

# KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELİ KONSTRÜKSİYONLARIN ÇARPILMA EĞİLİMLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN DENEYSEL BİR YAKLAŞIM

Yusuf ÖZÇATALBAŞ, Tayfun FINDIK, Adem KURT, Kubilay KARACIF\*, Alpay ÖZER\*\* ve Halil İbrahim VURAL\*\*\*

Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500 Beşevler, Ankara

\* Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Hitit Üniversitesi, Çorum

\*\* Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe, Ankara

\*\*\* Gölbaşı Endüstri Meslek Lisesi, Gölbaşı, Ankara

[yusufoz@gazi.edu.tr](mailto:yusufoz@gazi.edu.tr), [tfindik@gazi.edu.tr](mailto:tfindik@gazi.edu.tr), [ademkurt@gazi.edu.tr](mailto:ademkurt@gazi.edu.tr), [karacif@gazi.edu.tr](mailto:karacif@gazi.edu.tr), [aozer@gazi.edu.tr](mailto:aozer@gazi.edu.tr),  
[hhalil07@yahoo.com](mailto:hhalil07@yahoo.com)

(Geliş/Received: 08.03.2007; Kabul/Accepted: 21.11.2007)

## ÖZET

Bu çalışmada, kaynaklı birleştirmeli konstrüksiyonların imalat sürecinde ve sonrasında oluşan çarpılma eğilimlerinin, çarpılma kuvvetleri vasıtasıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, rijit bir kafes hücre sistemi ve kaynaklı konstrüksiyonlarda oluşan çarpılma kuvvetlerini ölçebilen kuvvet algılayıcı plakalar (KAP) hazırlanmıştır. Kuvvet algılayıcı plakalarda gerinim-ölçer uygulaması yapılmış ve tam Wheatstone köprüsü kurulmuştur. Hazırlanan KAP'lar, 0,36 N hassasiyette aksel çekme ve basma kuvvetlerini algılayabilmektedir. Puntalanmış bir kafes kiriş, numune kiriş olarak, rijit kafes hücre içerisine asılmıştır. Çarpılma kuvvetlerini ölçmek için, numune kiriş ve rijit kafes arasına iki doğrultuda KAP'lar bağlanmıştır. Düğüm noktalarına uygulanan kaynak işlemlerinin numune kirişte oluşturduğu çarpılmalar, KAP'larda kuvvet değişimleri olarak algılanmıştır. Veri toplama cihazı vasıtasıyla ölçülen çarpılma kuvvetleri, ALMEMO Win Control programı vasıtasıyla kişisel bilgisayara aktarılmış ve kirişin çarpılma analizleri yapılmıştır. Bu sayede bir konstrüksiyonun, kaynaklı birleştirme anında ve soğuma sürecinde oluşan çarpılma eğilimlerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaynak, kaynaklı konstrüksiyon, kafes kiriş, çarpılma, çarpılma ölçümü

## AN EXPERIMENTAL APPROACH FOR DETERMINING THE DISTORTION TENDENCY IN WELDED STRUCTURES

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the distortion tendencies, by means of distortion forces, caused by welding process in welded structures. For this purpose, a rigid lattice frame and force measuring plates (FMPs), which can perceive the distortion forces in the welded structures, were fabricated. Strain-gauge applications with full Wheatstone bridge on the FMPs were carried out. Fabricated FMPs were able to perceive axial tensile and compressive forces in accuracy of 0.36 N. A tackle welded lattice beam was suspended in the rigid frame. FMPs were connected between the rigid frame and the lattice beam for measuring distortion forces. Distortions in the lattice beam, which occurred at the welding of connection points, were perceived as forces by means of FMPs. Distortion forces measured by data logger were transferred to PC by ALMEMO Win Control programme and then distortion analysis was carried out. Distortion effect created during welding and cooling, were determined by using this system.

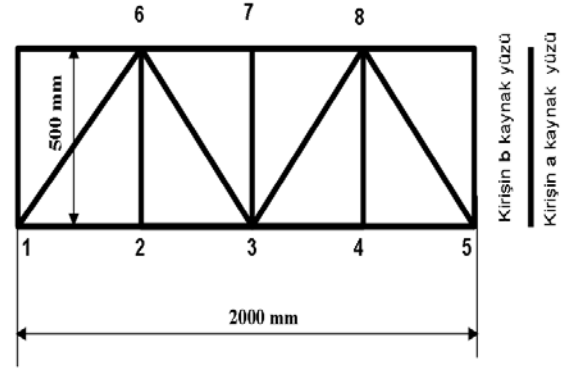
**Keywords:** Welding, welded structure, lattice beam, distortion, distortion measuring.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kaynaklı birleştirme sürecinde oluşan bölgesel termal genleşme ve soğuma sürecinde meydana gelen kendini çekme kuvvetleri sebebiyle oluşan kalıntı gerilmeler, kaynaklı birleştirmeli konstrüksiyonların çarpılmasındaki en önemli etkidir. Esasen çarpılmaların; yapının rijitlik derecesi, kütlesi ile 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 etkisinde olması, önceden hassas bir biçimde hesaplanmalarını olanaksız kılar [1-3]. Bu değişken faktörler sebebiyle kaynaklı konstrüksiyonlarda oluşabilecek çarpılma eğilimlerini öngörmek güçtür. Bu bakımdan literatürde var olan çeşitli bağlantılar ile uygulamalar sonucu elde edilmiş deneyimlerden yararlanmak daha gerçekçi sonuçlar vermektedir [3].

Kalıntı gerilmelere sebep olan çarpılma kuvvetlerinin şiddetine bağlı oluşan çeşitli tür ve miktardaki çarpılmalar, üründen beklenen fonksiyonların sağlanmasını engeller. Özellikle büyük açıklıkların geçilmesinde kullanılan, kafes veya dolu gövdeli kirişlerde oluşan çarpılmalar, büyük oranda ölçü ve geometrik sapmalara sebep olduğundan, ya ürünü kullanılamaz duruma getirmekte veya düzeltme işlemleri için ilave ekonomik kayıplara sebep olmaktadır [4,5]. Örneğin, otobüs şasesi gibi kafes kiriş sistemlerle oluşturulan ve dar ölçü toleranslarına sahip uzun karayolu taşıtlarının şasesinde meydana gelen çarpılmalar, şase üzerine monte edilecek üst elemanların uyumunda problemler oluşturabilmektedir [6].

Kaynaklı konstrüksiyonlarda oluşabilecek bu olumsuz etkileri minimize edebilmek için, özgül ısı girdisinin düşürülmesi ve uygun kaynak sırası planının tatbiki gerekir [1,6-8]. Bu amaçla yapılan literatürde ki çalışmaların çoğu, özel konstrüksiyonlarda karşılaşılan çarpılma problemlerinin çözümüne yönelik kaynak sıralarının sunulmasına veya çarpılmaya ilgili temel deneysel verilerden elde edilen sonuçların sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmesine yöneliktir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda kullanılan yöntem ise, bir konstrüksiyona uygulanan kaynak planının meydana getirdiği çarpılmaların belirli doğrultularda boyutsal değişim olarak ölçülmesini içerir [6, 9-11]. Ancak,



Şekil 1. Deneysel numune kiriş ve kaynaklı birleştirilen düğüm noktaları (Sample beam and welded connecting points)

çarpılma sebebiyle boyutsal ve geometrik sapmaların ölçüm hassasiyeti, çarpılmanın analizinin hassasiyetini de etkiler. Bu sebeple, konstrüksiyonun belirli bir bölgesine uygulanacak kaynak işleminin meydana getireceği çarpılmanın sınır şartlarının doğru ve yeterli hassasiyette belirlenmesi, çarpılma analizlerinin doğruluk derecesini de arttıracaktır.

Bu çalışmada, özellikle karmaşık ve yoğun kaynaklı birleştirmeler içeren konstrüksiyonlarda oluşabilecek çarpılma eğilimlerinin, çarpılmaya sebep olan kuvvetlerin ölçümüyle belirlenmesi amaçlanmıştır. Her tür kaynaklı konstrüksiyonun belirli ölçekte küçültülmüş bir modelinin veya gerçek boyutlardaki prototipinin rijit bir kafes içerisine yerleştirilerek, uygulanan bir kaynak sırası veya kaynak yönteminin oluşturacağı çarpılma eğilimlerinin, üç boyutlu olarak ölçülebilmesi için bir sistem hazırlanmıştır. Geliştirilen sistemin uygulanabilirliği kafes kiriş üretimi sırasında oluşan çarpılma etkileri tartışılarak açıklanmıştır.

## 2. MALZEME VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

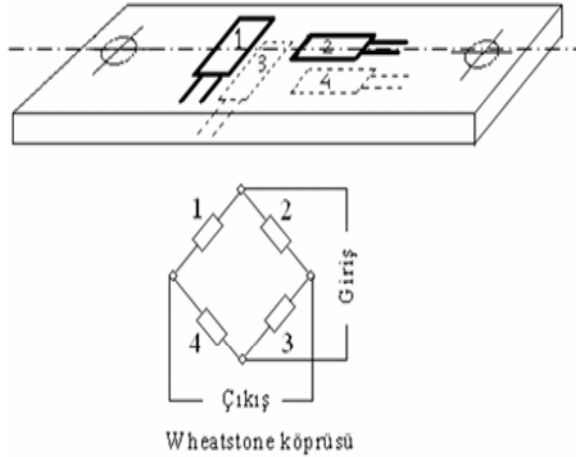
### 2.1. Numune Kafes Kirişler (Sample Lattice Beams)

Çalışmada, Şekil 1'de gösterilen boyutlarda, 30x30x2mm ölçülerinde kare profil malzemeden hazırlanan kafes kiriş, deneysel numune olarak kullanılmıştır. Numune kirişler, düğüm noktalarından puntalandıktan sonra asılı konumda rijit kafes içerisine yerleştirilmiştir.

Kafes kiriş numunedeki 8 adet düğüm noktasının 16 adet kaynak bölgesi, Çizelge 1'de gösterilen kaynak

Çizelge 1. Kaynak parametreleri (Welding parameters)

Kaynak makinesi	Transformatör tipi
Kaynak yönü	Soldan sağa, aşağıdan yukarı
İlave metal	Ø3,25x350 mm rutil tip örtülü elektrot
Elektrota verilen hareket	Sabit
Ortalama kaynak hızı, V (mm/s)	4
Yaklaşık kaynak akımı, I (Amper)	100
Kaynak gerilimi, V (Volt)	22
Kaynak pasosu	Tek
Profil malzeme kalitesi	Fe 37
Numune kiriş kaynak sırası	6a,2b,8b,4a,7b,3a,1a,5b,6b,2a,8a,4b,7a,3b,1b,5a



**Şekil 2.** Kuvvet algılayıcı plaka (KAP) ve Wheatstone köprüsü (Force measuring plate and (FMP) and Wheatstone bridge of strain-gauge)

sırasında ark kaynak yöntemiyle birleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme süresince kullanılan kaynak parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

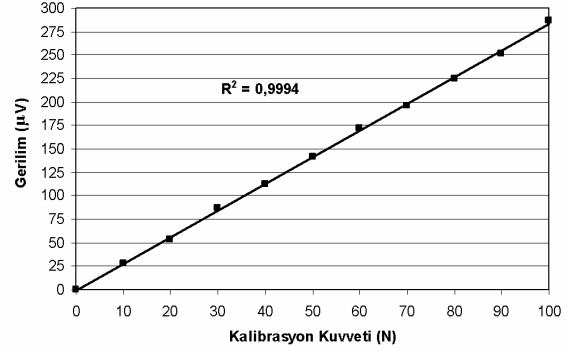
## 2.2. Deney Metodu (Experimental Method)

### 2.2.1 Kuvvet algılayıcı plaka (KAP) (Force measuring plate- FMP)

Kaynaklı birleştirme süresince ve birleştirme tamamlandıktan sonra soğuma sürecinde oluşan çarpılma kuvvetlerini (kendini çekme kuvvetlerini) belirlemek için gerinim ölçerli (strain-gauge) kuvvet algılayıcı plakalar (KAP) kullanılmıştır. SAE1080 kalitesinde çelik sac, KAP malzemesi olarak kullanılmıştır. 175x22x0,5 mm boyutlarındaki çelik sac plakanın her iki yüzeyine, Şekil 2'de belirtilen konumlarda gerinim ölçer uygulaması yapılmıştır. Boyuna (eksenel) doğrultudaki gerinimi ölçmek için 2 adet ve bu doğrultuya dik gerinimi ölçmek için de 2 adet gerinim ölçer kullanılarak tam Wheatstone köprüsü kurulmuştur. Bu sayede, sıcaklık değişimlerinin KAP'ların ölçüm hassasiyetine etkileri minimize edilmiş ve sıcaklık etkilerini +80 °C'ye kadar kendinden dengeleyen gerinim ölçerler kullanılmıştır [12,13]. Ayrıca, kaynak işlemi sırasında gerinim ölçerler ve devrelerin zarar görmemesi için KAP'lar, ince kesitli ara bağlantı parçasıyla kirişe bağlanmış ve kuvvet algılayıcı plakaların yüzeyleri silikon kaplama malzemesi ile kaplanmıştır.

Hazırlanan 7 adet KAP'ın herbiri sabit ağırlıklar kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sırasında KAP'lar Data-Logger vasıtasıyla bir kişisel bilgisayara bağlanmıştır.

Eksenel doğrultuda KAP'lara uygulanan her 10 N'luk kuvvet için bilgisayardan ortalama 28,5  $\mu$ V gerinim değeri okunmuştur. 100 N'a kadar kalibrasyon işlemi sürdürülmüş ve Şekil 3'de verilen kuvvet/gerinim ilişkisi belirlenmiştir. Burada, uygulanan kuvvet ile devreden elde edilen gerinim arasında lineer bir ilişki olduğu görülmektedir ve  $R^2=0.99$  dur. 1/1000 mV hassasiyette gerinim ölçebilen sistem sayesinde 0,36 N



**Şekil 3.** Kuvvet algılayıcı plakaların kuvvet/gerinim ilişkisi (Force/voltage relationship in the FMPs)

hassasiyetinde veri okuyabilme imkanı olmuştur. KAP'lardan alınan analog sinyaller dijital dönüşürülmüş ve AMR Win Control programı vasıtasıyla, veriler bilgisayara Newton cinsinden kaydedilmiştir.

### 2.2.2. Deneysel yaklaşımlar ve çarpılma kuvvetlerinin ölçülmesi (Experimental approaches and measuring of distortion forces)

Şekil 4'de, karşılık plakaları ve KAP'lar arasına yerleştirilmiş numune bir kafes kirişin X ve Y doğrultularında ön çekme kuvvetiyle yüklenmiş konumu görülmektedir. Şekil 1'de gösterilen numune kafes kirişler, Şekil 4'de gösterilen konumda rijit kafes tavanına iki noktadan asılarak (oklarla gösterilmiştir) yerleştirilmiştir. Hazırlanan KAP'lar, kafes kiriş ile rijit kafes arasına 7 noktadan bağlanmıştır. KAP'ların yerleştirildiği konumların eksenleri doğrultusunda kafes kirişin diğer yüzeylerine karşılık plakaları bağlanmıştır. Bu sayede numune kiriş, KAP'ların gergi vidaları vasıtasıyla gerilerek KAP'lar üzerinde belirli miktarda çekme gerilmesi oluşması sağlanmıştır.

Yapılan çalışma, kaynak işlemi ile kafes kirişte meydana getirilen çarpılma eğiliminin KAP'larda oluşturduğu basma veya çekme kuvvetlerini ölçme prensibine dayanmaktadır. 1,2,3,4,5 ve 6 numaralı KAP'lar, deney numunelerine dik yerleştirilmiş (y eksenini doğrultusunda) ve numunede oluşacak yanal çarpılma eğilimini belirlemek için kullanılmıştır. 7 numaralı KAP ise, kafes kiriş için deney numunesi ile aynı eksen ve doğrultuda yerleştirilmiş (x eksenini doğrultusunda) ve numunenin boyuna çarpılma eğilimlerinin tespiti için kullanılmıştır.

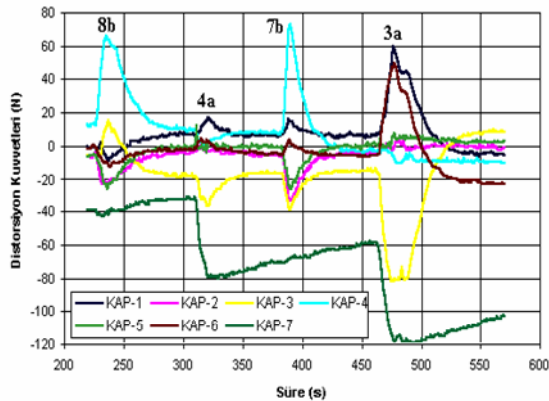
Şekil 5'de kafes kirişin deney düzeneğindeki konumu görülmektedir. Ölçümü yapan KAP'lardan 1, 2, 5 ve 6 numaralı KAP'lar, kafes kirişin uçlarında oluşan çarpılmanın oluşturduğu kuvvetleri, 3 ve 4 numaralı KAP'lar ise kirişin ortasında oluşan çarpılma kuvvetlerini algılayabilmektedir. Kafes kiriş ile rijit kafes arasına yerleştirilen KAP'lara, deneye başlamadan önce 200 N ön çekme kuvvetiyle öngerilme uygulanmıştır. Bu sayede ölçüm noktalarındaki KAP'larda, 200 N basma kuvvetine kadar meydana gelebilecek flambaj etkisi giderilmiştir. KAP'lar ve karşılık



kuvvetteki değişkenlik dikkatli incelenirse; 2b, 4a, 3a, 1a, 5b, 2a, 4b, 3b, 1b ve 5a noktalarının kaynak işlemleri sırasında oluştuğu görülebilir. Bu durum, KAP-7'nin kafes kirişteki bağlantı konumundan kaynaklanmaktadır. Zira KAP-7, kafes kirişin alt kısmında meydana gelecek boyuna genişleme ve çekmeleri belirleyecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu nedenle, KAP-7 büyük oranda kiriş alt kısmında bulunan düğüm noktalarının (5 Adet) kaynak işlemi sırasında oluşan çarpılma eğilimlerini algılamıştır. Bununla birlikte şiddetli olmasa da özellikle 6 ve 7 numaralı düğüm noktalarının kaynağı sırasında algılanan kuvvetlerde hafif değişim görülmektedir. Düğüm noktalarının kaynak işlemi yaklaşık 1570 saniye sonra tamamlanmış ve kiriş oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır. Soğuma sürecinde KAP'larda meydana gelen çarpılma kuvvetlerindeki değişim, kirişte meydana gelen kendini çekme kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır [5,8]. Yaklaşık 900 s sonrasında kuvvet değişimlerinin minimize olduğu ve kararlı hale geldiği görülmektedir. Bu süre sonunda kiriş tamamen ortam sıcaklığına ulaşmıştır. O anda KAP'larda var olan kuvvetler ise, kafes kirişte meydana gelen artık gerilmelerin oluşturduğu çarpılma kuvvetleridir.

Kaynaklı birleştirme anında kafes kirişin belirli bölgelerinde oluşan ısıl genişleme ve soğuma sürecinde meydana gelen büzülme (kendini çekme) etkilerinin, kafes kirişte meydana getireceği çarpılma eğilimlerinin KAP'lar tarafından algılanma durumları, kaynağa çarpılmanın temel ilkeleri kapsamında tartışılmalıdır. Bu sayede, oluşturulan ölçme sisteminin kullanılabilirliği de belirlenmiş olacaktır. Bu amaçla, çok sayıda veri içeren, karmaşık durumdaki genel grafiğin (Şekil 6) çarpılmalar bakımından karakteristik olan iki bölgesinin daha dar zaman aralığını kapsayan grafikleri Şekil 7 ve 8'de verilmiştir. Karakteristik bölgeler seçilirken özellikle aşırı çarpılmaya sebep olan düğüm noktalarının kaynak süreçlerini içine alan bölgeler seçilmiştir.

Şekil 7' de kafes kirişin sırasıyla 8b, 4a, 7b, ve 3a birleştirme yerlerinin kaynak işlemleri sırasında oluşan çarpılma eğilimleri detaylıca görülmektedir. 8b'nin kaynağına başlandığında KAP-4'de 64 N ve KAP-

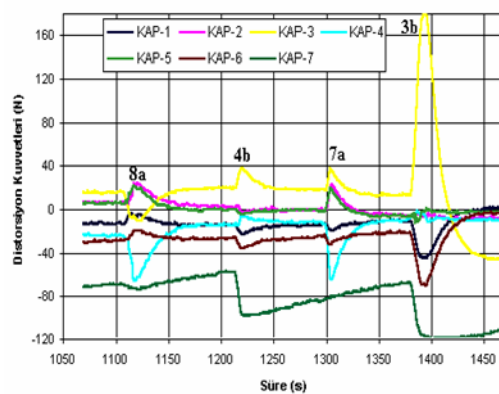


**Şekil 7.** Kafes kirişte belirli zaman aralıklarında (200-600 s) meydana gelen çarpılma kuvvetleri (Distorsion forces) which were created in the beam for selected duration (200-600 s)

3'de ise 16 N civarında çekme kuvveti oluşmuştur. Aynı anda, KAP-1, KAP-6, KAP-2 ve KAP-5'de sırasıyla giderek artan basma kuvvetleri belirlenmiştir. 8 nolu düğüm noktasının "b" yüzeyine yapılan kaynak işlemi sırasında, bu yüzeyde oluşan ısıl genişleme sebebiyle kaynak yeri (8 ve 4 nolu düğüm noktaları) de çarpılmaya zorlanmış bu sebeple KAP-4 ve KAP-3'de çekme kuvveti oluşurken KAP-1, KAP-6, KAP-2 ve KAP-5 noktalarından +Y yönünde harekete zorlanmıştır. 8b noktasının soğuma sürecinde meydana gelen kendini çekme kuvvetleri, bütün KAP'larda ters yönde kuvvetler meydana getirmiştir. Ancak, KAP-1'de kalıcı çekme gerilmesi, KAP-3'de ise kalıcı basma gerilmesi oluşmuştur. Bu durum, 8b noktasının kaynağı ile kirişin sağ alt ucunun (5 nolu düğüm noktası bölgesi) -Y yönünde, alt orta bölgesinin ise +Y yönünde çarpılmaya uğradığını göstermektedir. KAP-7'nin ölçme ekseninde 8b noktasının bulunmaması sebebiyle bu sensörde belirgin değer değişimi olmamıştır.

3 nolu düğüm noktasının "a" yüzeyine (3a) yapılan kaynak işlemi de kafes kirişte belirgin çarpılma etkileri meydana getirmiştir. Bu noktanın kaynak işlemi süresince, KAP-1 ve KAP-6'da şiddetli çekme kuvveti etkisi belirlenmiştir. Kaynak işleminin yapıldığı kiriş yüzeyi tarafında bulunan KAP-3'de ise -80 N'a ulaşan basma kuvveti meydana gelmiştir. Soğuma sürecinde ise KAP-1 ve KAP-6'da kalıcı basma kuvveti, KAP-3'de ise kalıcı çekme kuvveti oluşmuştur. Bu sonuçlar, 3a'nın kaynak işlemi sonrasında kafes kirişin sağ ve sol alt uçlarının +Y yönünde, alt orta bölgesinin ise -Y yönünde çarpılmaya uğradığını göstermektedir. 3 nolu düğüm noktasının KAP-7'nin ölçme doğrultusu içinde olması, bu noktaya yapılan kaynak işlemi sırasında kafes kiriş alt başlığındaki genişleme sebebiyle KAP-7'de şiddetli basma kuvveti belirlenmiştir. Soğuma sürecinde ise, bu kuvvet çekme kuvvetine dönüşmekte yani kiriş alt başlığında boyuna çekme meydana gelmektedir.

Aynı etkileşimleri Şekil 8'de verilen ve Şekil 6'da genel durumu gösterilen kaynak sırasının 8a, 4b, 7a ve 3b uygulamalarında görmek mümkündür. 8 nolu düğüm



**Şekil 8.** Kafes kirişte belirli zaman aralıklarında (1050-1450 s) meydana gelen çarpılma kuvvetleri (Distorsion forces) which were created in the beam for selected duration (1050-1450 s)

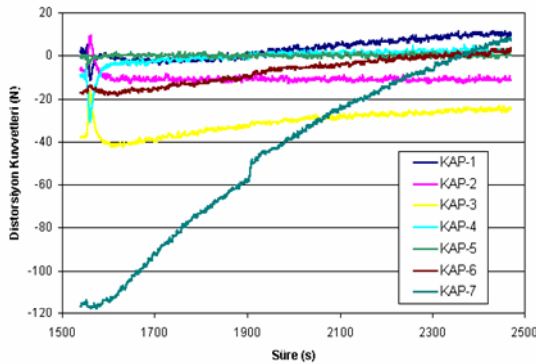
noktasının “a” yüzeyinin kaynak işlemi sürecinde KAP-3 ve KAP-4’de basma kuvveti oluşurken, diğer KAP’larda düşük çekme kuvvetleri meydana gelmiştir.

Bu kuvvetler, Şekil 7’de gösterilen ve 8 nolu düğüm noktasının “b” yüzeyinin kaynak işlemi sürecinde oluşan kuvvetlerle ters yöndedir. 8b noktasının birleştirme yerinin soğuma sürecinde oluşan çekme kuvvetleri sebebiyle, bütün KAP’lardaki kuvvetler başlangıç konumuna dönmüştür. Yalnızca KAP-4’de yaklaşık 15 N’luk kalıcı çekme kuvveti meydana gelmiştir.

3b noktasının kaynak işlemi sırasında ise, KAP-3’de yaklaşık 180 N değerinde çekme kuvveti oluşmuştur. KAP-7, KAP-1 ve KAP-6’da basma kuvveti meydana gelmiştir. Bu durum, kaynak işlemi sırasında oluşan ısıl genişleme sebebiyle kirişin alt orta bölgesinin -Y yönünde önemli derecede çarpılma eğiliminde olduğunu, sağ alt uçlarının ise +Y yönünde hareket eğiliminde olduğunu göstermektedir. Şekil 7’den hatırlanacağı gibi, 3a noktasının kaynak işlemi sürecinde KAP-7 hariç diğer KAP’lardan algılanan çarpılma kuvvetleri 3b de oluşan kuvvetlerin tersidir. Yani, 3 nolu düğüm noktasının “a ve “b” yüzeylerine yapılan kaynak işlemleri sırasında farklı yönlerde ve çarpılmanın ilkeleriyle anlamlı yönlerde çarpılma eğilimleri belirlenmiştir.

3b’nin soğuma sürecinde ise, yalnızca KAP-3’de şiddetli basma, KAP-1 ve KAP-6 ise çekme kuvvetleri meydana gelmiştir. Bu süreç sonunda KAP’larda var olan kuvvetler kalıntı çarpılma kuvvetleridir. Örneğin, KAP-3’de kaynak süresince oluşan şiddetli çekme kuvveti, soğuma süreci sonunda yaklaşık 65 N’luk kalıntı basma kuvvetine dönüşmüştür. Bu durum, kirişin 3 nolu düğüm noktasının (KAP-3’ün bağlı olduğu) +Y yönünde kalıcı çarpılmaya uğradığını göstermektedir. 1 ve 5 nolu düğüm noktalarının bulunduğu (KAP-1 ve KAP-6’nın bağlı olduğu) kiriş uçları ise -Y yönünde çarpılmaya uğramıştır.

Şekil 9’da kaynak işlemleri tamamlanmış kafes kirişin oda sıcaklığına soğuma sürecinde meydana gelen çarpılma kuvvetlerindeki değişim gösterilmiştir. Kirişin boyuna çekmesinden dolayı soğuma sürecinden en



Şekil 9. Birleştirme sonrası kafes kirişte oluşan kalıntı çarpılma kuvvetleri (Residual distortion forces in welded lattice beam)

fazla etkilenen KAP-7 olmuştur ve zamanla şiddeti azalan çekme kuvvetine maruz kalmıştır. Kiriş sıcaklığı oda sıcaklığına ulaştıktan sonra KAP’lardan ölçülen kuvvetler kirişte var olan kalıntı çarpılma kuvvetleridir. KAP’larda belirlenen bu kalıntı kuvvetlerin türü, aynı zamanda kirişte oluşabilecek çarpılma türünü de göstermektedir. Yani kiriş, KAP-1, KAP-4 ve KAP-6’nın bağlandığı noktalardan farklı değerlerdeki kuvvetlerle -Y yönünde çarpılmaya çalışmakta, KAP-2 ve KAP-3’de var olan basma kuvvetleri vasıtasıyla ise +Y yönünde çarpılmaya çalışmaktadır. KAP-5’de algılanan kalıntı kuvvet sıfır kabul edilecek kadar azdır. Kirişin bu noktasında çarpılma eğilimi mevcut değildir. KAP-7’de var olan çekme kuvveti ise kirişin boyuna çekme eğilimini göstermektedir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS)

Kaynaklı birleştirmeli konstrüksiyonlarda oluşan çarpılma eğilimlerinin belirlenmesi amacıyla, çarpılma kuvvetlerini ölçme esasına dayalı deneysel bir metodun uygulanmasıyla elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuç ve öneriler söylenebilir;

- 1) Oluşturulan ölçme sistemi sayesinde, kaynaklı bir konstrüksiyonun kaynaklı birleştirme sürecinde, soğuma sürecinde ve sonrasında konstrüksiyondaki çarpılma kuvvetleri belirlenebilir.
- 2) Ölçülen çarpılma kuvvetlerinin değeri ve türüne göre kirişte oluşabilecek çarpılmanın türü belirlenebilir.
- 3) Temel çarpılma teorileriyle belirlenemeyecek kadar karmaşık kaynaklı birleştirme uygulamalarına sahip bir konstrüksiyonun prototipinin veya belirli ölçekte küçültülmüş bir modelinin kaynak işlemleri sırasında, bu ölçme metodunun kullanılmasıyla sağlanan veriler ışığında konstrüksiyon için en uygun kaynak sıraları ve planları oluşturulabilir.
- 4) Bu sistem vasıtasıyla belirlenecek doğru sınır koşulları ve kaynak sırası/çarpılma kuvvetleri ilişkisi, sonlu elemanlar çalışmalarında kullanılarak gerçeğe yakın teorik yaklaşımlar belirlenebilir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, 07/2003-28 ve 2003 K 120470-35 kodlu projeler kapsamında bu çalışmaya sağlanan desteklerden dolayı Gazi Üniversitesi ve Devlet Planlama Teşkilatına teşekkürlerini sunar.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yükler, İ., “Çok Pasolu Köşe Kaynaklarında Çatlamlar”, **Böhler Kaynak Dünyası**, 9-10, 1998.

2. Külekçi, M.K., ve Ertürk, İ., “Kaynaklı Yapılarda Çekme ve Çarpılmalar”, **Kaynak Teknolojisi I. Ulusal Kongresi**, Ankara, 179-189, 1997.
3. Anık, S., Tülbentçi, K., ve Kaluç, E., “Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı”, İstanbul, 1991.
4. Michaleris, P., Dantzig, J., Tortorelli, D., “Minimization of Welding Residual Stress and Distortion in Large Structures”, **Welding Journal**, 78, 11, 361-366, 1999.
5. Deo, M.V., Michaleris, P., “Mitigation Welding Induced Buckling Distortion Using Transient Thermal Tensioning”, **Science and Technology of Welding and Joining**, 1-17, 2002.
6. Hackmair, C., Werner, E., Ponisch, M., “Application of Welding Simulation for Chassis Components within the Development of Manufacturing Methods”, **Computational Materials Science**, 28, 540-547, 2003.
7. Liang Teng, T., Hsiang Chang, P., Cheng Tseng, W., “Effect of Welding Sequences on Residual Stresses”, **Computers and Structures**, 81, 273-286, 2003.
8. Tsai, C.L., Park, S.C., Cheng, W.T., “Welding Distortion of a Thin-Plate Panel Structure”, **Welding Research Supplement**, 156-165, 1999.
9. Voutchkov, I., Keane, A.J., Bhaskar, A., Olsen, T.M., “Weld Sequence Optimization: The Use of Surrogate Models for Solving Sequential Combinatorial Problems”, **Computer Methods Application Mechanical Engineering**, 194, 3535-3551, 2005.
10. Bachorski, A., Painter, M.J., Smailes, A.J., Wahab, M.A., “Finite-Element Prediction of Distortion During Gas Metal Arc Welding Using the Shrinkage Volume Approach”, **Journal of Materials Processing Technology**, 92-93, 405-409, 1999.
11. Tseng, K.H., Chou, C.P., “The Study of Nitrogen in Argon Gas on the Angular Distortion of Austenitic Stainless Steel Weldments”, **Journal of Materials Processing Technology**, 142, 139-144, 2003.
12. Measurements Group, “**Strain Gage Temperature Effects**”, TN-504-1, USA, 1989.
13. TML, “**Strain Gauges**”, TML Pam E-101P, Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.