

**I - KİRİŞ ÜRETİMİNDE KÖŞE KAYNAKLARI KAYNAK SIRASI
PLANININ DİSTORSİYON KUVVETLERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

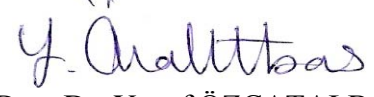
Yavuz AKTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2007
ANKARA**

Yavuz AKTAŞ tarafından hazırlanan I - KİRİŞ ÜRETİMİNDE KÖŞE KAYNAKLARI KAYNAK SIRASI PLANININ DİSTORSİYON KUVVETLERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin YÜKSEK LİSANS tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

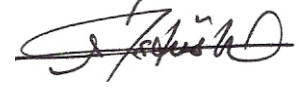
Başkan: : Prof. Dr. Adem KURT



Üye : Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ



Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ERTÜRK



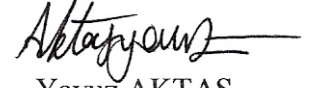
Tarih : 31.01.2007

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.


Yavuz AKTAŞ

**I - KİRİŞ ÜRETİMİNDE KÖŞE KAYNAKLARI KAYNAK SIRASI
PLANININ DİSTORSİYON KUVVETLERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Yavuz AKTAŞ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2007**

ÖZET

Bu çalışmada, kaynaklı birleştirmeye üretilen I – kirişlerde meydana gelen çarpılmaları en aza indirmek amacıyla uygun kaynak sırası planının (KSP) belirlenmesi amaçlanmıştır. Distorsiyon kuvvetlerini belirleyebilmek için rijit bir kafes çerçeve hazırlanmış ve distorsiyon kuvvetlerini ölçen 7 ayrı gerinim ölçerli (strain gauge) kuvvet algılayıcı plaka (KAP), I - kiriş ile rijit çerçeve arasına yerleştirilmiştir.

Farklı KSP’lerin uygulanması sırasında, I kirişlerde oluşan distorsiyon eğilimleri KAP’lar vasıtasıyla veri toplama cihazına ve kişisel bilgisayara aktarılmıştır. Bu sayede, KSP/distorsiyon ilişkisi, bilgisayar ortamında AMR Win Kontrol programı ile analiz edilmiştir. 12 değişik kombinasyondaki KSP’ler vasıtasıyla, kaynaklı birleştirilen I kirişlerde oluşan distorsiyon kuvvetleri belirlenmiştir.

Kiriş ortasına dayalı ve dar bölgede ısı yoğunlaşmasını önleyen KSP uygulamalarında minimum distorsiyon kuvvetleri ve çarpılma eğilimleri belirlenmiştir.

Özellikle kiriş uçlarından kiriş ortasına yönelen kaynak işlemleri içeren KSP’lerde ise en büyük distorsiyon kuvvetleri belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 710.3.019

**Anahtar Kelimeler : Ark kaynağı, I - kiriş, kaynak sırası planı (KSP),
distorsiyon, distorsiyon kuvvetleri**

Sayfa Adedi : 143

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ

EFFECTS OF WELDING SEQUENCE OF FILLET WELDS IN I-BEAMS ON DISTORTION FORCES

(M.Sc. Thesis)

Yavuz AKTAŞ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2007

ABSTRACT

The aim of this study is to determine welding sequence planning (WSP) which will provide minimum distortion in I beams fabricated by arc welding. For this purposes, arc spot welded I beam was placed between a rigid frame and force measuring plates (FMPs) with strain-gauge. During applications of various WSP, distortion tendency in I beams were measured by means of FMSs and distortion forces were analyzed by using AMR Win Control programme. Distortion forces created in I beams fabricated by using WSP with 12 combinations were determined.

The minimum distortion forces and distortion tendency were determined for WSP which prevents heat concentration and the other is based on centre of I beam.

Maximum distortion forces were determined for welding sequences directed from the end to the centre of I beam.

Science Code : 710.3.019

**Key Words :Arc welding, I - beam, welding sequence planning (WSP),
distortion, distortion forces**

Page Number: 143

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinde, gerekli materyallerin temin edilmesinde büyük katkıları olan, yoğun çalışmaları arasında bana zaman ayırarak rehberlik eden ve beni yönlendiren danışmanım, hocam, Sayın Doç. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ'a, Yüksek Lisans Öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Adem KURT, Prof. Dr. Mehmet TÜRKER ve Yard. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ hocalarıma, Araştırma Görevlisi Tayfun FINDIK'a, tecrübelerinden yararlandığım H. İbrahim VURAL'a, resimlerin çizimini yapan öğretmen arkadaşlarım Necip KÖSEHAN, Emin ÖREN ve Ömer TAŞTEKİN'e, çevirileri yapan İngilizce öğretmeni Ayla GÜL'e, yardımlarını esirgemeyen kıymetli dostum V. Şahin EKİNCİ'ye, öğretmen arkadaşlarıma ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, eşime ve dünyaya henüz gözlerini açan oğlum Yavuz Selim'e şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	xii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xx
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK NEDİR?.....	4
2.1.Ergitmeli Kaynaklar.....	5
2.1.1. Oksi-gaz kaynağı	5
2.1.2. Elektrik ark kaynağı.....	7
2.1.3. Tozaltı kaynağı	8
2.1.4. Gazaltı kaynağı	10
3. KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA OLUŞAN KALINTI GERİLMELER	12
3.1. Kalıntı Gerilmelerin Sebepleri.....	13
3.2. Kalıntı Gerilmelerin Oluşumu.....	15
3.2.1. Konstrüksiyondaki uyumsuzluk nedeniyle oluşan kalıntı gerilmeler.....	15
3.2.2. Eşit dağılmayan plastik şekil değişimine bağlı olarak oluşan kalıntı gerilmeler.....	20
3.3. Kaynak Anında Meydana Gelen Termal Gerilmeler ve Metal Hareketleri.....	20

Sayfa

3.4. Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Tipik Kalıntı Gerilmeler.....	26
3.4.1. Alın kaynağında kalıntı gerilmeler.....	26
3.4.2. İç köşe kaynağında kalıntı gerilmeler.....	28
3.4.3. Kaynaklı profillerdeki kalıntı gerilme dağılımı.....	28
3.5. Malzeme Boyutlarının Kalıntı Gerilmeler Üzerine Etkisi.....	30
3.5.1. Parça uzunluğunun etkisi	30
3.5.2. Parça genişliğinin etkisi.....	33
3.6. Kaynak Sırasının Kalıntı Gerilmeler Üzerine Etkisi.....	33
3.7. Kalıntı Gerilmelerin Etkileri.....	34
3.8. Kaynaklı Yapılarda Kalıntı Gerilme Ölçümü.....	37
4. KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA OLUŞAN DİSTORSİYONLAR.....	41
4.1. Distorsiyonların Fiziksel Esasları.....	42
4.2. Kaynaklı Birleştirmelerde Distorsiyon Oluşmasına Etki Eden Faktörler.....	47
4.2.1. Konstrüksiyonun rijitlik derecesi.....	47
4.2.2. Malzemenin metalürjik özellikleri	48
4.2.3. Isıl genleşme katsayısı.....	48
4.2.4. Isıl iletkenlik katsayısı	48
4.2.5. Kaynak hızı.....	49
4.2.6. Kaynak metalinin erime sıcaklığı.....	49
4.2.7. Akma sınırı.....	49
4.2.8. Elastiklik modülü.....	49
4.3. Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Oluşan Başlıca Distorsiyon Tipleri.....	50

Sayfa

4.3.1. Kaynaklı birleştirmelerde enine distorsiyon.....	55
4.3.2. Kaynaklı birleştirmelerde boyuna distorsiyon.....	62
4.3.3. Kaynaklı birleştirmelerde açısıl distorsiyon.....	65
4.3.4. Kaynaklı birleştirmelerde dönme distorsiyonu.....	70
4.3.5. Kaynaklı birleştirmelerde burkulma distorsiyonu.....	71
4.3.6. Kaynaklı birleştirmelerde kalınlık çekmesi.....	72
4.4. Kaynaklı Konstrüksiyonlardaki Distorsiyonu Azaltma ya da Önleme Yöntemleri	73
4.4.1. Ön ısıtma	74
4.4.2. Kaynak işleminden sonra ısıtma	74
4.4.3. Gerilim giderme ve yumuşatma tavı.....	75
4.4.4. Uygun kaynak ağız tasarımı.....	75
4.4.5. Kaynak işlemi ve donanımının seçimi	76
4.4.6. Elastik olarak önceden germe.....	77
4.4.7. Konstrüktif tedbirler.....	77
4.4.8. Teknolojik tedbirler	78
4.4.9. İşletme ile ilgili tedbirler.....	79
4.4.10. Kaynaktan sonraki tedbirler.....	80
4.5. Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Distorsiyonların Önlenmesi İçin Kaynak Planlarının ve Kaynak Sırası Planlarının Hazırlanması.....	80
4.5.1. Kaynak planları.....	81
4.5.2. Kaynak sırası planı (KSP).....	82
4.5.3. Kaynak sırası planlarının hazırlanmasında göz önüne alınması gereken kurallar.....	82

Sayfa

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	87
5.1. Kaynak Parametreleri.....	87
5.2. Deneylerde Kullanılan Malzeme Ölçüleri.....	87
5.3. Deney Sitemi ve Kullanılan Cihazlar.....	88
5.4. Kaynak Sırası Planı.....	91
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	95
6.1. KSP - 1 – Kenara Dayalı-Çapraz-Sürekli KSP.....	96
6.2. KSP - 2 – Kenara Dayalı-Sürekli KSP.....	98
6.3. KSP - 3 – Kenara Dayalı-Zıt Yönlü-Geri Adımlı KSP.....	100
6.4. KSP – 4 – Değişken Dağılımlı KSP.....	102
6.5. KSP – 5- Kenara ve Ortaya Dayalı KSP.....	104
6.6. KSP – 6 – Kenara Dayalı-Çapraz KSP.....	106
6.7. KSP – 7 – Kenara Dayalı KSP.....	109
6.8. KSP – 8- Ortaya Dayalı KSP.....	111
6.9. KSP – 9 – Ortaya Dayalı-Duraklamalı KSP.....	114
6.10. KSP – 10 – Kenara Dayalı-Aynı Yönlü-Geri Adımlı KSP.....	116
6.11. KSP – 11A – İki Kaynakçılı-Zıt Yönlü KSP.....	118
6.12. KSP – 11B – İki Kaynakçılı-Aynı Yönlü KSP.....	120
6.13. İdeal Olmayan ve Önerilemeyecek Kaynak Sırası Planları ve Özellikleri.....	122
6.14. İdeal Olan ve Önerilebilecek Kaynak Sırası Planları ve Özellikleri.....	123
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	125
KAYNAKLAR.....	127

Sayfa

EKLER.....	130
EK-1 KSP - 1'in distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	131
EK-2 KSP - 2'nin distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	132
EK-3 KSP - 3'ün distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	133
EK-4 KSP - 4'ün distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	134
EK-5 KSP - 5'in distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	135
EK-6 KSP - 6'nın distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	136
EK-7 KSP - 7'nin distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	137
EK-8 KSP - 8'in distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	138
EK-9 KSP - 9'un distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	139
EK-10 KSP - 10'un distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	140
EK-11 KSP – 11A'nın distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	141
EK-12 KSP – 11B'nin distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği.....	142
ÖZGEÇMİŞ.....	143

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. Oksi-gaz kaynağı uygulaması a) Sol kaynak b) Sağ kaynak.....	6
Şekil 2.4. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi.....	8
Şekil 2.5. Toz altı kaynak yönteminde kaynak bölgesi.....	9
Şekil 2.6. TIG kaynak yönteminde kaynak bölgesi.....	10
Şekil 2.7. MIG kaynak yönteminde ark bölgesi.....	11
Şekil 3.1. Taşlama ile talaş kaldırılan bir malzemede oluşan kalıntı gerilmeler.....	14
Şekil 3.2. Kaynak birleştirmesinden doğan kalıntı gerilmeler.....	14
Şekil 3.3. Farklı uzunluktaki çubukların uç bölgelerinden birleştirilmeleri sonucu oluşan artık gerilmeler.....	15
Şekil 3.4. Üç çubuklu çerçevede, ortadaki çubuğun gerilme-sıcaklık eğrisi.....	16
Şekil 3.5. Kalıntı gerilmelerinin gözlemlendiği değişik parçalar.....	18
Şekil 3.6. Uzaması ve kısalması kesinlikle engellenen kısa çubuğun ısınma soğuma aşamalarında iç gerilmelerin dağılımı.....	20
Şekil 3.7. Kaynak esnasında sıcaklık ve gerilme dağılımının şematik gösterilişi.....	22
Şekil 3.8. Tek pasolu alın kaynak birleştirmesinde kalıntı gerilme dağılımı	23
Şekil 3.9. Alın kaynağındaki kalıntı gerilmelerin tipik dağılımı.....	25
Şekil 3.10. Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri.....	26
Şekil 3.11. Kaynakta kalıntı gerilmelerin enine dağılımı.....	27
Şekil 3.12. Çok pasolu alın kaynağında kalıntı gerilme dağılımı	27
Şekil 3.13. T kaynak birleştirmelerinde kalıntı gerilme dağılımı.....	29

Şekil	Sayfa
Şekil 3.14. I ve kutu kaynaklı yapılarda kalıntı gerilme dağılımı.....	30
Şekil 3.15. Kaynaklı I şeklindeki bir kirişin kesitinde gerilme dağılımı.....	31
Şekil 3.16. Şekil 4.17’de verilen artık gerilme ölçümleri için kaynak şartları.....	32
Şekil 3.17. Kaynaklı parçalarda uzunluğun artık gerilme dağılımına etkisi.....	32
Şekil 3.18. Bir alın kaynaklı birleştirmeye uniform çekme gerilmesi yüklemesi ve boşaltılması sonucunda kalıntı gerilme dağılımında meydana gelen değişiklikler.....	36
Şekil 4.1. Serbest metal bir çubukta ısınma ve soğuma sonucunda boyut değişimi.....	43
Şekil 4.2. Uzunlamasına sınırlandırılmış metal bir çubukta ısınma ve soğuma sonucunda yığılma biçiminde boyut değişimi.....	44
Şekil 4.3. Sabitlenmiş metal çubukta ısınma ve soğuma esnasında görülen olaylar.....	44
Şekil 4.4. Parçaların kaynak işlemlerinde oluşan durumlar	45
Şekil 4.5. Kaynak gerilimleri ve çarpılma arasındaki ters orantı.....	46
Şekil 4.6. Kaynak hızının çekme gerilmesine etkisi.....	49
Şekil 4.7. Çeşitli distorsiyon şekilleri.....	50
Şekil 4.8. Muhtelif kaynak distorsiyon türleri.....	51
Şekil 4.9. Kaynaklı bir parça üzerinde çekme gerilmeleri ve distorsiyon türleri.....	52
Şekil 4.10. Kaynaklı bir parça üzerinde çekme türlerinin etkileri.....	53
Şekil 4.11. Kaynaklı bir parça üzerinde çekme türlerinin etkileri.....	53
Şekil 4.12. Kaynaklı yapılarda görülen çekme ve çarpılmalar.....	54
Şekil 4.13. Çok pasolu alın birleştirmelerinde, kaynak metali ağırlığının enine büzölmeler üzerine etkisi.....	56
Şekil 4.14. Alın kaynağı yapılan çelik levhalarda kalınlığın büzölmeye etkisi.....	56

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Alın kaynaklarında enine çekmeyi azaltmak için uygulanan metotların şematik diyagramı.....	58
Şekil 4.16. Alın kaynaklarında, kök açıklığının ve elektrot çapının enine çekmeye etkisi.....	59
Şekil 4.17. Çeşitli kaynak sırası ile kaynatılan bir yarık kaynağı numunesinde oluşan enine çekmenin dağılımı.....	60
Şekil 4.18. Tek V ve çift V alın kaynaklarında levha kalınlığına bağlı olarak enine distorsiyonun artışı.....	61
Şekil 4.19. Tek V alın kaynaklarında kaynak metali kesit alanına bağlı olarak enine distorsiyonun artışı.....	61
Şekil 4.20. Fe 37 ve Fe 42 çeliklerin örtülü elektrotla yapılan iç köşe kaynaklarında enine distorsiyon miktarı.....	62
Şekil 4.21. I köşebentte oluşan boyuna distorsiyon.....	63
Şekil 4.22. İç köşe kaynağı ile birleştirilmiş parçada oluşan boyuna distorsiyon.....	64
Şekil 4.23. Boyuna çekmenin, mukavemet kesiti A_p ile kaynak metali kesiti A_w 'nin bir fonksiyonu olarak değişimi.....	64
Şekil 4.24. Fe 37 Çeliğinden yapılmış iç köşe birleştirmelerinde açısall distorsiyonun kaynak dikiş yüksekliği ile değişimi.....	65
Şekil 4.25. T birleştirmelerinde meydana gelen açısall distorsiyon.....	66
Şekil 4.26. Çeşitli sac kalınlıklarında ve akım şiddetlerinde iç köşe dikişlerinde oluşan açısall değişme.....	66
Şekil 4.27. İç köşe dikişlerinde meydana gelen açısall distorsiyon.....	67
Şekil 4.28. Serbest büzülen çeliğin iç köşe kaynaklarında açısall distorsiyonu.....	67
Şekil 4.29. Çeşitli kaynak yöntemlerinin ve dikiş şeklinin açısall değişime etkisi.....	68
Şekil 4.30. Tek V kaynak ağzında sac kalınlığının açısall distorsiyona etkisi.....	69
Şekil 4.31. Örtülü elektrotla kaynak esnasında kaynatılmayan kısımda dönme distorsiyonu.....	70

Şekil	Sayfa
Şekil 4.32. Tozaltı kaynağı esnasında kaynatılmayan kısımda dönme distorsiyonu.....	71
Şekil 4.33. Kaynaklı I kesitinde burkulma.....	72
Şekil 4.34. İnce saclarda çekmenin parçayı düzlemsellikten saptırması (peçleme).....	73
Şekil 4.35. T iç köşe kaynaklarında öntavlamanın açısal çarpılmaya tesiri.....	75
Şekil 4.36. V kaynak ağzı ile X kaynak ağzı için gerekli kaynak metalinin karşılaştırılması.....	76
Şekil 4.37. Doğru kenar hazırlığı ve düzenleme.....	76
Şekil 4.38. Açısal çarpılmaya karşı elastik germe ile azaltılması.....	77
Şekil 4.39. Açısal çekmeyi önlemek için çekme kuvvetlerinin ters yönüne verilen açı.....	79
Şekil 4.40. Levhaların kaynakla birleştirilme sırası.....	84
Şekil 4.41. Kaynaklı levhaya takviye kaynatılması.....	84
Şekil 4.42. Adım atlanarak yapılan geri adım kaynağı.....	84
Şekil 4.43. T Kaynakların düzenlenmesi.....	85
Şekil 4.44. İnce bir sac konsrüksiyonun takviyelerle tespiti.....	85
Şekil 4.45. I – kiriş üretiminde işlem sırası.....	85
Şekil 4.46. İki I profilin alın altına birleştirilmesinde distorsyona karşı alınmış tedbirler.....	86
Şekil 5.1. Deney numunesi.....	88
Şekil 5.2. Kuvvet algılayıcı plaka (KAP) ve köprü bağlantısı.....	89
Şekil 5.3. Kuvvet-gerilim arasındaki lineer ilişki.....	89
Şekil 5.4. Deney düzeneğinin şematik gösterilişi.....	92
Şekil 6.1. 1 nolu KSP'nin uygulanması.....	96

Şekil	Sayfa
Şekil 6.2. 1 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	97
Şekil 6.3. 1 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I - kiriş üzerinde gösterimi.....	97
Şekil 6.4. 2 nolu KSP'nin uygulanması.....	98
Şekil 6.5. 2 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	99
Şekil 6.6. 2 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I - kiriş üzerinde gösterimi.....	99
Şekil 6.7. 3 nolu KSP'nin uygulanması.....	100
Şekil 6.8. 3 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	101
Şekil 6.9. 3 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I –kiriş üzerinde gösterimi.....	101
Şekil 6.10. 4 nolu KSP'nin uygulanması.....	102
Şekil 6.11. 4 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	103
Şekil 6.12. 4 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi.....	103
Şekil 6.13. 5 nolu KSP'nin uygulanması.....	104
Şekil 6.14. 5 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	105
Şekil 6.15. 5 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi.....	105
Şekil 6.16. 6 nolu KSP'nin uygulanması.....	107
Şekil 6.17. 6 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	107
Şekil 6.18. 6 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi.....	108
Şekil 6.19. 7 nolu KSP'nin uygulanması.....	110
Şekil 6.20. 7 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	110

Şekil	Sayfa
Şekil 6.21. 7 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi.....	111
Şekil 6.22. 8 nolu KSP'nin uygulanması.....	112
Şekil 6.23. 8 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri	112
Şekil 6.24. 8 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi.....	113
Şekil 6.25. 9 nolu KSP'nin uygulanması.....	114
Şekil 6.26. 9 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	115
Şekil 6.27. 9 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi.....	115
Şekil 6.28. 10 nolu KSP'nin uygulanması.....	117
Şekil 6.29. 10 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	117
Şekil 6.30. 10 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi.....	118
Şekil 6.31. 11A nolu KSP'nin uygulanması.....	118
Şekil 6.32. 11A nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	119
Şekil 6.33. 11A nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi.....	120
Şekil 6.34. 11B nolu KSP'nin uygulanması.....	120
Şekil 6.35. 11B nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri.....	122
Şekil 6.36 11B nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi.....	122

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü	90
Resim 5.2. Deney numunesi ve kuvvet algılayıcı plakalar.....	91
Resim 6. 1. Distorsiyon kuvvetlerinden en az etkilenmiş 8 nolu deney numunesi.....	113

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
a	Kaynak kalınlığı
cm	Santimetre
Fe	Demir
I	Akım(Amper)
ksi	Basınç birimi
max	Maksimum
min	Minimum
mm	Milimetre
mV	Milivolt
μV	Mikrovolt
s	Saniye
V	Kaynak hızı
σ	Gerilme
Ø	Çap

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

1.GİRİŞ

Kaynak birleştirme işleminin büyük çoğunluğu ısı içerir. Kaynak işleminde parça, yerel olarak ergime sıcaklığına kadar ısıtılır. 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)'da 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 [1-3].

Isınma ve soğumadaki farklılıklar, kaynak yapılan parçada istenmeyen artık (kalıntı) gerilmelere ve distorsiyonlara neden olabilir.

Kalıntı gerilmeler, kaynaklı birleştirmenin emniyetine etki eder ve beklenmeyen şekilde hasara uğramasına neden olabilir. Artık gerilmeler sistemin çalışması esnasında oluşan gerilmelerle birleşip gevrek kırılmaya ve gerilmeli korozyona sebep olurlar.

Kaynaktaki kalıntı gerilmelerin iki önemli etkisi vardır;

1. Distorsiyona sebep olurlar.

2. Kaynaklı birleştirmenin erken kırılmasına yol açabilirler [4].

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, ısıl 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 [5].

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 düzeltilbildiği gibi ısı ve alev etkisiyle de düzeltme yapılabilir [1].

Bu çalışmada, 12 ayrı numuneye 12 farklı kaynak sırası planı (KSP) uygulanarak I – kiriş üretilmiştir. Kaynak dikişleri, elektrik ark kaynak yöntemi ile çekilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerde distorsiyona karşı kaynak sırası planı haricinde herhangi bir önlem alınmamıştır. Kaynaklı birleştirme işleminin bittikten sonra, soğumanın tamamlanmasının ardından alınan veriler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda I – kirişlerin kaynaklı üretiminde distorsiyonları en aza indirecek uygun kaynak sırası planı belirlenmeye çalışılmış ve bu plan hakkında genel bir yargıya ulaşılması hedeflenmiştir. Uygun kaynak sırası planını tespit ederek, kaynak öncesi

ve kaynak anındaki tedbirlerin en aza indirilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. 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. KAYNAK NEDİR?

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 birleştirmektir [5].

Metal kaynağı yöntemleri uygulanan enerjinin türü ve şiddetine göre değişiklik arz eder. Buna göre; ergitme kaynağı, basınç kaynağı, olmak üzere sınıflandırılabilceğı gibi, işlemin amacına göre de birleştirme ve dolgu kaynağı olarak da sınıflandırılır.

Birleştirme kaynağında iki veya daha fazla parça sökülemez bir bütün haline getirilir. Dolgu kaynağında ise, bir iş parçasının hacmindeki eksikliği tamamlamak veya hacmini büyütmek, ayrıca korozi ve aşındırıcı etkilere karşı korumak amacıyla, üzerine sınırlı olarak belirli özelliklere sahip malzeme yığmaktır [5].

Kaynağın sınıflandırılması, teknoloji ve şekle göre yapılırca prensip olarak, basınç kaynağında ısı ile birlikte parçalar birbirine bastırılır. Gereken ısı kaynağı, ocak (demirci kaynağı), elektrik direnci veya sürtünme olabilir.

Ergitme kaynağında, ısı ile birlikte elektrot denilen bir ek malzeme kullanılır. Burada ısı kaynağı oksihidrojen alevi, oksiasetilen alevi, elektrik arkı olabilir.

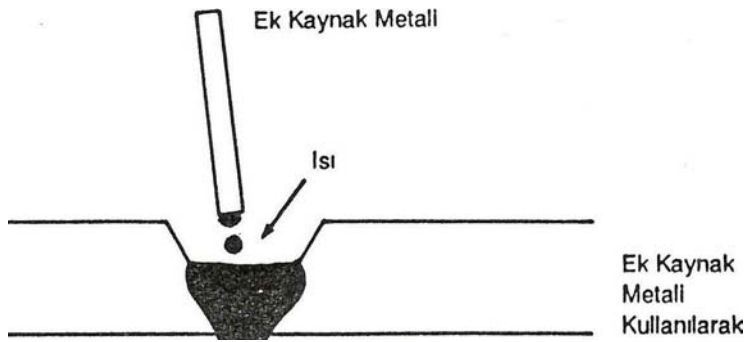
1- Basınç kaynağı: a-) Ocak kaynağı b-) Gaz basınç kaynağı c-) Elektrik direnç basınç kaynağı d-) Alın direnç kaynağı e-) Termit basınç kaynağı

2- Ergitme kaynağı: a-) Oksi-gaz kaynağı b-) Elektrik ark kaynağı c-) Tozaltı kaynağı d-) Gazaltı kaynağı

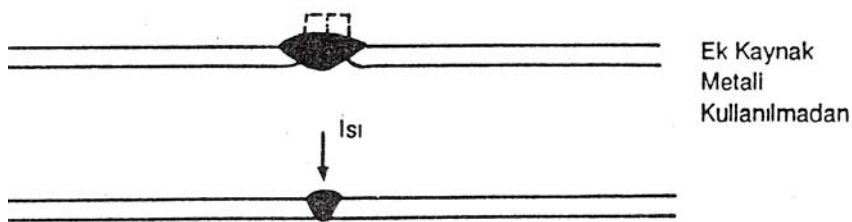
2.1. Ergitmeli Kaynaklar

Ergime kaynağı, ısıtma enerjisinin türüne ve kaynak bölgesinin havanın olumsuz etkilerinden korunma şekline göre, birbirinden farklılık gösteren çeşitli yöntemler uygulanarak gerçekleştirilir [5].

Ergitme kaynakları ile kaynak yapabilmek için, kaynak yerine verilen ısı, metallerin ergime sıcaklığından fazla olmalıdır ki birleştirilecek parçalar eriyebilsin ve bu ergime ile de kısa zamanda birleşebilsinler. Şekil 2.1’de ek kaynak metali kullanarak yapılan ergitme kaynağı, Şekil 2.2’de ek kaynak metali kullanılmadan yapılan ergitme kaynağı görülmektedir.



Şekil 2.1. Ek kaynak metali kullanarak yapılan ergitme kaynağı [5]

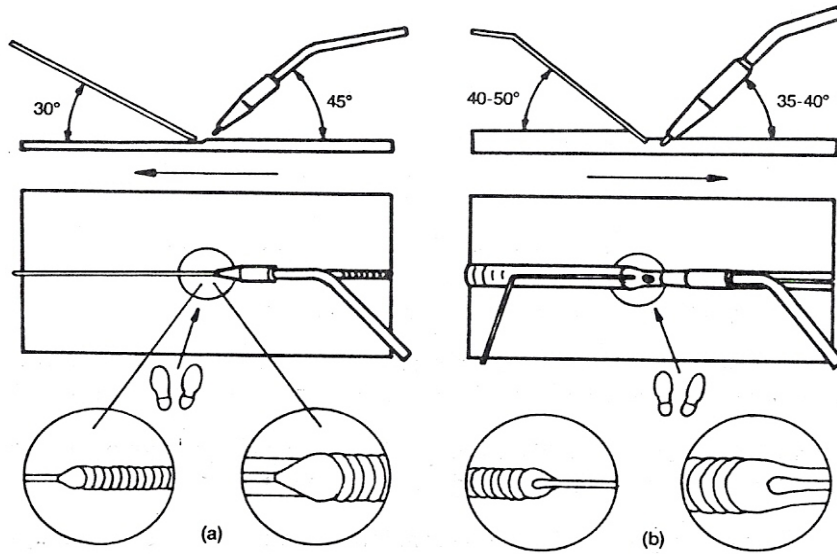


Şekil 2.2. Ek kaynak metali kullanılmadan yapılan ergitme kaynağı [5]

2.1.1. Oksi-gaz kaynağı

Oksi-gaz kaynağı bir ergitme kaynak uygulamasıdır. İş parçaları ergitme sıcaklıklarına kadar, ısı enerjisi kullanılarak tavlınır. Isı enerjisinin üretilmesinde

yanıcı ve yakıcı gazlardan yararlanılır. Kaynak alevinin atmosferik ortamda oluşturulması, ortamdaki havanın kullanılması olarak vermektedir. Meydana gelen sıcaklık değerleri, kaynak dikişinde bir kaynak banyosu oluşmasına olanak tanır. Bu banyo ek teli kullanılarak ya da kullanılmadan kaynak dikişi haline getirilir. Yanıcı gaz olarak asetilen, metan, bütan, hidrojen, propan kullanılırken, yakıcı gaz olarak oksijen kullanılır. Şekil 2.3’de oksî-gaz kaynağı uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.3. Oksî-gaz kaynağı uygulaması a) Sol kaynak b) Sağ kaynak [5]

Ergime için gerekli olan ısınnın biri yancı 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. Yancı gaz olarak ise genellikle asetilen kullanılır, çünkü bu gazla yüksek sıcaklıklara erişilebilir. Bunun dışında hidrojen, metan, propan, bütan, propan-bütan karışımı, hava gazı ve benzin ile benzol buharı kullanılan yancı gazlardır [6].

Oksî - gaz kaynağında kaynak alevi, çekirdek, redükleyici ve yelpaze bölgelerinden oluşur. Şaloma veya üfleç dediğimiz yakıcıya, yancı ve yakıcı gazlar iki ayrı hortum tarafından iletilir, üfleçte bu gazlar istenilen oranlarda karışır, üflecin bek kısmından dışarı çıkar ve burada yanarak kaynak alevini oluşturur. Kaynak alevi hem iş

parçasını hem de kaynak metalini ergitecek güçtedir. Ek kaynak metali gerektiğinde bir tel çubuk halinde kaynak bölgesine kaynakçı tarafından sokulur ve kaynak metalinin oluşması sağlanır [5,7].

Oksi – gaz kaynağının en önemli üstünlüğü olarak, kaynak dikişinin kontrolü ileri sürülebilir. Bunda kaynak işleminin yavaş yapılıyor olmasının katkısı büyüktür. Kaynak dikişinin kaynakçı tarafından kontrolü, ek telin kaynak banyosuna daldırılması sırasında banyonun istenilen biçimde oluşturulmasına olanak sağlar. Diğer yandan üflece verilecek açılar yardımıyla kaynak banyosunun kontrolü de mümkün olmaktadır [8].

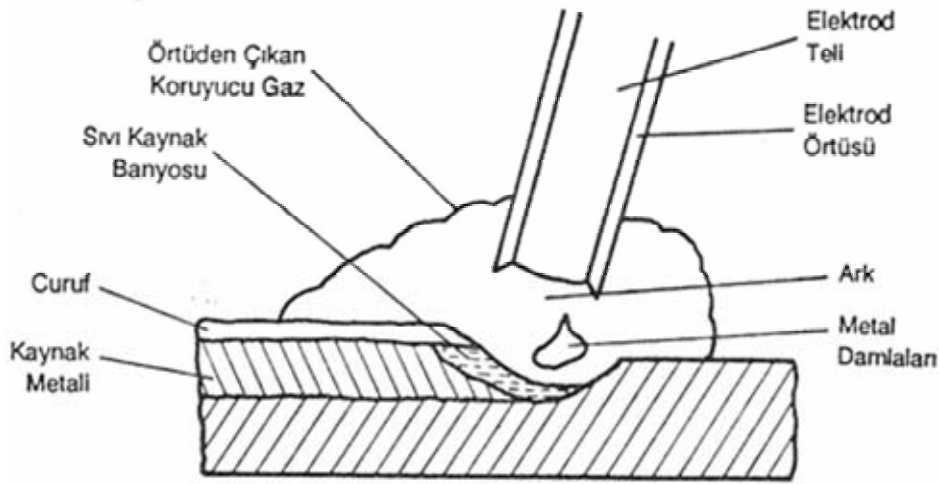
2.1.2. Elektrik ark kaynağı

Elektrik ark kaynağı, kaynak için gerekli ısının, örtü kaplı tükenen bir elektrot ile iş parçası arasında oluşan ark sayesinde ortaya çıktığı, elle yapılan bir ark kaynak yöntemidir [5].

Elektrotun ucu, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynağa yakın bölgeleri, atmosferin zararlı etkilerinden örtü maddesinin yanması ve ayrışması ile oluşan gazlar tarafından korunur. Kaynak anında ergimiş örtü maddesinin oluşturduğu cüruf kaynak banyosundaki ergimiş kaynak metali için ek bir koruma sağlar. İlave metal (dolgu metali, ilave tel, elektrot), tükenen elektrotun çekirdek telinden ve bazı elektrotlarda da elektrot örtüsündeki metal tozları tarafından sağlanır. Örtülü elektrotla elektrik ark kaynağı sahip olduğu avantajları nedeniyle metallerin birleştirilmesinde en çok kullanılan kaynak yöntemidir (Şekil 2.4).

Örtülü elektrot ark kaynağı açık ve kapalı alanlarda uygulanabilir. Elektrot ile ulaşılabilen her noktada ve pozisyonda kaynak yapmak mümkündür. Diğer kaynak yöntemleri ile ulaşılamayan dar ve sınırlı alanlarda kaynak yapmak mümkündür. Kaynak makinesinin güç kaynağı uçları uzatılabildiği için uzak mesafedeki bağlantılarda da kaynak yapılabilir. Kaynak ekipmanları hafif ve taşınabilir. Pek çok malzemenin kimyasal ve mekanik özelliklerini karşılayacak örtülü elektrot türü

mevcuttur. Bu nedenle kaynaklı birleştirmeler de ana malzemenin sahip olduğu özelliklere sahip olabilir. Ayrıca elektrik ark kaynağının metal yığıma hızı ve verimliliğı pek çok ark kaynak yönteminden düşüktür.



Şekil 2.4. Örtülü elektrot ile ark kaynağında kaynak bölgesi [5]

Elektrot, kaynak makinesinden üretilen akımı iş parçasına kadar taşıyarak arkın oluşmasını sağlar. Arkın oluşması ile elektrotun uç kısmı ve tam karşısı olan alan erir. Ergiyik elektrot, gereçteki ergiyik alana damlalar halinde akarak dikişini oluşturur. Elektrotlar belli boylarda kesik çubuklar şeklindedir, bu nedenle her elektrot tükendiğinde kaynağı durdurmak gerekir. Her kaynak pasosu sonrasında kaynak metali üzerinde oluşan cürufu temizlemek gerekir [9].

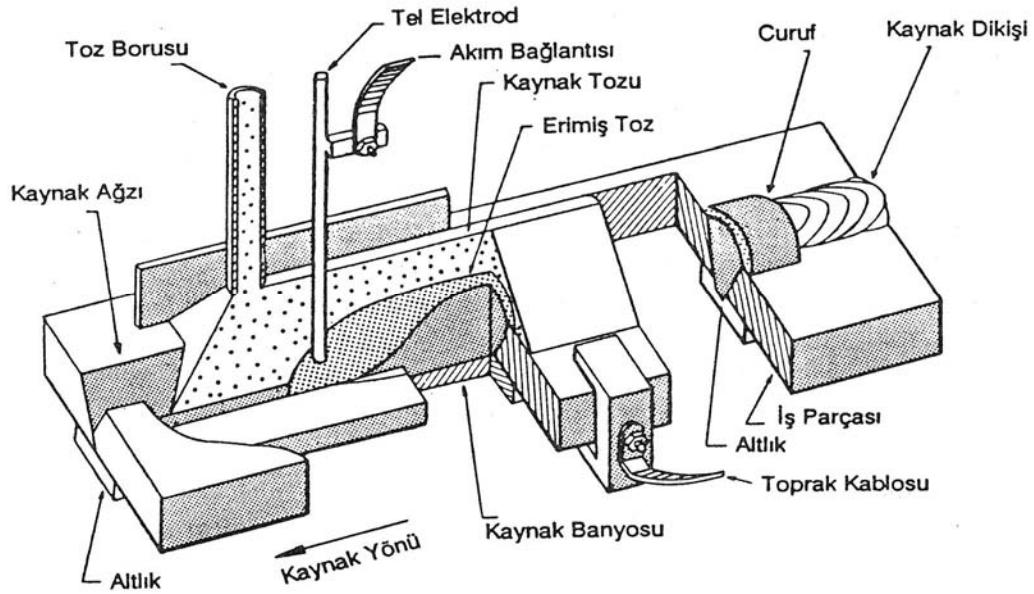
Örtülü elektrotlarla ark kaynağında elektrot örtüsünün kullanılmasının temel nedeni ergimiş kaynak metalini atmosferin (oksijen ve azot) olumsuz etkilerinden korumaktır. Aynı zamanda örtü, kaynak işleminin başarısına katkıda bulunan birkaç görevi de yerine getirir [10]

2.1.3. Tozaltı 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 (Şekil 2.5). 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 [6-11].

Düz ve silindirik parçaların kaynağında, her kalınlık ve boyuttaki boruların kaynaklarında ve sert dolgu kaynaklarında kullanılabilen yüksek kaynak hızına ve yüksek metal yığılma hızına sahip bir yöntemdir. Hatasız ve yüksek mekanik dayanımlı kaynak dikişleri verir. Kaynak esnasında sıçrama olmaz ve ark ışınları görünmez bu nedenle kaynak operatörü için gereken koruma daha azdır. Tozaltı kaynağı kapalı ve açık alanlarda uygulanabilir.



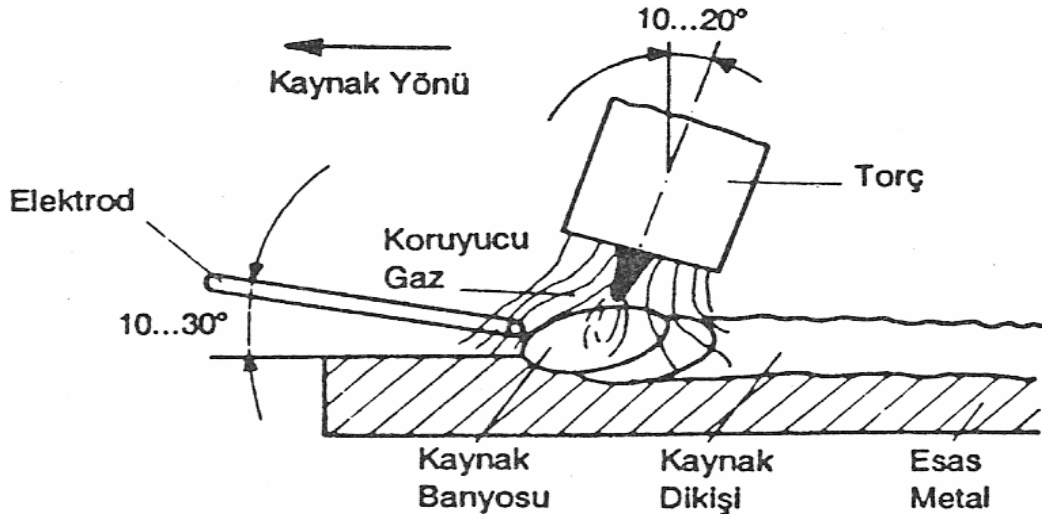
Şekil 2.5. Toz altı kaynak yönteminde kaynak bölgesi [5]

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 artırma yönünde olumsuzlukları mevcuttur.

2.1.4. Gazaltı kaynağı

Kaynak yapılan alanın koruyucu bir gaz atmosferi ile korunduğu ark kaynak yöntemidir. Koruyucu gaz kaynağı, ergimeyen elektrotlu bir tungsten elektrotlu koruyucu gaz kaynağı (TIG) ve ergiyen bir tel elektrotlu 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].

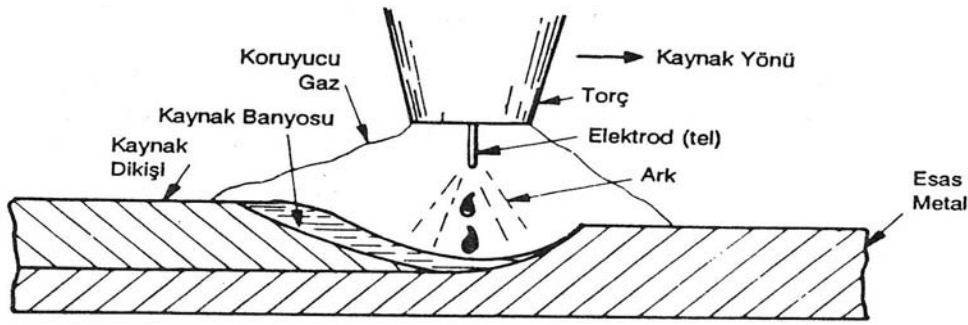


Şekil 2.6. TIG kaynak yönteminde kaynak bölgesi [5]

TIG kaynak yöntemi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, demir esaslı alaşımların kaynağında ve endüstride karşılaşılan demir dışı metal ve alaşımların çok büyük bir kısmının kaynatılmasında başarı ile kullanılabilmekte ve bütün kaynak pozisyonlarında sağlıklı sonuçlar alınabilmektedir. Bu yöntem ince levhaların

kaynağında çok başarılı sonuçlar vermesinin yanı sıra kalın parçalara da kolayca uygulanabilmektedir [5].

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 2.7. MIG kaynak yönteminde ark bölgesi [5]

Kaynak için gerekli olan ark kaynak torcundan gelen çıplak kaynak teli aracılığıyla oluşur. Torç içerisindeki telin, şasenin bağlı olduğu iş parçasına değmesiyle başlayan kaynak, kaynakçının isteğine bağlı olarak devam eder. TIG kaynağında olduğu gibi kaynakçının, ilave tel kullanmasına gerek yoktur. Kaynak için gerekli olan kaynak teli (elektrot) örtüsüz şekliyle, otomatik tel verme sisteminden kaynak banyosuna iletilir. Bu yönüyle kaynakçının, fazla oranda becerili olmasını gerektirmeyen bir kaynak yöntemidir (Şekil 2.7) [14]. Geliştirilen kaynak donanımlarıyla kaynak mesafesi, kaynak hızı ve kaynak şiddeti otomatik olarak düzenlenmiştir. Kaynak teli tel verme sisteminden sürekli kaynak banyosuna iletiildiğinden, örtülü elektrotla yapılan ark kaynağında olduğu gibi elektrot değiştirme ile zaman kaybı ve atılan elektrot uçları ile elektrot kaybı söz konusu değildir. Örtüsüz elektrotların üzeri oksitlenmeyi önlemek ve telin kaynak akımını iletmesi için bakır kaplanmıştır [15].

3. KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA OLUŞAN KALINTI GERİLMELER

Kaynak işlemi uygulanırken iş parçası bölgesel olarak ısıtıldığından malzeme içerisinde sıcaklık dağılımı eşit olmaz. Kaynak enerjisinin bölgesel uygulanmasına bağlı olarak malzeme içerisinde kompleks termal gerilmeler doğar. Ayrıca kaynak işlemi sırasında ısınma, erime, katılaşma, soğuma ve mikro yapı dönüşmelerinin meydana gelmesi de gerilme oluşumuna sebep olur. Kaynak bölgesinin (kaynak metali ve ısının tesiri altında kalan bölge) sıcaklığı ana metalden çok yüksektir. Ergimiş olan kaynak metali katılaşırken büzülme gösterir. Katılaşan metal ve ITAB soğurken büzülme ister. Bu bölgeyi çevreleyen soğuk ana metal, her türlü büzülmeyi engelleyerek gerilme oluşumuna sebep olur. Konstrüksiyonun rijitliği arttıkça büzülme engellenir ve dolayısı ile kaynak gerilmeleri artar. Kaynak ağız geometrisine bağlı olarak da gerilmeler artış gösterebilir. Kaynak bölgesi soğuduğunda kaynak bölgesinde lokal olarak oluşan gerilmeler yok olmadan kaldığı için bu gerilmelere kalıntı gerilmeler adı verilir [2].

Kaynak bölgesinde oluşan yüksek kalıntı gerilmeler makroskobik hataya sebep vermemiş olsa bile kaynaklı yapının servis sırasında kısa zamanda kırılmasına yol açabilir. Yüksek iç gerilmeler yorulma çatlaması ve gerilmeli korozyon kırılmasına teşvik eder. Basma kuvvetleri taşıyan elemanlarda yüksek basma kalıntı gerilmeleri elemanın burkulmasına sebep olabilir [2].

Bir kaynaklı yapıda kalıntı gerilme oluşumuna tamamen engel olmak kesinlikle imkansızdır. Ancak alınan tedbirler ile kalıntı gerilme seviyesinin düşük olması sağlanır. Ayrıca kaynak sonrası uygulanan işlemler ile kalıntı gerilmeler azaltılabilir [2].

Bir konstrüksiyonda sadece elastik şekil değişimine izin verilir. Uygulanan bir dış kuvvet, konstrüksiyonu oluşturan elemanlarda bir iç gerilme oluşturur. İç gerilmelerde elastik şekil değişimine sebep 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 [16].

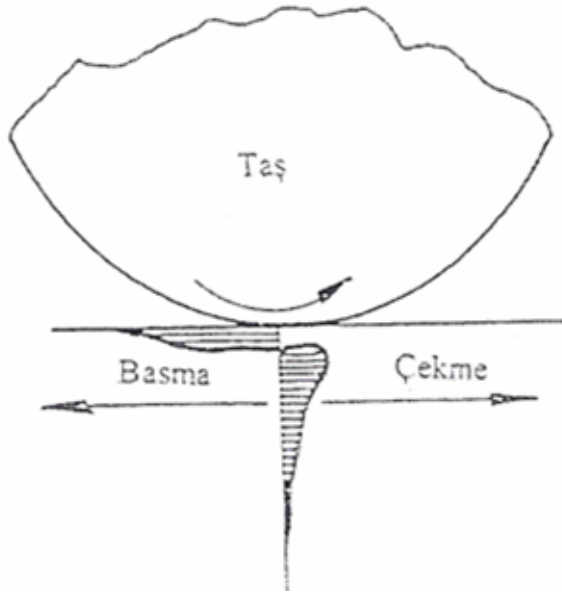
Kalıntı gerilmeler çekme veya basma gerilmesi şeklinde olabilmektedir. Kalıntı gerilmeler esas olarak tekdüze olmayan plastik deformasyona ve / veya tekdüze olmayan sıcaklık değişimine bağlı olarak meydana gelir [17].

3.1. Kalıntı Gerilmelerin Sebepleri

Kalıntı gerilmeler tüm malzemenin dış çevresinde yok edilirse bile, iç bünyede bir miktar kalır. Kalıntı gerilmeler için teknikte; iç gerilmeler, öz gerilmeler, tabii gerilmeler, karşı tepki gerilmeler, sıkıştırılmış gerilmeler gibi terimler kullanılır. Kalıntı gerilmeler, malzeme düzensiz bir ısı dağılımına maruz bırakılarak oluşturulmuşsa, termal gerilme olarak adlandırılır [4].

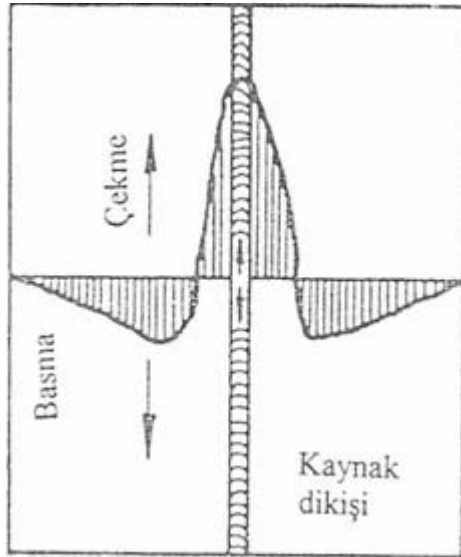
Kalıntı gerilmeler, işlenmiş bir parçada tüm dış yükler kaldırıldıktan sonra kalan gerilmelerdir. Metal parçaların üretilmesi sırasında, düzensiz plastik deformasyon ve düzensiz sıcaklık değişimine bağlı olarak kalıntı gerilmeler meydana gelir. Kalıntı gerilmeler malzeme bünyesinde, çeşitli imalat basamakları sırasında oluşurlar. Düz sac levha, çeşitli profil ve çubuk gibi birçok malzemede, haddeleme dövme veya dökme sırasında oluşabilirler. Hatta malzemenin bükülmesi, biçim verilmesi, kesilmesi, işlenmesi, taşlanması, kaynağı gibi imalat metotları sırasında da kalıntı gerilmeler oluşabilirler. Mesela taşlama ile yüzeyinde ince talaş kaldırılan bir malzemede oluşan kalıntı gerilme dağılımı Şekil 3.1’de görülmektedir [18].

İmalatın değişik aşamalarında ki ısı işlemlerde kalıntı gerilmeleri etkileyebilir. Örneğin, yüksek sıcaklıkta su verme kalıntı gerilmelere yol açarken, gerilim giderme tavlaması bunları azaltabilir [1].



Şekil 3.1. Taşlama ile talaş kaldırılan bir malzemede oluşan kalıntı gerilmeler [1]

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) [1].



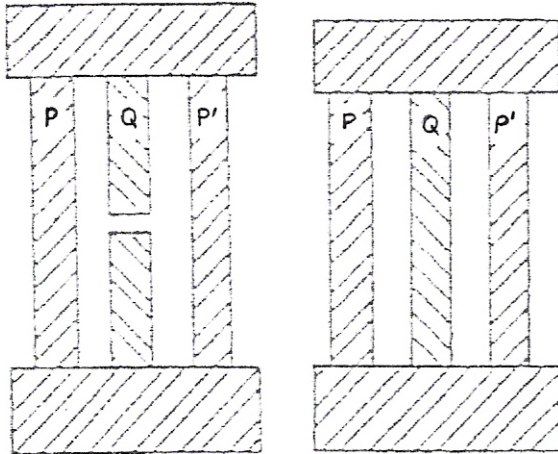
Şekil 3.2. Kaynak birleştirmesinden doğan kalıntı gerilmeler [2]

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].

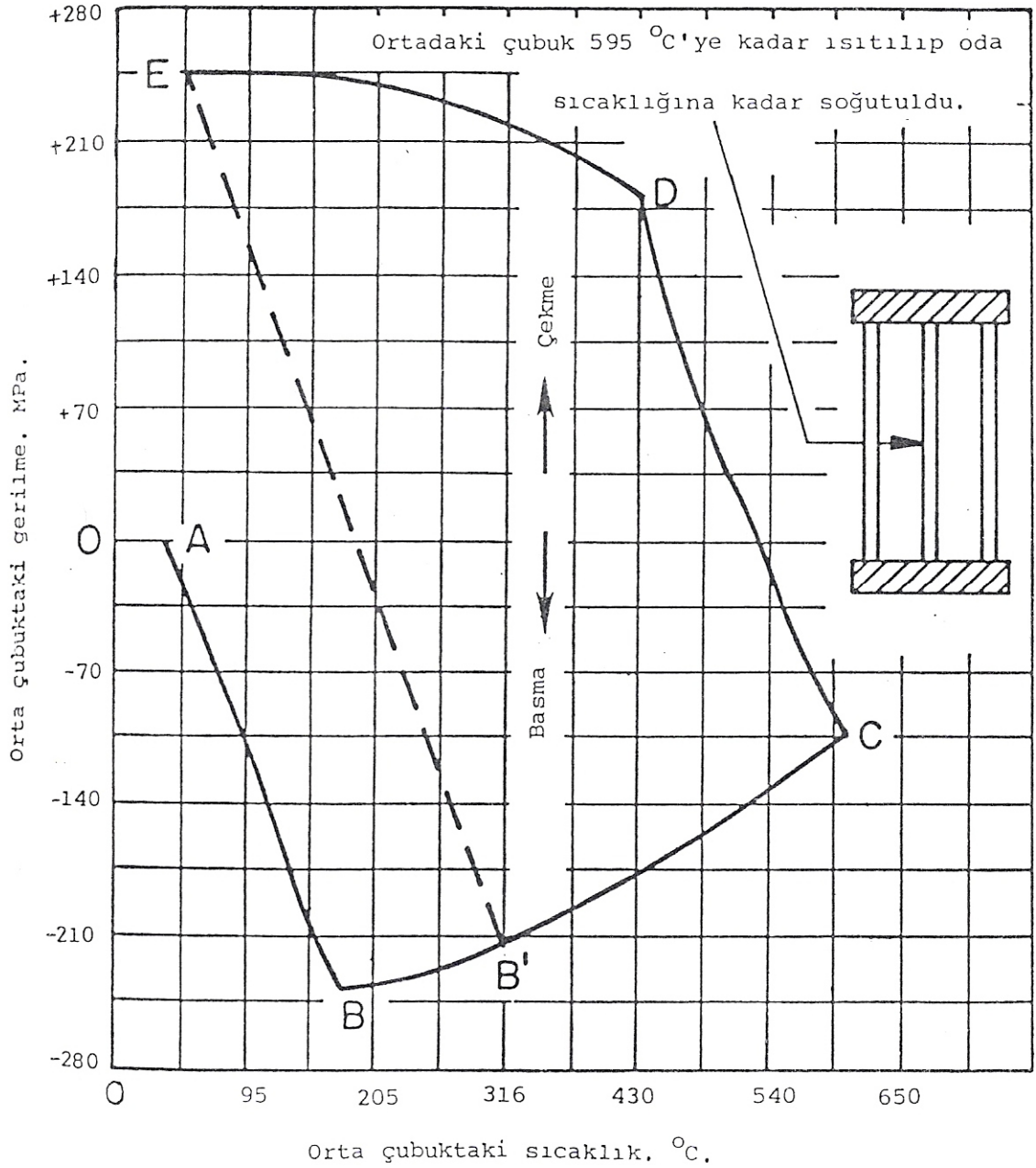
3.2.1. Konstrüksiyondaki uyumsuzluk nedeniyle oluşan kalıntı gerilmeler

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 artık gerilmeler [3]

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 soğutulur.



Şekil 3.4. Üç çubuklu çerçevede, ortadaki çubuğun gerilme-sıcaklık eğrisi [4]

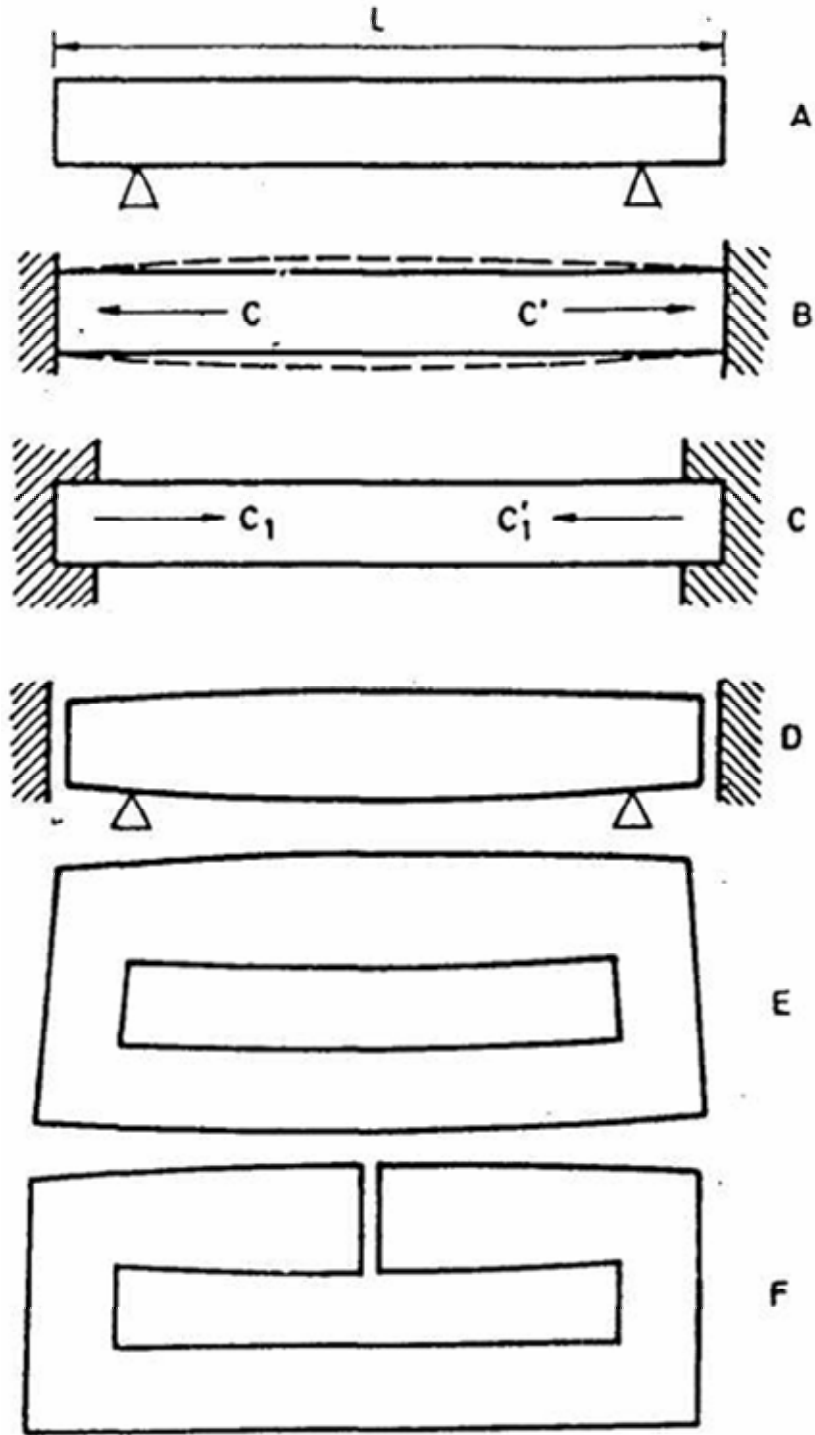
Şekildeki diyagram, ortadaki çubukta sıcaklık etkisiyle oluşan gerilmeye göre çizilmiştir ve kalıntı gerilmelerin oluşumunu göstermektedir. İki yan çubuk, ortadaki çubukta oluşan deformasyona karşı koyarlarken her birinde oluşan gerilme, ortadaki çubukta oluşan gerilmenin yarısı nispetindedir.

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.

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 3.5.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, uzamasına imkan verilmemiş olur (Şekil 3.5.B). Geçici olarak elastik basma gerilmeleri (C-C') oluşacak ve sadece parçanın kesiti genleşme etkisine maruz kalacaktır. Soğuma esnasında parça yeniden başlangıçtaki kesitine dönecektir. Buna karşılık aynı parça her iki ucundan tespit edilmiş olursa (Şekil 3.5.C) soğuma esnasında (C₁-C₁') çekme gerilmeleri oluşacaktır.

Bu kez de Şekil 3.5.D'de ki parça, 650°C 'nin oldukça üzerinde bir sıcaklığa ısıtılacak olursa metal, plastik deformasyona uğrayarak yanal olarak şekil değiştirir.



Şekil 3.5. Kalıntı gerilmelerinin gözlemlendiği değişik parçalar [11]

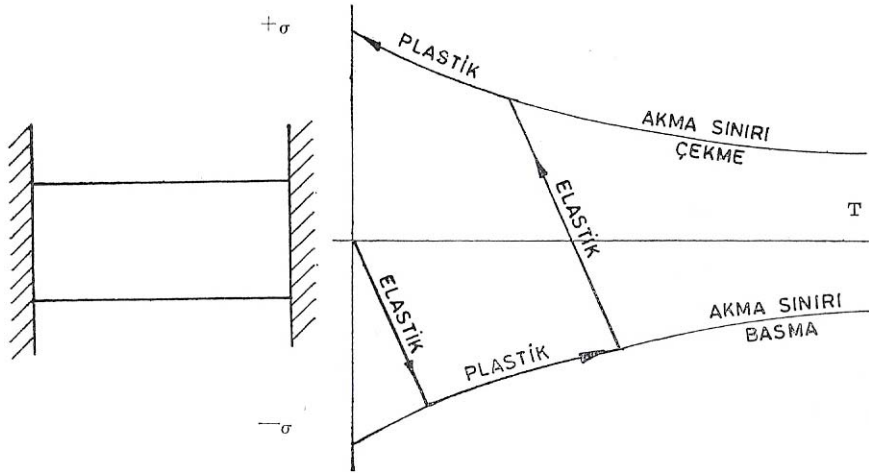
Parça oda sıcaklığına kadar soğuduğunda uzunluğundan kaybetmiş olur, fakat uğradığı yanal şekil bozulmasını muhafaza eder (Şekil 3.5.D). Oluşan boyuna

çekmenin miktarı, 650°C'nin üzerindeki sıcaklıkta tahditleme nedeniyle oluşan ezilmeye eşdeğerdedir.

Geometrik şekle sahip bir parçanın, bir bölgesinin numune olarak ısıtıldığını düşünelim (Şekil 3.5.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 3.5.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.

Olayın, belki, en kolay anlatımı Şekil 3.6'da görülen çubuk üzerinde yapılabilir. Kısa çubuk, her iki baştan, uzamasına, ya da kısalmasına imkan vermeyecek şekilde tespit olunmuştur. Böyle bir çubuk ısıtıldığı zaman içinde basınç gerilmeleri doğar. Durumu yandaki ($T - \sigma$) diyagramından izlemek mümkündür. Basınç gerilmeleri elastik sınır içinde sıcaklıkla orantılı olarak artar. Akma sınırına gelindiğinde metal içinde hareket başlar, dolayısıyla gerilmeler o düzeyi aşamaz. Çubuk soğutulmaya başlayınca boyu kısalma isteyeceğinden basınç gerilmeleri de küçülerek sıfıra iner. Sıcaklığın daha da azalması ile bu kez çekme gerilmeleri filizlenir. Bunlar da önce elastik, sonra akma sınırına ulaşıncaya plastik olarak büyür. Çubuğun sıcaklığı başlangıç değerine döndüğünde, içinde, akma dayanımına eşdeğer çekme gerilmeleri kalmıştır [19].

Çelikte 150°C sıcaklık yükselmesi, anılan (tam rijit) koşullar altında kalıcı gerilmelerin oluşmasına yeterlidir. Sıcaklık bunun iki katı dolayına vardığında kalıcı gerilmeler akma dayanımı mertebesine ulaşır.



Şekil 3.6. Uzaması ve kısılması kesinlikle engellenen kısa çubuğun ısınma soğuma aşamalarında iç gerilmelerin dağılımı [19]

3.2.2. Eşit dağılmayan plastik şekil değişimine bağlı olarak oluşan kalıntı gerilmeler

Bilindiği gibi bir malzeme üniform olarak ısıtıldığında zaman, düzenli bir genişleme gösterir ve cismin içinde termal gerilmeler oluşmaz. Diğer taraftan, malzeme düzensiz olarak ısıtılırsa, sıcaklık farkı olan bölgelerde termal gerilmeler oluşur. Bu termal gerilmelerin sonunda yerel şekil değişimleri meydana gelir. Meydana gelen şekil değişimleri hem elastik hem de plastik şekil değişimleri olabilir. Bir cisme uygulanan dış kuvvetler de yerel plastik şekil değişimine yol açabilir. Bu yerel plastik şekil değişimleri cismin içerisinde kalıntı gerilmelerin oluşumuna neden olur [18].

3.3. Kaynak Anında Meydana Gelen 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].

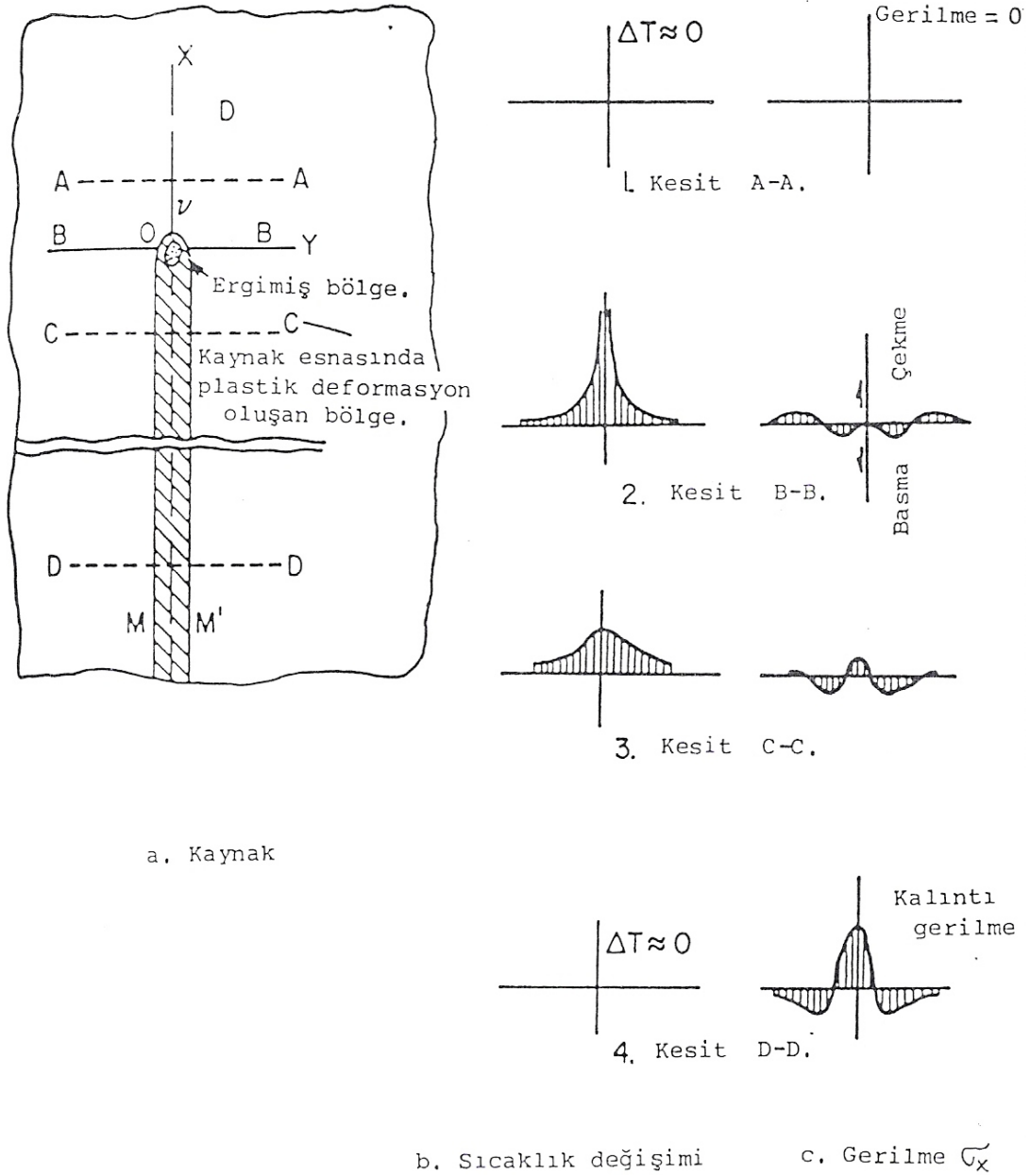
Kaynak esnasındaki gerilmeler ve ısı değişimleri şematik olarak Şekil 3.7’de görülmektedir. Kaynak kordonu, levha malzeme üzerine x eksenini boyunca yapılmıştır, ‘V’ hızıyla ilerleyen kaynak arkı, ‘O’ noktasında geçici olarak durdurulmuştur.

(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 3.7.c’de görülmektedir.

Şekil 3.7.c’de görüldüğü gibi C-C kesitinde kaynak metali ve esas metalin kaynağa yakın bölgeleri soğumaya dolayısıyla çekme gerilmeleri nedeniyle büzölmeye çalışır.

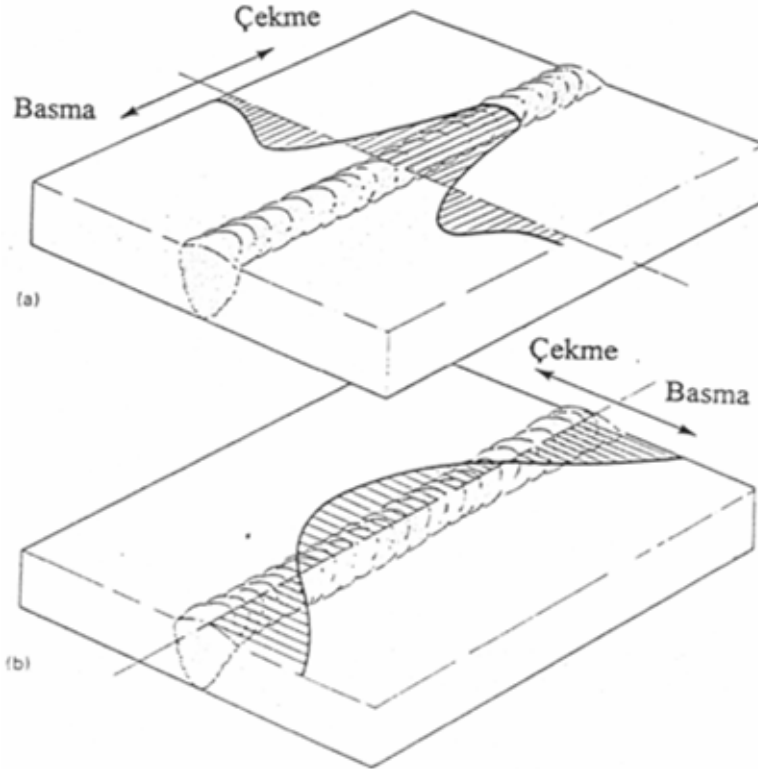


Şekil 3.7. Kaynak esnasında sıcaklık ve gerilme dağılımının şematik gösterilişi
a) Kaynak metali, b) Sıcaklık değişimi, c) Gerilme değişimi [20]

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 dikişi ilerleme doğrultusunda değil diğer doğrultularda da gerilmeler oluşur. Kaynak doğrultusunda, kaynak doğrultusu eninde

ve kaynak düzlemine dik gerilmeler meydana gelebilmektedir. Şekil 3.8’de tek pasolu alın kaynaklarında kesiti gösterilen düzlemlerinde boylamasına ve enlemesine meydana gelen gerilmeler görülmektedir. Bu gerilmeler içinde önemli olan kaynak doğrultusunda oluşan gerilmelerdir. Çünkü bu gerilmelerin değeri daha fazladır.



Şekil 3.8. 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 [4].

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 3.9'da gösterilmiştir. Kaynak yönüne paralel olan gerilmeler ve enine olanlar olarak belirlenmiştir. Şekil 3.9.b'de boyuna kalıntı gerilmelerin dağılımı görülmektedir.

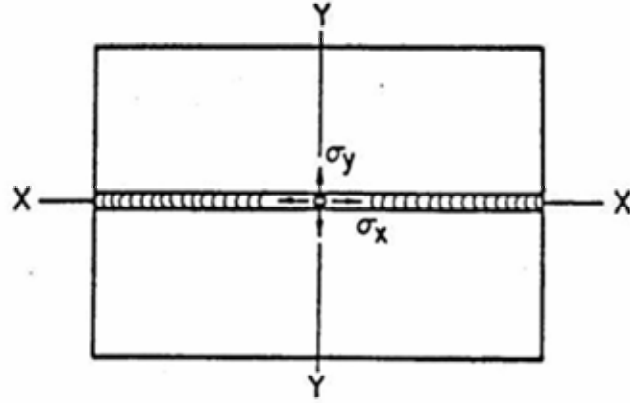
Kaynağa yakın bölgede yüksek değerlerde çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu gerilmeler, kaynak metali genişliğinin birkaç katı bir mesafeden sonra hızla azalarak basma gerilmelerine dönüşürler. Gerilme dağılımının iki karakteristik parametresi mevcuttur: kaynak bölgesinde oluşan maksimum gerilme ve çekme 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 3.9.c'de 1 nolu eğri ile gösterilmektedir. Kaynak ekinin orta kısmında nispeten düşük değerlerde çekme gerilmeleri, uç kısımlarda ise basma gerilmeleri oluşur [1].

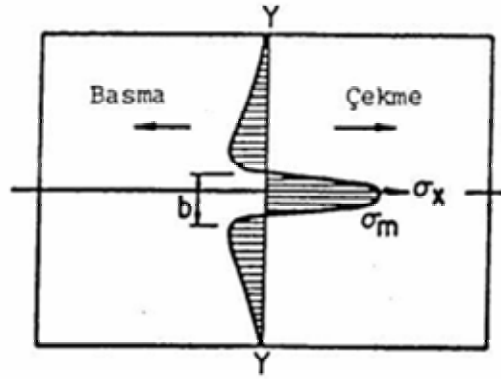
Eğer kaynaklı birleştirmenin, yana doğru büzülmesi engellenmiş ise, kaynak boyunca hemen hemen üniform olan çekme gerilmeleri, reaksiyon gerilmelerine ilave edilir. Bununla birlikte, büzülmeyi engellemenin, kalıntı gerilmelerin dağılımına çok az bir etkisi vardır. Kaynak 25 mm gibi kalın bir parçaya uygulandığı zaman, kalınlık doğrultusundaki kalıntı gerilmeler önem kazanır [4].

Kaynak dikişinde ergimiş metal banyo kendisinden daha serin ana metal kütlesi ile çevrilidir. Bu serin kütle onun soğuması sırasında çekmesini engellediğinden, durumu, yukarıdaki rijit çubuk örneğine benzetmek mümkündür. Dolayısıyla kaynak dikişi soğuduğu zaman, aynen çubuktaki gibi, akma dayanımı mertebesinde çekme

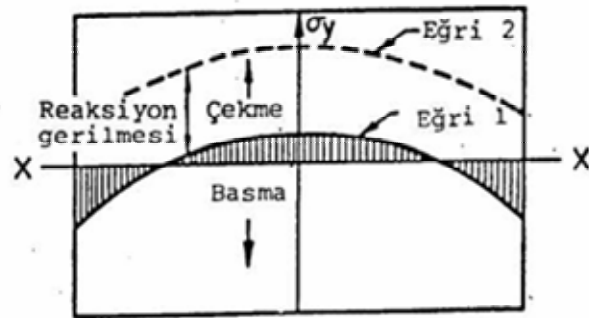
gerilmelerine pekala sahip olabilir. Şekil 3.10 bu durumu temsil etmektedir.



a. Alın kaynağı

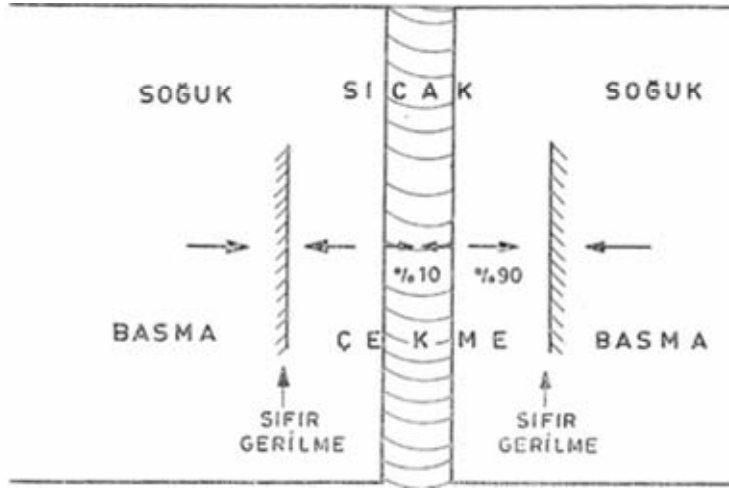


b. Y-Y eksenini boyunca (σ_x)'nin dağılımı



c. X-X eksenini boyunca (σ_y)'nin dağılımı.

Şekil 3.9. Alın kaynağındaki kalıntı gerilmelerin tipik dağılımı [21]



Şekil 3.10. Kaynak çevresinde oluşan çekme ve basma bölgeleri [19]

Aslında kaynak dikişinde koşullar, sözü edilen rijit çubuk örneğinden daha da olumsuzdur. Dikişin iki tarafındaki ana metal bölgeleri, kaynak sırasında, ergime derecesine varan sıcaklıklara kadar ısınırlar. Soğuma sırasında bu bölgeler de, fakat kaynak metalinin zıt yönünde çekerler. Dolayısıyla ana metal, dikiş içindeki gerilmeleri daha da artırıcı bir davranış içindedir. Kabaca denebilir ki, kaynak dikişi içinde oluşan kalıntı çekme gerilmelerinin sadece % 10 kadarı bizzat dolgu metalinin kendi çekmesinden ileri gelir; % 90 kadarı ana metalin çekmesinden kaynaklanır.

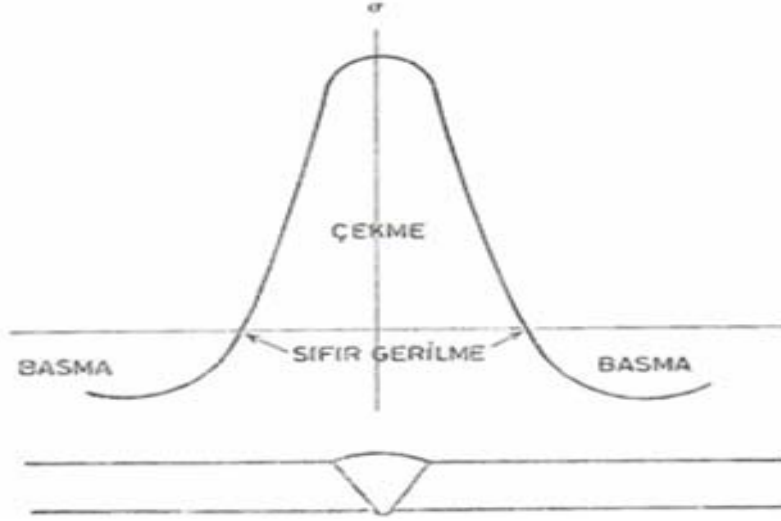
3.4. Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Tipik Kalıntı Gerilmeler

3.4.1. Alın kaynağında kalıntı gerilmeler

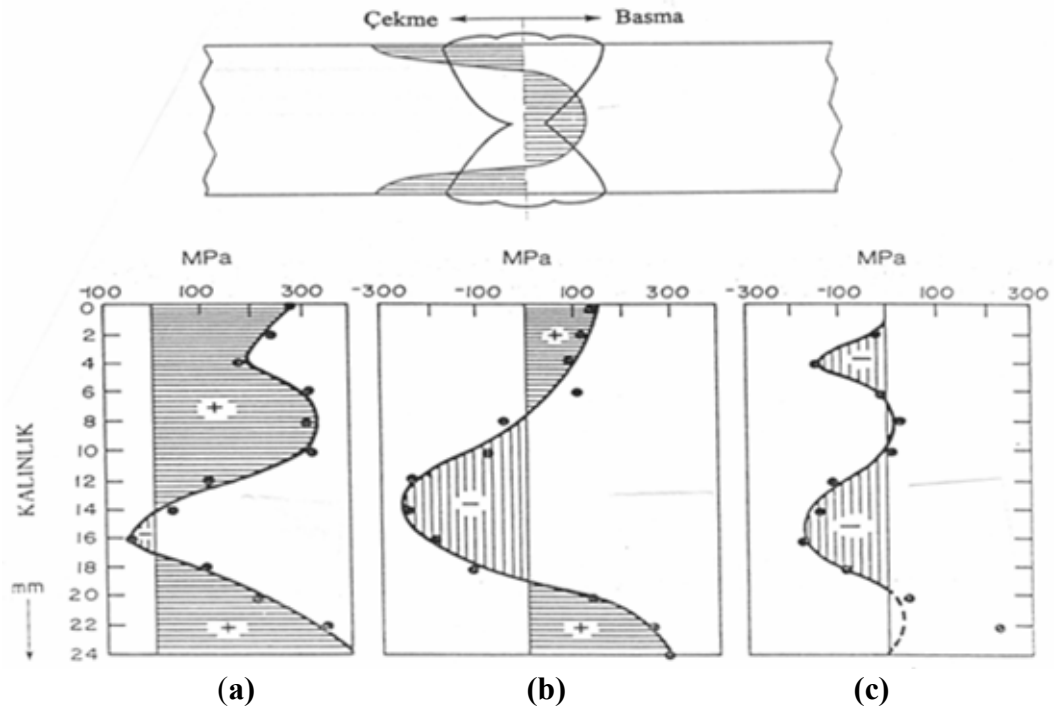
Tek dikişli alın kaynak birleştirmelerinde tipik kalıntı gerilme dağılımı Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da görülmektedir.

Alın kaynağı yapılan parça kalınlığı arttıkça kalınlık doğrultusundaki gerilmeler önem kazanır, 25 mm’den daha kalın parçalarda daha belirgin hale gelir. Şekil 3.12’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 3.12’de 500x500x25 mm alaşımsız çelik levhaların alın kaynağında üç eksen (boylamasına, enine ve yüzeye dik) doğrultusundaki gerilme dağılımı görülmektedir [2].



Şekil 3.11. Kaynakta kalıntı gerilmelerin enine dağılımı [19]



Şekil 3.12. Çok pasolu alın kaynağında kalıntı gerilme dağılımı

a) Boylamasına gerilme b) Enine gerilme c) Yüzeye dik gerilme [2]

3.4.2. İç köşe kaynağında kalıntı gerilmeler

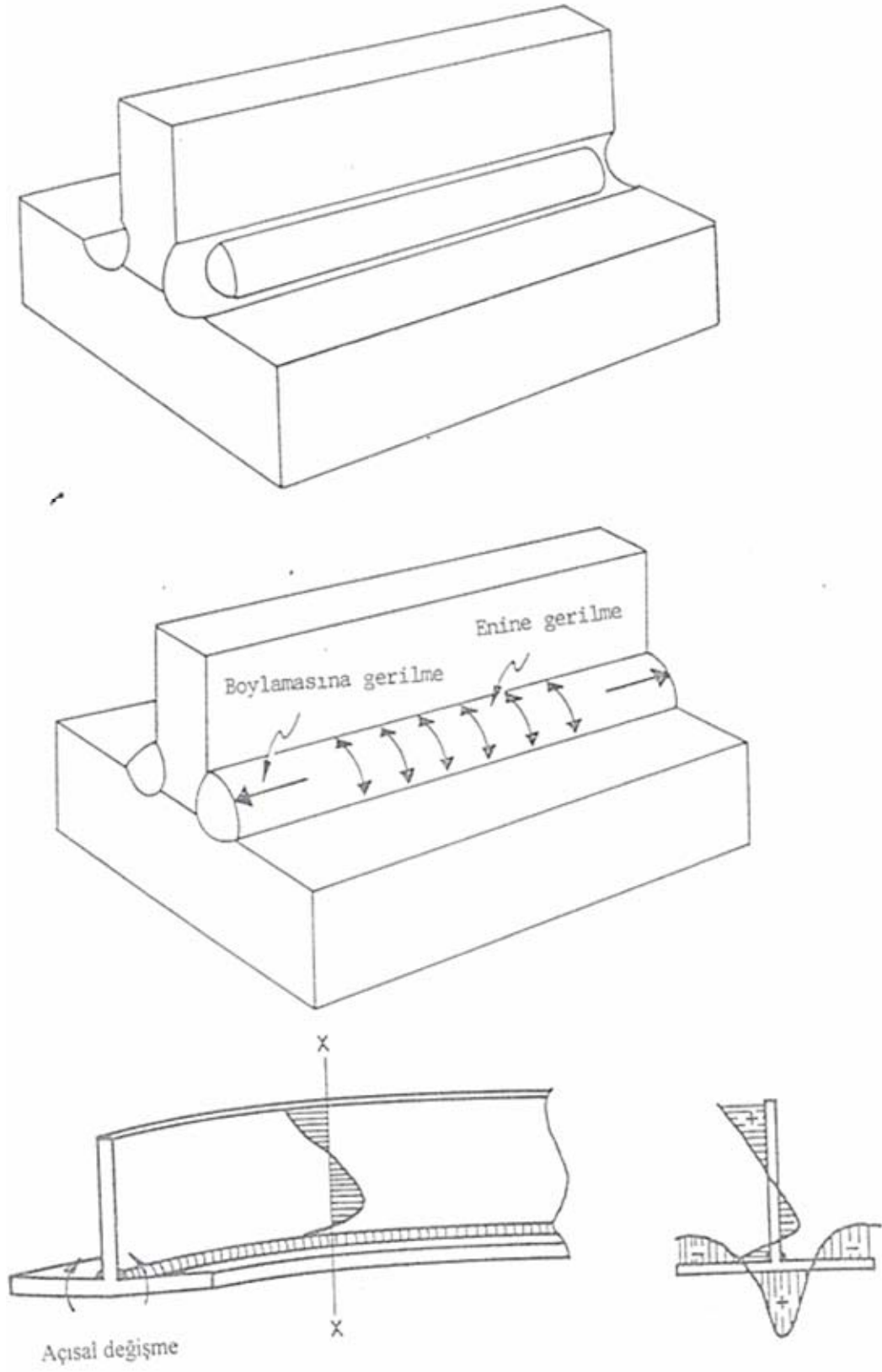
İç köşe kaynağı sırasında iş parçasının sadece yüzeyinde ince bir tabaka ergimektedir. Ergime meydana geldiğinde parçanın boylamasına ve enlemesine genişmesi kuvvetle engellenir. Dikişin soğuması sırasında büzülmeye karşı aynı engelleme ortaya çıkar.

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 3.13'te 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.

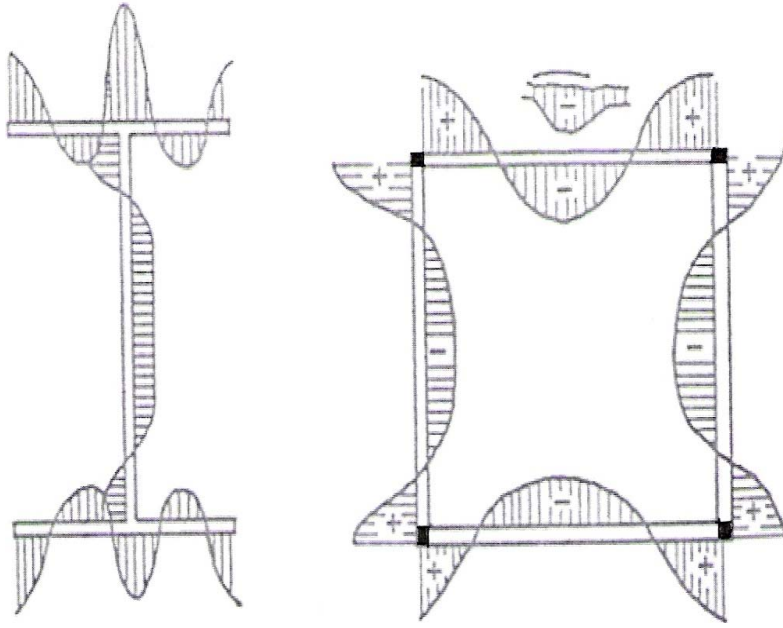
3.4.3. Kaynaklı profillerdeki kalıntı gerilme dağılımı

Şekil 3.14'te I ve kapalı kutu şekilli kaynaklı yapılarda oluşan kalıntı gerilmeler görülmektedir. Kaynak metali ve yakınındaki çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Kaynak metalinin uzağında ise basma gerilmeleri oluşmaktadır [2, 3].

12,5 mm kalınlıktaki çelikten üretilen I kesitindeki kaynaklı kirişte kalıntı gerilme dağılımı Şekil 3.15'te görülmektedir. Kesitte eş-gerilmeli diyagramlar ile gerilme dağılımı gösterilmiştir. Gerilmeler ksi cinsinden verilmiştir. Basma gerilmeleri (-) işaretli olarak belirtilmiştir. Diğer gerilmeler çekme gerilmeleridir [2].



Şekil 3.13. T kaynak birleştirmelerinde kalıntı gerilme dağılımı [2, 11]



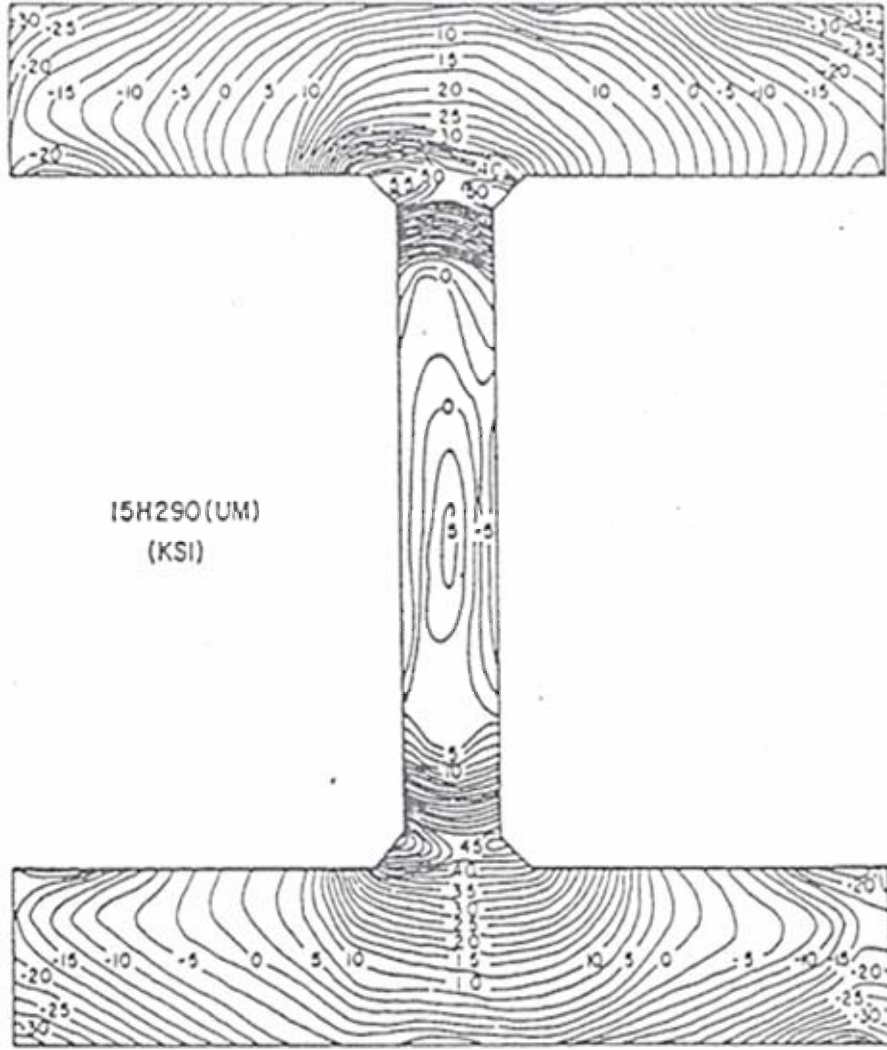
Şekil 3.14. I ve kutu kaynaklı yapılarda kalıntı gerilme dağılımı [3]

3.5. Malzeme Boyutlarının Kalıntı Gerilmeler Üzerine Etkisi

Bir kaynaklı numunede artık gerilmeleri incelemek için, modelin gerçek yapılardaki kadar yüksek artık gerilmeler içerecek büyüklükte olması önemlidir.

3.5.1. Parça uzunluğunun etkisi

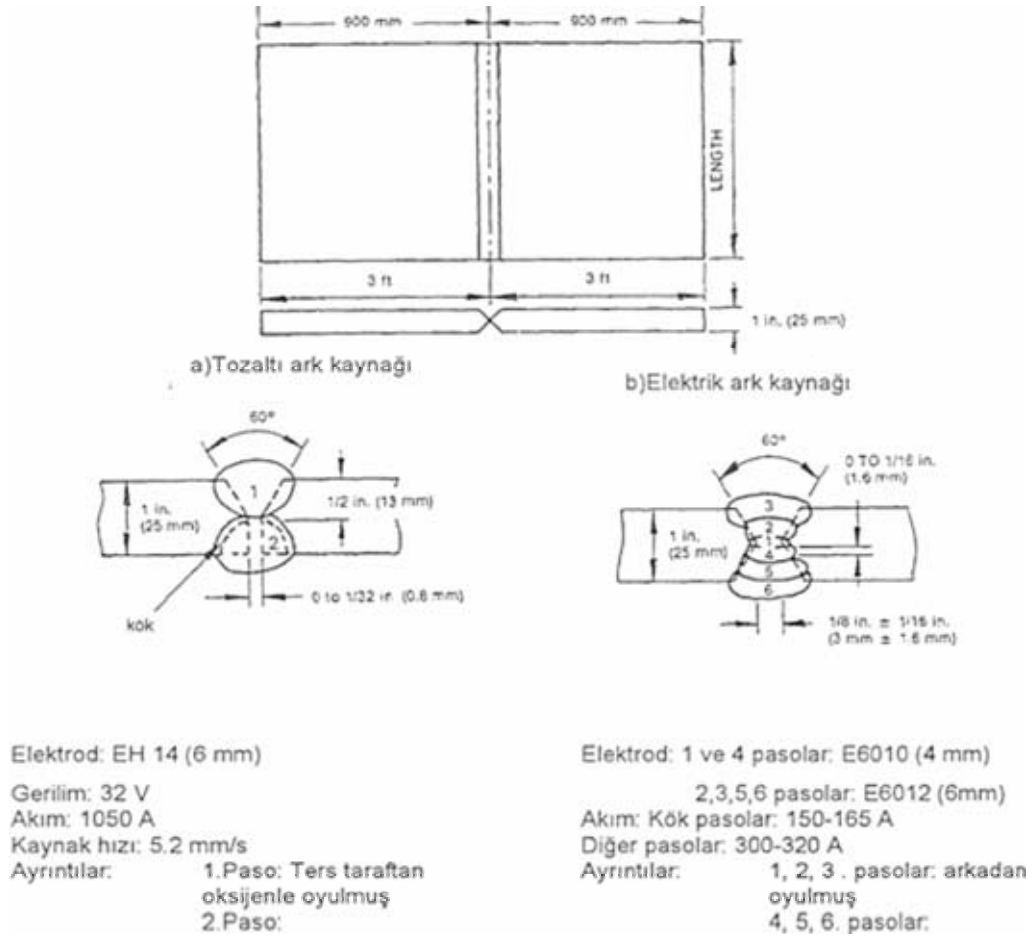
Düşük karbonlu çelikten mamul, serbestçe uzayıp kısalabilen alın kaynaklı bağlantılardaki artık gerilmelere kaynak dikişi uzunluğunun etkisini inceleyebilmek için, tozaltı ark kaynağı ve elektrik ark kaynağı işlemleri ile iki seri kaynak dikişi hazırlanmıştır [22].



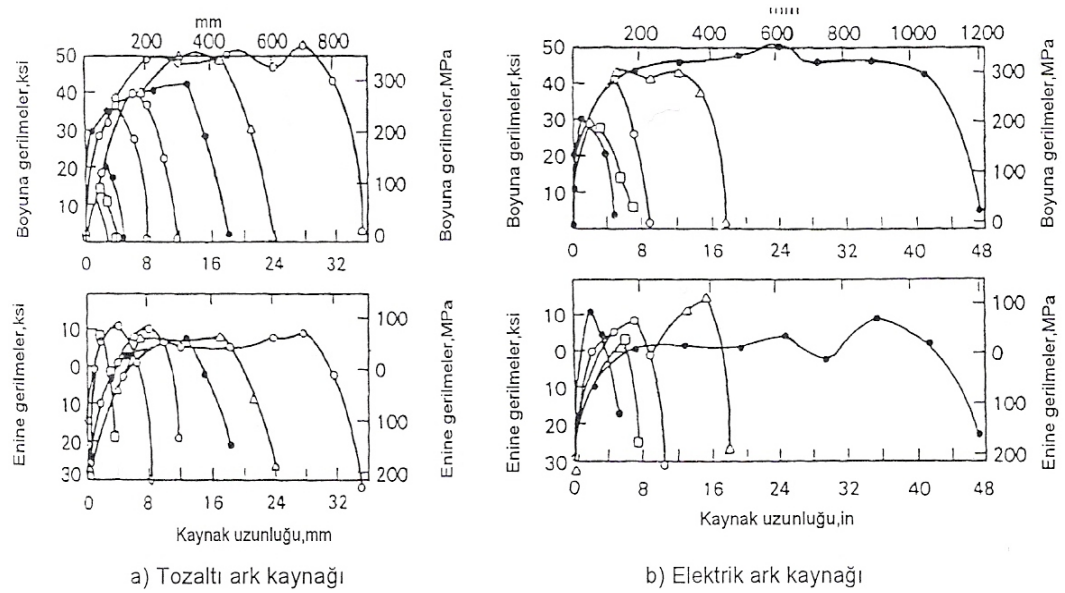
Şekil 3.15. Kaynaklı I şeklindeki bir kirişin kesitinde gerilme dağılımı [2]

Bu çalışmadaki kaynak şartları Şekil 3.16’da özetlenmiştir. Her bir seride tek değişken, Şekil 3.17’de gösterildiği gibi, kaynak dikişinin uzunluğudur. Şekil 3.17, her iki yöntemle oluşturulan kaynak dikişlerinde boyuna ve enine artık gerilmelerin dağılımlarını göstermektedir.

Boyuna artık gerilmeler, kaynak dikişinin her iki ucunda sıfırdır ve yüksek çekme gerilmeleri kaynak dikişinin merkez bölgelerinde bulunmaktadır. Merkez bölgedeki gerilmenin tepe değeri, kaynak dikişi uzunluğunun artışıyla artar.



Şekil 3.16. Şekil 3.17’de verilen artık gerilme ölçümleri için kaynak şartları [3]



Şekil 3.17. Kaynaklı parçalarda uzunluğun artık gerilme dağılımına etkisi [3]

Artık gerilme dağılımları, tozaltı kaynağı ve elektrik ark kaynağı ile yapılan kaynak dikişlerinde birbirine benzemektedir. Ancak elektrik ark kaynağı işlemiyle yapılan kaynak dikişlerinde gerilme dağılımları, tozaltı kaynağı ile yapılan kaynak dikişlerindekiyle kıyasla pek düzgün değildir [3].

3.5.2. Parça genişliğinin etkisi

Yukarıda tartışılan parça uzunluğunun etkisiyle karşılaştırıldığında, parça yeterince uzunsa parçanın genişliğinin, artık gerilmeler üzerinde etkisi çok küçüktür. Parça yeterince uzun değilse parça genişliğinin artık gerilmelere etkisi dikkate alınmalıdır. Gerçekte parçanın genişliği, kaynak dikişinin ve ITAB'ın genişliğinden birkaç kez büyükse, parça genişliğinin etkisi ihmal edilebilir değerdedir [3].

3.6. Kaynak Sırasının Kalıntı Gerilmeler Üzerine Etkisi

Uzun bir alın birleştirme kaynağı yaparken, şaşırtmalı, geri adımlı, sıra atlamalı ve blok gibi kaynak sırasının ve kaynak sırası planının çeşitli tipleri artık gerilmeleri ve distorsiyonu azaltmak için kullanılabilir. Uygun kaynak sırasının seçimi, özellikle tamir kaynaklarında olduğu gibi kaynaklı parça rijit tespit edilmişse önemli hale gelir.

Rijit parçalardaki alın kaynaklarında, kaynak sırasının artık gerilmeler ve büzülme üzerine etkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir [3].

- i) Kaynak sırasının kaynak boyunca oluşan artık gerilmelere etkisi düşüktür. Ancak boyuna çekme gerilmeleri izafi olarak yüksek olabilir.
- ii) Kaynak sırasındaki farklılıklar, enine büzülmelerde son derece büyük farklara yol açabilir.

3.7. Kalıntı Gerilmelerin Etkileri

Kalıntı gerilmeler, sadece belli şartların mevcudiyeti halinde kaynaklı konstrüksiyonların kırılma dayanımını düşürürler. Bununla beraber bu şartlar altında dayanım kaybı çok fazla da olabilir. Genellikle kırılmalar, düşük gerilme uygulamaları sırasında oluşursa, kalıntı gerilmelerin etkileri önem kazanır. Gevrek kırılma, yorulma kırılması, gerilmeli korozyon çatlamasında ve hidrojen çatlamasında düşük gerilmeli kırılma meydana gelmektedir. Kalıntı gerilmeler, korozyona karşı performans kaybına neden olur, direnci kırar [4, 23].

Şekil 3.18’de çekme yüklemesine maruz kalan bir alın kaynak birleştirmesinde kalıntı gerilme dağılımı görülmektedir. Boylamasına kalıntı gerilmesinin kaynak edilmiş haldeki dağılımı O eğrisi ile gösterilmiştir. Kaynaklı yapıya σ_1 üniform çekme gerilmesi uygulanınca, kaynaklı yapı içerisinde gerilme dağılımı 1’ nolu eğri şeklinde olacaktır. Kaynak metaline yakın alanlarda gerilme malzeme akma mukavemetine yaklaşmıştır. Bu bölgedeki gerilim artışı az olmuştur. Kaynak metalinden uzaklaştıkça büyük gerilme artışı meydana gelmektedir. Dış çekme gerilmesi (σ_2) tesiri ile malzeme içerisindeki gerilme dağılımı 2’ nolu eğri ile gösterilmiştir. Malzeme içerisinde gerilme dağılımı daha düzgün hale gelmiştir. Bölgeler arasındaki gerilme değer farkı azalmıştır. Dış gerilme arttıkça bölgesel fark azalmakta ve kaynak kalıntı gerilmesinin gerilme dağılımı üzerindeki tesiri azalmaktadır. Dış gerilme daha artırılırsa genel olarak akma meydana gelir. Yani bütün kesitte kalıcı plastik şekil değişikliği meydana gelir. Bu şekil değişimini yapan kesitteki dağılımı 3’ nolu eğri ile gösterilmiştir. Akma meydana gelmesiyle kaynak kalıntı gerilmesinin tesirleri tamamen yok olur.

σ_1 uygulandıktan sonra dış gerilme boşaltılınca kesitte kalıntı gerilme dağılımı 1’ nolu eğri ile gösterilmiştir. 2’ nolu eğri ise σ_2 dış gerilmesinin uygulanıp ve boşaltıldıktan sonra yapının kesitinde kalıntı gerilme dağılımını ifade etmektedir. Dış yükün akmaya yol açmadan uygulanması ve boşaltılması ile kesitte kalıntı gerilme

dağılımı değişmektedir. Bilhassa yüksek çekme kalıntı gerilmesi oluşan kaynak metalinde gerilme azalmaktadır. Bu olaya mekanik gerilme giderme adı verilmektedir. Bu olay alaşımsız çelik kaynaklarında deneysel olarak tespit edilmiştir. Dış gerilme ne kadar yüksek olursa gerilmedeki düşme o oranda yüksek olmaktadır [2].

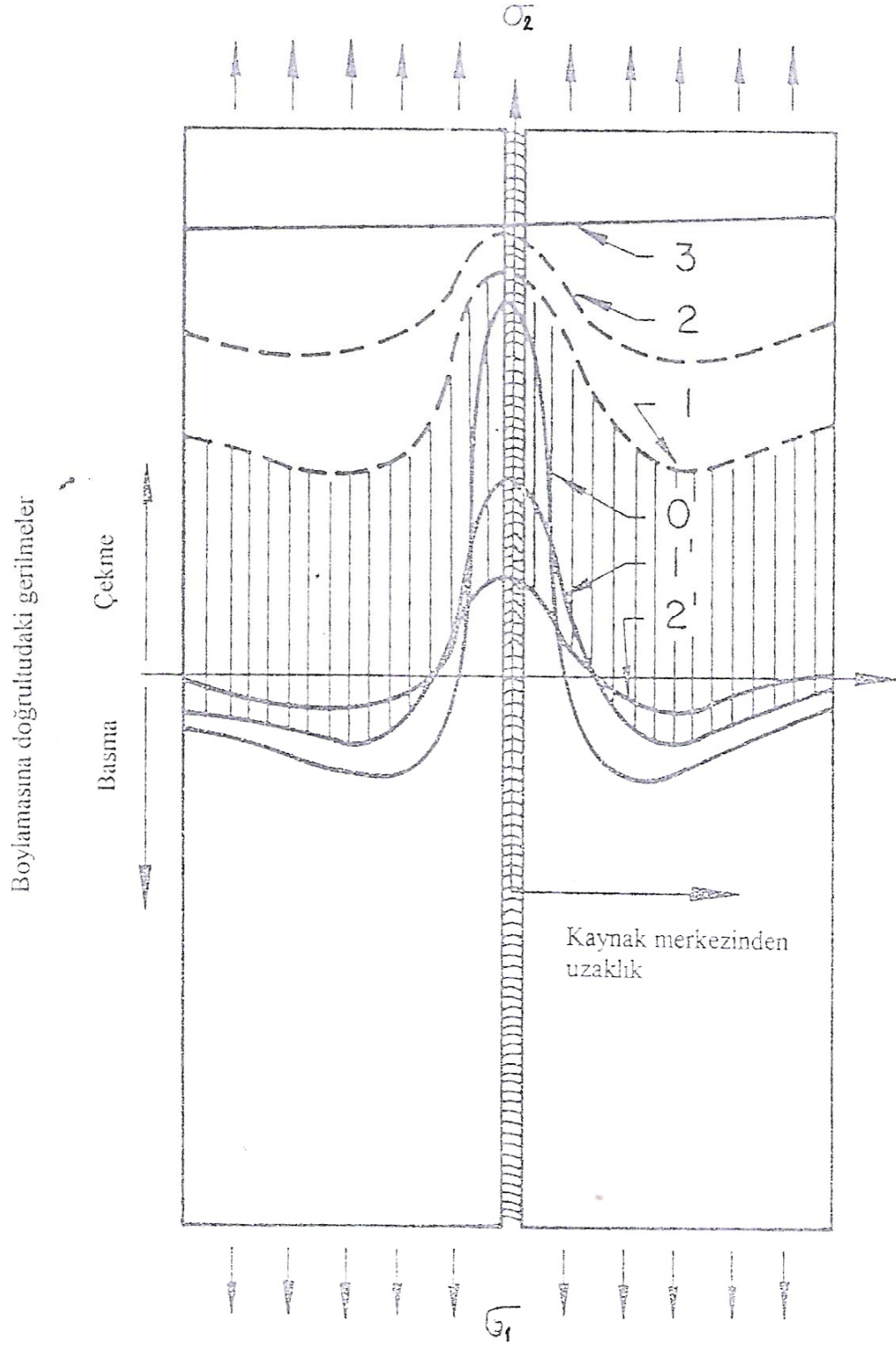
Şekil 3.18’de açıklanmaya çalışılan incelemeler, kalıntı gerilmelerin etkileri hakkında bizi şu ana sonuçlara götürür [4].

i) Kaynaklı konstrüksiyonlarda kalıntı gerilmelerin etkileri, sadece düşük çekme gerilmesi uygulamasından sonra ortaya çıkan gevrek kırılma ve gerilim korozyonu çatlaması gibi olaylarda önem kazanmaktadır.

ii) Uygulanan gerilmenin değeri arttırıldıkça, kalıntı gerilmenin etkisi azalmaktadır.

iii) Kaynaklı konstrüksiyona uygulanan gerilme, akma sınırının üzerine çıkarsa, kalıntı gerilmenin etkisi ihmal edilebilir.

iv) Tekrarlanan yüklemelerden sonra, kalıntı gerilmenin etkisi azalmaya başlar



Şekil 3.18. Bir alın kaynaklı birleştirmeye uniform çekme gerilmesi yüklemesi ve boşaltılması sonucunda kalıntı gerilme dağılımında meydana gelen değişiklikler [2]

3.8. Kaynaklı Yapılarda Kalıntı Gerilme Ölçümü

Statik ve dinamik olarak yüklenen makine ve yapı elemanlarında oluşan çeşitli yön ve doğrultudaki gerilmeler her zaman teorik olarak hesaplanamaz. Konstrüksiyonların daha ekonomik olması için, gerilmelerin doğrultusu, yön ve şiddetlerinin doğru olarak tespit edilmesi gerekmektedir [24].

Metallerdeki kalıntı gerilmeleri ölçmek ve tahmin etmek için birçok yöntem mevcuttur. Yöntemlerin sıralanması kullanım sıklıklarına göre yapılmıştır. Bu yöntemleri dört temel gruba ayırmak mümkündür [1, 23];

- i) Gerilme gevşeme teknikleri,
- ii) Röntgen (X-ray) difraksiyon teknikleri,
- iii) Gerilme hassasiyet özelliklerinden faydalanan teknikler,
- iv) Çatlatma 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 [1, 2].

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:

- i) Röntgen (X-ray) film tekniği
- ii) 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 [16].

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 bilgidan ziyade nitel bilgiler vermektedir.

Kalıntı gerilmeleri ölçme tekniklerini şu şekilde sınıflayabiliriz [1]:

A1) 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
- 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

4. KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA OLUŞAN DİSTORSİYONLAR

Bütün kaynak yöntemlerinde birkaç ortak sorun ya da değişken vardır. Bu sorunların en önemlisi çekme ve çarpılma (distorsiyon)'lardır [1].

Çelik malzeme ısıtıldığında genişir, soğutulduğunda ise kendini çeker. Eğer malzemenin durumu elastik sınırların ötesinde veya malzemeyi sınırlayan etkenler varsa distorsiyon oluşur [25].

Kaynaklı yapı elemanının kaynak işlemine, kaynak bölgesinde (ITAB) üniform olmayan ısınma ve soğumanın neden olduğu bir miktar distorsiyon (çekme ve çarpılma) ve kalıntı gerilmesi eşlik eder. Kaynaklı yapılarda kullanılan kaynak yönteminin, kaynak ağız şeklinin, yapının rijitlik derecesinin, özgül ısı girdisinin, ısıl genişleme katsayısının, ısı iletim katsayısının ve erime sıcaklığının çekme ve çarpılma üzerinde etkisi vardır. Bazı kaynaklarda meydana gelen çekme ve çarpılmalar, göz ardı edilebilecek kadar küçük iken, diğerlerinde meydana gelen bu kusurlar kaynak işlemi öncesinde, kaynak işlemi sırasında ve kaynak işlemi sonrasında bir takım önlemlerin alınmasını gerektirecek kadar büyük olabilir [26].

Bir kaynaklı konstrüksiyonda distorsiyon, kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma sırasında kaynak metali ile buna komşu ana metalin uniform (yeknesak - tekdüze) olmayan genişleme ve çekmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Ortaya çıkan bu distorsiyonun 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 üniform dağılımını olumsuz yönde etkiler. Böylece de ısıtma sırasında olup bitenlerin hassas hesabını zorlaştırır [5,11].

Bir kaynaklı birleşmede genişleme ve çekme kuvvetleri kaynak metali ile ana metal üzerine etki yaparlar. Kaynak metali, ana metalle birlikte ergiyip katılaştığından, azami genişmiş durumda olur. Bir katı olarak mümkün olan en büyük hacmi işgal

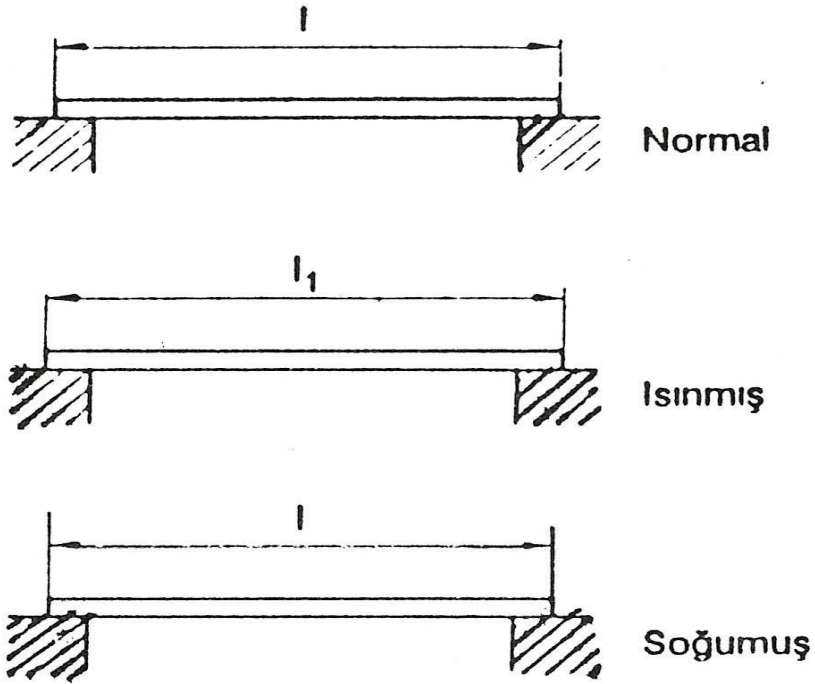
eder. Soğumada düşük sıcaklıkta normal olarak işgal edeceği hacme çekmeye (büzülmeye) çalışır ama komşu ana metal tarafından tespit edilmiş olduğundan bunu yapamaz. Bu arada kaynak içinde gerilmeler oluşur, bunlar sonunda ana metalin akma mukavemetine varırlar. Bu noktada kaynak gerilerek ya akar ya da incelir. Böylece de düşük sıcaklığın gerektirdiği hacme uyarlar. Bu yöntem ile sadece kaynak metalinin akma mukavemetini aşan gerilmeler giderilmiş olur. Bu arada kaynak oda sıcaklığına varır. İçinde yaklaşık olarak metalin akma mukavemetine eşit değerde hapis kalmış çekme gerilmeleri bulunur. Dış unsurları (iş parçasını tutan, işkence, kelepçe, mengene vb.) kaldırılacak olursa, içeride hapis kalmış gerilmeler kısmen giderilirken kaynaklı konstrüksiyonda distorsiyonlar oluşur [27].

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].

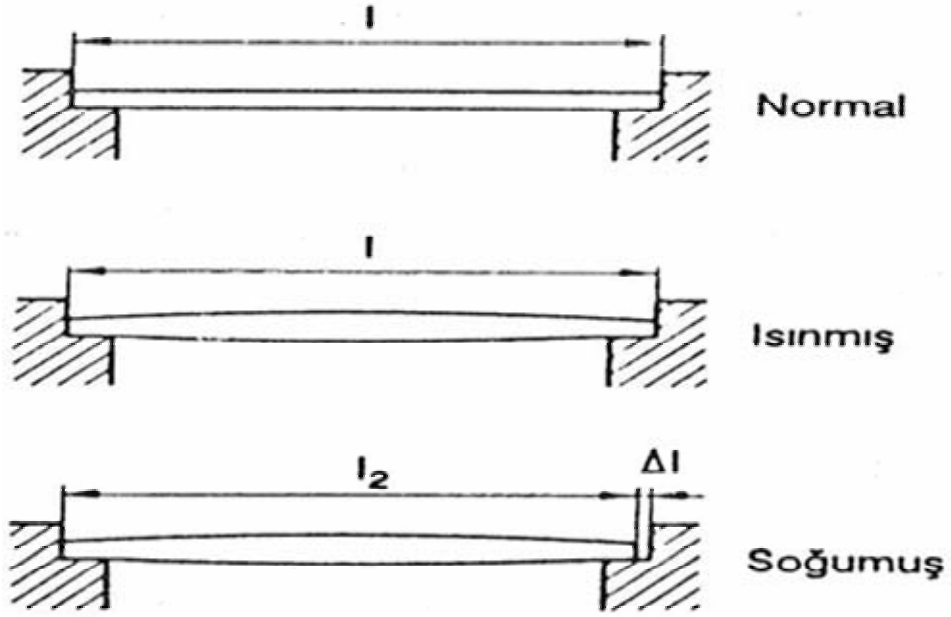
(l) boyundaki bir metal çubuk ısıtıldıktan sonra (l_1) boyuna ($l_1 = l + \Delta l$) ulaşır. Soğuma sırasında da onu bu durumda tutacak bir zorlama yoksa soğuma sonucunda çubuk eski boyuna döner (Şekil 4.1).

(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).

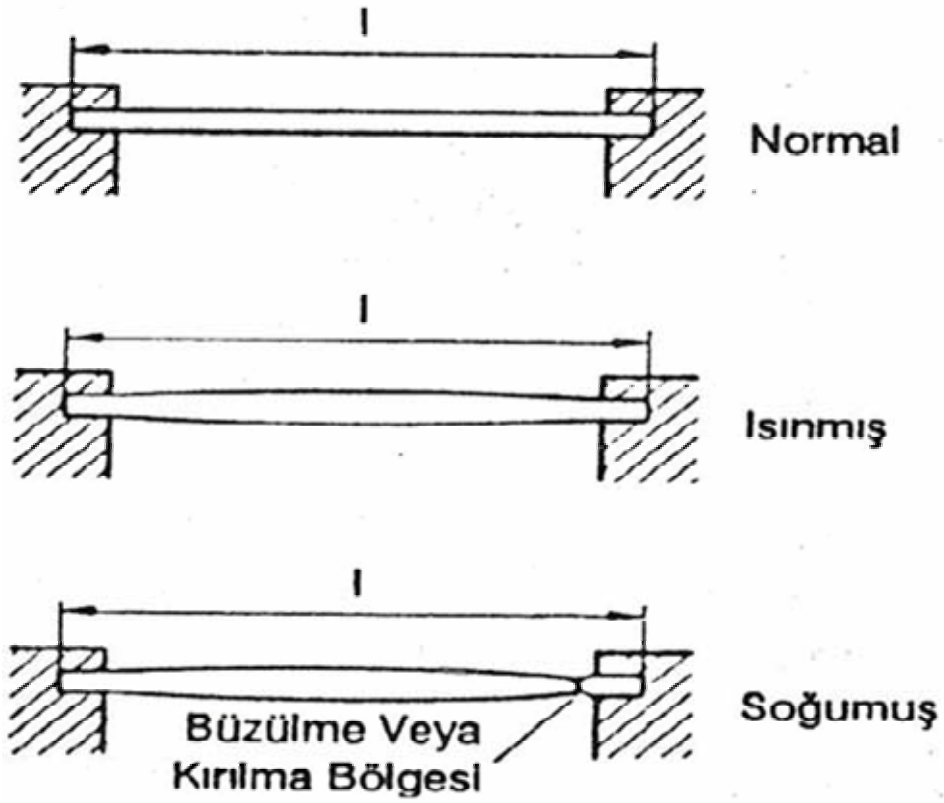


Şekil 4.1. Serbest metal bir çubukta ısınma ve soğuma sonucunda boyut değişimi [5]

(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).

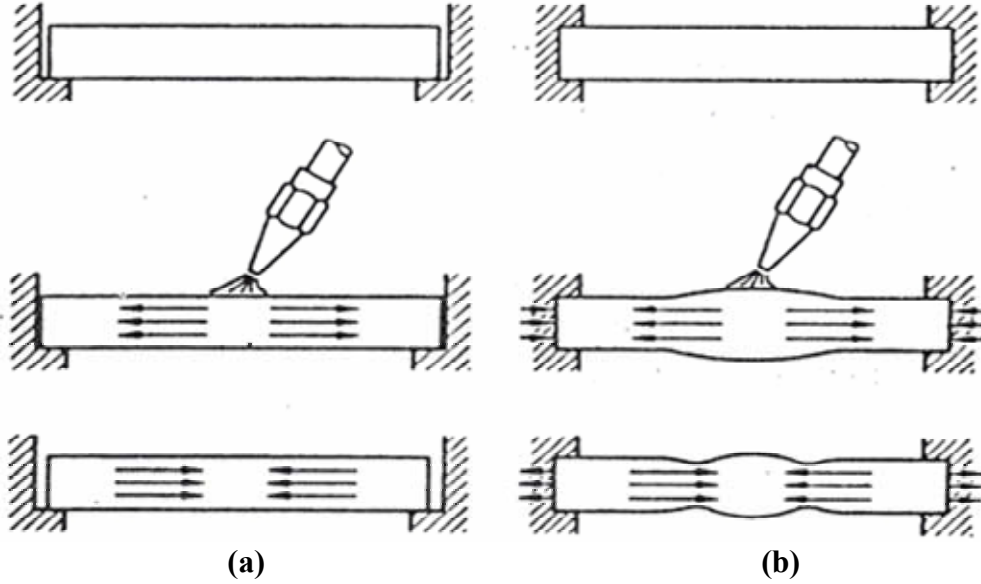


Şekil 4.2. Uzunlamasına sınırlanmış metal bir çubukta ısınma ve soğuma sonucunda yığılma biçiminde boyut değişimi [5]



Şekil 4.3. Sabitlenmiş metal çubukta ısınma ve soğuma esnasında görülen olaylar [5]

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



Şekil 4.4. Parçaların kaynak işlemlerinde oluşan durumlar
a) Uzaması sınırlandırılmış b) Sabitlenmiş

Çekme, metaldeki ısınma ve soğuma sonucu ortaya çıkar. Isı metallerin fiziksel niteliklerini değiştirir. Metallerdeki bu değişikliklerin çekme ve çarpılmaya doğrudan etkisi vardır. Bir metalin kaynak işlemi esnasında fiziksel özellikleri aşağıdaki şekilde değişir [28].

- Kopma noktası düşer,
- Elastik modülü düşer,
- Isı yayılma katsayısı düşer,
- Isı iletkenliği düşer,
- Özgül ısı yükselir.

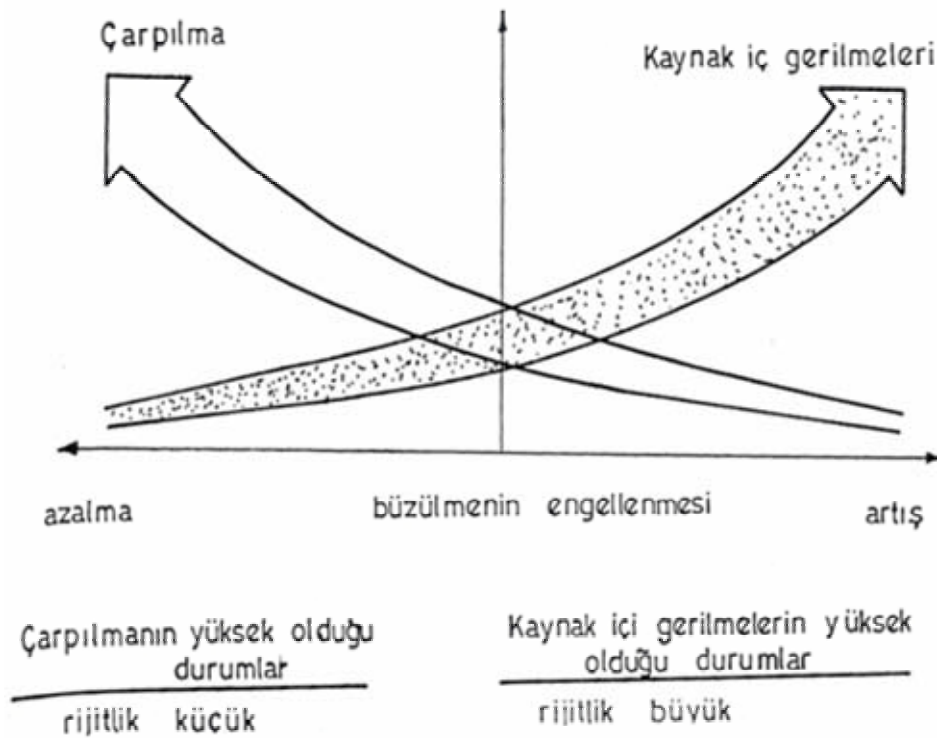
Metallerin fiziksel özelliklerinde meydana gelen bu değişiklikler, çekme, çarpılma ve metal bünyesindeki gerilmelerin miktarını etkiler.

Kaynak malzemesinin ve kaynak edilen malzemenin kopma noktası ne kadar

yüksek olursa çarpılmaya neden olan kalıntı gerilimi o denli yüksek olur. Kopma noktası değeri düştükçe, bölgesel gerilim de düşer.

Diğer taraftan elastiklik modülü bir metalin nispi sertlik değeridir. Eğer elastiklik modülü büyük ise malzeme çarpılmaya karşı daha dayanıklı olur.

Isı yayılma katsayısı, bir metalin ısıtılmasıyla metalin maruz kaldığı genleşme ve soğuduğunda meydana gelen çekme-çarpılma miktarıdır. Metaller kaynak edildiklerinde boylarında bir değişiklik meydana gelmiyorsa, kaynak edilen metal veya metallerde çarpılma ve çekilme (büzülme) meydana getirecektir. Yüksek bir ısı yayılma katsayısı kaynak malzemesinin ve kaynak edilen malzemenin kaynak bölgesindeki çekilme oranını yükseltme eğilimi gösterir. Buda kaynakta meydana gelecek çarpılmayı arttırır [28].



Şekil 4.5. Kaynak gerilmeleri ve çarpılma arasındaki ters orantı [26]

Kaynak işlemine tabi tutulan iki rijit parça arasında yapılan bir kaynakta çarpılma sıfıra yakın iken çekilmeye çalışma nedeniyle bünyedeki gerilim büyüktür (Şekil 4.5)[26].

4.2. Kaynaklı Birleştirmelerde Distorsiyon Oluşmasına Etki Eden Faktörler

Kaynak yapılan ve ısıdan etkilenen bölge olarak bilinen alan, arkin ortaya çıkardığı sıcaklık nedeniyle önce genleşmeye sonra da büzülmeye çalışacaktır. Bu bir bakıma kaçınılmaz bir fizik kuralıdır. Tüm kaynak türlerinde çarpılma ve gerilim olmak üzere iki faktör vardır [26].

Çarpıklık; Büzülme olarak da adlandırılan çarpıklık, kaynak edilecek parçaların kaynak işleminden önceki konumu ile kaynak işleminden sonraki konumu arasındaki farktır.

Gerilim; kaynaklı yapı bünyesinden atılmadıkça distorsiyona neden olan kuvvettir.

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

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 [5].

4.2.2. Malzemenin metalürjik özellikleri

Kaynak ısısı sebebiyle parçaların yüksek sıcaklıklara ısıtılması ve soğutulması, içyapı değişikliklerine neden olur. Soğumanın yavaş olması halinde, östenitik yapı, tamamen perlitik yapıya dönüşür. Çabuk soğuma esnasında da dikişin yanındaki bölgede malzemenin karbon miktarına göre martenzitik bir yapı meydana gelebilir. Bu martenzitik yapı dikişin şekil değiştirme kabiliyetini azalttığı gibi, iç gerilmelerin meydana gelmesine de neden olur. Buna göre, içyapıya bağlı olarak, malzeme ya kolay ya da zor şekil değiştirir [29].

4.2.3. Isıl genleşme katsayısı

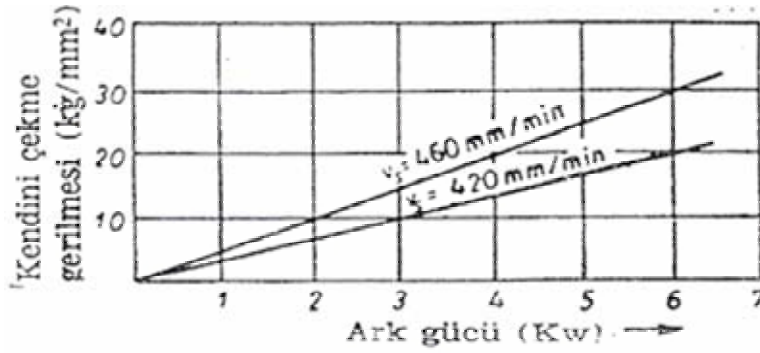
Isıl genleşme katsayısı, malzemenin 1 °C sıcaklık farkında boyutlarındaki değişmeyi belirten malzemeye ait bir özelliktir; az miktardaki alaşım elementlerinin etkisi hissedilebilir bir şiddette değildir. Isıl genleşme katsayısı malzemelerde sıcaklığın bir fonksiyonudur; el kitaplarında verilen değerler 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 [1,5].

4.2.4. Isıl iletkenlik katsayısı

Isıl iletkenlik katsayısı küçüldükçe kaynak yerine uygulanan ısı enerjisinin yayılma hızı da azalır ve erime noktasına daha çabuk erişilir. Dolayısıyla da kendini çekme miktarı düşer. Alaşım elemanı genel olarak ısı iletme kabiliyetini azaltır. Mesela; çelikte ısı iletme kabiliyetini karbon, manganez, silisyum ve krom gibi elemanlar azaltmasına rağmen, çeliğin sertleşmesiyle de bu kabiliyet yükselir. Bunun için alaşımlı çeliklerde dikişteki bölgesel sıcaklık, alaşımsız çeliklerden çok daha yüksektir. Böylece bu kısımlarda, konstrüksiyon rijitliğine göre, parçada gerilmeler veya çarpılmalar oluşturarak kuvvetli kendini çekme gerilmeleri meydana gelir [30].

4.2.5. Kaynak hızı

Kaynak işleminde ısı kaynağının ilerleme hızıdır. Aynı ark gücünde kaynak hızı yükselirse, parçaya verilen ısı miktarı da azalır. Tavlanan bölgenin darlığı nedeniyle kendini çekme miktarı küçülür ve dikişte büyük gerilme uçları oluşur [28].



Şekil 4.6. Kaynak hızının çekme gerilmesine etkisi

4.2.6. Kaynak metalinin ergime sıcaklığı

Kaynak bölgesi ile konstrüksiyonun tümü arasındaki sıcaklık farkı arttıkça, oluşan gerilmeler de şiddetlenir. Kaynak bölgesinin sıcaklığı kaynak metalinin ergime sıcaklığı ile sınırlı olduğundan, erime sıcaklığı yükseldikçe kendini çekme ve çarpılma olasılığı da artar [5].

4.2.7. Akma sınırı

Malzemenin akma sınırı 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 [5].

4.2.8. Elastiklik modülü

Elastiklik modülü, malzemenin rijitliğinin bir ölçüsüdür. Daha önce de belirtmiş

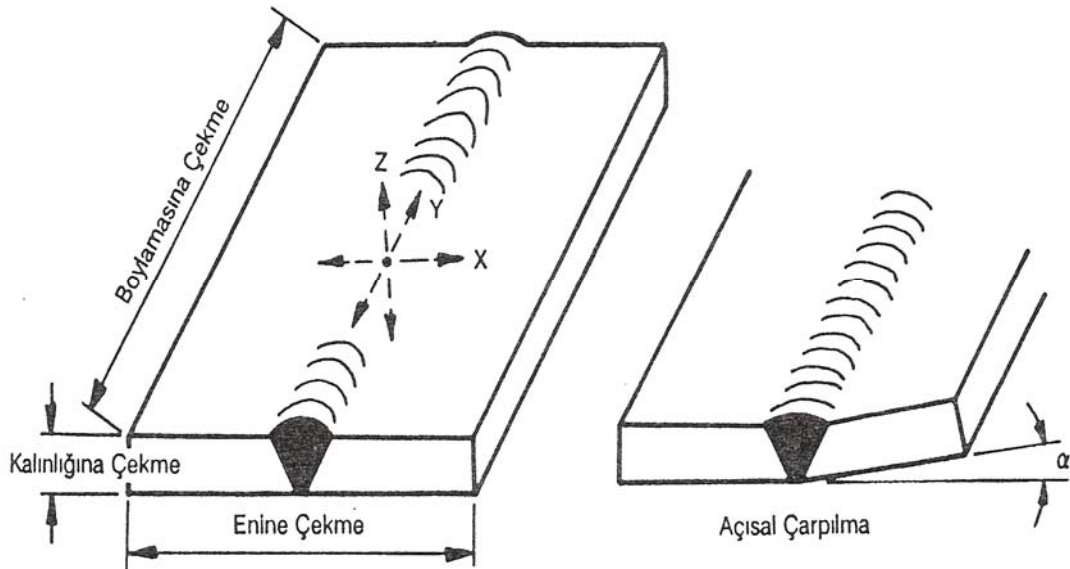
olduğumuz gibi rijitliğin artması çarpılma olasılığının da azalmasına neden olmaktadır [5].

4.3. Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Oluşan Başlıca Distorsiyon Tipleri

Kaynaklı yapıların üretimi sırasında üç temel boyutsal değişim meydana gelir. Kaynaklı konstrüksiyonlarda distorsiyona sebep olan bu değişimler şunlardır [2].

- 1- Kaynak çizgisine dik enine büzülme
- 2- Kaynak çizgisine paralel boyuna büzülme
- 3- Açısal distorsiyon (kaynak çizgisine göre dönme)

Bu üç boyutsal değişimin kaynaklı yapılarda sebep olduğu distorsiyonlar Şekil 4.7’de görülmektedir. Distorsiyonlar görüntülerine göre sınıflandırılabilir [2].

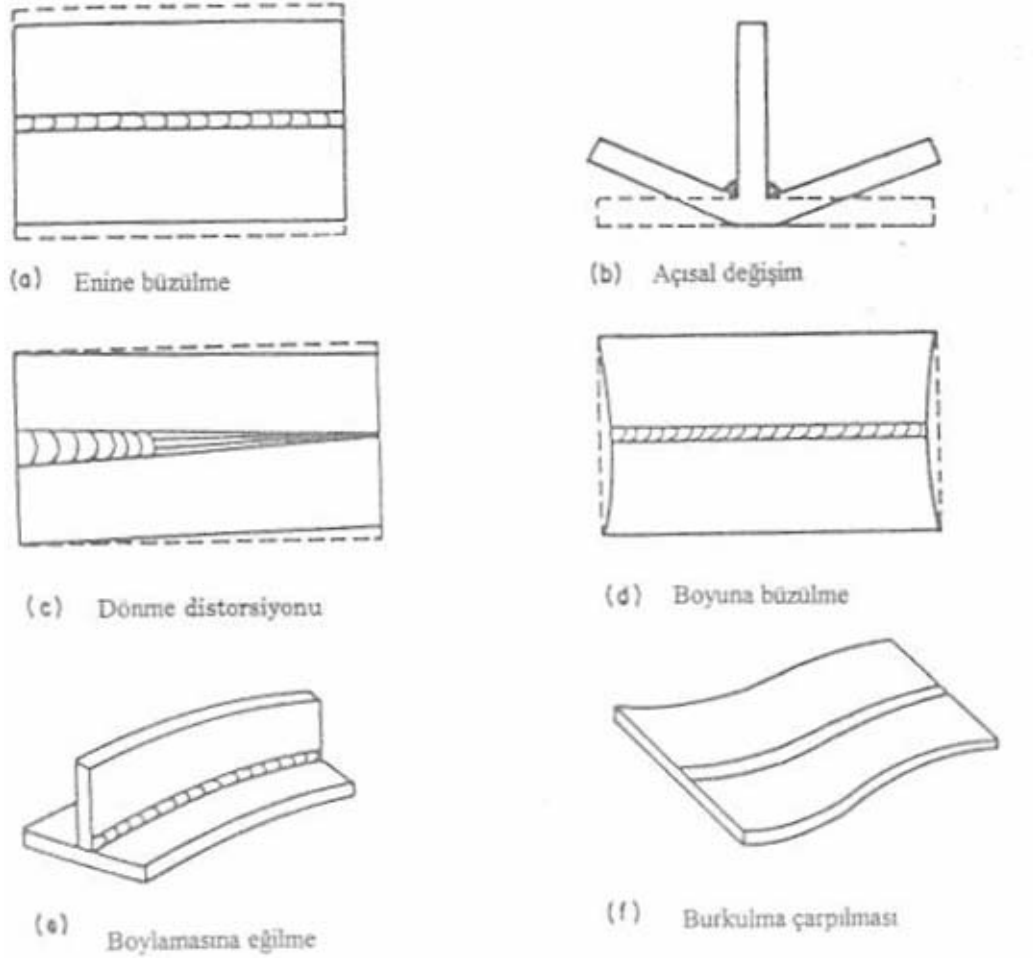


Şekil 4.7. Çeşitli distorsiyon şekilleri [5]

- 1-)Enine büzülme
- 2-)Boyuna distorsiyon
- 3-)Açısal distorsiyon
- 4-) Dönme distorsiyonu

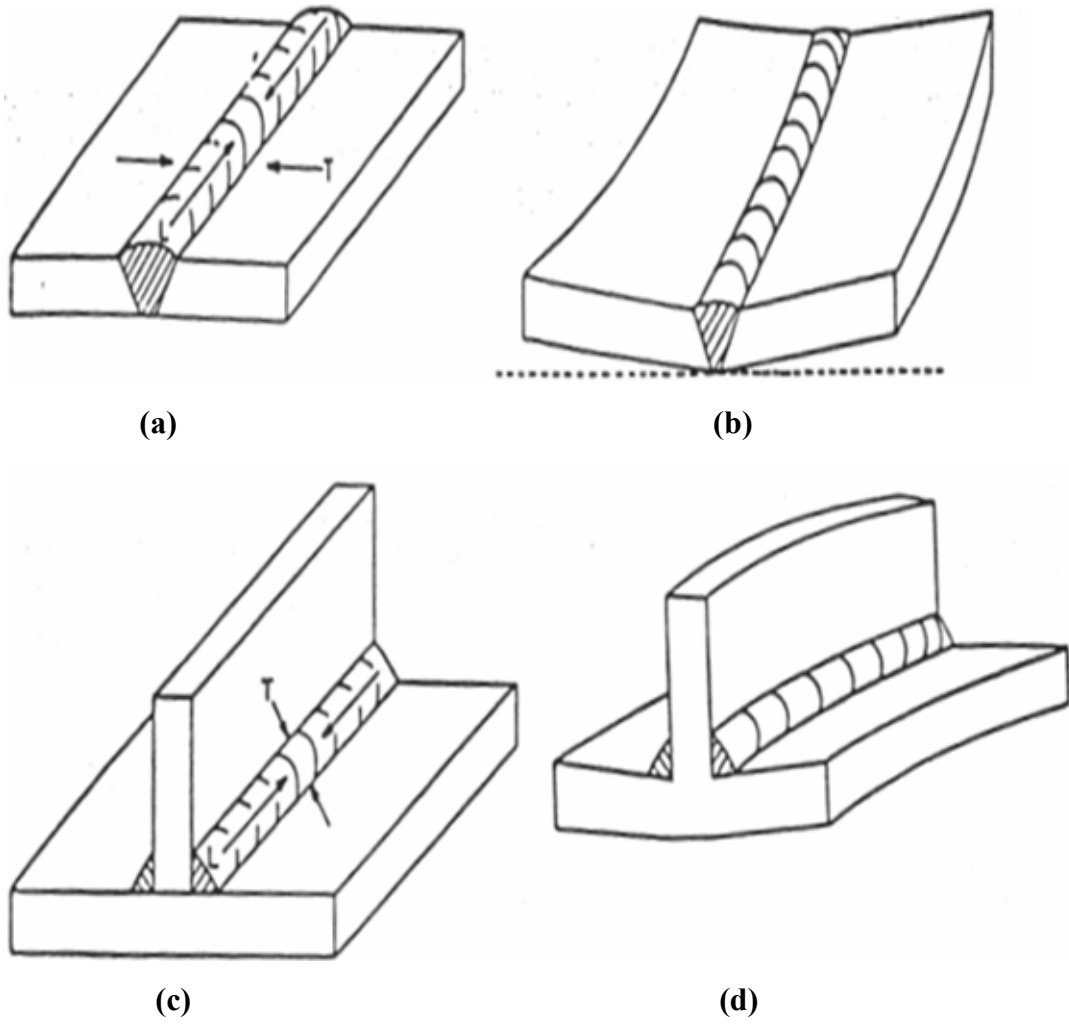
5-)Burkulma arpılması

6-)Kalınlık çekmesi



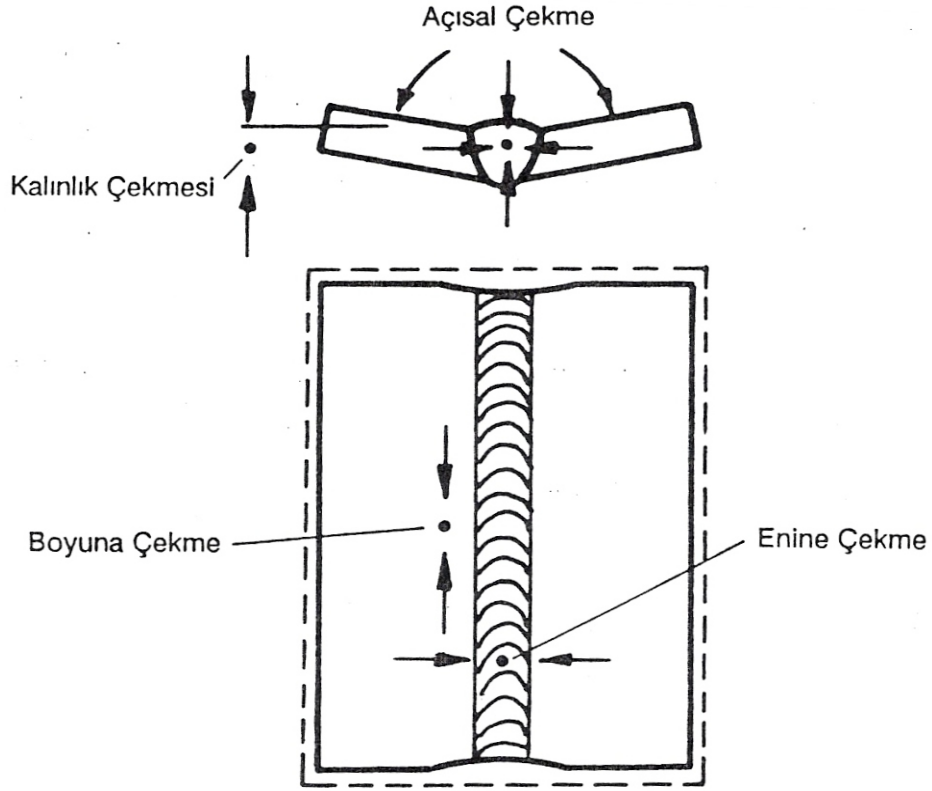
Şekil 4.8. Muhtelif kaynak distorsiyon türleri [2]

Şekil 4.9’da, alın ve köşe kaynağında oluşan açısal distorsiyonu görmekteyiz. Kalınlık yönünde enine çekmelerin düzensizliği açısal distorsiyonu doğurmaktadır. Ayrıca kaynak ağız açılarının açısal distorsiyon üzerine etkisi de görölmektedir. Yine aynı şekilde bir iç köşe kaynağında oluşan açısal distorsiyon gösterilmektedir. Burada, flanşın karşılıklı iki tarafındaki çekmenin dengesiz oluşundan dolayı açısal distorsiyon oluşmaktadır.

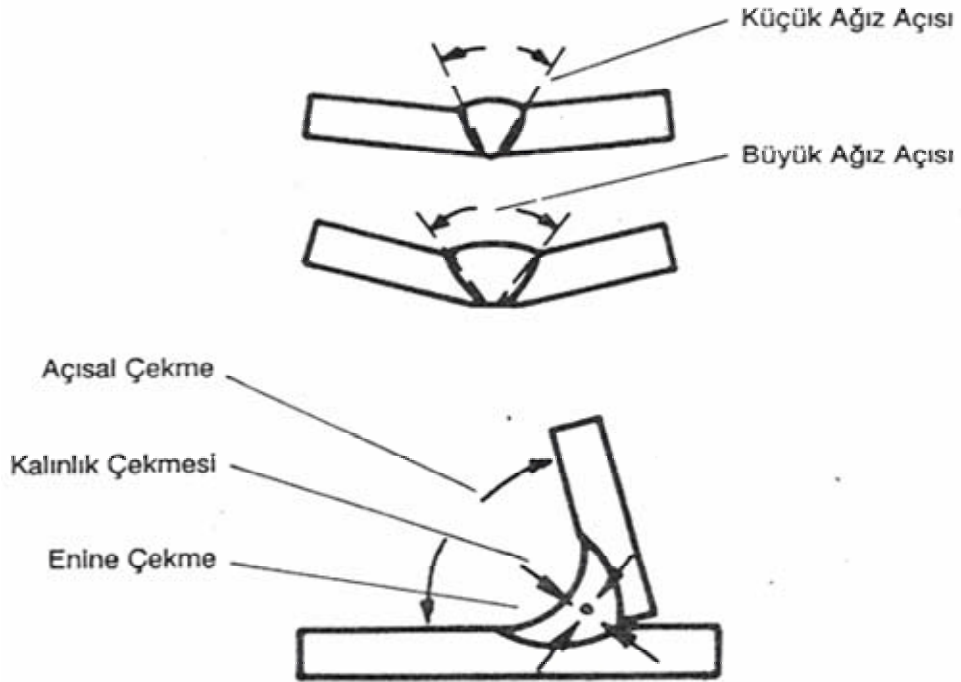


Şekil 4.9. Kaynaklı bir parça üzerinde çekme gerilmeleri ve distorsiyon türleri
 a) Alın kaynağında boyuna ve enine çekme gerilmeleri b) Alın kaynağında distorsiyon c) İç köşe kaynağında boyuna ve enine çekme gerilmeleri d) İç köşe kaynağında distorsiyon

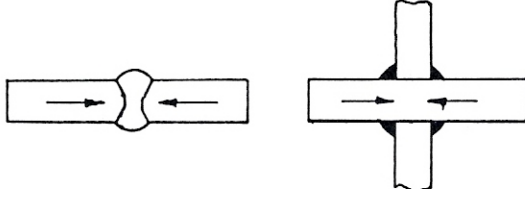
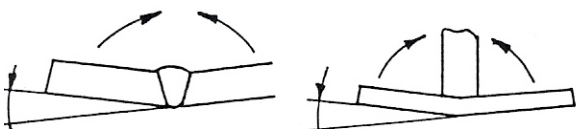
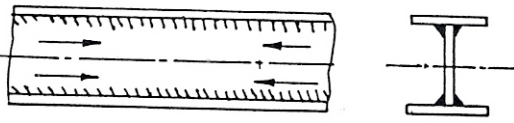
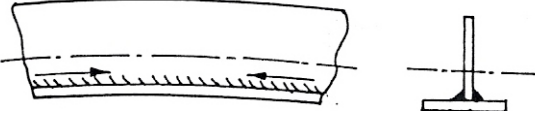
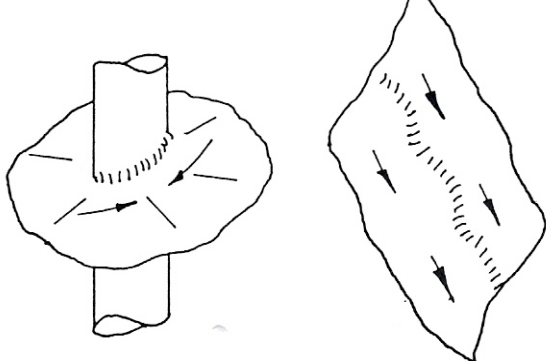
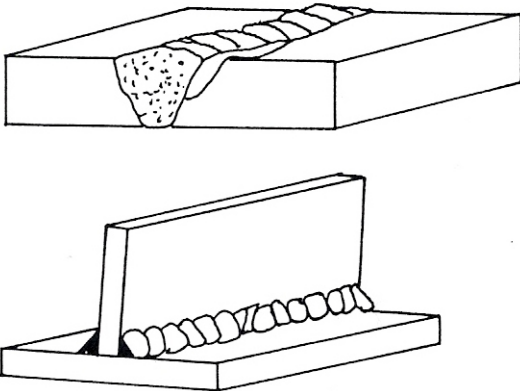
Bu çekme ve çarpılmalar, kaynaklı yapılarda parçanın formuna, büyüklüğüne ve boyutlarına bağlı olarak, kalıcı değişiklikler meydana getirirler. Meydana gelen bu kalıcı değişiklikler, serbest haldeki sac plakalarda ve simetrik dikişlerde enine kısaltmalar, V alın dikişleri ve T - bağlantılarındaki içköşe dikişlerinde açısal çarpılmalar, her iki taraftan boyuna dikişler içeren çift T - kirişlerinde kısaltmalar, tek taraftan boyuna kaynatılan T - kirişlerinde eğilmeler ve ince kesitli saclarda dalgalanmalar şeklinde kendisini gösterir (Şekil 4.12).



Şekil 4.10. Kaynaklı bir parça üzerinde çekme türlerinin etkileri-a [5]



Şekil 4.11. Kaynaklı bir parça üzerinde çekme türlerinin etkileri-b [5]

Bağlı olmayan saclarda ve simetrik dikişlerde enine distorsiyon	
V - dikişleri ve T - bağlantılarındaki iç köşe dikişlerinde açılma çarpılma	
Her iki taraftan boyuna dikişler içeren çift T - kirişlerde kısalmalar	
Tek taraftan boyuna dikişler içeren T - kirişte eğilmeler	
İnce saclarda dalgalanmalar	
Yeterli şekil değiştirme kabiliyeti olması nedeniyle; Enine gerilmelerin geniş bölgesinde neden oldukları boyuna çatlak Boyuna gerilmeler nedeniyle iç köşe dikişte enine çatlak	

Şekil 4.12. Kaynaklı yapılarda görülen çekme ve çarpılmalar [28]

4.3.1. Kaynaklı birleştirmelerde enine distorsiyon

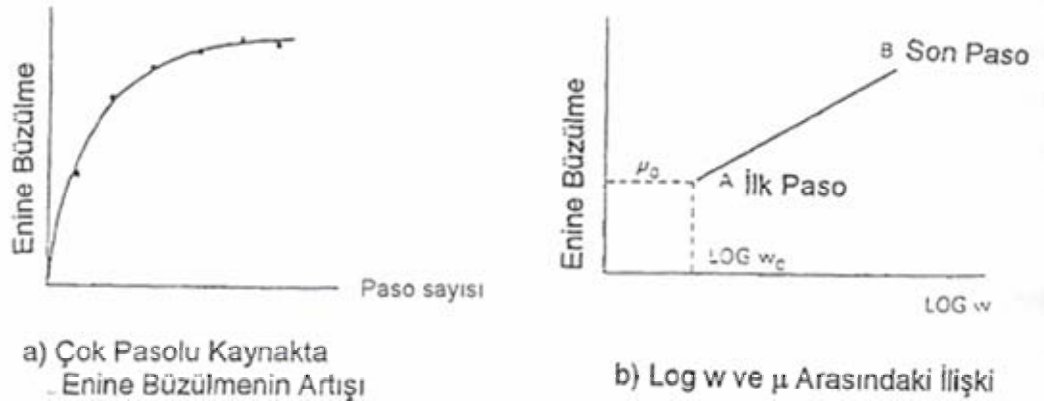
Enine distorsiyon, iş parçasında kaynak dikişine dik eksen boyunca ortaya çıkan kendini çekmedir. Kaynak arkının sıcaklığıyla karşılaşan iş parçası, ağız aralığını daraltır. Ayrıca kaynak banyosunun katılaşma ve soğumasının sonucunda ortaya çıkan kendini çekmenin de etkisiyle enine distorsiyon (çekme) 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 [5].

Bir kaynaklı yapıda kaynak dikişinin büzölme engelleme derecesi, yani engelleme miktarı kaynaklı yapıda distorsiyon veya çatlama oluşumunun önemli parametresi olur. Bir kaynaklı yapıda ne kadar büzölmeler engellenirse distorsiyon azalır ve kalıntı gerilmeler o oranda artar. Belli bir malzeme ve kaynaklı birleştirme işleminde büzölme engellenmesi belli bir limiti aştığı zaman çatlama meydana gelir. Kaynak metali ve IT AB' da sıcak ve soğuk çatlamalar oluşur [31, 32].

Alın kaynağında enine distorsiyon

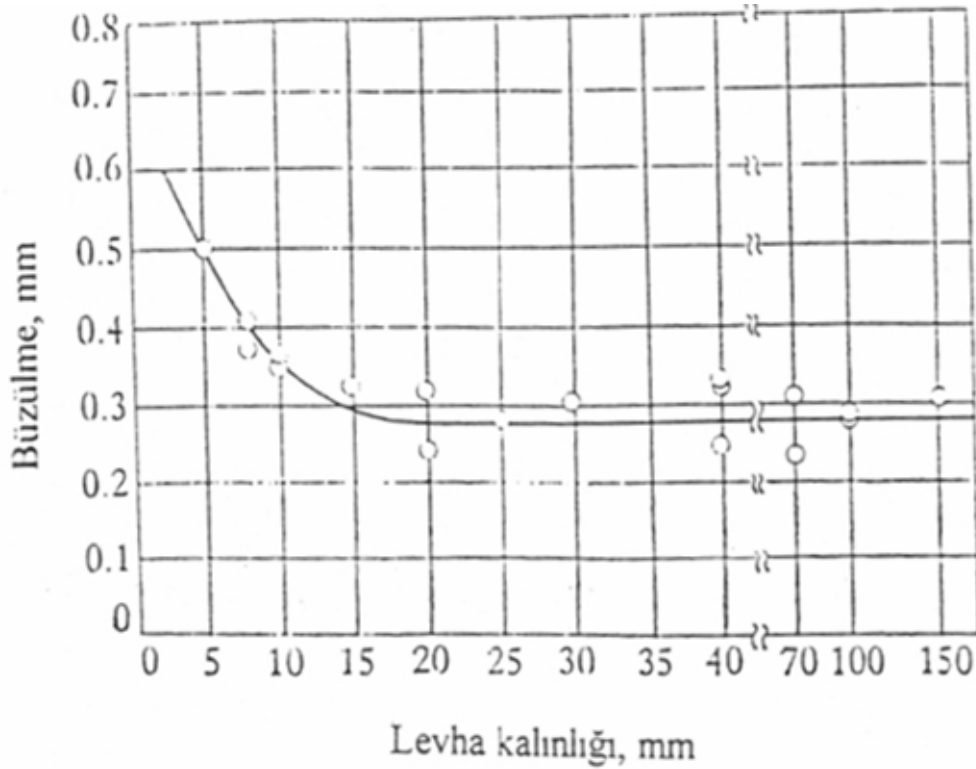
Tek pasolu bir alın kaynağının enine büzölmesinin önemli bir kısmı, esas metalin daralmasının sonucudur. Esas metal, kaynak sırasında genleşir. Kaynak metali katılaşmaya başladığında, genleşmiş esas metal büzölür. Bu büzölme, enine büzölmenin temel kısmını oluşturur. Kaynak metalinin kendi büzölmesi, gerçek büzölmenin sadece % 10'unu oluşturur.

Alaşımsız yapı çeliklerinde, alın birleştirmelerin çok pasolu kaynağı sırasında, enine büzölmeler her pasoda artar. şekil 4.13-a ' da gösterildiği gibi, ilk pasoda daha çok olan büzölme miktarı daha sonraki pasolarda azalmaktadır. Kaynak dikişinin kesiti büyüdükçe büzölmeye karşı olan direnç artar. şekil 4.13-b ' de gösterildiği gibi, kaynak metalinin ağırlığının logaritması ile toplam büzölme miktarı arasında lineer bir ilişki vardır [3].



Şekil 4.13. Çok pasolu alın birleştirmelerinde, kaynak metali ağırlığının enine büzülmeler üzerine etkisi [3]

İş parçası uzunluğu büzülme miktarı üzerinde etkilidir. Ancak parça boyu kısa olunca soğuma daha çabuk gerçekleşeceğinden daha kısa sürede kılma meydana gelmektedir. Levha kalınlığı arttıkça ise büzülme azalmaktadır. Şekil 4.14'de parça kalınlığının büzülme oranındaki etkisi görülmektedir [2].



Şekil 4.14. Alın kaynağı yapılan çelik levhalarda kalınlığın büzülmeye etkisi [2]

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 [4]:

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

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 4.15’de şematik olarak gösterilmiştir. Bu metotlar şunlardır:

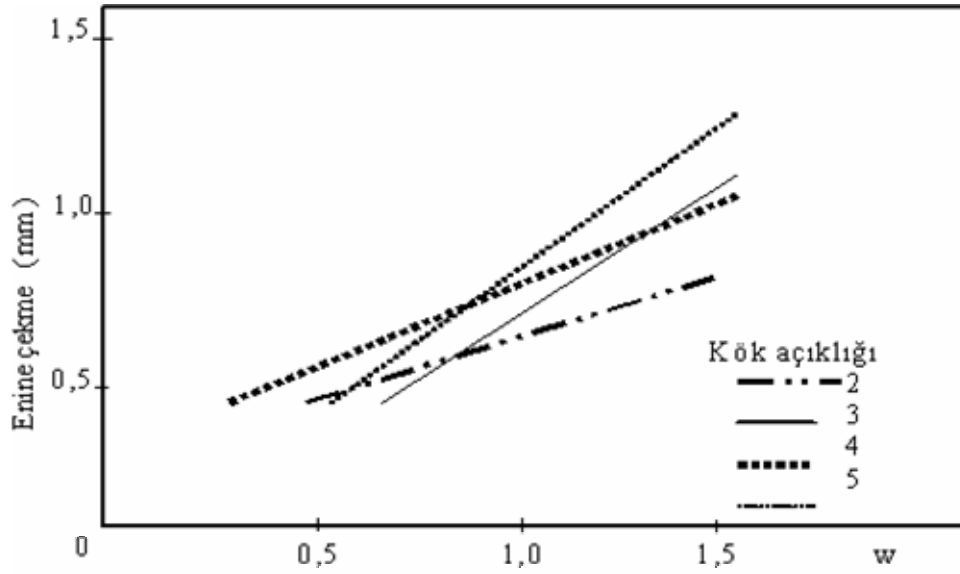
1- Şekil 4.15’de 1 nolu okla gösterildiği gibi, kaynak metalinin toplam ağırlığı azaltılır. Böylece toplam çekme B’den C’ye çekilmiş olur.

2- 2 nolu okla gösterildiği gibi, tanjant b değeri azaltılır. Toplam çekme B’den D’ye çekilmiş olur.

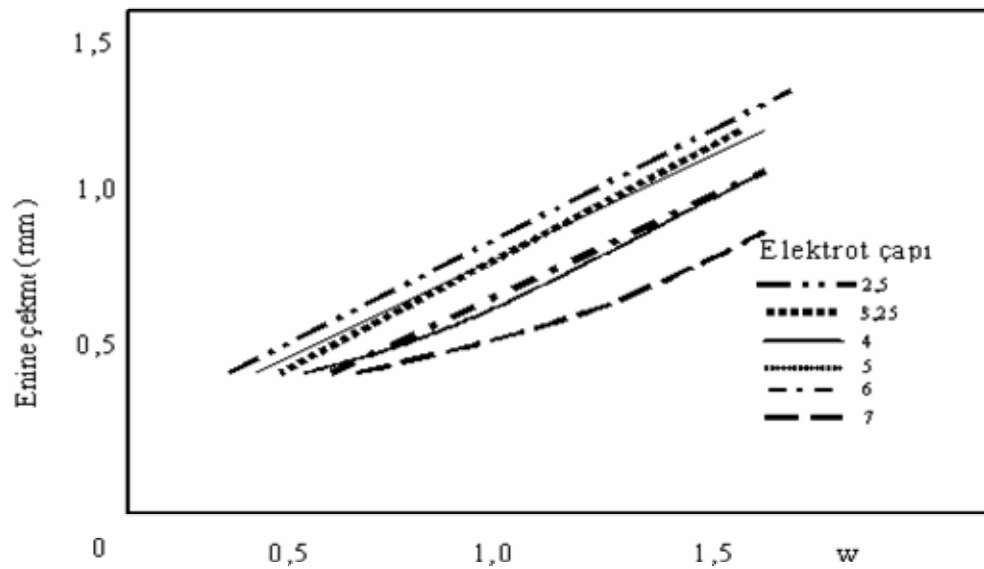
3- Çekme, 3 nolu okla gösterildiği gibi, birinci pasodan sonra A’dan A’ne kayar. Kaynak tamamlandıktan sonra toplam çekme B’den E’ye değişir [4].

Kaynak için uygulanan ısıнын, enine çekme üzerindeki etkisi ele alınırsa, kaynak için gereken toplam ısı azaldıkça enine çekmelerin de azaldığı görülür (Şekil 4.15 (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 4.15’de B ve E noktaları).

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.

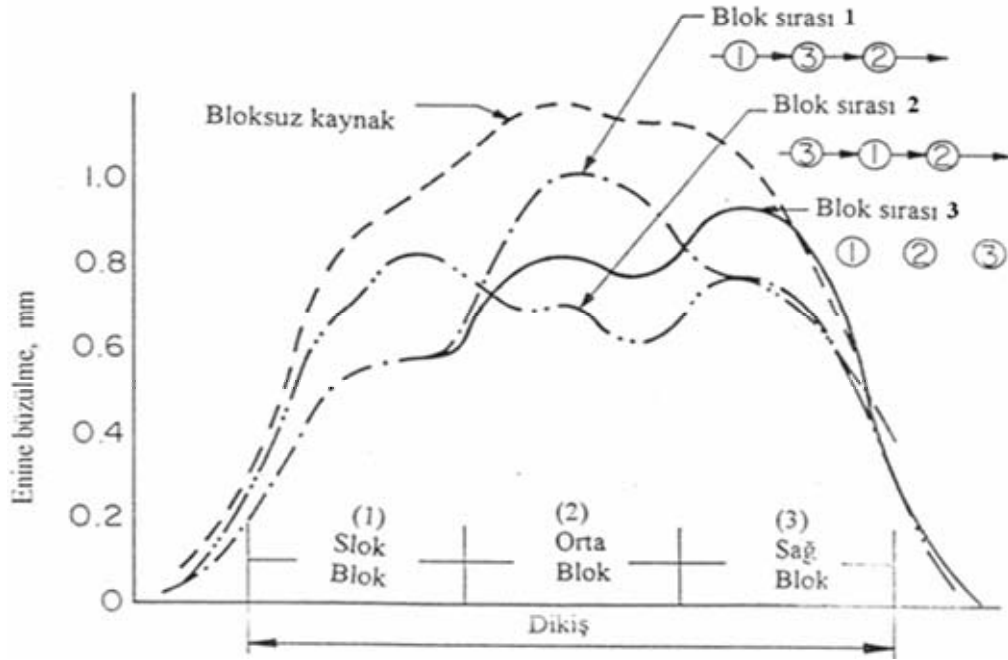


(a)



(b)

Şekil 4.16. Alın kaynaklarında, kök açıklığının ve elektrot çapının enine çekmeye etkisi (w = birim dikiş uzunluğunun ağırlığı, g/cm) a) Kök açıklığının etkisi b) Elektrot çapının etkisi [2]



Şekil 4.17. Çeşitli kaynak sırası ile kaynatılan bir yarık kaynağı numunesinde oluşan enine çekmenin dağılımı [4]

Tek V alın kaynak ağzının kaynak metal, çift V alın kaynak ağzı kaynak metalinden daha fazla olur. Bu nedenle tek V alın kaynakta daha fazla distorsiyon meydana gelir (Şekil 4.18). Levha kalınlığına bağlı olarak kaynak ağız açısı arttığında distorsiyon miktarı da artmaktadır (Şekil 4.19).

Büyük konstrüksiyonlarda kaynak alanının artması meydana gelen distorsiyon veya kalıntı gerilme miktarını artırmaktadır. Büyük kaynak alanlarında yüksek sıcaklık distorsiyon oluşumunu desteklemektedir [33].

İç köşe kaynağında enine distorsiyon

Kaynaklı yapılarda iç köşe kaynak işlemlerinde meydana gelen çekme miktarı alından yapılan kaynaklı birleştirmelerden daha azdır (Şekil 4.20). Yatay sacın (levha) kaynak işlemi sırasında kaynak ısı etkisiyle tavlanması enine distorsiyonun meydana gelmesine neden olmakta ve dikiş kalınlığının sac kalınlığına oranlanması ile şu şekilde yorumlanmaktadır [28].

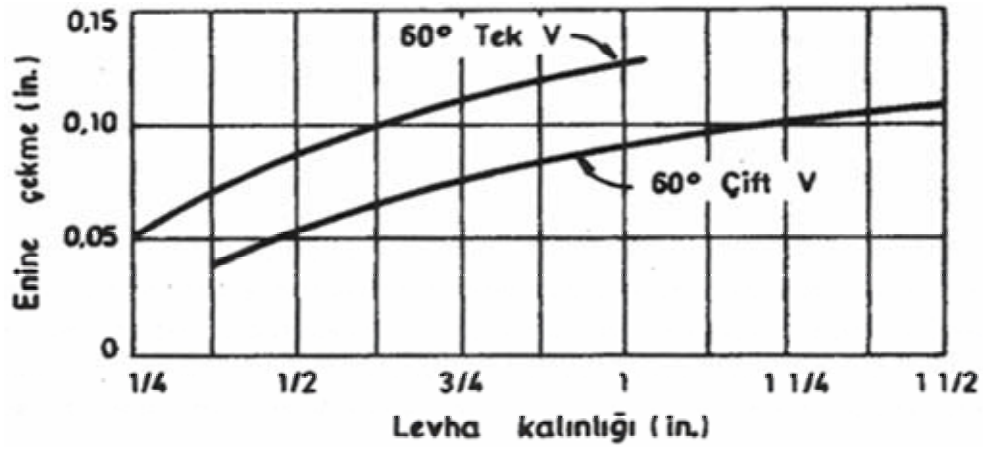
$$\frac{\text{Dikiş kalınlığı}}{\text{Sac kalınlığı}} = \frac{a}{s}$$

Bu oranın değeri;

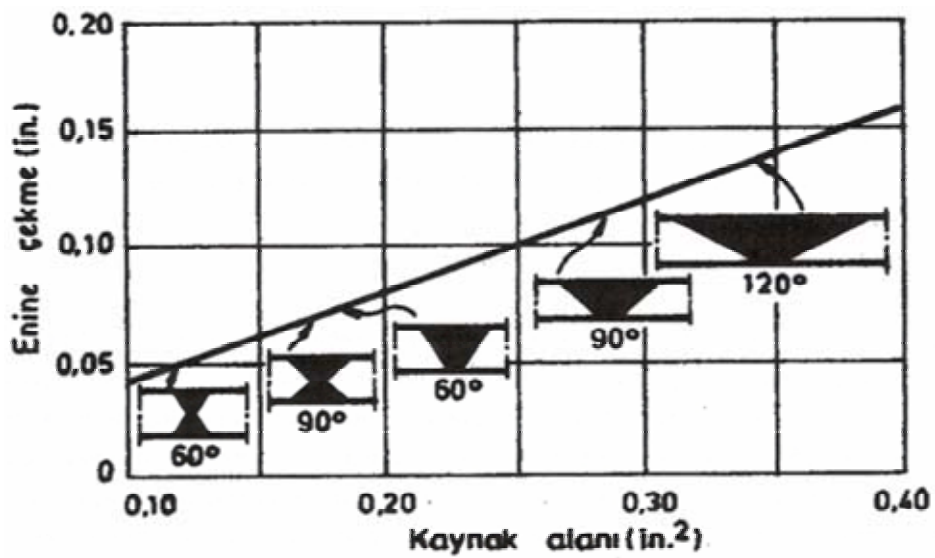
0,3 ise distorsiyon az

0,5 ise distorsiyon normal

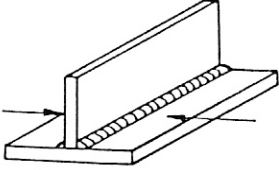
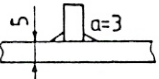
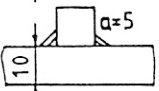
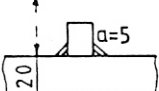
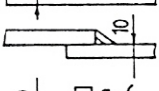
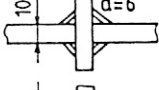
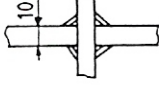
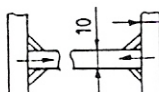
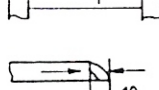
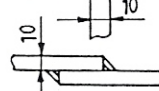
0,8 ise distorsiyon fazladır.



Şekil 4.18. Tek V ve çift V alın kaynaklarında levha kalınlığına bağlı olarak enine distorsiyonun artışı [11]



Şekil 4.19. Tek V alın kaynaklarında kaynak metali kesit alanına bağlı olarak enine distorsiyonun artışı [11]

		
Kesiti	Enine Çekme (mm)	Doldurma Şekli
	0,5	
	0,3	Yatay Pozisyonda İkişer Paso
	0	Yatay Pozisyonda İkişer Paso
	0,5	Yatay Pozisyonda İkişer Paso
	10	Oluk Pozisyonu
	1,3	Dikme Kaynak Pozisyonu
	0	Yatay Pozisyonda İkişer Paso
	0	Yatay Pozisyonda İkişer Paso
	0,8	Yatay Pozisyonda İkişer Paso

Şekil 4.20. Fe 37 ve Fe 42 çeliklerin örtülü elektrotla yapılan iç köşe kaynaklarında enine distorsiyon miktarı [28]

4.3.2. Kaynaklı birleştirmelerde boyuna distorsiyon

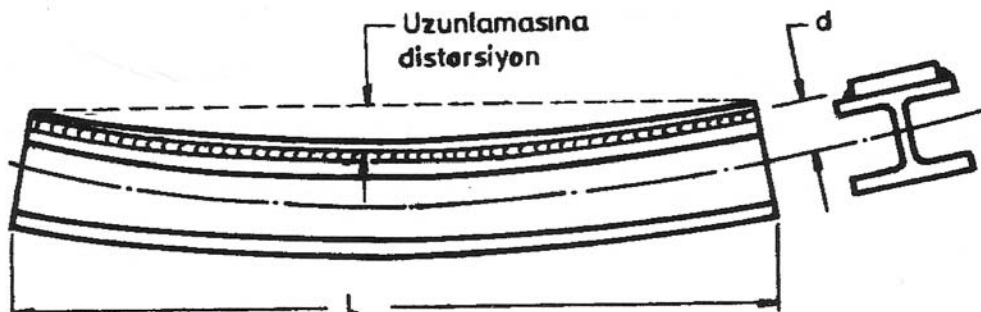
Parçanın kaynak dikişi yönündeki ekseni boyunca kendini çekmesi, boyuna çekme diye adlandırılır. Kaynak yerinin erimesi esnasında, dikişin komşu bölgeleri genişlemek ister, fakat soğuk kısımlar boylamasına uzamaya engel olur ve dolayısı ile ısınmış kısımlarda plastik bir yığılma oluşur ve soğuma sonucu oluşan bölgelerin kendini çekmesi de boylamasına çekmelerin ortaya çıkmasına neden olur [27].

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.

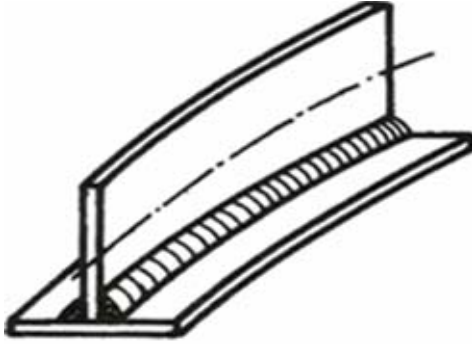
İç köşe kaynaklarında kaynak metal kesiti ve kaynak edilen parçaların kesitine bağlı olarak boyuna çekme meydana gelir. Kaynak edilen levhaların kalınlığı ve genişliği arttıkça çekmeye karşı gösterdiği direnç artacaktır [2].

Şekil 4.21’de I köşebentte kaynak sonrası oluşan boyuna distorsiyon, Şekil 4.22’de ise iç köşe kaynağı ile birleştirilmiş parçalardaki boyuna distorsiyon görülmektedir.

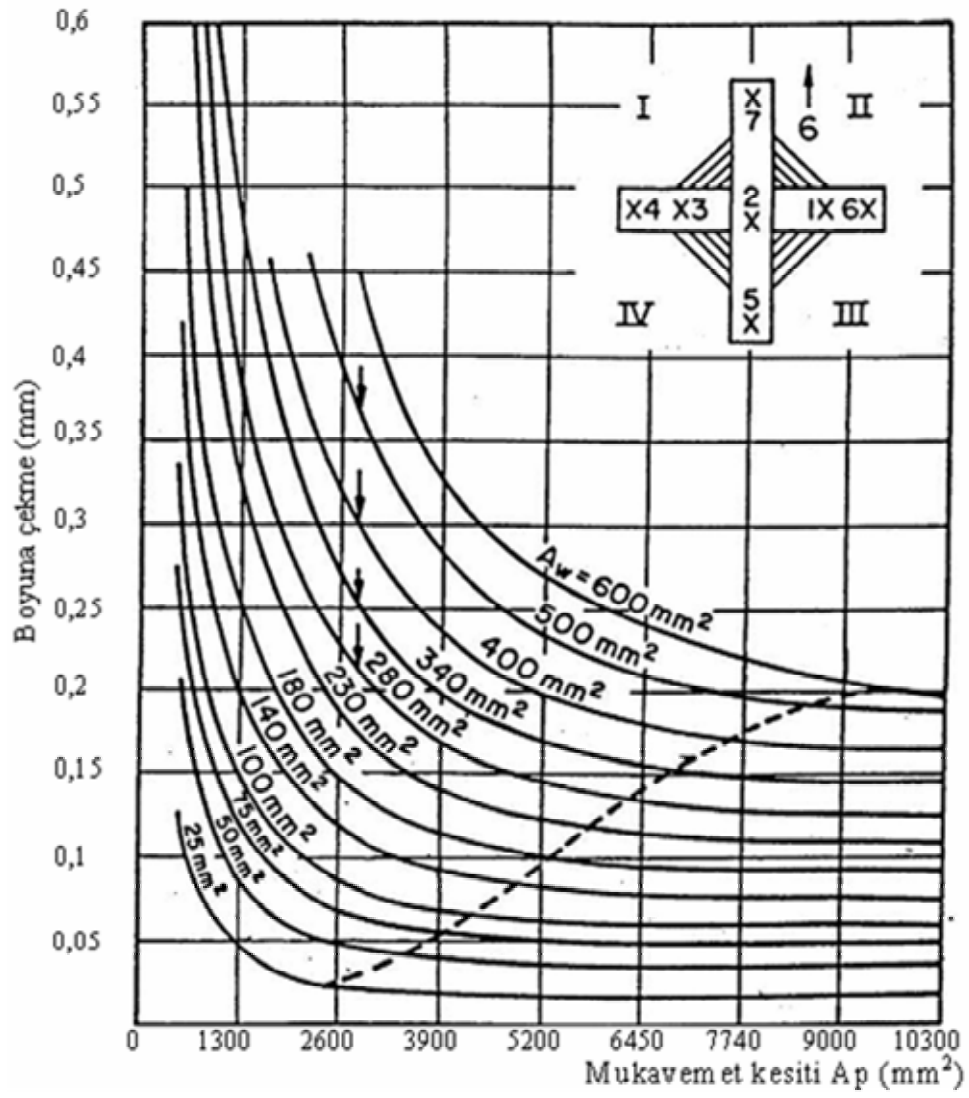
Kaynak yapılan plakalar daha geniş ve kalın olursa, tahditleme de o derece etkili olmaktadır. Kaynaklı plakaların toplam enine kesiti, mukavemet kesiti olarak adlandırılır. Şekil 4.23’de Guyot tarafından elde edilen sonuçlar görülmektedir. Enine kesitteki simetrikliği muhafaza etmek ve boyda oluşan burkulmayı minimuma indirmek için Guyot, plakaları kros profil şeklinde toplamıştır. Çekme değerleri, mukavemet kesit alanı ile kaynak metalinin kesit alanının bir fonksiyonu olarak belirlenmişlerdir.



Şekil 4.21. I köşebentte oluşan boyuna distorsiyon [11]



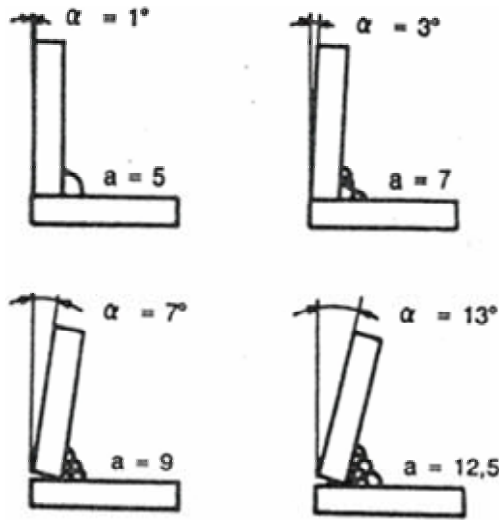
Şekil 4.22. İç köşe kaynağı ile birleştirilmiş parçada oluşan boyuna distorsiyon [11]



Şekil 4.23. Boyuna çekmenin, mukavemet kesiti A_p ile kaynak metali kesiti A_w 'nin bir fonksyonu olarak değişimi [2]

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 bağılı olarak değışir. Şekil 4.24’de Fe 37 çeliğinden yapılmış iç köşe birleştirmelerinde açısıl distorsiyonun kaynak dikiş yüksekliğı ile değışimi görölmektedir [5].



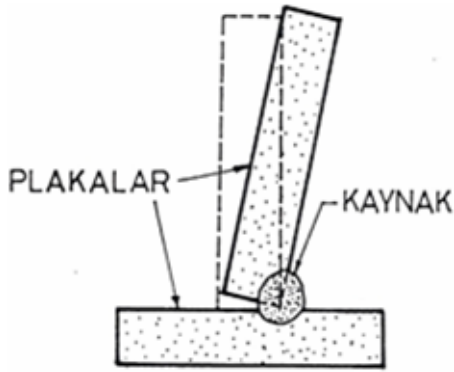
Şekil 4.24. Fe 37 Çeliğinden yapılmış iç köşe birleştirmelerinde açısıl distorsiyonun kaynak dikiş yüksekliğı ile değışimi [5]

Açısıl distorsiyon çoğunlukla, bir alın bağılantısındaki enine büzölmenin kalınlık doğrultusunda üniform olmadığı durumlarda ortaya çıkar. Ters yöndeki açısıl değışim, çift V ağız formunun diğere tarafının kaynağının sonucudur [34].

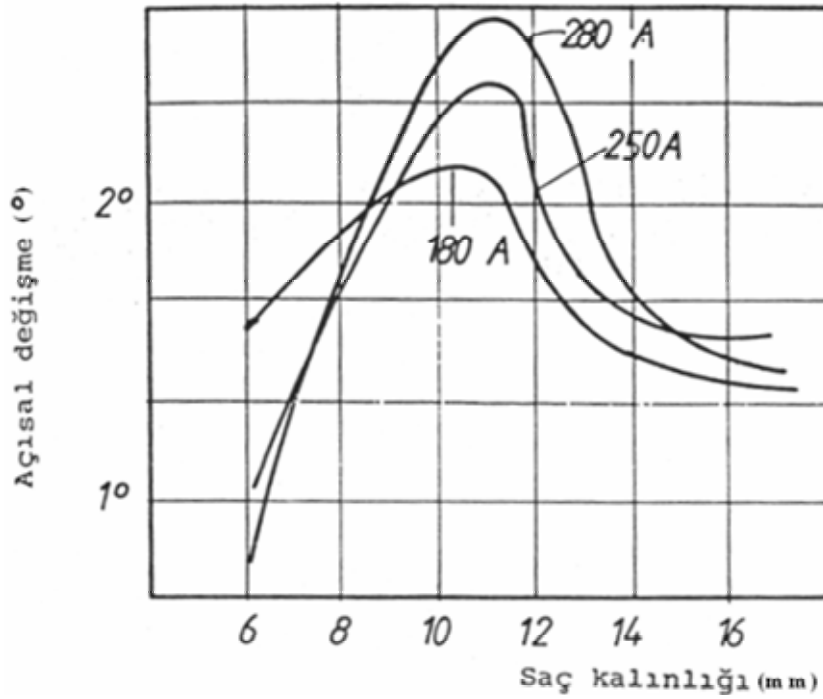
Köşe kaynakları boyuna ve enine gerilmelerin her ikisini de içerir. Köşe kaynaklarında birleştirmenin düşey parçası kaynak yapılan tarafa doğru çekilecektir (Şekil 4.25). Yani açısıl distorsiyon meydana gelecektir [28].

Kalın levhalarda sıcaklık farkı büyük olduğundan ve meydana gelen yüksek gerilmeler ısıl distorsiyonlara karşı koyduğundan açısıl çarpılma miktarı az olur.

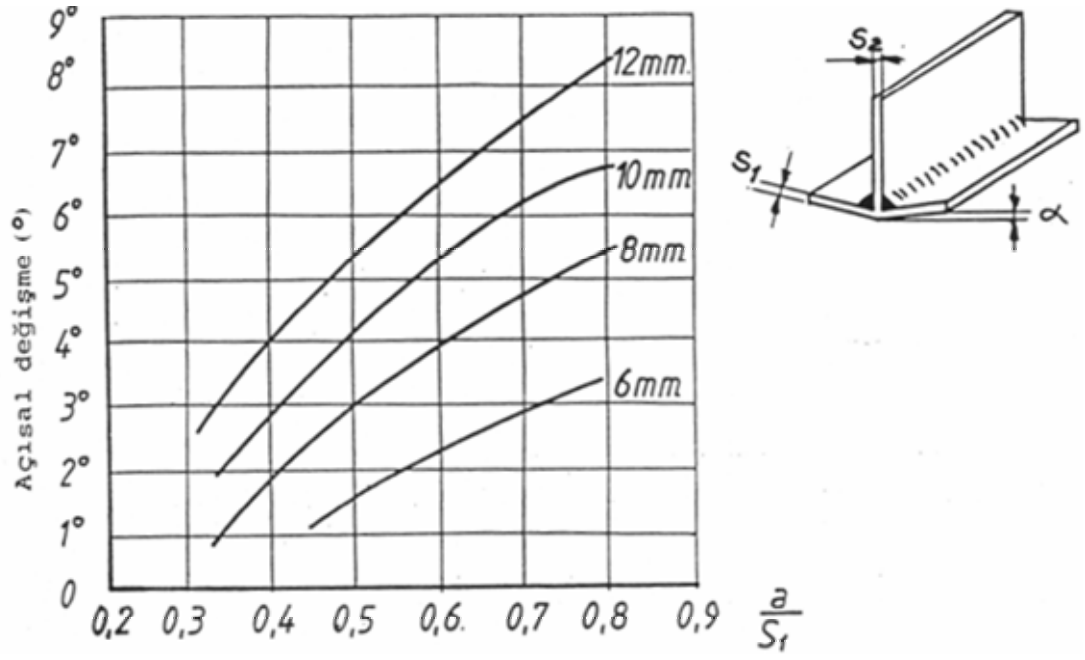
Çeşitli sac kalınlıklarında ve akım şiddetlerinde meydana gelen açısai çarpılma Şekil 4.26'de görölmektedir. Bu deney, uçları serbest olan parçaların T iç köşe kaynağı yapılarak elde edilmiştir. Kloppel açısai çarpılmanın kaynak boyutunun levha kalınlığına bağılı olduğunu deneysel olarak gösterilmiştir (Şekil 4.27). İç köşe kaynaklarında kaynak metal ağırlığı ve levha kalınlığına bağılı olarak açısai çarpılmanın çeliklerdeki değişimini görmekteyiz (Şekil 4.28).



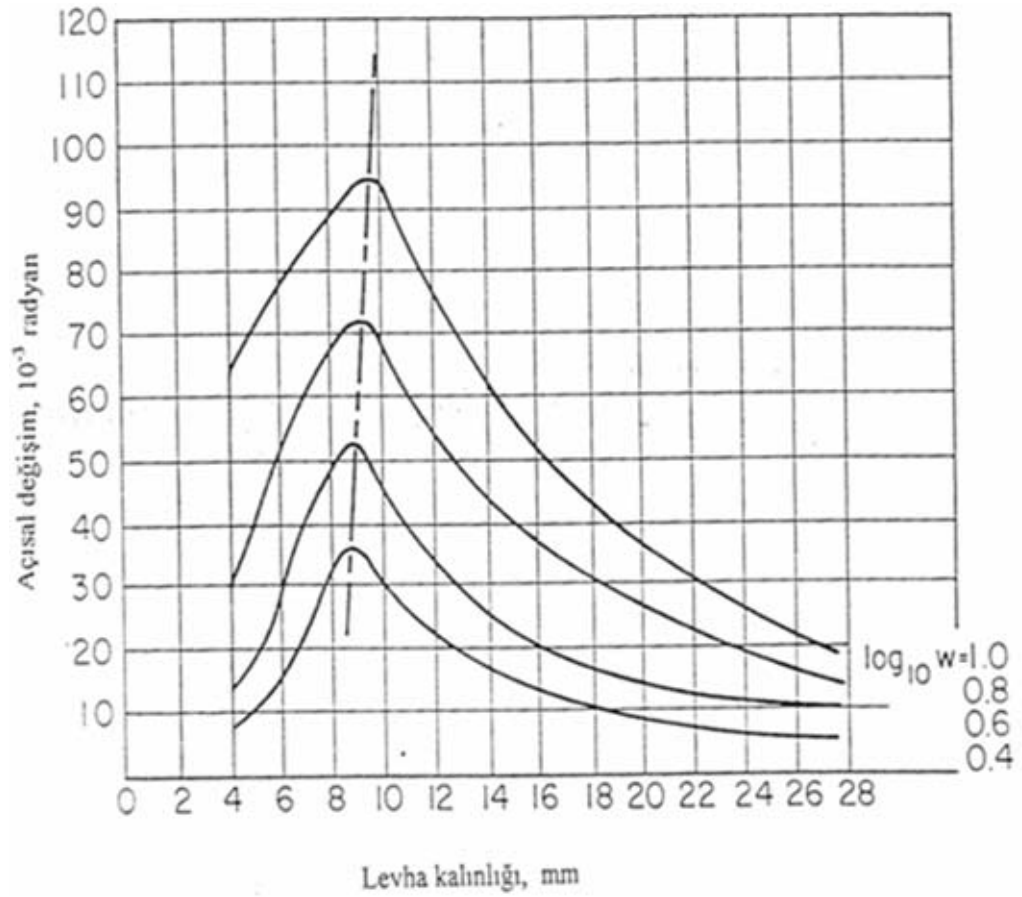
Şekil 4.25. T birleştirmelerinde meydana gelen açısai distorsiyon [28]



Şekil 4.26. Çeşitli sac kalınlıklarında ve akım şiddetlerinde iç köşe dikişlerinde oluşan açısai değişme [2]



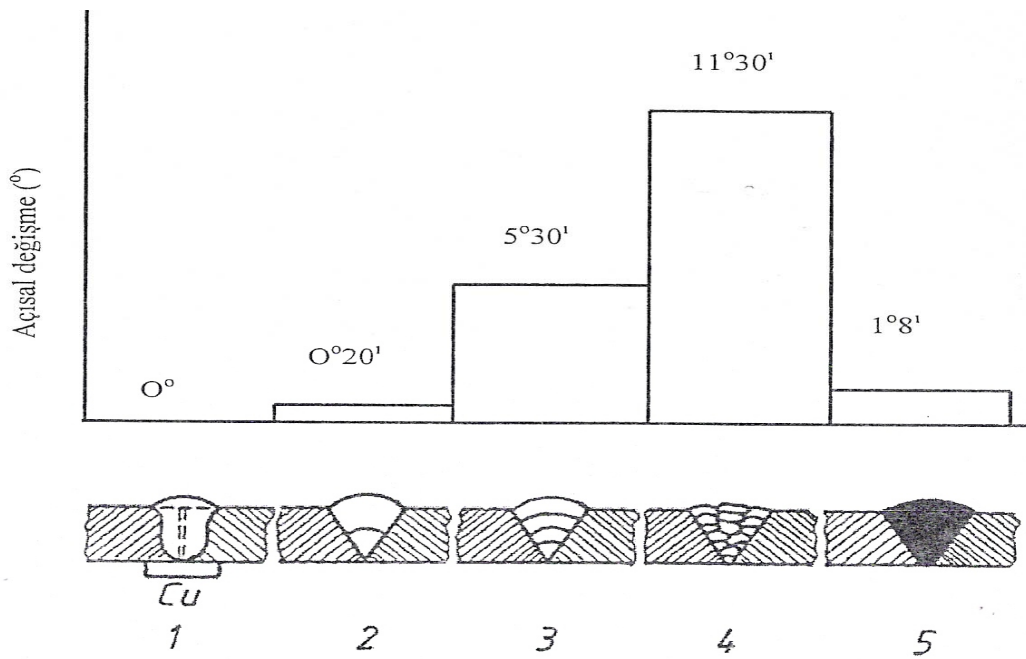
Şekil 4.27. İç köşe dikişlerinde meydana gelen açısal distorsiyon [2]



Şekil 4.28. Serbest büzülen çeliğin iç köşe kaynaklarında açısal distorsiyonu [2]

İmal edilen tasarımlar için farklı kaynak yöntemleri distorsiyonu en aza indirebilir [35]. Alın kaynaklarında, kaynak yönteminin açısal değişme üzerindeki etkisini Şekil 4.29'da görebiliriz. Burada en fazla açısal değişme kaynak; elektrik ark kaynağı ile küçük pasolar halinde yapıldığı zaman oluşmaktadır.

Şekil 4.30'da ise sac kalınlığının açısal distorsiyon üzerindeki etkisi görülmektedir. Levha kalınlığı arttıkça paso sayısı mecburen arttığı için distorsiyon da artmaktadır.



Şekil 4.29. Çeşitli kaynak yöntemlerinin ve dikiş şeklinin açısal değişime etkisi [1]
 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)

Aşağıda sıralanan faktörler açısal distorsiyona etki ederler [26].

- i) Hareket serbestisi olan “V” alın birleştirmelerinde paso sayısının artmasına bağlı olarak açısal çarpılda artar.
- ii) Açısal çarpılma, sırası ile önce “V” sonra “U” kaynak ağzı formuna sahip

kaynaklarda en büyük ve çift “V”(X) kaynak ağzı formuna sahip kaynaklarda en azdır.

ii) Her çekilen pasodan sonra uygun tarzda çekiçleme işlemi açılmal çarpılma miktarını etkiler.

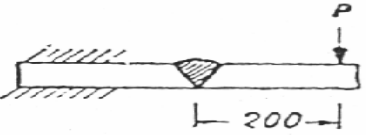
iv) Kaynak zamanı ve elektrot çapının açılmal çarpılma üzerine önemli etkisi vardır.

v) Gereğinden fazla kaynak metali hacmi ve özellikle ince saçların kaynağında düşük kaynak hızında oluşacak distorsiyon büyük olacaktır.

vi) Çok pasolu birleştirmelerde kaynak dikişinin birbirini izleyerek yapılması, kaynak ağzı hatlarının genişliğinin kaynak ağzı doldurulurken artması, kaynak işleminin tamamının tek taraftan yapılması durumunda meydana gelecek çarpılmanın önlenmesi gerçekte imkânsızdır.

vii) Çekme, kaynak hacmine bağlı olarak artar ve ısı giriş oranının yükselmesiyle azalır.

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

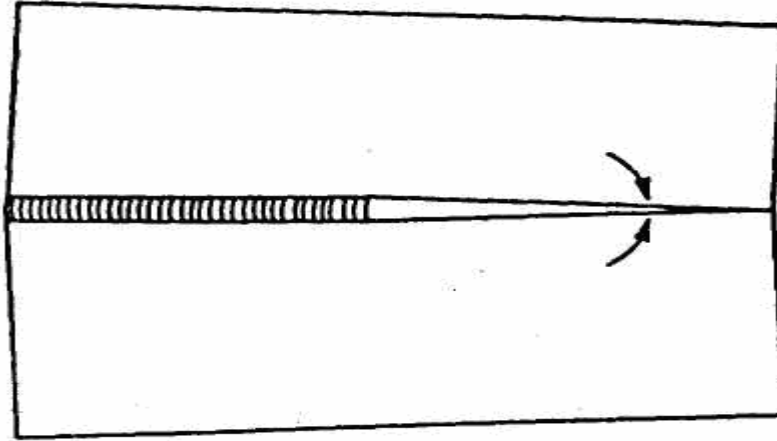


Şekil 4.30. Tek V kaynak ağzında sac kalınlığının açılmal distorsiyona etkisi [28]

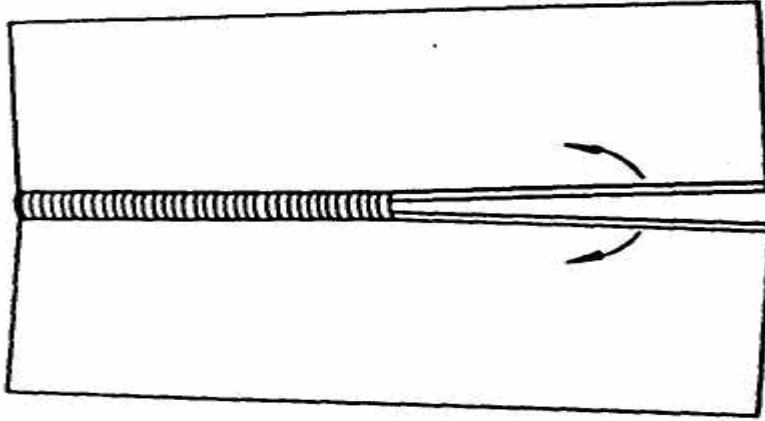
4.3.4. Kaynaklı birleştirmelerde dönme distorsiyonu

Dönme distorsiyonu, iki levha alın kaynağı ile birleştirilirken kaynak dikişi bir uçtan başlar ve ilerler. Diğer uca doğru gidilirken, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de görüldüğü gibi kaynak yapılmamış kısımlar dönme etkisiyle hareket eder ve çarpılma olur.

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 olduğı gerilmelere dayanacak kadar büyük olmalıdır, yoksa gerilmeler punta dikişini kırarak dönmeyi meydana getirirler [2].



Şekil 4.31. Örtülü elektrotla kaynak esnasında kaynatılmayan kısımda dönme distorsiyonu[2]



Şekil 4.32. Tozaltı kaynağı esnasında kaynatılmayan kısımda dönme distorsiyonu [2]

4.3.5. Kaynaklı birleştirmelerde burkulma distorsiyonu

Özellikle ince plakalar kaynatıldığı zaman kaynak metalinden uzak bölgelerde oluşan kalıntı basma gerilmeleri, burkulmaya sebep olurlar. 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 [1].

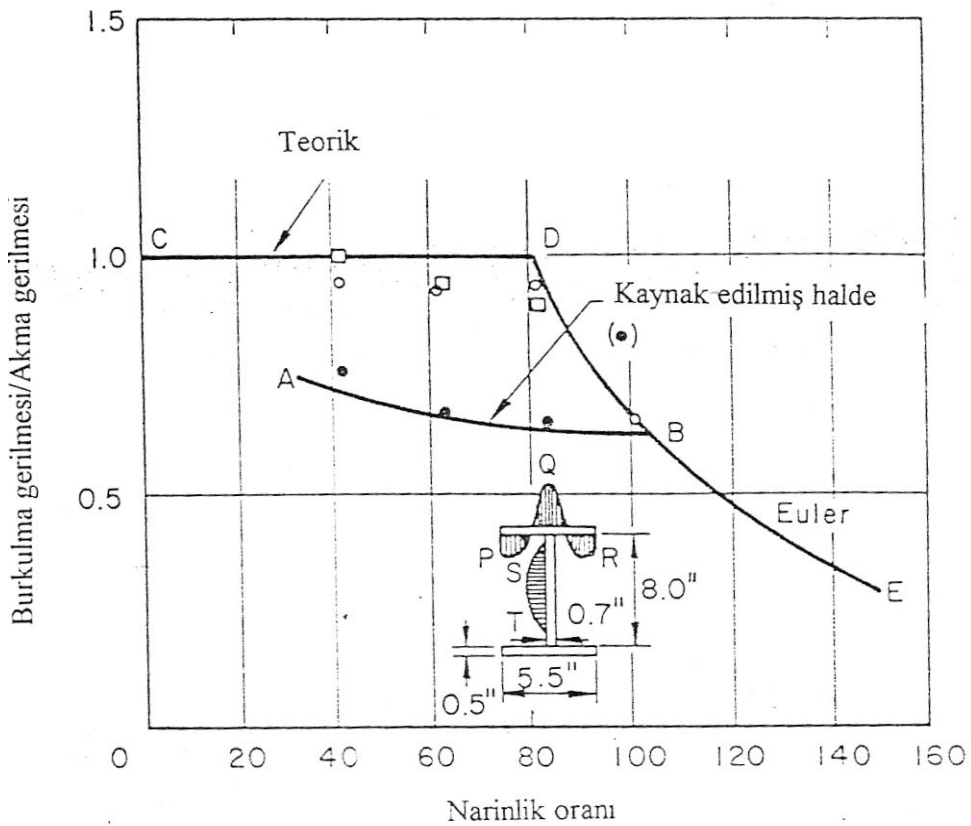
Burkulma distorsiyonu bükülme distorsiyonundan daha farklıdır. Burkulma ve bükülme distorsiyonu arasında iki farktan söz edebiliriz; birincisi burulma distorsiyonunda birden fazla çarpılma olmaktadır. İkincisi burkulma distorsiyonunun deformasyon değeri bükülme distorsiyonundan çok daha fazladır.

Kaynaklı yapılarda meydana gelen basma kalıntı gerilmeleri ve çarpılmalar burkulma distorsiyonunu kolaylaştırır. Bu hatalar burkulma kritik gerilme ve kritik kuvvet değerinin düşük olmasına sebep olur. Şekil 4.33’de kaynak ile üretilmiş I - profil kolonun burkulması görülmektedir. Kaynak edilmiş haldeki kalıntı gerilmeler şekilde ayrıca gösterilmiştir. Hem flanjdada hem de federde kaynak metalinin uzağında basma kalıntı gerilmeleri oluşmaktadır. Bu kalıntı gerilmeler kritik kalıntı gerilme değerinin düşmesine yol açmaktadır. Eğer kolonda ayrıca distorsiyon meydana gelmiş ise kritik gerilme değeri daha da düşecektir [2].

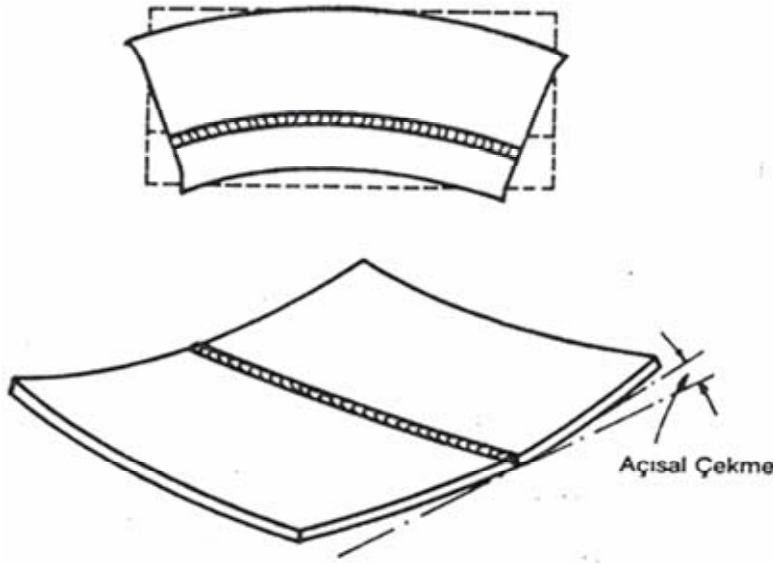
4.3.6. Kaynaklı birleştirmelerde kalınlık çekmesi

Enine çekme aynı zamanda parçanın kalınlığı doğrultusunda da ortaya çıkar ve kalınlık çekmesi diye adlandırılır. Kalınlık çekmesi ancak oldukça kalın parçaların kaynağında fark edilebilen boyutlara erişir. Ayrıca ince saclarda kendini çekmenin parçayı düzlemsellikten saptırması vardır ki buna da peçleme denir (Şekil 4.34)

Boylamasına kendini çekme gerilimlerinin sebep olduğu kendini çekme kuvvetler, ağırlık merkezinden geçen eksenin dışında bir kendini çekme momenti meydana getirir. Bilhassa kaynakları simetri olmayan konstrüksiyonlarda, bu momentler çarpımalara neden olur. Kaynak dikişlerinin asimetrik biçimde tertip edilmesi halinde kendini çekme momentinin etkisini ortadan kaldırmak için ters yönde bir eğim vermek gerekir [5].



Şekil 4.33. Kaynaklı I kesitinde burkulma [2]



Şekil 4.34. İnce saclarda çekmenin parçayı düzlemsellikten saptırması (peçleme)[5]

4.4. Kaynaklı Konstrüksiyonlardaki Distorsiyonu Azaltma ya da Önleme Yöntemleri

Kaynaklı yapılarda meydana gelen çekme ve çarpılmalar (distorsiyonlar) kaynak işleminde kullanılan özgül ısı oranına bağlı olarak değişir. Kaynak işlemi sonunda kaynaklı yapıda meydana gelen distorsiyonların tamamen önlenmesi imkansızdır. Ancak kaynak işlemi öncesinde, kaynak işlemi esnasında ve kaynak işlemi sonrasında alınacak bir takım önlemlerle en aza indirgenebilir. Bunun sağlanabilmesi için ise kaynak işlemine başlamadan önce, kaynak işlemi sonrasında meydana gelebilecek çekme ve çarpılmaların göz önünde bulundurulması gerekir. Bu distorsiyonların en aza indirilmesi için, mümkün olabilecek tasarım ve planlama önceden kararlaştırıldıktan sonra imalata geçilmelidir. Distorsiyon, kaynaklı yapıların imalinde, birçok değişkene ve boyutsal değişimlere bağlı olduğundan çok karmaşıktır. Nitekim ortaya çıkan en son distorsiyonu düzgün bir dizayn ve kaynak yöntemi uygulanırsa en aza indirmek mümkün olur. Kaynaklı yapıların düzeltilmesi bugün tamamen pratik bir problemdir. Verilen esaslar dahilinde uygun bir işlem tatbik edildiğinde, düzeltme işlemi için harcanan süre minimuma indirilir. Kaynak işlemiyle ortaya çıkan çekme ve çarpılmaların ortadan kaldırılması büyük maliyetler gerektiren, doğrultma ve düzeltme işlemlerini gerektirir. Doğrultma işlemi zaman

kaybına sebebiyet verdiği gibi parçada, yeni gerilmelere de neden olur. İlk ve önemli nokta, distorsiyonun bütün şekillerinin özgül ısı girdisiyle, yani birleşmeyi tamamlamak için gerekli birim uzunluk başına ısıyla arttığıdır. Bu nedenle ısı girdisini ve aynı zamanda genellikle ergimiş metal kesit alanını asgaride tutan yöntemler daha az distorsiyon meydana getirir [21,28].

Dolayısı ile mümkün olabilecek bir çarpılmayı engellemek yerine hiç oluşturmamak veya en düşük düzeyde sınırlamak daha uygun olacaktır. Kaynak işlemine başlamadan önce yapılacak işlemler aşağıdaki gibidir.

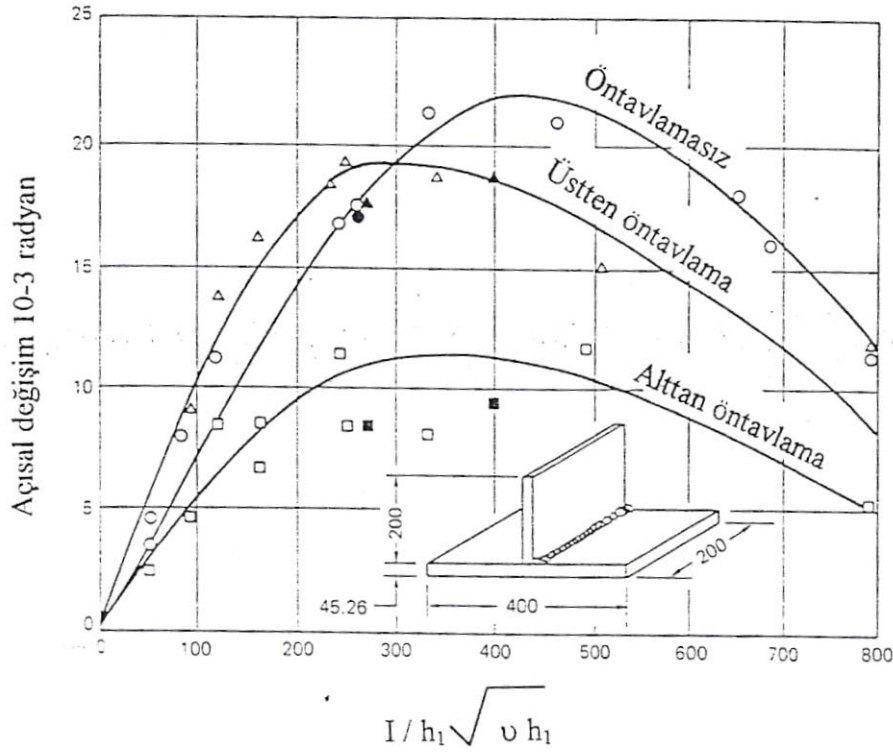
4.4.1. Ön ısıtma

Ön ısıtma temel metalin veya belli bir bölgesinin sıcaklığını çevre sıcaklığının üzerinde ısıtmayı içerir. Ön ısıtma sıcaklığı, şartlara göre değişir. Bu sıcaklıklar, oda sıcaklığı (26°C) kaynak işlemi kışın dışarıda yapılıyor ise (650°C) ve yüksek sertleşebilme kabiliyetine sahip çeliklerde 350°C olabilir. Ancak burada en önemli husus ön ısıtma işleminde, ısının yapıya muntazam bir şekilde yayılması için büyük itina gösterilmelidir [26]. Ön tavlama kaynak bölgesinde soğuma hızını yavaşlatır. Böylece bölge sertliğini düşürür. Ön tavlama genellikle kaynak büzülmesini azaltır. Ön tavlama iç köşe kaynak dikişlerinde açılmal çarpılmayı azaltır (Şekil 4.35)[2].

4.4.2. Kaynak işleminden sonra ısıtma

Gerilim gidermede dolayısı ile çekme ve çarpılmaları önlemede en yaygın yöntemdir. ısıtma sıcaklık kontrolü altında dengeli (üniform) ısı dağılımı sağlayan bir fırında yapılmalı, sıcaklık artışı kademeli olmalı ve yapıdaki elemanlar düzenli bir oranda ısıtılmalıdır. Yumuşak çelik genellikle 600°C den 650°C ye kadar ısıtılır. Diğer çeliklerde kopma karakteristiklerine bağlı olarak daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulabilir.

Isıtma işleminin süresi plaka kalınlığına ve çeliğin sertliğine bağlıdır. Isıtma oranı her 25 mm kalınlık için 1 saattir [26].



Şekil 4.35. T iç köşe kaynaklarında öntavlamanın açısal çarpılmaya tesiri [2]

4.4.3. Gerilim giderme ve yumuşatma tavlama

Kaynağı tamamlanmış yapıların ısıtılma işlemlerinde gerilim giderme çatlama gibi istenilmeyen mahzurlu durumların önlenmesi için, gerilim giderme işlemine tabi tutulacak parçaların malzeme özellikleri ve daha önce tabi tutuldukları ısıtılma işlemleri bilinmeli ve gerilim giderme yöntemi dikkatle seçilip uygulanmalıdır [36]. Tavlama metodu diğer bütün metotlardan daha üstündür. Ancak idare edilmesi oldukça zordur. Tavlama yapı 870°C - 900°C ye kadar tamamen ısıtılmalıdır. Bu ısınma nedeniyle ortaya çıkan yoğunluk nedeniyle, kaynakların bazı türlerinin yıkılma tehlikesi vardır [28].

4.4.4. Uygun kaynak ağız tasarımı

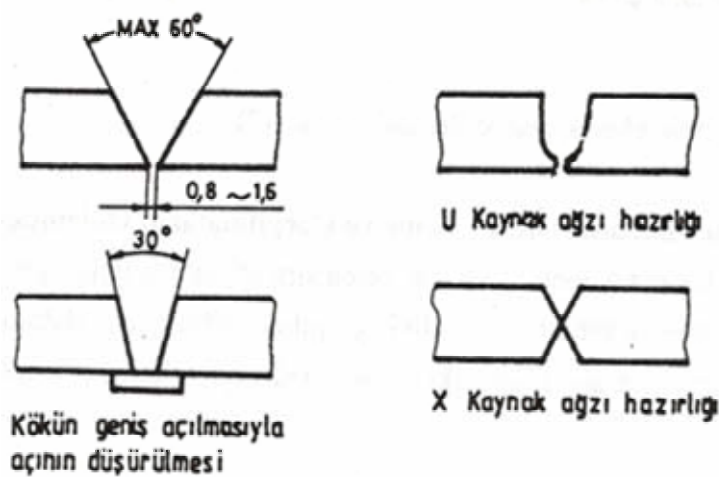
Kaynak ağızları hazırlanırken en az dolgu maddesi gerektirecek tarzda tasarlanmalı, kalın parçaların kaynağında tek taraflı 'V' kaynağı yerine 'X' kaynağı kullanılmalıdır.

Azaltılan dolgu meydana gelecek distorsiyon miktarını azaltır. 'X' kaynağında pasoların her iki tarafta değiştirilerek yapılması gerekir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. V kaynak ağzı ile X kaynak ağzı için gerekli kaynak metalinin karşılaştırılması a) Tek taraflı 'V' kaynak ağzı b) Çift taraflı 'V' kaynak ağzı

Aşırı kaynak ağzı genişlikleri kaynak dayanımına hiç bir katkıda bulunmazken, kaynak metaliyle beraber meydana gelecek kaynak çekmesini de arttıracaktır. En az kaynak metali gerektiren tasarımlar tercih edilmelidir. Açık ve destek parçasını da içeren kök açma işleminde kök minimum düzeyde olmalıdır. Kaynak ağız açısı küçüldükçe, kaynak kökünde iyi bir penetrasyon sağlamak için, daha büyük kaynak kökü açılmalıdır (Şekil 4.37)[28].



Şekil 4.37. Doğru kenar hazırlığı ve düzenleme

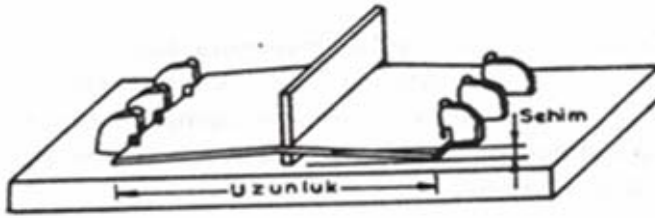
4.4.5. Kaynak işlemi ve donanımının seçimi

Serbest el ile yapılan kaynak yöntemi yerine yarı otomatik ve tam otomatik kaynak

yöntemlerinin kullanılması, kullanılan makine ve donanımlarının uygun parametre ayarlarının yapılmasıyla çarpılma miktarı düşürülür [37].

4.4.6. Elastik olarak önceden germe

Elastik olarak önceden germe metodunda alt plaka Şekil 4.38’de gösterildiği gibi elastik olarak gerildikten sonra kirişlerin kaynağı yapılır. Tespit araçları çözüldüğünde açisal değişimler bu metot yardımı ile önemli oranda azaltılabilir.



Şekil 4.38. Açısal çarpılmaya karşı elastik germe ile azaltılması [26]

4.4.7. Konstrüktif tedbirler

1- Yapının rijitliği çekme ve çarpılmanın durumuna egemen olur. Rijitlik ne kadar verimli olursa distorsiyon o oranda az olur. Yapısal bütünlük sağlanarak distorsiyon azaltılabilir [38].

2- Kaynak dikişleri gerektiğinden fazla olmamalıdır, dikiş ölçüleri minimum tutulmalıdır. Aksi takdirde, gerilme ve distorsiyonlar artar.

3- Mümkünse ince saçların iç köşe dikişleri aralıklı şekilde yapılmalıdır.

4- Kaynak dikişleri konstrüksiyonun ağırlık merkezine yerleştirilmeli veya simetrik olarak tertiplenmelidir.

5- Mümkün olduğu kadar kuvvet hatlarının ani yön değişmelerinden kaçınılmalıdır.

6- Kaynak dikişleri birbirine çok yakın olmamalıdır (alın dikişlerinde en az 200 mm aralık olmalı).

7- İnce saclardan yapılan konstrüksiyonlar, burkulma mukavemetlerini artıracak şekilde takviye edilmelidir.

8- Mümkün olduğu kadar, şekil değiştirme kabiliyeti yüksek malzemeler kullanılmalıdır.

9- Konstrüksiyon, kaynak sırasında parçaların kendini çekebilmeleri göz önüne alınarak tertiplenmelidir.

4.4.8. Teknolojik tedbirler

1- Uygun kaynak sırası takip edilmelidir.

2- Kök pasosu kalın bir elektrot ile yapılmalıdır. Paso sayısı gereksiz artırılmamalıdır.

3- Çift taraflı kaynak tercih edilmelidir.

4- Açısal distorsiyonu önlemek için, mümkün olduğu kadar kalın tabakalar halinde kaynak pasosu çekilmelidir.

5- Çekme kuvvetlerinin ters yönüne açı verilmelidir (Şekil 4.39).

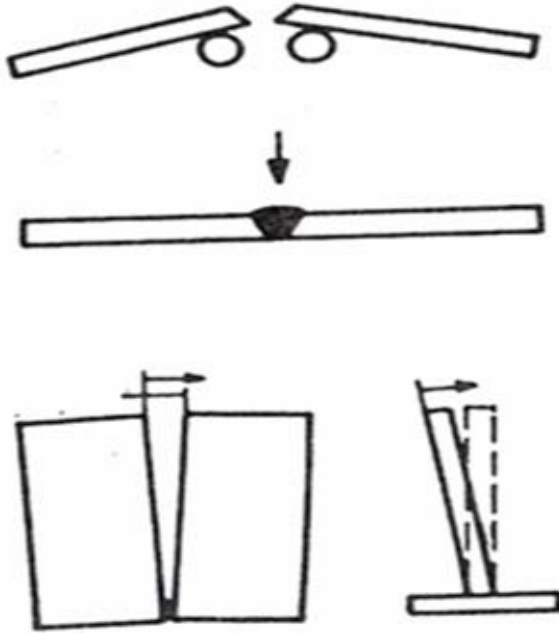
6- Küçük pasolarda yapılan kaynakta pasolara önce levha kenarlarından başlanmalıdır.

7- Dikişler sırayarak veya geri adım yöntemi ile yapılmalıdır.

8- Takviyeler en son kaynak edilmelidir.

Kaynak ısı girdisinin veya nüfuziyetin artmasıyla boyuna çekme artık gerilmelerinin azaldığı bulunmuştur. Yatay levha kalınlığının artmasıyla ise boyuna çekme gerilmelerinin arttığı hesaplanmıştır [39].

Distorsiyona karşı yüksek mukavemetli çeliklerin kullanıldığı konstrüksiyonlarda (gemi, demiryolu sanayi) genellikle başarılı olunmuştur. Yine de ince gereçlerin kullanıldığı yapılarda ise distorsiyon kaçınılmazdır [40].



Şekil 4.39. Açısal çekmeyi önlemek için çekme kuvvetlerinin ters yönüne verilen açı [5]

4.4.9. İşletme ile ilgili tedbirler

- 1) Kaynak ağzıları dikkatli bir şekilde hazırlanmalıdır.
- 2) Parçalar kaynaktan önce puntalanmalıdır.
- 3) Kaynak sırası ve planına uyulmalıdır.
- 4) Sertleşme kabiliyeti yüksek malzemelerde ön tavlama uygulanmalıdır.

4.4.10. Kaynaktan sonraki tedbirler

- 1- Gerilme uçlarının ortadan kaldırılması için, kaynaktan sonra dikişler çekişlenmelidir.
- 2- Kaynaktan sonra uygun sıcaklıklarda, tavlamaların tatbik edilmesi gerilmeleri azaltır.
- 3- Dikişler üzerindeki çıkıntı ve çentikler, mekanik olarak ortadan kaldırılmalıdır.

Kaynak sırasında distorsiyon etkilerini hafifletme tekniklerini yerine getirme distorsiyonu önemli ölçüde giderir. Bütün bu hafifletme teknikleri kaynak çekme kuvvetini dengelemektedir [35].

4.5. Kaynaklı Konstrüksiyonlarda Distorsiyonların Önlenmesi İçin Kaynak Planlarının ve Kaynak Sırası Planlarının Hazırlanması

Kaynak sırasında oluşan çarpılma ve kendini çekmelerin ortadan kaldırılması, kaynaktan sonra büyük masraflara neden olan, doğrultma ve düzeltme işlemini gerektirir. Doğrultma işlemleri zaman kaybına neden olduğu gibi, parçada yeni gerilmeler de doğurur. Bir tersanede kaynak yapılan bir gemi perdesinin kaynak ve doğrultma işlemleri için sarf edilen zaman, bununla ilgili bir örnek olarak aşağıda verilmiştir.

Alın birleştirmeleri ve takviyelerin kaynağı 22 saat(%50,5)

Doğrultma işlemi 21,5 saat(%40,5)

Burada kaynaktan sonraki düzeltme işlemi için sarf edilen zamanın, hemen kaynak için sarf edilen zamana eşit olduğu görülmektedir. Bu da, çarpılmaları en aza indirmek için, uygun bir kaynak sırasının seçilmesinin yani kaynak planının yapılmasının ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. İyi planlama ve kaynak sırası uygulandığında, doğrultma süresi kaynak zamanının % 10 ila %20'si arasında

bulunur ve genel olarak da bu sınır aşılmamalıdır.

Kaynak yaparken gelişi güzel bir sıra takip etmek parçada büyük çapta kendini çekme ve çarpımalara neden olur. İki parça arasındaki aralığın, kaynak ağız açısının, paso sayısının, elektrot çap ve türü gibi faktörlerin kendini çekme ve çarpılma üzerine büyük etkileri vardır; işte bütün bunlar göz önünde bulundurularak her kaynak konstrüksiyonu için bir kaynak planı hazırlamak gereklidir [5].

4.5.1. Kaynak planları

Kaynak planı, kaynak tekniği ile ilgili bütün bilgilere dayandırılarak yapılır ve işletme için iş talimatı niteliğini taşır. İşletmeyle ilgili tüm planlama ve hesaplamalarda göz önünde bulundurulur [41].

Bir kaynak planında aşağıdaki hususların bulunmasına özellikle dikkat edilmelidir [25].

- 1- Parça listelerindeki pozisyon numaralarına göre, sırasıyla bütün kaynak yapılacak parçalar
- 2- Kaynak yapılacak parçaların malzemesi
- 3- Kullanılacak kaynak usulü
- 4- Kaynak ağzının şekli
- 5- Kaynak dikişinin kalınlığı
- 6- Kaynağın yapılacağı kaynak pozisyonu
- 7- Kaynak pasolarının sayısı
- 8- Kaynak dikişlerinin boyu (mm)
- 9- Aynı özelliğe sahip kaynak dikişlerinin sayısı
- 10- Aynı özelliğe sahip kaynak dikişlerinin toplam uzunluğu
- 11- Elektrotların tipi ve çapı
- 12- Her çap ve her tip için kullanılacak elektrotların miktarı (kg)
- 13- Birim kaynak zamanı (dakika/m)
- 14- Toplam kaynak zamanı (dakika)

15- Ücret grubu

16- Ek notlar

4.5.2. Kaynak sırası planı (KSP)

Kaynak sırası planında, birleştirilecek parçalara ait kaynak dikişlerinin ve pasoların teşkil tarzı ile tatbik edilecek kaynak sıraları ayrı ayrı tespit edilmiştir. Burada verilen kaynak sırasına olduğu gibi riayet etmek gerekir. Aksi takdirde kaynaklı konstrüksiyonda büyük kendini çekme ve çarpılmalar meydana gelir. Bilhassa karışık konstrüksiyonların kaynağında bu sıranın ehemmiyeti büyüktür [29]. Optimum kaynak sırası planı kullanmak yapısal bütünlüğü geliştirebilir. Kaynak yapılan bir konstrüksiyonda distorsiyon oluşması yapısal bütünlüğü bozar [35].

4.5.3. Kaynak sırası planlarının hazırlanmasında göz önüne alınması gereken kurallar

- 1- Birleştirilecek parçaların ayrı olarak kendini çekebilmesini sağlamak için kaynak sırası belirlenir. En fazla distorsiyona uğrayacak parçalar en son kaynak edilir.
- 2- Çarpılma eğilimi fazla olan ince sacların kaynağında parçalar takviyelenir.
- 3- Enlemesine ve boylamasına dikişlerin birbirleriyle karşılaşmaları durumunda önce enlemesine ve kısa olan parçalar kaynatılmalıdır (Şekil 4.40).
- 4- İki alın dikişinin birbiriyle karşılaşmaları halinde karşılaşan dikişler daima devamlı dikişten önce kaynak edilmelidir (Şekil 4.40). Oluşan çarpılmanın serbest kalması ve iki dikişin birleştiği yerde lokal bir gerilme toplanmasının meydana gelmemesi için boylamasına dikiş, enlemesine dikiş kaynak edildikten sonra puntalanmalıdır.
- 5- Bir alın dikişi ile bir iç köşe dikişinin kesişmesi durumunda alın dikişi önce kaynak edilmelidir (Şekil 4.41).

6- Bir metreden uzun alın birleştirmelerinde kök pasosu geri adım yöntemi ile kaynaklanmalıdır. Böylece enine distorsiyonun dikiş boyunca dağılması sağlanır.

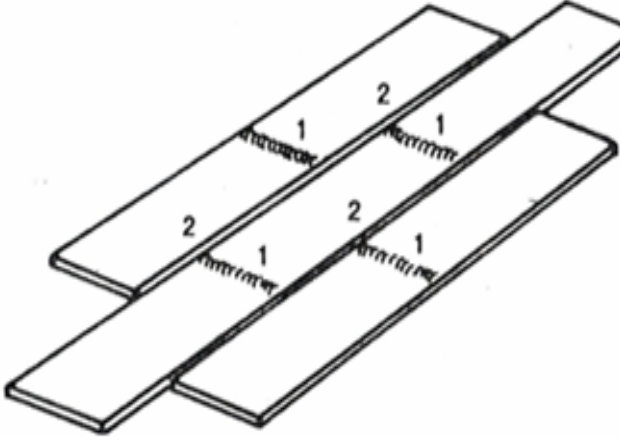
7- Kaynağa daima konstruksiyonun ağırlık merkezinden başlanmalı ve dışa doğru gidilmelidir.

8- Sürekli kaynakta gerilmeleri dağıtmak veya toparlanmalarını önlemek için geriye doğru adım adım ilerlenen ve adım atlanarak yapılan kaynak yöntemi kullanılmalıdır (şekil 4.42).

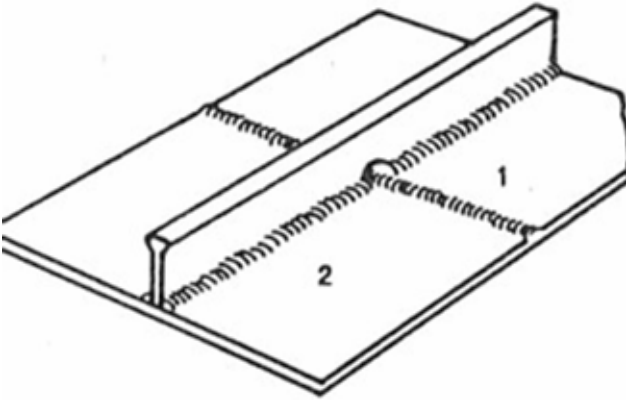
9- Farklı noktalarda kaynak yapmaya olanak veren sıra atlamalı kaynak yöntemi kullanarak kaynak arasında mesafe bırakmak suretiyle distorsiyon miktarı azaltılabilir. Bir taraftaki kaynağın oluşturduğu çekilme diğer taraftaki kaynak nedeniyle oluşan çekilmeyle dengelenir (şekil 4.43).

10- Konstruksiyonun rijitliğine göre, yapıda bir takım çarpılmalar veya kabarmalar meydana gelebilir. Düzgün olmayan haller çarpılmaya karşı rijitliği düşürür. Bunu önlemek için de ince sac konstruksiyonlarında burkulma mukavemetini yükseltecek bazı takviyeler konmalıdır (şekil 4.44).

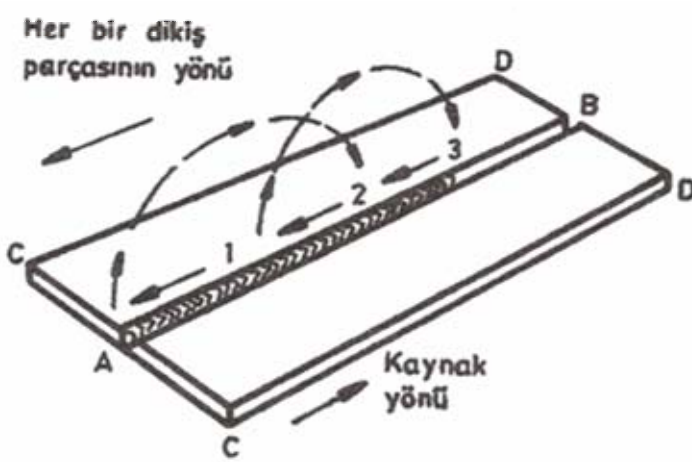
11- Kaynaklı plaka kirişlerin alın birleştirmesinde ilk önce enine bzlme ihtimali olan üst plakalar kaynatılır. Daha sonra destek plakası kaynatılır. En son olarak ise köşe dikişleri kaynatılır (şekil 4.45) ve (şekil 4.46) [28]. I – kirişlerin kaynağında maruz kalan çarpılmayı sınırlamak tasarım mühendislerinin görevidir. İy bir tasarım distorsiyonu önleyebilir [42].



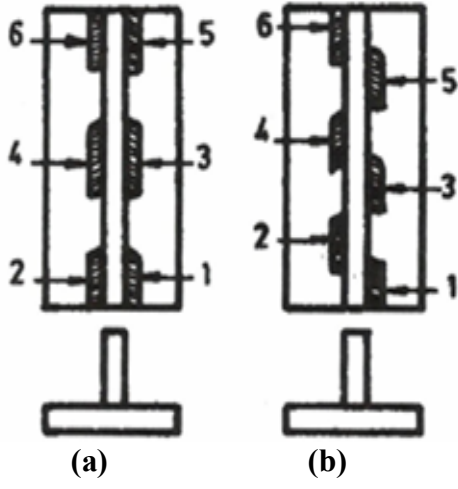
Şekil 4.40. Levhaların kaynakla birleştirilme sırası [5]



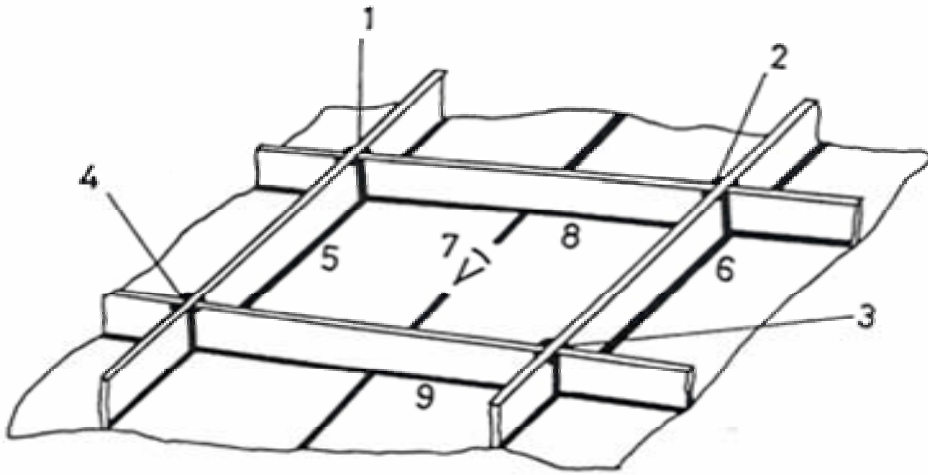
Şekil 4.41. Kaynaklı levhaya takviye kaynatılması [5]



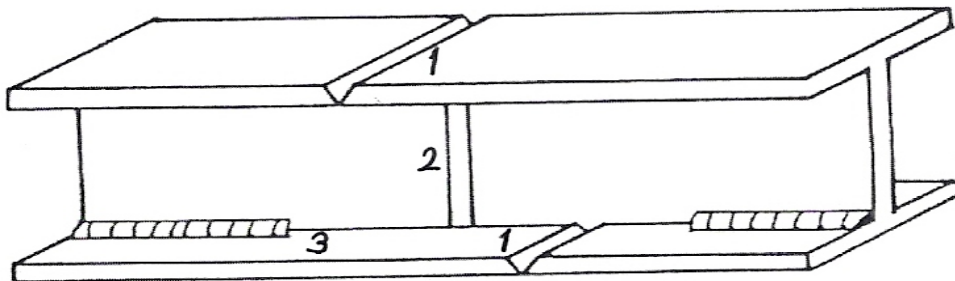
Şekil 4.42. Adım atlanarak yapılan geri adım kaynağı [11]



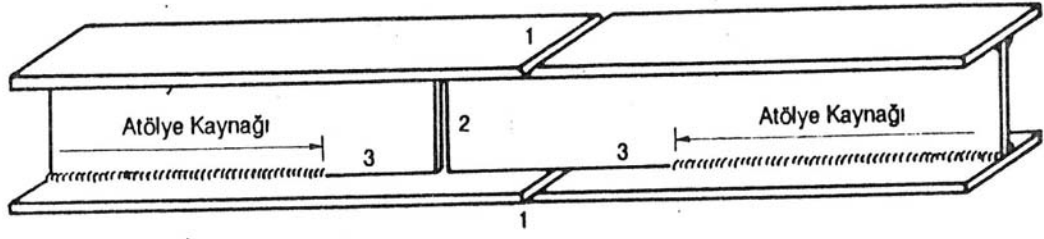
Şekil 4.43. T Kaynakların düzenlenmesi a) Zincir Aralıklı b) Şaşırtma Aralıklı [11]



Şekil 4.44. İnce bir sac konstrüksiyonun takviyelerle tespiti [29]



Şekil 4.45. I – kiriş üretiminde işlem sırası [28]



Şekil 4.46. İki I profilin alın altına birleştirilmesinde distorsiyona karşı alınmış tedbirler [5]

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kaynaklı konstrüksiyonlarda distorsiyonları azaltmak için kaynak işlemi öncesinde, kaynak işlemi sırasında ve kaynak işleminden sonra alınacak bir takım tedbirler vardır. Ancak tüm bu faaliyetler zaman kaybına ve maddi külfete neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, I – kiriş üretiminde tüm kaynak tedbirlerini en aza indirerek, minimum distorsiyonu sağlayacak kaynak sırası planını tespit etmektir. Bu amaçla, aynı kaynak parametreleri ile 12 ayrı deney numunesine, 12 farklı kaynak sırası planı (KSP) uygulanarak kaynaklı birleştirme yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.1. Kaynak Parametreleri

Kaynak yöntemi: Elektrik ark kaynağı
 Kaynak makinesi: 380 Volt, Transformatör tipi
 Kaynak pozisyonu: Yatay içköşe, tavan (baş üstü) içköşe
 Kaynak yönü: Sağdan sola, soldan sağa
 İlave metal: Ø3,25x350 mm rutil tip örtülü elektrot
 Elektrot açısı: 45°
 Elektrota verilen hareket: Sabit
 Kaynak hızı: $V = 0,30 \text{ cm/s}$
 Kaynak kalınlığı: $a = 0,33 \text{ mm}$
 Kaynak akımı: $I = 125 \text{ Amper}$
 Kaynak pasosu: Tek
 Levha malzeme kalitesi: Fe 37

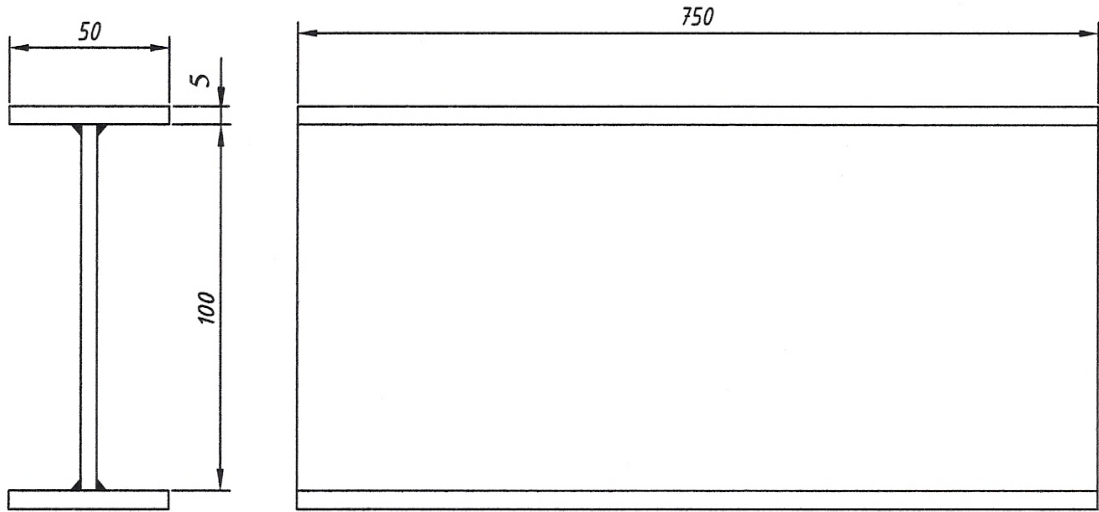
5.2. Deneylerde Kullanılan Malzeme Ölçüleri

Deneyisel çalışmalarda 12 ayrı deney numunesi kullanılmıştır. Her bir deney için aşağıdaki ölçülerde plakalar kesilip hazırlanmıştır.

5x50x750 mm plaka (2 adet)

5x100x750 mm plaka (1 adet)

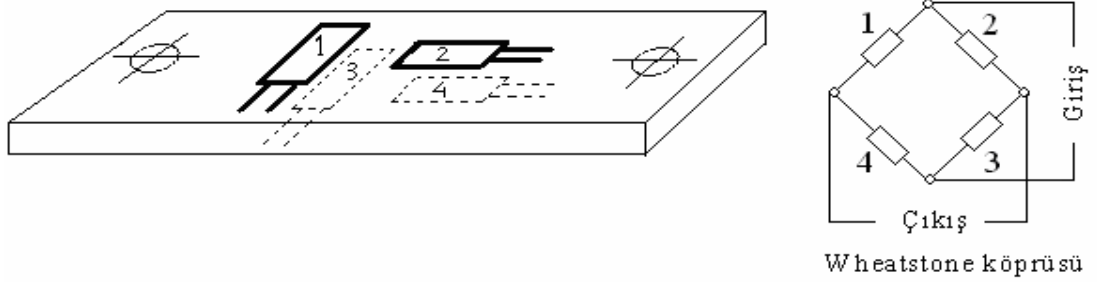
Yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanan levha malzemeler, Şekil 5.1’de gösterildiği şekilde kalıpta dört köşesinden puntalanarak KSP uygulanacak I profil hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin, deney düzeneği olan rijit kafese asılı durmaları sağlanmıştır.



Şekil 5.1. Deney numunesi

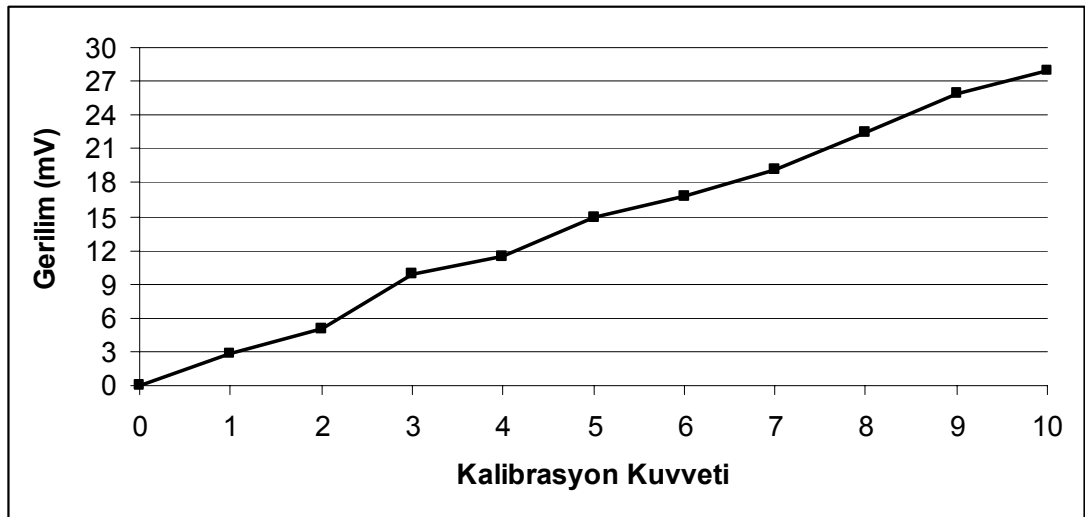
5.3. Deney Sitemi ve Kullanılan Cihazlar

Kaynak anında ve kaynak sonrası oluşan distorsiyon kuvvetlerini (çekme ve basma kuvvetlerini) belirlemek için gerinim ölçerler (strain gaugeler) kullanılmıştır. SAE 1078 kalitesinde su verilmiş çelik sac malzeme, gerinim ölçerlerin üzerine yapıştırılacağı malzeme olarak seçilmiştir. 0,5 mm kalınlıktaki çelik sac plaka, 22x175 mm 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 (1 μ V) hassasiyette ölçülebileceği kuvvet algılayıcı plakalar (KAP) hazırlanmıştır (Şekil 5.2).



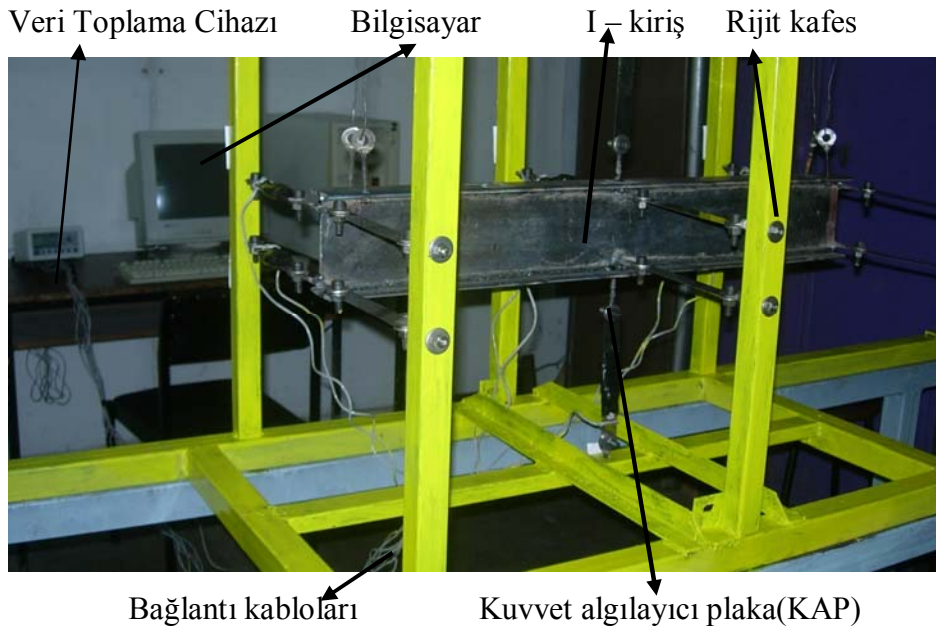
Şekil 5.2. Kuvvet algılayıcı plaka (KAP) ve köprü bağlantısı

Sac plakalar üzerine yerleştirilen gerinim ölçer bağlantıları, deney numunesine bağlanmadan önce 10 N'a kadar kuvvet uygulanarak kalibrasyona tabi tutulmuştur. Sac plakanın bir ucu sabit bir mesnede tutturulmuş, diğer ucuna ise 1 N (~100 gr)'luk bir kuvvet asılarak kalibrasyon yapılmıştır. Kuvvetler her defasında 1 N arttırılarak ölçümler tekrarlanmıştır. Böylece, hazırlanan KAP'lar kalibre edilmiş ve kuvvet-gerilim arasında lineer bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 5.3). 1 N için 2,85 μ V gerilim değeri belirlenmiştir. Ölçümlerde değerler milivolt (mV) olarak alınmış, N'a çevrilmiş ve grafiğe dönüştürülmüştür. KAP'lar vasıtasıyla, deney numunesinde kaynak işlemi ile meydana gelen distorsiyon kuvvetlerini ölçme olanağı sağlamıştır.



Şekil 5.3. Kuvvet-gerilim arasındaki lineer ilişki

Hazırlanan KAP, deney numunelerinin 7 ayrı noktasına yerleştirilerek ölçüm yapılmıştır (Resim 5.1). Ölçümler, gerinim ölçerlerin bağlandığı Veri Toplama Cihazı (Data Logger) vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Bu ölçümler, bilgisayar ortamında “Amr Win Kontrol” programı ile değerlendirilmiştir. Deneylerin sonucunda, farklı KSP’lerde oluşan distorsiyon kuvvetlerinin grafikleri çizilmiştir.



Resim 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü

Yapılan çalışma, kaynak işlemi ile I - 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 ve numunede oluşacak yanal distorsiyon etkilerini belirlemek için kullanılmıştır. 7 numaralı KAP ise deney numunesinin alt merkezine dik yerleştirilmiş ve numunenin boyundaki uzunluk değişimlerinin tespiti için kullanılmıştır.

Ölçümü yapan KAP'lerden 1,2,5 ve 6 numaralı KAP'lar I - kirişin 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 (Resim 5.2.)(Şekil 5.4).

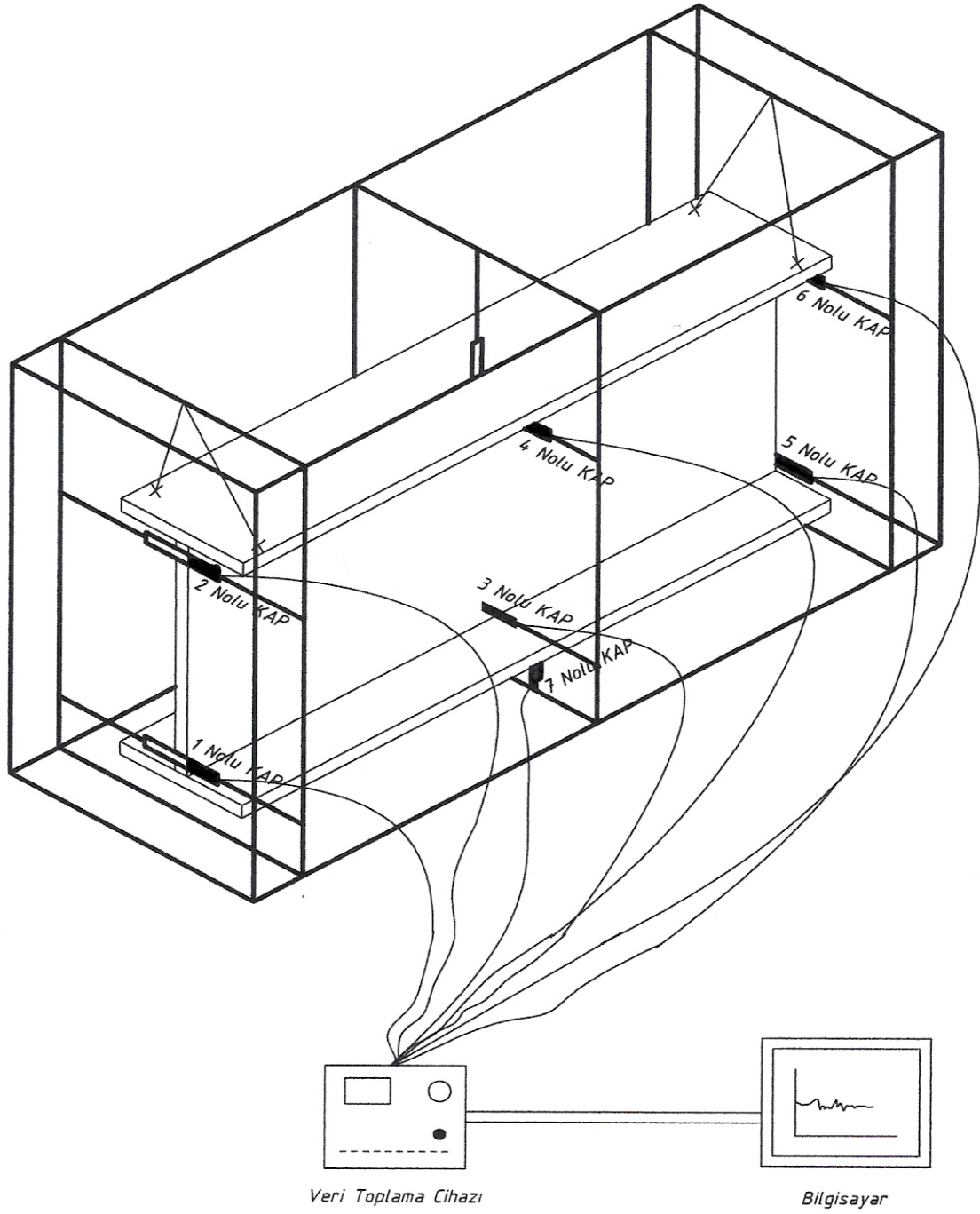


Resim 5.2. Deney numunesi ve kuvvet algılayıcı plakalar

I - kiriş ile rijit kafes arasına yerleştirilen KAP'lara, deneye başlamadan önce 5 mV yani 1750 N'luk ön gerilme uygulanmıştır. Bu sayede ölçüm noktalarında meydana gelebilecek çekme ve basma yönündeki distorsiyon kuvveti etkileri belirlenmiştir

5.4. 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 ya da nötrleyecek noktalarda distorsiyon oluşumu sağlanmalıdır. Ancak yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı gibi distorsiyonları bu şekilde sıfıra indirmek mümkün olmamaktadır.



Şekil 5.4. Deney düzeneğinin şematik gösterilişi

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 [25].

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

I - kiriş üretiminde distorsiyona karşı kaynak sırası planını üzerinde çalıştığımız bu çalışmada, değişik KSP'ler ile yapılan kaynaklı birleştirmelerde oluşan distorsiyonlar araştırılmıştır.

Belirlenen ölçülerde kesilen plakalar kalıpta puntalanarak I – kiriş haline getirilmiş ve deney numunesi olarak kullanılmıştır. Puntalanan kirişler deney düzeneği (rijit kafes)'ne asılmıştır ve kaynak işlemleri gerçekleştirilerek distorsiyon kuvvetleri algılanmıştır. Deney numunesinin dört köşe (iki alt ve iki üst köşe)'sinden sürekli dikiş, kesikli (kısa) dikiş, zıt yönde sürekli dikiş, zıt yönde kesikli dikiş ve iki kaynakçılı dikişler çekilmek üzere 12 farklı KSP kombinasyonu ile kaynak yapılmıştır.

Ayrıca deneylerdeki KSP'ler, kaynak dikişlerinin başlangıç yerleri ve yönleri itibariyle de değişiklik arz etmektedir. Kaynak sırası planları, uygulama sırası ve kaynak dikişlerinin başlangıç yerleri ve yönlerine göre gruplanmış ve gruplar aşağıda verilmiştir.

Buna göre KSP'ler beş grup altında toplanmıştır;

A- Kenara dayalı KSP

1 nolu KSP; Kenara dayalı-çapraz-sürekli KSP

2 nolu KSP; Kenara dayalı-sürekli KSP

3 nolu KSP; Kenara dayalı-zıt yönlü-geri adımlı KSP

6 nolu KSP; Kenara dayalı-çapraz KSP

7 nolu KSP; Kenara dayalı KSP

10 nolu KSP; Kenara dayalı-aynı yönlü-geri adımlı KSP

B- Değişken dağılımlı KSP

4 nolu KSP; Değişken dağılımlı KSP

C- Ortaya dayalı KSP

8 nolu KSP; Ortaya dayalı KSP

9 nolu KSP; Ortaya dayalı-duraklamalı KSP

D- Kenara ve ortaya dayalı KSP

5 nolu KSP; Kenara ve ortaya dayalı KSP

E- İki kaynaklı KSP

11A nolu KSP; İki kaynaklı-zıt yönlü KSP

11B nolu KSP; İki kaynaklı-aynı yönlü KSP

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

12 ayrı deney numunesi olan I - kirişlerin farklı KSP'ler ile kaynaklı birleştirilmesi sonucu, kaynak işlemi tamamlandıktan sonra I – kirişin oda sıcaklığına soğuması beklenmiş ve 7 noktadan ölçüm yapılan KAP'lardaki kaynaklı birleştirme sonrasında oluşan distorsiyon kuvvetleri belirlenmiştir. 12 adet I - kiriş numunenin 4 köşesinden kaynaklı birleştirilmesinde uygulanan 12 farklı KSP kombinasyonunun uygulanması sonucu, I - kirişte oluşan yanal ve boyuna distorsiyon kuvvetlerinin sonuçları bu bölümde verilmiştir.

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

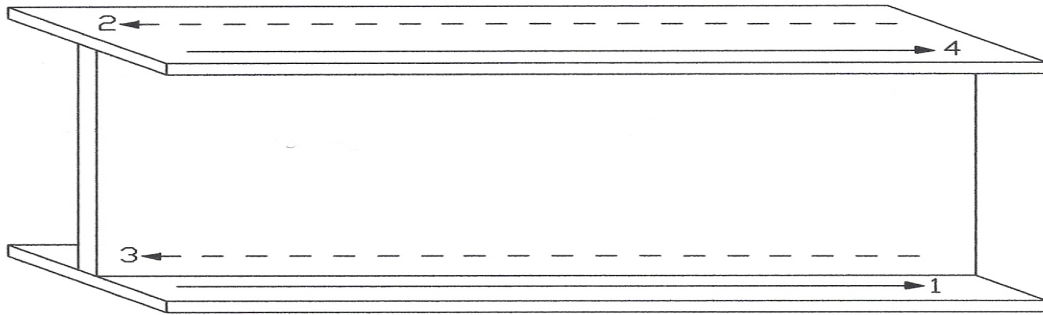
KSP'lerin uygulanma metotları, I - kirişi temsil eden şekiller üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca uygulanan bu metotların I - kirişte meydana getirdiği distorsiyon kuvvetleri ise grafikler halinde belirtilmiştir. Grafiklerde tanımlanan “0”(sıfır) Newton distorsiyon kuvvetinin üzerindeki değerler, I - kirişe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

12 farklı KSP'nin ve bunlara bağlı oluşan distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristik özellikleri tek tek incelenerek belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak KSP'lerin I – kiriş üretiminde uygulanıp uygulanamayacağı tespit edilmiştir.

Deneyisel çalışmalarda her bir KSP'nin uygulanması sırasında, kaynak işleminin başlangıcından tamamlanıp, I - kirişin oda sıcaklığında soğumasına kadar geçen sürede oluşan distorsiyon kuvvetleri/süre grafikleri EK'lerde verilmiştir.

6.1. KSP - 1 – Kenara Dayalı-Çapraz-Sürekli KSP

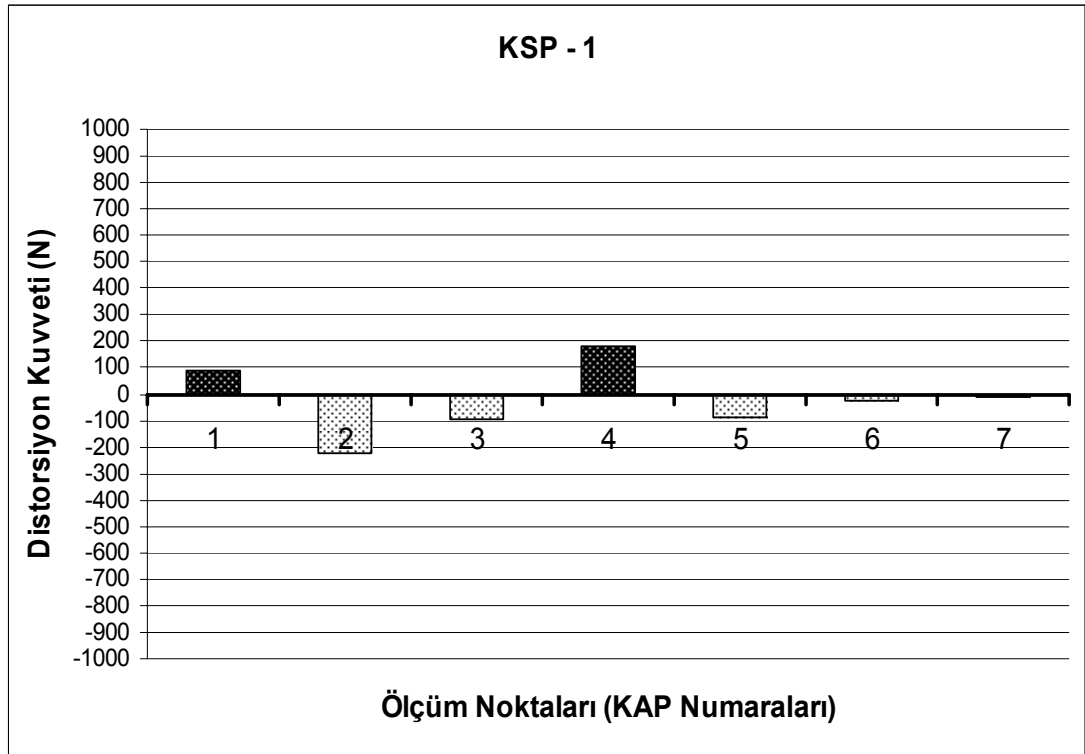
Şekil 6.1’de KSP -1’e ait uygulama metodu I – kiriş üzerinde gösterilmiştir. Şekil’de görüldüğü gibi KSP olarak ilk önce I – kirişin sağ alt köşesi, sonra sol üst köşesi, daha sonra sol alt köşesi ve son olarak da sağ üst köşesi kaynatılmak üzere kenara dayalı-çapraz KSP uygulanmıştır. Kaynak dikişlerinin tamamı soldan sağa doğru sürekli dikiş şeklinde çekilmiştir. Kaynak işleminin başlamasıyla birlikte I – kirişte oluşan distorsiyon kuvvetlerinde, çekme ve basma kuvvet etkilerinin her ikisi de görülmüştür. I - kirişin dört köşesinin kaynatılması sırasında en büyük distorsiyon kuvvetleri, I – kirişin üst orta kısımlarında algılanmıştır (Şekil 6.2). Algılanan bu distorsiyon kuvvetlerine, son çekilen 4 nolu kaynak dikişinin sebep olduğu düşünülmektedir. Zira, EK – 1’deki distorsiyon kuvveti – süre grafiğine bakıldığında 4 nolu dikişin çekilmesi sırasında 2 ve 4 nolu KAP’lardaki kuvvetlerin tamamen zıt yöne değişim gösterdiği ve şiddetlerinin arttığı görülmektedir.



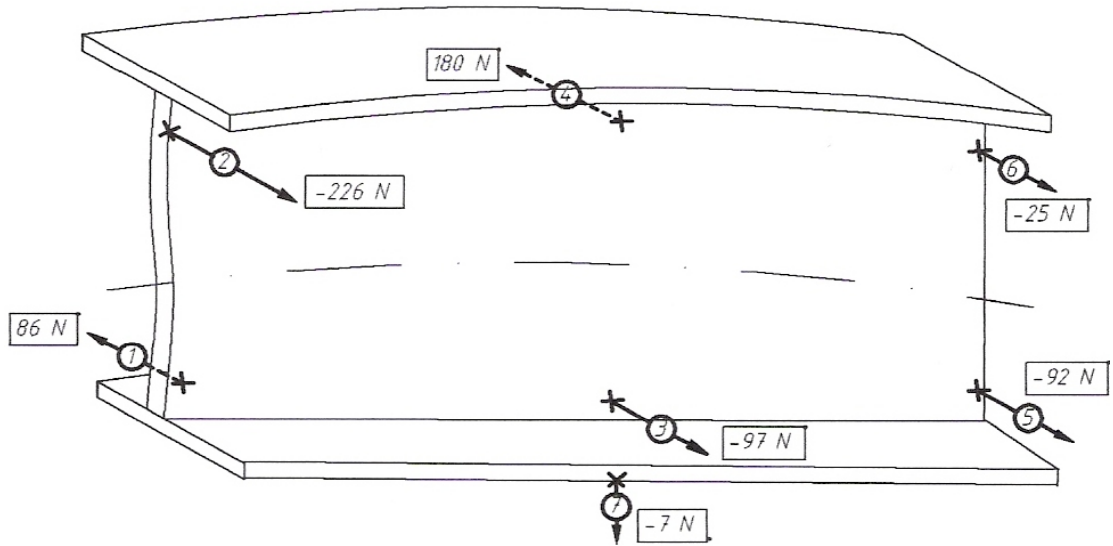
Şekil 6.1. 1 nolu KSP’nin uygulanması

Kaynak işleminin sonucunda 2 ve 4 nolu KAP’ların bulunduğu noktalarda en büyük çekme ve basma kuvveti oluşmuştur. Diğer KAP’larda, önemli miktarda kalıntı distorsiyon kuvveti olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 6.3).

Bu verilere göre kenara dayalı-çapraz KSP -1, kiriş üretiminde uygulanması avantaj sağlayacağı düşünülerek, önerilebilecek KSP olduğu kanısına varılmıştır.



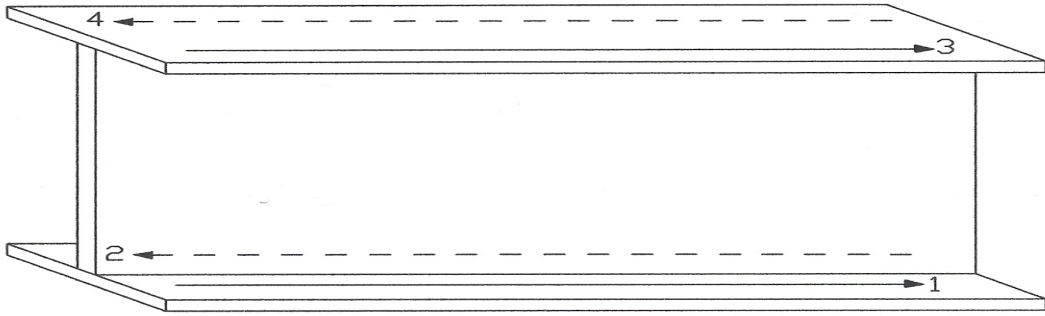
Şekil 6.2. 1 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri



Şekil 6.3. 1 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

6.2. KSP - 2 – Kenara Dayalı-Süreklı KSP

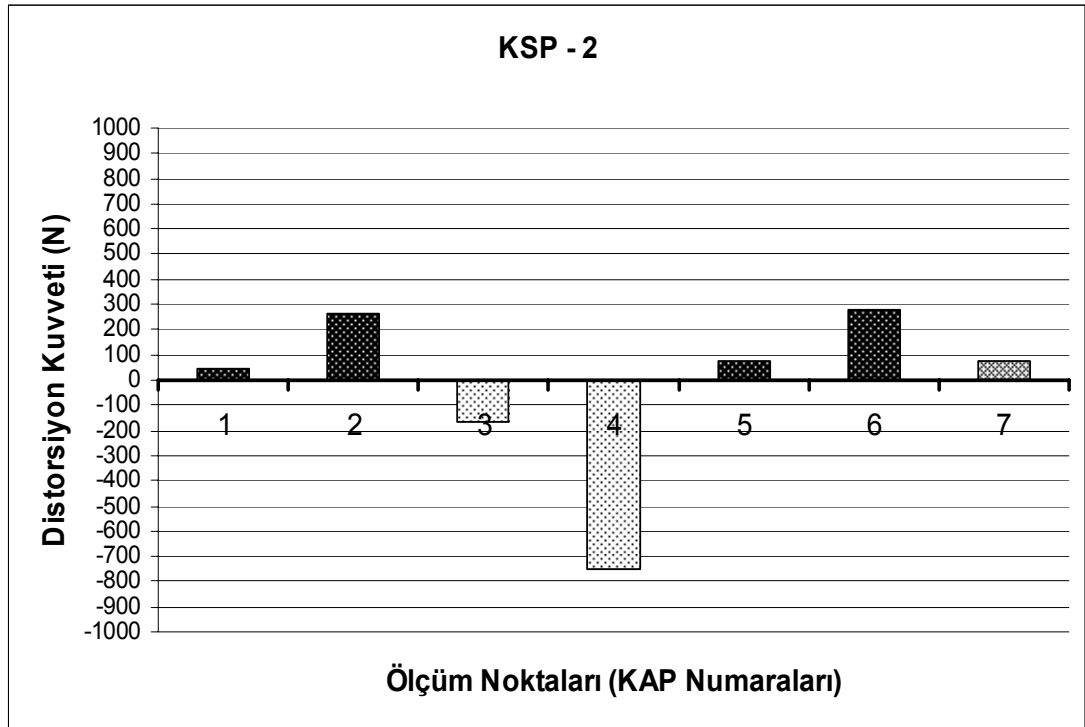
Şekil 6.4'te görüldüğü gibi 2 nolu KSP'de önce I – kirişin sağ ve sol alt köşeleri kaynatılmıştır. Daha sonra I – kirişin önce sağ üst köşesi ve sonra da sol üst köşesi kaynatılmıştır.



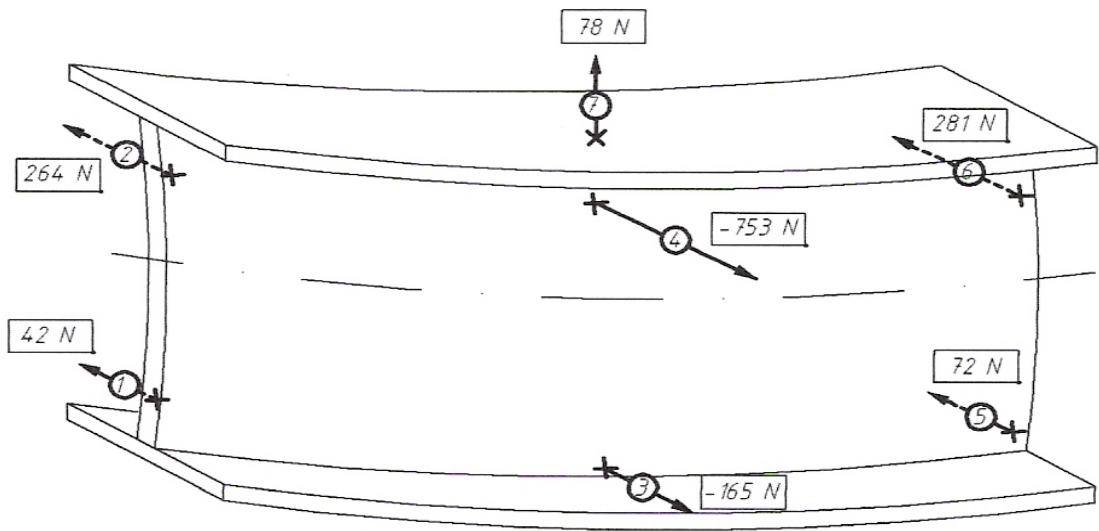
Şekil 6.4. 2 nolu KSP'nin uygulanması

KSP -2'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristik özelliği; I – kirişin üst orta kısmında -753 N'luk basma etkisi oluşmasıdır (Şekil 6.5). Kirişin üst köşeleri kaynatılırken ısı yoğunluğu en üst seviyeye çıkmıştır. Alt ve üst kısımlara ısı girdisi homojen dağılmadığından dolayı üst uçlardaki 2 ve 6 nolu KAP'lerde 264 ve 281 N'luk çekme kuvveti ve üst ortadaki 4 nolu KAP'ta -753 N'luk basma kuvveti algılanmıştır (Şekil 6.6).

Kirişin alt köşelerinin birleştirilmesindeki 2 nolu dikişin oluşturduğu kendini çekme kuvvetleri sebebiyle kiriş uçlarında çekme, kiriş alt köşe dikişleri ortasında ise basma kuvvetleri oluşmuştur. Buna ilave olarak, 4 nolu dikişin 2 nolu dikişle aynı tarafta olması sebebiyle, son yapılan 4 nolu dikişin oluşturduğu kendini çekme kuvvetleri sebebiyle de kiriş üst uçlarında çekme, orta bölgesinde, alt orta bölgeden çok daha büyük kalıntı basma kuvveti meydana gelmiştir. Bu etki daha çok alt ve üstte yapılan son birleştirme işleminin kirişin düşey eksenine göre aynı tarafta olmalarına bağlanabilir.



Şekil 6.5. 2 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri



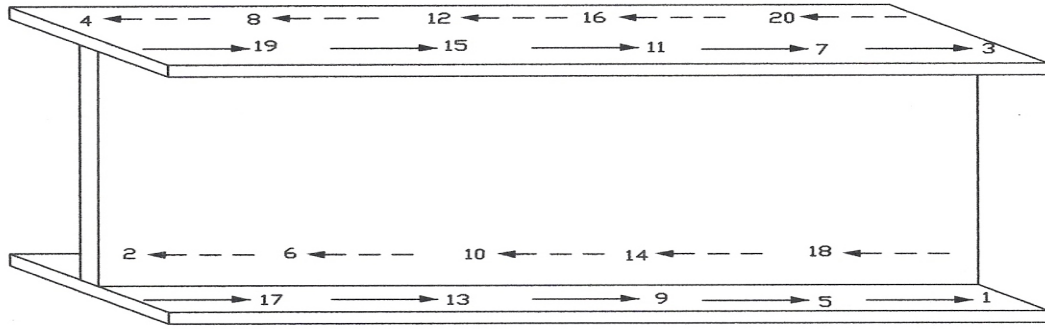
Şekil 6.6. 2 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

Ayrıca, kiriş alt başlığının kaynağına öncelik verilerek 1 ve 2 nolu dikişlerin, kirişin ağırlık merkezi yatay ekseninin altında yapılmış olması, KSP – 1'e göre 7 nolu KAP'ın algıladığı kuvvetin çekme yönünde ve büyük değerde olmasını sağlamıştır.

Bu değerlere göre 2 nolu kenara dayalı-sürekli KSP, önerilebilecek ideal KSP'ler arasında yer alamayacaktır.

6.3. KSP - 3 – Kenara Dayalı-Zıt Yönlü-Geri Adımlı KSP

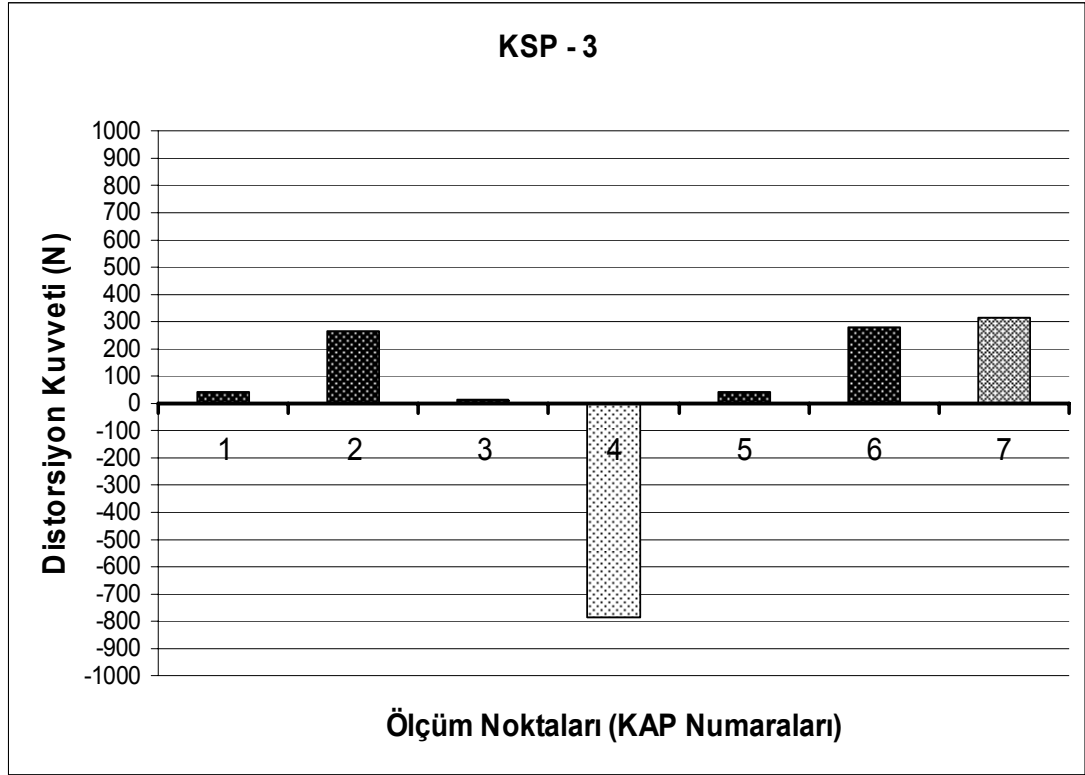
3 nolu KSP'de I – kirişin kaynak edilecek dört köşesi 150 mm'lik beş eşit parçaya bölünmüştür (Şekil 6.7). Kaynak dikişlerin tamamı soldan sağa doğru çekilmiştir. Kaynak işlemi, I – kirişin uçlarından başlatılmış ve diğer uçlarda bitirilmiştir. Uygulanan bu KSP'de kaynak yoğunluğu I – kirişin ortasında yoğunlaşmıştır. 9. 10. 11.ve 12. dikişler I – kirişin ortasında arka arkaya gelmiş ve ısı girdisi o bölgede yoğunlaşmıştır.



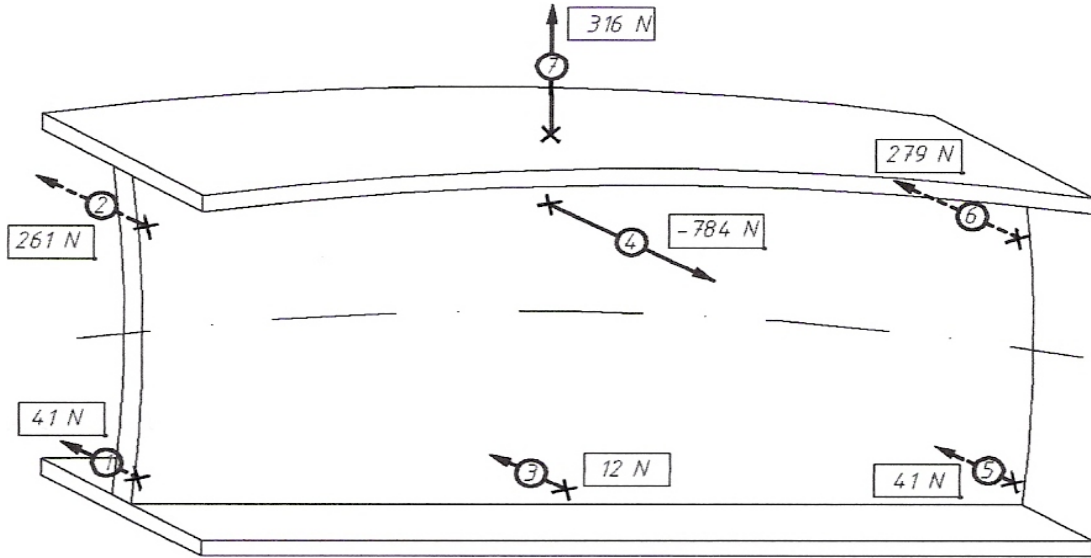
Şekil 6.7. 3 nolu KSP'nin uygulanması

3 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristiği; I – kirişin üst orta kısmında -784 N'luk basma kuvvetinin, üst kenarlarda ve altta ise çekme etkisinin oluşması şeklindedir (Şekil 6.8). I – kirişin üst orta kısmındaki -784 N'luk basma kuvveti bütün KSP'lerdeki en büyük distorsiyon kuvvetidir (Şekil 6.9).

I – kirişin üst orta kısmında en büyük basma kuvvetinin oluşması, kaynak yoğunluğunun merkezde lokal olarak yoğunlaşmasına ve KSP – 2' de olduğu gibi son dikişlerin kiriş düşey ekseninin sol tarafında tamamlanmasına bağlanabilir.



Şekil 6.8. 3 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri



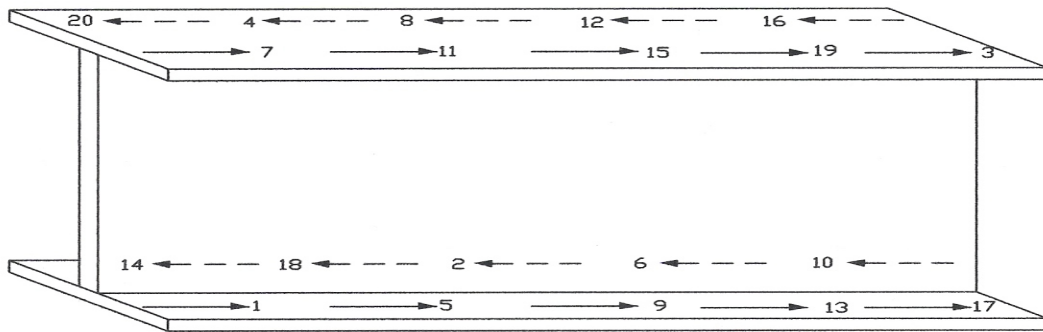
Şekil 6.9. 3 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

Ayrıca EK-3'e bakılacak olursa 8 nolu dikişten sonra 3 nolu KAP, basma kuvvetine maruz kalmış ve 9, 10, 11 ve 12 nolu dikişlerin kirişin ortasında yoğunlaşması ile max. basma kuvveti oluşmuştur.

KSP – 3, KSP -2'nin geri adım usulüyle kaynaklı birleştirilme işlemidir. Geri adım usulünün uygulanmasına rağmen KSP – 3'ün kaynak dikişi yönü ve birleştirme köşelerine göre kaynak sırası benzerlik göstermektedir. Bu sebeple distorsiyon kuvvetlerinin şiddeti ve türü de KSP – 2 ile benzerlik göstermiştir. Kaynak ısıl girdisini, I – kiriş hacminde homojen yayma amaçlı kullanılan geri adım ve şaşırtmalı kaynak usulü distorsiyon kuvvetleri bakımından avantaj sağlamamıştır. Kaynak dikiş yönünün, geri adım veya şaşırtmalı usule göre daha etkili olduğu belirlenmiştir.

6.4. KSP – 4 – Değişken Dağılımlı KSP

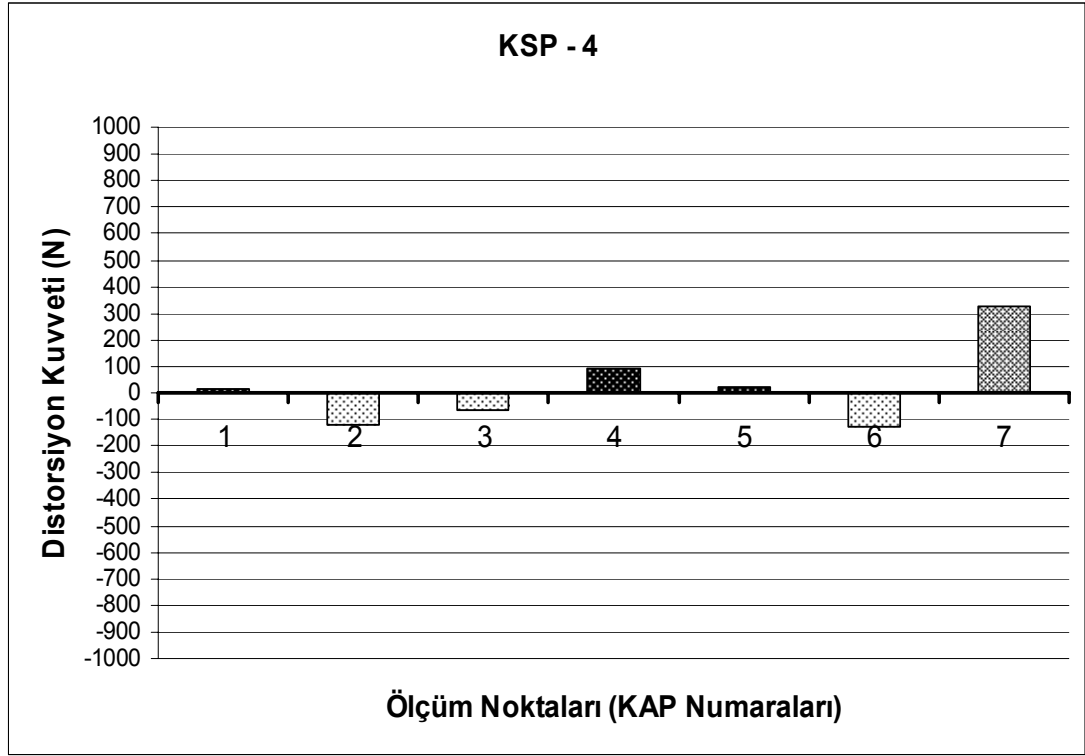
Şekil 6.10'da KSP – 4'ün uygulanma metodu verilmiştir. KSP değişken dağılımlıdır. 750 mm uzunluğundaki I – kiriş kaynak edilecek dört köşesinden beş eşit parçaya bölünmüş ve 150 mm uzunluğunda 20 adet dikiş çekilmiştir. Değişken dağılımlı KSP uygulanırken mevcut kaynak ısını I – kirişin tamamına eşit yaymak ve distorsiyon kuvvetlerini düşük seviyede tutmak hedeflenmiştir.



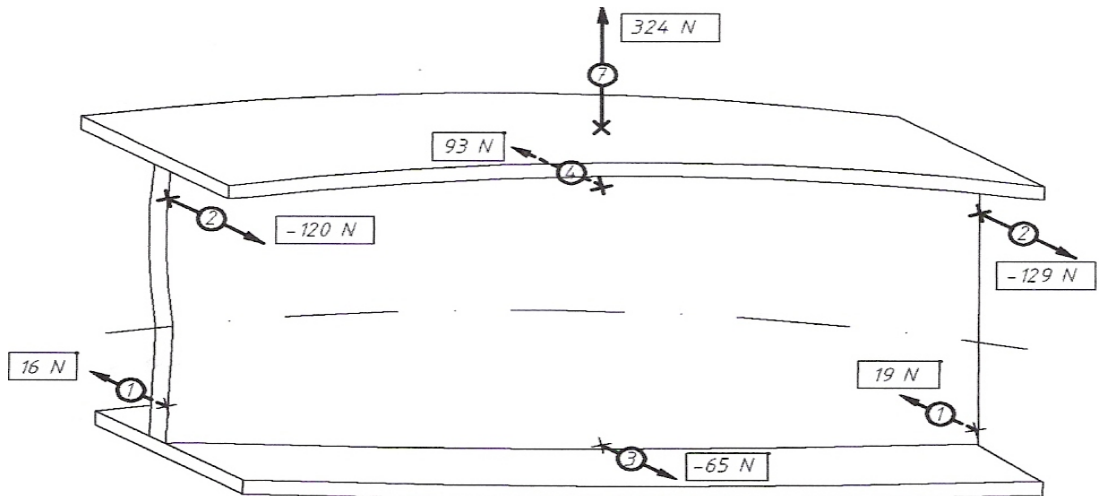
Şekil 6.10. 4 nolu KSP'nin uygulanması

4 nolu KSP' nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristiği şöyledir; I – kirişin üst köşesindeki 2, 4, ve 6 nolu KAP'lar, kaynak işlemi sonucunda

kalıcı çekme ve basma kuvveti etkisinde kalmışlardır. Alt köşedeki 1, 3, ve 5 nolu KAP'lar min. seviyede etkilenmişlerdir. Ancak, I – kirişin taban merkezindeki 7 nolu KAP'ta 324 N'luk bir çekme kuvveti oluşmuştur (Şekil 6.12).



Şekil 6.11. 4 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri



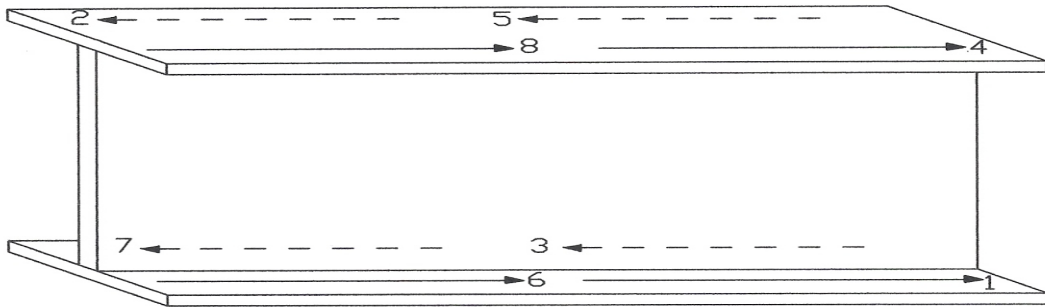
Şekil 6.12. 4 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

KSP – 4’ün değişken dağılımlı olması ilk altı KAP’taki distorsiyon kuvvetlerini belli bir ölçüde azaltırken, 7 nolu KAP’taki distorsiyon kuvvetini nötrleyecek veya azaltacak bir etki oluşturmamıştır. Çünkü, çekilen ilk on kaynak dikişinin altısı, kirişin alt başlığına, son on kaynak dikişinin altısı ise üst başlığa çekilmiştir. EK-4 incelendiğinde 7 nolu KAP, 10 nolu dikişten sonra çekme yönünde etkilenmiştir ve üst başlıktaki kaynak yoğunluğundan dolayı distorsiyon eğilimi oluşmuştur.

Bu değerlere göre, değişken dağılımlı KSP, I – kiriş üretiminde avantaj sağlayacağı için önerilebilecek KSP’ler arasında yer alabileceğı düşünölmektedir.

6.5. KSP – 5- Kenara ve Ortaya Dayalı KSP

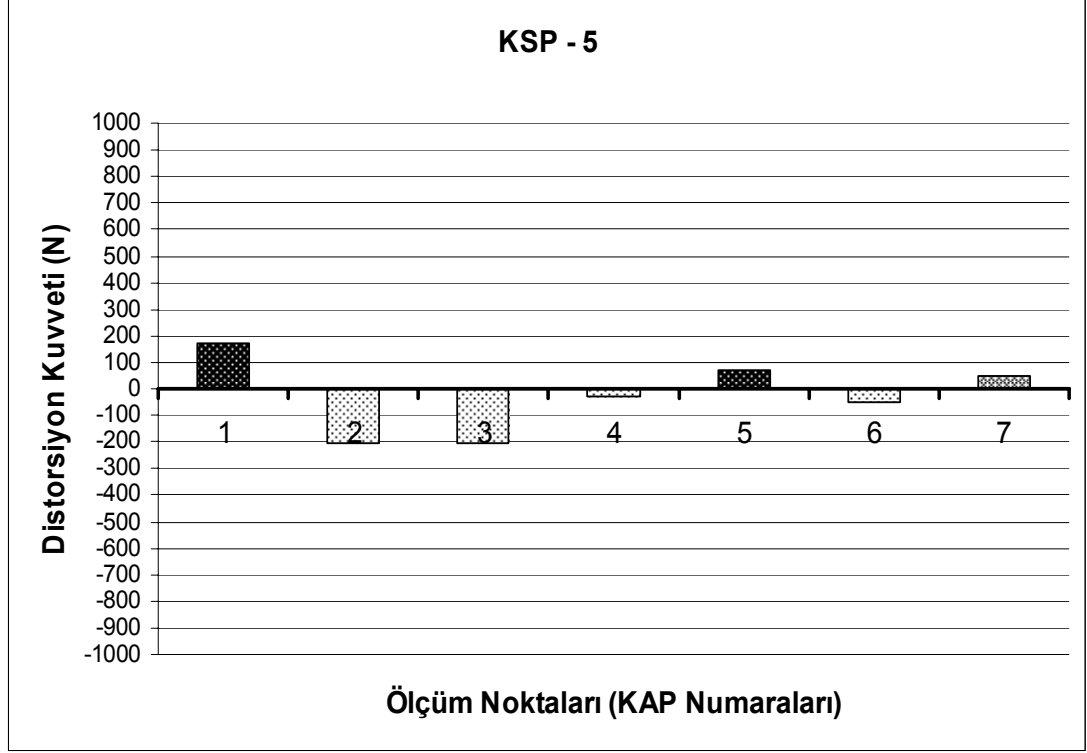
Şekil 6.13’te KSP – 5’e ait kaynak sırası planı görölmektedir. I – kiriş, dört köşesinden iki eşit parçaya bölünmüş ve 375 mm uzunluğunda kaynak dikişleri çekilmiştir. Dikişlerin tamamı soldan sağa doğru çekilmiştir. Sekiz dikişin dördü ortadan kenara doğru, diğör dördü ise kenardan ortaya doğru çekilmiştir. KSP – 5’de kenara ve ortaya dayalı KSP planlanırken kaynak dikişlerinin oluşturduğu çekme ve basma yönündeki distorsiyon kuvvetlerini nötrleme amaçlanmıştır.



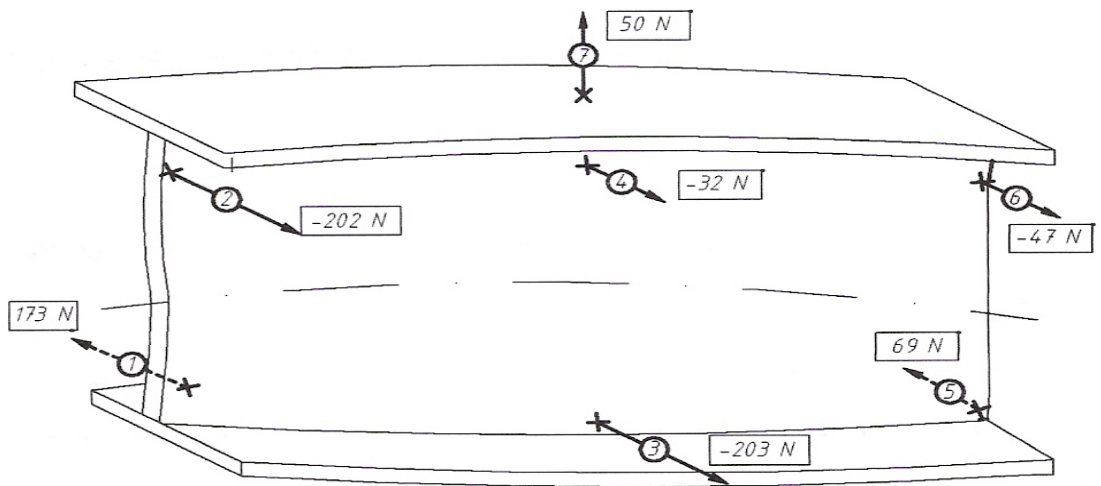
Şekil 6.13. 5 nolu KSP’nin uygulanması

I – kirişin kaynağına başlandığında KAP’ların tamamı çekme ve basma kuvvetine maruz kalmışlardır. Ancak kaynak dikişlerinin ilerleyen aşamalarında I – kirişte daha az distorsiyon kuvveti oluşmuştur. Çekilen son üç kaynak dikişi, I – kirişin sol ucunda yoğunlaşması (arka arkaya gelmesi), sol uçtaki 1 ve 2 nolu KAP’lar ile alt

ortadaki 3 nolu KAP'ı daha fazla etkilemiştir (Şekil 6.14). Kirişte en büyük -203 N'luk basma ve 173 N'luk çekme kuvveti oluşmuştur (Şekil 6.15).



Şekil 6.14. 5 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri



Şekil 6.15. 5 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

Kaynak dikişlerinden 4 ve 5 nolu kaynak dikişleri aynı tarafta arka arkaya çekilmiştir. Ayrıca 6 ve 7 nolu kaynak dikişlerinin, kirişin alt sağ ve sol köşesinde arka arkaya çekilmesi ve yine 8 nolu son kaynak dikişinin ise kirişin sağ üst köşesine çekilmesi ile 1 nolu KAP'ın -202 N'luk çekme kuvveti ile etkilenmesine neden olduğu söylenebilir.

Ayrıca, 3 nolu KAP'ta 203 N'luk kalıcı çekme kuvveti oluşmasına 6 nolu kaynak dikişinin bitiş noktası ile 7 nolu kaynak dikişinin başlangıç noktasının aynı bölgede olması ve kirişin yatay ekseninin altında arka arkaya gelmesine bağlanabilir. Zira; o noktada 3 nolu KAP bulunmaktadır.

Kaynak dikişlerinin, kirişe daha homojen yayılması ile I – kiriş, daha az distorsiyon kuvvetine maruz kalacaktır. Çünkü; I – kirişin sağ tarafındaki KAP'larda daha az distorsiyon kuvveti oluşmuştur. İlk kaynatılan bölgeler -32 N, son kaynatılan bölgeler ise -203 N'luk basma kuvvetine maruz kalarak distorsiyon eğilimi göstermiştir.

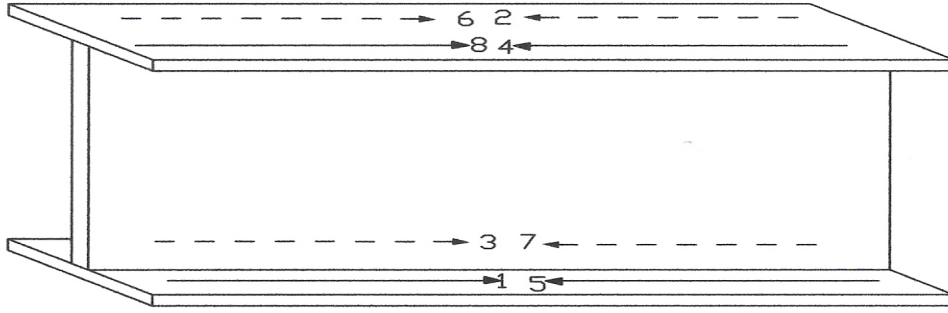
Son kaynatılan bölgelerde ısı girdisi eşit dağılmamış ve ısı aynı noktalarda yoğunlaşmıştır. Meydana gelen distorsiyon eğilimleri, homojen dağılmayan ısıya bağlı olarak oluştuğu söylenebilir.

Bu sonuçlara göre, KSP – 5'in distorsiyon kuvvetleri açısından avantaj sağlayacağı söylenebilir.

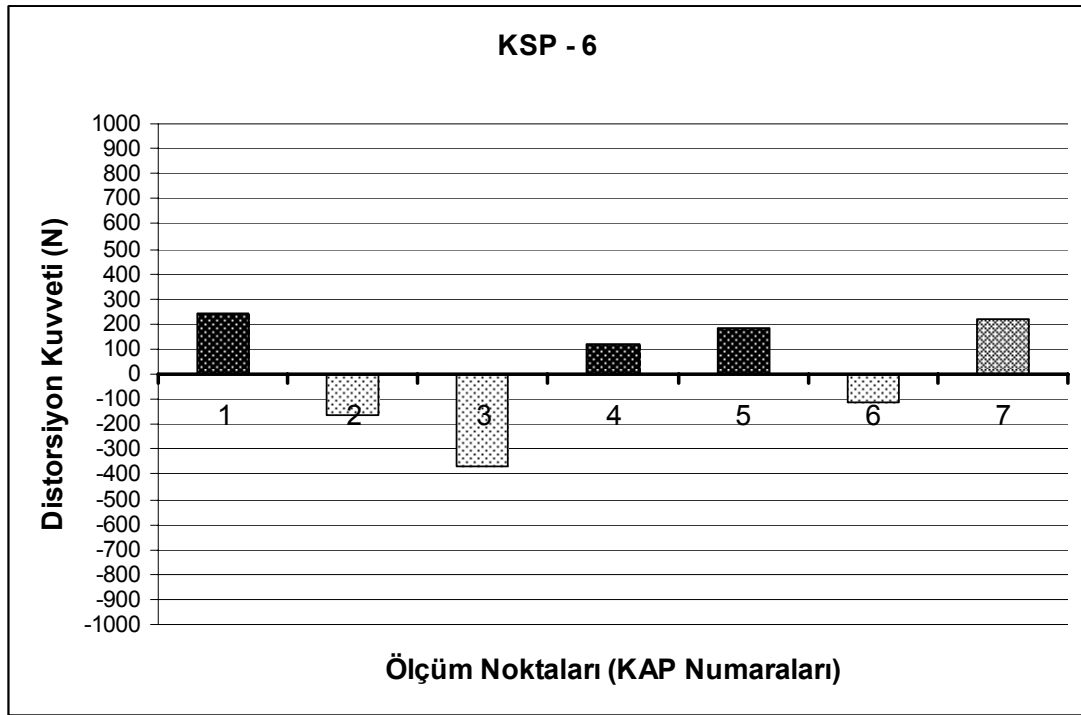
6.6. KSP – 6 – Kenara Dayalı-Çapraz KSP

Şekil 6.16'da KSP – 6'ya ait uygulama planı I – kiriş üzerinde gösterilmiştir. I – kirişin kaynak yapılacak dört köşesi iki eşit parçaya bölünmüş ve 375 mm uzunluğunda 8 adet dikiş çekilmiştir. Kaynak dikiş yönleri sağdan sola ve soldan sağa doğrudur. Kaynak dikişlerinin tamamı I – kirişin sağ ve/veya sol uçlarından başlanıp ortasında bitirilmiştir. Kaynak dikişlerinin KSP – 1'de olduğu gibi çapraz çekilmesi çekme ve basma kuvvetleri arasındaki farkı azaltacağı düşünülmüştür.

Kaynak dikişlerinin I – kirişin hacmine eşit dağılması amaçlanmış olsa da, kaynak dikişlerinin ortada bitirilmesi, o bölgede ısıyı yoğunlaştırmıştır ve KAP’larda -366 N basma ve 241 N’luk çekme distorsiyon kuvvetleri algılanmıştır (Şekil 6.17).



Şekil 6.16. 6 nolu KSP’nin uygulanması



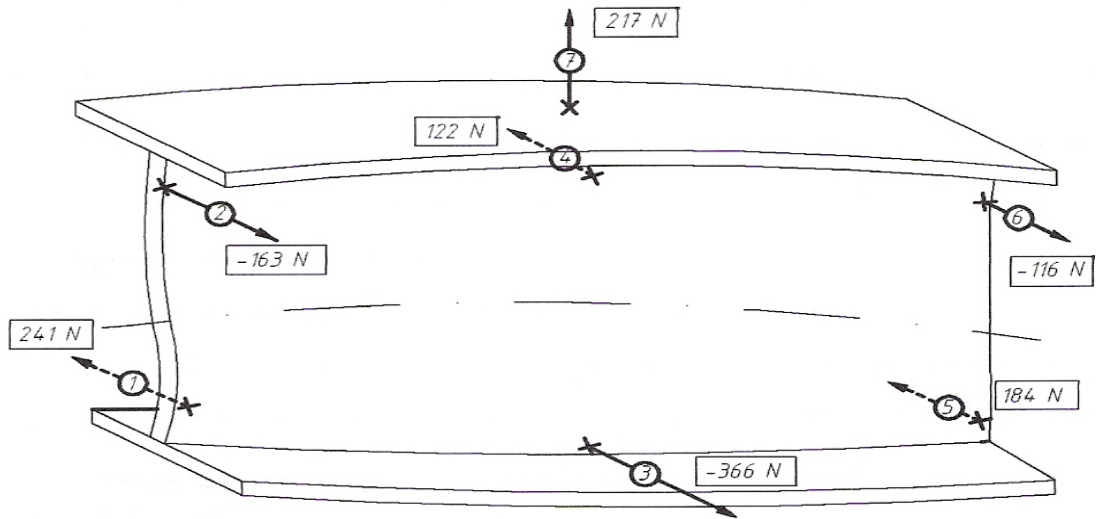
Şekil 6.17. 6 nolu KSP’nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri

3 nolu KAP’ta -366 N’luk basma kuvveti oluşmasında, 7 nolu kaynak dikişinin rolü büyüktür. Çünkü 7 nolu dikişin bitiş noktası, 3 nolu KAP’ın bulunduğu yerdir. En çok distorsiyon kuvvetine maruz kalan bir diğer KAP ise 1 nolu KAP’tır. 1 nolu KAP, I - kirişin alt köşelerine çekilen 1, 3, 5 ve 7 nolu kaynak dikişlerinin etkisinde

kalmıştır. Kirişin üst başlığının kaynağında 7 nolu KAP, 2, 4, 6, ve 8 nolu kaynak dikişleri çekilirken çekme kuvveti etkisinde kalmıştır. Son çekilen 8 nolu kaynak dikişinin etkisiyle 7 nolu KAP'ta 217 N'luk çekme kuvveti oluşmuştur. Ayrıca her çekilen kaynak dikişi, yakınındaki KAP'ı çekme ya da basma kuvveti yönünde etkilemiştir.

Kaynak işlemi bitiminde I – kirişin yatay ve dikey eksenine göre sağ ve sol köşelerde zıt yönde oluşan kalıcı çekme ve basma kuvvetlerinin I – kirişte burulma etkisi oluşturmuştur.

I – kirişlerin tasarımında tek tip bükülme oluşmaz. Değişik distorsiyon etkileri görülür. Çelik konstrüksiyonlarda I – kirişlerin yoğun kaynaklı uçlarında daha fazla distorsiyon oluşur [43]. I – kirişin orta bölgeleri, çekilen 8 kaynak dikişinden de etkilendiği için ortada en yüksek değerde kalıcı çekme ve basma distorsiyon kuvvetleri oluşmuştur (Şekil 6.18).



Şekil 6.18. 6 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

Ayrıca kaynak işlemi bitiminde yüksek çıkan basma ve çekme distorsiyon kuvveti değerleri göstermektedir ki; I – kirişin kaynaklı üretiminde kaynak dikişleri, kenardan başlatılıp ortada bitirilmeyecektir. Bu sonuçlara göre; KSP – 6, kiriş

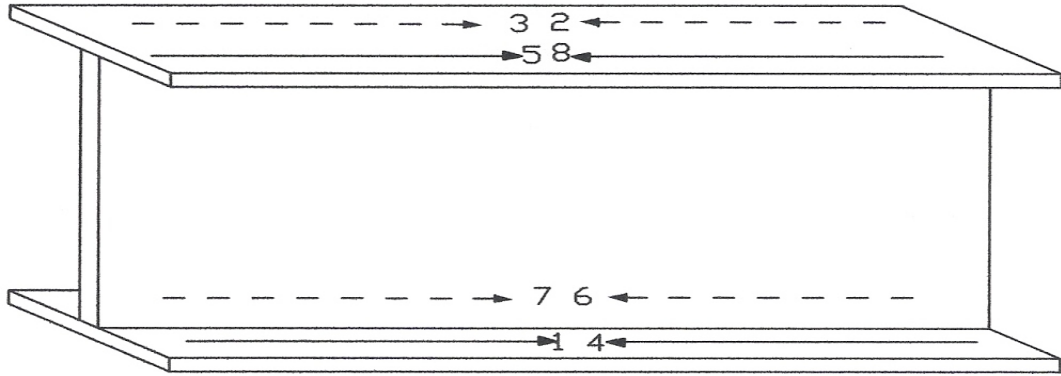
üretiminde uygulanması distorsiyon kuvvetleri bakımından avantaj sağlamayacağı için önerilebilecek kaynak sırası planları arasında yer alamamıştır.

6.7. KSP – 7 – Kenara Dayalı KSP

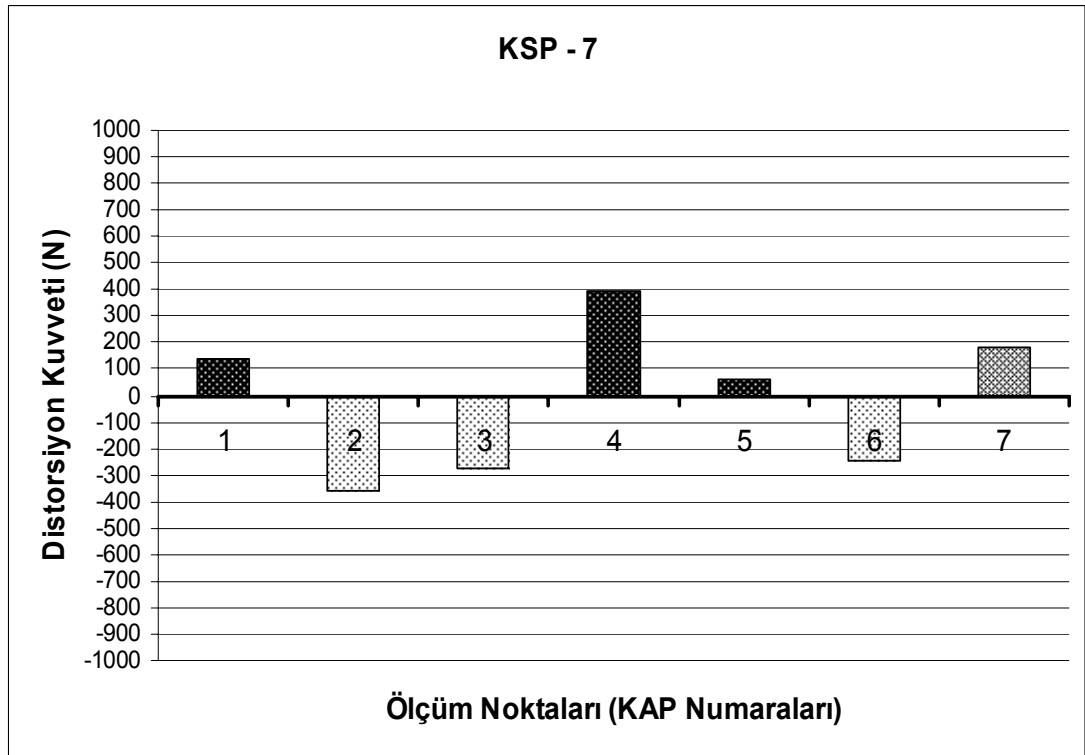
Şekil 6.19’da KSP – 7’ye ait uygulama planı, I – kiriş üzerinde gösterilmiştir. I – kirişin kaynatılacak dört köşesi ikişer eşit parçaya bölünmüş ve 375 mm uzunluğunda kaynak dikişleri çekilmiştir. Kaynak dikiş yönleri, sağdan sola ve soldan sağa doğrudur. Kaynak işleminde dikişlerin tamamına I – kirişin uçlarından başlanıp ortasında bitirilmiştir.

Bu uygulamada, I – kirişe bağlı KAP’ların tümünde, çekme ve basma kuvveti etkilerinin her ikisi de görülmüştür (Şekil 6.20). Kaynak dikişlerinin, alt ve üst köşeler arasında orantısız çekilmesi, çekme ve basma kuvvetleri arasındaki farkın artmasına neden olmuştur. Max. çekme kuvveti, I – kirişin orta bölgesinde oluşmuştur. Oluşan çekme kuvveti 397 N’dur (Şekil 6.21). EK-7’deki distorsiyon kuvveti-süre grafiğine bakıldığında 6 ve 7 nolu kaynak dikişleri, önceki çekilen kaynak dikişlerinin oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerini zıt yönde etkileyerek minimize etme eğilimi göstermiştir. Fakat 8 nolu kaynak dikişi, 6 ve 7 nolu kaynak dikişlerinin olumlu etkisini bertaraf etmiştir. Çünkü 6 ve 7 nolu kaynak dikişleri, I – kirişin düşey ekseninin sol alt köşesine, 8 nolu dikiş ise düşey eksenin sağ üst köşesine çekilmiştir.

Ayrıca kaynak dikişlerin bitimi, I – kirişin orta bölgesinde olması o bölgedeki ısı girdisini artırmış ve homojenlikten uzak ısı dağılımına bağlı olarak distorsiyon kuvvetleri oluşmuştur. Distorsiyon kuvvetleri arasında ki yönün ve farkın fazla olması I – kirişte burulma etkisi oluşturmuştur.



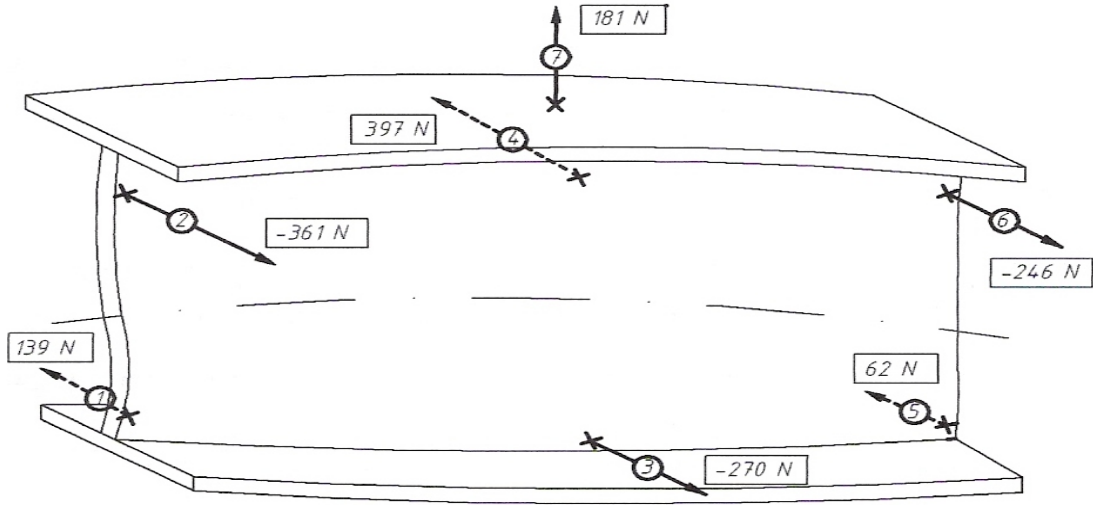
Şekil 6.19. 7 nolu KSP'nin uygulanması



Şekil 6.20. 7 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri

KSP – 7, KSP – 6 ile distorsiyon kuvveti yönü, şiddeti ve uygulanma metodu itibarıyla benzerlik göstermektedir.

Uygulanan KSP'ler içerisinde en olumsuz sonucu veren KSP'ler arasında yer alan KSP – 7, kesinlikle ideal olmayan kaynak sırası planlarından birini oluşturmuştur.

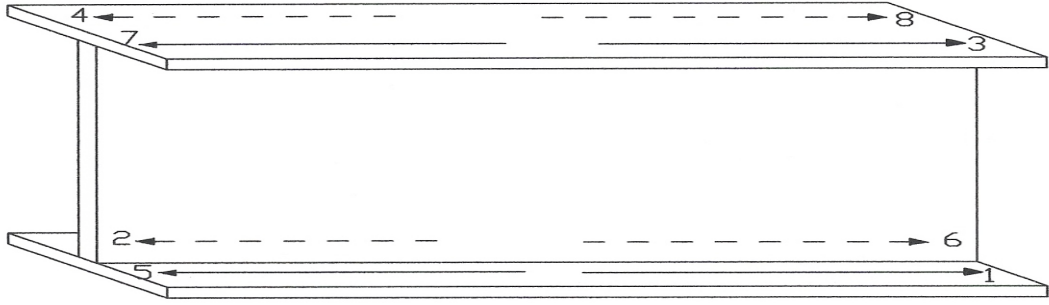


Şekil 6.21. 7 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

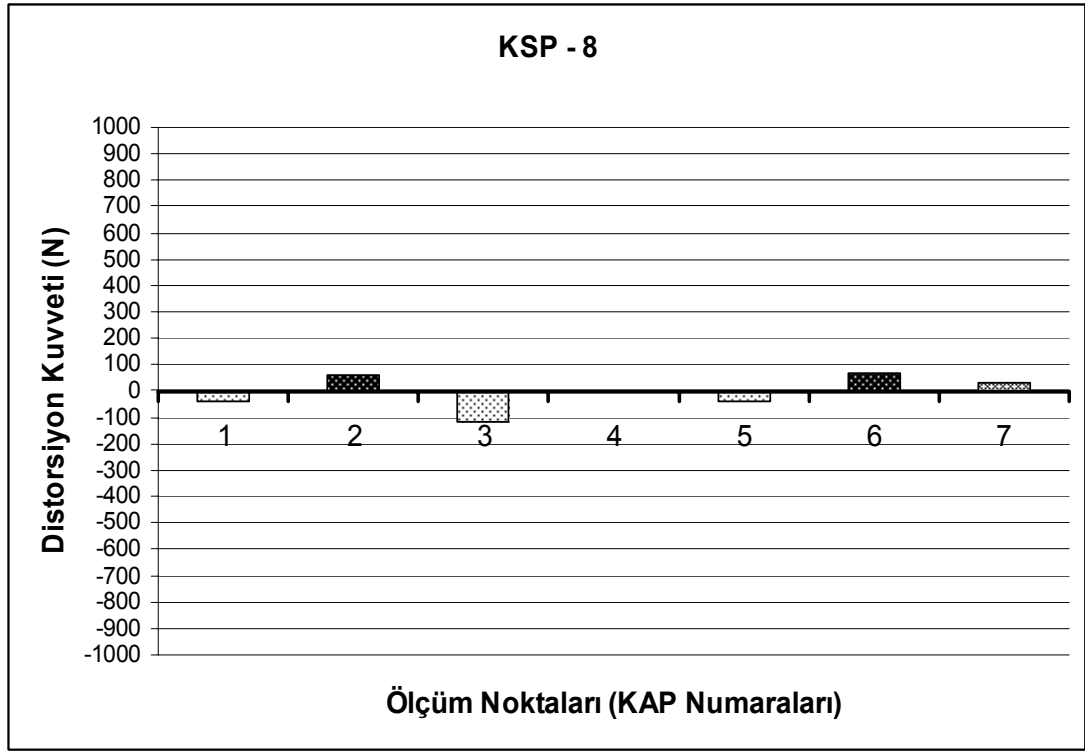
6.8. KSP – 8- Ortaya Dayalı KSP

Şekil 6.22'de KSP – 8'e ait uygulama planı, I – kiriş üzerinde gösterilmiştir. I – kirişin kaynakla birleştirilecek, dört köşesi iki eşit parçaya bölünmüş ve 375 mm uzunluğunda 8 adet dikiş çekilmiştir. Kaynak dikişleri, sağdan sola ve soldan sağa doğru çekilmiştir. Kaynak dikişlerinin tamamı I – kirişin ortasından başlatılıp uçlarında bitirilmiştir.

8 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristiği şöyledir; I – kirişte çekme ve basma yönündeki distorsiyon kuvvetlerinin her ikisi de oluşmuştur. Ancak, kirişte oluşan bu distorsiyon kuvvetleri min. orandadır (Şekil 6.23). EK - 8'de distorsiyon kuvveti-süre grafiği incelendiğinde; kaynak dikişlerinin çekilmeye başlanması ile birlikte oluşan distorsiyon kuvvetleri, sonraki dikişlerin etkisiyle minimum seviyeye inmiştir. Ayrıca karşı kenar kaynak dikişlerinin zıt yönde çekilmesi bir önceki dikişlerin oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerini azaltıcı etki yaptığı söylenebilir. Burada ısı dağılımının çok büyük etkisi olduğu düşünülmektedir. Çünkü ısıнын, belli bir noktada yoğunlaşmasına izin verilmemiştir. Kaynak dikişlerinin zıt yönlü ve karşılıklı çekilmesi ısı dağılımında homojenliği sağlamıştır.

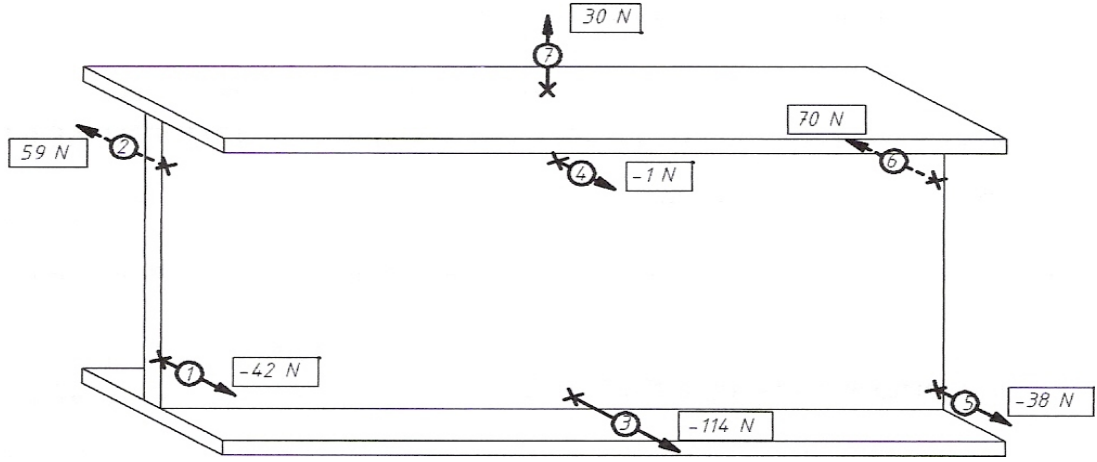


Şekil 6.22. 8 nolu KSP'nin uygulanması



Şekil 6.23. 8 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri

Kaynak dikişleri, I – kirişin yatay ve düşey ekseninin sağ/sol ve alt/üst köşelerine orantılı ve zıt yönlü bir şekilde dağıtılmıştır. Kaynak işleminin başlangıcında yüksek olan çekme ve basma kuvvetleri son dikişlere yaklaştıkça azalma eğilimi göstermiştir. 8 nolu kaynak dikişinin sonunda kalıcı distorsiyon miktarı en düşük seviyeye inmiştir. Çünkü kirişin alt ve üst başlıkları, gövdeye yeteri kadar bağlandığı için distorsiyon kuvvetlerine direnecek kesit miktarını artırmıştır ve kalıcı çekme ve basma kuvvetleri en az oranda kalmış, çarpılma eğilimi göstermemiştir (Şekil 6.24).



Şekil 6.24. 8 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi



(a)



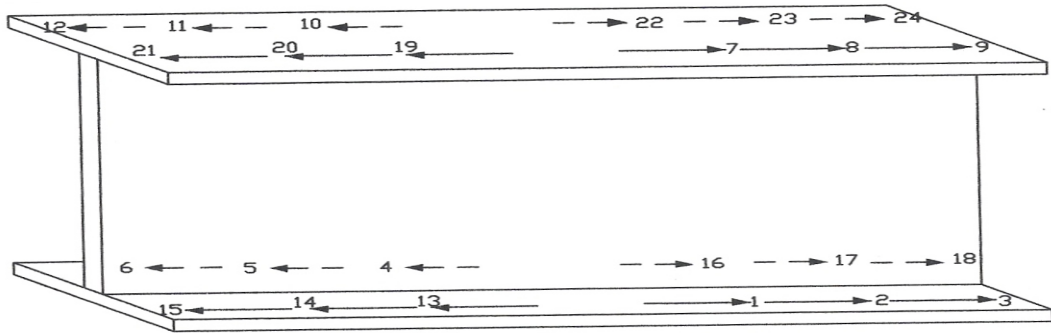
(b)

Resim 6. 1. Distorsiyon kuvvetlerinden en az etkilenmiş 8 nolu deney numunesi
a)Üstten görünüş b) Yandan görünüş

Uygulanan bütün KSP'ler içerisinde en iyi sonucu veren KSP – 8 (ortaya dayalı ksp) önerilebilecek en ideal KSP'dir. I – kiriş üretiminde uygulanacak KSP, kiriş ortasından başlatılıp kenarda bitirilen KSP uygulaması olacağı kanısına varılmıştır. En az oranda etkilenen I – kiriş Resim 6.1'de gösterilmiştir.

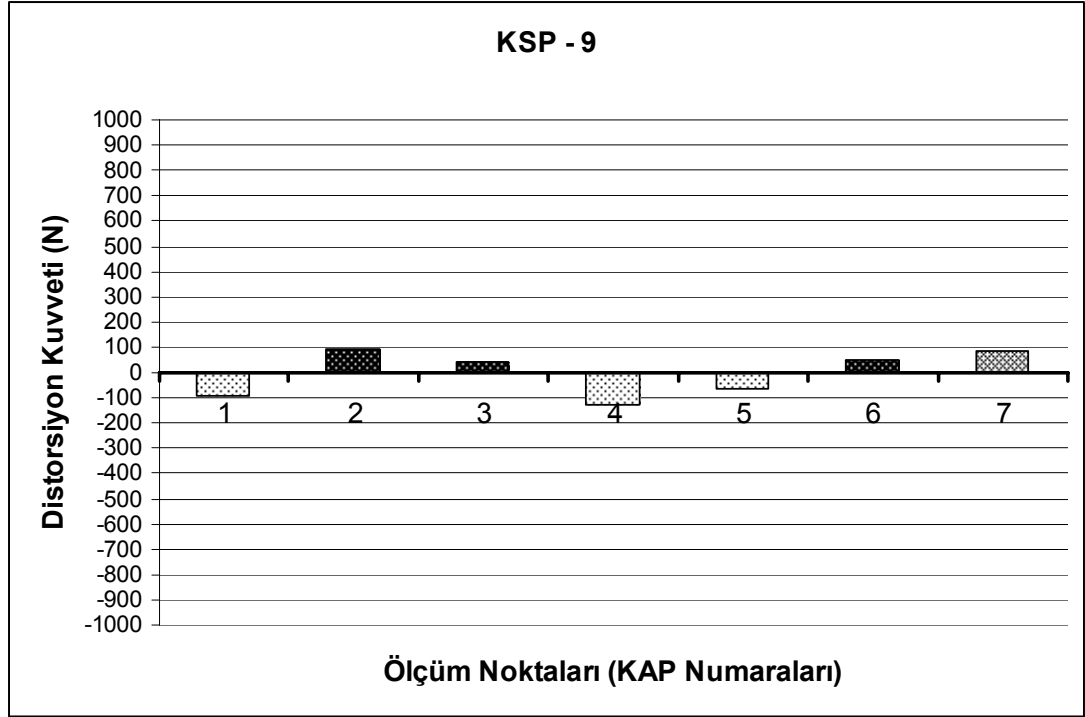
6.9. KSP – 9 – Ortaya Dayalı-Duraklamalı KSP

Şekil 6.25'te KSP – 9'a ait uygulama planı, I – kiriş üzerinde gösterilmiştir. I – kiriş dört köşesinden 125 mm'lik altı eşit parçaya bölünmüş ve 24 adet kaynak dikişi çekilmiştir. Dikişler soldan sağa ve sağdan sola doğru çekilmiştir. Kaynak işlemine, I – kirişin ortasından başlanıp uçlara doğru devam edilmiştir.

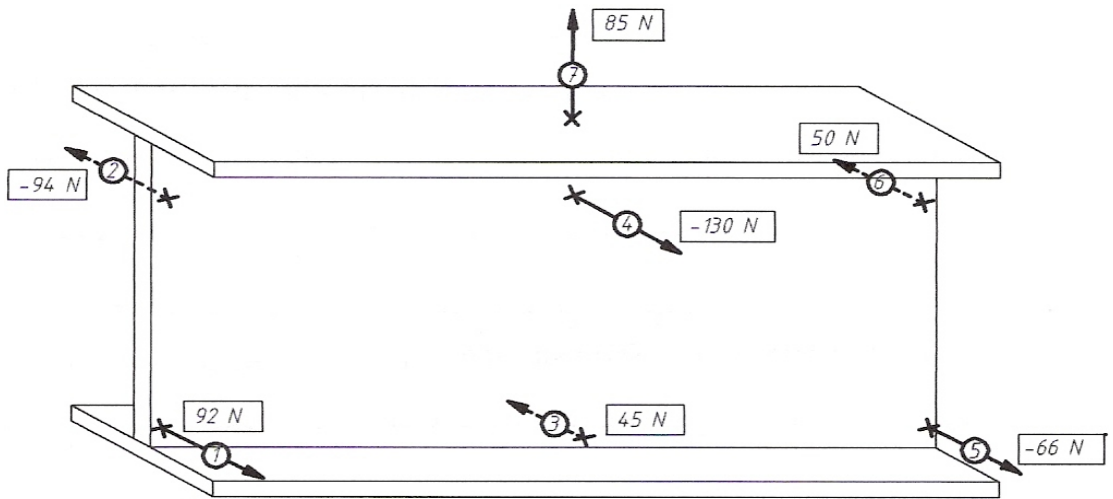


Şekil 6.25. 9 nolu KSP'nin uygulanma

Şekil 6.26'da KSP – 9'a ait I – kirişe bağlanmış KAP ölçüm noktalarında meydana gelen distorsiyon kuvvetleri verilmiştir. Kaynak dikiş boylarının kısa olması ısı girdisini yavaşlatmış ve ısının belli bölgelerde yoğunlaşması önlenmiştir. Böylece bölgesell ısının artması engellenmiş ve meydana gelmesi muhtemel distorsiyon kuvvetlerini azaltmıştır. Ayrıca karşı kenar kaynak dikişlerinin zıt yönde çekilmesi bir önceki dikişlerin oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerini azaltıcı etki yaptığı düşünülmektedir. KSP – 9'da en yüksek, 4 nolu KAP' ta -130 N'luk basma ve 2 nolu KAP'ta 94 N'luk çekme etkili kalıcı distorsiyon kuvvetleri oluşmuştur (Şekil 6.27). Düşük değerdeki distorsiyon kuvvetlerini, çekilen son altı kaynak dikişin, I – kirişin üst başlığında olmasına bağlanabilir.



Şekil 6.26. 9 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri



Şekil 6.27. 9 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

KSP – 9, KSP – 8'in kısa dikişli-duraklamalı kaynaklı birleştirme işlemidir. Kaynak sırası planları, yatay ve düşey eksene göre kaynak dikiş yönü ve birleştirme köşeleri bakımından benzerlik göstermektedir. Ayrıca kalıcı distorsiyon kuvvetlerinin türü ve

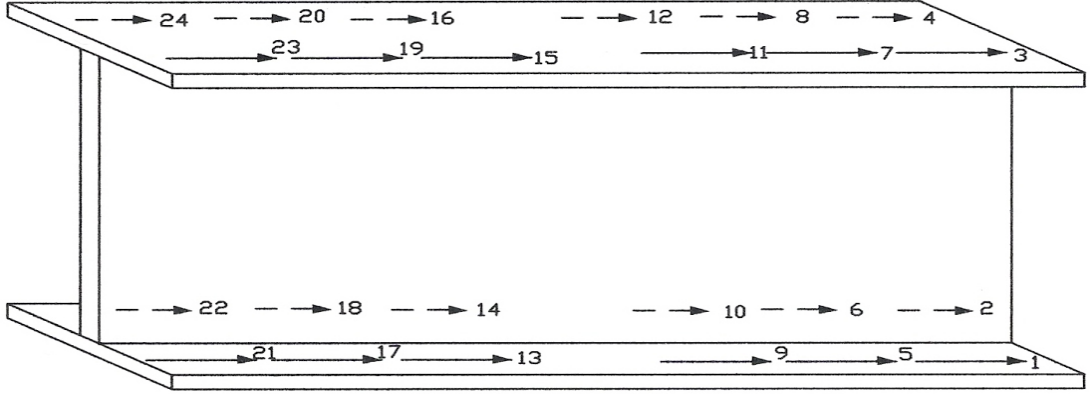
şiddeti de KSP – 8 ile benzerlik arz etmiştir. Kaynak ısıl girdisini, I – kirişin hacmine homojen yayma amaçlı uygulanan kısa dikişli-duraklamalı KSP’de başarılı olunmuştur.

Bu sonuçlara göre, KSP – 9’un uygulanmasının kaynaklı I – kiriş üretiminde distorsiyon kuvvetleri bakımından avantaj sağlayacaktır.

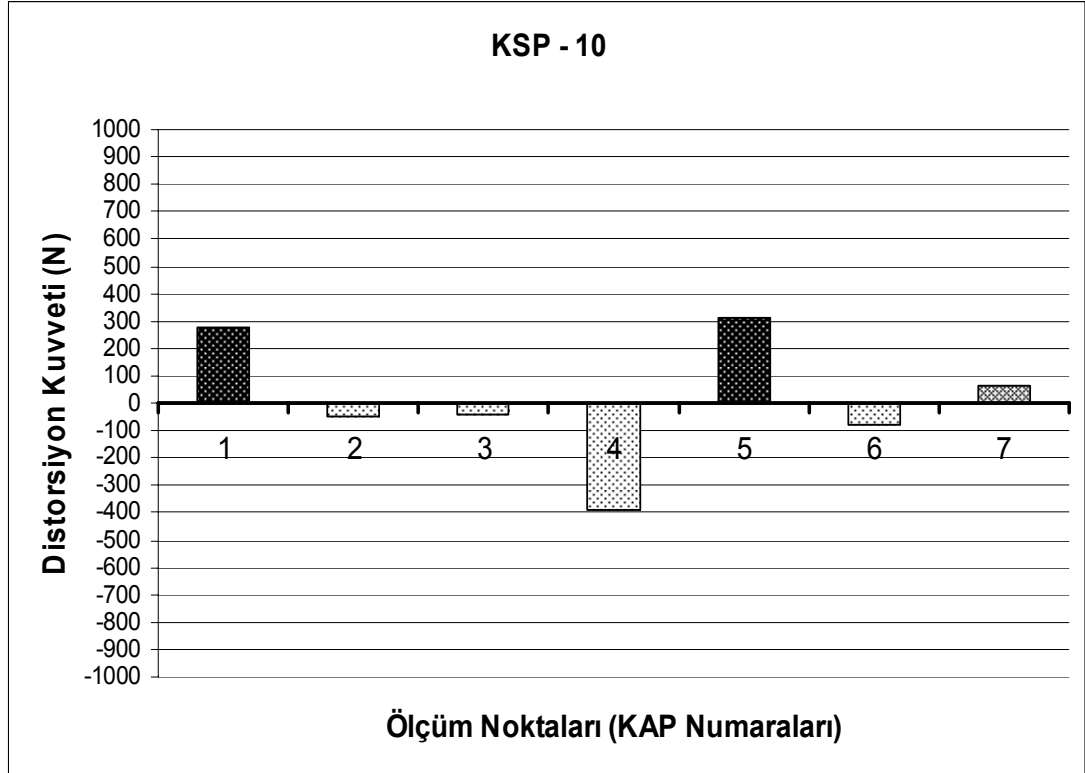
6.10. KSP – 10 – Kenara Dayalı-Aynı Yönlü-Geri Adımlı KSP

Şekil 6.28’de KSP – 10’a ait kaynak sırası planı verilmiştir. I – kiriş, dört köşesinden 125 mm’lik altı eşit parçaya bölünmüş ve kaynak dikişleri soldan sağa doğru çekilmiştir. Kaynak dikişlerinde, aynı yönlü ve geri adımlı kaynak yöntemi uygulanmıştır. I – kirişin düşey ekseninin sağ ve sol karşı kenarları arka arkaya kaynak edilmiştir.

Kaynak işlemi sırasında ısının I – kirişe eşit dağıtılması amaçlansa da başarılı olunamamıştır. Çünkü dikişler sırasıyla I – kirişin belli noktalarında yoğunlaşmıştır. Sağ tarafta alt ve üst başlık ile gövde birbirine yeteri kadar bağlanmışken, sol taraf bağlanamamıştır. I – kirişin sağ tarafının kaynakları bitirilmişken sol tarafına hiç kaynak yapılmamıştır. Dolayısıyla distorsiyon kuvvetlerine karşı koyacak kesit alan, sol tarafta oluşmamıştır. Sağ taraftaki kaynak yoğunluğuna bağlı olarak oluşan yüksek ısı girdisi yoğunluğu, distorsiyon kuvvetlerinin oluşumunu artırmıştır (Şekil 6.29). Kaynak dikişlerinin sonuna doğru dikişler, I – kirişin sol tarafında yoğunlaşmıştır. Bu bölgesel yoğunlaşma, I – kirişte homojen olmayan ısı girdisi oluşturmuştur. Homojen olmayan ısı girdisi ve ısı dağılımına bağlı olarak distorsiyon kuvvetleri oluşmuştur (Şekil 6.30). Kalıcı çekme ve basma kuvvetleri arasındaki yönün ve farkın fazla olması I – kirişte burulma etkisi oluşturmuştur. Kenara dayalı ve geri adımlı kaynak yöntemi, distorsiyon kuvvetleri bakımından avantaj sağlamamıştır.

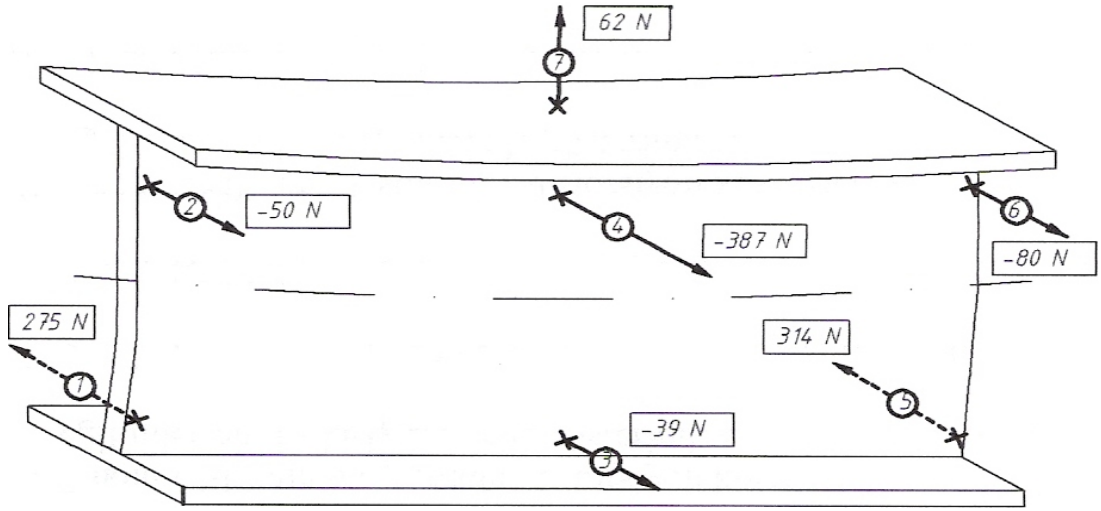


Şekil 6.28. 10 nolu KSP'nin uygulama metodu



Şekil 6.29. 10 nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri

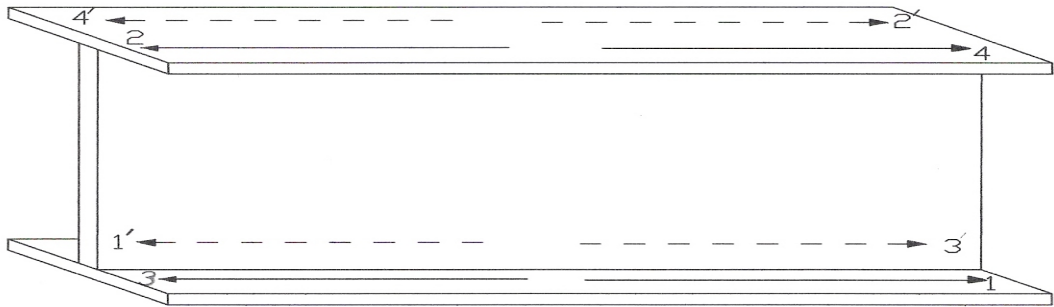
Yüksek değerlerde oluşan distorsiyon kuvvetleri, I – kirişte çarpılma eğilimi göstereceğinden KSP – 10, ideal olmayan ve önerilemeyecek kaynak sırası planıdır.



Şekil 6.30. 10 nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

6.11. KSP – 11A – İki Kaynakçılı-Zıt Yönlü KSP

Şekil 6.31'de KSP – 11A'ya ait uygulama metodu I – kiriş üzerinde gösterilmiştir. KSP – 11A'da kaynak işlemini iki kaynakçı aynı anda yapmıştır. I – kirişin kaynak edilecek dört köşesi ikişer eşit parçaya bölünmüş ve 375 mm'lik kaynak dikişleri çekilmiştir. İki kaynakçı, I – kirişin düşey eksene göre sağ ve sol köşelerini zıt yönde kaynatmıştır. Kaynak dikişleri soldan sağa doğru çekilmiştir.

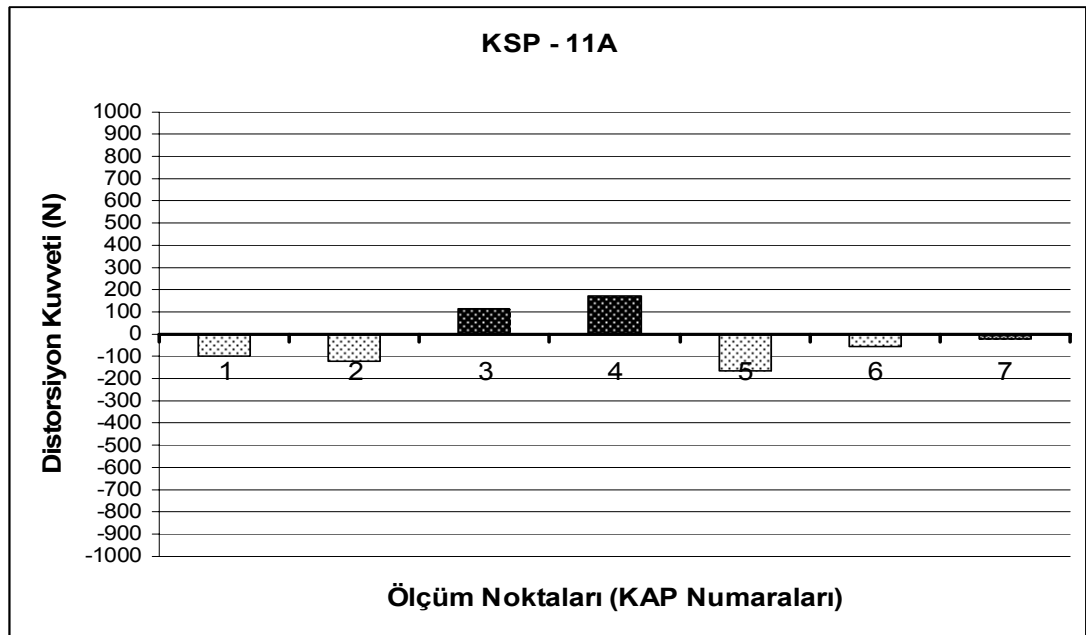


Şekil 6.31. 11A nolu KSP'nin uygulama metodu

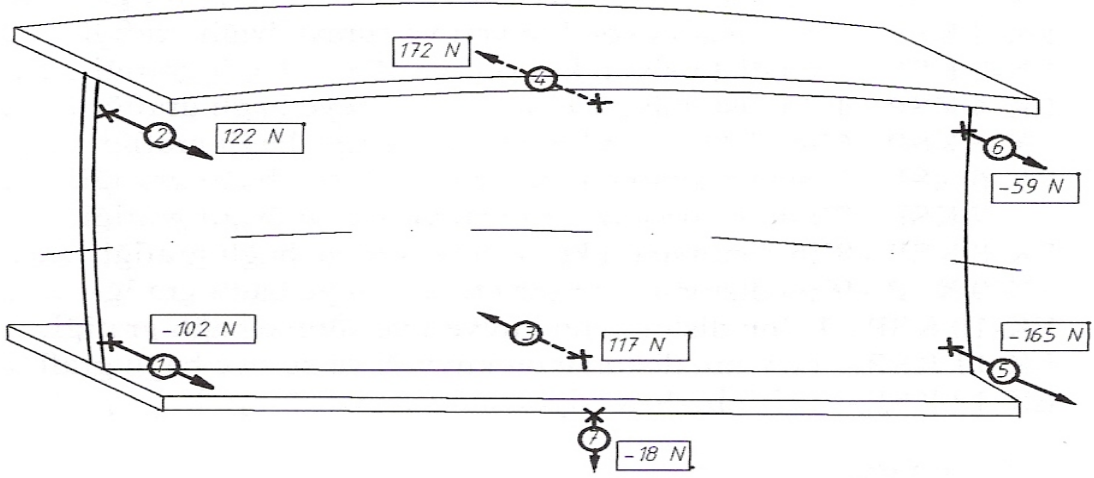
KSP – 11A'nın I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristiği şöyledir; I – kirişte basma ve çekme etkilerinin her ikisi de oluşmuştur (Şekil 6.32). En fazla etkilenme 172 N'luk bir kuvvetle I – kirişin üst orta kısmında 4 nolu KAP'ta

meydana gelmiştir. Son çekilen 4 ve 4¹ nolu kaynak dikişlerinin kirişin üst bölgesine çekilmiş olması 4 nolu KAP'ta 172 N'luk etki oluşturmuştur. Aynı anda iki kaynakçının çalışması I – kirişe nüfuz eden ısı miktarını artırmıştır. Yani kısa zamanda daha fazla ısı girdisi oluşmuştur.. Homojen bir ısı dağılımı gözlenirse de fazla ve ani ısı girdisinin distorsiyon kuvvetlerine neden olduğu söylenebilir (Şekil 6.33). Çelik konstrüksiyonlarda işçilik süresini kısa tutmak için iki kaynakçılı-zıt yönlü kaynak sırası planının, I – kiriş üretiminde uygulanması avantaj sağlayabilir.

KSP – 11A, uygulanan KSP'ler arasında en iyi sonucu veren KSP – 8 ile uygulama planı ve kaynak yönü bakımından benzerlik gösterse de, kalıcı distorsiyon kuvvetlerinin yönü ve şiddeti bakımından farklılık göstermektedir. Distorsiyon kuvvetleri şiddetinde ve yönünde farklılık olması kaynak dikişlerinin iki kaynakçı ile çekilmiş olmasına bağlanabilir.



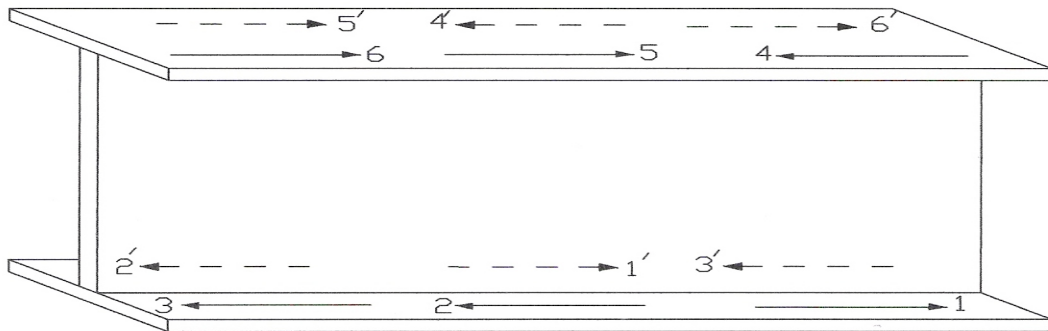
Şekil 6.32. 11A nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri



Şekil 6.33. 11A nolu KSP' nin oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ve eğilimlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

6.12. KSP – 11B – İki Kaynakçılı-Aynı Yönlü KSP

Şekil 6.34'te KSP – 11A'ya ait uygulama metodu I – kiriş üzerinde gösterilmiştir. Şekil 'de I – kirişin dört köşesi üç eşit parçaya bölünmüş ve 250 mm uzunluğunda kaynak dikişleri çekilmiştir. İki kaynakçı aynı anda çalışmıştır. Kaynak dikişleri, 1. kaynakçının başlangıç noktasının karşısı, 2. kaynakçının bitiş noktası olacak şekilde planlanmış ve kaynak dikişleri sağdan sola ve soldan sağa doğru çekilmiştir. İlk önce I – kirişin alt köşeleri karşılıklı kaynatılmış ve daha sonra aynı yöntem üst köşeler için uygulanmıştır.

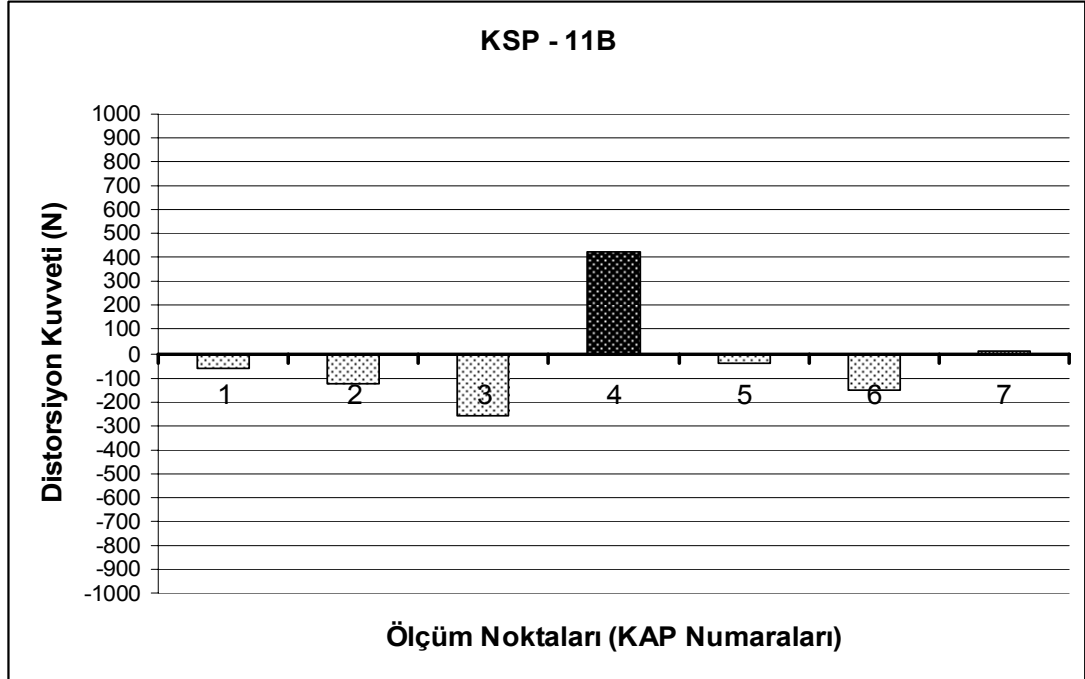


Şekil 6.34. 11B nolu KSP'nin uygulama metodu

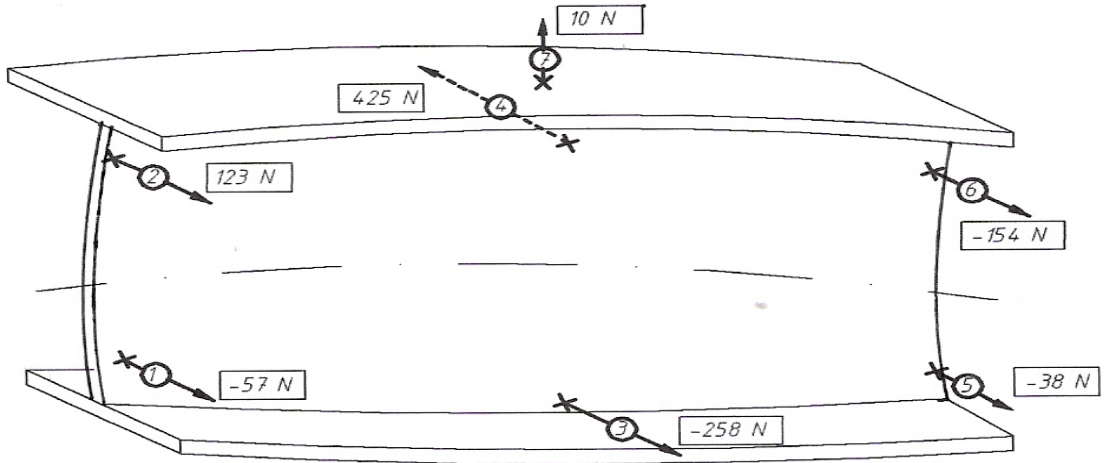
KSP – 11B'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerinin genel karakteristiği şöyledir; I – kirişte basma ve çekme kuvvetinin her ikisi de oluşmuştur (Şekil 6.35). Ancak, I – kirişin sadece üst orta kısmındaki 4 nolu KAP'ta 425 N'luk çekme kuvveti algılanırken diğer KAP'larda az oranda basma yönünde distorsiyon kuvvetleri algılanmıştır (Şekil 6.36). Meydana gelen kalıcı distorsiyon kuvvetlerine kaynak dikişlerinin, I – kirişin aynı tarafında karşılıklı köşelerinde yoğunlaşmasının neden olduğu düşünülmektedir. Çünkü kirişin alt başlığının kaynağına öncelik verilmiştir. Kaynak dikişlerinin I – kirişin geneline yayılmayıp aynı bölgelerde yoğunlaşması ve o bölgeye ısı girdisinin hızlı ve fazla olması distorsiyon kuvvetlerinin temel kaynağını oluşturmaktadır. Son çekilen dikişler önceki çekilen dikişlerin neden olduğu distorsiyon kuvveti etkilerini azaltırken son çekilen dikişlerin distorsiyon kuvveti etkilerini azaltacak dikiş kalmamıştır. Bu nedenlere bağlı olarak I – kirişin orta kısımlarında daha fazla distorsiyon kuvveti algılanmıştır.

Son çekilen 5, 5¹ ve 6, 6¹ nolu kaynak dikişlerinin, I – kirişin üst başlığına çekilmiş olması, distorsiyon kuvvetlerini artırmıştır. Ayrıca 4 nolu KAP'taki 425 N'luk çekme kuvvetine yine son çekilen 5, 5¹ ve 6, 6¹ nolu kaynak dikişleri neden olmuştur. Yani son dikişlerin, kirişin ağırlık merkezi yatay ekseninin üstünde yapılmış olması 4 nolu KAP'ı en fazla etkilemiştir.

KSP – 11B'nin I – kiriş üretiminde distorsiyon kuvvetleri açısından avantaj sağlamayacağından, kaynak sırası planı olarak uygulanması uygun değildir.



Şekil 6.35. 11B nolu KSP'nin I – kirişte oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri



Şekil 6.36. 11B nolu KSP'de oluşan distorsiyon kuvvetlerinin I – kiriş üzerinde gösterimi

6.13. İdeal Olmayan ve Önerilemeyecek Kaynak Sırası Planları ve Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda uygulanan kaynak sırası planlarında basma ve çekme distorsiyon kuvvetlerinin her ikisi de oluşmuştur. Distorsiyon kuvvetlerinin miktarına göre değerlendirdiğimizde; I – kiriş üretiminde uygulanması önerilemeyecek KSP'ler

de mevcuttur. Bunlar, KSP – 11B, KSP – 10, KSP – 6, KSP – 7, KSP – 2 ve KSP – 3'tür. İdeal olmayan ve önerilemeyecek bu altı grup KSP'nin genel karakteristik özellikleri şunlardır;

1- I – kirişin belli bölgelerinde yoğunlaşan dikişleri içeren KSP'ler, büyük ve dengeli olmayan, kalıcı basma ve çekme distorsiyon kuvvetlerini oluşturmuştur.

2- Bu KSP'lerde basma ve çekme kuvvetlerinin her ikisi de büyük değerlerde oluşmuştur.

3- Genellikle kenara dayalı KSP ile yapılan kaynak dikişleri uygun değildir.

4- Bu KSP'lerde basma ve çekme zıt yönlü kuvvetler arasındaki fark çok fazladır.

5- Bu KSP'lerle üretilen I – kirişlerde, boyuna distorsiyon ve burkulma distorsiyonu olduğu gözlenmiştir.

6.14. İdeal Olan ve Önerilebilecek Kaynak Sırası Planları ve Özellikleri

Bu grup KSP'lerin uygulanmasıyla I – kirişte oluşan çekme ve basma distorsiyon kuvvetlerinin her ikisi de görülmektedir. Meydana gelen distorsiyon kuvvetlerine göre gruptandığımızda I – kiriş üretiminde uygulanması önerilebilecek KSP'ler, KSP – 8, KSP – 9, KSP – 5, KSP – 11A, KSP – 4, KSP – 1'dir. İdeal olan ve önerilebilecek bu altı grup KSP'nin genel karakteristik özellikleri şunlardır;

1- Kaynak dikişleri genellikle belli noktalarda yoğunlaşmayacak şekilde, dağınık planlanmıştır.

2- Kaynak dikişleri genellikle ortaya dayalı, çapraz, zıt yönlü ve değişken dağılımlıdır.

3- Çekme ve basma yönündeki distorsiyon kuvvetleri minimum seviyededir.

4- Basma ve çekme yönündeki distorsiyon kuvvetleri arasındaki farklar fazla değildir.

5- Uygulanan KSP'lerden en iyi sonucu ortaya dayalı KSP – 8 vermiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

I – kiriş üretiminde köşe kaynakları kaynak sırası planının distorsiyon kuvvetlerine etkilerinin araştırılması ile ilgili yapılan bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiş ve bazı önerilerde bulunulmuştur.

1) Deney numunesinin kaynaklı birleştirilmesi sonucunda, distorsiyonu meydana getiren kuvvetler KSP'ye göre değişiklik göstermektedir. İyi bir KSP uygulanmaksızın oluşan maksimum distorsiyon kuvveti, -784 N (KSP – 3, 4 nolu KAP) iken, distorsiyonu minimuma indiren KSP'de oluşan kuvvet ise -1 Newton (KSP – 8, 4 nolu KAP)'la sınırlı kalmıştır. Maksimum distorsiyon kuvveti ile minimum distorsiyon kuvveti arasındaki bu fark, KSP'nin önemini göstermektedir.

2) Kaynak sırası planları 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 azaltmak mümkündür. Bunu sağlamak için, çekilen kaynak dikişi kendinden önce çekilen kaynak dikişinden uzak noktada bulunmalıdır. Ve bundan sonra çekilecek diğer dikişlerde bu şekilde sıralanarak çekilmelidir.

3) Kaynak işleminin bitimi, I - kirişin merkezi olmamalıdır. Bu, distorsiyon kuvvetlerini arttırıcı yönde rol oynar. Kaynak işleminin başlangıcı, I – kirişin ortası olmalıdır. Dikişler ortaya dayalı çekilmelidir. Yani dikişlere, ortadan başlanıp kenarlara doğru devam edilmelidir.

4) Kaynak sırası planı arkalı önlü-aynı yönlü tasarlanmamalıdır. I - kirişte aynı bölgelerin hem ön, hem arka tarafına sırası ile aynı yönlü kaynak çekildiğinde, o bölgede ısı girdisi arttığından distorsiyon kuvvetlerinde de artış gözlenmiştir. Bu nedenle, I - kirişin bir köşesine kaynak dikişi çekilmişse, diğer köşesine çekilecek kaynak dikişi uzak noktada ve zıt yönde çekilmelidir. Böylece eşit ısı dağılımı sağlanmış olacak bu da distorsiyon kuvvetlerini azaltıcı yönde rol oynayacaktır.

- 5) Kaynak dikişleri, mümkün olduğunca ortaya dayalı, çapraz, zıt yönlü ve değişken dağılımlı, kısa ve birbirine uzak konumda olmalıdır.
- 6) Bir önceki dikişin oluşturduğu distorsiyon kuvvetlerini, sonraki dikişin nötrleyeceği veya azaltacağı şekilde bir kaynak sırası planı tasarlanmalıdır.
- 7) Elde edilen bu sonuçlar göz önüne alınarak kaynaklı I – kiriş üretiminde kaynak sırası planının tasarlanması, hem daha emniyetli hem de daha ekonomik kaynaklı birleştirmelerin elde edilmesini mümkün hale getirmektedir.
- 8) Sonuç olarak, I - kirişlerin kaynaklı üretiminde, belirli bölgelerde yoğun birleştirme içermeyecek dağınık ve homojen ısı dağılımı sağlayacak kaynak sırası planının uygulanması önerilir.
- 9) Günümüzde, çelik konstrüksiyonlarda (çelik köprü, çelik çatı, çelik yapı) kullanılan I – kirişlerin kaynaklı üretiminde kullanılabilecek KSP’lerin belirlenmesinde, bu çalışmada sunulan sonuçların ANSYS vb. bilgisayar programlarıyla modellenmesi önemli faydalar sağlayacaktır.
- 10) Bu tez sonuçlarına dayalı yapılacak diğer araştırmalarda; I – kiriş üretiminde kaynak dikişleri çok pasolu olarak yapılması ve her posonun yol açtığı distorsiyon kuvvetlerinin önceki pasonun oluşturduğu distorsiyon kuvvetleri ile etkileşimi incelenebilir.
- 11) Ayrıca, I – kiriş üretiminde kaynak dikişlerinin farklı kaynak yöntemleriyle çekilmesi sonucu oluşan distorsiyon kuvvetleri ve kaynak sırası planları da diğer bir araştırma konusu olabilir.

KAYNAKLAR

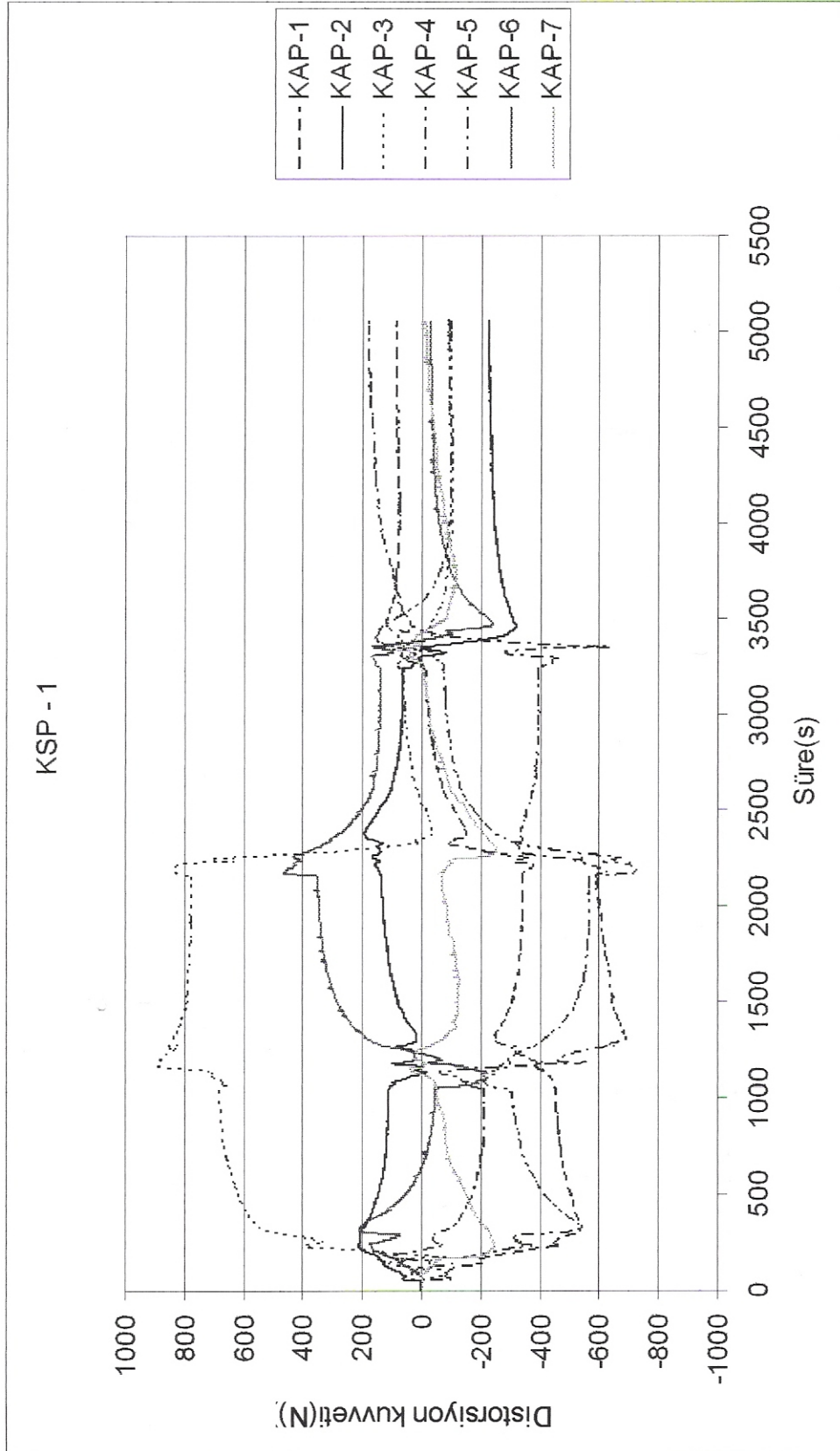
1. Vural, H.İ., “Kafes giriş sistemlerde optimum kaynak sırası planı ve distorsiyon (çarpılma) kuvvetlerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-17, 19-76 (2006).
2. Çanacık, A., “Çeliklerin kaynağında açısal distorsiyon”, Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 3-19, 29-30, 53-119 (1998).
3. Aydoğan, M.Ö., “Kaynaklı yapılardaki artık gerilmelerin ve distorsiyonların sonlu elemanlar yöntemiyle analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-23 (1999).
4. Özkara, H., “Kaynaklı parçalarda kalıntı gerilmeler ve distorsiyon”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 2-15, 20-23, 34-47, 56-73 (1987).
5. Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., “Örtülü elektrot ile ark kaynağı”, **Gedik Holding Yayını**, İstanbul, 11-26, 165-180 (1991).
6. Anık, S., “Kaynak tekniği el kitabı”, **Gedik Holding Yayını**, İstanbul, 3-41 (1991).
7. Serfiçeli, Y.S., “Metal işleri meslek teknolojisi-1” **Form Ofset**, Ankara, 311-314 (2001).
8. Serfiçeli, Y., “Elektrik ark ve oksî-gaz kaynağı”, **Form Ofset**, Ankara, 73-76 (1991).
9. Adsan, K., “Elektrik kaynağı”, **Millî Eğitim Basımevi**, Ankara, 27-34 (1980).
10. Eryürek, İ. B., “Çelikler için örtülü elektrot seçimi”, **Askaynak Yayını**, İstanbul, 4-5 (2006).
11. Oğuz, B., “Ark kaynağı”, **Oerlikon Yayınları**, İstanbul, 1-8, 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. Serfiçeli, Y.S., “Kaynak teknolojisi” **Form Ofset**, Ankara, 138-141, 144-147 (2003).

15. Serfiçeli, Y.S., “Metal işleri meslek teknolojisi-2”, **S.H.Ç.E.K. Basımevi**, Ankara, 370-378 (2001).
16. Bartle, P.M., “Welding handbook 7th ed.”, **American Welding Society**, Miami, 413-428, 485-511, 601-609 (1981).
17. Masubuchi, K., “Analysis of welded structures”, **Pergamon Pres**, New York, 44-66 (1980).
18. Wilson, W.M., “Welding anz brazing”, Metals handbook 6th, **American Society For Metals**, Ohio, 291-305 (1983).
19. Özden, N., “Kaynağın ısı işlemleri”, **Nurettin Basımevi**, İstanbul, 23-32 (1985).
20. Masubuchi, K., “Control of distortion and shrinkage in welding”, **Research Council Bulletin**, New York, 149 (1970).
21. Altan, M., “Kaynak distorsiyonları ve sonlu elemanlar yöntemiyle analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 6-7 (2002).
22. Degarmo, E.P., Meriam, J.L., “The effect of weld length upon the residual stresses of unrestrained butt welds”, **Welding Journal**, 25: 485-486 (1946).
23. Paradowska, A., Price, J.W.H., Ibrahim R., Finlanson, T., “A neutron diffraction study of residual stress due to welding”, **Journal of Materials Processing Technology**, 164-165: 1099-1105 (2005).
24. Binici, İ., “Kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve giderilmesinde yeni bir yaklaşım”, Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 18 (1992).
25. Baş, H., “Kaynaklı bir gemide oluşan distorsiyonlar ve giderilme esasları”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 25-82 (1992).
26. Külekçi, M.K., Ertürk, İ., “Kaynaklı yapılarda çekme ve çarpılmalar”, **Kaynak Teknolojisi I. Ulusal Kongresi**, Ankara, 179-189 (1997).
27. Akyol, E.C., “Çelik konstrüksiyonlarda malzeme, kaynak yöntemi ve konstrüksiyon ilişkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 74-81 (1994).
28. Külekçi, M.K., “Kaynaklı yapılarda çekme, çarpılma ve bunları azaltma önlemleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 32-87 (1996).

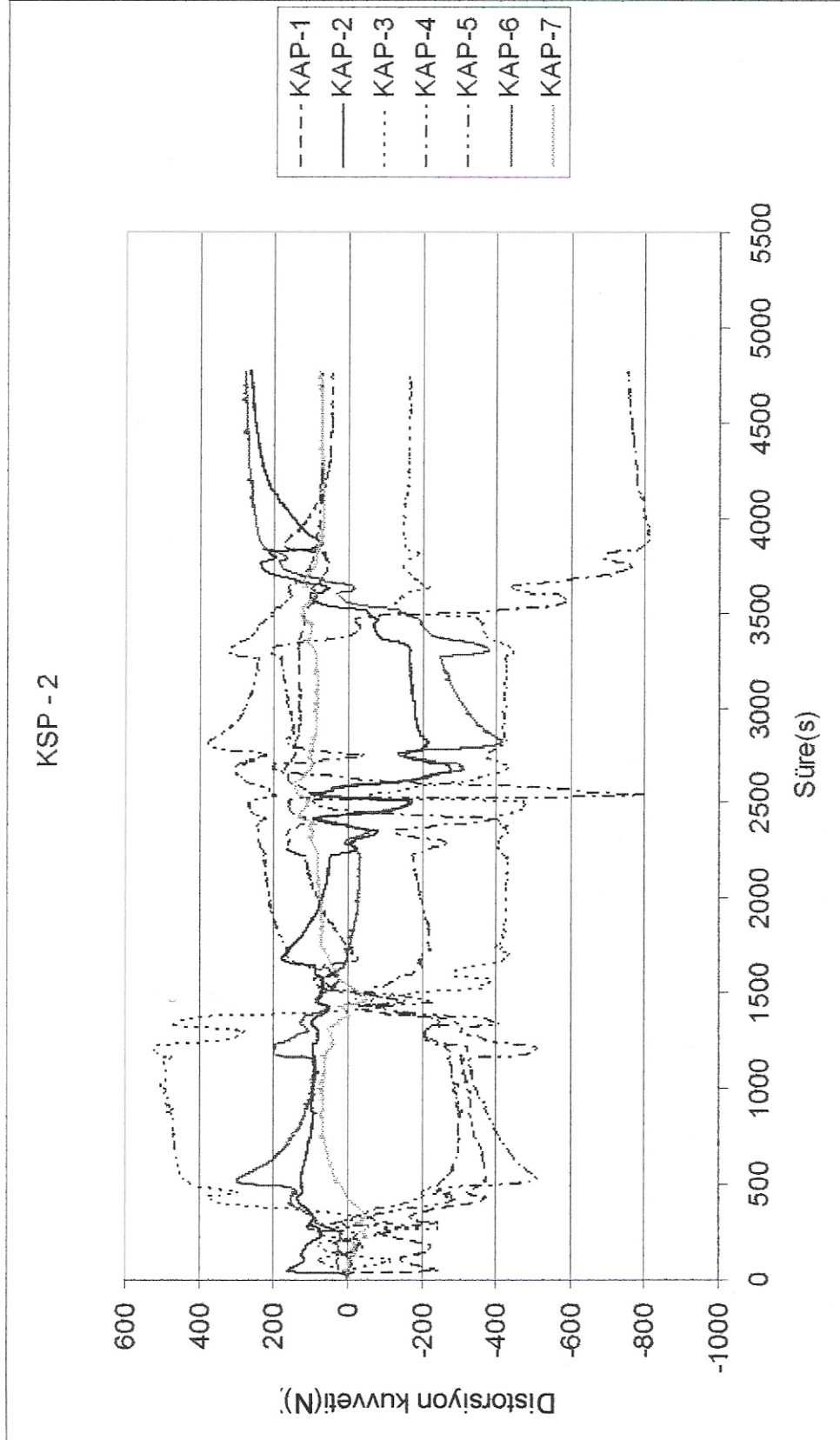
29. Anık, S., “Kaynak tekniği-I”, *İTÜ Yayını*, İstanbul, 246-285 (1980).
30. Anık, S., “Kaynaklı parçalarda oluşan çekme ve çarpılmalar”, *Mühendis ve Makine*, Ankara, 24(285): 26-27 (1983).
31. Yükler, İ., “ Çok pasolu köşe kaynaklarında çatlamlar”, *Böhler Kaynak Dünyası*, İstanbul, 9-10 (1988).
32. Malik, L.,Graville, B.A., “Effect of joint restraint on lameller tearing susceptibility in steel plates”, *Welding Journal*, 58: 12-20 (1979).
33. Deo, M.V., Michaleris, P., “Mitigation of welding induced buckling distortion using transient thermal tensioning”, *Science and Technology of Welding and Joining*, 1-5 (2002).
34. Eryürek, B., Bodur, O., Dikicioğlu, A., “Kaynak teknolojisinin esasları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 74 (1996).
35. Cheng, W.T., Park, S.C., Tsai, B.C.L., “Welding distorsion of a thin-plate panel structure”, *Welding Research Supplement*, 78: 156-165 (1999).
36. Macun, A., “Kaynaklı çelik proses teçhizatı ve boru donanımlarında şantiyede gerilim giderme işlemleri”, *Mühendis ve Makine*, Ankara, 24(284): 7-8 (1983).
37. Akpolat, M., “Oksi asetilen ve elektrik ark kaynağı”, *TEF Yayını*, Ankara, 84 (1981).
38. Debiccari, A., Michaleris, P., “Prediction of welding distortion”, *Welding Journal*, 76(4): 172-180 (1997).
39. Ning-Xu, M.A., Ueda,Y., Murakawa, H., Maeda, H., “FEM analysis oj 3-D welding residual stresses and angular distortion in T – type filet welds”, *JWRI*, 24, 115-122 (1995).
40. Michaleris, P., Vanli, O.A., Distortion analysis of welded stiffeners”, *Welding Journal*, 76(11): 451-457 (1997).
41. Anık, S., “Kaynaklı parçalarda oluşan çekme ve çarpılmalar”, *Mühendis ve Makine*, Ankara, 24(284): 22-23 (1983).
42. Granath, P., “Serviceability limit state of I-shaped steel girders subjected to patch loading”, *Journal of Constructional SSteel Research*, 54: 387-408 (2000).
43. Poon, C.P., Ronagh, H.R., “Distortional buckling of I- beams by finite element method”, *Advances in Structural Engineering*, 7(1): 71-79 (2004).

EKLER

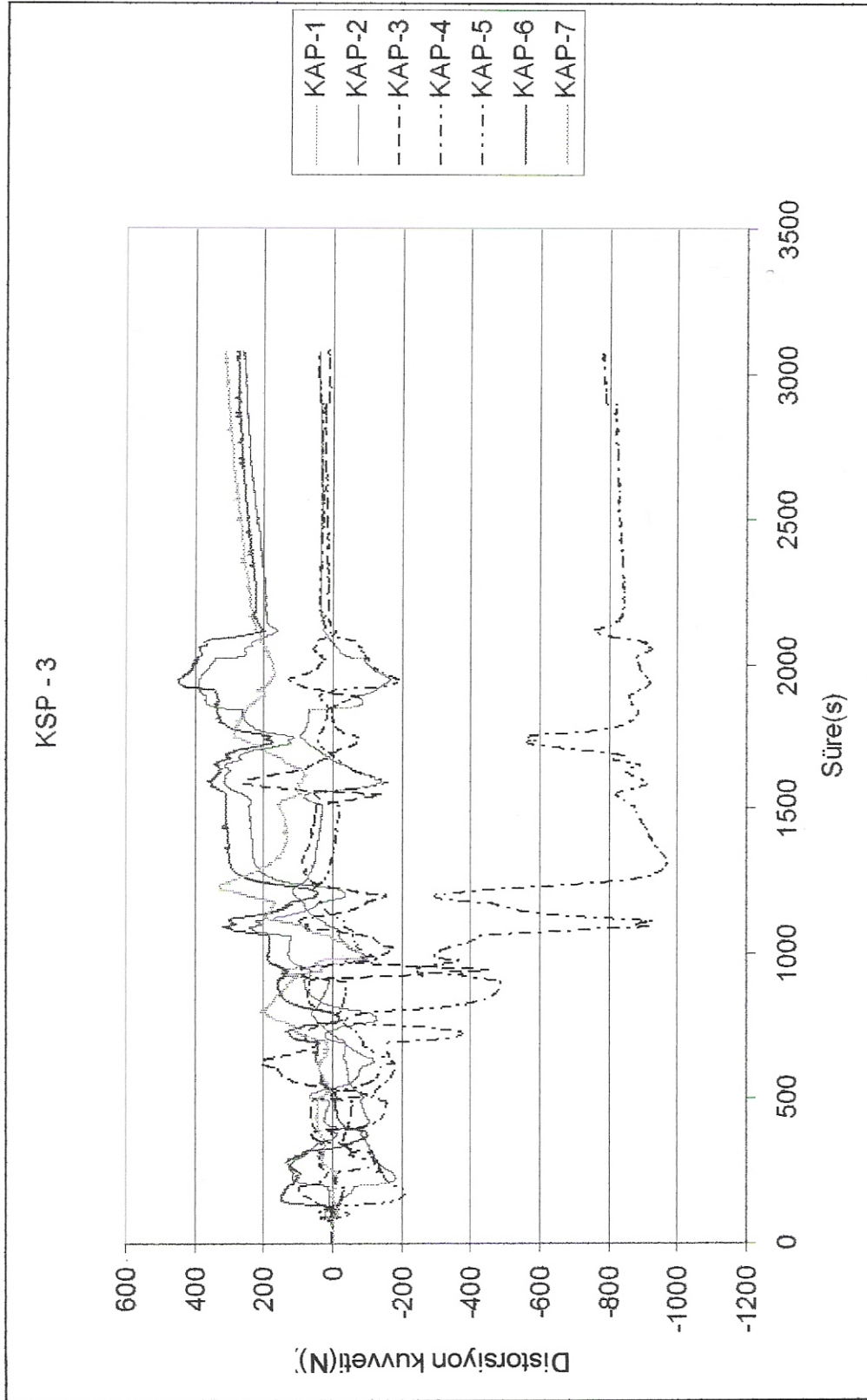
EK-1 KSP -1'in distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



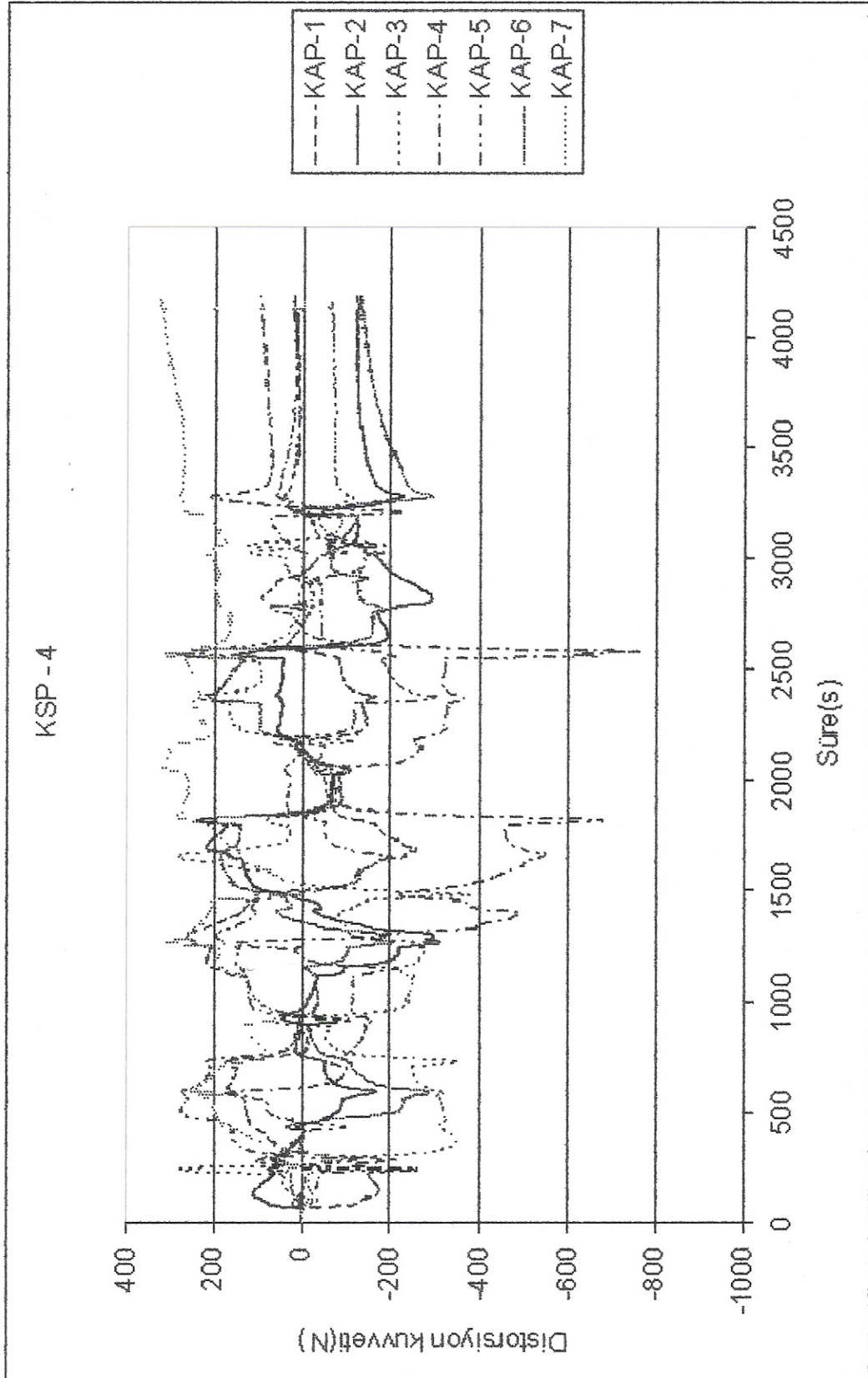
EK-2 KSP -2'nin distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



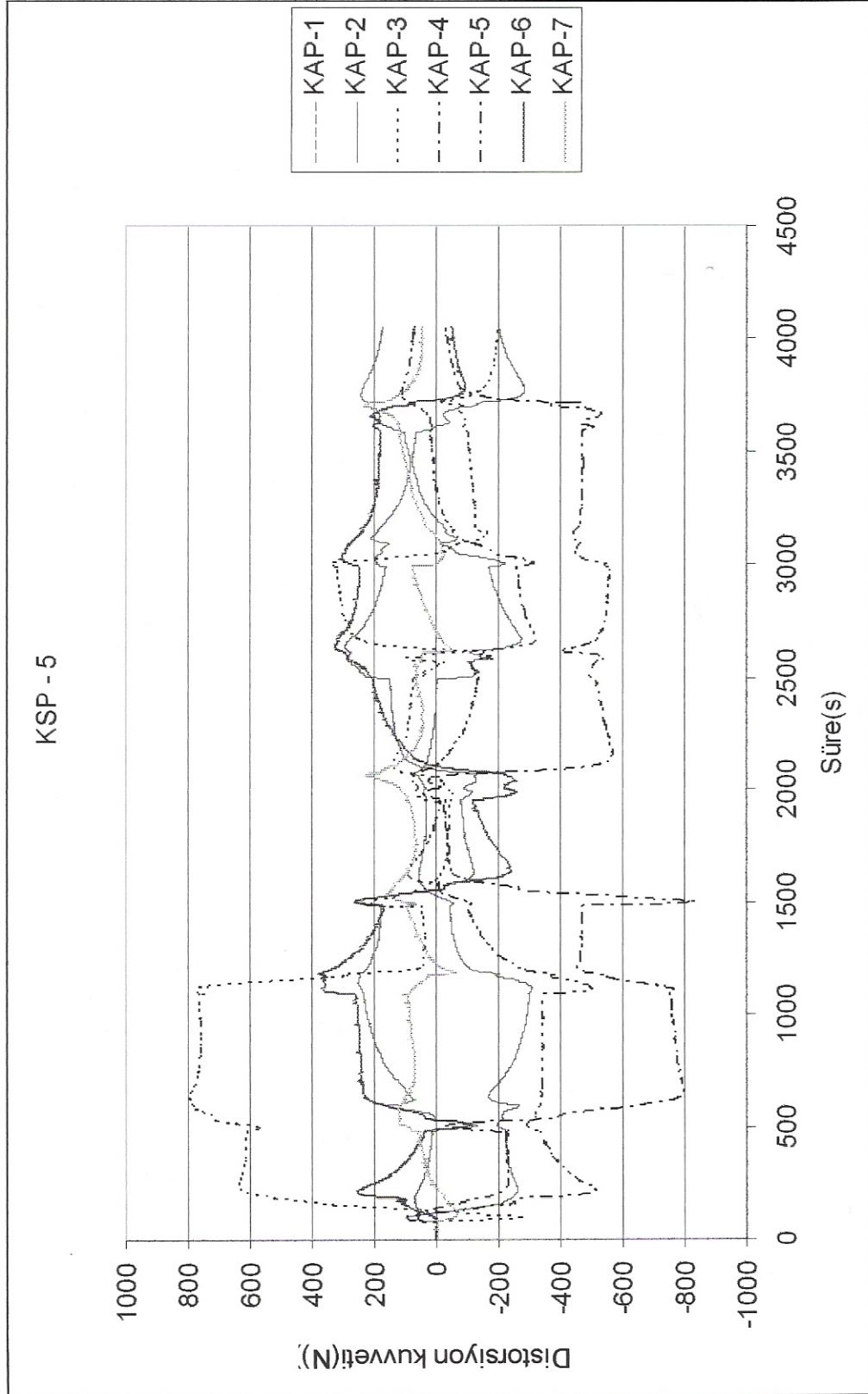
EK-3 KSP -3'ün distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



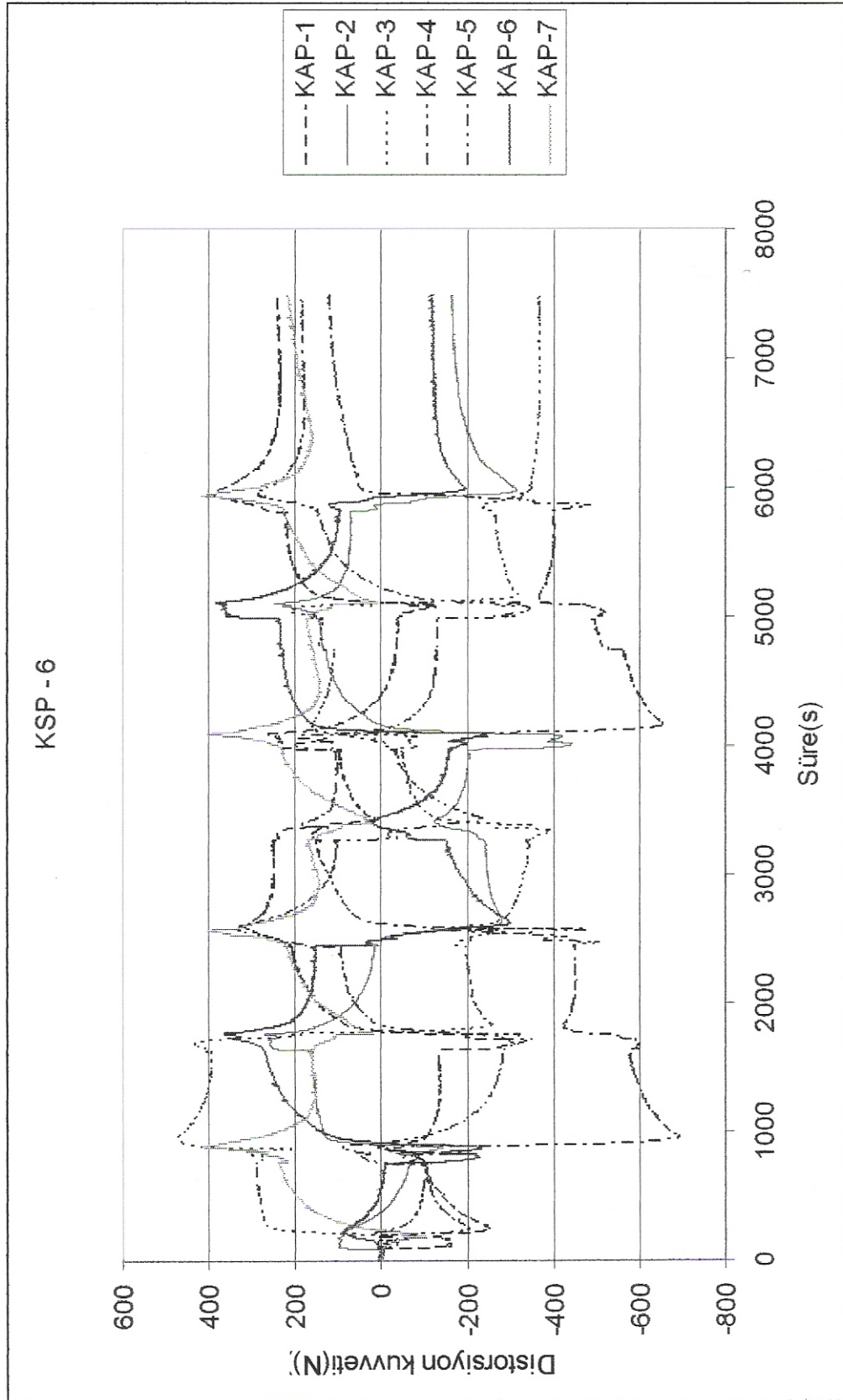
EK-4 KSP -4'ün distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



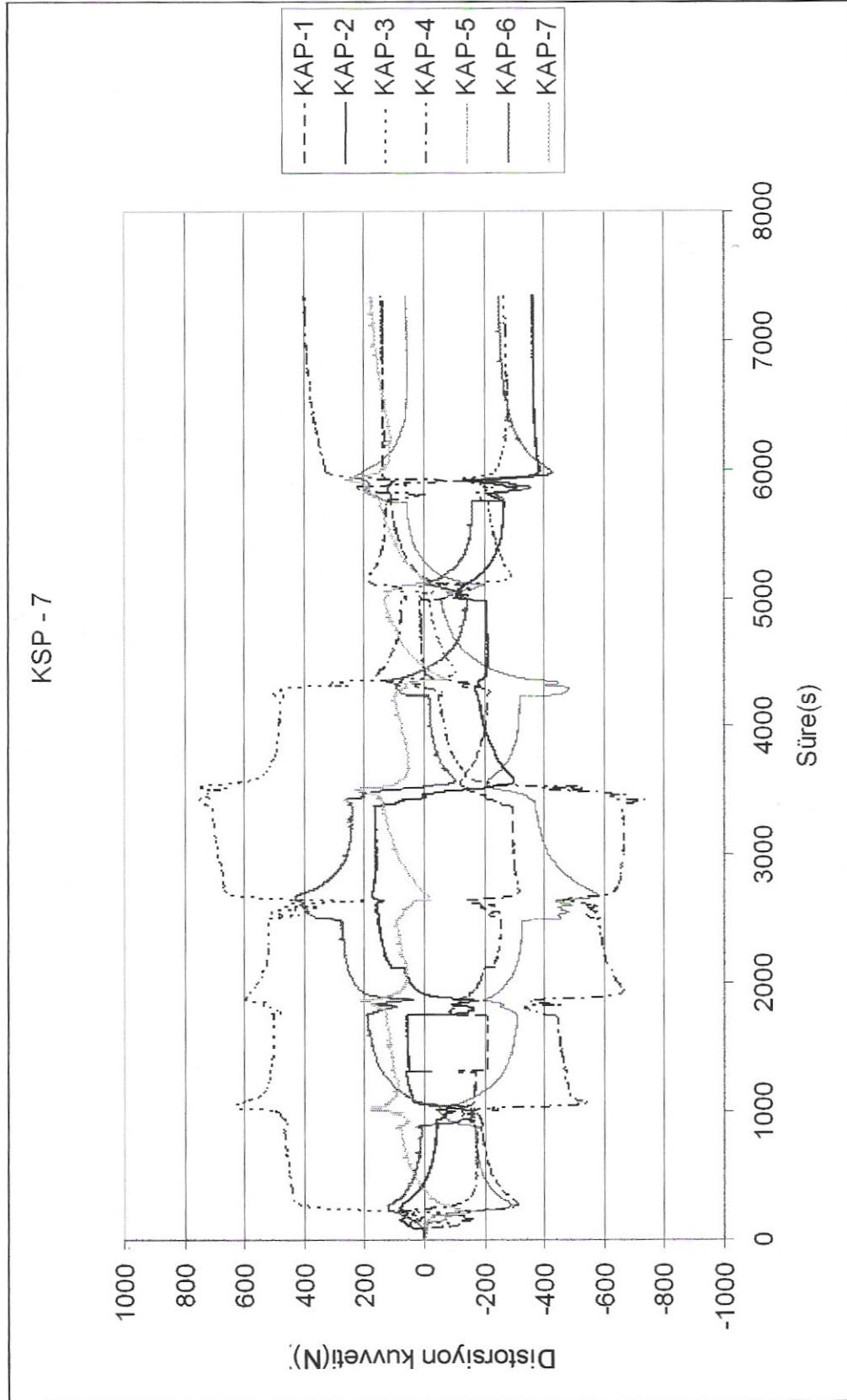
EK-5 KSP -5'in distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



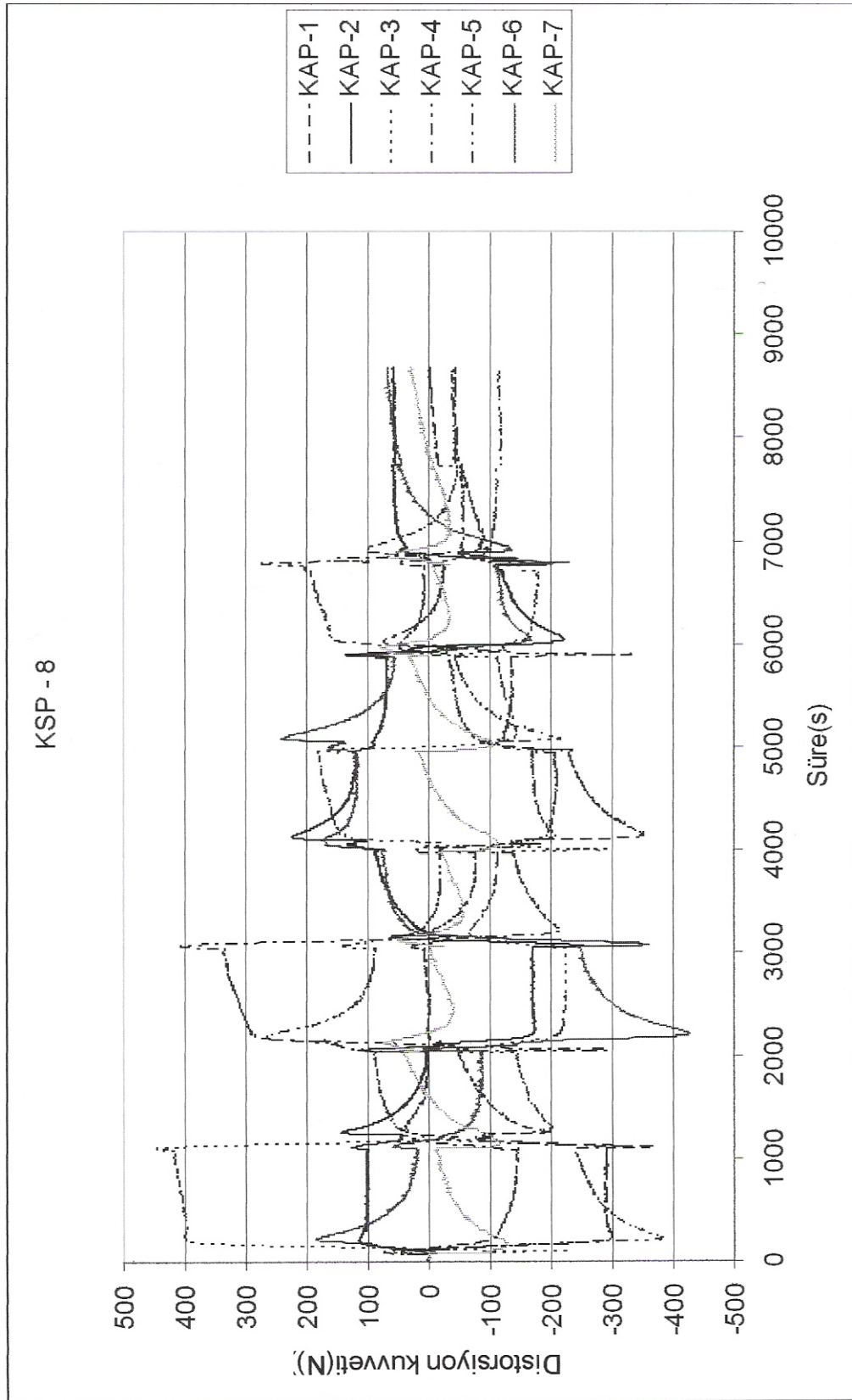
EK-6 KSP -6'nın distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



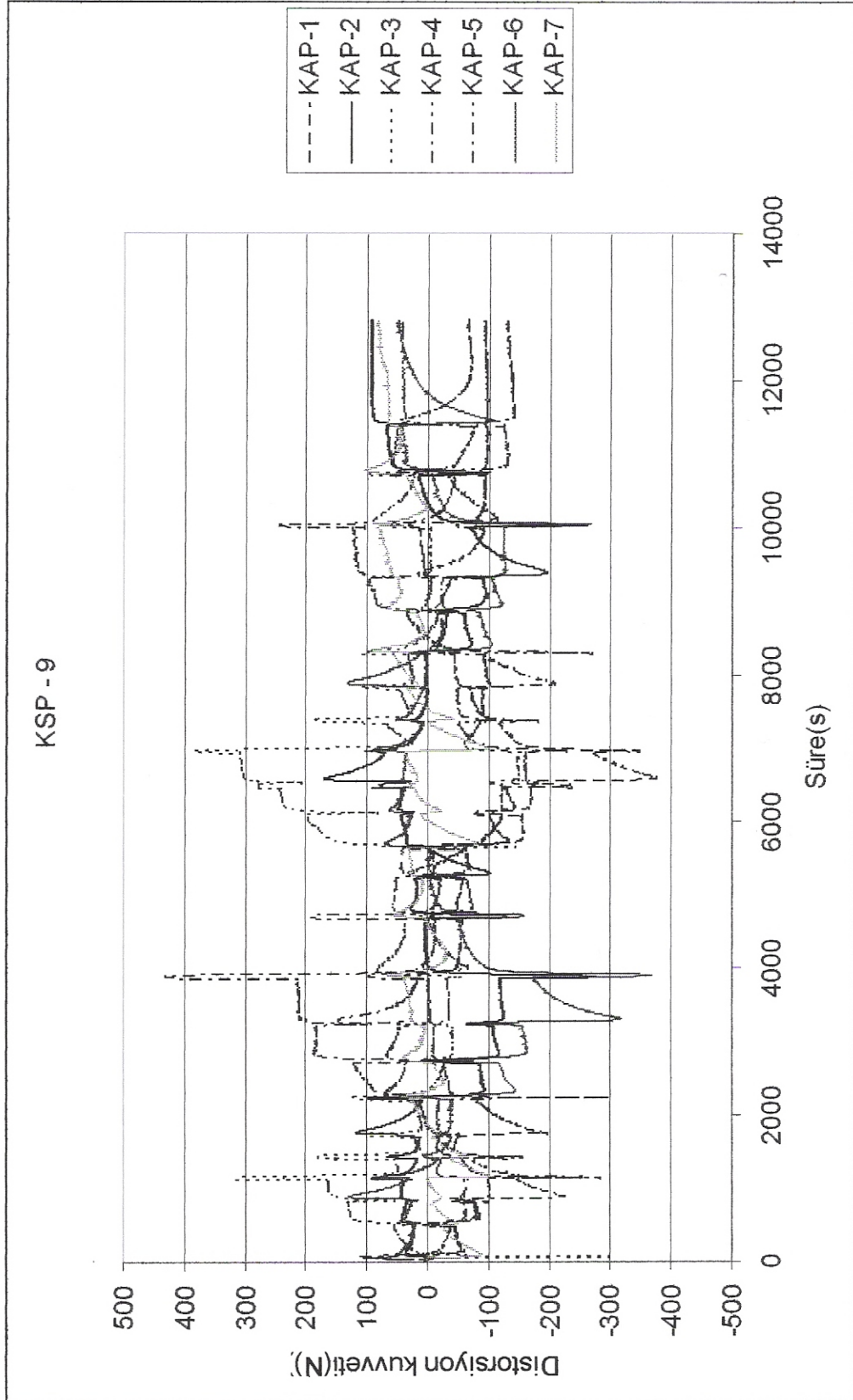
EK-7 KSP -7'nin distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



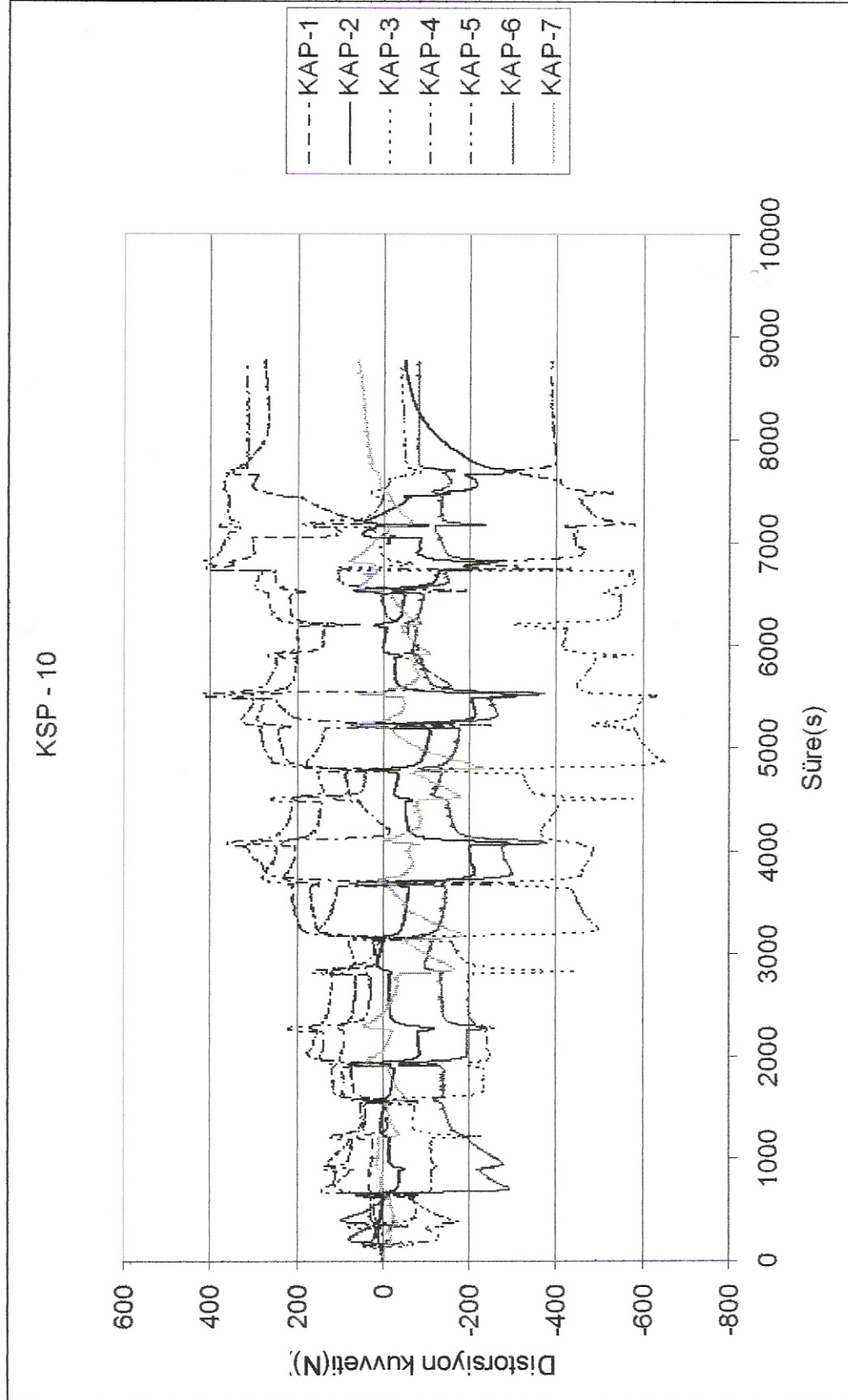
EK-8 KSP -8'in distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



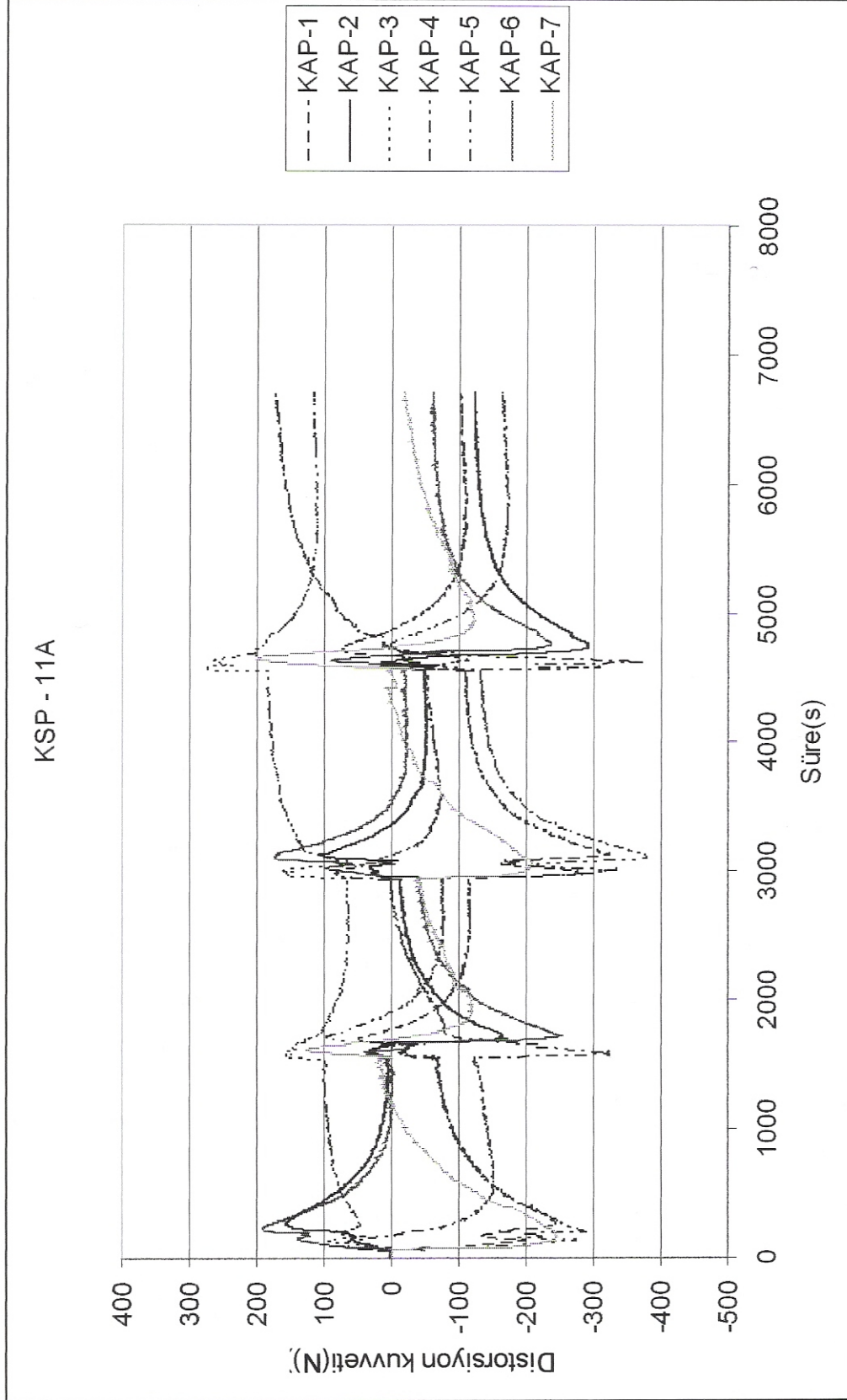
EK-9 KSP -9'un distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



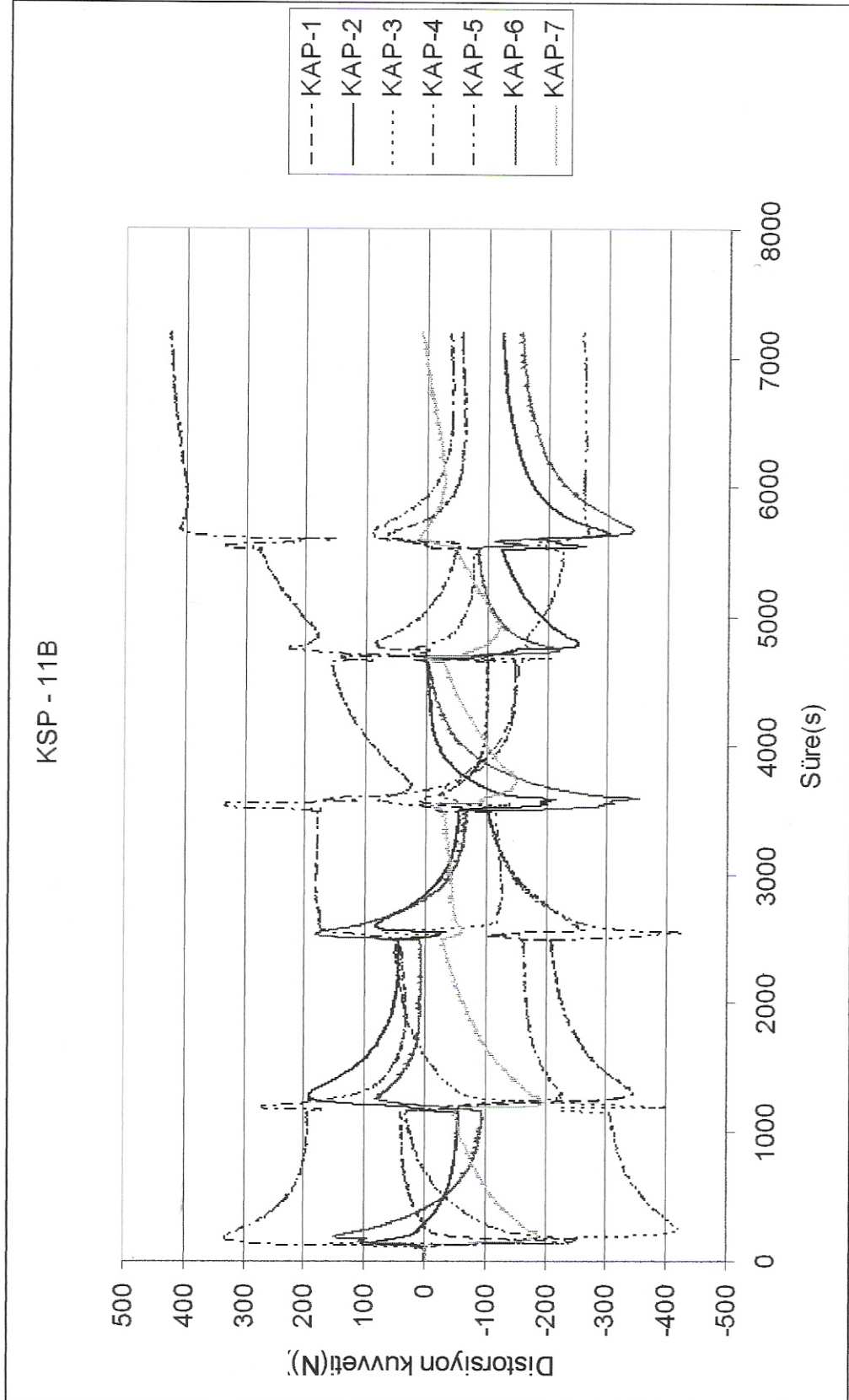
EK-10 KSP -10'un distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



EK-11 KSP -11A'nın distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



EK-12 KSP -11B'nin distorsiyon kuvveti ve süreye bağlı grafiği



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel BİLGİLER

Soyadı, adı : AKTAŞ, Yavuz
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.08.1976 TOKAT
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (356) 252 13 64
 Faks : 0 (356) 317 86 64
 e-mail : aktasyavuz60@mynet.com

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Metal Eğitimi Bölümü	2007
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Metal İşleri Bölümü	1999
Lise	Tokat Endüstri Meslek Lisesi	1993

İş Deneyimi

Yıl

Yer

Görev

1999–2007

MEB

Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Kitap okuma, Müzik