmek suretiyle belirlenir. Gerilmesiz durumdaki bir metalin kafes parametresi bilindiğinden veya ayrı ayrı hesap edilebileceğinden, metaldeki elastik gerilme, delme veya metali işleme gibi bir tahribe gerek kalmadan hesaplanabilir. Bugün mevcut iki teknik bulunmaktadır:

- a- Röntgen (X-ray) film tekniği
- b- Röntgen (X-ray) difraktometre tekniği.

Röntgen (X-ray) difraksiyon teknikleri ile yüzey gerilmeleri 0,003 mm çap ve derinliğe kadar belirlenebilir. X-ray difraksiyon teknikleri, bilyeli yataklar ve dişli çark dişleri gibi parçalarda işleme ve taşlamadan sonraki yüzeysel kalıntı gerilmeleri belirlemede kullanılan yaygın tekniklerdir. Bununla beraber, röntgen (X-ray) difraksiyon tekniklerinin bazı dezavantajları vardır. Oldukça yavaş işlemlerdir. Her ölçme noktasında ölçümler film tekniği açısından her biri 15 ila 30 dakikalık süre gerektiren iki yönde yapılmalıdır. İkinci olarak bu ölçümler, atomsal düzeyde distorsiyona uğramış veya ısıtılma işlemine tabi tutulmuş malzemelere tatbik edilirse doğru sonuç vermeyebilir [2].

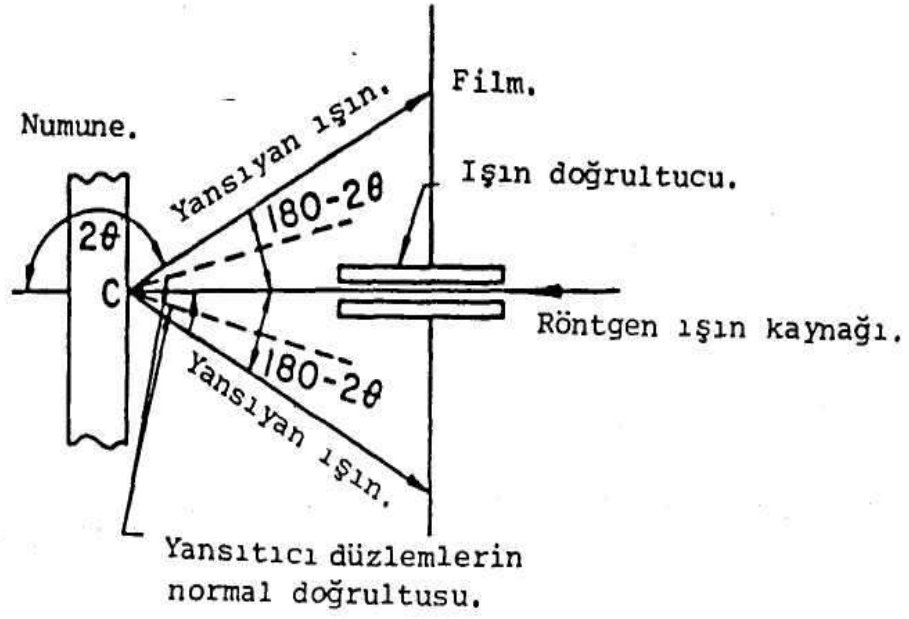
Gerilmeye hassas özelliklerin ölçülmesi suretiyle, kalıntı gerilmelerin belirlenmesi, ultrasonik veya sertlik metoduyla yapılır. Ultrasonik tekniğin prensibi, polarize edilmiş ultrasonik dalgaların polarizasyon açısı içindeki gerilme tesiri değişiminden faydalanmaktır. Veya gerilme değişiminden dolayı, ultrasonik dalgaların absorpsiyonunda oluşan değişimden yararlanmaktır.

Numune parçada, kalıntı gerilmeler nedeniyle oluşan çatlakları incelemek suretiyle de kalıntı gerilmeler hakkında sonuçlar elde edilebilir. Çatlaklar, hidrojen veya gerilme korozyonu nedeniyle oluşmuş olabilir. Çatlama teknikleri, oldukça karmaşık kalıntı gerilme dağılımına sahip komple yapılardaki kalıntı gerilmelerin incelenmesi için yararlıdır. Bununla birlikte bu teknikler nicel bilgiden ziyade nitel bilgiler vermektedir.

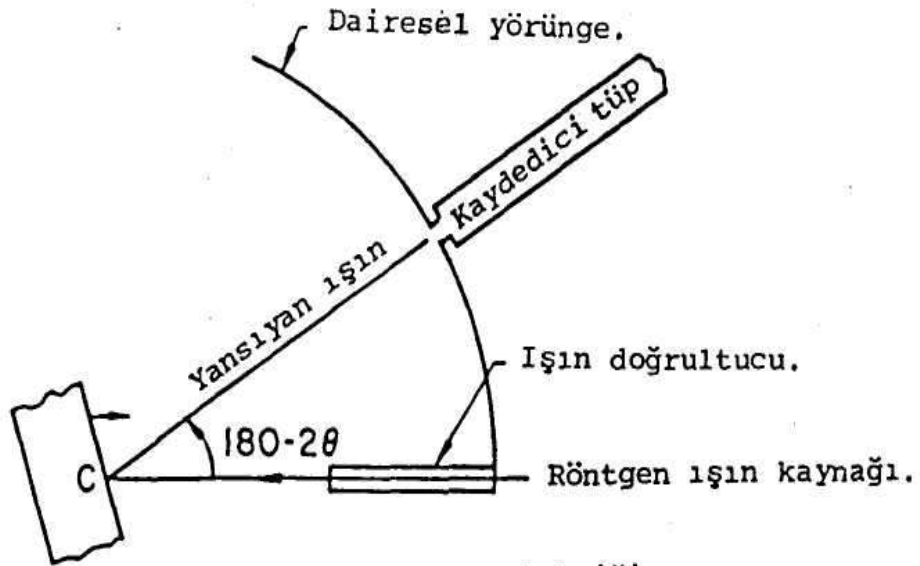
Kalıntı gerilmeleri ölçme tekniklerini şu şekilde sınıflayabiliriz [28]:

A2) Mekanik ve elektrikli gerilme ölçerlerin kullanıldığı gerilme gevşetme teknikleri.

- 1) Elektrik dirençli gerilme ölçerlerin kullanıldığı bölme tekniği.
- 2) Gunnert tekniği.
- 3) Mathar-Soete delme tekniği



a. Taşınabilir röntgen (X-ray) tekniği.



b. Röntgen (x-ray) difraktometre tekniği.

Şekil. 3.13. Röntgen (X-ray) difraksiyon tekniklerinin şematik kullanılışı

- 4) Stablein sürekli işleme tekniği.
- 5) Heyn-Bauer sürekli işleme tekniği
- 6) Mesnager-Sachs delik delme tekniği
- 7) Gunnert delme tekniği
- 8) Rosenthal-Norton bölme tekniği

A2) Mekanik ve elektrikli gerilme ölçerlerin haricinde sistemlerin kullanıldığı gerilme gevşetme teknikleri.

- 1) Kafes sistemi-Bölme tekniği.
- 2) Gevrek kaplama-delme tekniği.
- 3) Fotoelastik kaplama-delme tekniği.

B) Röntgen (X-ray) difraksiyon teknikleri.

- 1) Röntgen (X-ray) film tekniği.
- 2) Röntgen (X-ray) difraktometre tekniği.

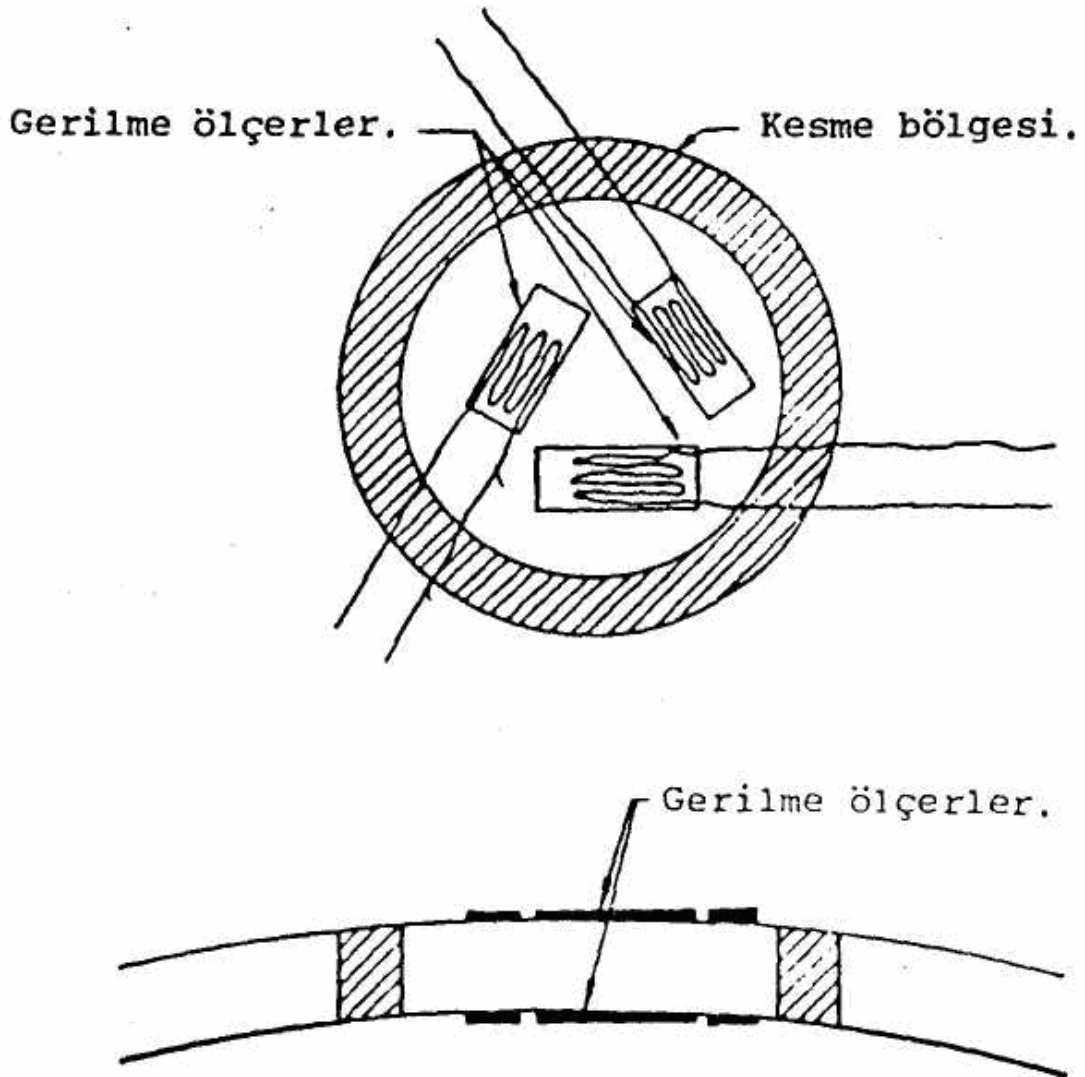
C) Gerilmeye hassas özelliklerin kullanıldığı teknikler

- 1) Polarize edilmiş ultrasonik dalga tekniği
- 2) Ultrasonik azaltma tekniği.
- 3) Sertlik teknikleri.

D) Çatlama teknikleri

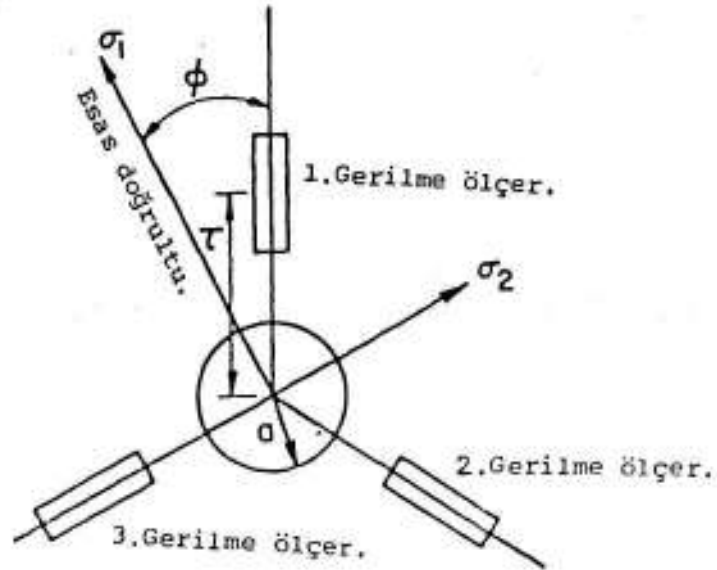
- 1) Hidrojen çatlama tekniği
- 2) Gerilim korozyonu çatlama tekniği

Elektrik dirençli gerilme ölçer kullanılan plaka bölme tekniğinde, test malzemesinin veya numune parçasının yüzeyine, elektrik dirençli gerilme ölçerler yerleştirilir. Sonra Şekil 3.14’de ki gibi, test malzemesinden, üzerinde gerilme ölçerler bulunan küçük bir parça kesilir. Gerilme ölçümü, parçanın alınışı esnasında ortaya çıkan gerilme değişimlerine göre yapılır. Parça yeterince küçükse, parça alındıktan sonra içersinde kalıntı gerilmelerin olmadığı varsayılabilir. Kalıntı gerilmelerin, bükme sonucu oluşabileceği göz önüne alınarak, gerilme ölçümünün plakanın her iki yüzünden yapılması tavsiye edilir. Her iki yüzeyde de ölçülen ortalama gerilme değeri, plakanın gerilme unsurunu, her iki yüzeydeki gerilmeler arasındaki fark ise bükmenin sebep olduğu gerilme unsurunu gösterir.



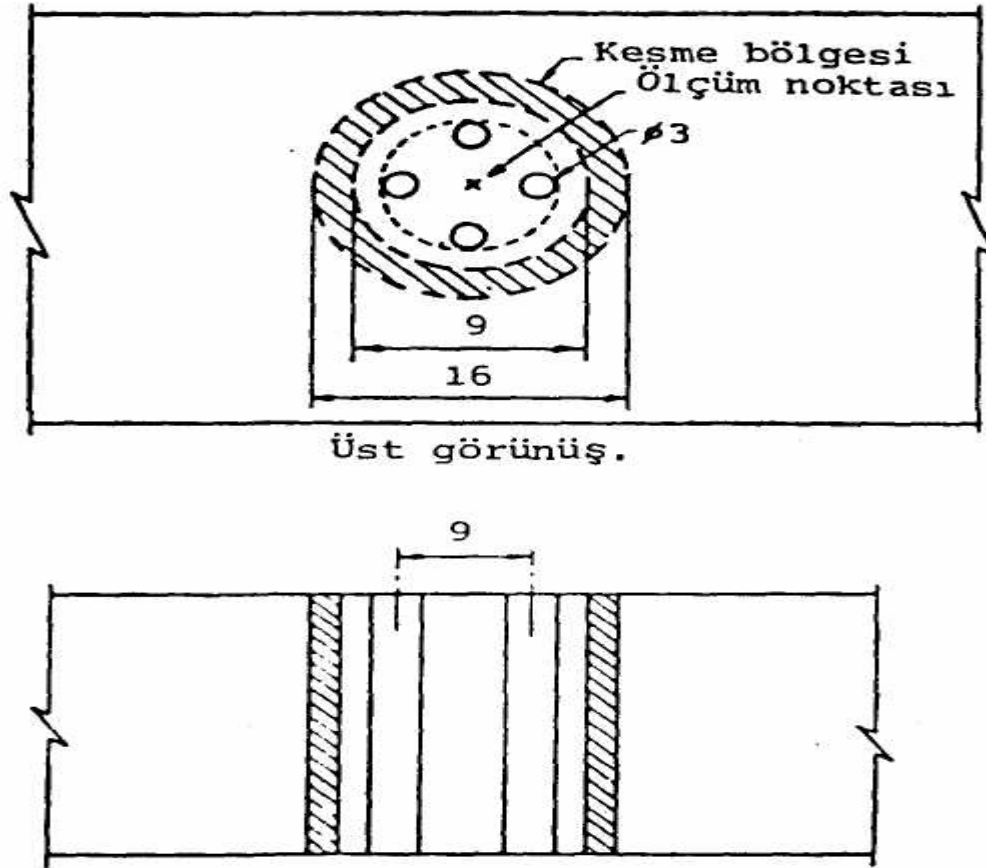
Şekil 3.14. Gerilme gevşetme tekniğinin bir plakaya uygulanışı

Mathar-Soete delme tekniğinde ise kalıntı gerilmeler bulunan bir plakada dairesel küçük bir delik açıldığında, deliğin dışındaki bölgelerde kalıntı gerilmeler kısmen gevşetilmiş olur. Açılan deliğin dışında kalan bölgelerdeki gerilme azalmasını ölçerek, delinen bölgede mevcut olan kalıntı gerilmeleri tespit etmek mümkündür. Bu metot ilk defa Mathar tarafından kullanılmış ve daha sonra Soete tarafından geliştirilmiştir. En yaygın yöntem Şekil 3.15’de gösterildiği gibi, gerilme ölçerleri yıldız şeklinde 120° arayla yerleştirilerek merkezde bir delik açmaktır. Ana gerilmelerin değeri ve yönü, gerilme ölçerlerde tespit edilen gerilme değişimlerine göre hesaplanarak bulunabilir.



Şekil 3.15. Mathar-Soete delme tekniğinde 120° yıldız şeklinde yerleştirilmiş gerilme ölçerler

Gunnert delme tekniği örnekle, bir plaka üzerindeki ölçme noktasına, 9 mm çapında bir daire üzerine 3 mm çapında dört adet delik açılır. Plakanın yüzeyinden itibaren değişik seviyelerde bu deliklerin çapları arasındaki mesafe özel tasarlanmış bir mekanik gerilme ölçerle ölçülür. Plaka yüzeyi ile gerilme ölçerin arasındaki dikine mesafe, plaka yüzeyinden itibaren değişik seviyelerde ölçülür. Ölçme noktası merkez alınarak, şekildeki gibi 16 mm çapında bir kanal açılarak, ortadaki parça çıkarılır ve tüm ölçümler yeniden yapılır. Sonuçlar, kalıntı gerilmelerin hesabı için yeterlidir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Gunnert delme metodu

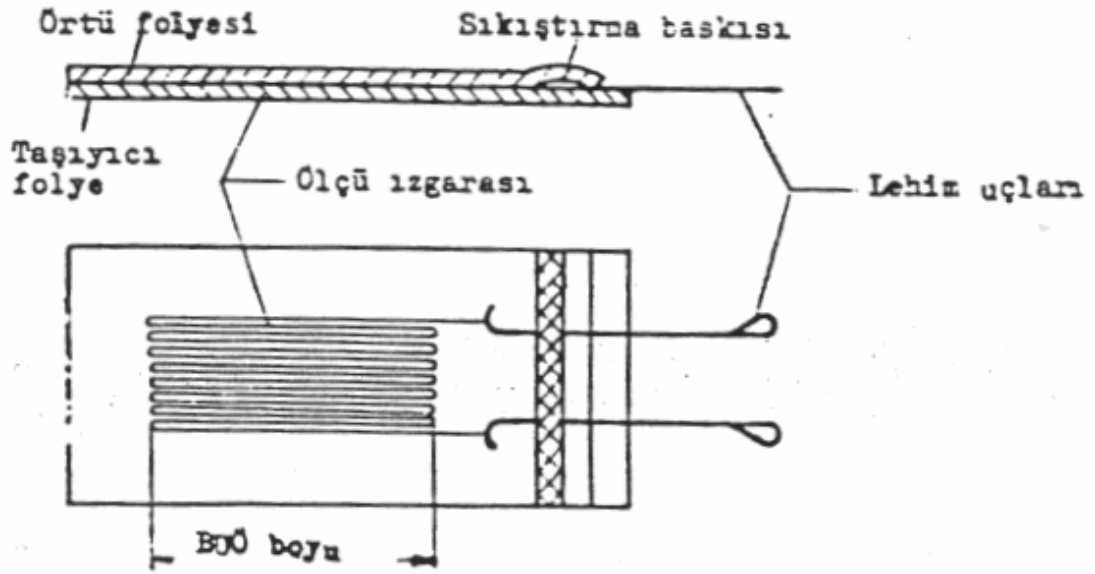
3.6. Kalıntı Gerilmelerin Ölçümünde Kullanılan Birim Uzama Ölçerler (Strain Gauges)

Statik ve dinamik olarak yüklenen makine ve yapı elemanlarında oluşan çeşitli yön ve doğrultudaki gerilmeler her zaman teorik olarak hesaplanamaz. Çeşitli konstrüksiyonların daha ekonomik olması için gerilmelerin tespit edilmeleri gerekmektedir.

Malzemelerde oluşan gerilmelerin belirlenmesinde değişen fiziksel özelliklerden yararlanılır. Gerilme ile şekil değişimi arasında bir bağlantı (Hooke kanunu) söz konusu olduğundan gerilme sonucu oluşan birim uzamalar belirlendiği takdirde gerilme değeri bulunabilir. Birim uzamaların tespitinde ise birim uzama ölçerler kullanılmaktadır.

3.6.1. Birim uzama ölçerlerin yapısı

Birim uzama ölçerler, birim uzamaları elektriksel büyüklük olan direnç farkına dönüştürmektedirler. Birim uzama ölçerler değişik biçim ve özelliklerde yapılırlar. Genellikle bir birim uzama ölçer üç kısımdan meydana gelmektedir (Şekil 17):



Şekil 3.17. Bir birim uzama ölçerin yapısı [30]

1. Örtü folyesi ve taşıyıcı folyo
2. Madensel uzama teli
3. Bağlantı uçları

Örtü folyesi madensel uzama telini dış etkilerden korur. Taşıyıcı folye ise malzeme ile uzama teli arasında yalıtkanlık görevi yapar. Ayrıca malzemedeki şekil değişikliğinin uzama teline intikalini sağlar.

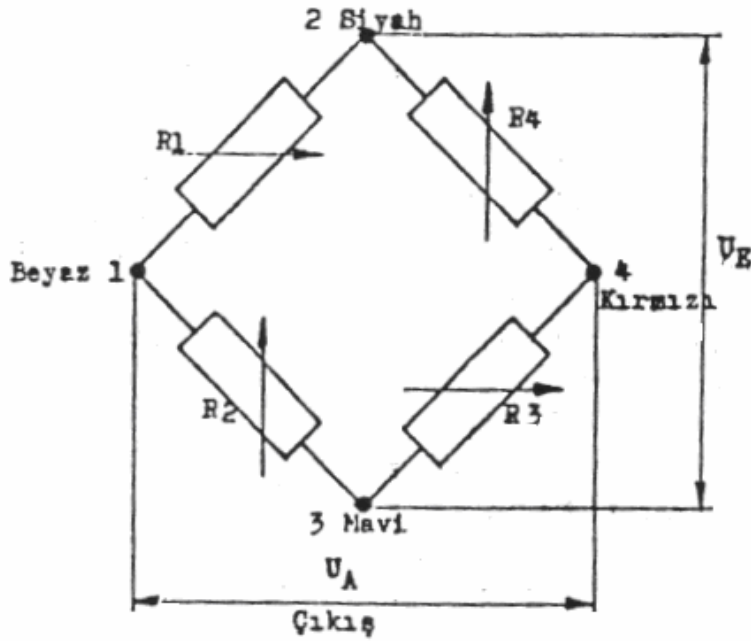
Madensel uzama teli iki folye arasında yer alır. Malzeme ile birlikte şekil değişikliğine uğrayan bu tel direnç farkının oluşmasını sağlar.

Bağlantı uçları ise madensel uzama telinin dış devrelere bağlanmasını sağlayan kalın madensel bir tel olup uzama teline lehimlenir.

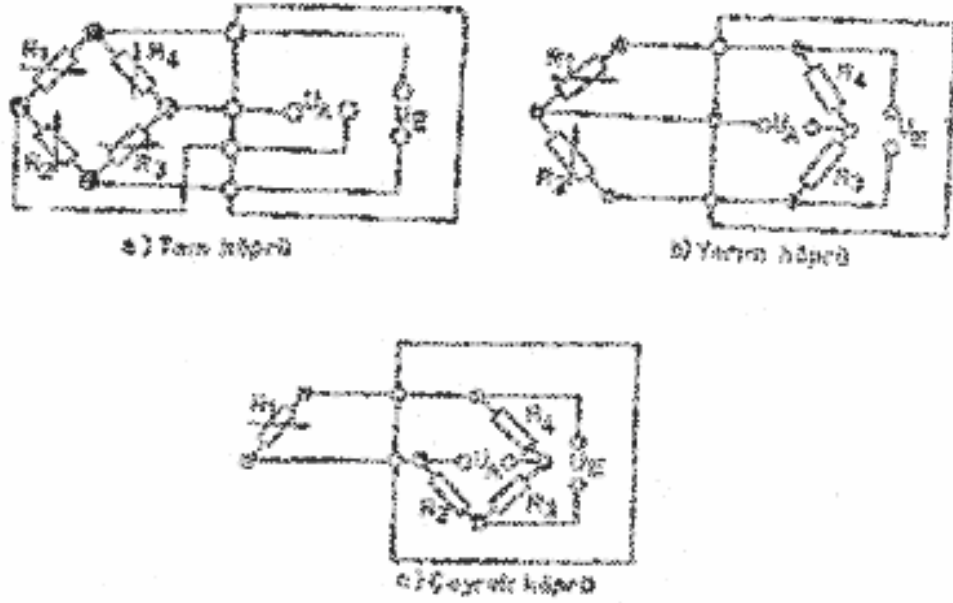
Birim uzama ölçerler birim uzaması ölçülecek bilgeye yapıştırılır. Bölgede meydana gelecek uzamalar, birim uzama ölçere intikal eder ve boylarında değişikliğe sebep olur. Bu değişiklik sonucu birim uzama ölçerlerin direncide değişir ki bu değişikliği saptamak konunun özünü teşkil eder. Direnç değişiklikleri genel olarak “Wheatstone köprüsü” ile tespit edilir.

3.6.2. Tam, yarım ve çeyrek Wheatstone köprüleri

İngiliz fizikçilerden Wheatstone 1843 yılında Şekil 3.18’de şematik olarak gösterilen köprü devresini bulmuştur. Bilginin adından dolayı bular Wheatstone köprü olarak anılmaktadır. Şekil 3.19’de ise tam yarım ve çeyrek Wheatstone köprüleri şematik olarak verilmiştir. Uçlar, daha açık bir şekilde anlaşılabilmesi için renklendirilmiş ve numaralandırılmıştır.



Şekil 3.18. Wheatstone köprüsünde renk ve sayı kotları [31]



Şekil 3.19. Wheatstone köprü türleri [31]

Birim uzama ölçerlerin yapıldıkları malzemelerin cinsi, şekil değişikliği ile direnç değişikliği arasındaki ilişkiyi etkilemektedir. Genellikle birim uzama ölçerler Bakır-Nikel alaşımından yapılmaktadır. Bunun sebebi, bu alaşımın şekil değişikliği ile direnç değişikliği arasında lineer bir ilişkinin olmasıdır. Ayrıca bundan başka çeşitli alaşımlı veya saf metallerden yapılan birim uzama ölçerlerde vardır. Yarı iletken malzemeden yapılan birim uzama ölçerlerde vardır. Ancak bu malzemelerin şekil değişikliği ile direnç değişikliği arasında lineer bir ilişkiden söz edilemez [32].

Birim uzama ölçerleri sıcaklık etkilemektedir. Sıcaklığın etkisini engellemek için çalışma sıcaklığını belirleyip bu sıcaklığın neden olacağı sapmayı hesaba katmak gerekir. Diğer bir yöntem ise, birim uzama ölçerlerin ısıl uzama katsayısına, ölçme yapılacak malzemenin ısıl uzama katsayısının çok yakın seçilmesidir.

Yapılan deneysel çalışmalarda tam Wheatstone köprüsü kullanılmıştır. Bu bağlantı şekli, ısı değişimlerinden minimum etkilenmektedir.

3.6.3. Birim uzama ölçer yapıştırıcıları

Birim uzama ölçerler, parçaların üzerine bir yapıştırıcı vasıtası ile tespit edilirler. Yapıştırma işlemi ölçme olayının en kritik işlemidir. Yanlış yapıştırma ölçümlerin yanlış yapılmasına neden olur. Bu nedenle yapıştırma kuralları iyi bilinmeli ve doğru uygulanmalıdır.

Yapıştırıcının parçada oluşan şekil değişikliğini aynen birim uzama ölçerlere iletmesi gerekmektedir. Teorik olarak bu mümkün olmamakla birlikte asgari düzeye indirilmelidir. Yapılan kalibrasyonlarla bu sorunu en aza indirmek mümkündür.

4. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE DİSTORSİYON

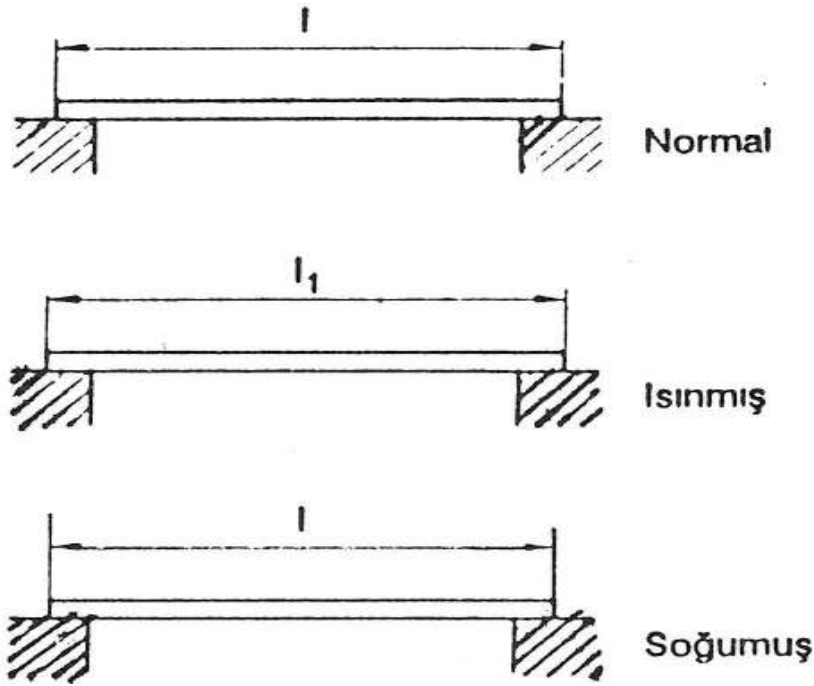
Bütün kaynak yöntemlerinde karşılaşılan birkaç ortak sorun ya da değişken vardır. Bu sorunların en önemlisi ise çekme ve çarpılma (distorsiyon)'lardır.

Bir kaynaklı konstrüksiyonda distorsiyon, kaynak esnasında ısınma ve soğuma periyotları sırasında kaynak metali ile buna komşu ana metalin uniform olmayan genişleme ve büzülmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Aynı malzeme ve aynı konstrüksiyon halinde bile distorsiyonlar, özgül ısı girdisi ve kaynak bölgesinin genişliğine bağlı olarak değişiklik gösterir. Distorsiyonları; yapının rijitlik derecesi, kütlesi, malzemenin akma sınırı, elastik modülü, ısıl genişleme katsayısı, ısı iletkenliği, ergime sıcaklığı özgül ısı girdisi, kaynak bölgesinin boyutları ve konstrüksiyon ile kaynak bölgesi arasındaki sıcaklık farkı gibi faktörlere bağlı olarak meydana gelmektedirler. Çok defa sıcaklığın fonksiyonu olarak ortaya çıkan distorsiyonların hassas olarak önceden tahmini zordur. Hesapların, kısmen bile olsa, üzerine dayandığı fiziksel ve mekanik nitelikler, ısı uygulandığında değişmektedir. Örneğin, kaynak alanının sıcaklığı arttıkça çelik levhanın akma sınırı, elastikiyet modülü ve ısıl genişleme katsayısı ile özgül ısı artar. Bu değişimler, bu kez, ısı akışını ve uniform dağılımını olumsuz yönde etkiler. Böylece de ısıtma sırasında olup bitenlerin hassas hesabını zorlaştırır [4,11].

4.1. Distorsiyonların Fiziksel Esasları

Uzunluğu diğer boyutlarının yanında çok büyük olan bir çubuk ısıtılır ve başlangıçtaki sıcaklığına kadar soğutulursa düzgün bir serbest uzama ve kendini çekme oluşur. Bu durumda uzama ve kendini çekme miktarı aynıdır. Ancak bu fiziksel kural, sadece hacim bakımından serbest hareket edebilen ve düzenli ısıtılıp soğuyan parçalar için geçerlidir. Diğer taraftan böyle bir ideal durum kaynak sırasında söz konusu olmadığından, kendini çekme ve büzülme problemleri ortaya çıkar [11].

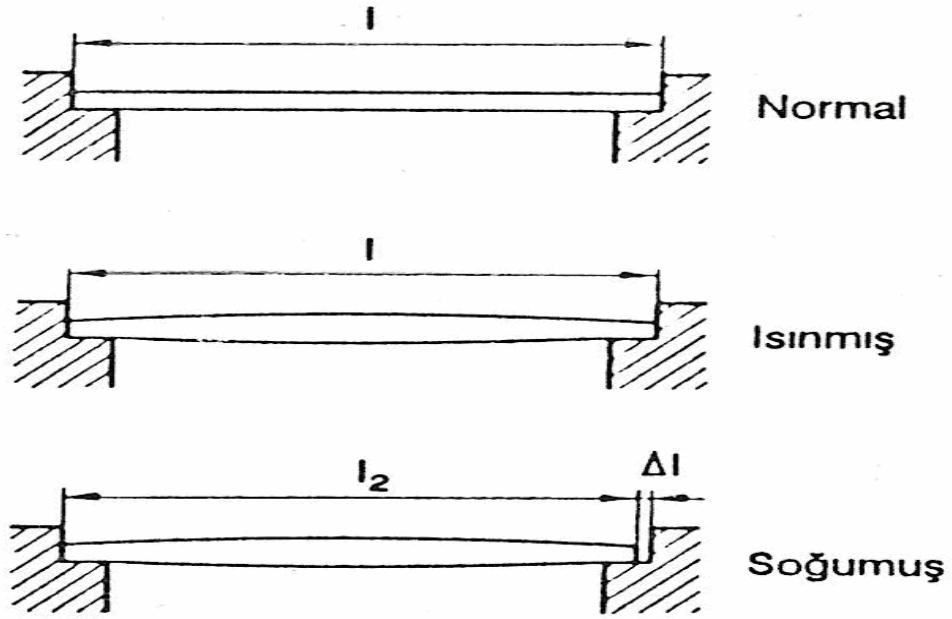
(l) boyundaki bir metal çubuk ısıtıldıktan sonra (l_1) boyuna ($l_1=l+\Delta l$) ulaşır. Soğuma sırasında da onu bu durumda tutacak bir zorlama yoksa soğuma sonucunda çubuk eski boyuna döner (Şekil 4.1).



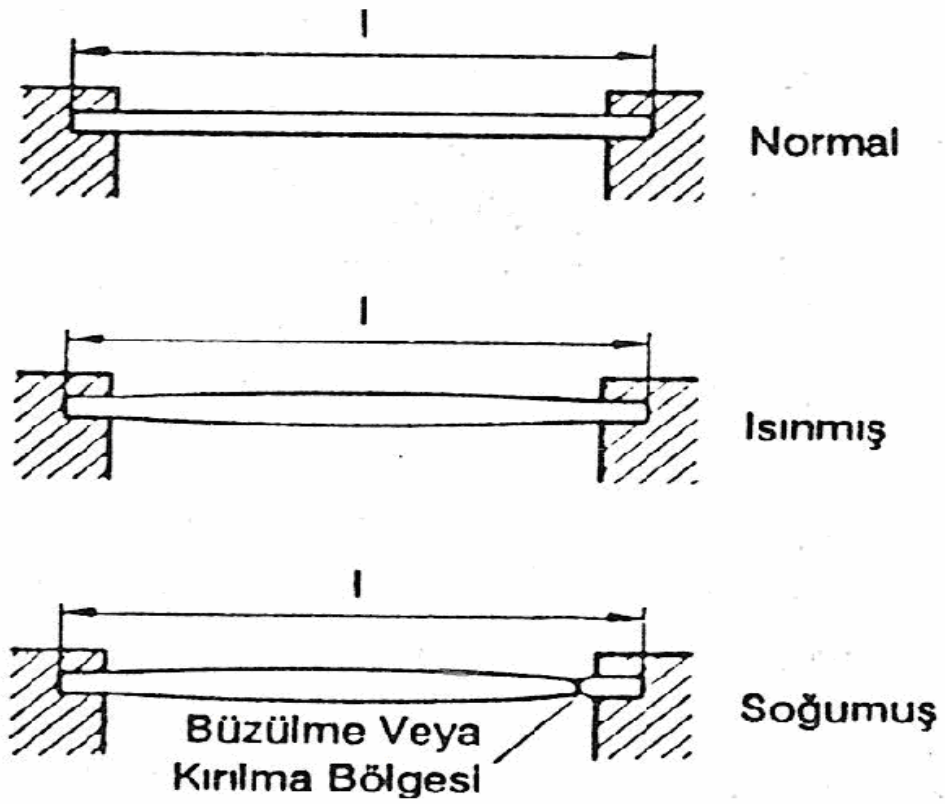
Şekil 4.1. Serbest metal bir çubukta ısınma ve soğuma sonucunda boyut değişimi [4]

(l) boyundaki metal çubuğun ısıtılması sırasında, uzaması sınırlandırılrsa, çubukta basma zorlamaları oluşur ve zorlama da akma sınırını aştığı anda yığılma meydana gelir, yani çubuğun kesiti büyür ve boyu da soğuduğu zaman (Δl) kadar kısalır (Şekil 4.2).

(l) boyunda sabitleştirilmiş (ankastre) bir metalsel çubuk ısıtıldığında genişlemediğinden çubukta basma zorlamaları oluşur ve zorlama da akma sınırını aştığı anda yığılma meydana gelir. Yani, çubuğun kesiti büyür. Soğuma sırasında çubuk sabitleştirilmiş olduğundan büzülemez, bu neden ile çubukta çekme gerilmeleri oluşur, bu gerilmeler akma sınırını aştığında, malzemenin en zayıf bölgesinde akarak bir büzülme oluşturur. Gevrek malzemelerde ise parça şekil değiştiremediğinden kırılır (Şekil 4.3).

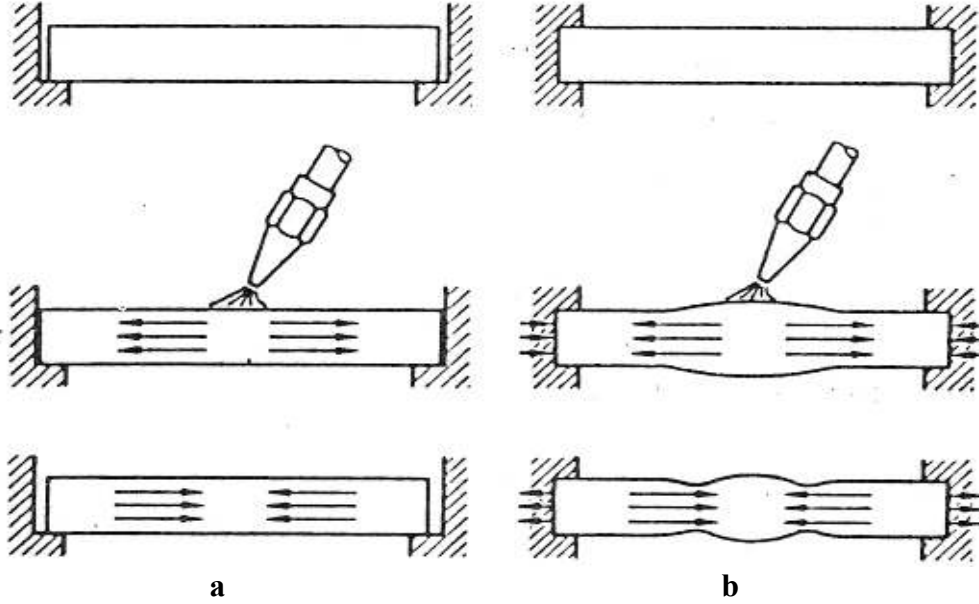


Şekil 4.2. Uzunlamasına sınırlandırılmış metal bir çubukta ısınma ve soğuma sonucunda yığılma biçiminde boyut değişimi [4]



Şekil 4.3. Sabitlenmiş metal çubukta ısınma ve soğuma esnasında görülen olaylar [4]

Kaynak sırasında ortaya çıkan kendini çekmenin engellenmesi sonucu oluşan gerilmeler distorsiyonlara neden olur (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Pparçaların kaynak işlemlerinde oluşan durumlar
a) Uzaması sınırlandırılmış b) Sabitlemiş

4.2. Kaynaklı Birleştirmelerde Distorsiyon Oluşmasına Etki Eden Faktörler

Kaynaklı parçalarda meydana gelen distorsiyonların nedenleri; Konstrüksiyonun rijitlik derecesi, malzemenin metalürjik özellikleri, ısı genleşme katsayısı, ısı iletkenlik katsayısı, kaynak hızı, kaynak metalinin erime sıcaklığı, akma sınırı, elastiklik modülü adları altında toplayabiliriz [33].

4.2.1. Konstrüksiyonun rijitlik derecesi

Kaynak sonucu oluşan gerilmelerin ortaya çıkardığı kuvvetler, konstrüksiyonun rijitliğine bağlı olarak bir takım çarpılma ve kendini çekmeler ile kendini belli eder. Çarpılmaya ve şekil değiştirmeye karşı gelen rijitlik derecesi konstrüksiyonun biçimine bağlı olduğu gibi özellikle ince sac konstrüksiyonlarda kaynak esnasında parçanın bağlanma şekli ile de ilgilidir. Kolaylıkla burkulabilen diğer bir deyimle herhangi bir doğrultuda burkulma dayanımı zayıf konstrüksiyonların rijitlik

dereceleri de düşüktür; uygulamada bu bakımdan ince sac konstrüksiyonlara burkulma dayanımını yükseltecek destek ve takviyeler konulur [4].

4.2.2. Malzemenin metalurjik özellikleri

Kaynak ısısı sebebiyle parçaların yüksek sıcaklıklara ısıtılması ve soğutulması, içyapı değişikliklerine neden olur. Örneğin; çeliklerin kaynağında kaynak bölgesinde meydana gelen martenzitik yapı, şekil değiştirme kabiliyeti az olan bir içyapıdır. Buna göre, içyapıya bağlı olarak, malzeme ya kolay ya da zor şekil değiştirir [4].

4.2.3. Isıl genleşme katsayısı

Isıl genleşme katsayısı, bir metalin ısıtıldığında uğradığı genleşme yada soğuduğunda meydana gelen büzülmenin bir ölçüsüdür. Malzemenin 1 °C sıcaklık farkında boyutlarındaki değişmeyi belirten malzemeye ait bir özelliktir; az miktardaki alaşım elementlerinin etkisi hissedilebilir bir şiddette değildir. Isıl genleşme katsayısı malzemelerde sıcaklığın bir fonksiyonudur; el kitaplarında verilen değerler oda sıcaklığı koşullarındadır. Isıl genleşme katsayısının büyümesi, kaynaktan sonra çekme ve çarpılmaların artmasına neden olur. Isıl genleşme katsayısı sıfır olan ve sıvı halden katı hale geçerken de hiçbir hacim değişikliği göstermeyen kurmaca (hayali) bir malzeme, kaynak işlemi sonrası hiçbir kendini çekme ve çarpılma göstermeyecektir [4,34].

4.2.4. Isıl iletkenlik katsayısı

Bir malzeme içinde ısı akış kolaylığının bir ölçüsüdür. Isıl iletkenlik katsayısı küçüldükçe kaynak yerine uygulanan ısı enerjisinin yayılma hızı da azalır. Bu şekilde kaynak bölgesi ile konstrüksiyonun kalan kısmı arasındaki bölgesel sıcaklık farkı yükselir, bu olay da parçada kendini çekme ve çarpılmaların şiddetlenmesine neden olur [34].

4.2.5. Kaynak hızı

Kaynak hızı deyimi ile kaynakta arkın ilerleme hızı belirtilir. Aynı ark gücünde kaynak hızı yükselirse parçaya uygulanan özgül ısı girdisi azalır; tavlanan bölgenin darlığı nedeni ile de kendini çekme miktarı da azalır [4].

4.2.6. Kaynak metalinin erime sıcaklığı

Kaynak bölgesi ile konstrüksiyonun tümü arasındaki sıcaklık farkı arttıkça, oluşan gerilmeler de şiddetlenir. Kaynak bölgesinin sıcaklığı kaynak metalinin erime sıcaklığı ile sınırlı olduğundan, erime sıcaklığı yükseldikçe kendini çekme ve çarpılma olasılığı da artar [4].

4.2.7. Akma mukavemeti

Malzemenin akma mukavemeti yükseldikçe, kaynak konstrüksiyonunu şekil değiştirmeye ve çarpılmaya yönelik iç gerilmelerin şiddeti artar. Akma sınırı düşük malzemelerde, malzeme akarak bu iç gerilmelerin şiddetinin azalmasını sağladığından çarpılma olasılığı da zayıflar [4,34].

4.2.8. Elastiklik modülü

Elastiklik modülü, malzemenin rijitliğinin bir ölçüsüdür. Daha önce de belirtmiş olduğumuz gibi rijitliğin artması çarpılma olasılığının da azalmasına neden olur [4].

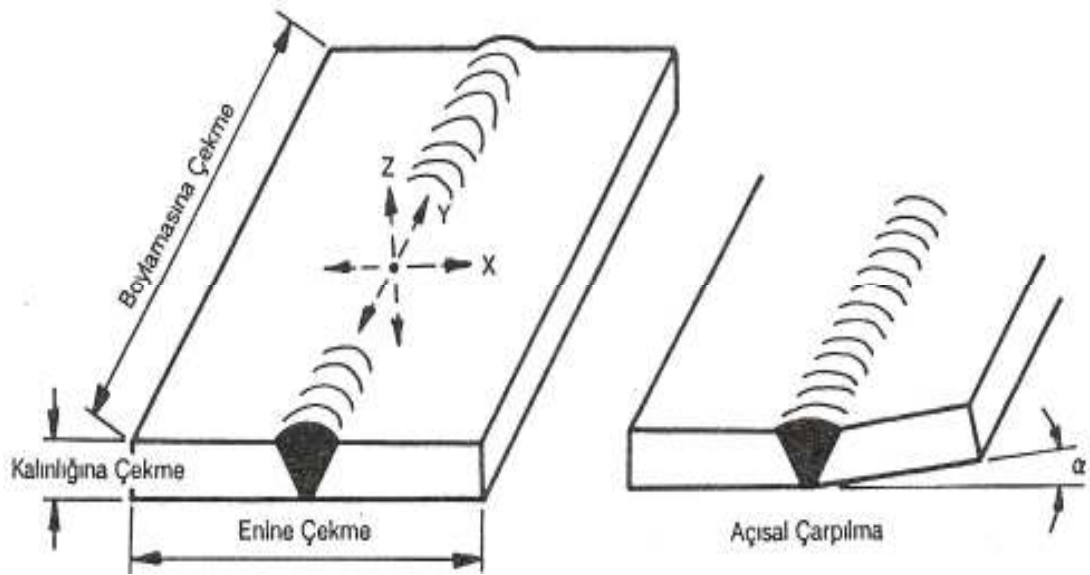
4.3. Kaynaklı Birleştirmelerde Çeşitli Distorsiyon Tipleri

İmal edilmiş parçaların yapısında bulunan distorsiyon, kaynak esnasında üç boyutta oluşan ölçüsel değişimin sonucu olarak ortaya çıkar (Şekil 4.5) [4]:

- 1) Enine çekme
- 2) Boyuna çekme

3) Kalınlık çekmesi

4) Açısal çarpılma (kaynak çizgisine göre dönme)



Şekil 4.5. Çeşitli distorsiyon şekilleri [4]

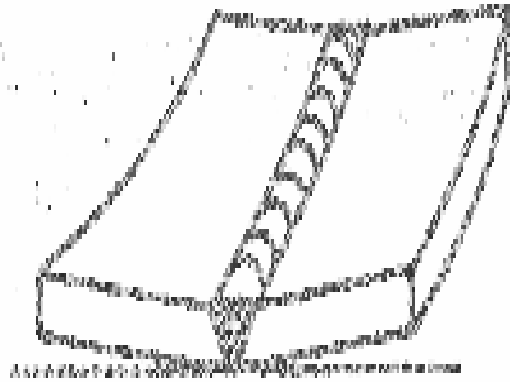
Şekil 4.6’da, basit bir alın ve iç köşe kaynağındaki enine ve boyuna oluşan çekme gerilmelerini, bunun neticesinde oluşan distorsiyonları görmekteyiz. Kaynak metali ve kaynağa bitişik esas metal bölgesinin boyuna çekmesi, kaynağı çevreleyen esas metal tarafından tahdit edilmektedir.

Şekil 4.7’de, alın kaynağında oluşan açısal distorsiyonu görmekteyiz. Kalınlık yönünde enine çekmelerin düzensizliği açısal distorsiyonu doğurmaktadır. Ayrıca kaynak ağız açılarının açısal distorsiyon üzerine etkisi de görülmektedir. Yine aynı şekilde bir iç köşe kaynağında oluşan açısal distorsiyon gösterilmektedir. Burada, flanşın karşılıklı iki tarafındaki çekmenin dengesiz oluşundan dolayı açısal distorsiyon oluşmaktadır.

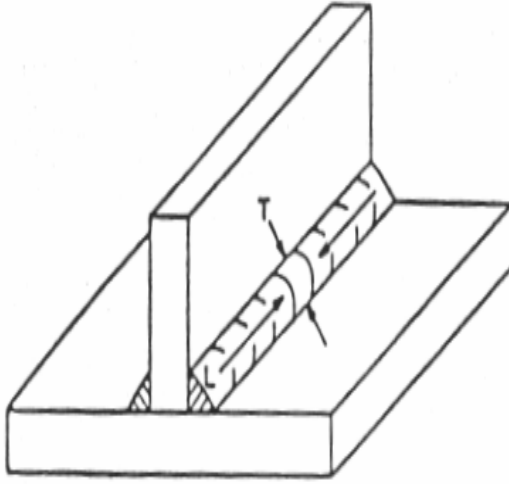
Endüstride çelik yapıların imalatı esnasında oluşan, çekme ve distorsiyonlar, şekil 4.7’de görülenden çok daha fazla karmaşıktırlar. İç köşe kaynağında, boyuna çekme olduğu zaman; kaynak doğrultusu, birleştirmenin nötr eksenini boyunca olmazsa, kaynaklı birleştirme boylamasına eğilir (Şekil 4.8).



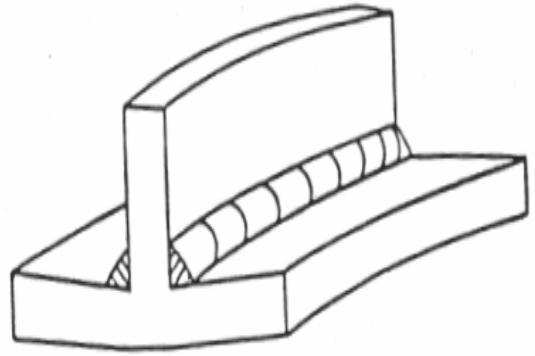
(a)



(b)



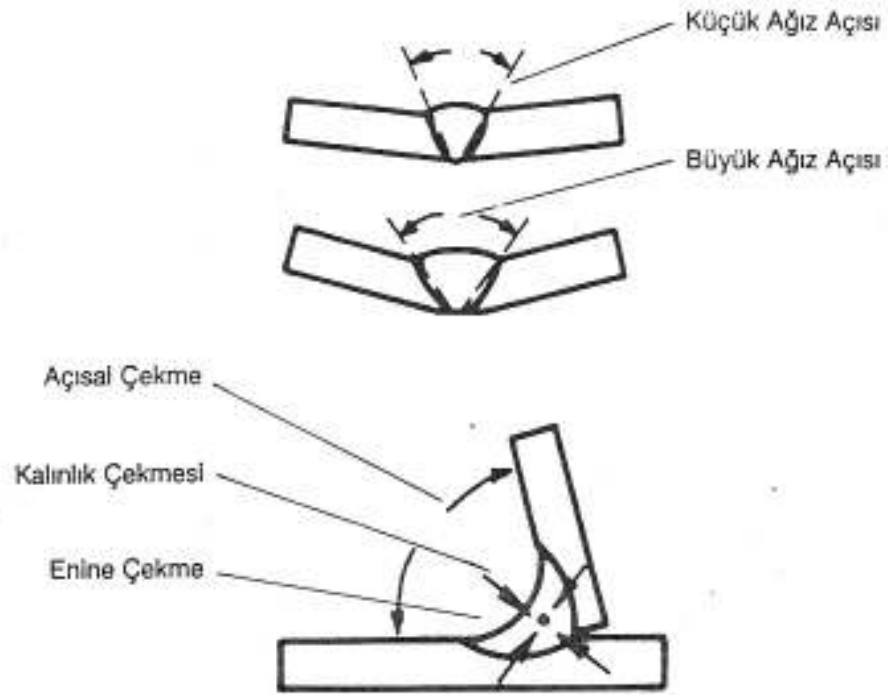
(c)



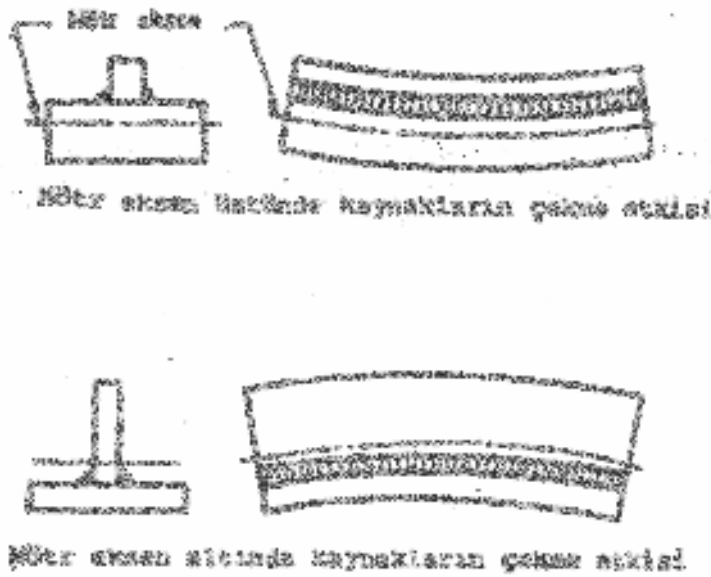
(d)

Şekil 4.6. Kaynaklı bir parça üzerinde çekme gerilmeleri ve distorsiyon türleri

- a. Alın kaynağında boyuna ve enine çekme gerilmeleri
- b. Alın kaynağında distorsiyon
- c. İç köşe kaynağında boyuna ve enine çekme gerilmeleri
- d. İç köşe kaynağında distorsiyon [2]



Şekil 4.7. Kaynaklı yapılarda açısal distorsiyonlar [4]



Şekil 4.8. İç köşe kaynaklarında boyuna çekmenin nötr eksene göre değişimi [11]

4.3.1. Kaynaklı birleştirmelerde enine çekme

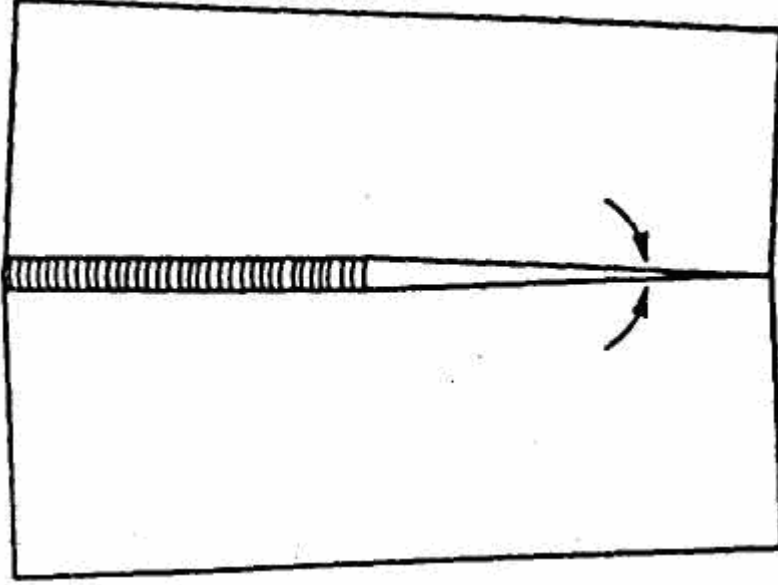
Enine distorsyon, iş parçasında kaynak dikişine dik eksen boyunca ortaya çıkan kendini çekmedir. Kaynak arkının sıcaklığıyla karşılaşan iş parçası, ağız aralığını daraltır. Ayrıca kaynak banyosunun katılaşma ve soğumasının sonucunda ortaya çıkan kendini çekmenin de etkisiyle enine distorsyon (çekme) ortaya çıkar. Bu çekmenin % 90 ile % 95'i esas metalin ısı uzaması, % 5 ile % 10'u da kaynak metalinin kendini çekmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Enine çekmenin boyutları, kaynak ısısından etkilenen bölgeye verilen ısı miktarına, ortalama ağız genişliğine ve dikiş boyuna bağlı olarak değişir [4].

Çelik yapılarda, özellikle uzun alın kaynaklarında oluşan enine çekmeler genellikle çok daha fazla karmaşıktırlar. Alın kaynaklarında, düzensiz enine çekmeye neden olan iki ana faktörler vardır [27]:

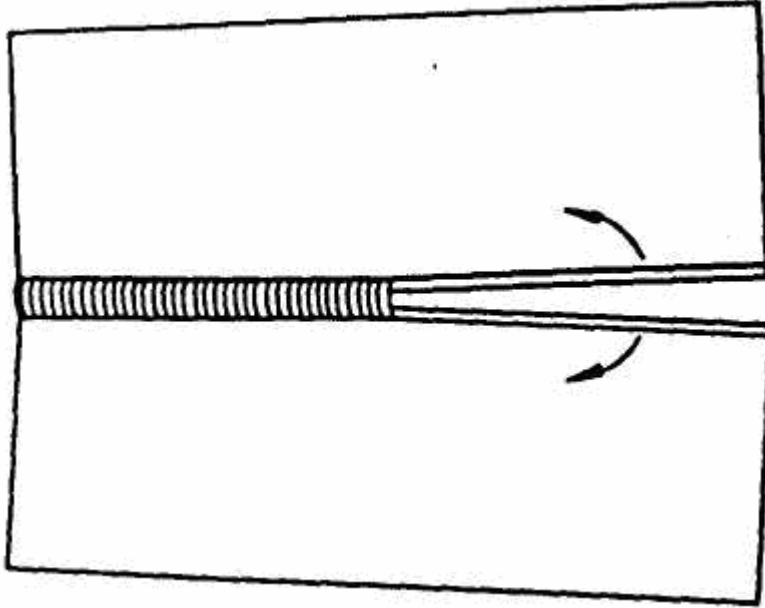
- 1) Dönme distorsiyonu
- 2) Büzölme engellemesi (tahdit etme)

Dönme distorsiyonu, iki levha alın kaynağı ile birleştirilirken kaynak dikişi bir uçtan başlar ve ilerler. Diğer uca doğru gidilirken, şekil 4.9 ve şekil 4.10'da görüldüğü gibi kaynak yapılmamış kısımlar dönme etkisiyle hareket eder ve çarpılma olur [2].

Kaynak ergime derecesi yüksek ise sıvı metal miktarı yüksek olacağından kaynak edilmemiş kısımlar dışarıya doğru dönme eğiliminde olacaktır. Mesela örtülü elektrotlarla kaynak yaparken levhalardaki dönme içe doğru olurken tozaltı kaynağında ise levhalardaki dönme dışa doğru olur. Kaynak ilerleme hızı dönme üzerine etkili olan diğer faktördür. Eğer kaynak ilerleme hızı yüksek ise ark ısısı levhaların kenar kısımlarının genişlemesine ve dolayısıyla levhaların dışa doğru dönmesine neden olur. Kaynak edilecek parçaları bir arada istenilen konumda tutmayı sağlayan punta dikişleri, dönme distorsiyonunun neden olduğu gerilmelere dayanacak kadar büyük olmalıdır, yoksa gerilmeler punta dikişini kırarak dönmeyi meydana getirirler.



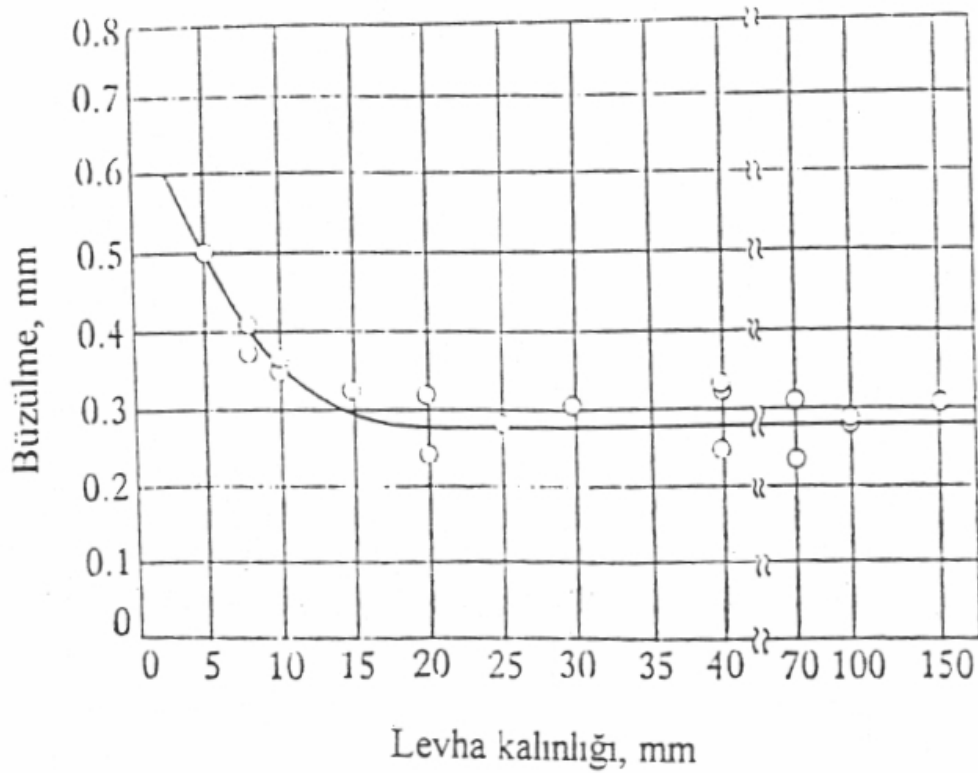
Şekil 4.9. Örtülü elektrotla kaynak esnasında kaynatılmayan kısımda dönme distorsiyonu [2]



Şekil 4.10. Tozaltı kaynağı esnasında kaynatılmayan kısımda dönme distorsiyonu [2]

Büzölme engellemesi, kaynaklarda oluşan toplam enine çekmeler, kaynaklı birleştirmeye uygulanan tahdidin derecesine göre değişir. Yani engelleme miktarı kaynaklı yapıda distorsiyon oluşumunun önemli parametresidir. Bir kaynaklı yapıda büzülmeler ne kadar engellenirse o oranda distorsiyon azalır ve kalıntı gerilme artar. Kaynaklı birleştirme işleminde büzölme engellemeleri malzemenin cinsine göre belli bir limiti aştığında çatlama meydana gelir [35].

İş parçası uzunluğu büzölme miktarı üzerinde etkilidir. Ancak parça boyu kısa olunca soğuma daha çabuk gerçekleşeceğinden daha kısa sürede kısılma meydana gelmektedir. Levha kalınlığı arttıkça ise büzölme azalmaktadır. Şekil 4.11’de parça kalınlığının büzölme oranındaki etkisi görülmektedir [1]



Şekil 4.11. Alın kaynağı yapılan çelik levhalarda kalınlığın büzülmeye etkisi

Alın kaynaklarındaki enine çekme ile ilgili formüller, birçok araştırmacı tarafından öne sürülmüştür. Buna göre enine çekme, kaynak bölgesinin dik kesit alanı, plaka kalınlığı, parçalar arasındaki serbest aralığı (kaynak ağzı açıklığı) gibi etkenlere bağlıdır ve aşağıdaki formülle ifade edilebilir [5]:

$$S = 5,16 \frac{A_w}{t} + 1,27 d$$

Burada;

S = Enine çekme, mm

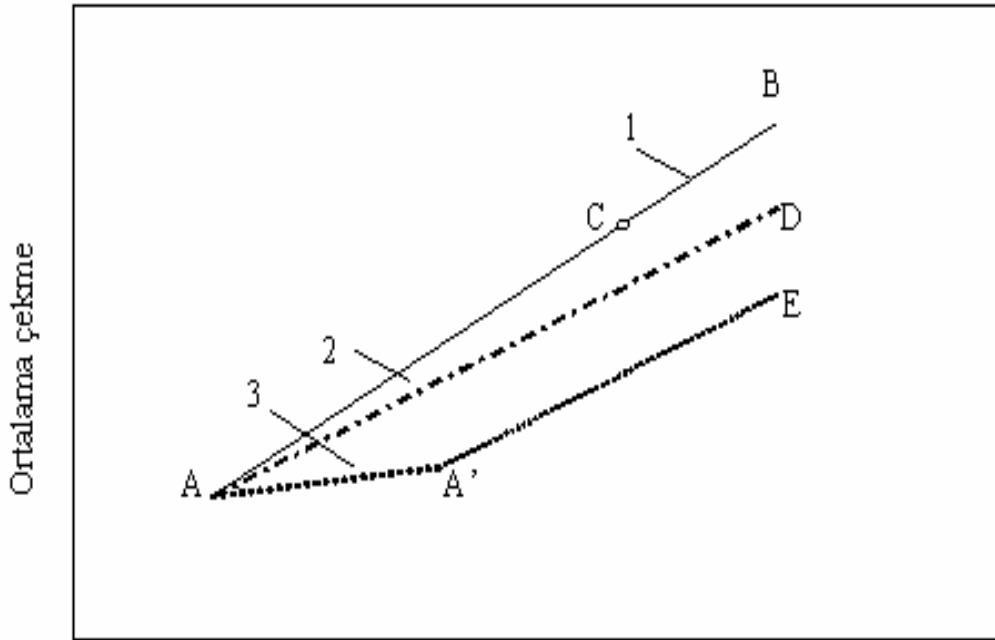
A_w = Kaynak bölgesinin dik kesit alanı, mm²

t = Plaka kalınlığı, mm

d = parçalar arasındaki aralık (kaynak ağzı), mm

Enine çekmeyi azaltmak için üç metot vardır. Enine çekmeyi azaltma metotları Şekil 4.12’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu metotlar şunlardır:

- 1) Şekil 4.12’de 1 nolu okla gösterildiği gibi, kaynak metalinin toplam ağırlığı azaltılır. Böylece toplam çekme B’den C’ye çekilmiş olur.
- 2) 2 nolu okla gösterildiği gibi, tanjant b değeri azaltılır. Toplam çekme B’den D’ye çekilmiş olur.
- 3) Çekme, 3 nolu okla gösterildiği gibi, birinci pasodan sonra A’dan A’ne kayar. Kaynak tamamlandıktan sonra toplam çekme B’den E’ye değişir [5].

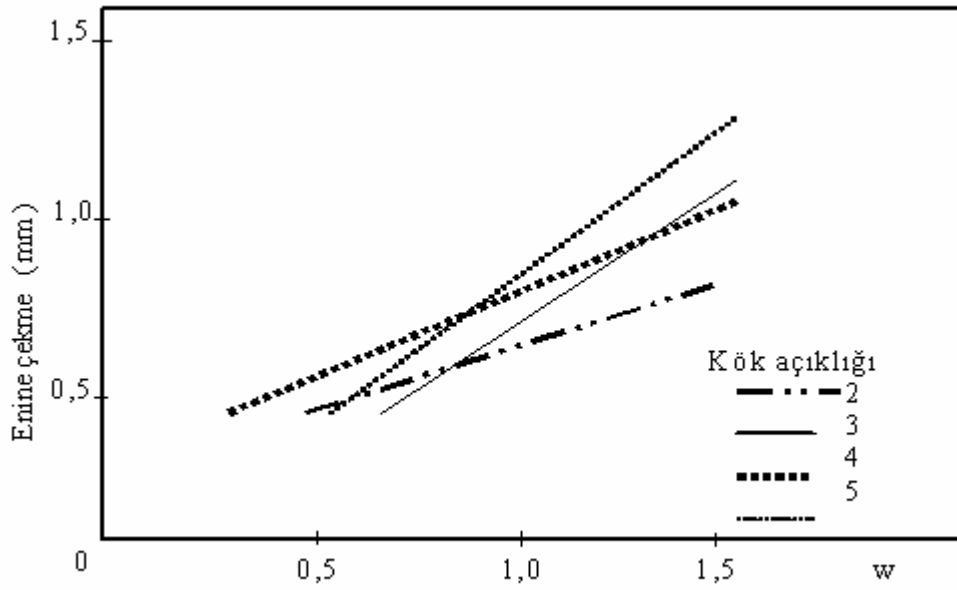


Kaynak metal ağırlığının logaritması

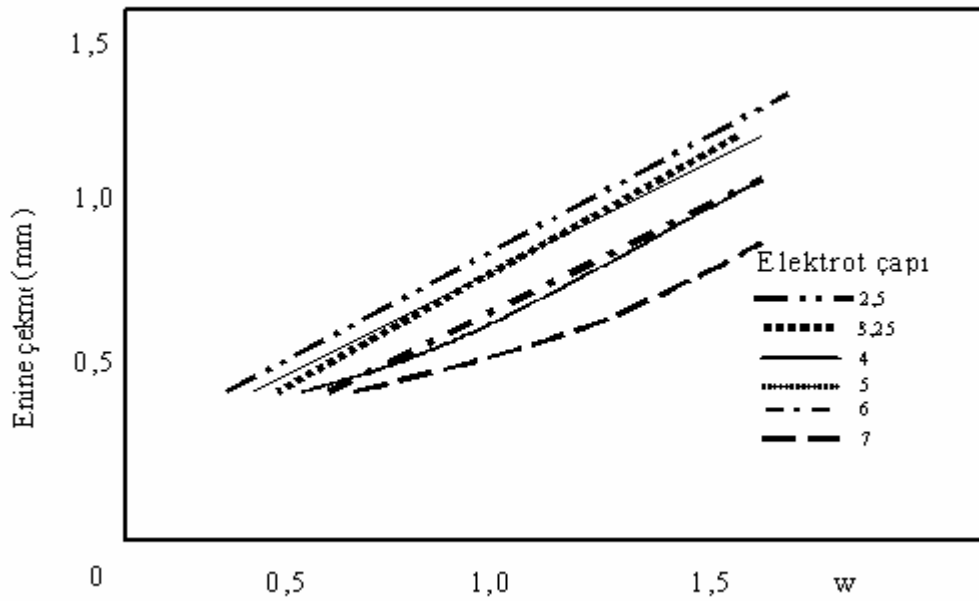
Şekil 4.12. Alın kaynaklarında enine çekmeyi azaltmak için uygulanan metotların şematik diyagramı [2]

Şekil 4.13.a'da kök açıklığının enine çekme üzerindeki etkisi görülmektedir. Kök açıklığı arttıkça, kaynak metalinin toplam miktarı ve çekme de artmaktadır. Şekil 4.13.b'de, elektrot çapının, enine çekme üzerindeki etkisi belirtilmektedir. Elektrot çapı büyüdükçe enine çekme azalmaktadır. Ayrıca ilk pasoda büyük çaplı elektrotlar kullanılmadıkça kaynaktaki çekmelerin azaltılamayacağı söylenebilir. Bu durum ayrıca deneylerle de tespit edilmiştir.

Kaynak için uygulanan ısıнын, enine çekme üzerindeki etkisi ele alınırsa, kaynak için gereken toplam ısı azaldıkça enine çekmelerin de azaldığı görülür (Şekil 4.12.(1) nolu ok). Kaynak, birkaç paso ile yapıldığı zaman, ilk paso daha yüksek ısı ile yapılırsa, çekmeler azalmaktadır. Bu durumda, ilk paso yapıldıktan sonra, çekmelerde az bir artış oluşuyorsa da kaynak tamamlandıktan sonra toplam çekmede azalma olmaktadır (Şekil 4.12'de B ve E noktaları).



a. Kök açıklığının etkisi

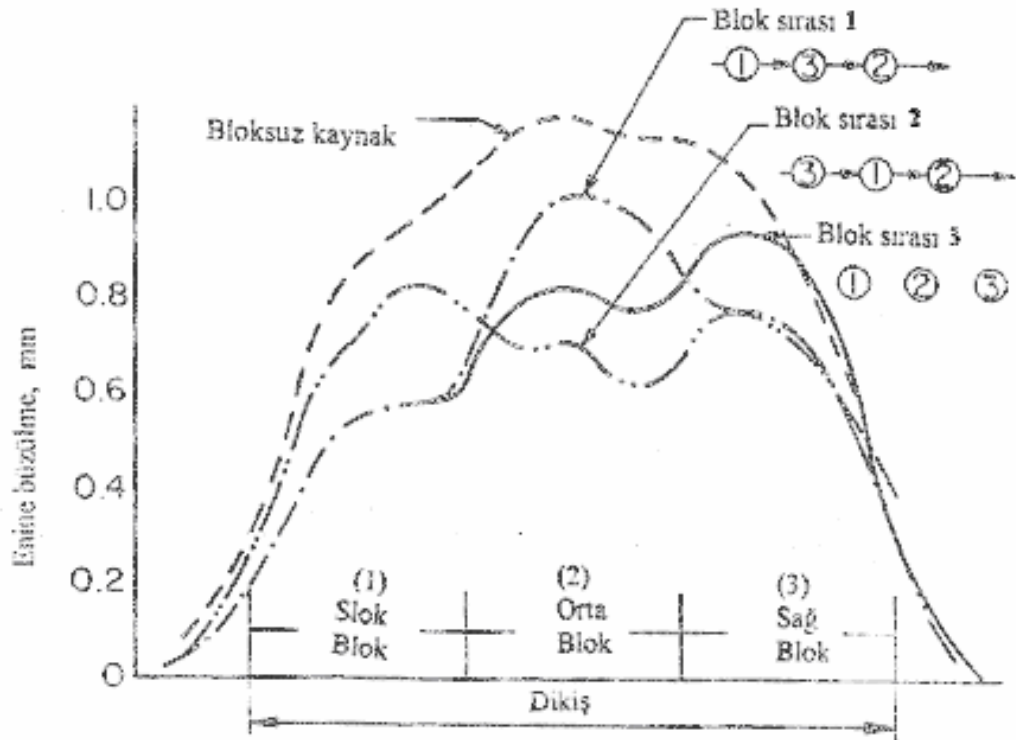


b. Elektrot çapının etkisi

Şekil 4.13. Alın kaynaklarında, kök açıklığının ve elektrot çapının enine çekmeye etkisi [27]

Parçalara açılan kaynak ağzının, enine çekme üzerindeki etkisini ele alırsak; talaş kaldırarak kaynak ağzı açmanın enine çekmeye çok az etkisi olduğunu, kaynağa bağlı olarak çekmenin arttığını görürüz. Oksijen ile kaynak ağzı açılması esnasında uygulanan ısı nedeniyle oluşan enine çekme, kaynak nedeniyle daha fazla artar.

Alın kaynaklarında kaynak sırası planının enine çekme üzerindeki etkisi önemlidir. Şekil 4.14'de çok pasolu dikiş ile kaynatılan bir yarık kaynağı numunesinden elde edilen deneysel sonuçlar görülmektedir [2]. 1 numaralı eğride önce sol blok daha sonra sağ blok ve en son orta blok kaynatılmıştır. 2 numaralı eğri ise sağ, sol ve orta blok sırası ile kaynak yapılması ile elde edilmiştir. 3 numaralı eğri sol, orta, sağ blok sırası ile kaynak yapılması ile elde edilen çekmeyi göstermektedir. 4 numaralı eğri ise boydan boya dikiş çekilmesi ile elde edilmiştir. Şekilden anlaşılan blok kaynağın çekmeyi azalttığıdır. Ancak blok sırası da önemlidir. İnce çaplı elektrotlar ile çok pasolarla kaynak yapmak enine distorsiyonu azaltacaktır.



Şekil 4.14. Çeşitli kaynak sırası ile kaynatılan bir yarık kaynağı numunesinde oluşan enine çekmenin dağılımı [2]

4.3.2. Kaynaklı birleştirmelerde boyuna çekme

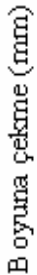
Parçanın kaynak dikişi yönündeki eksenini boyunca kendini çekmesi, boyuna çekme diye adlandırılır. Kaynak yerinin erimesi esnasında, dikişin komşu bölgeleri genişlemek ister, fakat soğuk kısımlar boylamasına uzamaya engel olur ve dolayısı ile ısınmış kısımlarda plastik bir yığılma oluşur ve soğuma sonucu oluşan bölgelerin kendini çekmesi de boylamasına çekmelerin ortaya çıkmasına neden olur [4].

Alın kaynaklarındaki boyuna çekmenin değeri, enine çekmeden çok daha azdır. Boyuna çekme sonucu pratikte yalnız kaynak dikişinin sonlarında bir kısalma olabilir. Dikişin boyu uzadıkça metre dikiş boyuna düşen çekme oranı azalır. Bu oran 0,1-0,3 mm/m arasındadır. Kaynak dikişinde yüksek miktarda boyuna çekme gerilmeleri oluşması halinde, özellikle ince saçlarda kaynak dikişleri arasındaki bölgelerde bombeleşme oluşur.

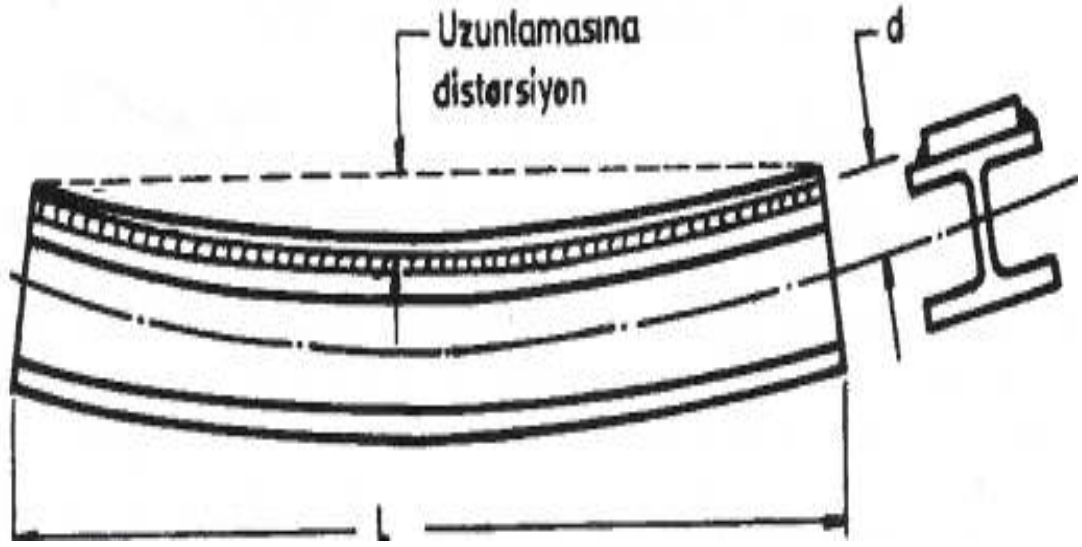
İç köşe kaynaklarında kaynak metal kesiti ve kaynak edilen parçaların kesitine bağılı olarak boyuna çekme meydana gelir. Kaynak edilen levhaların kalınlığı ve genişliği arttıkça çekmeye karşı gösterdiği direnç artacaktır [2].

Kaynak yapılan plakalar daha geniş ve kalın olursa, tahditleme de o derece etkili olmaktadır. Kaynaklı plakaların toplam enine kesiti, mukavemet kesiti olarak adlandırılır. Şekil 4.15’de Guyot tarafından elde edilen sonuçlar görölmektedir. Enine kesitteki simetrikliğı muhafaza etmek ve boyda oluşan burkulmayı minimuma indirmek için Guyot, plakaları kros profil şeklinde toplamıştır. Çekme değeri, mukavemet kesit alanı ile, kaynak metalinin kesit alanının bir fonksiyonu olarak belirlenmişlerdir.

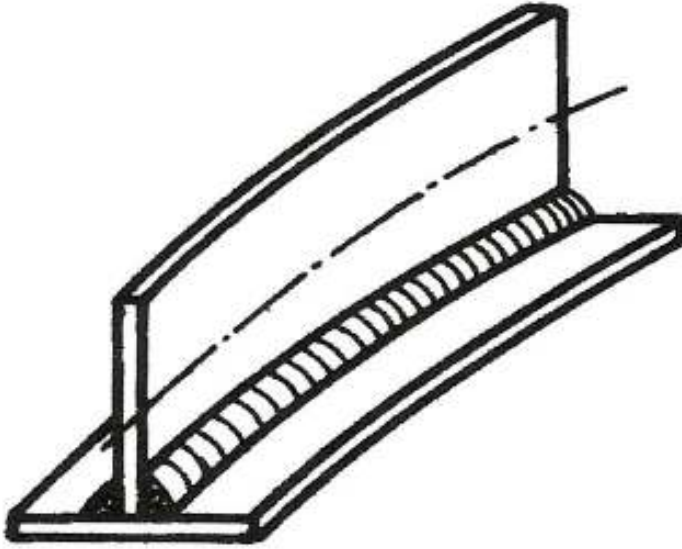
Şekil 4.16 I köşebentte kaynak sonrası oluşan boyuna distorsiyon, Şekil 4.17’de ise iç köşe kaynağı ile birleştirilmiş parçalardaki boyuna distorsiyon görölmektedir.



bir fonksyonu olarak değişimi [2]



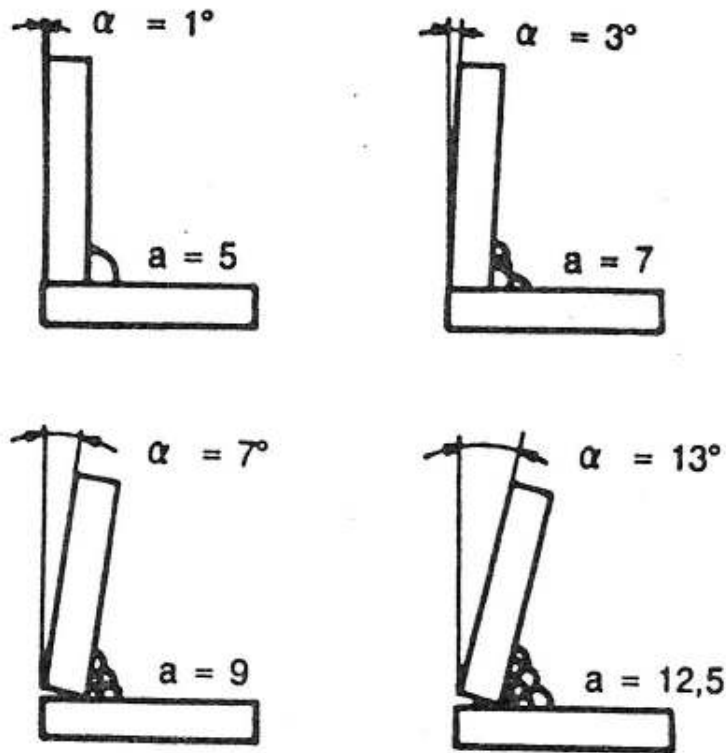
Şekil 4.16. I köşebentte oluşan boyuna distorsiyon [11]



Şekil 4.17. İç köşe kaynağı ile birleştirilmiş parçada oluşan boyuna distorsiyon [11]

4.3.3. Kaynaklı birleştirmelerde açısıl distorsiyon

Açısıl distorsiyon, enine çekmenin bir özel şekli olup, parçanın ilk başlangıçtaki duruma göre bir (α) açısı kadar kendini çekmesidir. Ortaya çıkan açısıl çarpılmanın büyüklüğü kaynak ağzının şekline, pasoların miktar ve sırası ile parça kalınlığına bağlı olarak değişir. şekil 4.18.'de Fe 37 çeliğinden yapılmış iç köşe birleştirmelerinde açısıl distorsiyonun kaynak dikiş yüksekliği ile değişimi görölmektedir [4].



şekil 4.18. Fe 37 Çeliğinden yapılmış iç köşe birleştirmelerinde açısıl distorsiyonun kaynak dikiş yüksekliği ile değişimi [4]

Köře kaynakları boyuna ve enine gerilmelerin her ikisini de içerir. Köře kaynaklarında birleştirmenin dűřey parçası kaynak yapılan tarafa doğru çekilecektir. Yani açısıl distorsiyon meydana gelecektir [36].

Alın kaynaklarında, kalınlık doğrultusunda enine çekme düzensiz olduğu zaman genellikle açısız değişme oluşur. Şekil 4.19'de ki deneysel bilgiler, bilezik tipi deney parçalarından elde edilmişlerdir. Önce kaynak ağızları açılmış, sonra 6mm Çapında elektrotla kaynatılmıştır. Beş deney parçası, değişik boyutlarda kaynak ağızları açılarak test edilmişlerdir.

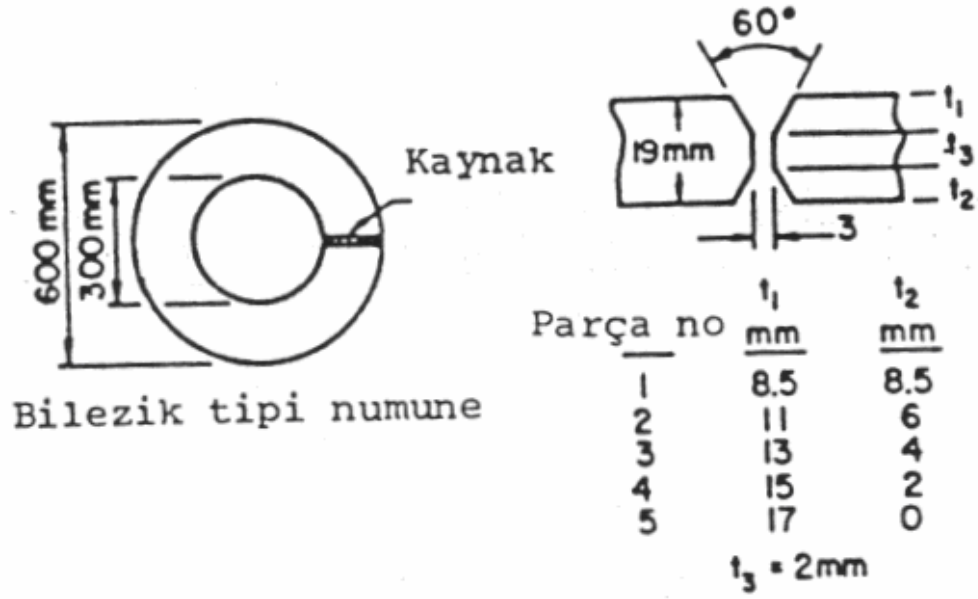
Öncelikle parçanın bir yüzü kaynak edilmiş daha sonra parça ters çevrilerek arka taraf oyulmuş (rendelenmiş) ve kaynak edilmiştir. Her kaynak panosundan sonra açısız değişme ölçülmüştür. İlk yüzeydeki kaynağın ilk pasosundan sonra çok az bir açısız değişme olmuştur. Orta pasodan sonra açısız değişme miktarı en büyük değerini almıştır. Son pasoda ise açısız değişme miktarı yeniden azalmıştır. Burada arka taraftaki kaynaktan önce yapılan oyma (rendeleme) işleminin, açısız değişmeye etkisi olmamıştır.

İkinci yüzeydeki kaynak esnasında, ters yönde açısız değişme olmuştur. Kaynaktan sonra kalan açısız değişme, plakaların her iki tarafındaki kaynak metalinin birbirine oranına bağlıdır. İkinci yüzeydeki kaynak esnasında açısız değişme artışı çok hızlı olmakla beraber, biraz daha geniş kaynak ağzına sahip olan birinci yüzeydeki kaynakta minimum bir açısız değişme olmuştur. Eğer kaynaklı bağlantıda $t_1+1/2 t_3$ değerinin t' ye oranı 0,6 ise, açısız değişme sıfıra yakın bir değere indirilebilir (Şekil 4.20).

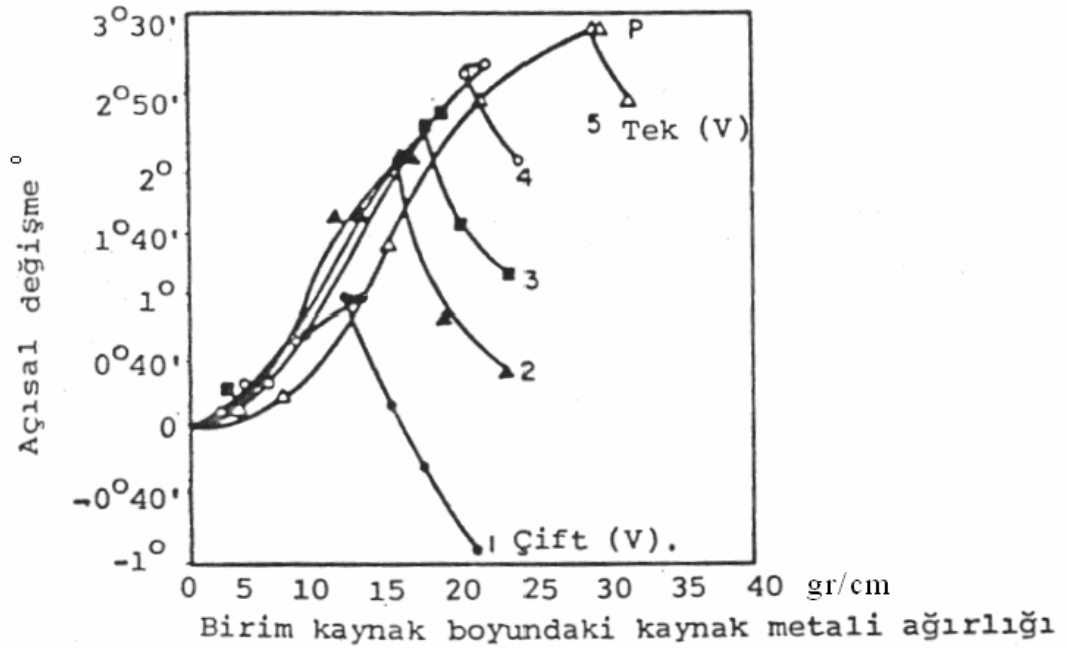
Alın kaynaklarında, kaynak yönteminin açısız değişme üzerindeki etkisini Şekil 4.21'da görebiliriz. Burada en fazla açısız değişme kaynak; elektrik ark kaynağı ile küçük pasolar halinde yapıldığı zaman oluşmaktadır.

Şekil 4.22'de ise sac kalınlığının açısız distorsiyon üzerindeki etkisi görülmektedir. levha kalınlığı arttıkça paso sayısı mecburen arttığı için distorsiyon da artmaktadır.

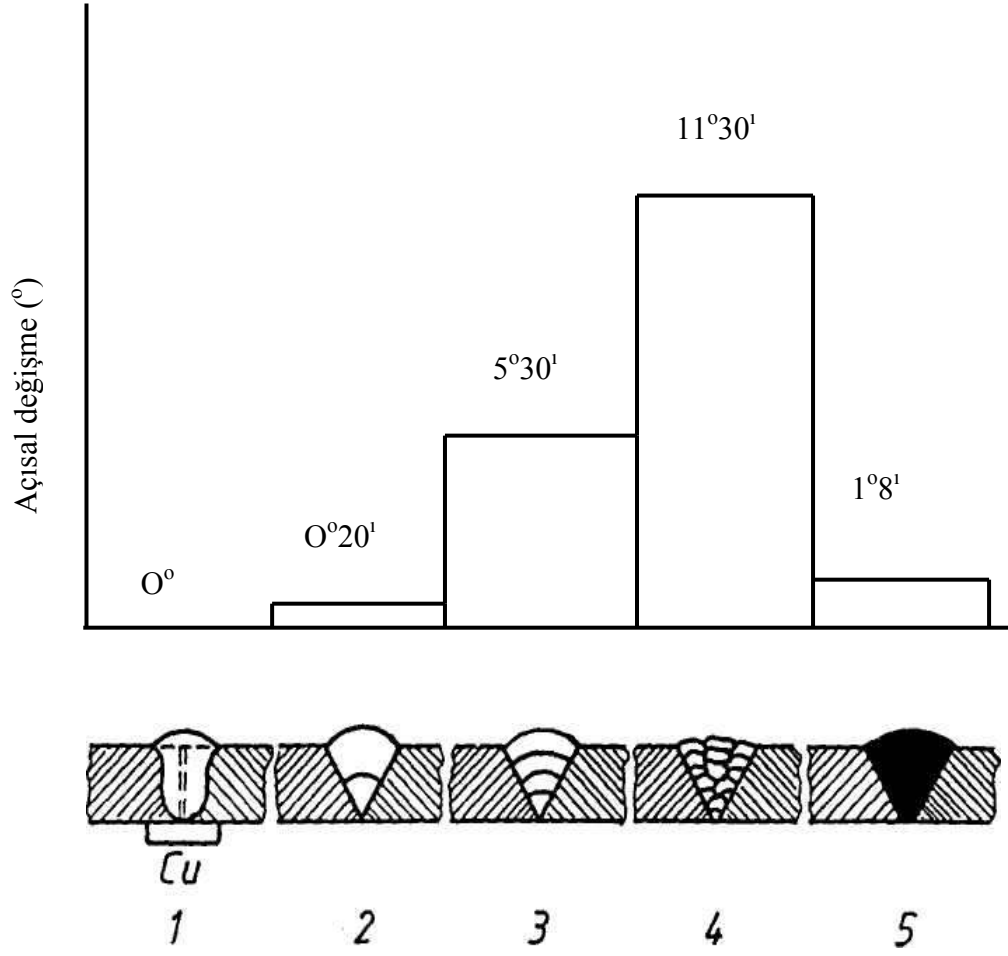
Dış tahditmeden yoksun olan bir iç köşe kaynaklı yapıda şekil 4.23'deki gibi poligonal bir şekilde dirsekleme ve eğilme oluşur. Buna rağmen yapı, bazı yöntemlerle tahdit edilirse, farklı distorsiyonlar oluşur. Örneğin, dikey kaynatılmış



Şekil 4.19. Bilezik tipi deney parçasında kaynak geometrileri [27]



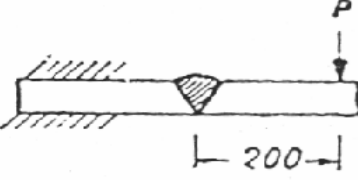
Şekil 4.20. Bilezik tipi deney parçasında metal ağırlığının açısal değişime etkisi [2]



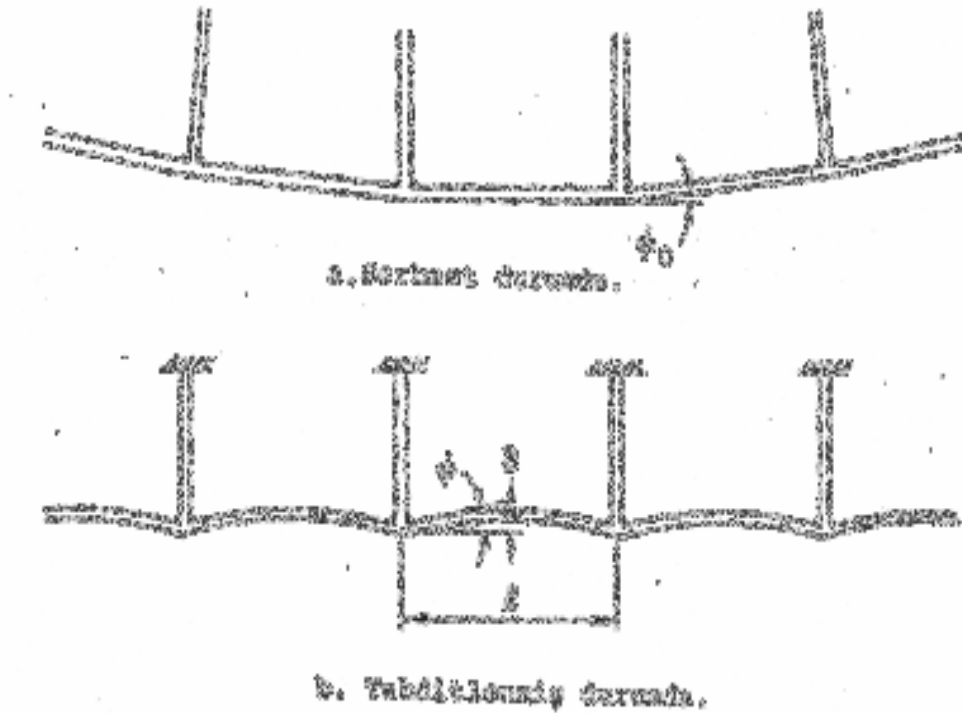
Şekil 4.21. Çeşitli kaynak yöntemlerinin ve dikiş şeklinin açısal değişime etkisi

- 1) Toz altı kaynağı (bir paso)
- 2) Elektrik ark kaynağı (üçgen tarzı doldurma)
- 3) Elektrik ark kaynağı (tabakalar halinde doldurma)
- 4) Elektrik ark kaynağı (küçük pasolarla doldurma)
- 5) Oksi-asetilen kaynağı (bir paso) [2]

Sac kalınlığı (mm)	Paso sayısı	Dikiş 200 mm mesafede açılal distorsyon kuvveti (kp)
8	3	416
10	4	680
12	4	1230
15	6	1930
18	7	2360



Şekil 4.22. Tek V kaynak ağzında sac kalınlığının açılal distorsiyona etkisi [8]



Şekil 4.23. İç köşe kaynaklı iki yapıda, açılal değışme sonucu oluşulan distorsiyon [27]

takviyelerin, alt plakaya doğru olan hareketi önleğinde, Şekil 4.23.b'deki gibi dalgalı bir distorsiyon oluşur. Dalgalı distorsiyon ve birleşik gerilmeler, rijit yapılarda bir gerilme, problemi olarak ele alınabilir.

Tahdit edilmiş yapılardaki toplam açısal değişme, serbest yapılarda oluşan açısal değişmeden daha azdır. Ayrıca distorsiyonun açı değeri, taban plakasının rijitliği ve kiriş uzunluğuna bağlı olarak da değişebilir.

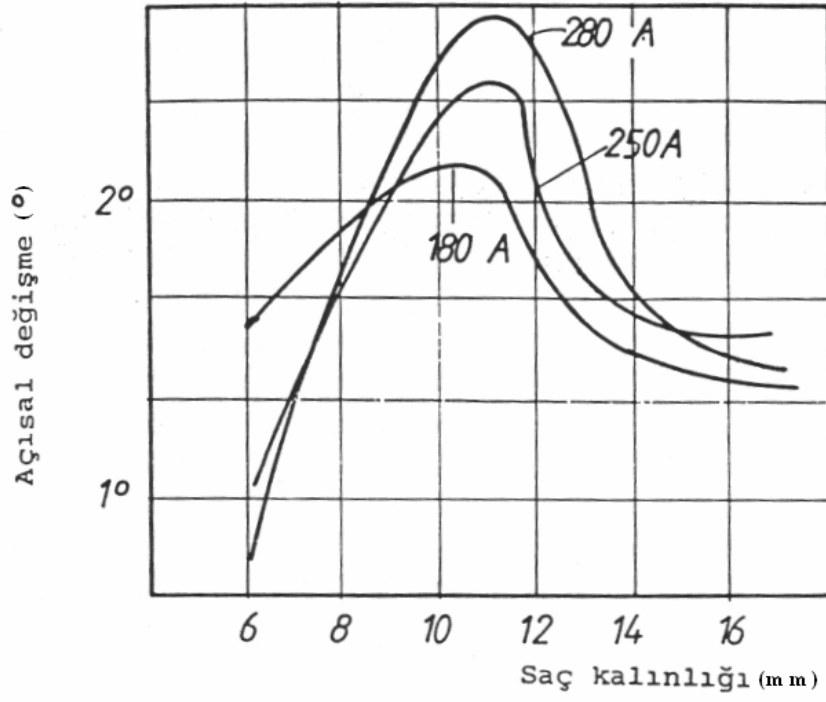
Açısal distorsiyon, tek taraflı ısı tatbiki sonucu parçada kalınlık yönündeki ısı dağılım farkından dolayı oluşmaktadır. İnce saclarda sac kalınlığı boyunca sıcaklık farkı az olduğu için enine çekmeler kuvvetli, açısal distorsiyon ise hafif olur.

Çok kalın parçalarda ise sıcaklık farkı büyük olduğundan ve meydana gelen yüksek gerilmeler termal distorsiyonlara karşı koyduğundan açısal distorsiyon miktarı azdır. Şekil 4.24'de iç köşe dikişlerinde oluşan açısal değişimin sac kalınlığına ve kaynak akım şiddetine göre değişimi görülmektedir. Şekil 4.25'de ise Klöppel tarafından açısal distorsiyon miktarının kaynak dikişi kalınlığı/sac kalınlığı oranına bağlı olduğu ifade edilmektedir. [5]

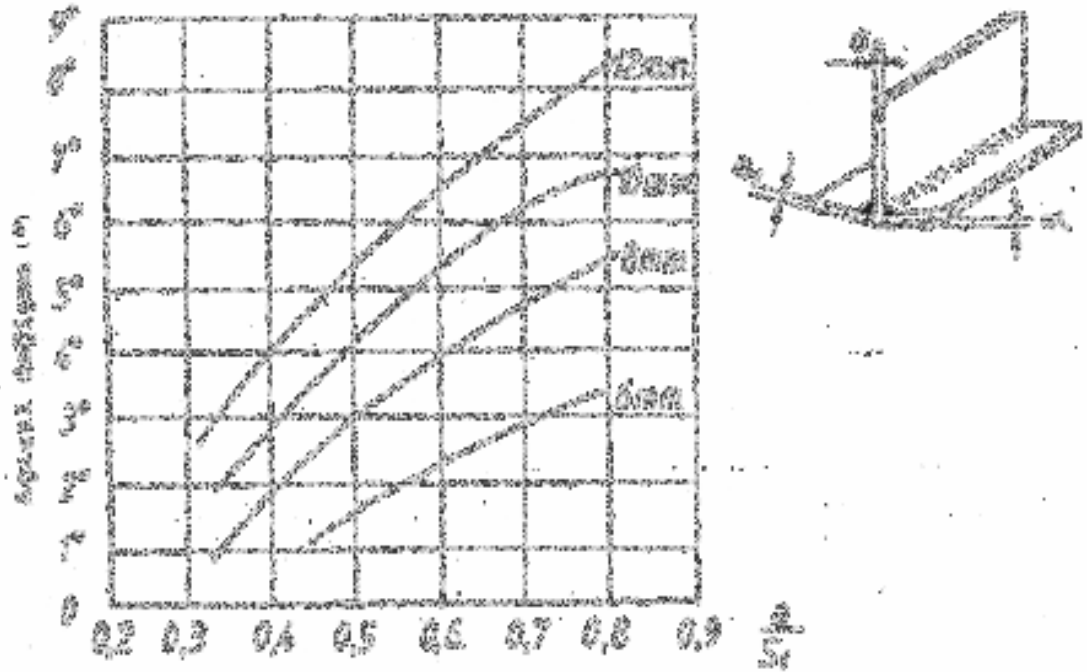
Ayrıca kalın çaplı bir elektrot ile bir paso halinde kaynak yapıldığı zaman meydana gelen açısal distorsiyon aynı dikiş yüksekliği için ince çaplı elektrotla çok pasolar halinde yapılan kaynağa göre daha azdır.

4.4. Burkulma Distorsiyonu

Özellikle ince plakalar kaynatıldığı zaman kaynak metalinden uzak bölgelerde oluşan kalıntı basma gerilmeleri, burkulmaya sebep olurlar [2]. Burkulma distorsiyonu, numune parça boyunun verilen kalınlık ve boyutlardaki numune parçanın kritik boyundan daha uzun olması halinde oluşur. İnce plakalı kaynaklı yapılarda distorsiyonun bükülme veya burkulma nedeni ile oluşması önemlidir.



Şekil 4.24. Çeşitli sac kalınlıklarında ve akım şiddetlerinde iç köşe dikişlerinde oluşan açısal değişme [5]

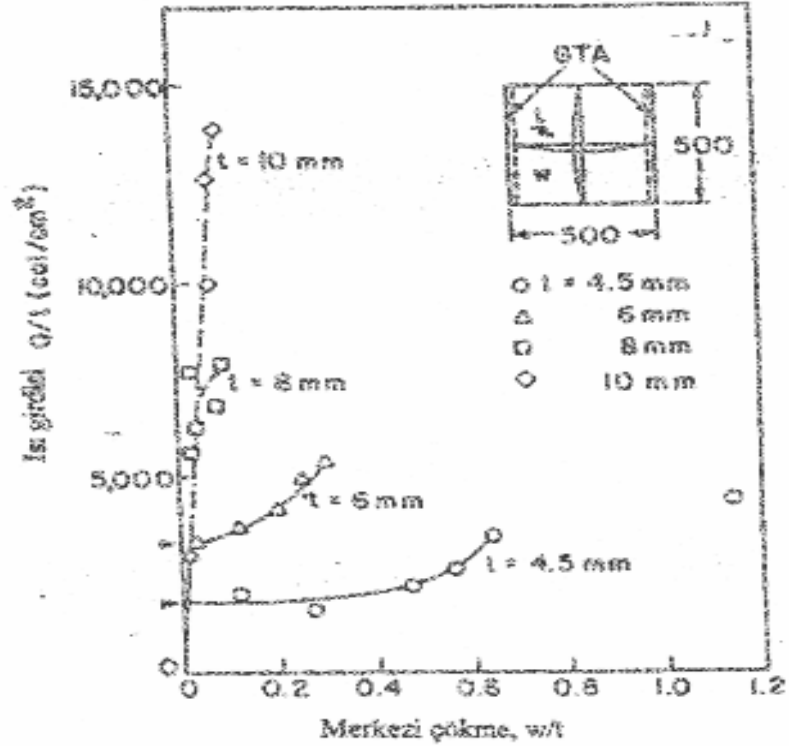


Şekil 4.25. İç köşe dikişlerinde meydana gelen açısal distorsiyon [5]

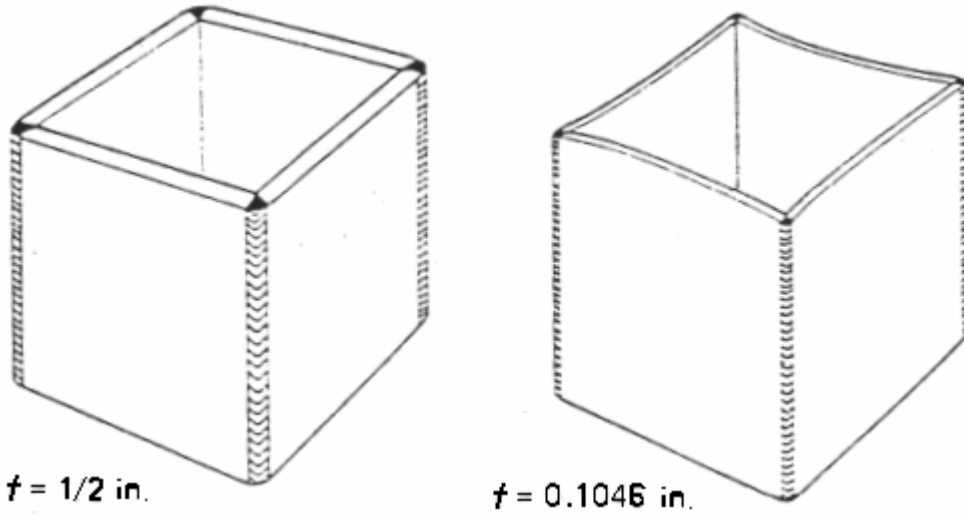
Burkulma distorsiyonu bükölme distorsiyonundan daha farklıdır. Burkulma ve bükölme distorsiyonu arasında iki farktan söz edebiliriz; birincisi burulma distorsiyonunda birden fazla çarpılma olmaktadır. İkincisi burkulma distorsiyonunun deformasyon değeri bükölme distorsiyonundan çok daha fazladır.

Şekil 4.26’de kaynak yapılan parçada, ısı girdisinin parça kalınlığına göre burkulma distorsiyonuna etkisi görölmektedir. Isı girdisi arttıkça distorsiyon artmaktadır. Kalın parçalarda yüksek ısı girdisinde ve az oranda burkulma olmaktadır. Levha kalınlığı azaldıkça burkulma kolaylaşmaktadır. Şekil 4.27’de ise farklı iki kaynaklı kutuda distorsiyon görölmektedir. Kalın parçada distorsiyon olmaz iken ince parçadan yapılan kutuda burkulma meydana gelmektedir.

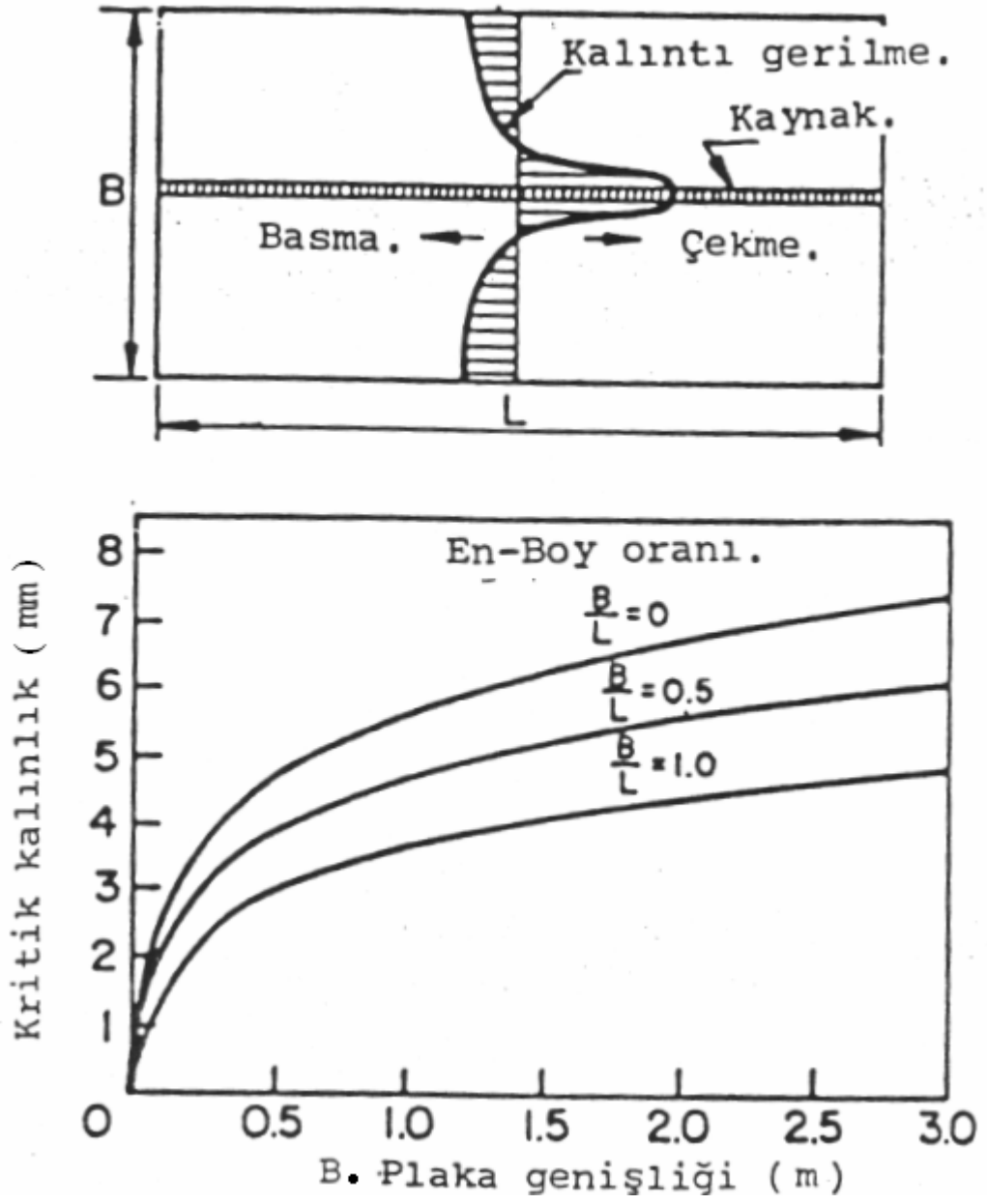
Şekil 4.28’da çeşitli boyutlardaki plakaların alın kaynaklarındaki kritik kalınlıklarının hesaplanmış değeri görölmektedir. Örneğin 1 m genişliğinde ve 2 m boyundaki iki plaka alın kaynağı yapıldığında, eğer sac kalınlığı 4,6 mm’den daha az ise kaynaktan sonra plakalar burkulacaktır.



Şekil 4.26. Kaynaklı bir parçada kalınlığın burkulma distorsiyonuna etkisi



Şekil 4.27. Farklı kalınlıktaki saclardan yapılan kutularda burkulma distorsiyonu



Şekil 4.28. Alın kaynağında ki burkulma distorsiyonu için kritik kalınlık [2]

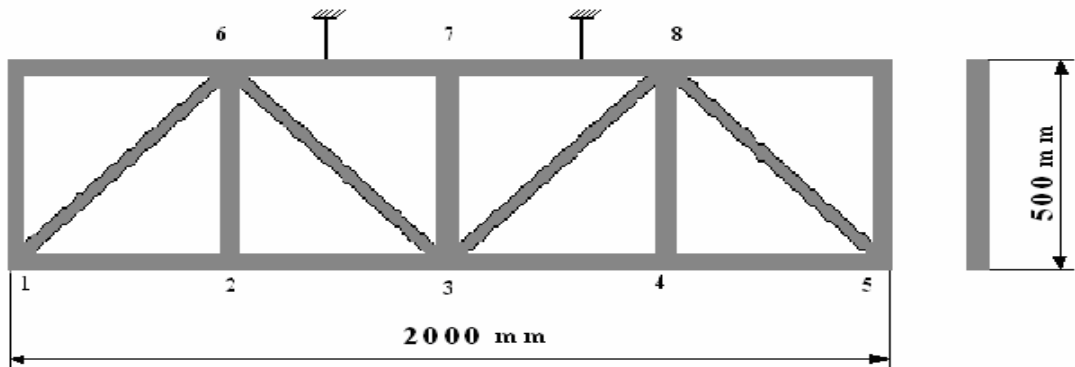
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Distorsiyonları azaltmak amacı ile kaynak öncesi, kaynak işlemi esnasında ve kaynaktan sonra alınacak bir takım tedbirler vardır. Ancak tüm bu faaliyetler zaman kaybına ve maddi külfete neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, kafes kiriş sistemlerde tüm kaynak tedbirlerini en aza indirerek minimum distorsiyonu sağlayacak KSP'yi tespit etmektir. Bu amaçla, aynı kaynak parametreleri ile 3 adet deney numunesine, 22 farklı kaynak sırası planı (KSP) uygulanarak kaynak birleştirme yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.1. Malzeme ve Kaynak Parametreleri

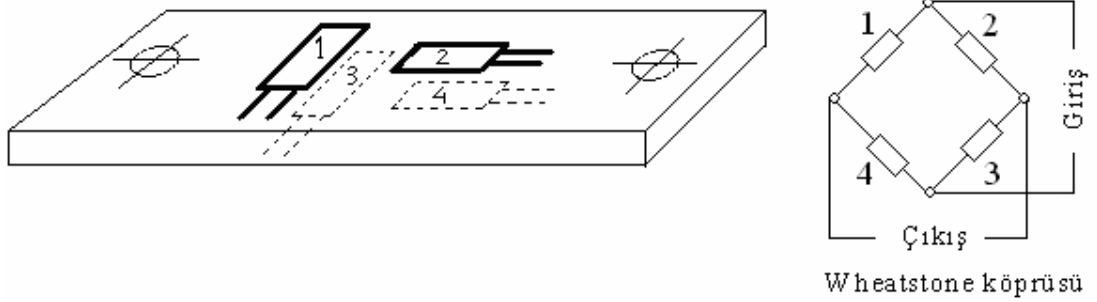
Çalışmada, 30x30x2mm ölçülerinde profil malzemeden, 2000 mm uzunluğunda, 500 mm yüksekliğinde kafes kiriş deney numunesi hazırlanmıştır. Numunelerde 16 düğüm noktası kaynaklı birleştirilmiştir. Deney numunelerinin kaynak işleminde örtülü elektrot ile ark kaynak yöntemi kullanılmış ve tüm kaynak işlemi araştırmacı tarafından yapılmıştır. Kaynak sırasında 120 amperlik bir kaynak akımı ve 3,25 mm çapında rutil tip örtülü elektrot kullanılmıştır. Kaynaklar soldan sağa ve yukardan aşağıya pozisyonlarda yapılmıştır. Hazırlanan numuneler, düğüm noktalarından puntalandıktan sonra deney düzeneğine monte edilmiştir. Deney numunesi kafes kiriş, deney düzeneğine (rijit kafes) asılı durması sağlanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Deney numunesi

5.2. Deney Sitemi ve Kullanılan Cihazlar

Kaynak anında ve kaynak sonrası oluşan distorsiyon kuvvetlerini (kendini çekme kuvvetlerini) belirlemek için gerinim ölçerler (strain gaugeler) kullanılmıştır. AESI 1078 (SAE 1078) kalitesinde su verilmiş çelik sac malzeme, gerinim ölçerler'in üzerine yapıştırılacağı malzeme olarak seçilmiştir. 0,5 mm kalınlıktaki çelik sac plaka, 22x175mm ölçülerinde kesilmiş ve gerinim ölçerler bir yapıştırıcı vasıtasıyla bu plakalar üzerine yapıştırılmıştır. Yapıştırılan gerinim ölçerler bağlantı uçlarından tam Wheatstone köprüsü kurularak bağlanmıştır. Bu şekilde, distorsiyon kuvvetlerinin 0,365 N hassasiyetle ölçülebileceği kuvvet algılayıcı plakalar (KAP) hazırlanmıştır (Şekil 5.2).

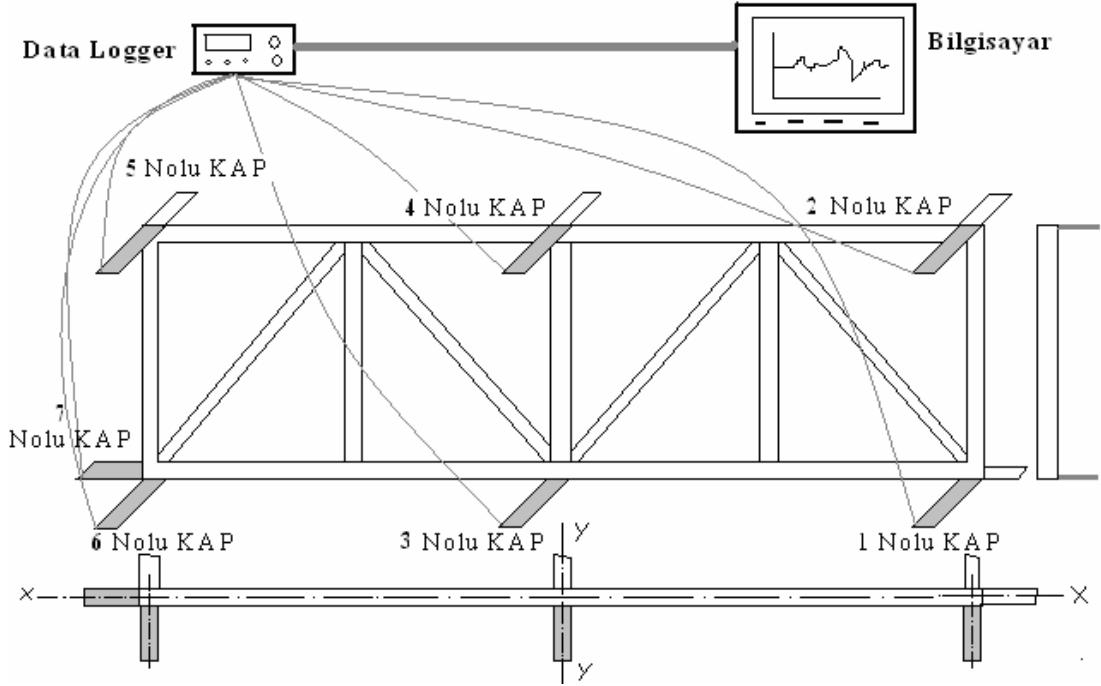


Şekil 5.2. Kuvvet algılayıcı plaka (KAP) ve köprü bağlantısı

Sac plakalar üzerine yerleştirilen gerinim ölçer bağlantıları, deney numunesine bağlanmadan önce 100 N'a kadar kuvvet uygulanarak kalibrasyona tabi tutulmuştur. Sac plakanın bir ucu sabit bir mesnete tutturulmuş, diğer ucuna ise 1 N'luk bir kuvvet asılarak kalibrasyon yapılmıştır. Kuvvetler her defasında 1 N arttırılarak ölçümler tekrarlanmıştır. Böylece, hazırlanan KAP kalibre edilmiş ve kuvvet-uzama arasında lineer bir ilişki belirlenmiştir. KAP'lar vasıtasıyla, deney numunesinde kaynak işlemi ile meydana gelen distorsiyon kuvvetlerini ölçme imkanı sağlamıştır.

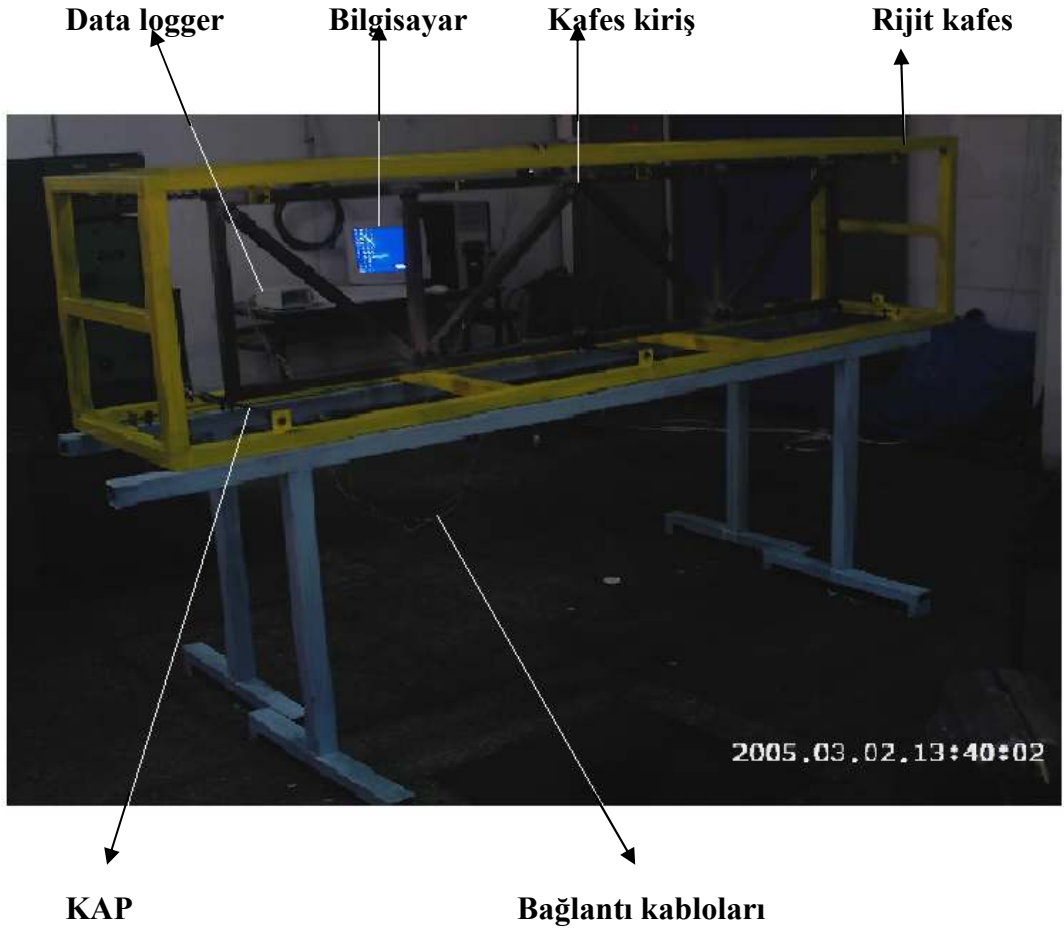
Hazırlanan KAP, deney numunelerinin 7 ayrı noktasına yerleştirilerek ölçüm yapılmıştır. Ölçümler, strain gaugele'rin bağlandığı "Data Logger" cihazı ile yapılmıştır. Bu ölçümler, bilgisayar ortamına "Amr Win Kontrol" programı ile

aktarılmış; deneylerin sonucunda, farklı KSP'lerde oluşan distorsiyon kuvvetlerinin grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.3 - Şekil 5.4).



Şekil 5.3. Deney düzeneği

Yapılan çalışma, kaynak işlemi ile kafes kirişte meydana gelen distorsiyon etkisinin sac plakalarda meydana getirdiği basma veya çekme kuvvetlerini ölçme prensibine dayanmaktadır. Sac plakada oluşan çekme veya basma kuvvetleri aynı şekilde gerinim ölçerleri de etkileyecektir. Bu etkilenme ise, saniyede bir alınan verilerle bilgisayar ekranından takip edilmiş ve en uygun kaynak sırası tespitine çalışılmıştır. 1,2,3,4,5 ve 6 numaralı KAP, deney numunesine dik yerleştirilmiş (y eksen) ve numunede oluşacak yanal distorsiyon etkilerini belirlemek için kullanılmıştır. 7 numaralı KAP ise deney numunesi ile aynı eksen ve doğrultuda yerleştirilmiş (x eksen) ve numunenin boyundaki uzunluk değişimlerinin tespiti için kullanılmıştır.



a) Deney düzeneğinin genel görünümü



b) Çekme plakaları

Resim 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü ve çekme plakaları

Ölçümü yapan KAP'lardan 1,2,5 ve 6 numaralı KAP'lar kafes kirişin yan uç kısımlarındaki distorsiyon kuvvetlerini, 3 ve 4 numaralı KAP'lar orta kısımdaki distorsiyon kuvvetlerini ve 7 numaralı KAP ise, boylamasına meydana gelen distorsiyon kuvvetlerini algılamaktadır.

Kafes kiriş ile rijit kafes arasına yerleştirilen KAP'lara, deneye başlamadan önce 35N ile ön gerilme uygulanmıştır. Bu sayede ölçüm noktalarında meydana gelebilecek çekme ve basma etkileri belirlenmiştir.

5.3. Kaynak Sırası Planı (KSP)

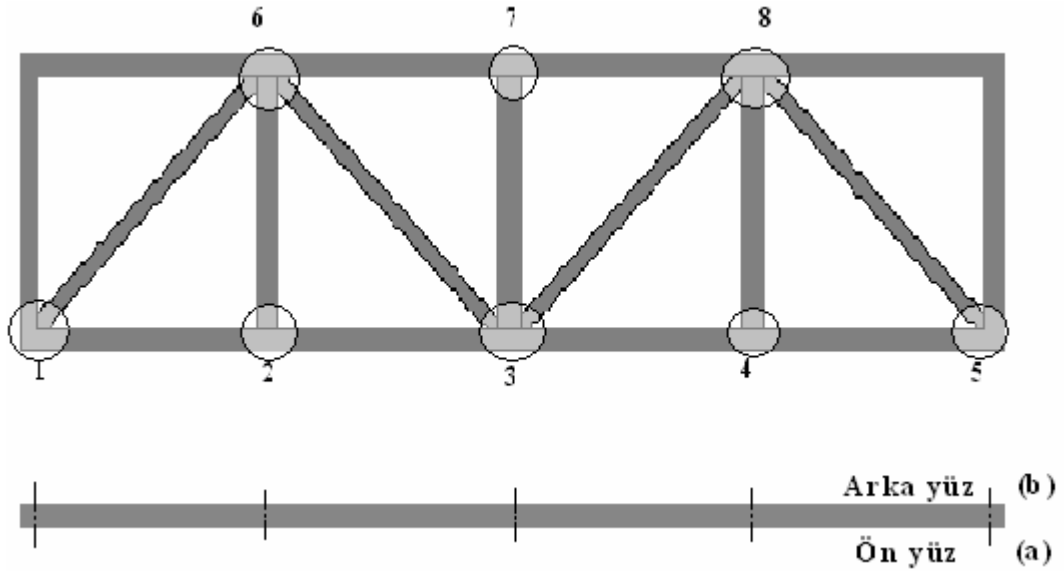
Kaynak sırası planı, distorsiyonu minimize etmek için etkili unsurlardan biridir. Uygun seçilmiş bir kaynak sırası planı ile minimum distorsiyon oluşumu sağlanabilmektedir. Kaynak sırası planı yapılırken birbirini dengeleyecek noktalarda distorsiyon oluşumu sağlanmalıdır. Ancak yapılan çalışmalardan da anlaşılabileceği gibi distorsiyonları bu şekilde sıfıra indirmek mümkün olmamaktadır.

KSP, kaynaklı birleştirme yapılacak parçaların kaynak dikişlerinin ve pasolarının nasıl düzenlenip uygulanacağını ve sıralarının nasıl olacağını ayrı ayrı içermesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Doğru KSP'ye uyulmadığı takdirde büyük gerilmeler ve distorsiyonlar meydana gelir [37].

Çalışma konusunu da oluşturan kaynak sırası planı ayrı önem gerektiren ve üzerinde durulması gereken bir konudur. Uygun KSP ile distorsiyonlar minimize edileceği için distorsiyonların düzeltilmesine ihtiyaç duyulmayacak veya en az düzeltme işlemi yapılacaktır.

Kafes kiriş sistemlerde kaynak sırası planını çalıştığımız bu çalışmada, değişik KSP'ler ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde oluşan distorsiyonlar araştırılmıştır.

Hazırlanan deney numunesine 8 ayrı düğüm noktasından, arkalı önlü olmak üzere 16 adet kaynak dikişinden oluşan 20 farklı KSP kombinasyonu ile kaynak yapılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Deney numunesinde ki 8 düğüm noktası

Kaynak sırası planları, uygulama sırası ve düğüm noktaları numaralarına göre aşağıda verilmiştir. Burada; (a) simgesiyle ifade edilen deney numunesinin ön kısmıdır. (b) simgesi ise numunenin arka kısmını ifade etmektedir:

1. nolu KSP;

7a-3b-1a-5a-8b-2a-4a-6b-3a-7b-5b-1b-8a-2b-4b-6a

2. nolu KSP;

1a-6b-3a-8b-5a-4b-7b-3b-2a-6a-7a-1b-5b-2b-8a-4a

3. nolu KSP;

2a-8b-6a-4b-2b-8a-6b-4a-1b-7a-5b-3a-7b-5a-1a-3b

4. nolu KSP;

3a-6b-8b-1a-5a-2b-4b-7a-3b-6a-8a-1b-5b-2a-4a-7b

5. nolu KSP;

2a-2b-8a-8b-1a-1b-5a-5b-7a-7b-3a-3b-6a-6b-4a-4b

6. nolu KSP;

1a-1b-5b-5a-6b-6a-8a-8b-3a-7b-3b-7a-2a-4b-2b-4a

7. nolu KSP;

1a-1b-5a-5b-7a-7b-2a-2b-4a-4b-6a-6b-3a-3b-8a-8b

8. nolu KSP;

1a-6b-3a-8b-5a-4b-7a-2b-1b-6a-3b-8a-5b-4a-7b-2a

9. nolu KSP;

7a-7b-3a-3b-1a-1b-5a-5b-6a-6b-4a-4b-2a-2b-8a-8b

10. nolu KSP;

1a-5b-7a-2b-4a-1b-5a-6b-8a-3b-7b-2a-4b-6a-8b-3a

11. nolu KSP;

1a-5b-7a-2b-4a-6b-3a-8b-1b-5a-7b-2a-4b-6a-3b-8a

12. nolu KSP;

8a-3b-6a-4b-2a-7b-5a-1b-8b-3a-6b-4a-2b-7a-5b-1a

13. nolu KSP;

7a-3b-7b-3a-2b-6a-4a-8b-2a-6b-4b-8a-1a-5b-1b-5a

14. nolu KSP;

3a-3b-7a-7b-2a-2b-4a-4b-6a-6b-8a-8b-1a-1b-5a-5b

15. nolu KSP;

7a-7b-3a-3b-6a-6b-4a-4b-2a-2b-8a-8b-1a-1b-5a-5b

16. nolu KSP;

3a-7b-6a-8a-2b-4b-1a-5a-3b-7a-6b-8b-2a-4a-1b-5b

17. nolu KSP;

5b-1b-4a-2a-8b-6b-7a-3b-5a-1a-4b-2b-8a-6a-7b-3a

18. nolu KSP;

1a-5b-6b-4a-7a-2b-8a-3b-5a-1b-8b-2a-7b-4b-6a-3a

19. nolu KSP;

6a-5b-1a-8b-3a-4b-7a-2b-6b-5a-1b-8a-3b-4a-7b-2a

20. nolu KSP;

6a-2b-8b-4a-7b-3a-1a-5b-6b-2a-8a-4b-7a-3b-1b-5a

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deney numunesinin farklı KSP'ler ile kaynaklı birleştirilmesi sonucu, kaynak işlemi bittikten ve soğuma için gerekli zaman verildikten sonra (KSP 2 ve KSP 11.a için bu zaman verilmemiştir), her KAP ile farklı noktalardan ölçüm yapılarak kaynaklı birleştirme sonrasında oluşan distorsiyon kuvvetleri bulunmuştur. 3 adet kafes kiriş numunesinin 8 adet düğüm noktasının kaynaklı birleştirilmesinde uygulanan 20 farklı KSP kombinasyonunun uygulanması sonucu, kafes kirişte oluşan yanal ve boyuna distorsiyon kuvvetlerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Uygulanan her bir KSP ve bu KSP'ye ait distorsiyon kuvvetlerini gösterir grafik birbiri ile bağlantılı olarak verilmiştir.

KSP'lerin uygulanma metotları kafes kirişi gösteren şekiller üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca uygulanan bu metotların kafes kirişte meydana getirdiği distorsiyon kuvvetleri ise grafikler halinde belirtilmiştir. Grafiklerde tanımlanan “0” distorsiyon kuvvetinin üzerindeki değerler kafes kirişe bağlı KAP'larda meydana gelen çekme kuvvetlerini, sıfır Newton'un altındaki değerler ise KAP'larda meydana gelen basma kuvvetlerini göstermektedir. Bu kuvvet değişkenlikleri aynı zamanda, KAP'ların bağlı olduğu ölçüm noktalarındaki kafes kirişin distorsiyon eğilimlerini belirtmektedir.

20 farklı KSP'nin ve bunlara bağlı oluşan distorsiyon kuvvetlerini genel etkileşimi incelendiğinde, I., II., III. grup ve ideal grup KSP olmak üzere 4 grup olarak kategoriye ayırarak sonuçların yorumlanmasının uygun olacağı görülmüştür.

I., II. ve III. grup KSP'ler, örnek kafes kiriş sistemi için ideal KSP'leri belirleyebilmek amacıyla ve farklı KSP'lerin kirişte meydana getireceği distorsiyon etkileri hakkında ön bilgi sağlamak amacıyla yapılmıştır. Bu sebeple, belirtilen gruplar içerisinde yer alan KSP'lerde minimum distorsiyon kuvvetlerini oluşturacak sistematik bulunmamaktadır.

Oluşturulan her bir grup içinde bulunan KSP'lerin, kafes kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin benzerliği ve KSP'lerin genel olarak benzerliği, grupların genel karakteristiğini oluşturmaktadır.

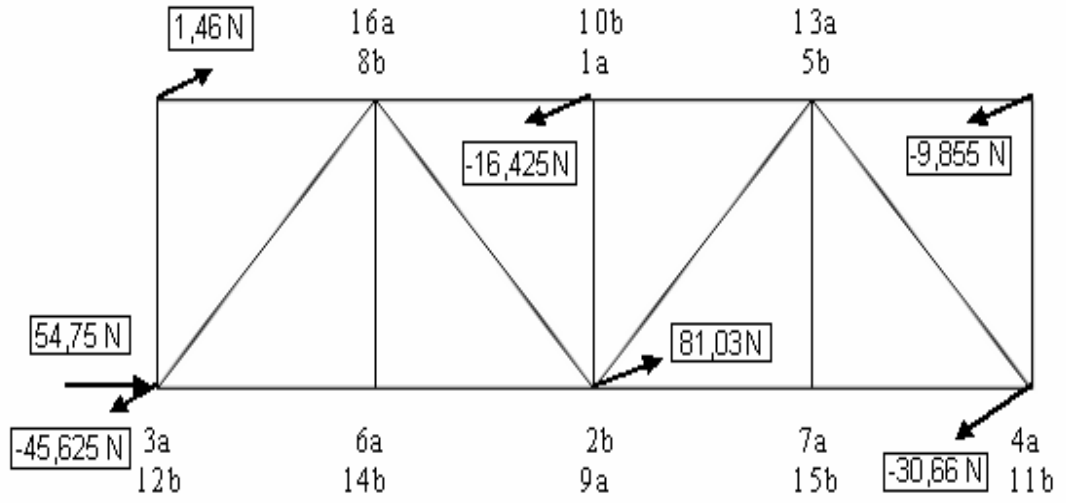
Her bir KSP'nin uygulanması sırasında, kaynak işleminin başlangıcından tamamlanıp kafes kirişin oda sıcaklığında soğumasına kadar geçen sũrede oluşan distorsiyon kuvvetleri/zaman grafikleri EK'lerde verilmiştir.

6.1. I. Grup KSP

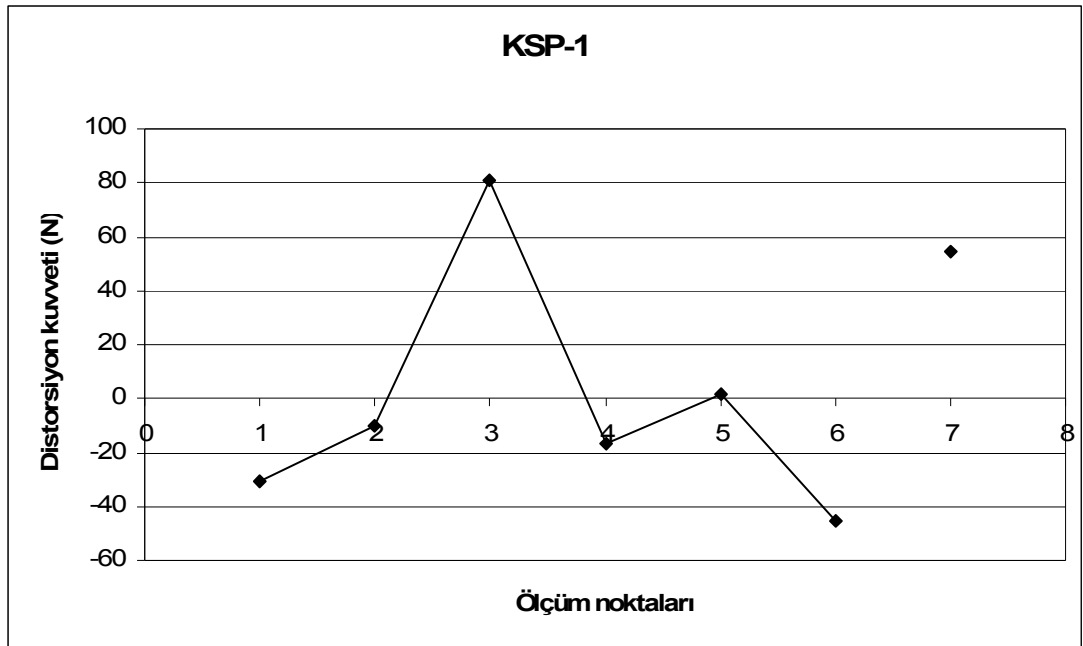
1, 5 ve 10 nolu KSP'ler I. grubu oluşturmaktadır. Bu grup KSP'lerin uygulanmasıyla kafes kirişte oluşan distorsiyon kuvvetlerinde çekme ve basma kuvvet etkilerinin her ikisi de görülmektedir. Şekil 6.1, Şekil 6.3 ve Şekil 6.5'de sırasıyla 1, 5 ve 10 nolu KSP'lerin uygulama metotları ve oluşan distorsiyon kuvvetleri kafes kiriş şekli üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca, bu KSP'nin uygulanmasıyla kafes kirişe bağlanmış KAP ölçüm noktalarında meydana gelen distorsiyon kuvvetleri Şekil 6.2, Şekil 6.4 ve Şekil 6.6'da verilmiştir.

I. grup KSP'nin kafes kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristiği; kafes kiriş ortasında en yüksek basma ve çekme etkisi, kenarlarda ise çekme/basma ve/veya yalnızca basma etkilerinin oluşmasıdır. Kafes kirişin orta üst düğüm noktasında -49,64 N ile en büyük basma kuvveti, alt düğüm noktasında ise 81,03 N ile en büyük çekme kuvveti oluşmuştur. Bu çekme kuvveti bütün KSP'ler içinde en büyük kuvvettir. Bu distorsiyon kuvvetlerini ve kuvvet dağılımlarını oluşturan KSP'lerin genel karakteristiği ise, son kaynak işlemlerinin (en az dört kaynak işlemi içeren) kirişin $\frac{1}{4}$ mesafelerindeki iki adet dikmenin kaynağını içermektedir. Yani, bu grup KSP'lerin son kaynak işlemleri kirişin kenarlarında veya ortasında tamamlanmamıştır.

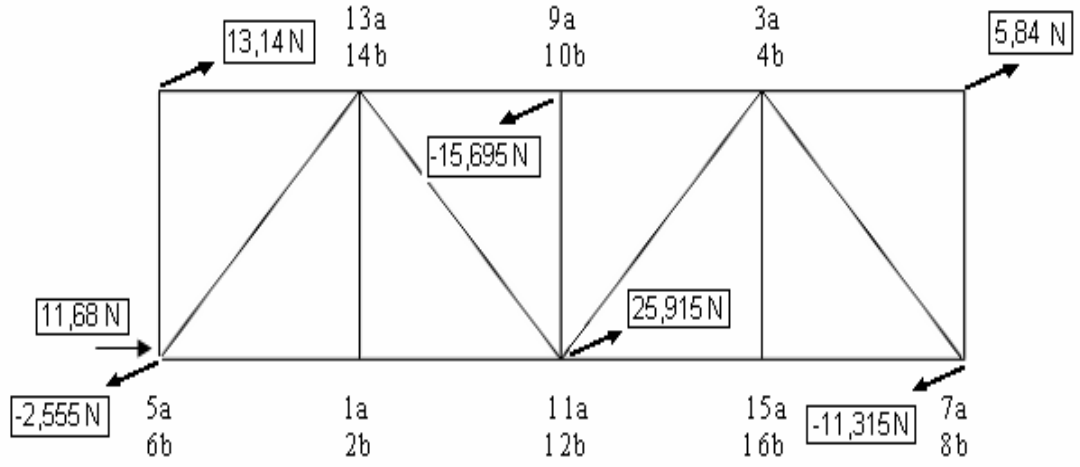
Kiriş ortasındaki alt düğüm noktasında (3. ölçüm noktası) kaynakla birleştirilen örgü çubuklarının ve kaynak yoğunluğunun fazla olması sebebiyle bu noktada aşırı çekme distorsiyon kuvvetinin olduğu düşünülmektedir.



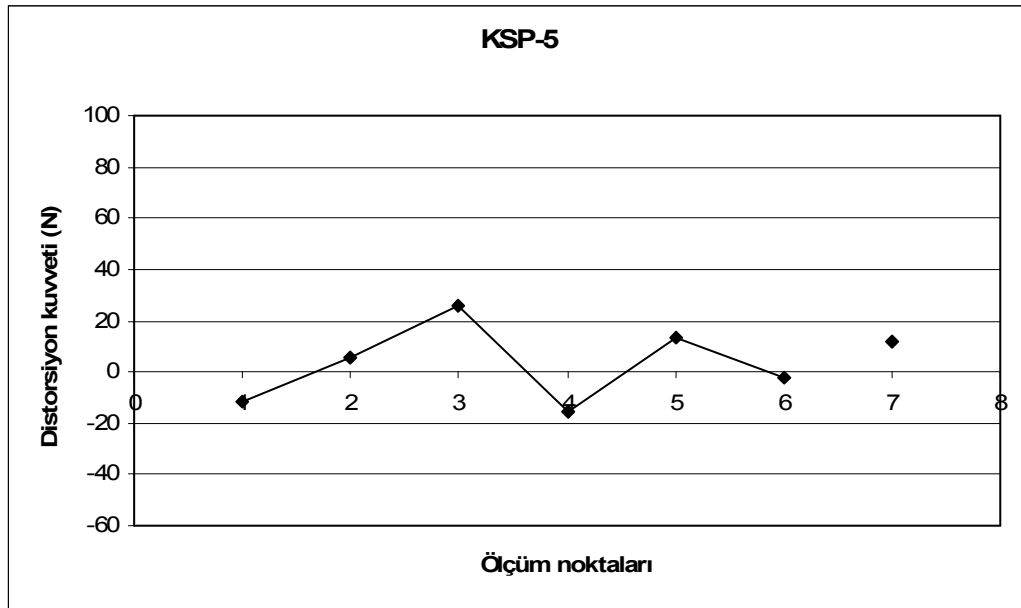
Şekil 6.1.1 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



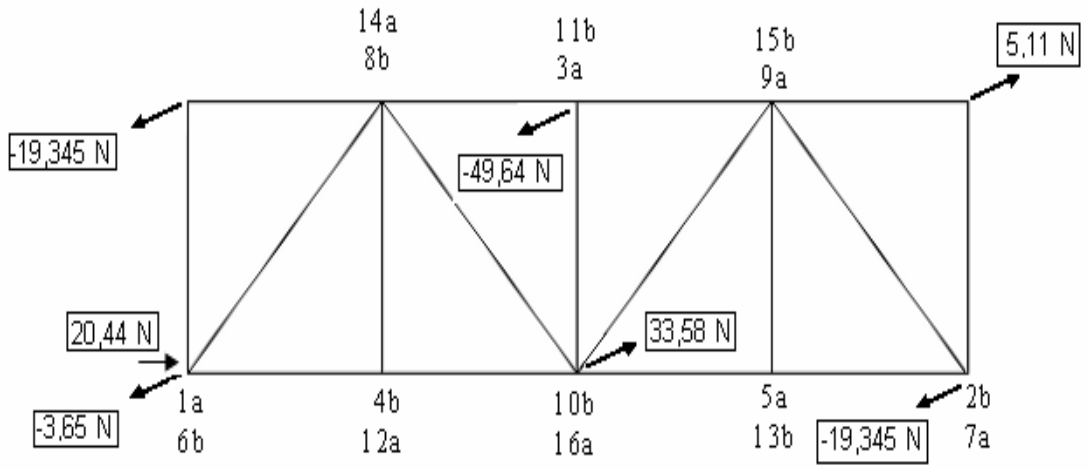
Şekil 6.2. Kafes kiriş sistemin 1 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (rijit olmayan yapı)



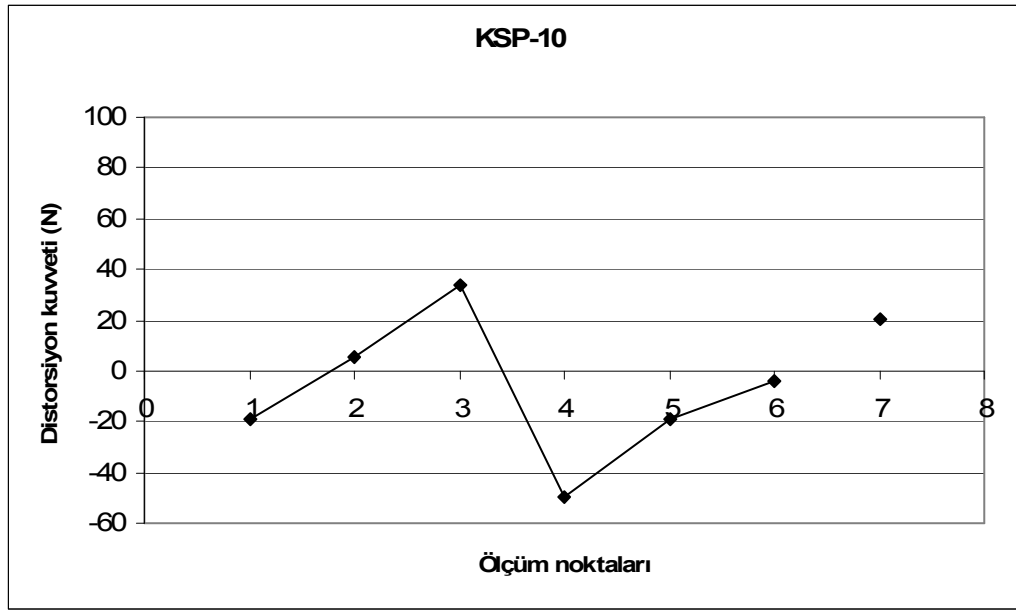
Şekil 6.3. 5 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



Şekil 6.4. Kafes kiriş sistemin 5 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



Şekil 6.5. 10 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



Şekil 6.6. Kafes kiriş sistemin 10 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri

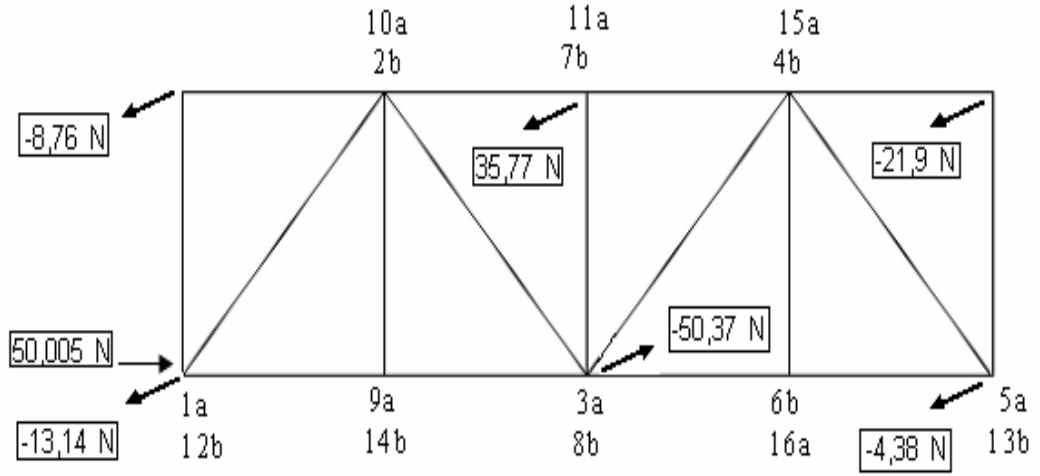
6.2. II. Grup KSP

2, 3, 4, 14, 15 ve 16 nolu KSP'ler II. grubu oluşturmaktadır. Bu grup KSP'lerin uygulanmasıyla kafes kirişte oluşan distorsiyon kuvvetlerinde yine çekme ve basma kuvvet etkilerinin her ikisi de görülmektedir. Şekil 6.7, Şekil 6.9, Şekil 6.11, Şekil 6.13, Şekil 6.15 ve Şekil 6.17'de sırasıyla 2, 3, 4, 14, 15 ve 16 nolu KSP'lerin uygulama metotları ve oluşan distorsiyon kuvvetleri kafes kiriş şekli üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca, bu KSP'nin uygulanmasıyla kafes kirişe bağlanmış KAP ölçüm noktalarında meydana gelen distorsiyon kuvvetleri Şekil 6.8, Şekil 6.10, Şekil 6.12, Şekil 6.14, Şekil 6.16 ve Şekil 6.18'de verilmiştir.

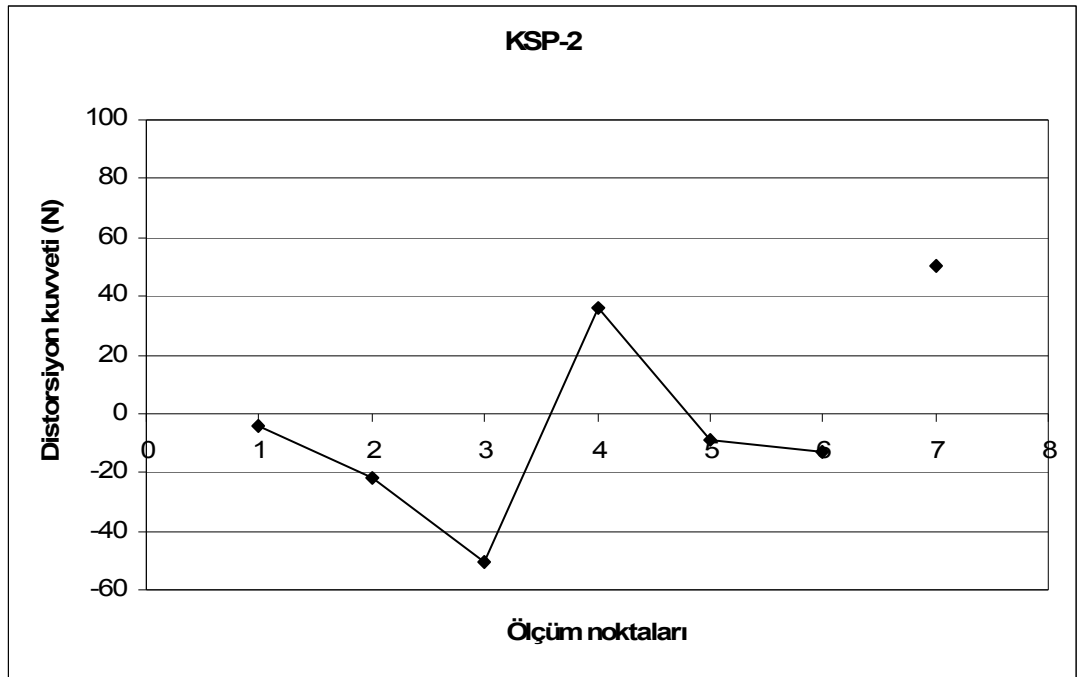
II. grup KSP'nin kafes kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristiği; kafes kiriş ortasında en yüksek basma ve çekme etkisi ve/veya sağ alt kenarda (1nolu KAP) en yüksek çekme etkisinin oluşmasıdır. Kafes kirişin orta alt düğüm noktasında -54,02 N ile en büyük basma kuvveti, kenar alt düğüm noktasında ise 48,545 N ile en büyük çekme kuvveti oluşmuştur.

Kiriş ortasındaki alt düğüm noktasında (3. ölçüm noktası) kaynakla birleştirilen örgü çubuklarının ve kaynak yoğunluğunun fazla olması sebebiyle bu noktada aşırı çekme distorsiyon kuvvetinin olduğu ve bu aşırı çekme kuvvetlerinin de kenar alt düğüm noktasında (1. ölçüm noktası) bir basma etkisi meydana getirdiği düşünülmektedir.

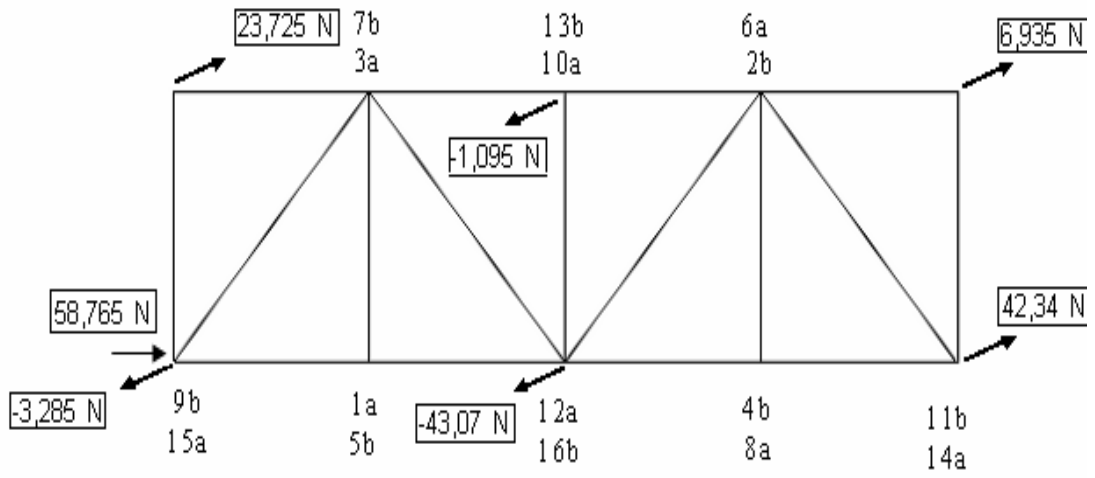
Bu grup KSP'lerin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri için sistematik bir KSP ilişkisi belirlenememiştir.



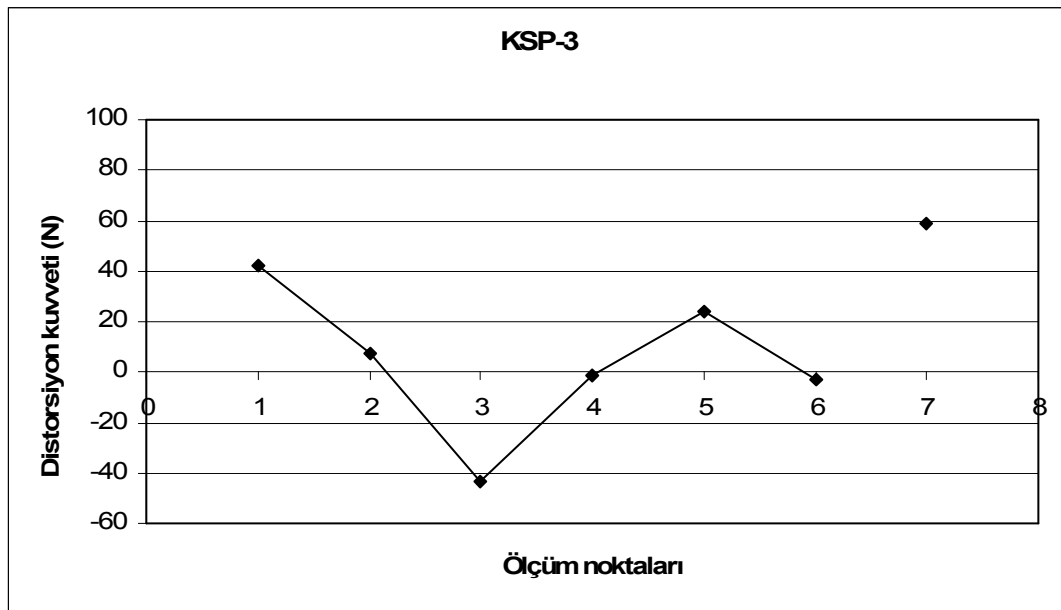
Şekil 6.7. 2 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



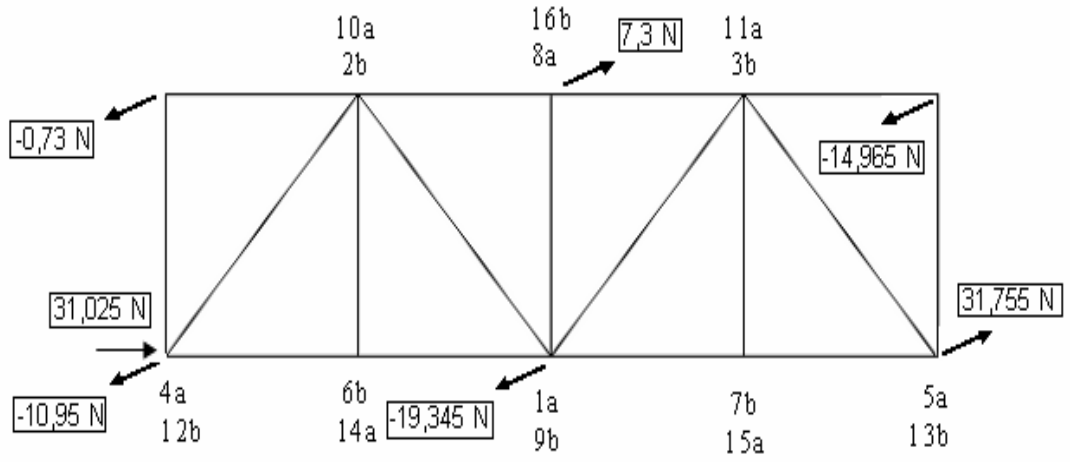
Şekil 6.8. Kafes kiriş sistemin 2 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (pasolar arası soğuma zamanı verilmemiş ve rijit olmayan yapı)



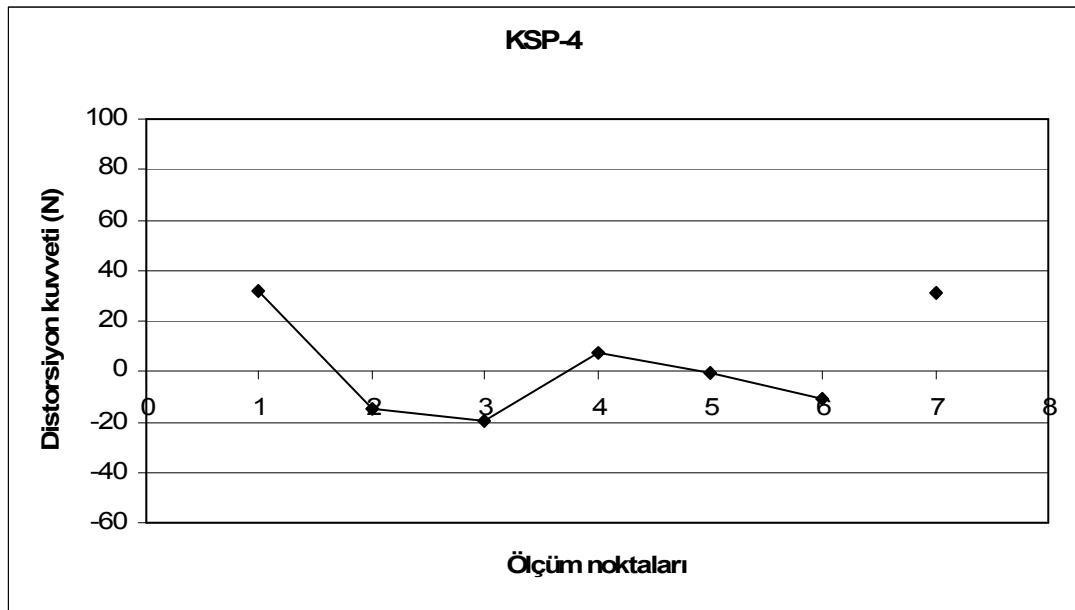
Şekil 6.9. 3 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



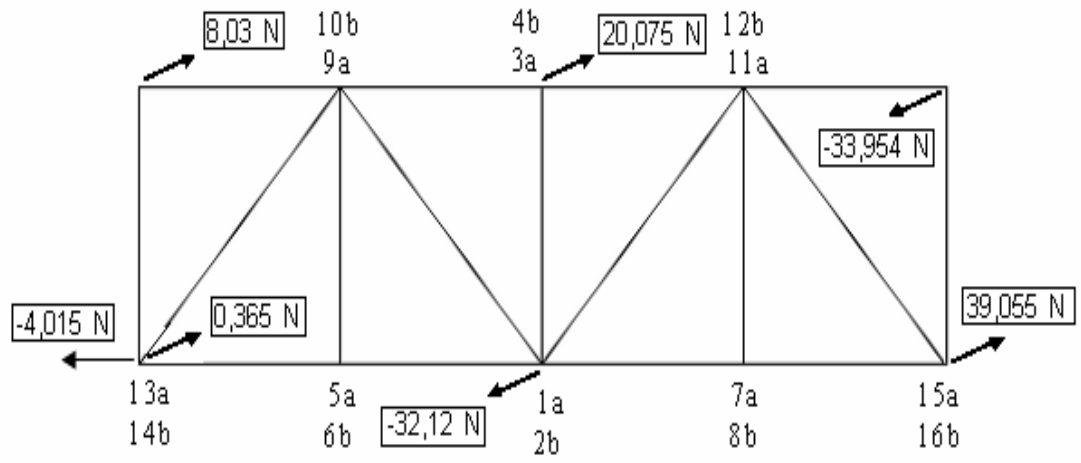
Şekil 6.10. Kafes kiriş sistemin 3 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



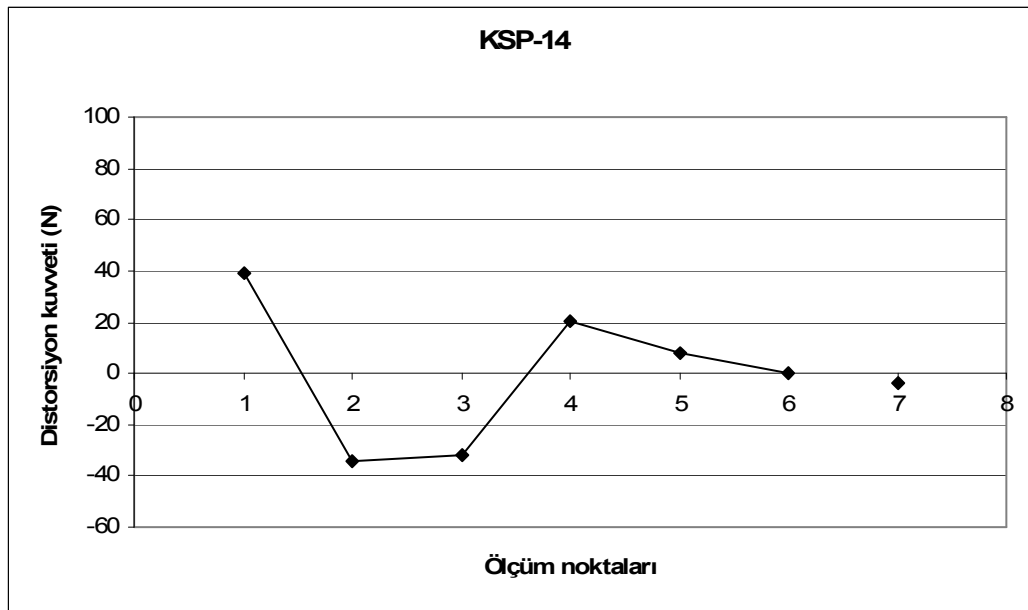
Şekil 6.11. 4 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



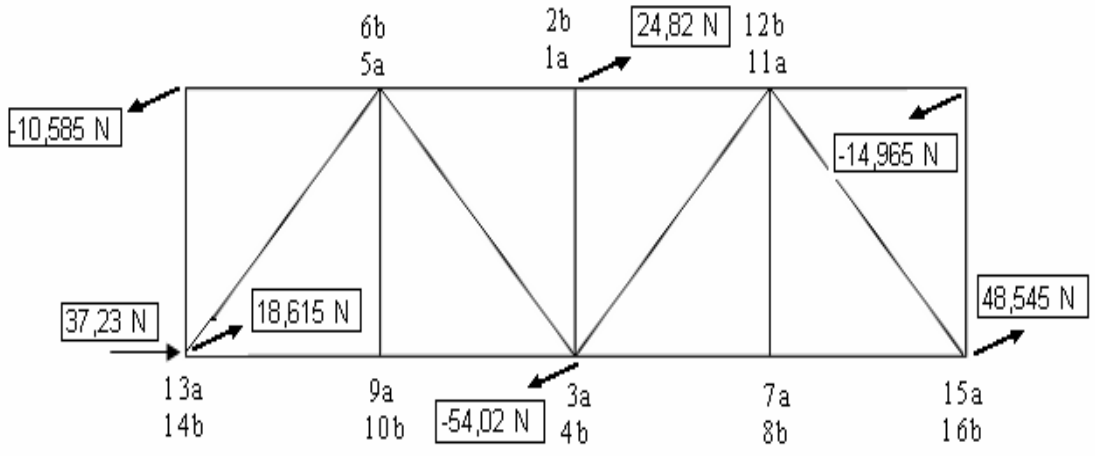
Şekil 6.12. Kafes kiriş sistemin 4 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



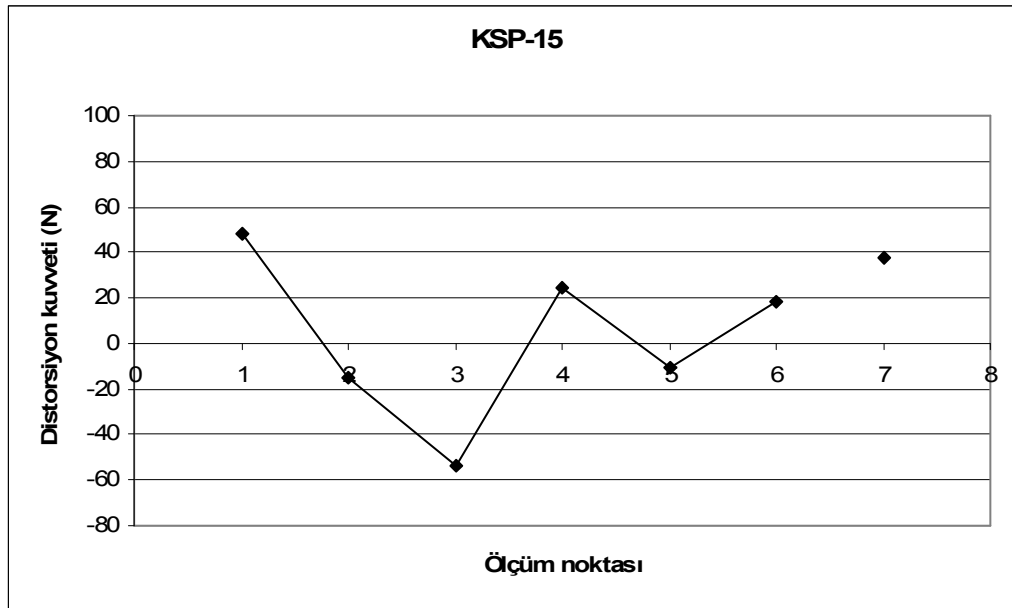
Şekil 6.13. 14 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



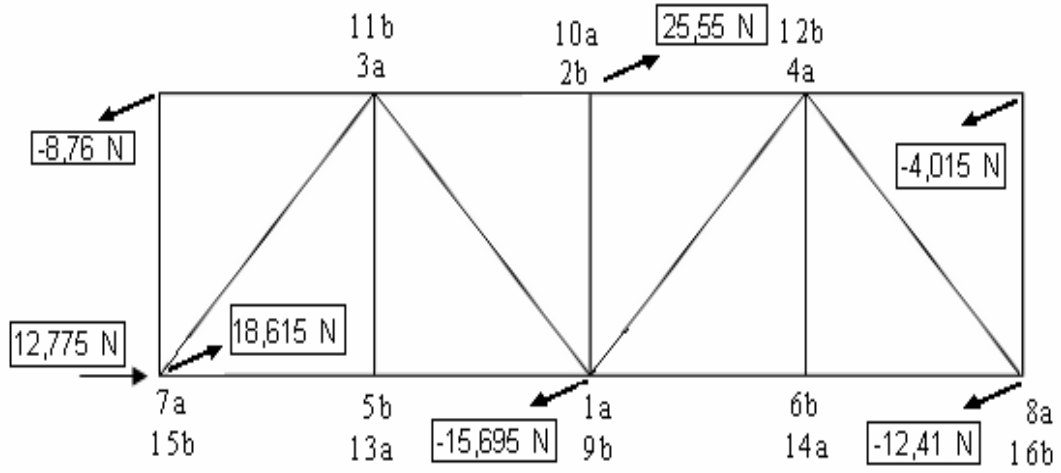
Şekil 6.14. Kafes kiriş sistemin 14 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



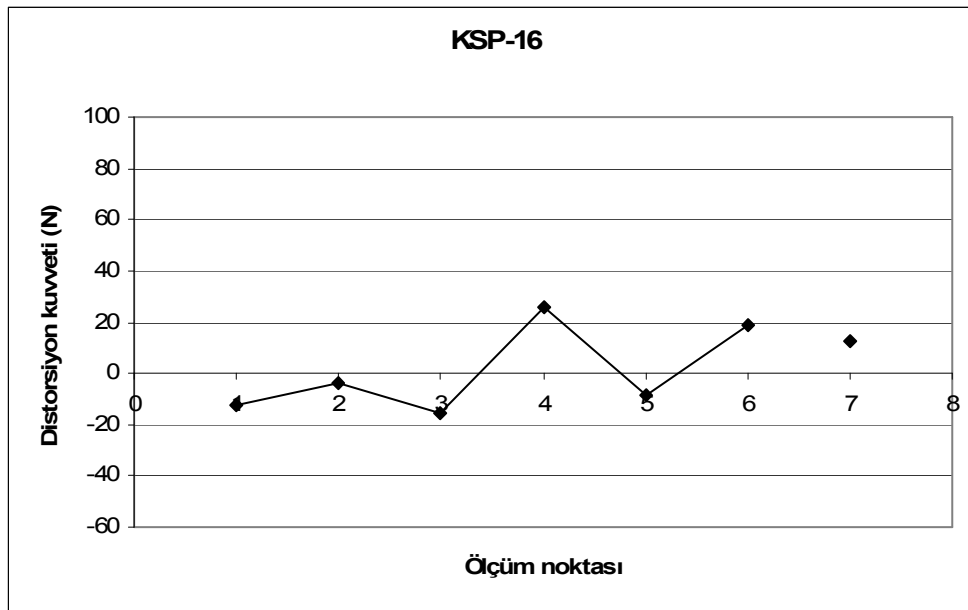
Şekil 6.15. 15 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



Şekil 6.16. Kafes kiriş sistemin 15 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



Şekil 6.17. 16 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



Şekil 6.18. Kafes kiriş sistemin 16 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri

6.3. III. Grup KSP

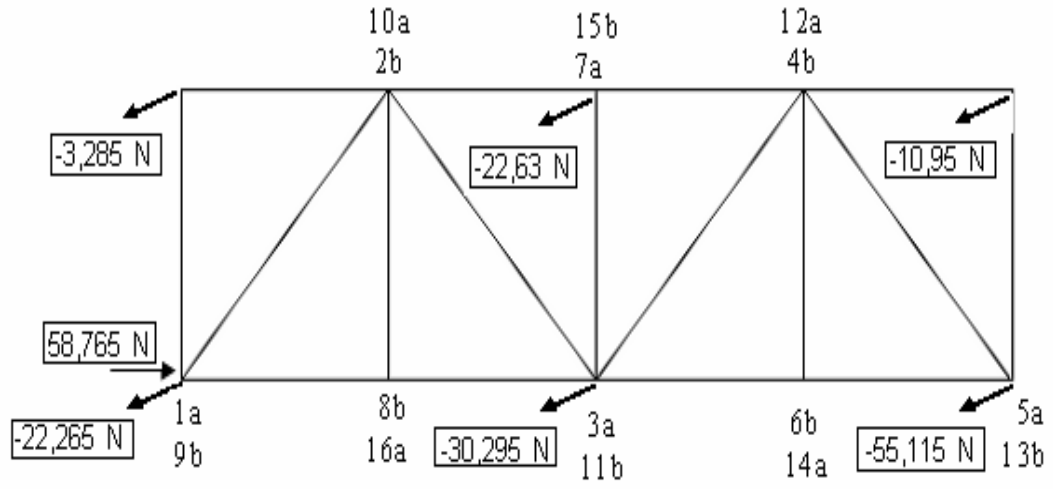
8, 9 ve 18 nolu KSP'ler III. grubu oluşturmaktadır. Bu grup KSP'lerin uygulanmasıyla kafes kirişte oluşan distorsiyon kuvvetlerinde yalnızca basma kuvvet etkisini görülmektedir. Şekil 6.19, Şekil 6.21 ve Şekil 6.23'de sırasıyla 8, 9 ve 18 nolu KSP'lerin uygulama metotları ve oluşan distorsiyon kuvvetleri kafes kiriş şekli üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca, bu KSP'nin uygulanmasıyla kafes kirişe bağlanmış KAP ölçüm noktalarında meydana gelen distorsiyon kuvvetleri Şekil 6.20, Şekil 6.22 ve Şekil 6.24'de verilmiştir.

Kafes kirişin sağ kenar alt düğüm noktasında -55,115 N ile en büyük basma kuvveti, oluşmuştur. Bu basma kuvveti bütün KSP'ler içinde en büyük kuvvettir.

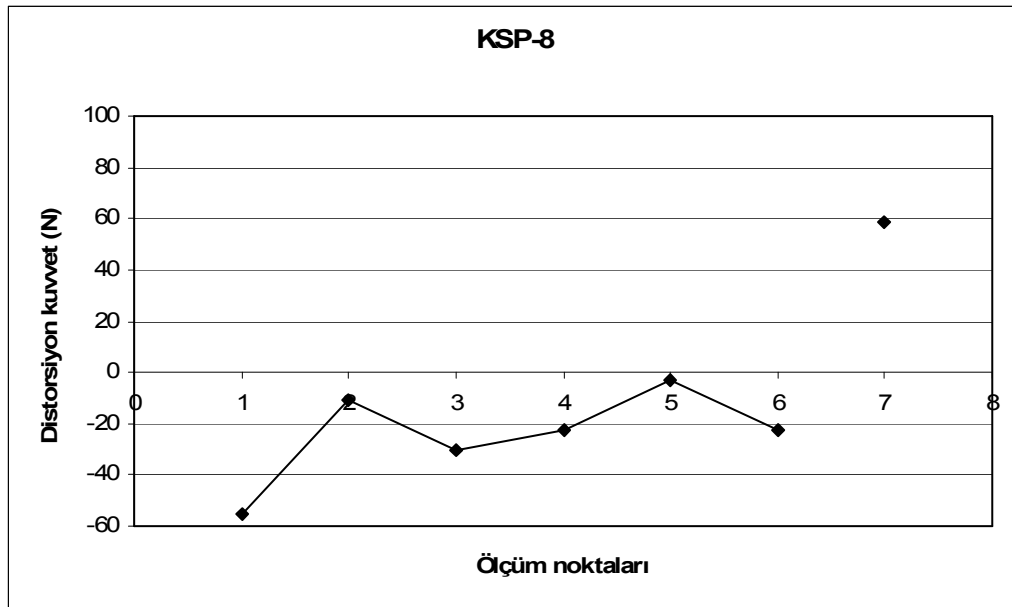
Bu grupta uygulanan KSP, kiriş orta bölgesi öncelikle ön yüzüne yapılan kaynaklı birleştirmenin, orta bölgedeki basma kuvvetlerini arttırmış olduğu görülmektedir. Ancak orta bölgede kirişin arka ve ön yüzünde ardışık yapılan kaynaklı birleştirmelerin kirişin bütünündeki basma kuvvetlerini azalttığı belirlenmiştir.

Bu gruptaki kafes kirişlerde genel olarak ön tarafa doğru kalıcı distorsiyon etkisi gözlenebilir. Zira, distorsiyon kuvvetleri dengeli değildir ve yalnız kalıcı basma kuvvetleri mevcuttur.

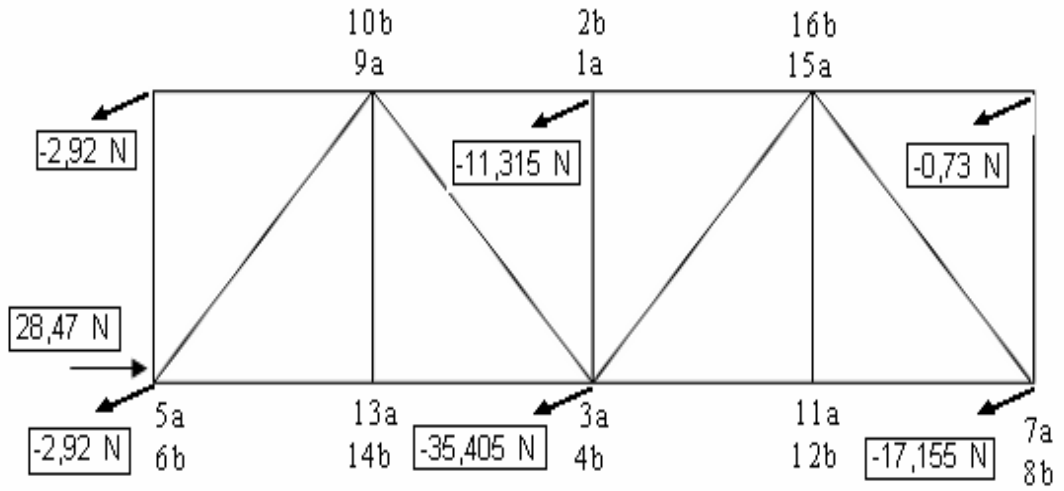
Tek tarafı yoğun yapılan kaynaklı birleştirmeleri içeren KSP'lerin, kalıcı ve dengeli olmayan, bir tarafa çekme veya basma distorsiyon kuvvetlerine sebep olacağı düşünülebilir.



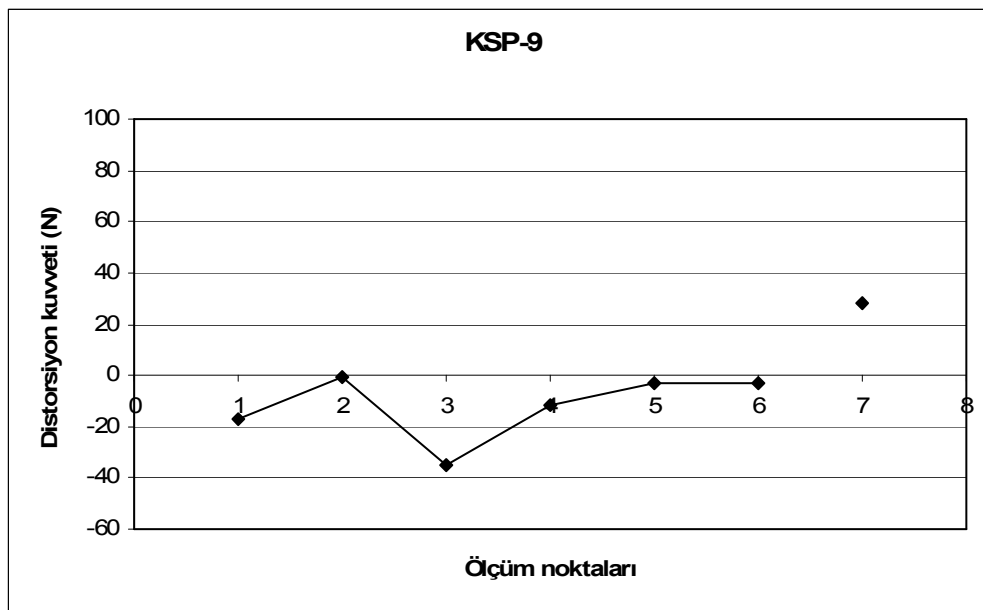
Şekil 6.19. 8 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



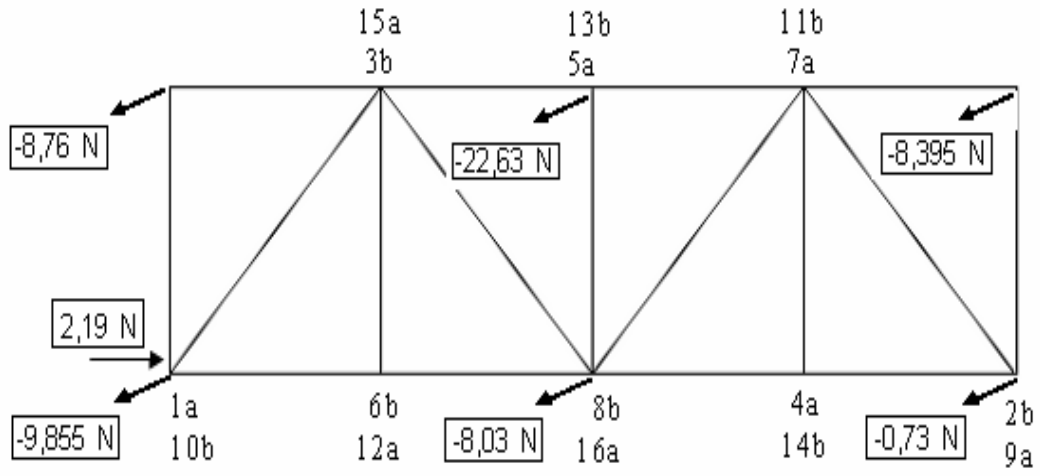
Şekil 6.20. Kafes kiriş sistemin 8 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



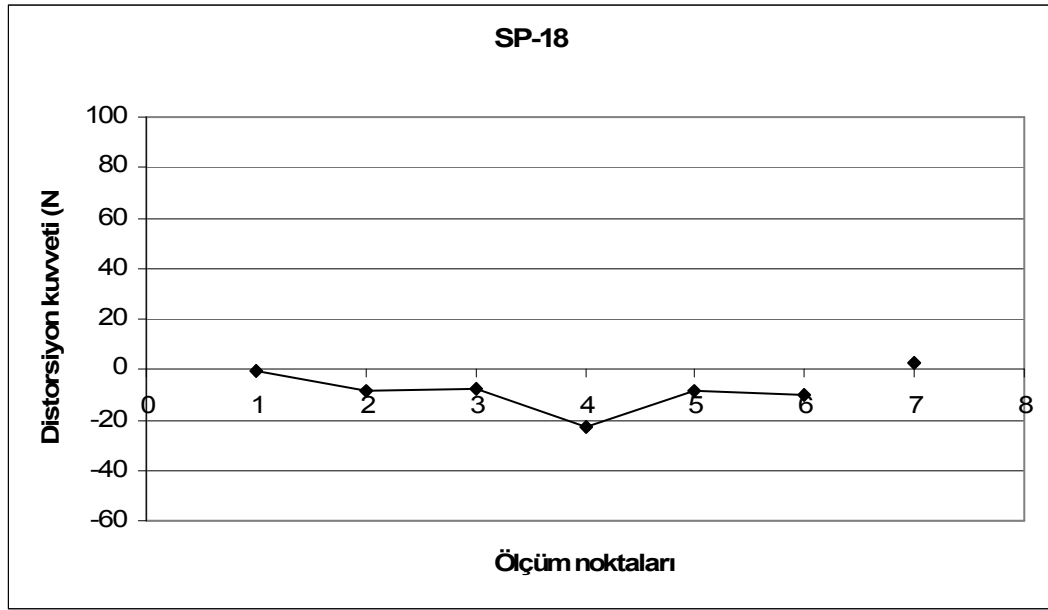
Şekil 6.21. 9 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



Şekil 6.22. Kafes kiriş sistemin 9 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



Şekil 6.23. 18 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



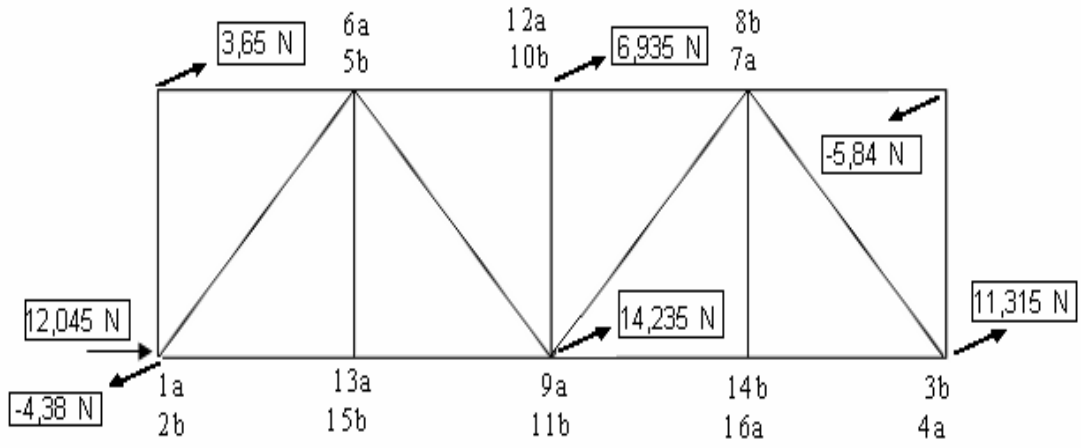
Şekil 6.24. Kafes kiriş sistemin 18 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri

6.4. İdeal Grup KSP

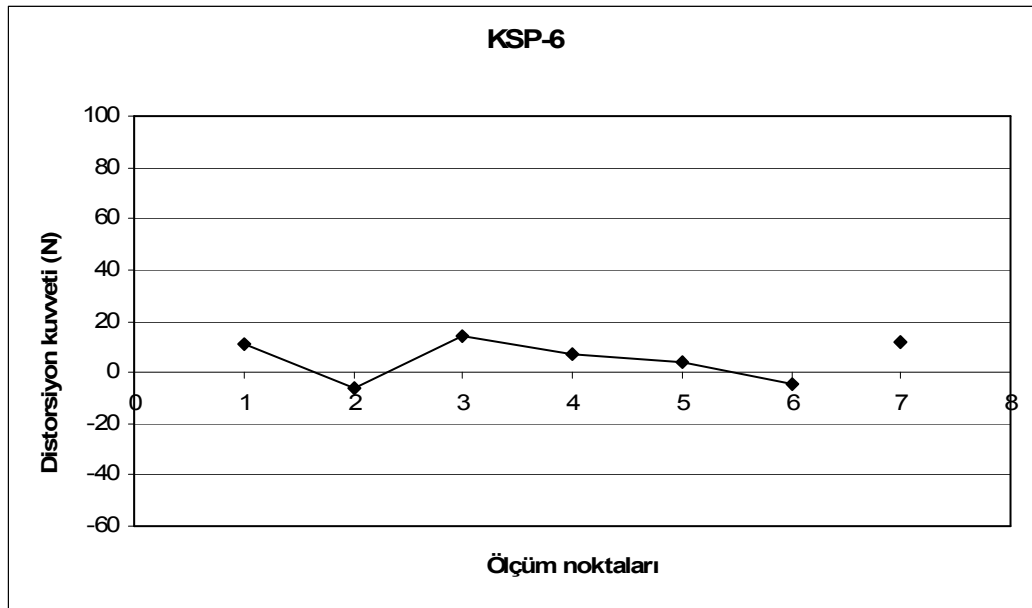
6, 7, 11, 11.b, 12, 13, 17, 19 ve 20 nolu KSP'ler ideal. grubu oluşturmaktadır. Bu grup KSP'lerin uygulanmasıyla kafes kirişte oluşan distorsiyon kuvvetlerinde çekme ve basma kuvvet etkilerinin her ikisi de görülmektedir. Şekil 6.25, Şekil 6.27, Şekil 6.29, Şekil 6.31, Şekil 6.33, Şekil 6.35, Şekil 6.37, Şekil 6.39 ve Şekil 6.41'de sırasıyla 6, 7, 11, 11.b, 12, 13, 17, 19 ve 20 nolu KSP'lerin uygulama metotları ve oluşan distorsiyon kuvvetleri kafes kiriş şekli üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca, bu KSP'nin uygulanmasıyla kafes kirişe bağlanmış KAP ölçüm noktalarında meydana gelen distorsiyon kuvvetleri Şekil 6.26, Şekil 6.28, Şekil 6.30, Şekil 6.32, Şekil 6.34, Şekil 6.36, Şekil 6.38, Şekil 6.40 ve Şekil 6.42'de verilmiştir.

İdeal grup KSP'nin kafes kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristiği; kafes kiriş kenarlarında basma ve çekme etkisi oluşmasıdır. Ortalarda ise düğüm noktalarına arka veya ön yüzüne öncelikle kaynaklı birleştirme yapılmasına göre değişmektedir. Kafes kirişin orta alt düğüm noktasında -24,82 N ile en büyük basma kuvveti, sol kenar üst düğüm noktasında ise 26,645 N ile en büyük çekme kuvveti oluşmuştur.

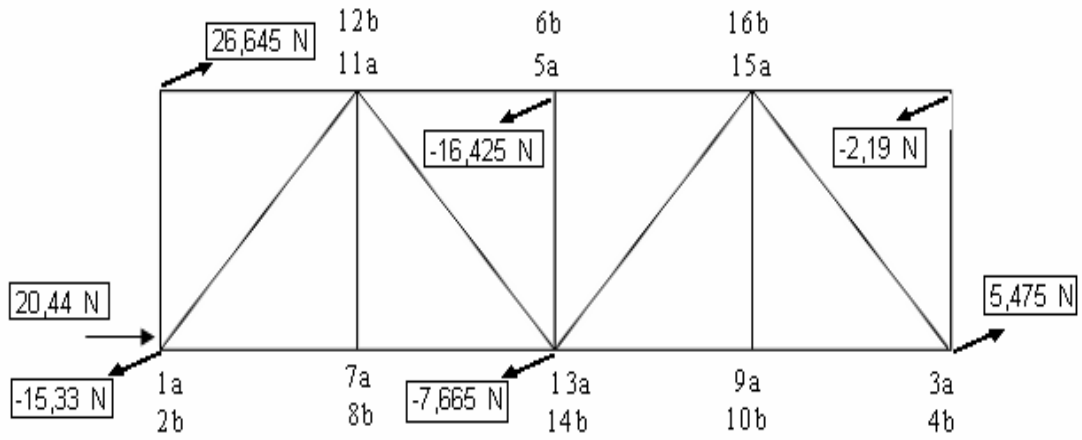
Isı dağılımının en iyi yapıldığı KSP'lere sahip bu grupta birbirinin tekrarı şeklinde KSP'ler görülmektedir. KSP'ler küçük farklılıklar içeriyor. Örneğin 7 nolu KSP 11 nolu KSP'nin arkalı önlü çekilmiş şeklidir. 11 nolu KSP ise 12 nolu KSP'nin tersten başlanmış şekli, 12 nolu KSP ile 20 nolu KSP büyük benzerlik göstermekte, 13 nolu KSP'de dışa doğru 17 nolu KSP'de ise içe doğru bir ısı dağılımı vardır.



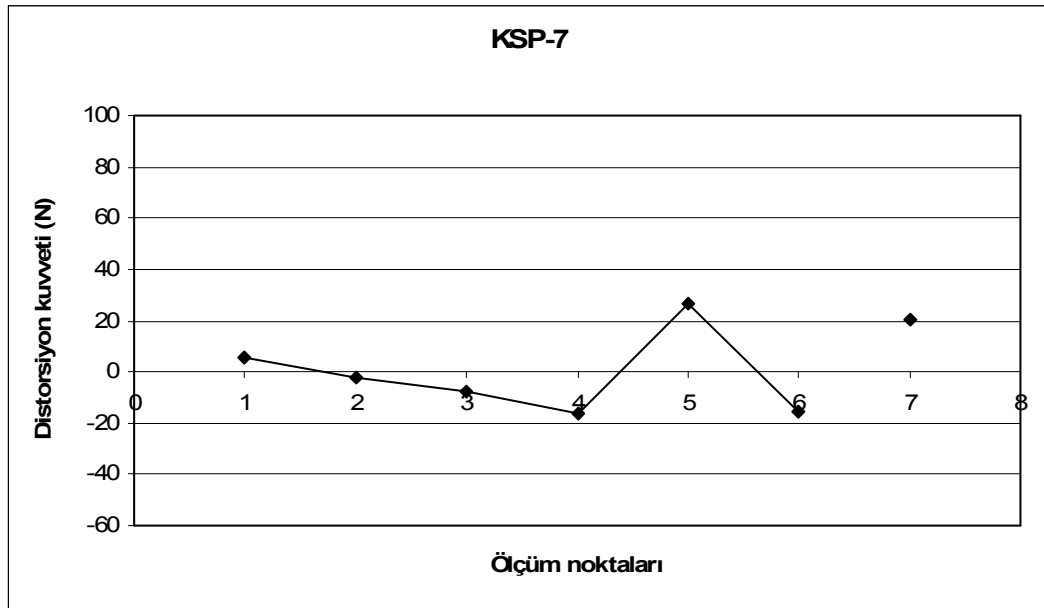
Şekil 6.25. 6 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



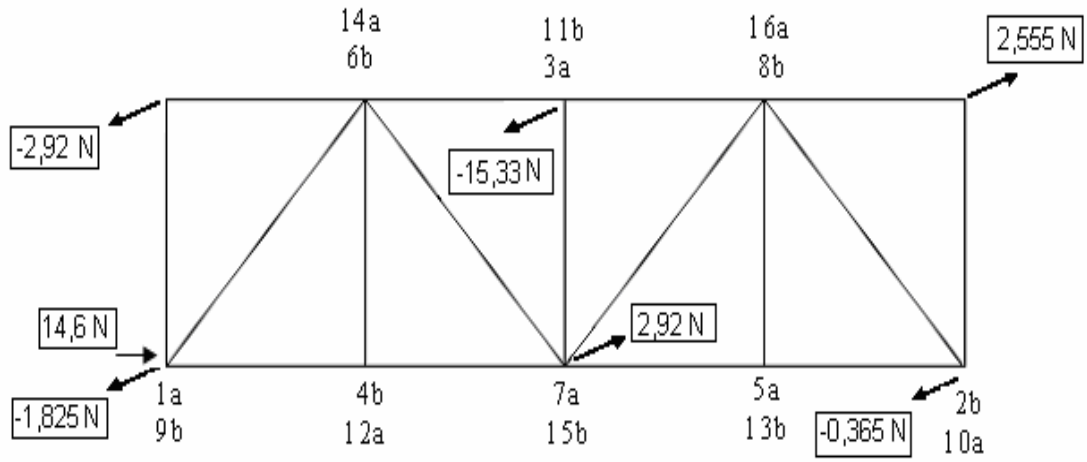
Şekil 6.26. Kafes kiriş sistemin 6 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



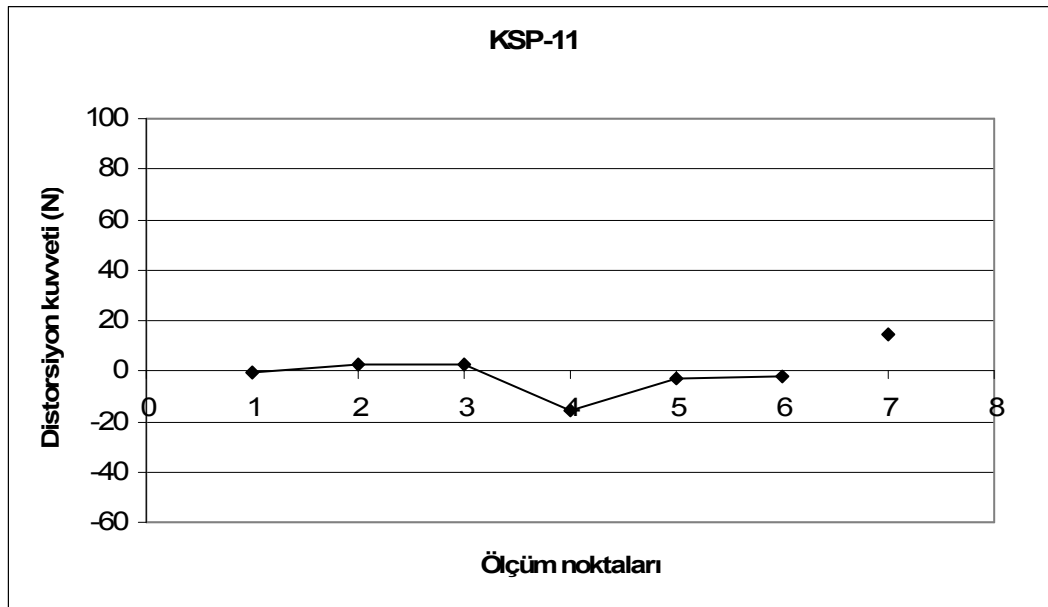
Şekil 6.27. 7 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



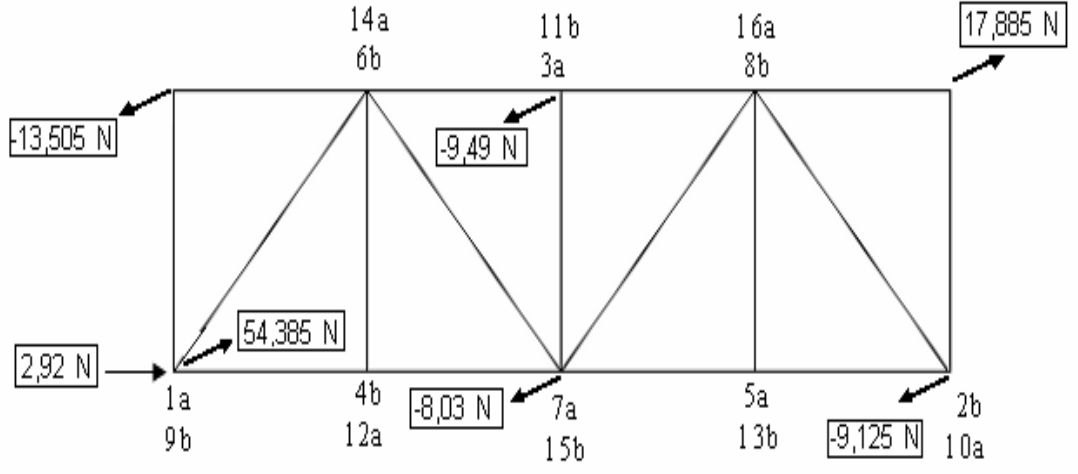
Şekil 6.28. Kafes kiriş sistemin 7 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



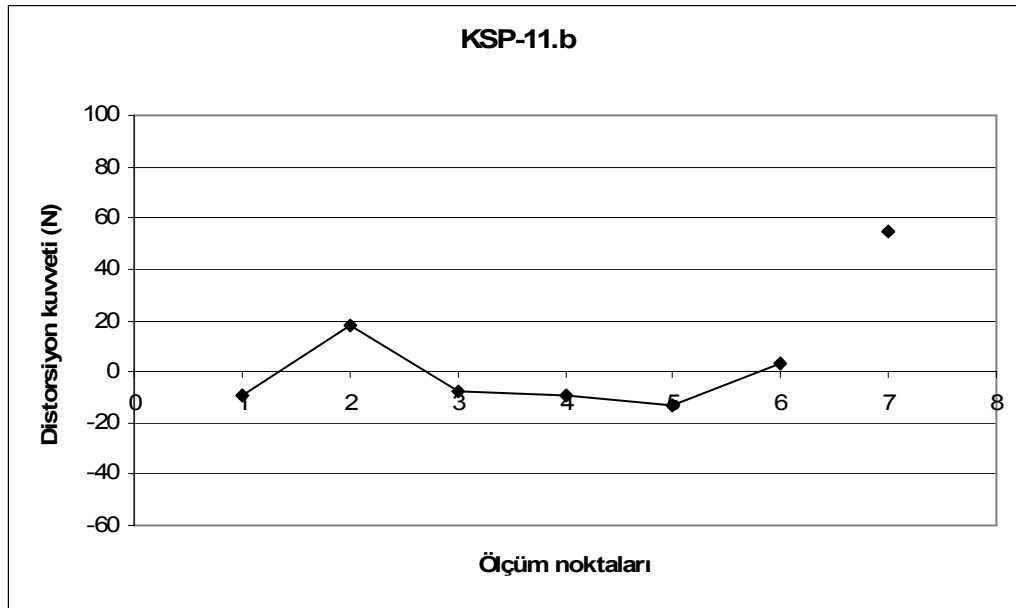
Şekil 6.29. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



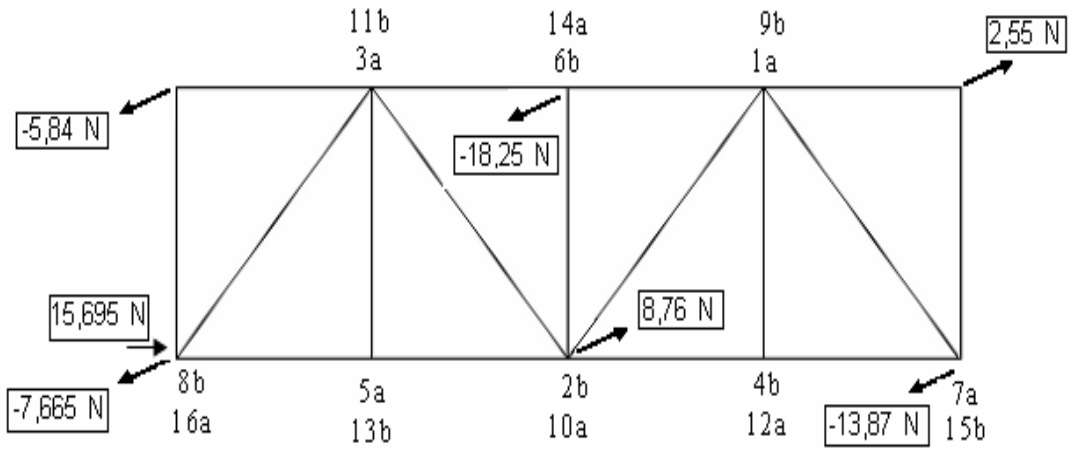
Şekil 6.30. Kafes kiriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



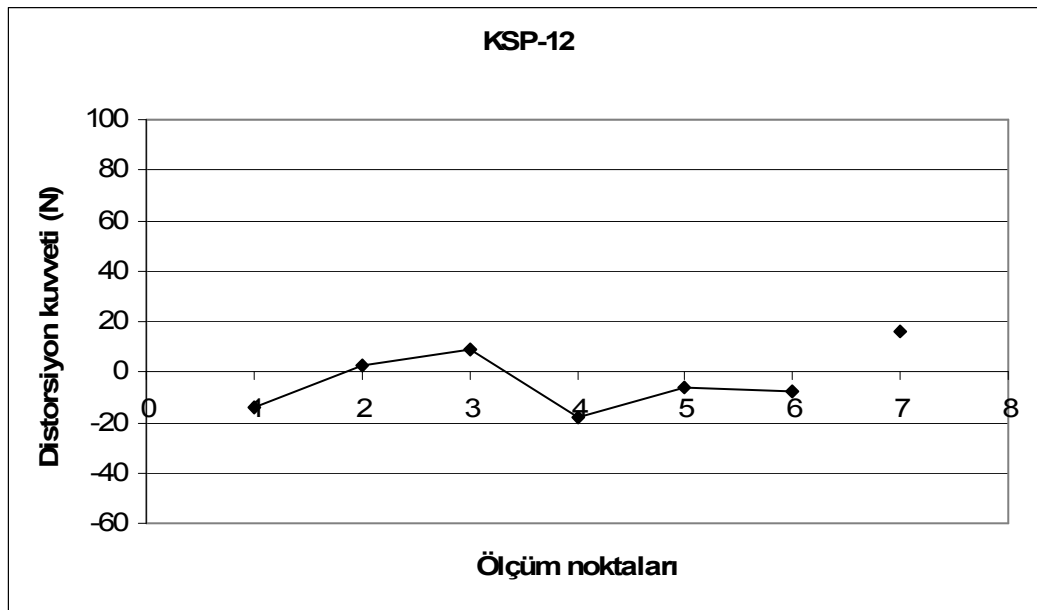
Şekil 6.31. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



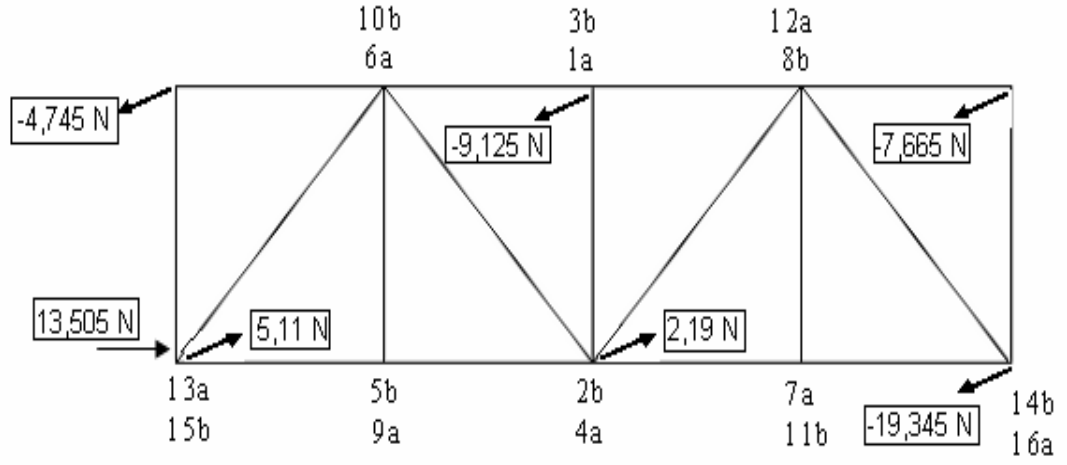
Şekil 6.32. Kafes kiriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (rijit olmayan yapı)



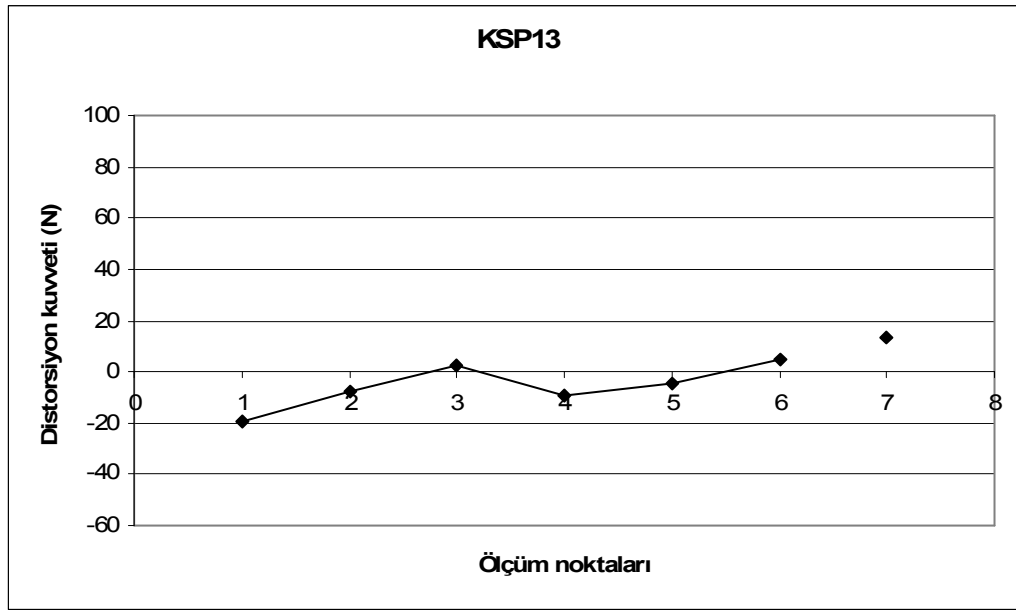
Şekil 6.33. 12 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



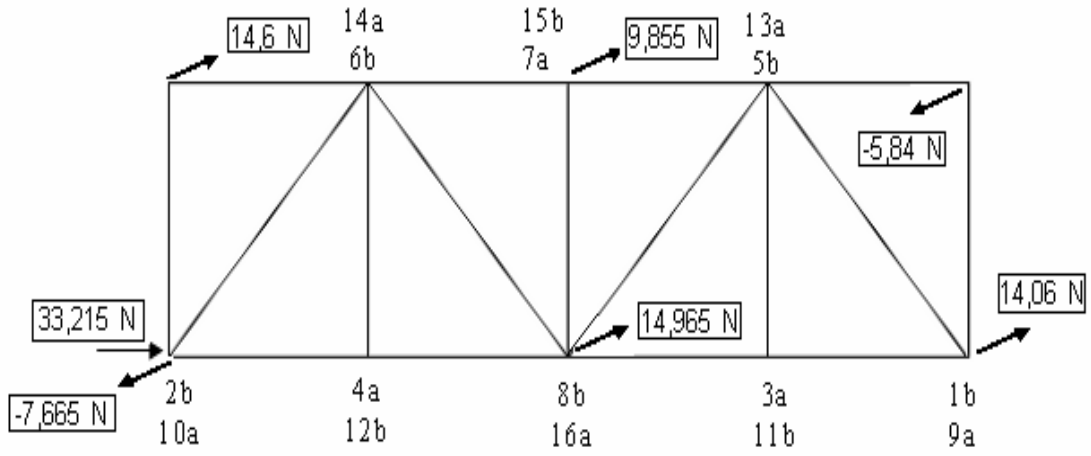
Şekil 6.34. Kafes kiriş sistemin 12 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



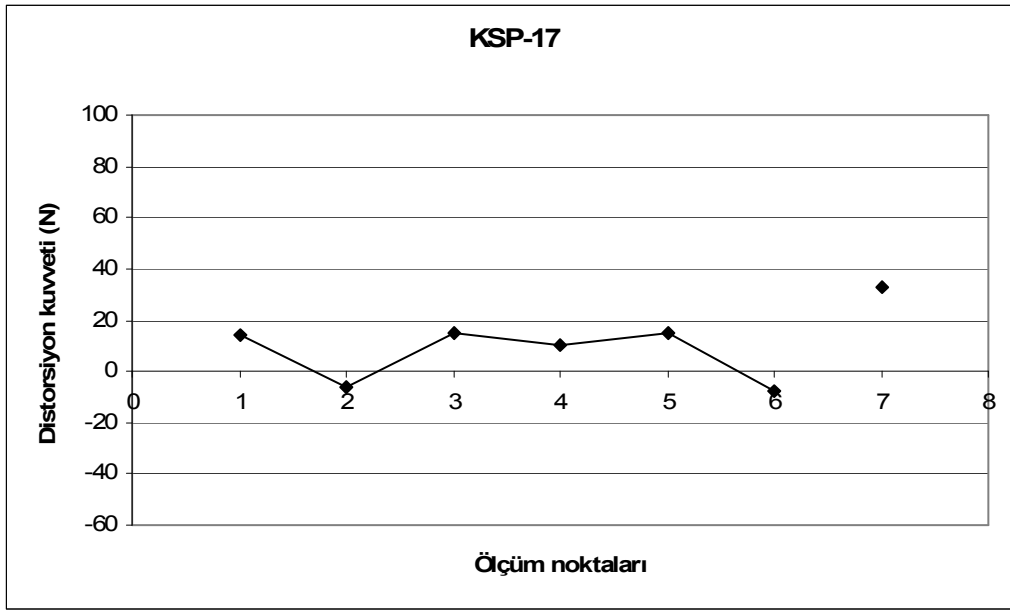
Şekil 6.35. 13 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



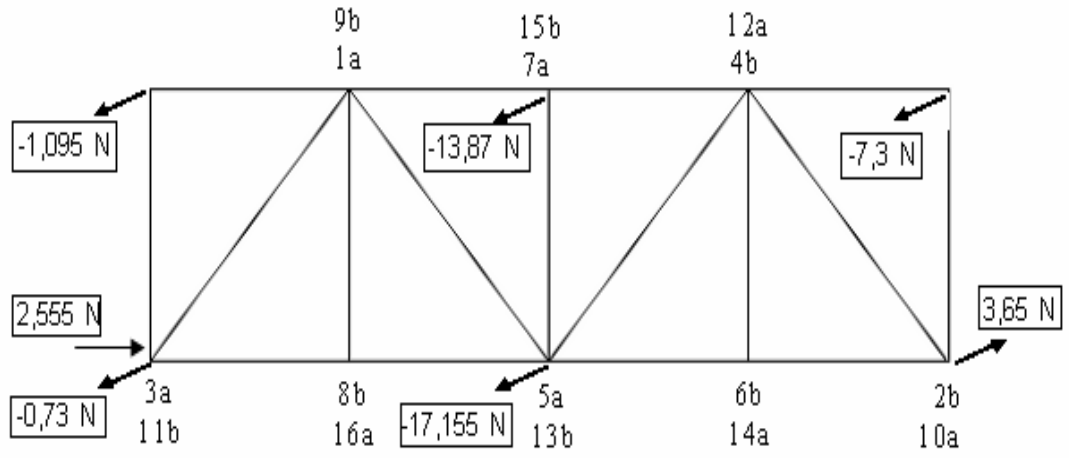
Şekil 6.36. Kafes kiriş sistemin 13 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



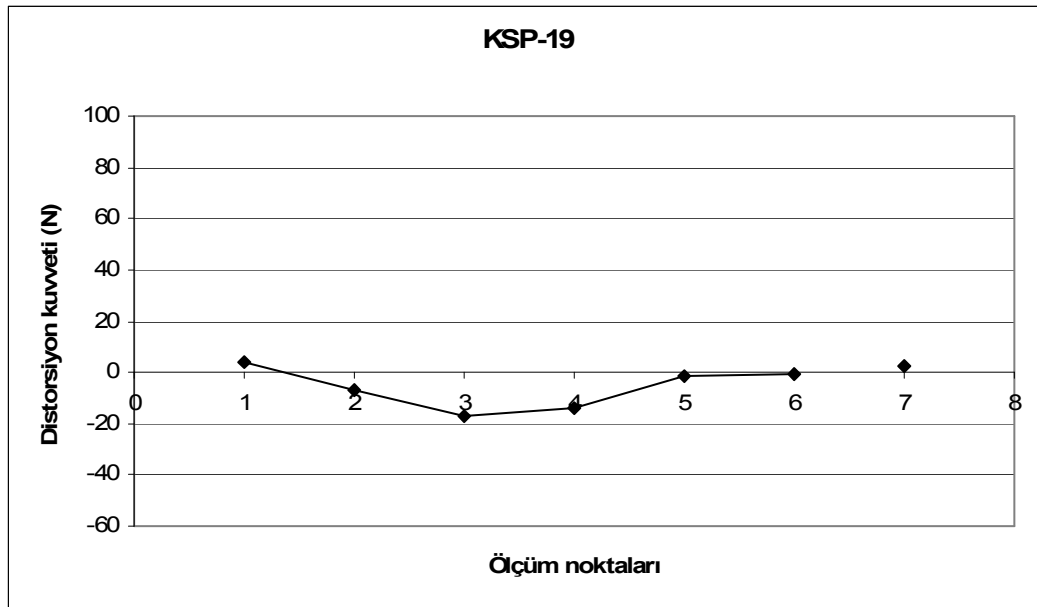
Şekil 6.37. 17 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



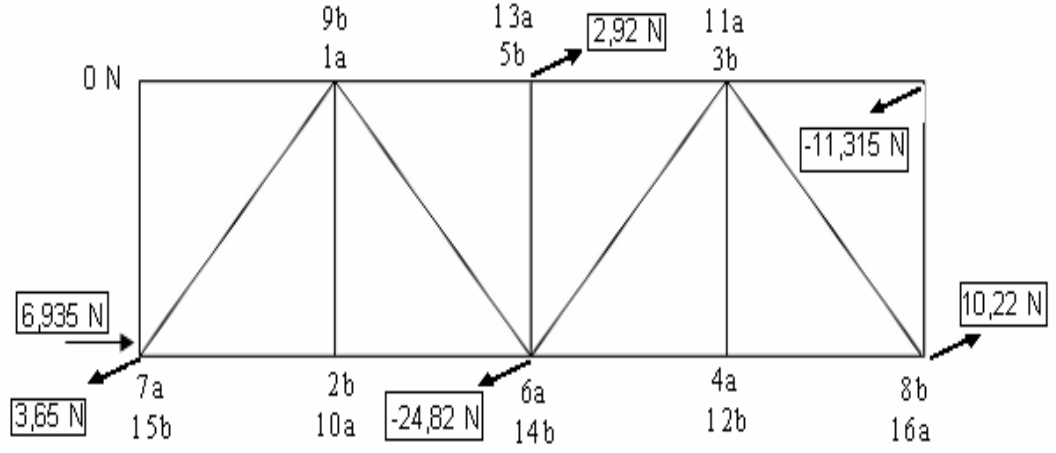
Şekil 6.38. Kafes kiriş sistemin 17 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



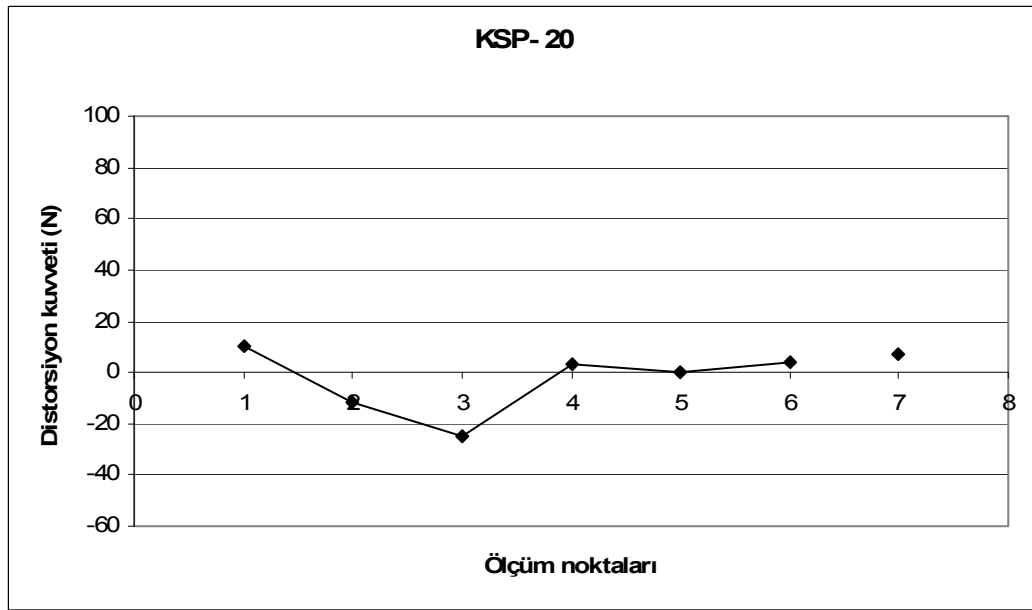
Şekil 6.39. 19 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



Şekil 6.40. Kafes kiriş sistemin 19 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri



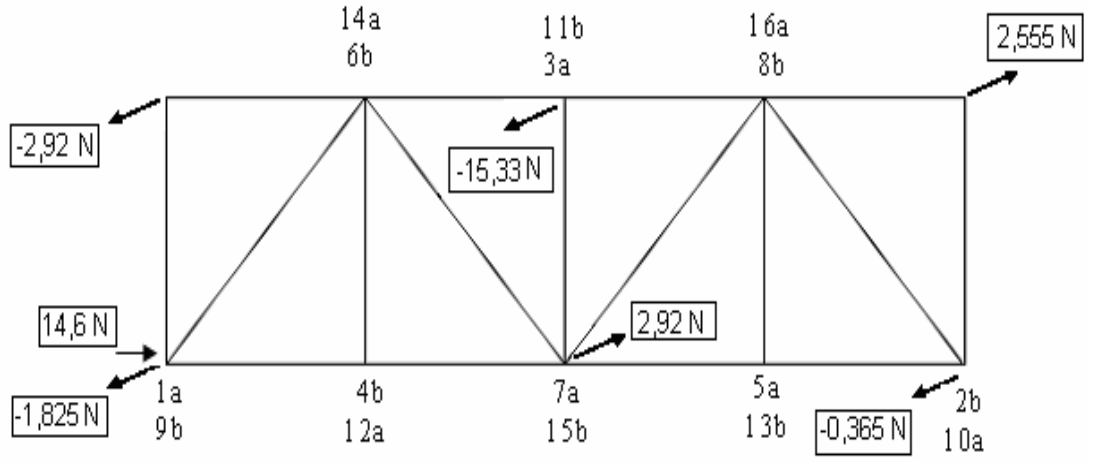
Şekil 6.41. 20 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



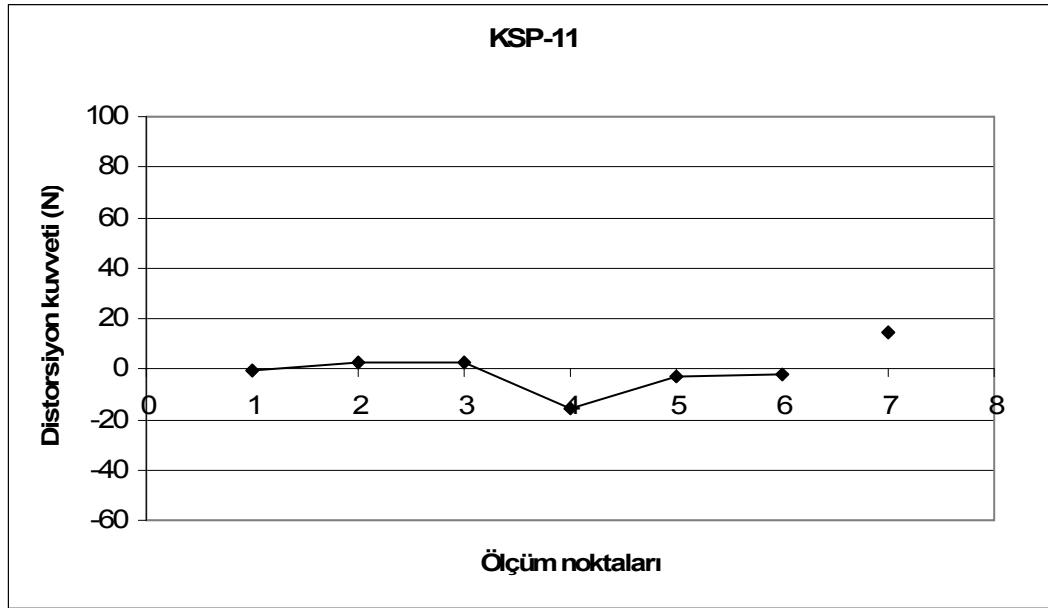
Şekil 6.42. Kafes kiriş sistemin 20 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri

6.5. Aynı KSP'nin Farklı Uygulama Halleri

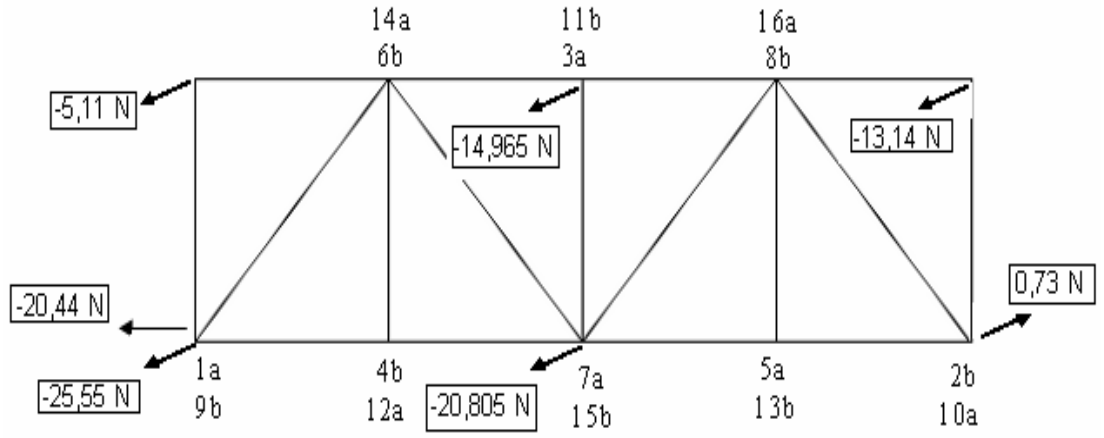
Aynı KSP'nin farklı uygulama hallerinde ise 11 nolu KSP ile çekilen üç ayrı hal görülmektedir. Burada 11 rijit yapıyı, 11.a rijit yapı ve pasolar arası soğuma zamanı verilmemiş yapıyı, 11.b ise rijit olmayan yapıyı ifade etmektedir. 11'deki rijit yapıya ideal KSP ile birleştirme yapıldığında distorsiyon kuvvetleri minimum olmaktadır. 11.a'daki rijit yapıya ideal KSP ile birleştirme yapıldığında yalnızca basma kuvvetleri meydana gelmektedir. 11.b'deki rijit olmayan yapıya ideal KSP ile birleştirme yapıldığında ise distorsiyon kuvvetlerindeki artışın daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak yinede ideal bir yapı görülmektedir.



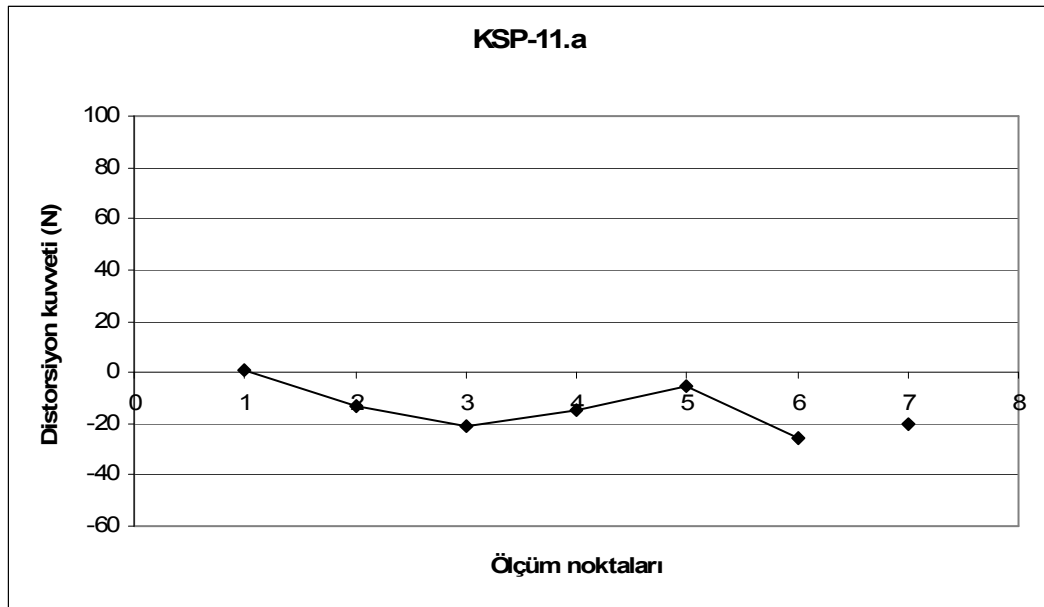
Şekil 6.43. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



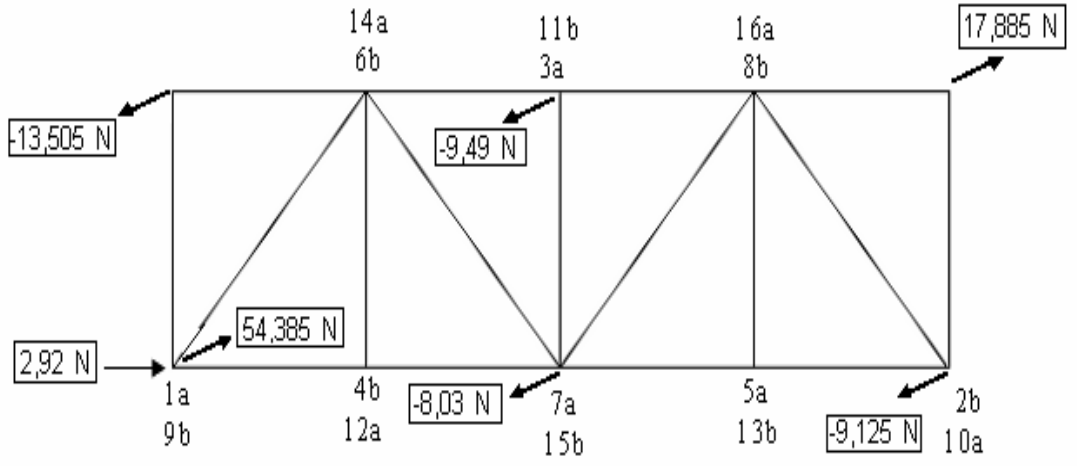
Şekil 6.44. Kafes kiriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (rijit yapı)



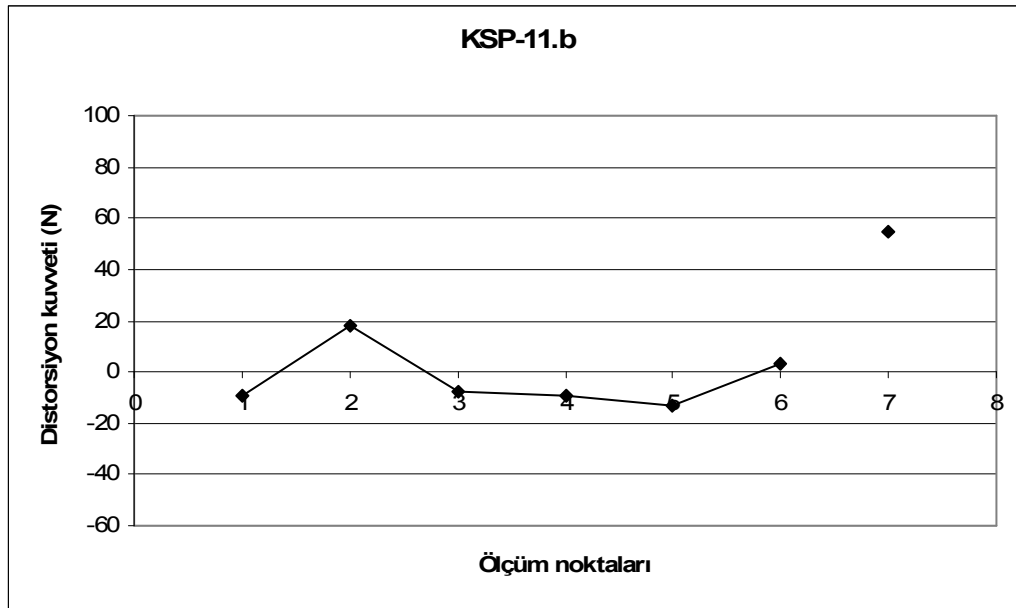
Şekil 6.45. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



Şekil 6.46. Kafes kiriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (pasolar arası soğuma zamanı verilmemiş)



Şekil 6.47. 11 nolu KSP (a) ön yüz, (b) arka yüz



Şekil 6.48. Kafes kiriş sistemin 11 nolu KSP'ye göre kaynak sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri (rijit olmayan yapı)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kafes kirişlerde oluşan distorsiyon kuvvetleri ve kaynak sırası planının optimizasyonu ile ilgili yapılan bu çalışma için aşağıdaki sonuç ve öneriler verilebilir.

- Kaynak numunesine çekilen kaynak neticesinde, distorsiyonu meydana getiren kuvvetler KSP'ye göre değişiklik göstermektedir. Burada oluşan maksimum mutlak distorsiyon kuvveti (basma-çekme) yaklaşık 127 N iken distorsiyonu minimuma indiren KSP'de oluşan kuvvet ise yaklaşık 19 Newton'la sınırlı kalmıştır. Maksimum distorsiyon kuvveti ile minimum distorsiyon kuvveti arasında yaklaşık 7 katlık bir fark oluşu, bir kez daha KSP'nin önemini göstermektedir.
- Kaynak sırası planlarına incelendiğinde, distorsiyon kuvvetlerinin oluşumunu arttıran ortak nedenin ısı yoğunluğunun belli bölgelerde toplanması olduğu düşünülmektedir. Yani ısı dağılımı ne kadar iyi sağlanırsa distorsiyon kuvvetlerini de o oranda azalmak mümkündür. Bunu sağlamak için, çekilen kaynak dikişi kendinden önce çekilen kaynak dikişine en uzak düğüm noktasında olmalıdır. Ve bundan sonra çekilecek diğer dikişlerde bu şekilde çekilmelidir.
- Kaynak işleminin bitimi, konstrüksiyonun merkezindeki düğüm noktalarında olmamalıdır. Bu, distorsiyon kuvvetlerini arttırıcı yönde rol oynar. Kaynak işleminin başlangıcı da aynı sebepten dolayı yine konstrüksiyonun merkezindeki düğüm noktalarında olmamalıdır.
- Düğüm noktalarına uygulanan kaynak işlemleri arkalı önlü yapılmamalıdır. Aynı düğüm noktasının hem ön, hem arka tarafına sırası ile kaynak çekildiğinde, o bölgeye ısı girdisi artacağından distorsiyon kuvvetlerinde de artış gözlenmiştir. Bu amaçla, düğüm noktasının bir tarafına kaynak dikişi çekilmişse, diğer tarafına çekilecek kaynak dikişi için önce o düğüm noktasından uzaktaki bir düğüm

noktasına kaynak dikişı çekilmelidir. Böylece ısı dağılımı sağlanmış olacak bu da distorsiyon kuvvetlerini azaltıcı yönde rol oynayacaktır.

- Parçaların rijitliğide oluşan distorsiyon kuvvetlerine etki etmektedir. Aynı KSP ile birleştirilen biri rijit diğeri rijit olmayan (puntalı) iki kafes kirişten, rijit olan da düşük distorsiyon kuvvetleri görülürken rijit olmayan kafes kirişte distorsiyon kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. Yine aynı KSP ile birleştirilen her ikisi de rijit iki kafes kiriş kaynakla birleştirilirken, pasolar arasında soğuma için zaman verilmeyen kafes kirişin distorsiyon kuvvetlerinde bir miktar artış görülmektedir.
- Sonuç olarak, kafes kirişlerin kaynaklı birleştirilmesinde, belirli bölgelerde yoğun birleştirme içermeyecek dağınık ve homojen ısı dağılımı sağlayacak kaynak sırası planının uygulanması önerilir.
- Günümüzde, otobüs şase kısımlarında kullanılan kafes kiriş sistemlerinin kaynaklı birleştirmelerinde kullanılabilecek KSP'lerin belirlenmesinde, bu çalışmada sunulan sonuçların ANSYS vb. bilgisayar programlarıyla modellenmesi önemli faydalar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

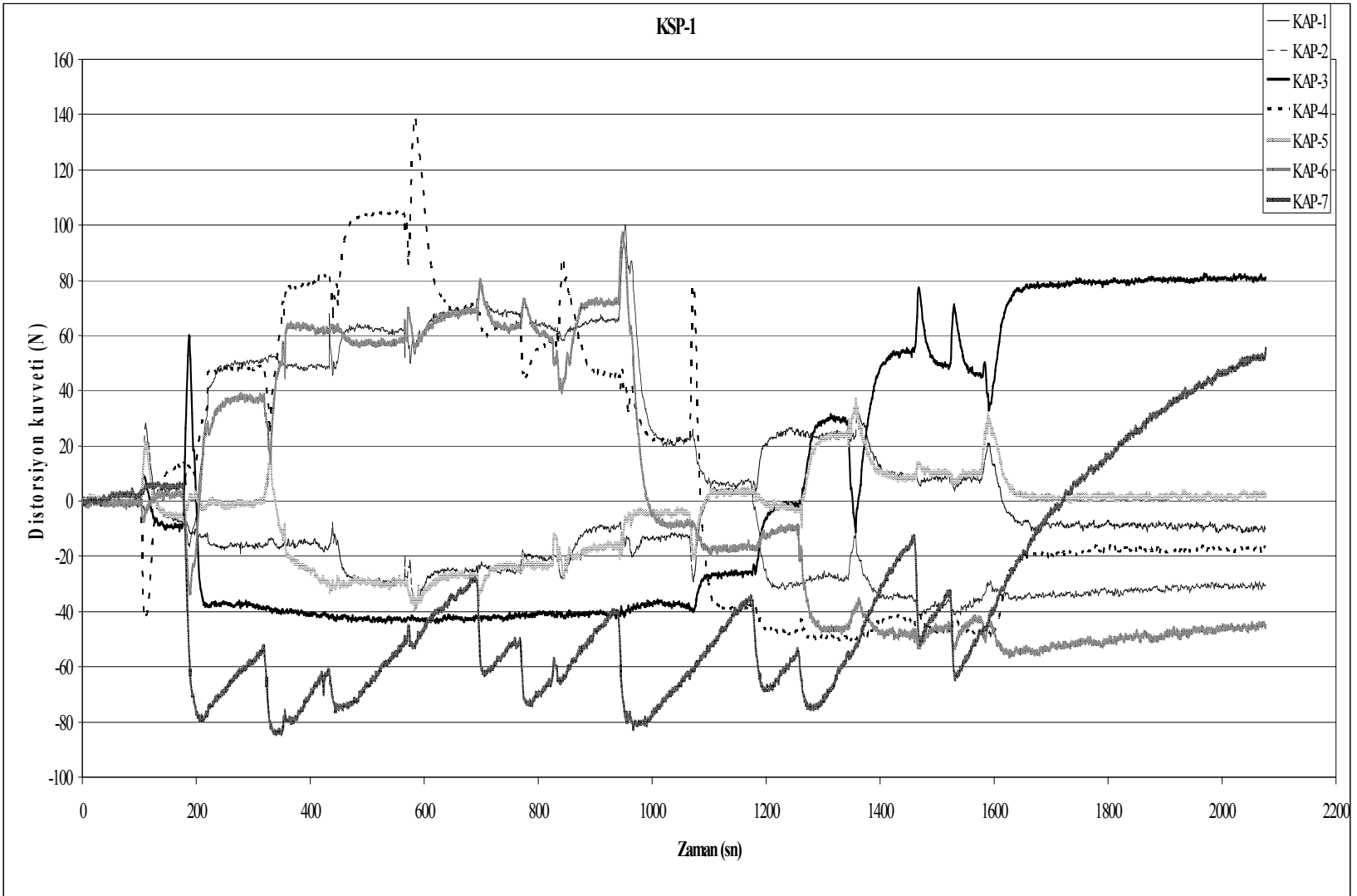
1. Çanacık, A., “Çeliklerin kaynağında açılmal distorsiyon”, Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 3-19, 29-30, 59-119 (1998).
2. Bartle, P.M., “Welding handbook 7th ed.”, **American Welding Society**, Miami, 413-428, 485-511, 601-609 (1981).
3. Aydoğan, M.Ö., “Kaynaklı yapılarıdaki artık gerilmelerin ve distorsiyonların sonlu elemanlar yöntemiyle analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2-23 (1999).
4. Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., “Örtülü elektrot ile ark kaynağı”, **Gedik Holding Yayını**, İstanbul, 165- 180 (1991).
5. Özkara, H., “Kaynaklı parçalarda kalıntı gerilmeler ve distorsiyon”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 5-15, 34-47, 56-73 (1987).
6. Hackmair, C., Werner, E., Pönisch, M., “Application of welding simulation for chassis components with in the development of manufacturing methods”, **Computational Materials Science**, 28: 540-547 (2003).
7. Schilling, E.G., “Welding, brazing and soldering 6th ed.”, ASM handbook, **ASM International**, New York, 609-646 (1993).
8. Anık, S., “Kaynak tekniği el kitabı”, **Gedik Holding Yayını**, İstanbul, 3-41 (1991).
9. Serfiçeli, Y.S., “Elektrik ark ve oksij gaz kaynağı”, Emine Alkan, **Form Ofset**, Ankara, 40-47, 103-108 (1997).
10. Durgutlu, A., “Ark kaynağı yöntemlerinde kaynak hızının mikro yapı ve nüfuziyete etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4-25 (1997).
11. Oğuz, B., “Ark kaynağı”, **Oerlikon Yayınları**, İstanbul, 11-69 (1989).
12. Fischer, U., “Metal meslek bilgisi”, Abdulkadir Güllü, **Verlag Europa Lehrmittel**, İstanbul, 209-221 (2000).
13. Ateş, H., “Ferritik süper alaşımların sürtünme kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4-17 (2003).
14. Tarakçıoğlu, N., “Lazerler ve materyal işleme uygulamaları”, Şirzat Kahramanlı, **Atlas Yayını**, İstanbul, 125-134 (2004).

15. Povers, D., Schubert, G., "Electron beam welding", *Welding Journal*, 14: 35-38 (2000).
16. Sun, Z., Karpri, R., "The application of elektron beam welding for the joining of dissimilar metals", *J. Of Mater. Processing Technology*, 51: 257-267 (1996).
17. Durgutlu, A., "Patlama kaynağı yöntemi ile bakır-paslanmaz çelik malzemelerin birleştirilmesi ve ara yüzeyin mekanik mikro yapı özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-17 (2003).
18. Lee, C.S., Li, H., Chandel, R.S., "Vacuum-free diffusion bonding of aluminium metal matrix composite", *Journal Of Materials Processing Technology*, 89: 326-330 (1999).
19. Huang, Y., Ridley, N., Humphreys, F.J., Cui, J.Z., "Diffusion bonding of superplastic 7075 Al alloy", *Materials Science And Engineering*, 266: 295-302 (1999).
20. Kurt, A., "Toz metalden üretilen bronz yatağın düşük karbonlu çeliğe difüzyon kaynağı ile birleştirilmesi", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 5-34 (1996).
21. Mutlu, E., "Difüzyon kaynağında allotropik dönüşüm sıcaklığının difüzyon miktarına etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-30 (2005).
22. Tülbentçi, K., "Ultrasonik titreşimler yardımıyla kaynak", *Oerlikon Yayınları*, İstanbul, 61-70 (1970).
23. Committee, C., "Ultrasonic welding", *Welding handbook*, AWS, New York, 279-310 (1980).
24. Sluzalec, A., "Solution of thermal problems in friction welding", *Int. J. Heat Mass Transfer*, New York, 1583-1587 (1993).
25. Yılmaz, M., "Farklı takım çeliklerinin sürtünme kaynağında kaynak bölgesinin incelenmesi", Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5-21 (1993).
26. Onaran, K., Erman, B., "Malzemelerin yapı ve özellikleri", *İTÜ Matbaası*, İstanbul, 20-43 (1991).
27. Masubuchi, K., "Analysis of welded structures", *Pergamon Pres*, New York, 44-66 (1980).
28. Wilson, W.M., "Welding and brazing", *Metals handbook 6th*, *American Society For Metals*, Ohio, 291-305 (1983).

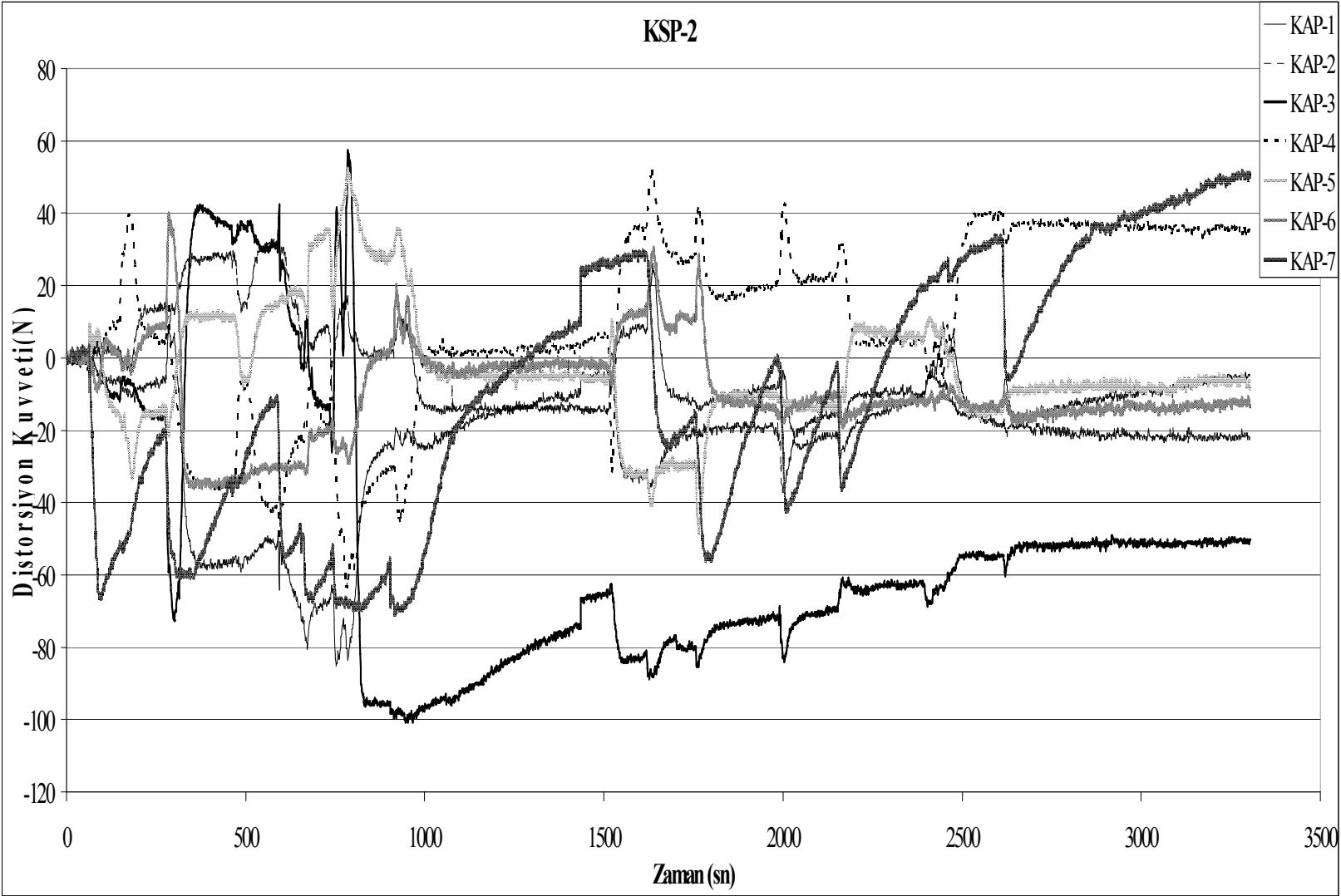
29. Masubuchi, K., “Control of distortion and shrinkage in welding”, *Research Council Bulletin*, NewYork, 149-150 (1970).
30. Binici, İ., “Kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve giderilmesinde yeni bir yaklaşım”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 18-26 (1992).
31. Hoffman, K., “Metals of strain gauge techniques”, *Experimental Technic*, New York, 105-124 (1973).
32. Hottinger, B., “Messtechnik GMBH”, *Dehnungsmesstreifen*, Düsseldorf, 14-27 (1988).
33. Akyol, E.C., “ Çelik konstrüksiyonlarda malzeme, kaynak yöntemi ve konstrüksiyon ilişkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 80-81 (1994).
34. Altan, M., “Kaynak distorsiyonları ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 30-31 (2002).
35. Yükler, İ., “ Çok pasolu köşe kaynaklarında çatlamlar”, *Böhler Kaynak Dünyası*, İstanbul, 9-10 (1988).
36. Külekçi, M.K., “ Kaynaklı yapılarda çekme, çarpılma ve bunları azaltma önlemleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 49-62 (1996).
37. Baş, H., “Kaynaklı bir gemide oluşan distorsiyonlar ve giderilme esasları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 78-82 (1992).

EKLER

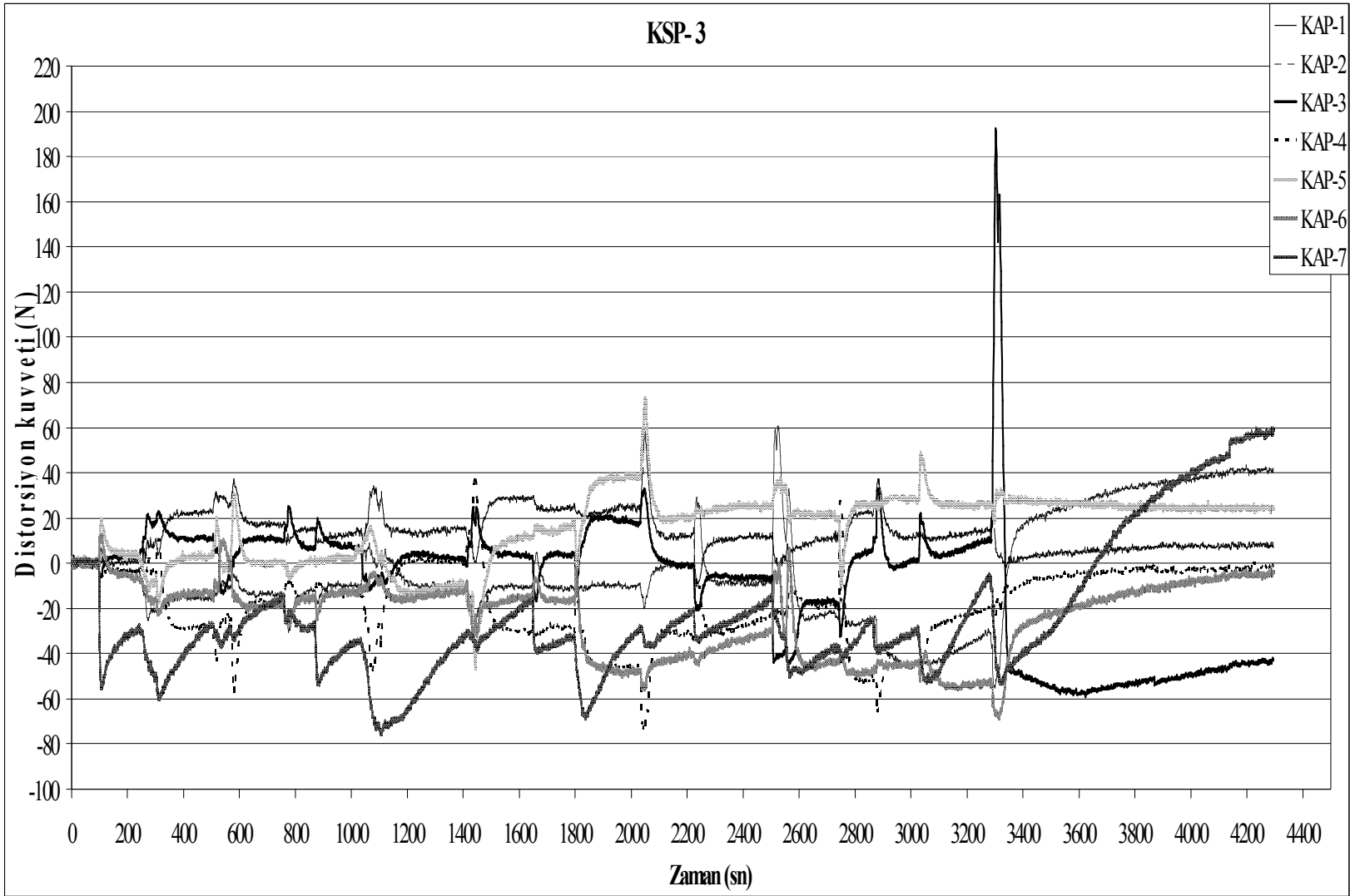
EK-1 Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



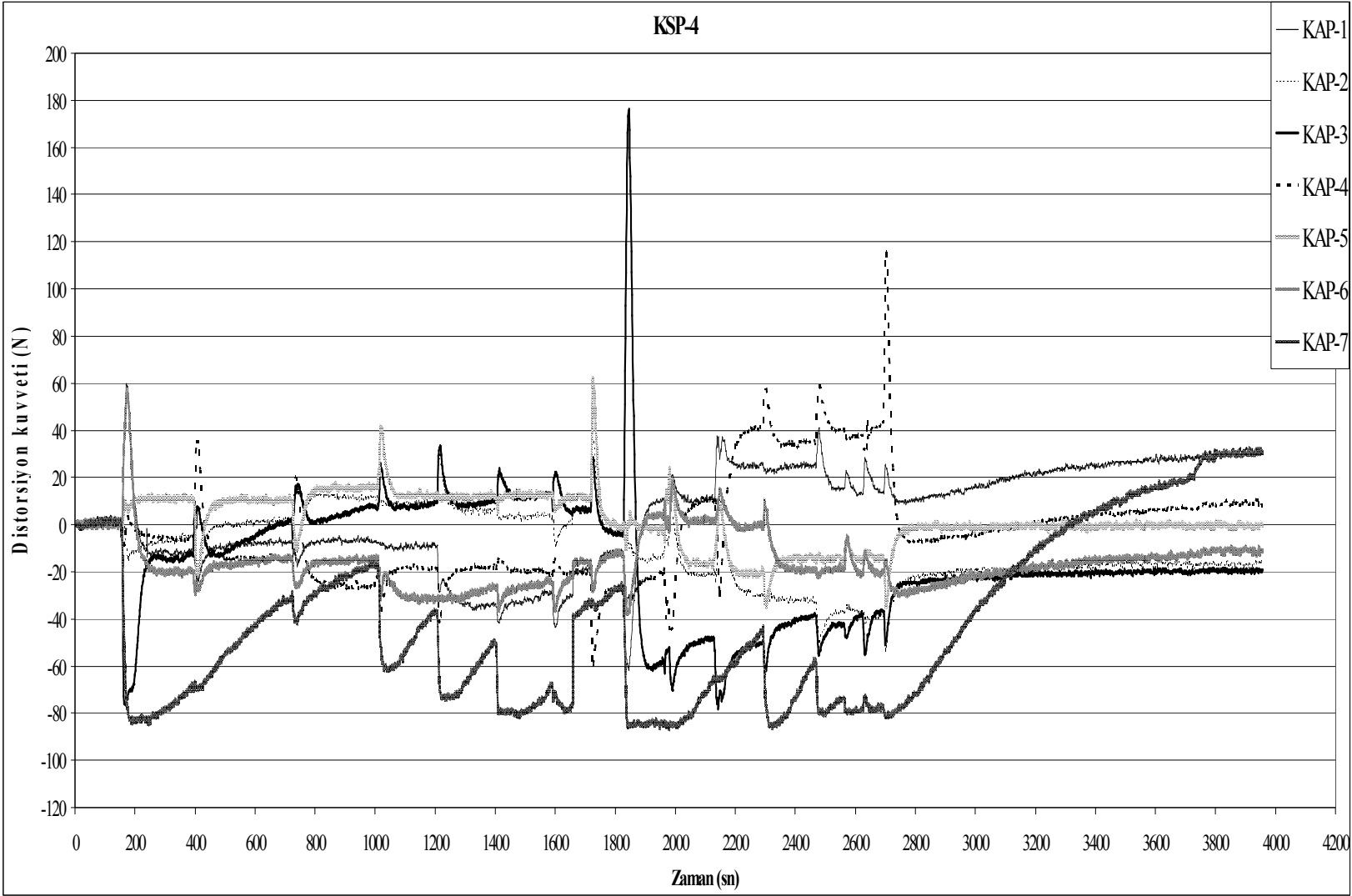
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



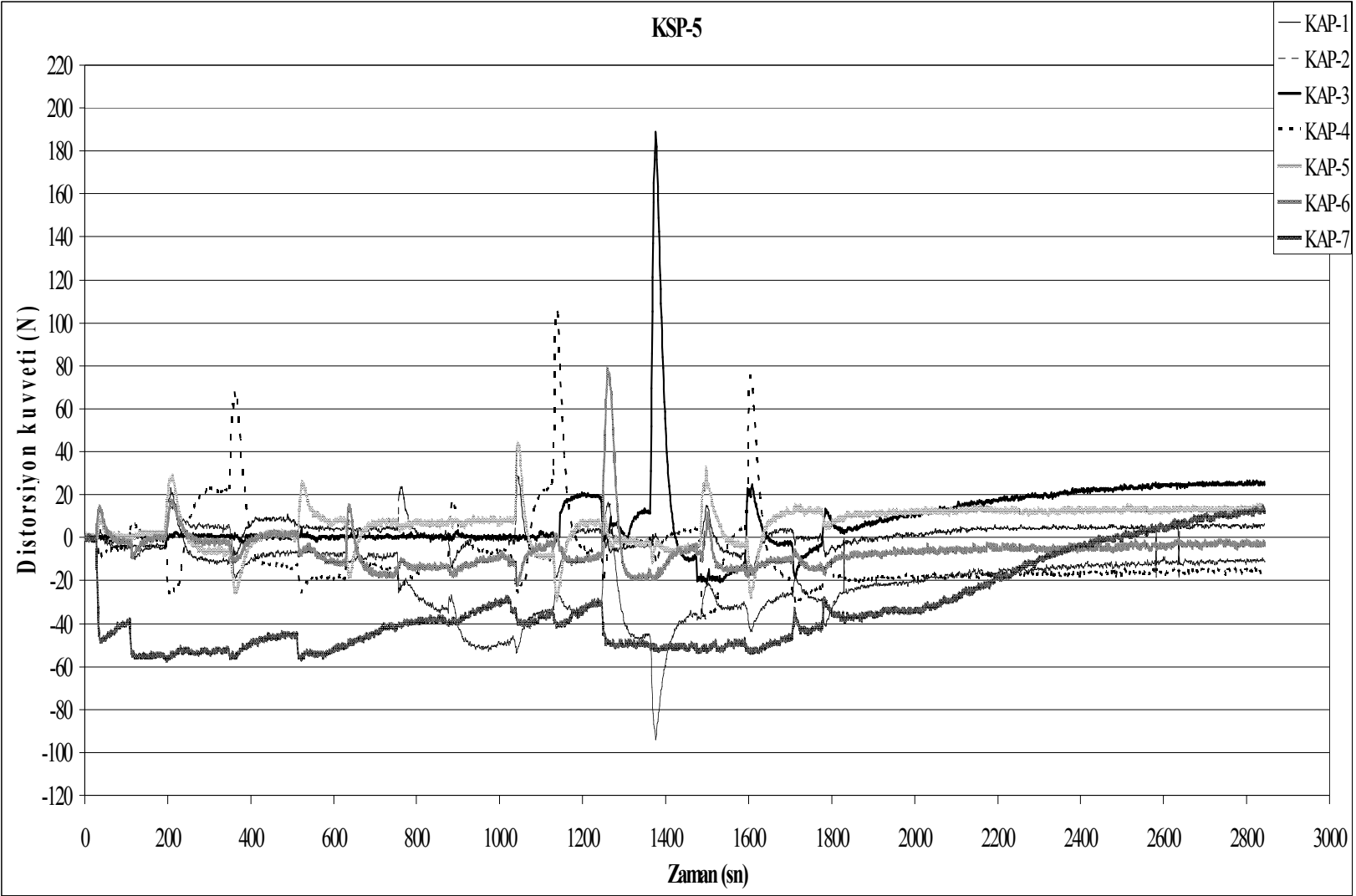
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



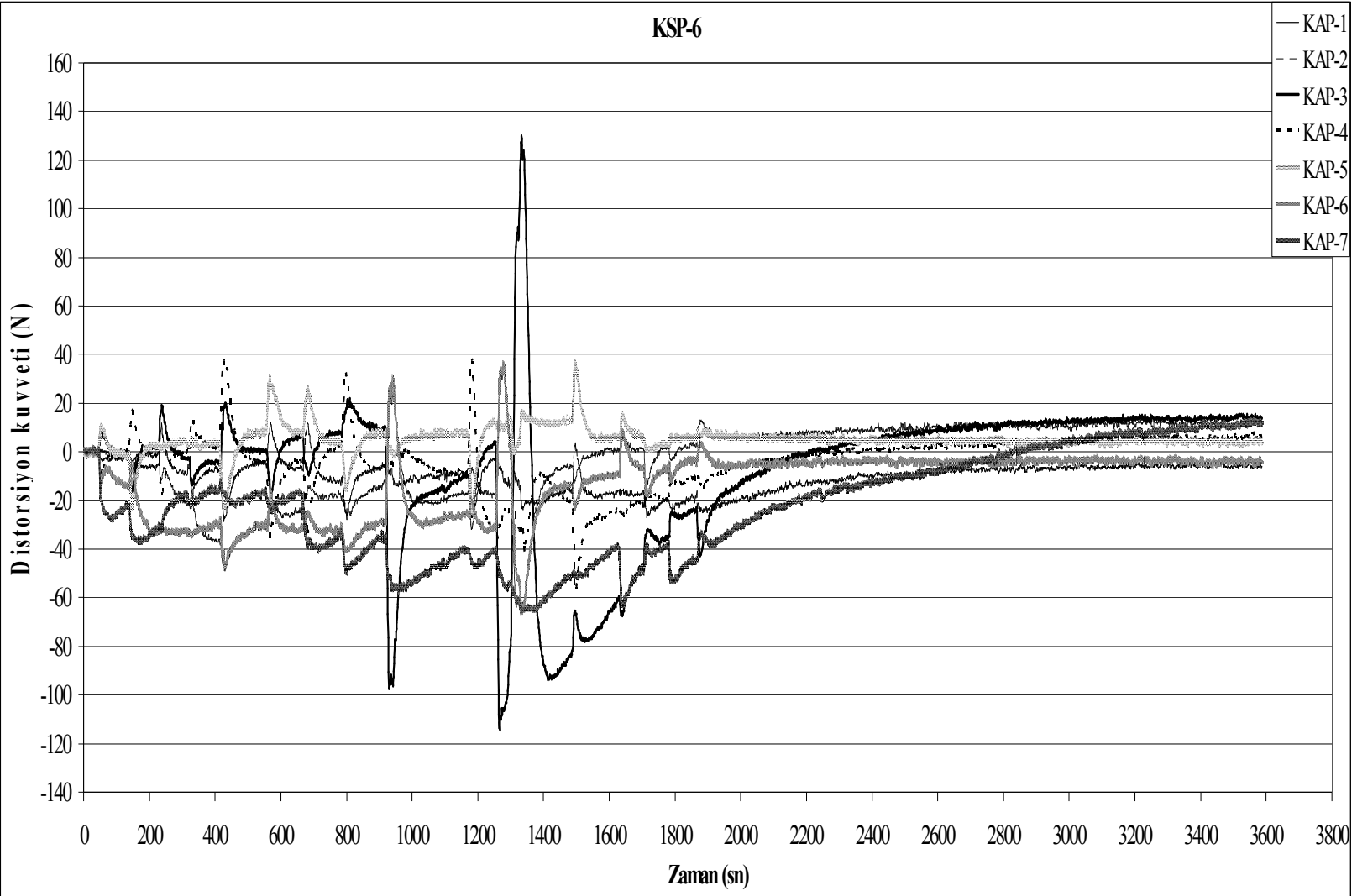
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



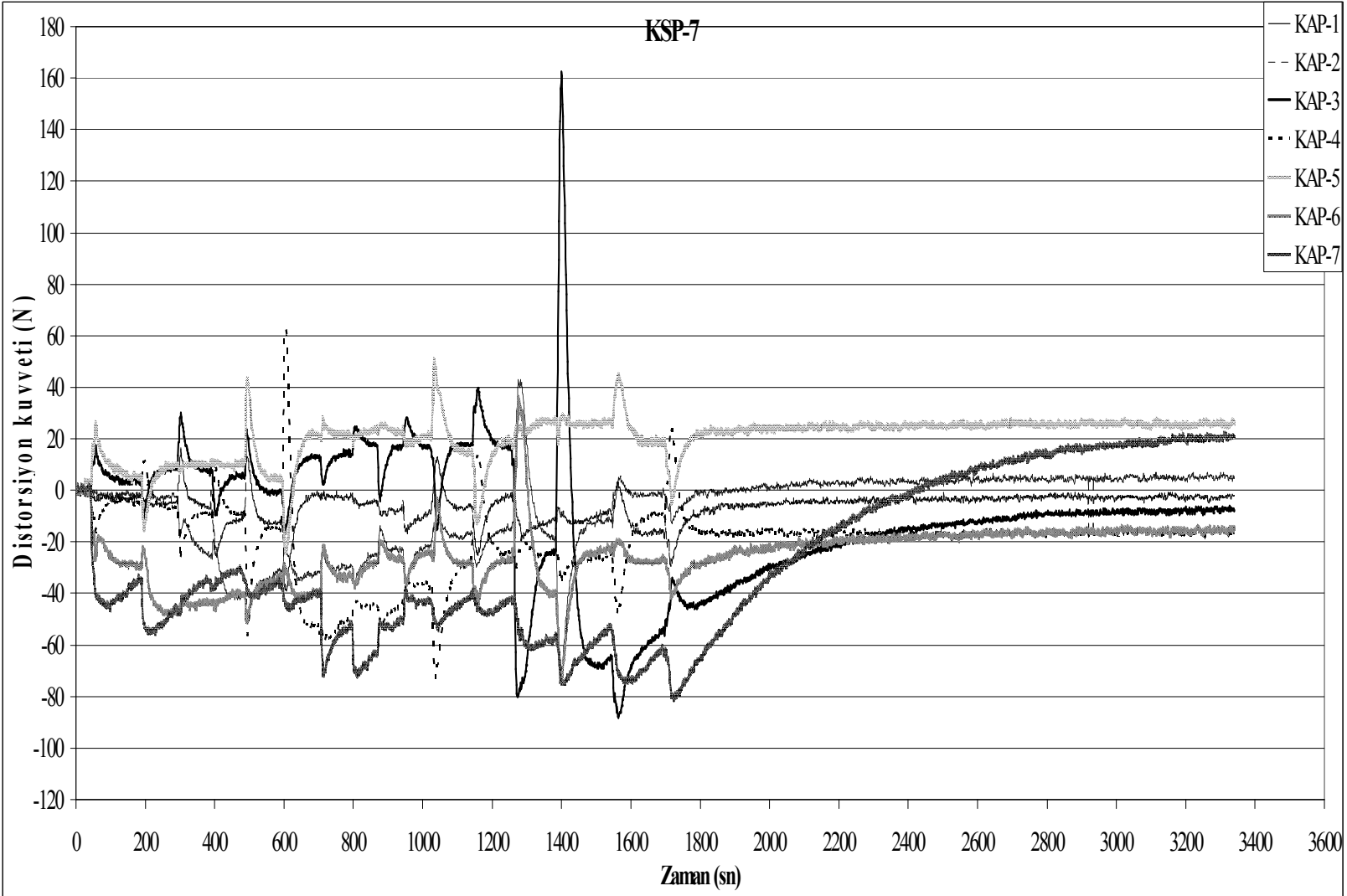
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



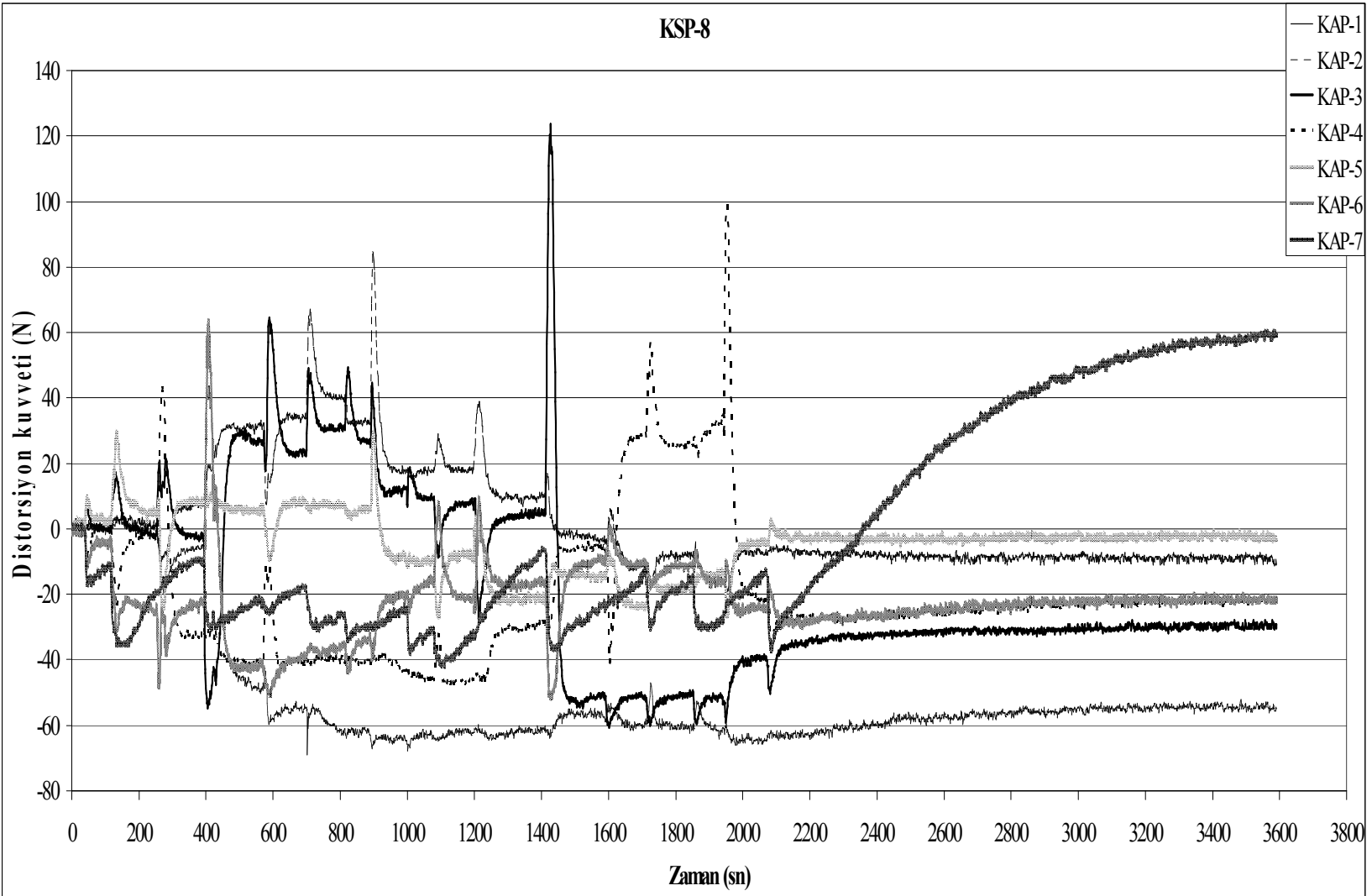
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



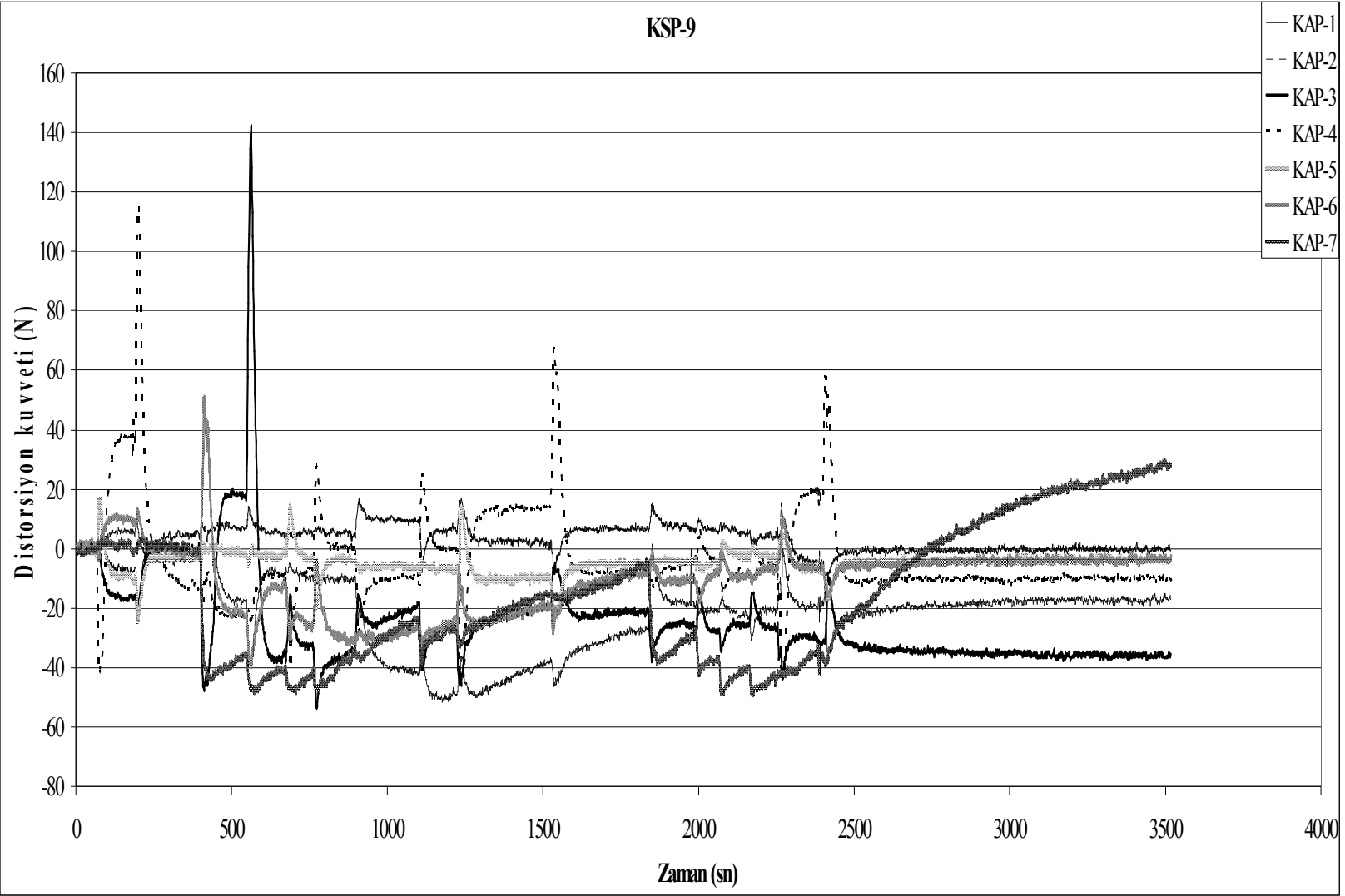
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



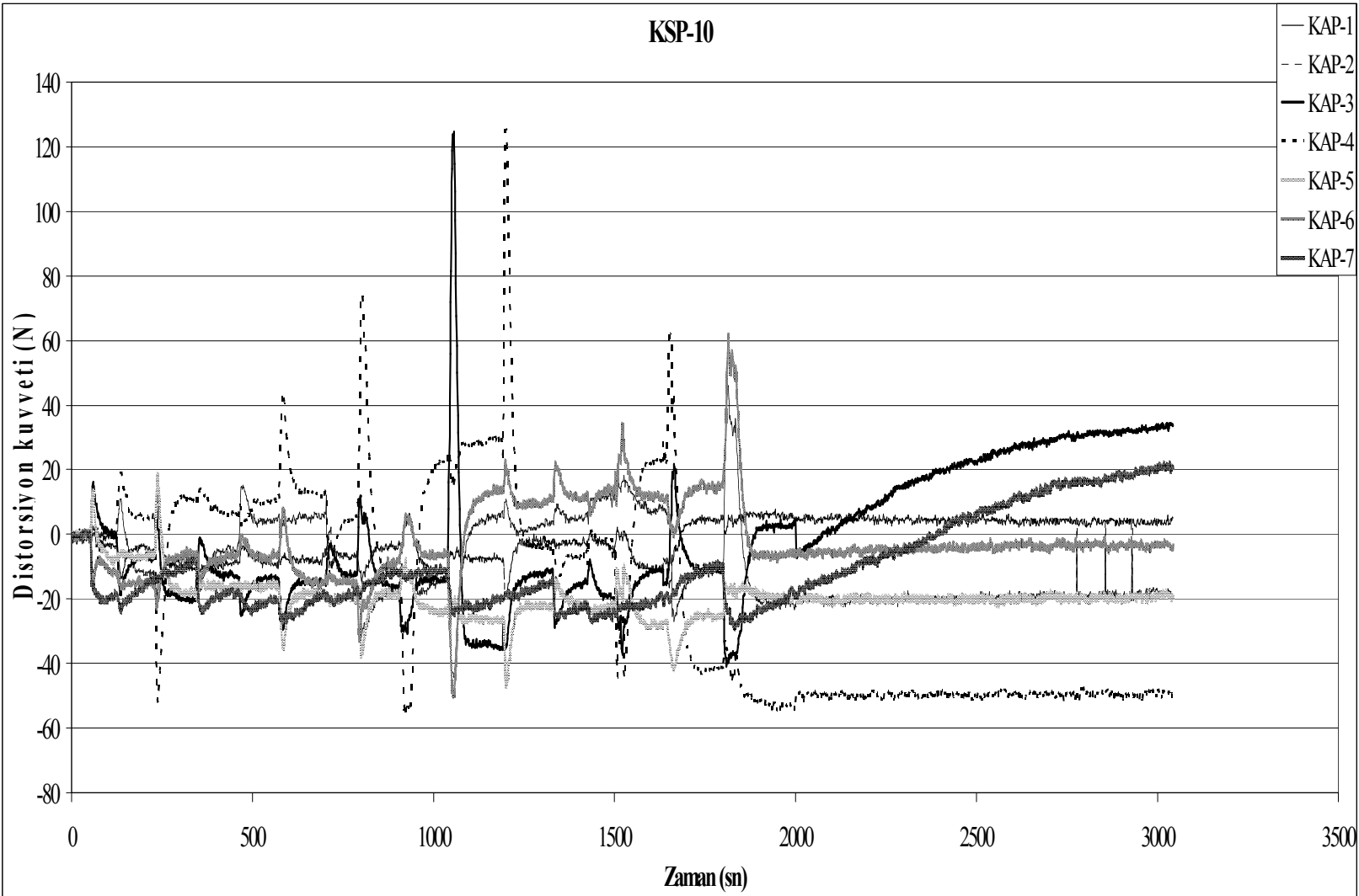
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



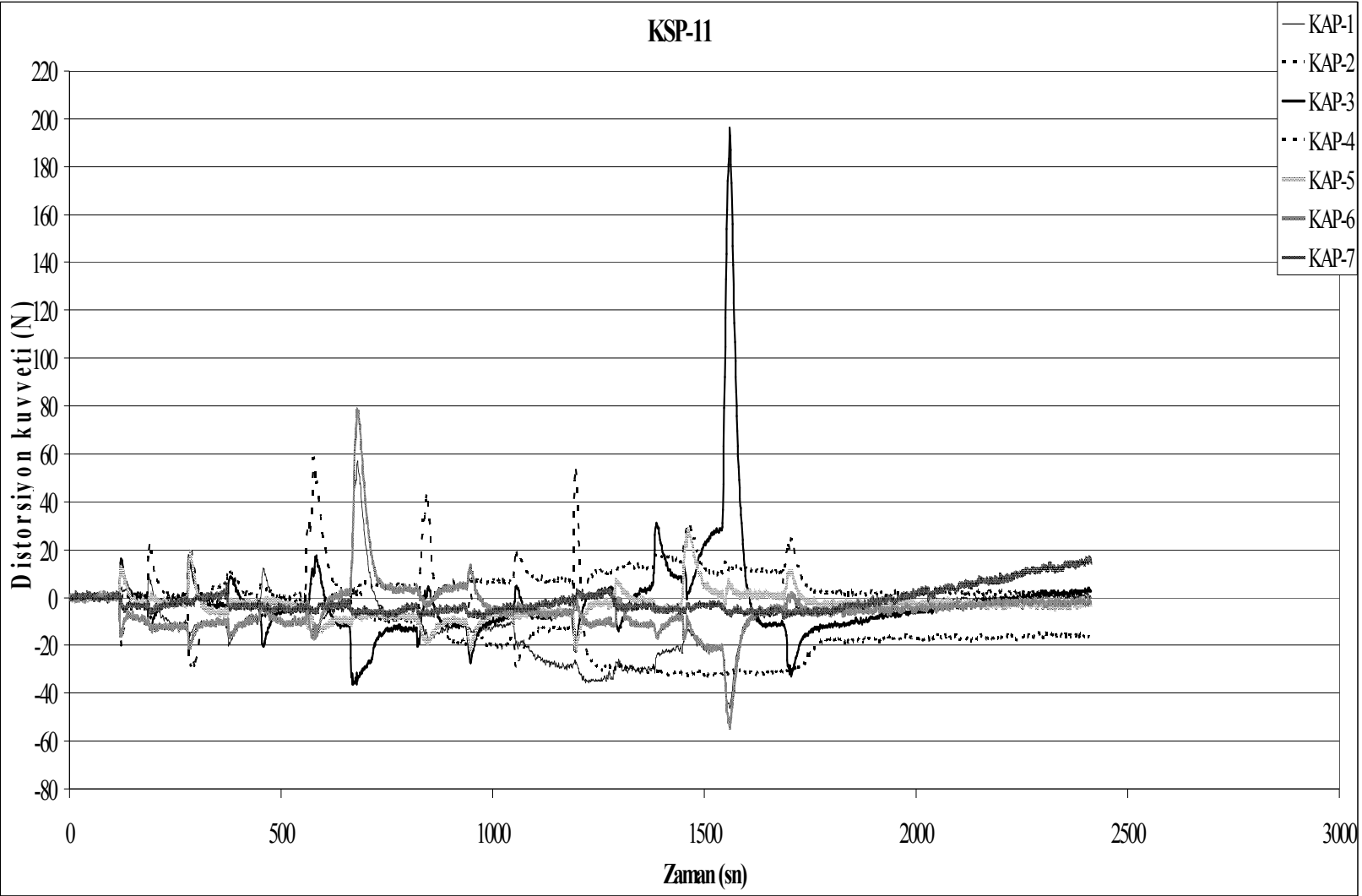
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



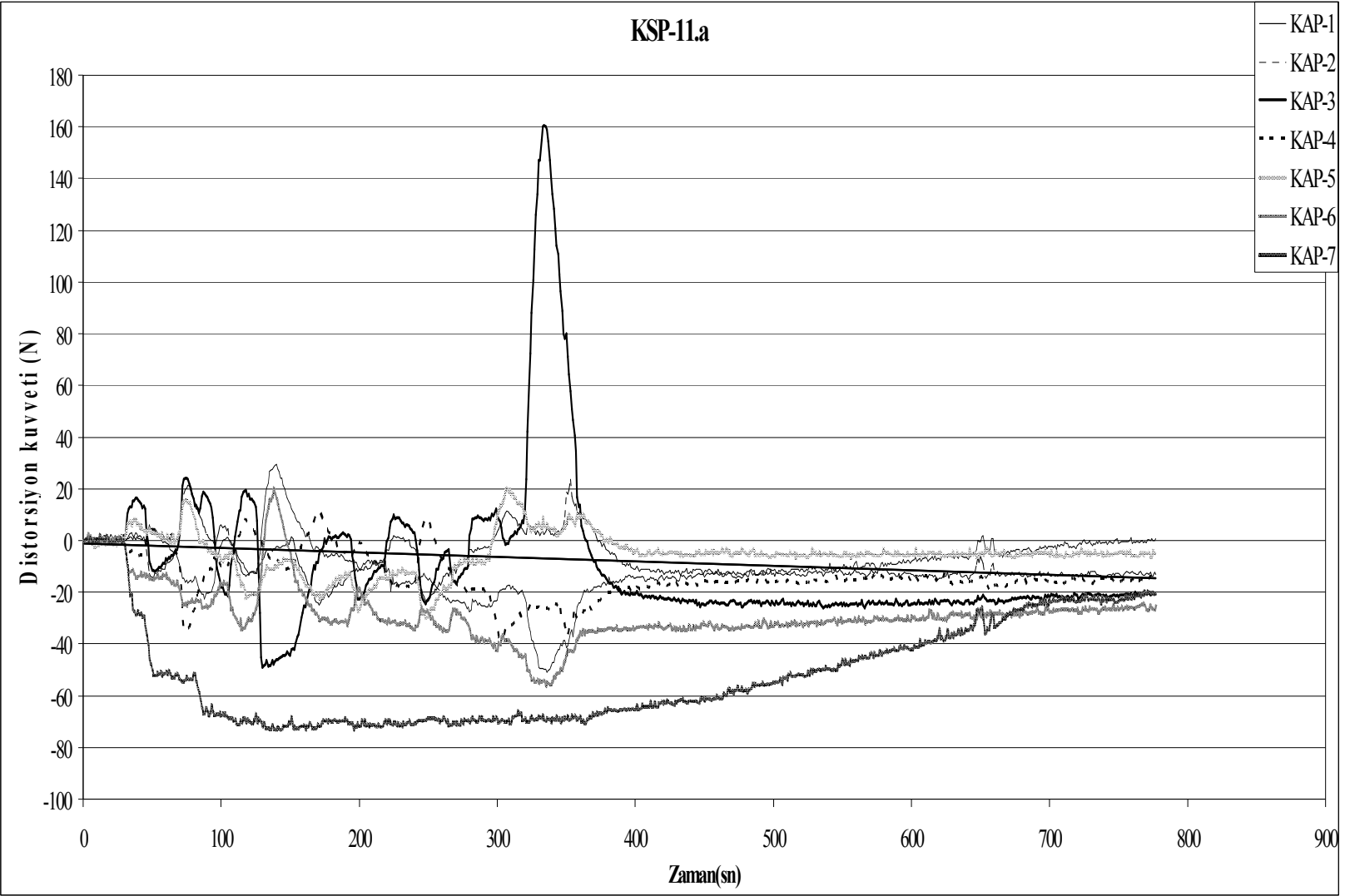
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



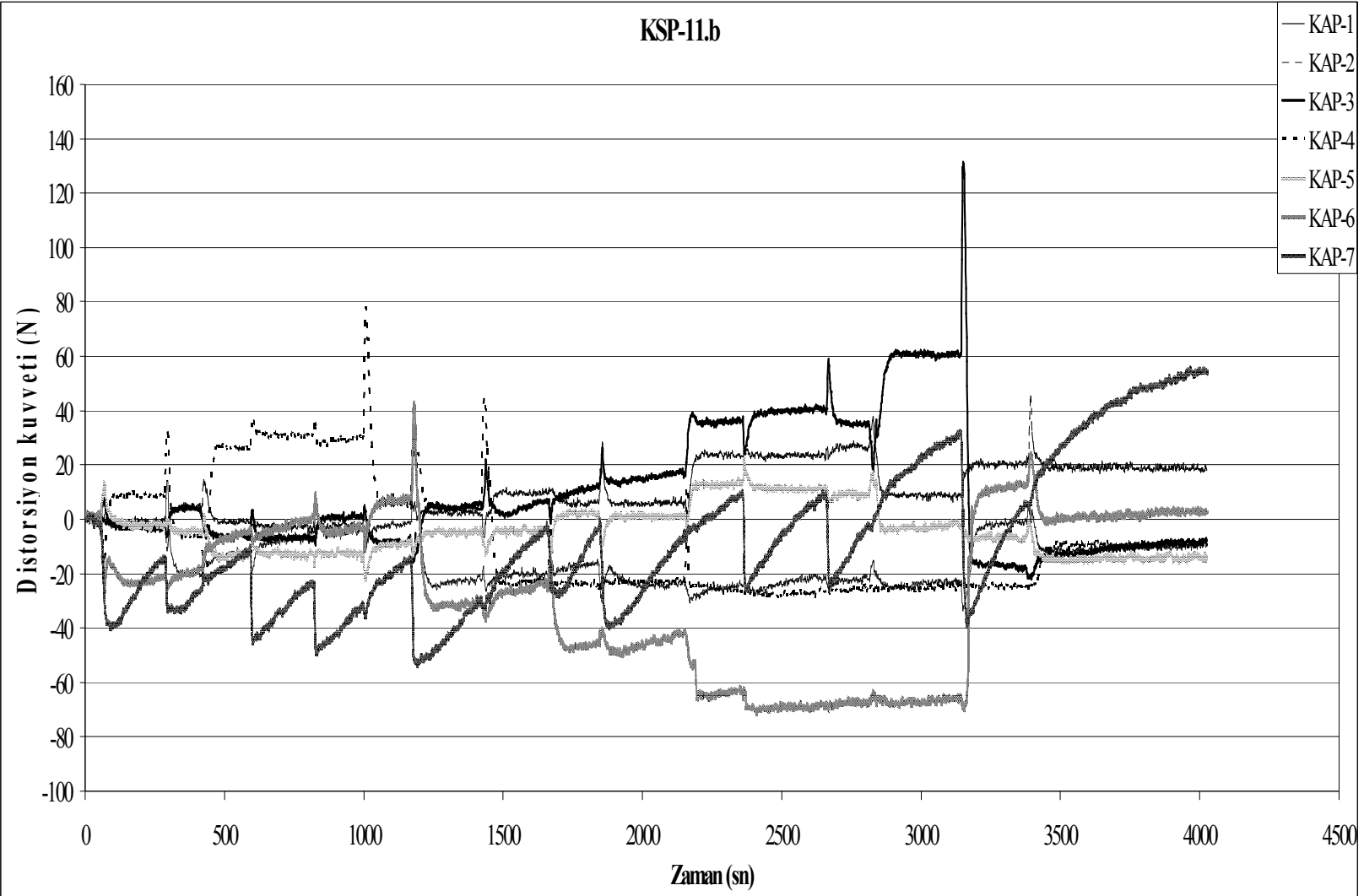
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



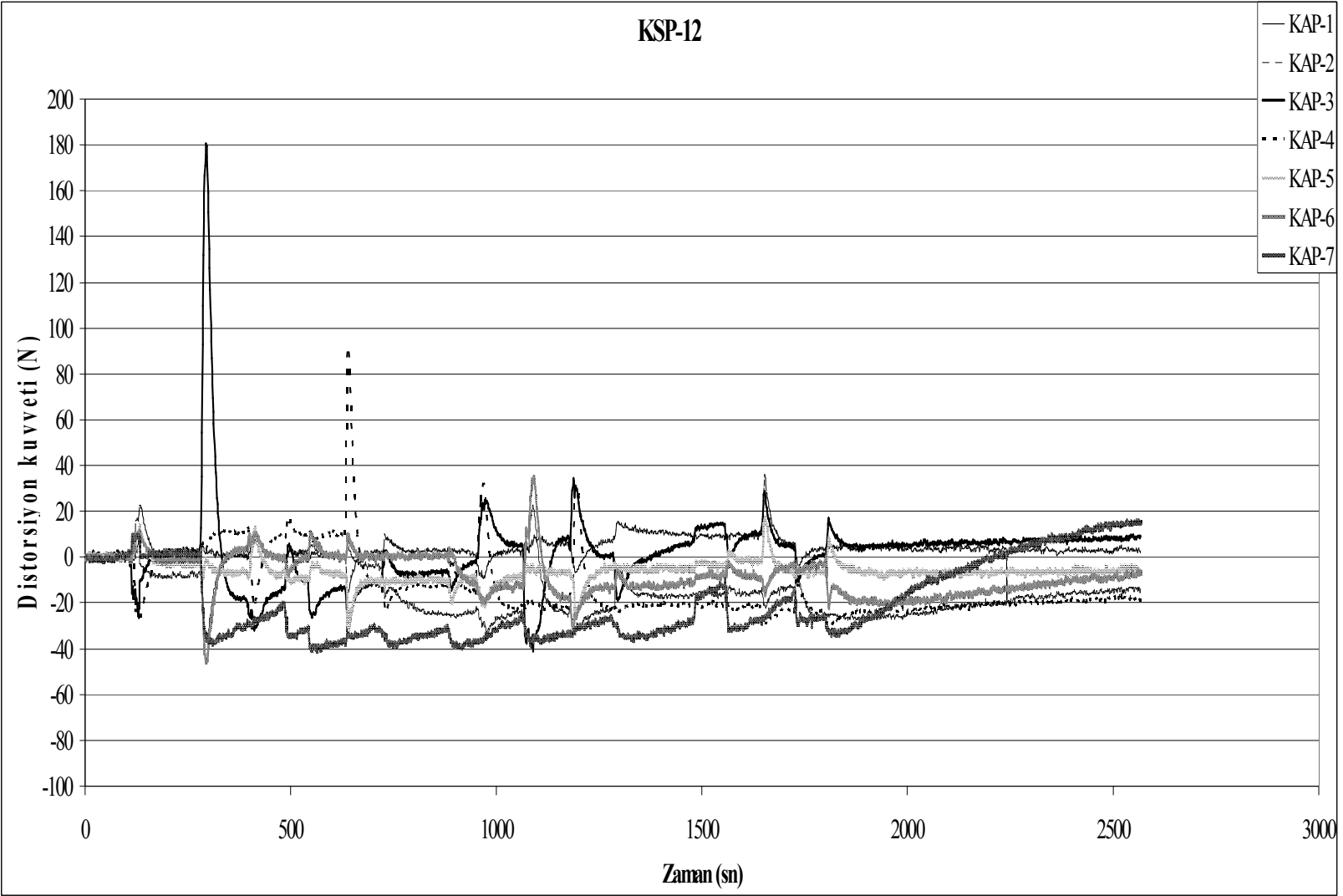
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



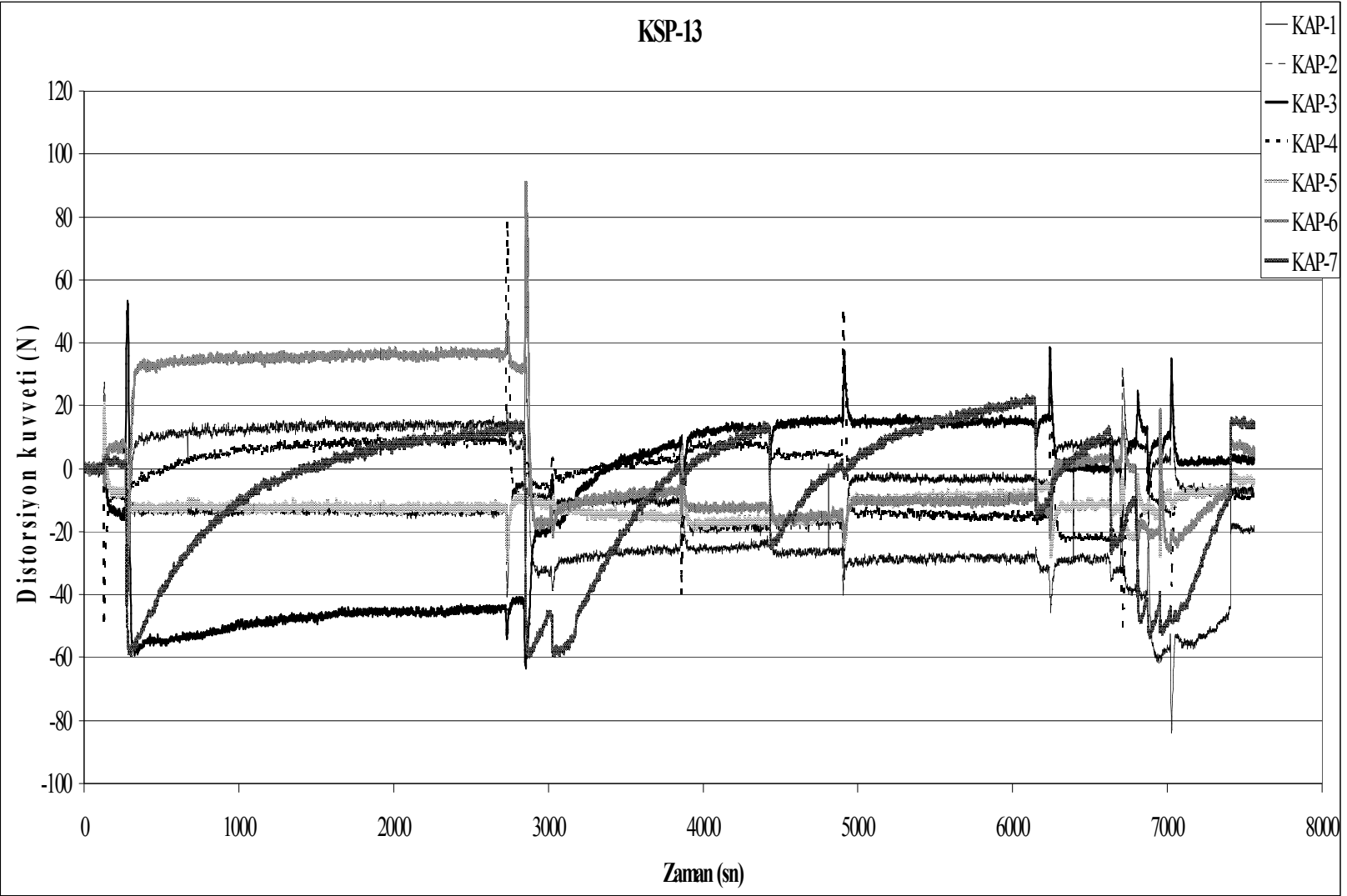
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



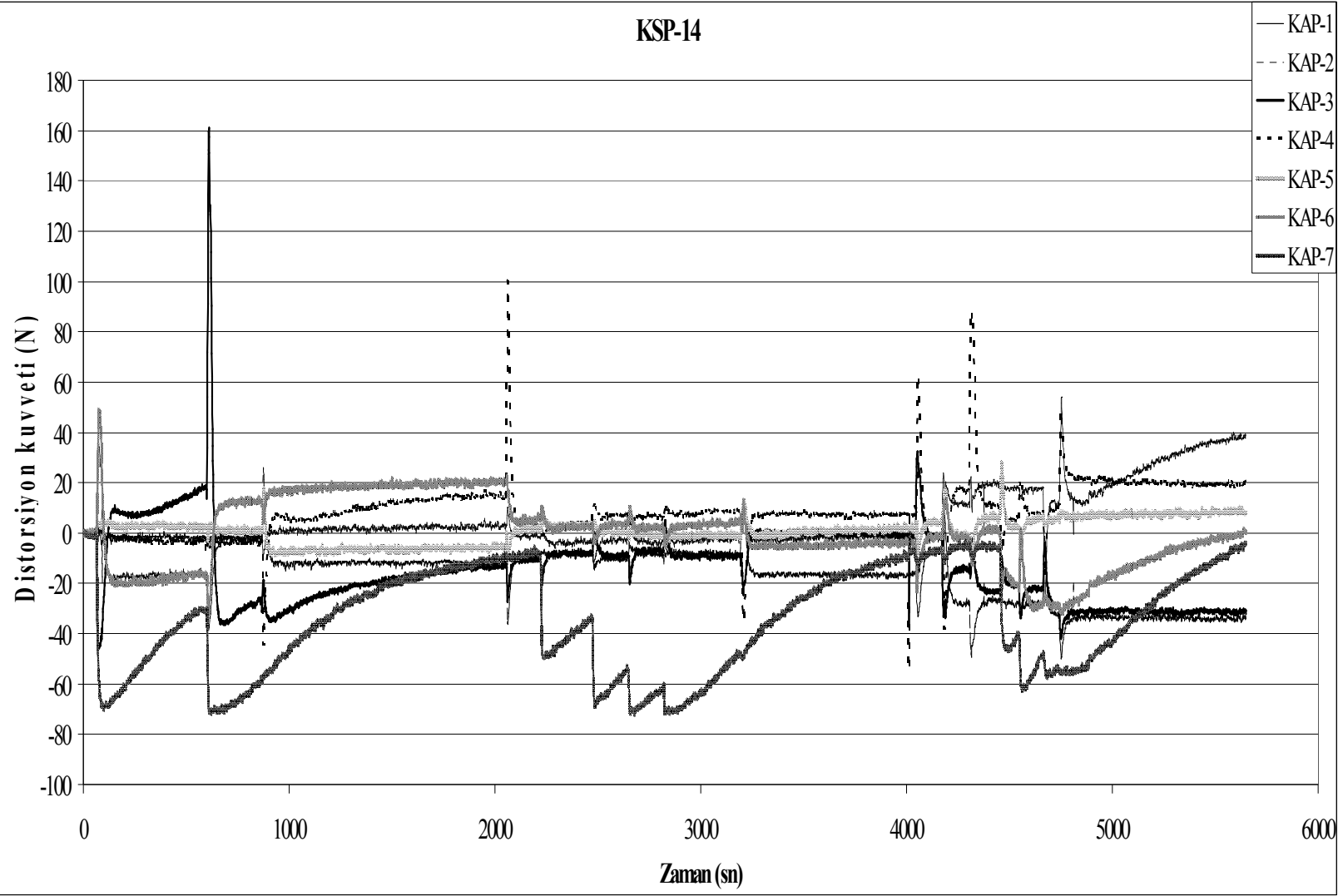
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



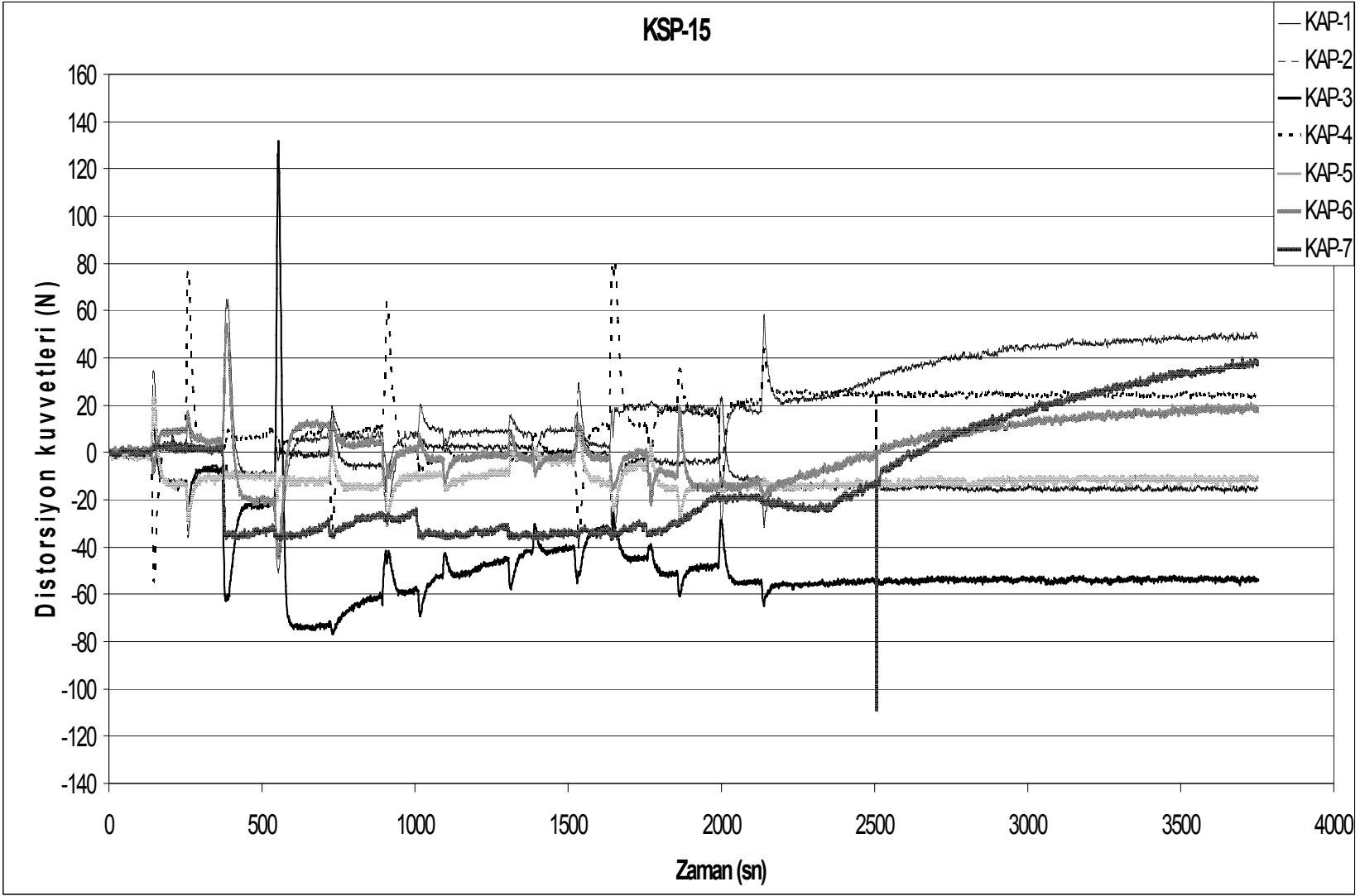
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



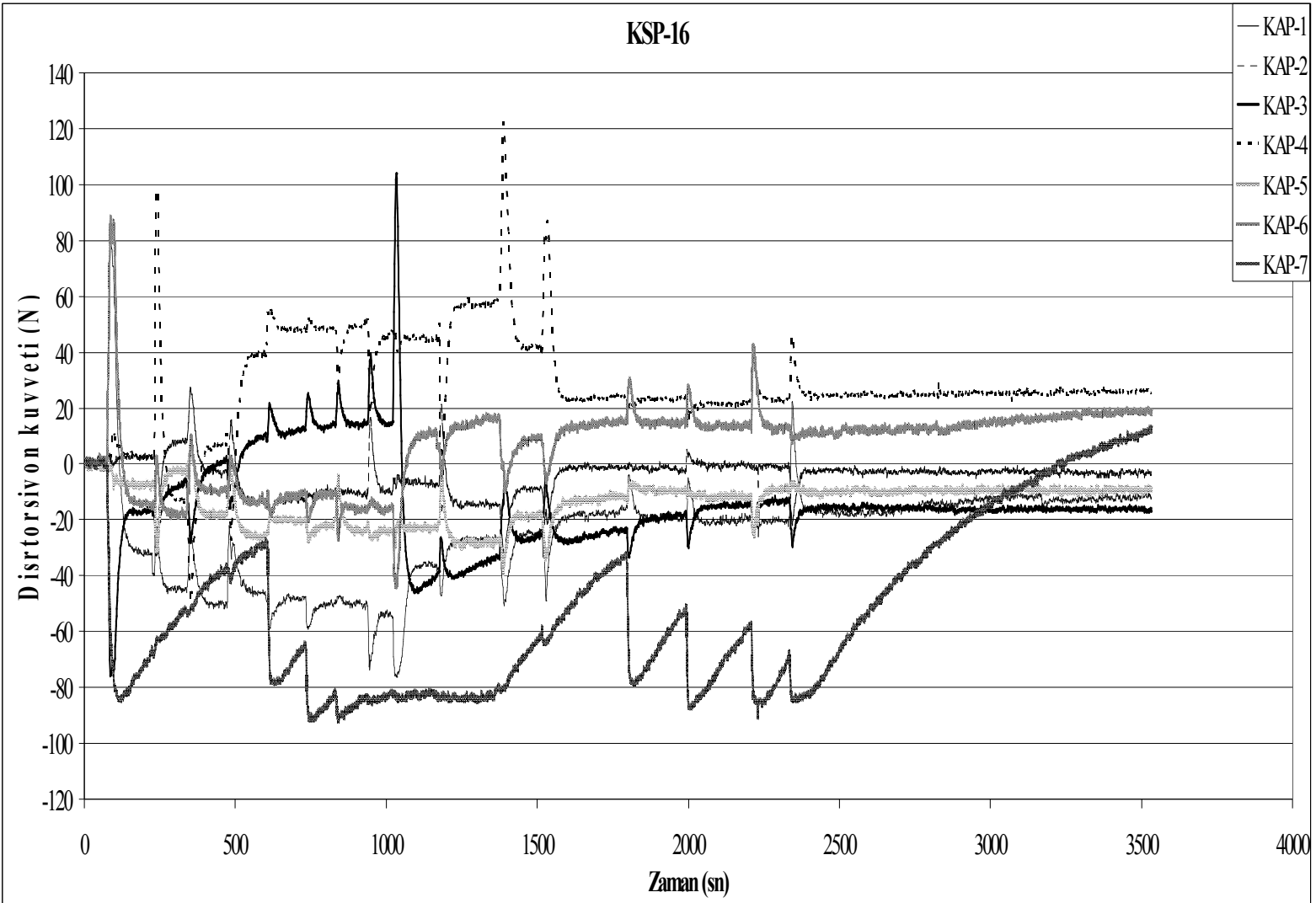
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



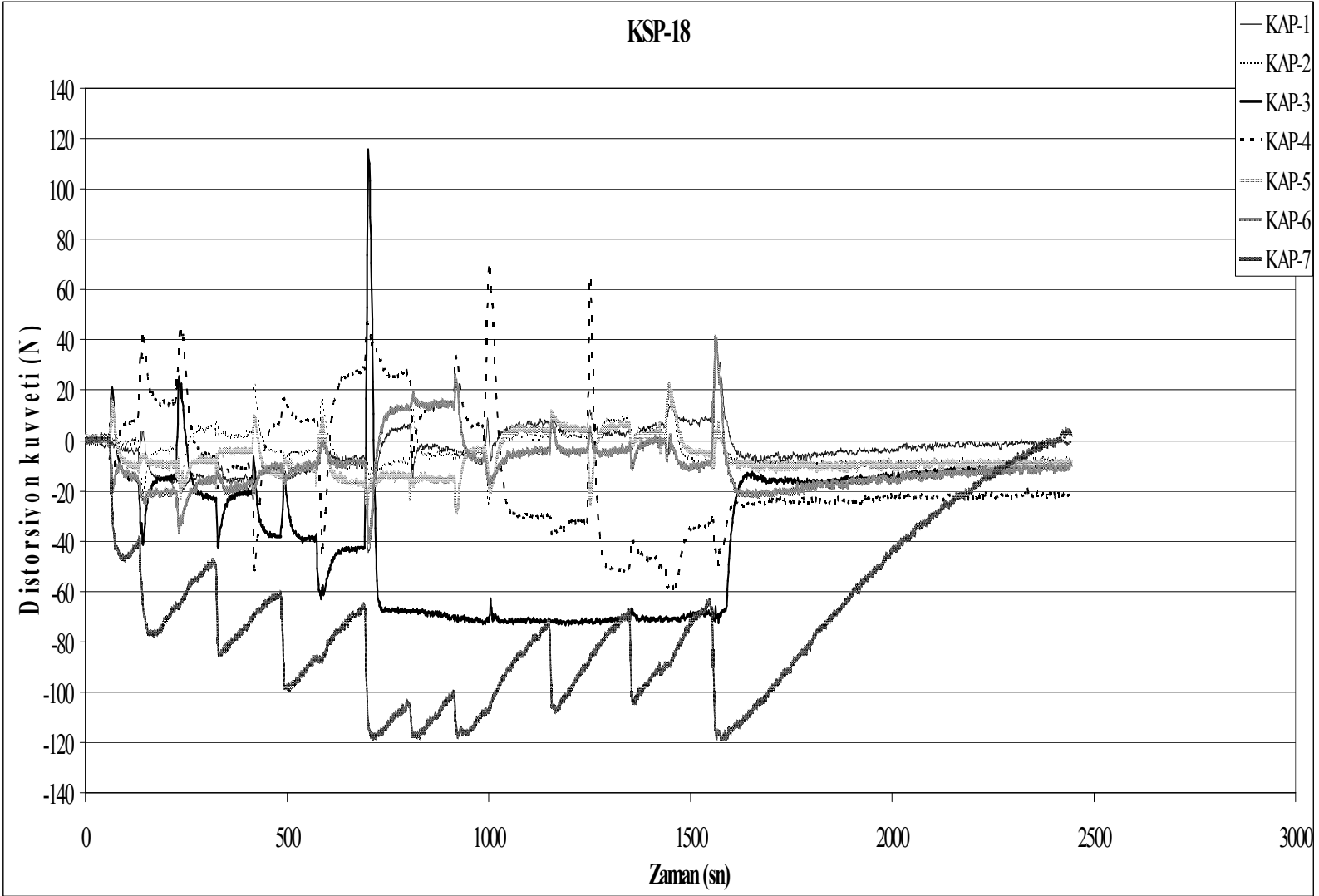
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



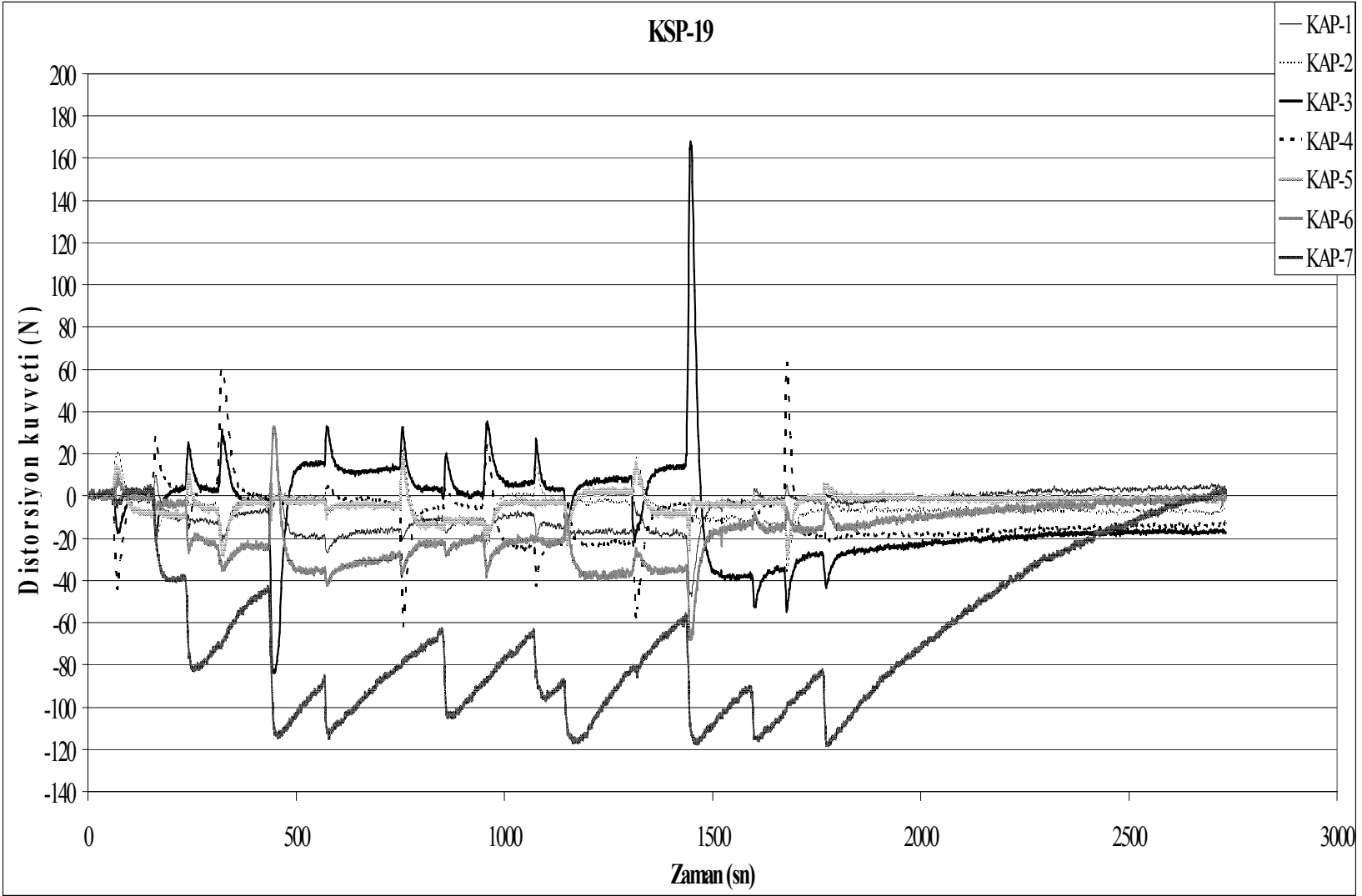
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



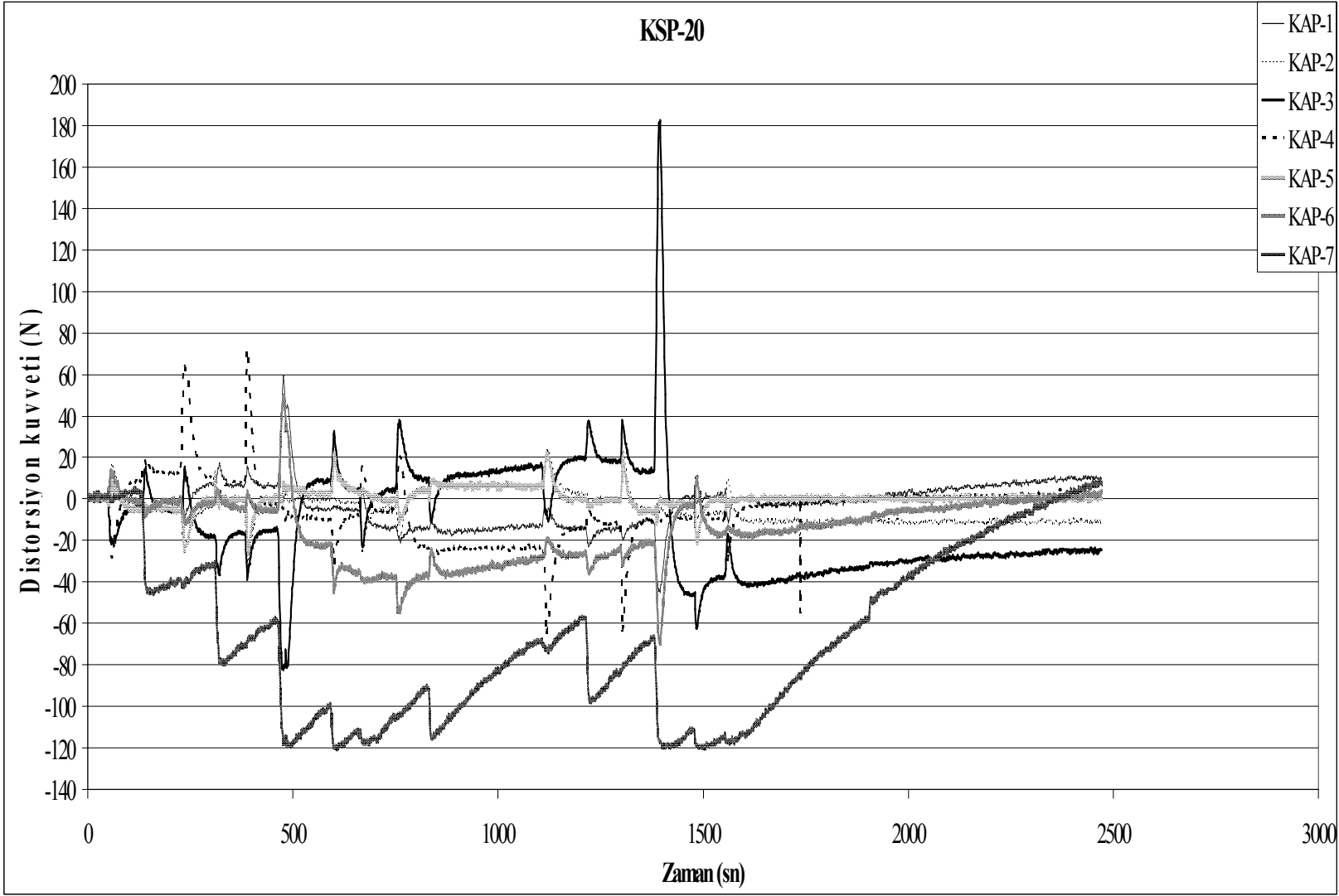
EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



EK-1 (Devam) Farklı KSP'lerin distorsiyon kuvveti ve zamana bağlı grafikleri



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : VURAL, Halil İbrahim
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 26.10.1977 Seydişehir
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 485 23 17
 Faks : 0 (312) 485 23 15
 e-mail : hhalill07@yahoo.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Metal İşleri Bölümü	2006
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Metal İşleri Bölümü	1998
Lise	Manavgat Endüstri Meslek Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-2006	MEB	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. -

Hobiler

Tiyatro, Kitap okuma