

**KAYNAKLI KOLON-KİRİŞ
BAĞLANTILARINDA OLUŞAN ARTIK
GERİLMELERİN MODELLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Bölümü, Mekanik Anabilim Dalı**

Serkan İRPİT

**Temmuz, 2008
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SERKAN İRPİT, tarafından **YRD. DOÇ. DR. BİNNUR GÖREN KIRAL** yönetiminde hazırlanan “**KAYNAKLI KOLON-KİRİŞ BAĞLANTILARINDA OLUŞAN ARTIK GERİLMELERİN MODELLENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Yrd. Doç. Dr. BİNNUR GÖREN KIRAL

Yönetici

.....
.....
Jüri Üyesi

.....
.....
Jüri Üyesi

.....
Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Dünya üzerinde birçok alanda kullanılan kaynaklı birleştirme tekniği dünyada olduğu kadar ülkemizde de son yıllarda önemli bir araştırma konusu haline gelmiş bulunmaktadır. Bu araştırma konularının en önemlilerinden sayılan kaynaklı parçalardaki artık gerilmelerin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi özellikle yüksek yapılı binalarda ve karmaşık kolon – kiriş birleŐimleri barındıran konstrüksiyonlar için her gün daha fazla önem kazanmaktadır.

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, bu konu üzerine çalışmama olanak sağlayan ve bu çalışmanın her evresinde değerli bilgi ve tecrübesini paylaşan, yapılan çalışma süresince gerek sonlu elemanlar analizi yöntemlerinde gerekse karşılaŐtığım her türlü sorunda değerli bilgilerini ve zamanını benimle paylasan, desteğini esirgemeyen, her konu ve sorunda yanımda olan Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Binnur Gören KIRAL'a,

Ayrıca her zaman yanımda olan ve her noktada elinden gelen desteği vermeye hazır olan kardeŐim Selcen İRPİT'e teşekkür ederim.

SERKAN İRPİT

KAYNAKLI KOLON-KİRİŞ BAĞLANTILARINDA OLUŞAN ARTIK GERİLMELERİN MODELLENMESİ

ÖZ

Kaynak işlemi esnasında oluşan artık gerilmeler ikincil gerilmeler olarak sayılıp genellikle göz ardı edilirler. Ancak, sistemin yapısal bütünlük göz önünde bulundurulduğunda performansına olumsuz etkileri olmakta ve beklenmeyen gevrek kırılmalara neden olmaktadır. Bunun nedeni, kaynaklı bağlantılarda ortaya çıkan üç boyutlu gerilme durumunun yapının plastik deformasyon kabiliyetini azaltmasıdır. Kaynak hızı, malzeme özellikleri, kaynak yöntemi, bağlantı tipi, paso sayısı, soğuma hızı gibi faktörler artık gerilmelerin mertebesini belirler. Bu tezin amacı, bağlantı tipinin, kaynak ve soğuma hızının artık gerilmelere etkisini incelemek ve deprem yüklerine dayanıklı çelik yapılardaki kaynaklı kolon-kiriş bağlantılarını belirlemektir.

Bu çalışmada, doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ABAQUS programı ile kaynaklı çelik kolon-kiriş bağlantılarında ark kaynağı esnasında oluşan artık gerilmeler belirlenmiştir. Zamana bağlı mekanik ve ısı analizleri yapılmıştır. Gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için malzeme özellikleri sıcaklığın fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Kaynaklı bağlantılardaki artık gerilme karakteristiklerini incelemek amacı ile üç boyutlu sonlu elemanlar modeli geliştirilmiş ve kaynak prosesi modellenmiştir. Bağlantı tipinin artık gerilmeye etkilerini araştırmak için üç farklı bağlantı tipi modellenmiştir. Ayrıca, kaynak iş boşluğunun etkileri incelenmiştir. Altı farklı ısı çevrim için gerilme durumları tespit edilmiştir. Artık gerilme değeri kaynak iş boşluğu bulunması durumunda artmaktadır. Diğer taraftan, soğuma süresinin uzaması ise artık gerilme değerini düşürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Artık Gerilmeler, Sonlu Elemanlar Yöntemi, ABAQUS, Isıl Analiz

MODELING OF THE RESIDUAL STRESSES IN WELDED BEAM – TO – COLUMN CONNECTIONS

ABSTRACT

Residual stresses induced by the welding process are regarded as secondary stresses and generally disregarded. However, they have unfavorable effects on the overall performance when the structural integrity of the system is considered and may cause sudden brittle fractures. Since a triaxial stress case occurs in welded connections, this decreases the capability of plastic deformation of the structure. Some factors such as welding speed, material properties, welding method, type of connection, number of pass and cooling speed determine the order of the residual stresses. The aim of this thesis is to examine the effects of the connection types, welding speed and cooling rate on the residual stresses and to predict the welded column-beam connections in the steel structures resistant to earthquake loads.

In this study, the residual stresses in the welded steel column-beam connections arising during arc welding are determined using nonlinear finite element method with ABAQUS software. Transient mechanical and thermal analyses are performed. In order to obtain realistic results, material properties are defined as functions of temperature. Three-dimensional finite element models are developed and welding process is simulated in order to investigate the characteristics of the residual stresses in the welded connections. Three different connections are modeled to investigate the effect of the type of the connection on the residual stress. The conditions of stresses are determined for six different thermal cycles. In addition, the effect of the welding access hole is examined. The order of the residual stresses increases with the presence of the welding access hole. On the other hand, extending the cooling time decreases the order of the residual stresses.

Keywords : Residual Stresses, Finite Element Method, ABAQUS, Thermal Analysis.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – KAYNAK PROSESİ	4
2.1 Kaynak Tekniği ve Birleştirmenin Esasları.....	4
2.2 Kaynağın Temelleri ve Genel Koşulları.....	6
2.2.1 Kaynak Hataları	6
2.2.2 Kaynak Dikiş Türleri	10
2.2.3 Temel Kaynak Ağzı ve Birleşim Türleri	11
2.3 Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB).....	12
BÖLÜM ÜÇ – ARTIK GERİLMELER	15
3.1 Kaynaktan Sonra Artık Gerilmelerin Oluşması	15
3.1.1 Artık Gerilme Teorisi	15
3.1.2 Artık Gerilmelerin Ve Çarpılmaların Etkileri.....	15
3.1.2.1 Distorsiyon Türleri.....	16
3.2 Kaynak İşleminde Oluşan Artık Gerilmeler.....	17
3.2.1 Çarpılma Kontrolü	20
3.2.2 Distorsiyon Kontrol Teknikleri.....	21
3.2.2.1 Alevle Doğrultma.....	21
3.2.2.2 Ters Yönde Ve Simetrik Kaynak.....	21
3.2.2.3 Soğuma Hızı, Ön ve Son Tavlama.....	22

BÖLÜM DÖRT – SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ.....	23
4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	24
4.2 Teorik Çalışma	25
4.3 Isıl Analiz	25
4.3 Kartezyen Koordinat Sisteminde Isı İletimi Genel Denklemi.....	28
4.4 Mekanik Analiz	30
BÖLÜM BEŞ – PROBLEMİN TANIMI.....	33
5.1 Malzeme Yapısı Ve Özellikleri.....	34
5.1.1 Malzemenin Fiziksel Özellikleri.....	34
5.1.2 Malzemenin Mekanik Özellikleri.....	35
5.1.3 Kolon Kiriş Bağlantıları Ve Boyutları.....	36
5.2 Sınır Şartları Ve Kritik Noktalar	36
5.2.1 Parçanın Sınır Şartları Ve Isıl Etki	36
5.2.2 Kritik Yollar.....	38
5.2.2.1 Yol I.....	39
5.2.2.2 Yol II.....	39
5.2.2.3 Yol III.....	39
5.3 Kolon Kiriş Bağlantı Modelleri.....	40
5.3.1 Standart Bağlantı (Model A)	40
5.3.2 Üçgen Kaynak Boşluklu Bağlantı (Model B).....	40
5.3.3 Dairesel Kaynak Boşluklu Bağlantı (Model C).....	41
5.4 Sıcaklık Zaman Grafiği	41
5.5 Sayısal Sonuçlar	42
BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	55
KAYNAKLAR	57
EKLER - ŞEKİL LİSTESİ	60

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Artık gerilmeler kaynak esnasında oluşan ve genellikle göz ardı edilen gerilmelerdir. Ancak çoğu zaman ikincil gerilmeler olarak sayılan ve ihmal edilen bu gerilmeler işletme esnasında yapının veya makine elemanının beklenmeyen hasarlara uğramasına sebep olabilmektedir. Bu bazen hasarı maddi olarak çok büyük olmayan bir makine elemanı olabileceği gibi bazen de sonuçları maddi hasarlarının dışında ölümcül sonuçlara sebep olabilecek çelik yapılar olabilir. Özellikle kaynakla birleştirilmiş çelik kolon-kiriş bağlantılarında göz ardı edilen artık gerilmeler depremlerde kırılmayı tetiklemiş ve istenmeyen çökmelerin meydana gelmesine neden olmuştur. Bu açıdan kaynak esnasında oluşan artık gerilmelerin tayini ve bunların bertaraf edilmesi son derece önemlidir.

Genel üretimde ve sanayide kullanılan bilinen tüm ticari metaller, ısındıkları zaman genişleme, soğudukları zamanda büzülme özelliğine sahiptir. Sıcaklıktaki artışla metal atomları ivmelenir ve bu etkiyle birbirlerinden uzağa hareket etme eğiliminde bulunurlar. Soğudukları zaman ise çok sayıda atom bir araya toplanır ve artık gerilmeleri açığa çıkartır.

Artık gerilmelerin tayini deneysel olabileceği gibi son yıllarda oldukça gelişmekte olan sonlu elemanlar paket programları ile benzetim çalışmaları ile de mümkün olabilmektedir. Bu konuda özellikle son senelerde bu çalışmalar önem kazanmıştır. Pek çok araştırmacı artık gerilmelerin tespiti için analitik ve deneysel yöntemler geliştirmişlerdir.

Dean ve Murakawa (2005) paslanmaz çelik boruların kaynak esnasında oluşan artık gerilmeleri ABAQUS programı ile tayin etmişlerdir. İki ve üç boyutlu modeller geliştirerek zaman bağlı termo-mekanik sonlu elemanlar analizleri yapmışlardır.

Francis (2002) alın ve T bağlantılarının kaynak işlemini sonlu elemanlar yöntemi ile modellemiştir. Esas metal olarak 2519-T87 alüminyum alaşımını, dolgu malzemesi olarak da 2319 alaşımı kullanmıştır. Simülasyonlar için SYSWELD+® paket programını kullanmıştır.

Vural ve Yalçın (2003) deprem esnasında kaynaklı çelik yapının performansını sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Analizler için ANSYS 5.4 programını kullanmışlardır. Kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan artık gerilmeler hesaplanmıştır.

Teng ve Lin (1998) ANSYS programını kullanarak çelik plakada oluşan artık gerilmeleri belirlemişlerdir. Kaynak koşullarının artık gerilme üzerindeki etkilerini ve plaka üzerindeki gerilme dağılımını incelemişlerdir.

Jiang ve diğer (2007) ABAQUS programını kullanarak hidrojenli ortamda kaynak işleminde hidrojen difüzyonu üzerine çalışmışlar ve hidrojen difüzyonu üzerine kaynak artık gerilmelerinin etkisini incelemişlerdir.

Wu ve diğer (2007) çift elektrotlu ark kaynağı nümerik olarak analiz etmek için sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir.

Cho ve diğer (2004) kaynak sonrası oluşan artık gerilme dağılımını ve kaynak sonrası ısıtım işlem etkilerini zamana bağlı sonlu elemanlar analizleri ile tespit etmişlerdir. Sayısal sonuçlarını doğrulamak için, alın kaynağı ile yüzeyde oluşan artık gerilmelerini deneysel olarak tespit edip sonlu elemanlar yönteminden elde ettikleri sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Matos ve Dodds (2000) çelik kolon-kiriş bağlantılarında oluşan artık gerilme durumunu incelemek amacı ile üç boyutlu sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Kolon-kiriş bağlantı modelini basitleştirerek çekmeye çalışan plakalar üzerinde çalışmışlardır.

Lee ve Chang (2007), aynı ve farklı türden çeliklerin kaynağında oluşan artık gerilmelerin karakteristiklerini üç boyutlu elastik-plastik sonlu elemanlar yöntemini kullanarak belirlemişlerdir. Artık gerilme bulunan modeller üzerine çekme kuvvetleri uygulayarak yapının performansına etkisini incelemişlerdir.

Barsoum (2008) çok pasolu tüp-plakaların kaynağı esnasında oluşan artık gerilmeleri incelemiştir. Isıdan etkilenmiş bölgenin derinliğini ve artık gerilme dağılımını belirlemek amacı ile iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemini kullanmıştır. Sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıp doğruluğunu araştırmıştır.

Kaynak işlemi esnasında oluşan artık gerilmeler kaçınılmaz olup çoğu zaman etkileri göz ardı edilir. Parça ve kaynak dikişi kalınlığı, bağlantı şekli, kaynak şartları ve kaynak dikişi sayısı gibi tasarım ve üretim koşulları artık gerilmenin olumsuz etkilerini önemli ölçülerde etkiler ve bahsedilen koşulların kontrolü ile artık gerilmeler kabul edilebilir seviyelerde tutulabilir. Bu çalışma ile ABAQUS sonlu elemanlar paket programı kullanılarak çelik kolon-kiriş bağlantılarında ark kaynağı esnasında oluşacak artık gerilmelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Soğuma hızının ve bağlantı tipinin artık gerilme üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kaynaklı bağlantılardaki artık gerilme karakteristiklerini incelemek amacı ile üç boyutlu sonlu elemanlar modeli geliştirilip kaynak prosesi modellenmiştir. Artık gerilme dağılımı üzerine etkilerini araştırmak için üç farklı kaynaklı kolon-kiriş bağlantı tipi modellenmiştir. Kaynak iş boşluğunun etkileri zamana bağlı sonlu elemanlar analizleri ile incelenmiştir. Altı farklı soğuma hızı için gerilme dağılımı değişimleri tespit edilmiştir.

BÖLÜM İKİ

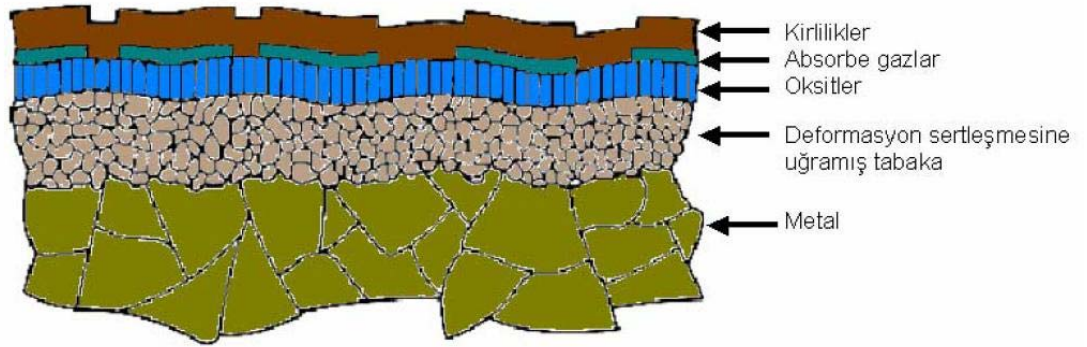
KAYNAK PROSESİ

2.1 Kaynak Tekniği ve Birleştirmenin Esasları

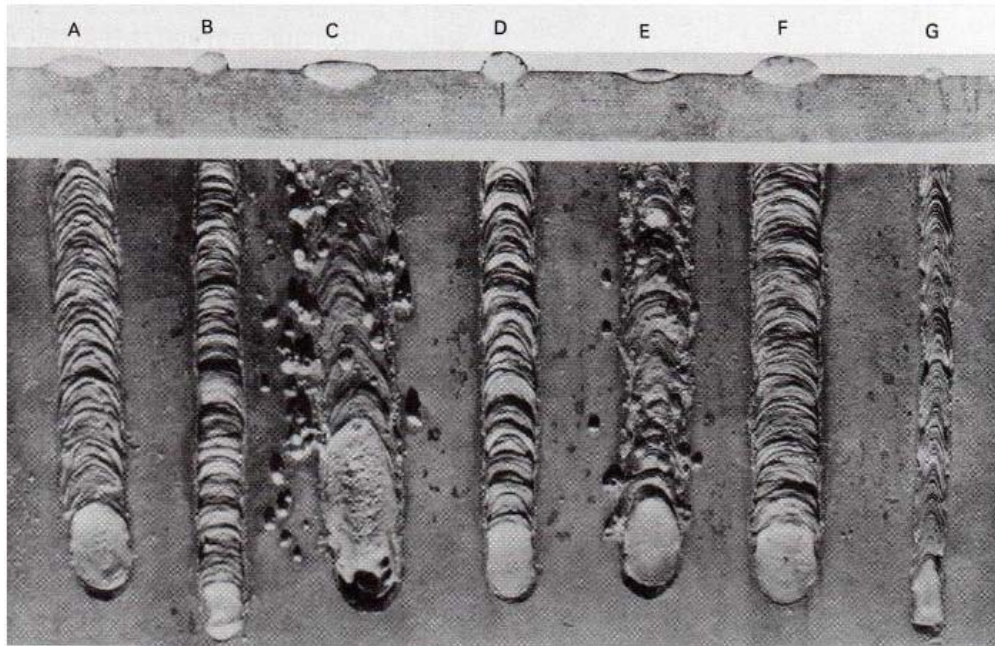
Kaynak, çoğunlukla metal olan iki malzemenin, sıcaklık, basınç ve metalürjik koşulların uygun bir bileşimi sayesinde kalıcı şekilde birleştirilmesidir. Bu değişkenler, basınç olmadan sadece yüksek sıcaklık, sıcaklık olmadan sadece basınç arasında değerler alabilir. Örtülü elektrotlarla gerçekteştirilen ark kaynağı yöntemi, metallerin birleştirilmesinde kullanılan çeşitli ergitme kaynağı yöntemlerinden biridir. Bu kaynak yönteminde, birleştirilecek iki parça arasındaki bağlantının oluşturulacağı bölgede bulunan metal uygulanan yüksek ısı etkisi ile ergir ve kullanılan örtülü elektrottan gelen ergimiş dolgu metali ile birlikte bir karışım oluşturur. Katılaşma ve soğuma sonrasında oluşan bu karışım metalürjik açıdan güçlü yapıya sahip bir bağ niteliğindedir. Elektrik akımının iş parçası ile örtülü elektrot arasından geçmesi sonucunda "ark" meydana gelir. Metallerin ergitilebilmesi için gerekli olan yüksek ısı ise bu elektrik arki tarafından sağlanır. Metallerin yüksek sıcaklıklarda havada bulunan oksijen ve azot gibi elementlerle birlikte reaksiyona girme eğilimi vardır. Örtülü elektrotlar, kaynak dikişine dolgu metali verme özelliklerinin yanında gaz, metal buharı ve cüruf oluşturarak ergimiş kaynak banyosunun ve kaynak arkının korunmasını sağlayan bir koruyucu örtü de oluştururlar. Bu oluşuma "ark koruması" denir. Bu koruma sayesinde ergimiş kaynak banyosunun hava ile teması en aza indirilir. şekil 2.1'de metal yüzeyinin gerçekte durumu gösterilmiştir. şekil 2.2 elektrot kaynağının yay genişliği ve elektrot hızıyla iliğisi ve yüksek kaliteli bir kaynaklı birleşim oluşturmak için gerekli nedenler verilmiştir:

- Amper (Akım) etkisi
- Parça, plaka kalınlığına göre seçilecek olan elektrot çapı
- Elektrot türü
- Kaynak konumu
- Dikiş şekli
- Paso sayısı

- Yeterli ısı ve/veya basınç
- Metalin korunma veya temizlenmesi için bir ortam
- Zararlı metalürjik etkiler
- Kaynağı doğrudan etkileyen faktörlerdendir.



Şekil 2.1 Metal yüzeyinin gerçek durumu.

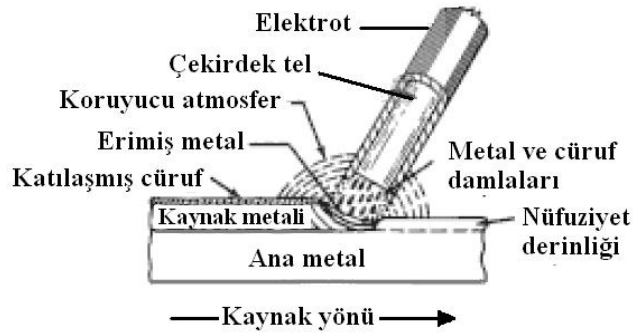


Şekil 2.2 Elektrot kaynağının yay genişliği ve elektrot hızıyla ilgisi. A-Doğru kaynak yayları ve hızı; B- Düşük amper; C- Yüksek amper; D- Kısa kaynak yayları; E- Geniş kaynak yayları; F- Düşük kaynak hızı; G- Yüksek kaynak hızı (American Welding Society, AWS).

2.1 Kaynağın Temelleri ve Genel Koşulları

Kaynak hatalarından kaçınmak için;

- Yapının uygun tasarımı
- Kaynak yönteminin seçimi
- Isıtma, eritme ve soğuma sırasında ilave ve esas metaldeki olaylar göz önünde bulundurulmalıdır. Şekil 2.3 kaynağın genel koşullarını içermektedir.



Şekil 2.3 Kaynağın genel koşulları.

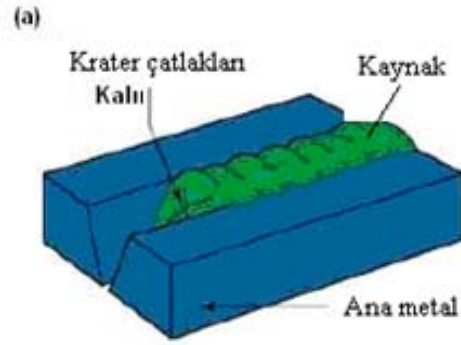
2.1.1 Kaynak Hataları

Kaynak hataları, artık gerilmeleri doğrudan etkileyerek parçada oluşan deformasyonların mertebesini arttıran en önemli faktörlerdendir. Kaynak esnasında oluşan artık gerilmeler kaynak hataları ile birlikte etkilerini arttırabilirler ve beklenmeyen kırılmalara neden olabilirler (Ay ve Demircioğlu, 2005).

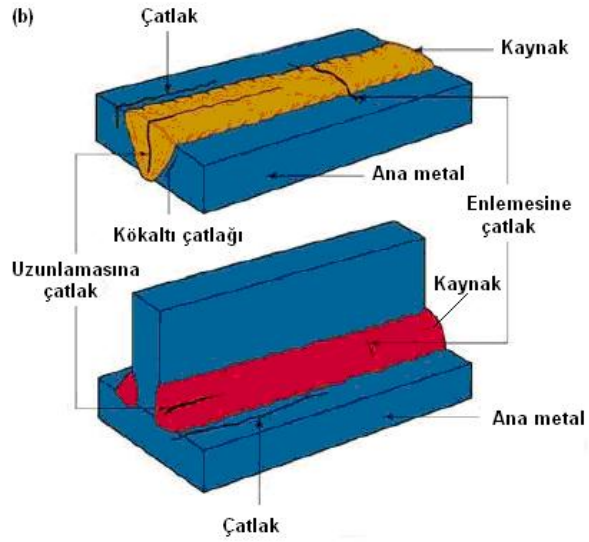
Kaliteli bir kaynaklı birleşim oluşturmak için gerekli etmenlerden biri veya bazıları eksikse aşağıdaki kaynak hataları oluşabilir.

- Çatlaklar
 - Krater çatlakları (Şekil 2.4)
 - Enlemesine çatlak (Şekil 2.5)
 - Uzunlamasına çatlaklar (Şekil 2.5)
 - Kılcal çatlaklar (Şekil 2.5)

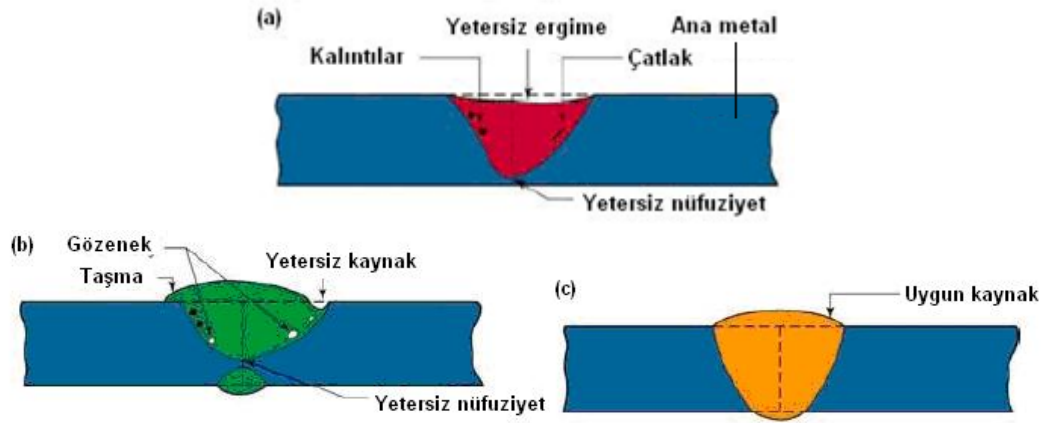
- Eksik Dolgu (Nüfuziyet Azlığı) (Şekil 2.6)
- Yetersiz Erime (Şekil 2.7 ve Şekil 2.8)
- Çarpılma (Distorsiyon) (Şekil 2.9)
- Gözenek (Porozite) (Şekil 2.10)
- Kaynak Dikişinin Taşması; (Şekil 2.11)
- Yanma Oluğu; (Şekil 2.12)
- Cüruf Kalıntıları; (Şekil 2.13)



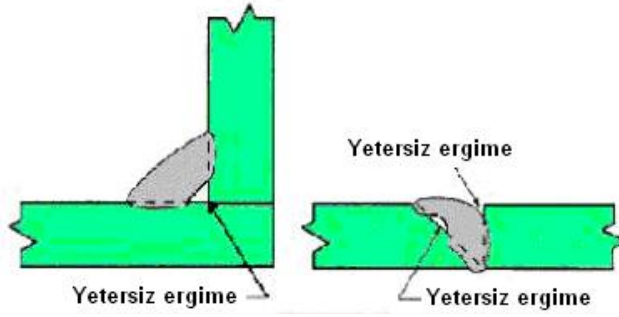
Şekil 2.4 Krater çatlağı.



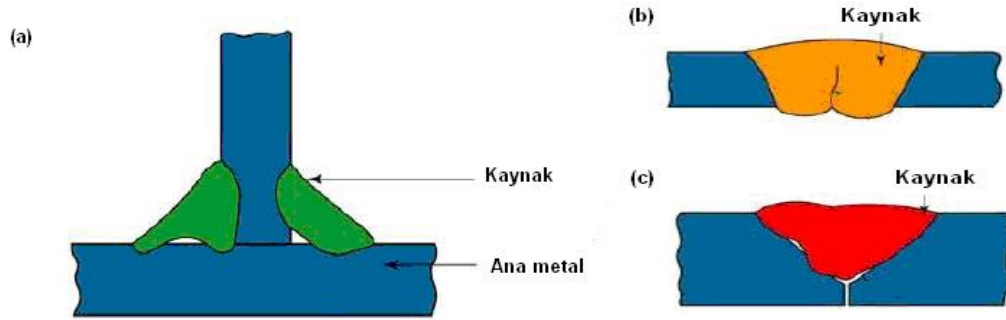
Şekil 2.5 Çatlak çeşitleri.



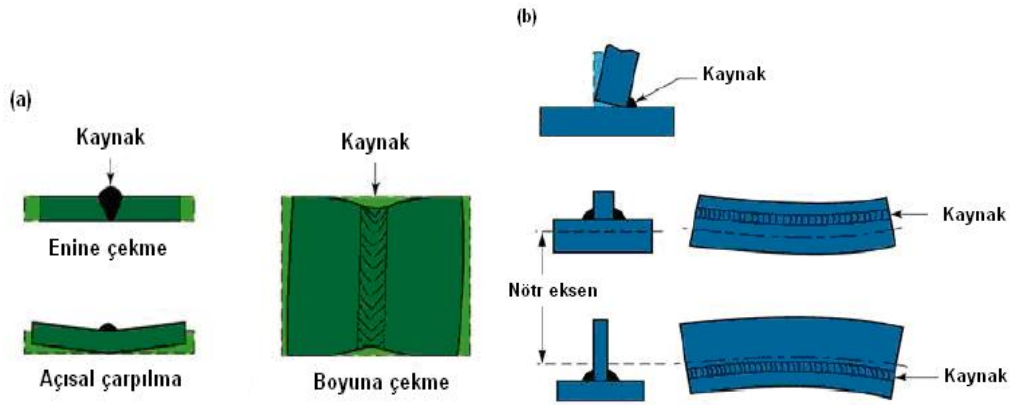
Şekil 2.6 Eksik dolgu a-b-c.



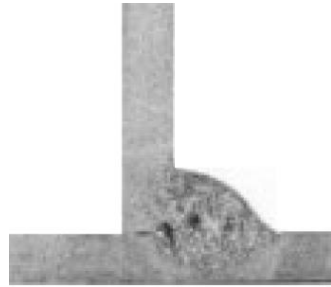
Şekil 2.7 Yetersiz ergime.



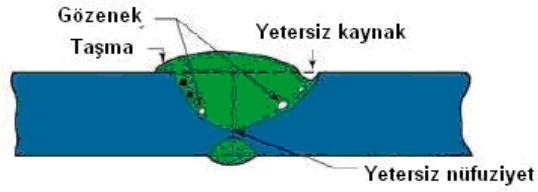
Şekil 2.8 Yetersiz ergime a - b - c.



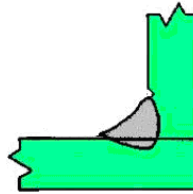
Şekil 2.9 Çarpılma.



Şekil 2.10 Gözenek.



Şekil 2.11 Kaynak dikişinde taşma.



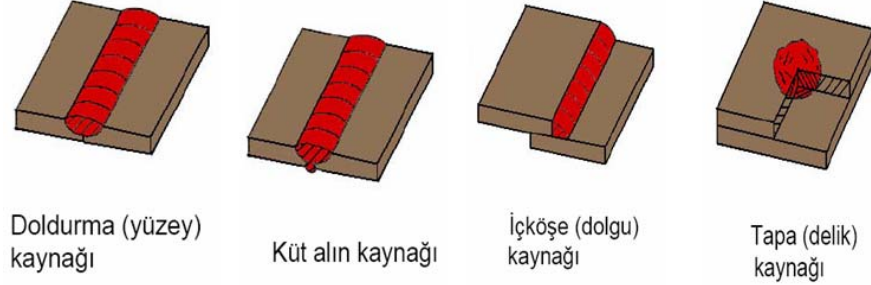
Şekil 2.12 Kaynak olukları.



Şekil 2.13 Cüruf kalıntıları.

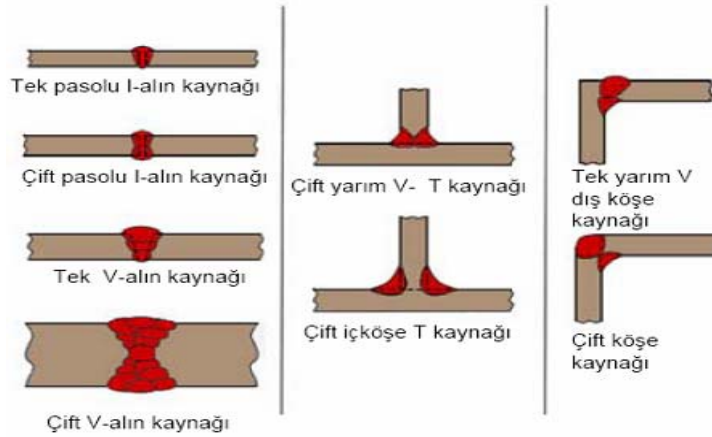
2.1.2 Kaynak Dikiş Türleri

Şekil 2.14’te dört temel kaynak dikiş türü görülmektedir.



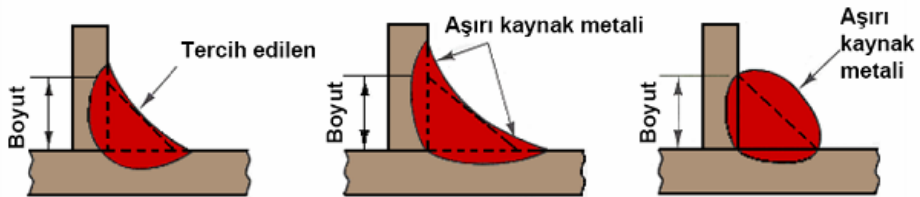
Şekil 2.14 Kaynak dikiş türleri – 1.

Alın kaynak dikişleri için kaynak ağızları Şekil 2.15’ de görüldüğü gibi alın dikişlerini oluşturmak için çeşitli şekillerde kaynak ağızları açılabilir (Vural, 2005).



Şekil 2.15 Kaynak dikiş türleri – 2.

İç köşe dikişleri, iç köşe kaynak dikişleri, T, bindirme ve köşe birleştirmelerinde kullanılır. İç köşe dikişinin boyutu, kaynak dikişinin kesiti içine çizilebilen en büyük 45° lik dik üçgenin kenar uzunluğu ile ölçülür. Şekil 2.16’ da köşe dikişleri için örnekler görülmektedir (Vural, 2005).



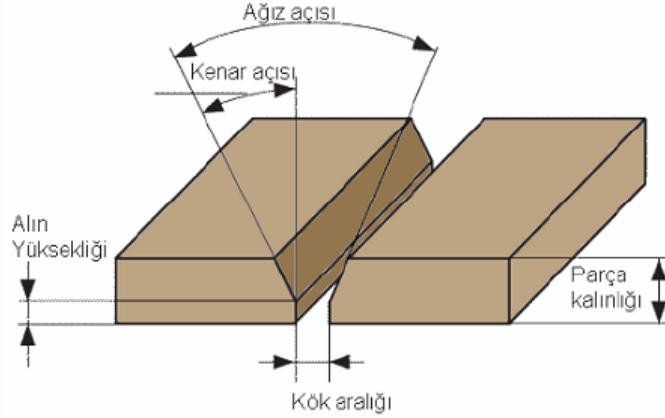
Şekil 2.16 Köşe dikişleri.

2.1.3 Temel Kaynak Ağız ve Birleşim Türleri

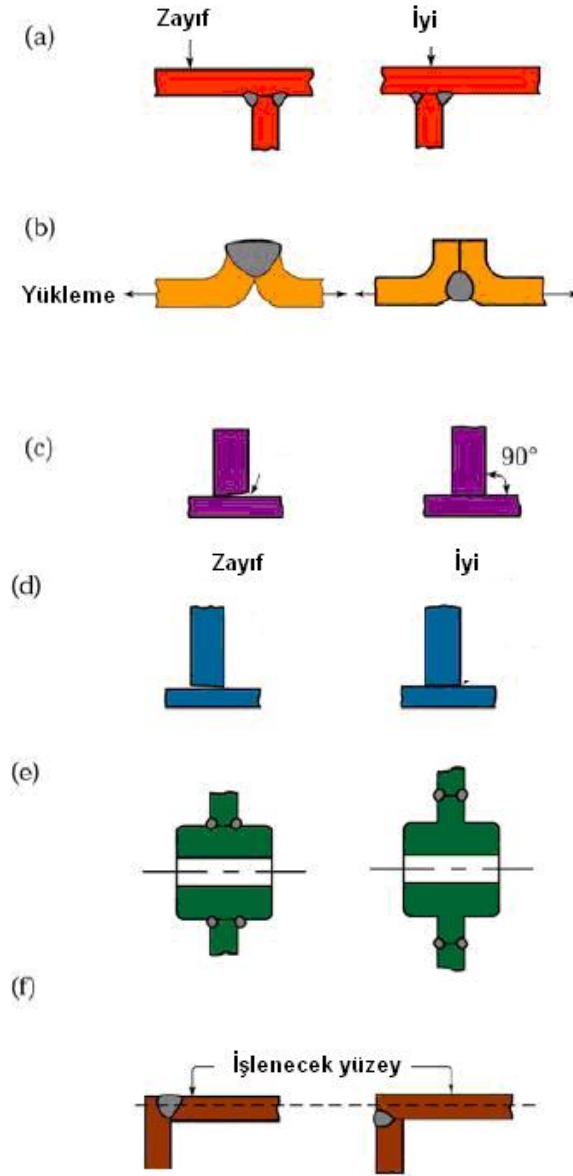
Ağız türünün seçimi bazı faktörlere bağlıdır. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Parça kalınlığına
- Kullanılacak kaynak yöntemine
- Parçanın kaynak pozisyonu

Kaynak esnasında mümkünse tek pasolu (tek geçişli) kaynak tercih edilir, tek pasolu kaynak malzeme üzerine daha az ısıl etki yaratacağı ve kaynak cürufu ve kaynak malzemesinin birikiminin engellenmesinden dolayı daha uygundur. Ancak malzemenin kalınlığına ve kaynak yöntemine göre çok paso gerekebilir, kalın ve alın yüzeyi geniş olan malzemelerde uygulanan kaynak yöntemi gibi kaynağın sağlıklı ve dayanıklı olması açısından birden fazla paso atılarak kaynak yapılması malzeme için uygun olmaktadır. Şekil 2.17’ de kaynak ağız hazırlığı ve Şekil 2.18’de kaynaklı bağlantıların oluşturulmasında kullanılan yöntemler gösterilmiştir (Vural, 2005).



Şekil 2.17 Ağız hazırlığı.

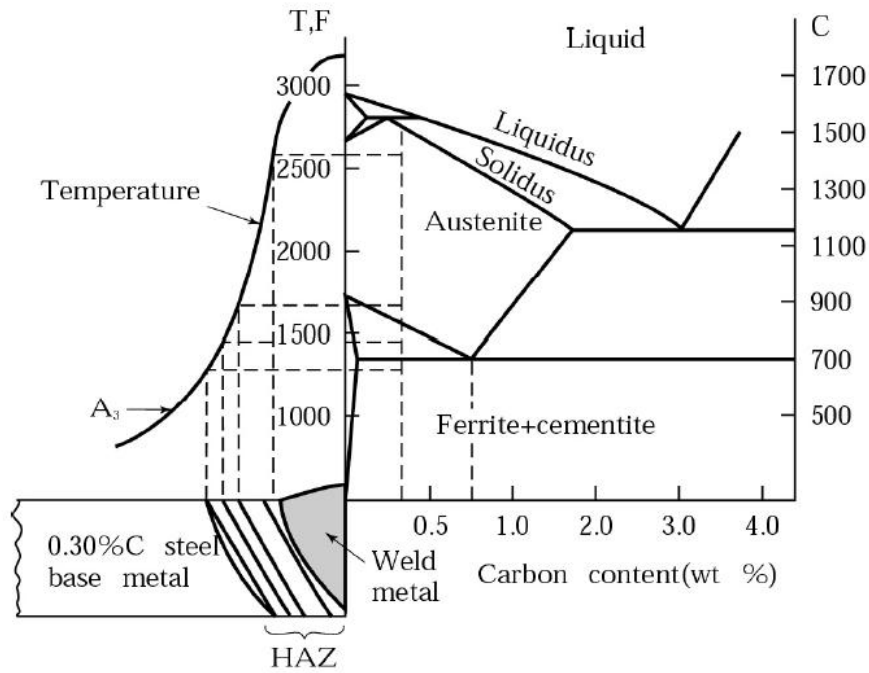


Şekil 2.18 Birleşim türlerinin oluşturulmasında kullanılan çeşitli yöntemler.

2.2 Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB)

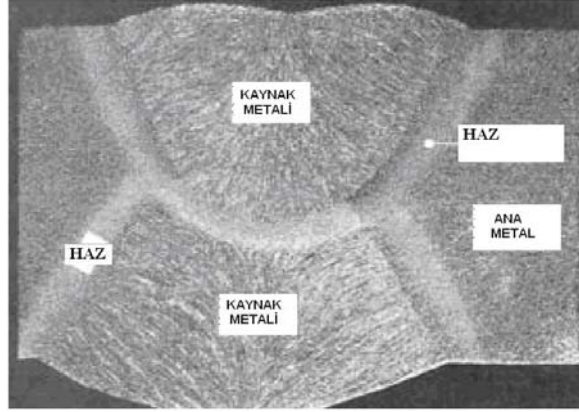
Kaynak işlemi vasıtasıyla birleştirilen metallere uygulanan ısı çevrim, kaynak bölgesinde metalürjik dönüşümler meydana getirir ve bu dönüşümler neticesinde malzemelerin mekanik özellikleri değişir. Kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımı ve değişimi bilindiği takdirde bu özelliklerdeki değişimler önceden tahmin edilebilir.

Artık gerilmelerin oluşumuna doğrudan etkileyen başka bir etmen de ısı tesiri altındaki bölgedir. Şekil 2.19 ısı tesiri altındaki bölgeyi (ITAB)'ı göstermektedir. Şekil 2.20 kaynak esnası sırasında oluşan ısı tesiri altındaki bölgenin malzemeye etkisi görülmektedir. Bu bölgedeki sıcaklık dağılımı parçanın karbon oranı, paso sayısı gibi etmenler artık gerilmeleri doğrudan etkilerler. Şekil 2.21 ve Şekil 2.22 bir ergitme kaynağında tane yapısı ve değişik bölgeleri göstermektedir (AWS). Kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımı ve değişiminde, malzemenin ısıl özellikleri ve kaynak edilecek parçaların geometrisi de etkilidir (Benli, 2004).

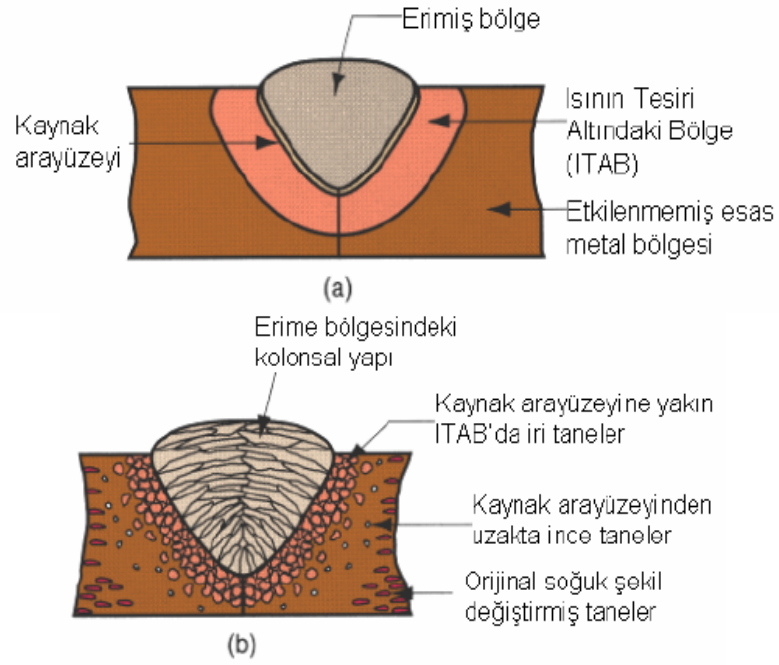


Şekil 2.19 Isı tesiri altındaki bölge grafiksel.

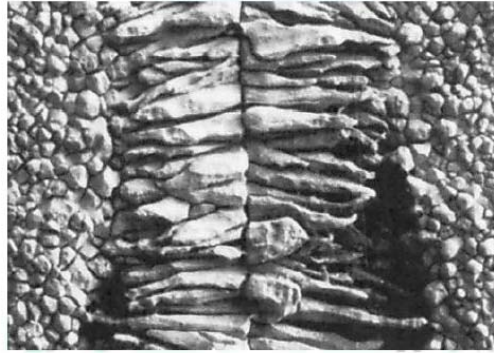
Kaynak işlemi esnasında kaynak bölgesi sıcaklığının malzemenin ilk sıcaklığı ile ergime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklık değeri arasında geniş bir aralıkta değişmesi, malzemenin ısıl özelliklerinde de çok büyük değişiklikler meydana getirir. Isıl özellikler sıcaklığın bir fonksiyonu olarak değişmektedir (Benli, 2004).



Şekil 2.20 Isı tesiri altındaki bölge mikroskopik.



Şekil 2.21 Eritme kaynağının yapısı ve ısı tesiri altındaki bölge.



Şekil 2.22 Bir Eritme kaynağında tane yapısı ve mikroskopik bölgeler (AWS).

BÖLÜM ÜÇ

ARTIK GERİLMELER

3.1 Kaynaktan Sonra Artık Gerilmelerin Oluşması

3.1.1 Artık Gerilme Teorisi

Metaller ısıtıldıkları zaman genişleme ve soğutuldukları zaman büzülme özelliğine sahiptir. Sıcaklıktaki bir artışla metal atomları ivmelenir ve bu etkiyle birbirlerinden uzağa hareket ederler. Soğuduklarında ise bir araya toplanırlar. Isı etkisi altında kalan parçanın uzamasının ve kışalmasının ortaya çıkması, parçada basma ve çekme gerilmelerine neden olur. Bu gerilmeler plastik alanda ise plastik şekil değişimi ile çarpılma oluşur. Gerilmeler kopma değerini aşarsa kırılmalar meydana gelir. Bu davranış gerilme değerine bağlı olduğu kadar malzemenin sünek veya gevrek olma özelliğine de bağlıdır (Tenga ve Linb, 1998).

Parçanın kaynak yapılan bölgesi, kaynak işlemi sırasında erime sıcaklığına kadar ısınır. Ancak soğuma parçanın genelinde ve ısıtma hızına göre yavaş gerçekleşir. Bu nedenle kaynaklı parçalardaki soğuma dağılımı homojen değildir ve kaynak işlemi boyunca yapısal değişiklikler ortaya çıkar. Erken soğuyan kısımlar bası, geç soğuyan kısımlar çeki gerilmelerini taşırlar. Katılaşmanın başında kaynak metali sıcaktır ve mekanik özellikleri esas metale oranla daha zayıftır. Bir kaynak dikişi belirli bir kaynak hızıyla yapılırken, kaynağın yeni katılmış olan bölümleri kaynağın diğer katılmış olan kısımlarına karşı koyar. Sonuç olarak, ilk kaynak yapılmış olan kısımlar kaynak dikişi doğrultusunda çekmeye zorlanır (Vural, 2005).

3.1.2 Artık Gerilmelerin ve Çarpılmaların Etkileri

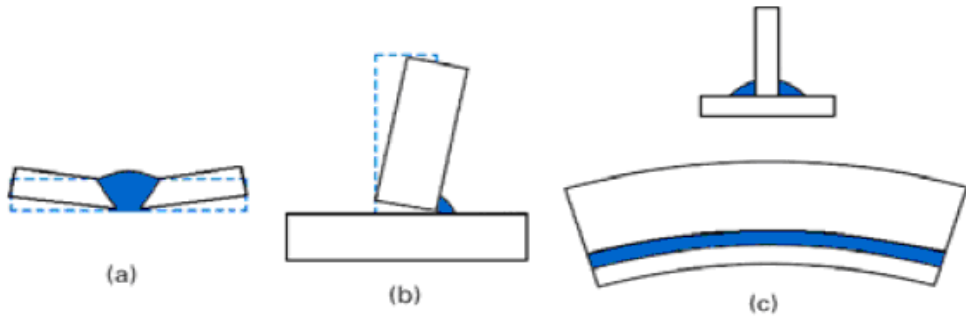
Kaynaklı parçalarda artık gerilmeler ya çarpılmalara yol açarlar ya da kaynaklı parçalarda erken hasara sebep olabilirler. Bazı durumlarda ikisi birlikte de olabilir. Bunun nedeni kaynak dikişinin enine kesitinin bir kısmındaki büzülmenin, bu enine kesite eksantrik kuvvetler uygulaması ve dolayısıyla büzülme miktarının eşit

olmamasıdır. Bunun sonucunda çarpılmalar oluşur. Özellikle çentikli ve kaynak hatalarının olduğu bölgelerde kırılmalar görülebilir. Gözenek ve aşırı yüzey girintileri gibi kaynak hataları da çentik etkisi yapar. Artık gerilmeler ve çarpılmaların olumsuz etkilerinden, uygun kaynak prosedürleri, kaliteli işçilik ve sıkı denetim ile kaçınılabılır. Çarpılmalar ise, parçanın boyut hassasiyetini olumsuz olarak etkiler. Tüm bu olumsuzlukları önlemek için kaynak işleminden sonra veya önce ek işlemler uygulama durumu ortaya çıkabilir. Bu sebeple, kaynaklı parçalarda meydana gelen artık gerilme ve çarpılmaları önceden tahmin etmek, kaynak ömrü açısından önemlidir.

Çarpılmaların en düşük seviyede tutulması için:

- Kaynak işlemi en az ısıyla yapılmalıdır.
- Kaynaklar, birleşimi oluşturacak en az miktarda olmalıdır.
- Kaynak sırasında paso sayısı düşük tutulmalıdır.
- Kaynak işlemi, sınırlanmış bölgelerden serbest bölgelere doğru yapılmalıdır.
- Ters çarpılma uygulanmalıdır.
- Kaynaktan hemen sonra çekiçleme uygulanmalıdır.
- Kaynak dikişleri simetrik düzenlenmelidir.

3.1.1.1 Distorsiyon Türleri



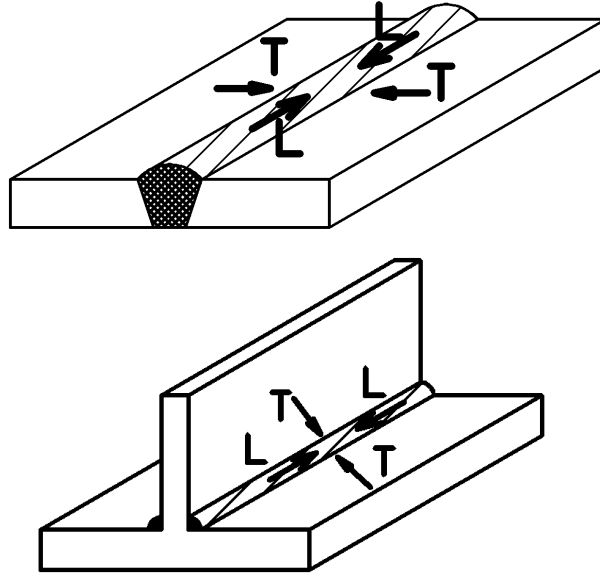
Şekil 3.1. Kaynak sonrası çarpılmalar a – b – c.

Şekil 3.1 kaynak işlemi sonucu olarak oluşan çarpılma durumlarını göstermektedir. Şekil 3.1-a' da kapak bölgesi kök bölgesine göre daha çok büzülen V-küt alın dikişi; Şekil 3.2-b' de tek taraflı iç köşe dikişi; Şekil 3.3-c' de ise dikey cepte çift taraflı iç köşe dikişleri görülmektedir.

3.2 Kaynak İşleminde Oluşan Artık Gerilmeler

Soğuma işleminin başlamasıyla, kaynak metali ve kaynak metaline bitişik ısının etkisi altındaki bölgenin sıcaklıkları, esas metalin sıcaklığından çok daha yüksektir. Kaynak dikişi katılaşıp, büzülürken, kendisini çevreleyen esas metal, ısı etkisi altındaki bölgeye (HAZ) gerilme uygular. Kaynak metali, katılmanın başlangıcında sıcaktır ve mekanik özellikleri esas metale nazaran daha zayıftır. Bu sebeple uyguladığı gerilmenin değeri düşüktür. Kaynak bölgesinin sıcaklık değeri ortam sıcaklığına ulaşana dek uygulanan gerilme değeri artar ve esas metal ile ısının etkisi altındaki bölgenin akma dayanımına ulaşır.

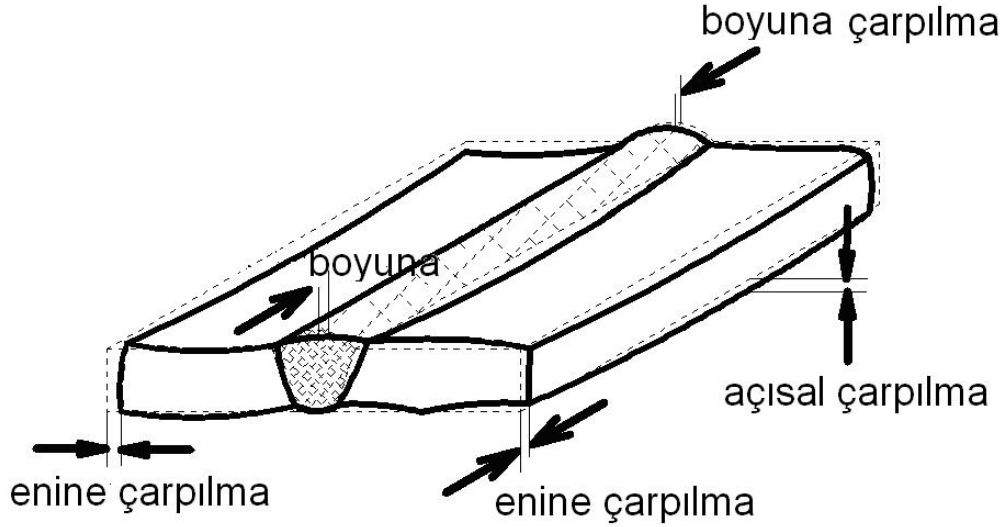
Kaynak işlemi esnasında, yeni katılan bölgeler, kaynak dikişinin diğer bölgelerinin büzülmesine karşı koyarlar. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, ilk kaynak yapılan bölgeler kaynak dikişi doğrultusunda çekiye zorlanırlar. Alın birleştirmelerde, kaynak ağız formundan ya da mevcut pasoların sınırlayıcı etkisinden dolayı kaynak bölgesinin enine hareketi yok denecek kadar azdır. Kaynak dikişindeki büzülmenin neticesinde şekilde görülen enine artık gerilmeler meydana gelecektir.



Şekil 3.2 Dikişteki enine (T) ve boyuna (L) büzülmeden ortaya çıkan gerilmeler.

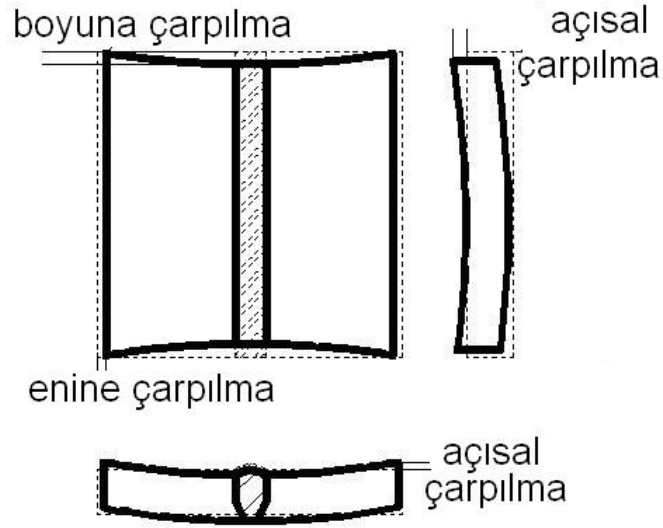
İç köşe kaynaklarında, kaynak dikişinde meydana gelen gerilmeler gösterilmiştir. Büzülme neticesiyle meydana gelen bu gerilmeler, kaynak yüzeyine dik ve paralel çeki gerilmeleridir. Şekil 3.2 dikişteki enine (T) ve boyuna (L) büzülme gerilmeleri görülmektedir.

Artık gerilmelerin oluşturduğu etkiler parçada ayrı ayrı gerçekleşebileceği gibi aynı anda da gerçekleşebilir. Kaynak işlemi neticesinde ısınan kaynak bölgesi homojen olmayan büzülme davranışı gösterir; çünkü kaynak dikişinin enine kesitindeki büzülme, bu enine kesite eksantrik kuvvetler uygular ve böylece büzülme miktarları eşit olmaz. Sonuç olarak çarpılma meydana gelir. Alın birleştirmelerde, kaynak dikişinin üst bölgesi, kök bölgesine nazaran daha fazla büzülür. Bu sebeple, bu tip kaynaklı birleştirmelerde uzunlamasına, enine çarpılmalara ek olarak açısal çarpılma da meydana gelebilir. Açısal çarpılmalar, kaynak dikişi boyunca levhada enine eğilmelere neden olur. Şekil 3.3’ te kaynak dikişindeki enine ve boyuna çarpılmalar görülmektedir.



Şekil 3.3 Dikişteki enine, boyuna ve açısal çarpılmalar.

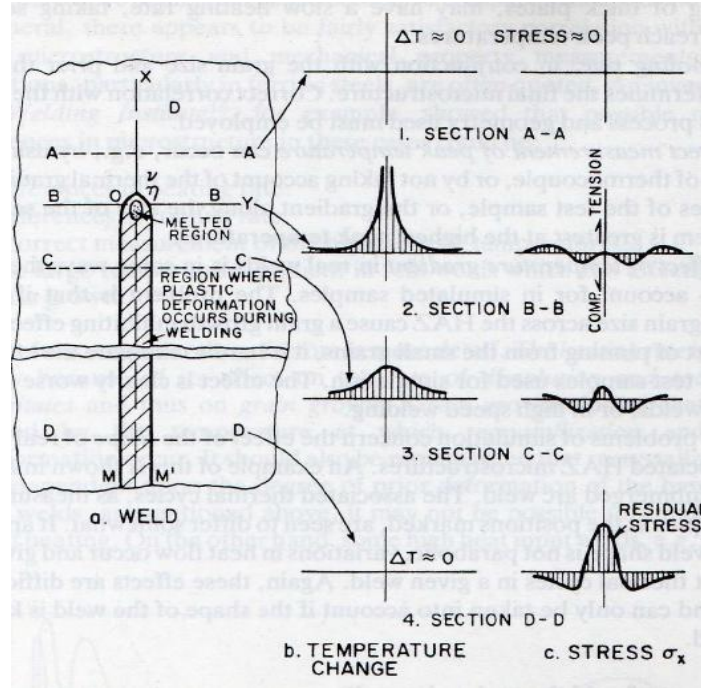
İç köşe kaynaklarında da görülebileceği gibi Şekil 3.3’ te alın kaynağındakine benzer enine, boyuna büzülme ve açısal çarpılmalar görülür.



Şekil 3.4 Dikiş doğrultusunda çekme.

Şekil 3.4, dikiş doğrultusunda çekme durumunu göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, kaynak yapılmış kısımlar kaynak dikişi doğrultusunda çekilmeye zorlanır. Bir alın birleştirme durumunda, ya kaynak ağız formundan ya da mevcut pasoların sınırlayıcı etkisinden dolayı kaynak bölgesinin enine hareketi genel olarak azdır. Kaynak dikişinin üst bölgesi, kök bölgesine göre daha fazla büzüldüğünden, çarpılma alın birleşmelerde uzunlamasına ve enine çekmeye ek olarak açısallık (dönme) olarak da ortaya çıkabilir. Açısallık çarpılma ise, kaynak uzunluğu boyunca levhada enine eğilmeye sebep olur.

Artık gerilmeler ve çarpılma, malzemenin kırılma davranışını da etkiler; düşük dış gerilme seviyelerinde dahi, burkulma ve gevrek kırılma olasılığını artırır. Artık gerilmelerin ve oluşan çarpılmanın bir arada olması halinde ise, burkulma, beklenenden daha düşük tokluğa sahip kaynak bölgelerinde yüksek yerel gerilmelere yol açar. Sonuç olarak, düşük gerilmeler tarafından ilerletilebilen gevrek tip çatlaklar oluşabilir. Ayrıca artık gerilmeler, yorulma ve korozyon hasarlarını da artırır.



Şekil 3.5. Ergitme kaynaklı alın dikişinde boylamasına artık gerilmelerin şematik görünüşü ve artık gerilmelerin yönleri.

Şekil 3.5 ergitme kaynaklı alın dikişinde boylamasına artık gerilmelerin şematik görünüşü ve artık gerilmelerin yönleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi artık gerilmeler kaynak hattına hem paralel hem de dik yönde oluşabilir. Malzemenin etkiyen gerilmelere cevap vermesi sırasında, tipik bir küt kaynağın enine ve boylamasına büzölmeler meydana gelebilir. Sınırlanan enine hareket, tüm dikişte enine gerilmeye neden olur.

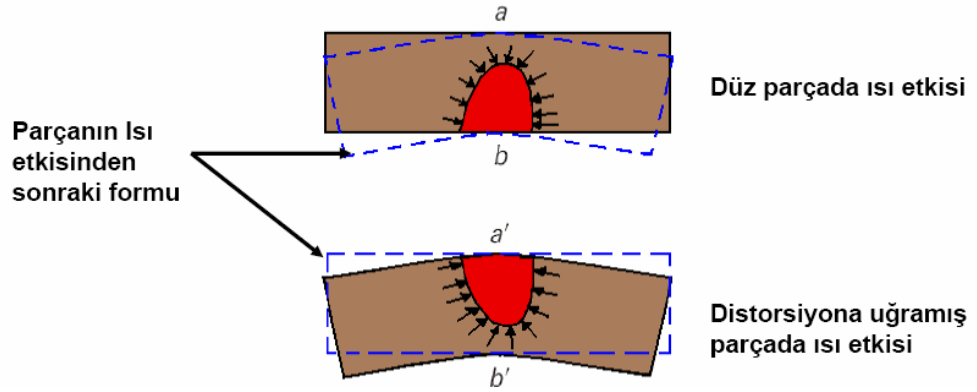
3.2.1 Çarpılma Kontrolü

Çarpılma kontrolü için en çok kullanılan teknikler, kaynak bağlantı geometrisinin ya kaynaktan önce ya da kaynaktan sonra kontrol edilmesidir. Bu tekniklerden bazıları; parçanın kaynak sonunda istenen geometri oluşacak şekilde yerleştirilmesi veya parçaların kaynak sırasında çarpılmaya uğramasının engellemesidir. Bir başka kullanışlı teknik ise, yığılan kaynak metalini, kaynak simetri ekseninin her iki tarafında dengelenecek şekilde tasarlamak ve kaynak yapmaktır. Bazı çarpılmaya uğramış kaynaklı parçalar kaynaktan sonra gerekliyse mekanik veya ısıl olarak doğrultulabilir.

3.2.2 Distorsiyon Kontrol Teknikleri

3.2.2.1 Alevle Doğrultma

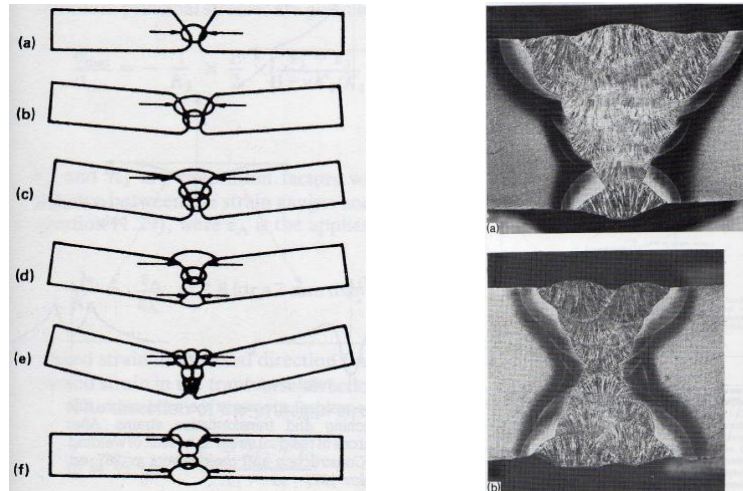
Alevle doğrultma, çarpılmaya uğramış levhaların doğrultulması için, yerel olarak ve kontrollü yığıma işlemidir. Şekil 3.6'da buna ait uygulama gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Alevle doğrultmanın şematik gösterimi.

3.2.2.2 Ters Yönde veya Simetrik Kaynak

Ters yönde simetrik olarak atılan kaynak çarpılmaların oluşumuna engel olur ve iki taraflı çekme sağlar (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Ters yönde ön çarpılma vererek çift taraflı kaynakla çarpılmaların önlenmesi.

3.2.2.3 Soğuma Hızı, Ön ve Son Tavlama

Ön tavlama, parça sıcaklığını yükselterek hızlı soğumayı ve istenmeyen sertleşmeleri ve artık gerilmelerin oluşumunu engeller; ayrıca hidrojenin yapıdan çıkışını kolaylaştırır ve çarpılmaların ortaya çıkmasını engeller. Genellikle ön tavlama sıcaklıkları 100°C–200°C arasındadır.

BÖLÜM DÖRT

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

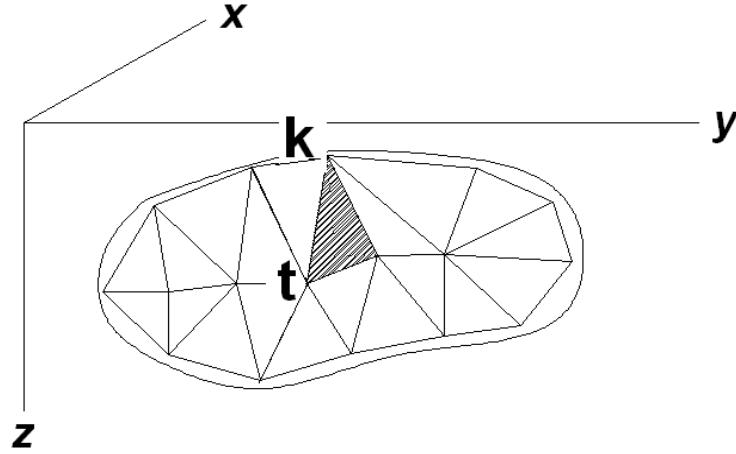
Çelik yapıların davranışını, tek başına çelik malzemesinin özelliklerini kullanarak belirlemek mümkün olmaz. Çerçevesi oluşturan yapı elemanlarının birleşimlerinde istenen dayanımın sağlanması gerekmektedir. Kolon-kiriş bağlantılarındaki panel bölgeleri, kirişler ve kolonlar yapıya aktarılan enerjiyi sönmeye çalışırlar. Uygun bir bağlantının sağlanabilmesi için kaynağın davranışlarının bilinmesi ve gevrek kırılmaların önüne geçmek için plastik deformasyon kabiliyetinin yüksek olduğu bağlantıların tasarımı ve imalatı gerekmektedir. Mühendislerin bu konuda karşılaştıkları karmaşık ve zor fiziksel problemlerin çözümünde kullandıkları yöntemler genel olarak ikiye ayrılır:

- Analitik çözüm yöntemleri
- Sayısal çözüm yöntemleri

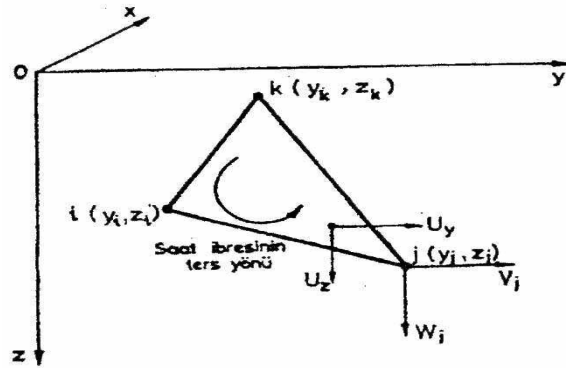
Analitik çözümler, sadece basitleştirilmiş bazı özel haller için elde edilebilir ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemi analitik yöntemler ile çözmek mümkün değildir. Geometrisi, malzeme özellikleri ve sınır şartları karmaşık problemleri yaklaşık olarak çözebilmek amacıyla, kabul edilebilen sonuçlar veren sayısal yöntemler kullanılmalıdır. Sonlu elemanlar yöntemi, sayısal yöntemler içerisinde önemi gün geçtikçe artan, mühendisler tarafından tercih edilen ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Sayısal yöntemlerin çoğu, bilgisayarlar yaygın olarak kullanılmaya başlamadan önce geliştirilerek kullanılmış ve daha sonradan bilgisayara uygulanmıştır. Ancak sonlu elemanlar yöntemi bilgisayar gelişiminin bir ürünüdür ve diğer sayısal yöntemlerden farkı, yüksek hızlı bilgisayarlara çok daha uygun özelliklere sahip olmasıdır. Sonlu elemanlar yönteminin yapısal analiz, akışkanlar mekaniği, ısı transferi, elektromanyetik analiz ve akustik gibi birçok fiziksel olayın çözümünde uygulama alanı bulması ve bilgisayarlara uygulanması kolay bir algoritmaya dayanması karşılaşılan problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır (Kocacıbaşı, 2000).

4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sürekli ortam, eğri ya da yüzeyler ile belirli şekilde ve sayıda sonlu elemanlara bölünür.



Şekil 4.1 Çözüm bölgesinin üçgen elemanlara bölünmesi.



Şekil 4.2 Bir üçgen sonlu eleman ve düğüm noktaları.

Sonlu elemanlar, birbirlerine ve ortama belirli sayıda “düğüm noktaları” ile bağlanırlar. Bu noktaların yer değiştirmeleri ve / veya dönmeleri problemin bilinmeyenleridir. Örneğin, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de üçgen elemanların köşeleri düğüm noktalarıdır ve bunlar iki doğrultuda hareket ederler; yani iki serbestlik derecesine sahiptirler. Bu demektir ki üçgen eleman altı serbestlik derecesine sahiptir ve bilinmeyen sayısı altıdır. Bunlara “düğüm yer değiştirmeleri” adı verilir.

Serbest değişkenlerin sonlu eleman içerisindeki değişimleri “değişken fonksiyonları” ya da “değişken modelleri” ile ifade edilir.

Sonlu eleman deformasyon hali, deformasyon – yer değişim bağlantıları kullanılarak, gerilme hali, gerilme – deformasyon bağlantıları kullanılarak düğüm yer değişimleri cinsinden ifade edilmektedir. Sonlu elemana etki eden tüm iç ve dış yükler dengede olmalıdır. Bunun için minimum enerji prensibi kullanılarak denge denklemleri kurulur.

Kurulan bu denge denklemleri, her bir sonlu eleman için ayrı ayrı yapılarak, aynı düğüm noktasına komsu elemanlardan gelen etkiler toplanır. Böylece düğüm yer değiştirmeler hesaplanır. Sürekli ortamın sınırlarındaki şartlar kullanılır ve denklem takımı çözülür. Böylece düğüm yer değiştirmeleri hesaplanır. Bulunan yer değiştirmeleri yardımıyla elemanlardaki deformasyon hali, gerilme hali bileşenleri ve istenirse asal gerilmeler hesaplanır. (Benli, 2004).

4.2 Teorik Çalışma

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kaynak işleminde meydana gelen artık gerilmelerin dağılımı belirlenmiştir. Bu problem, ısıl ve mekanik modeller kullanılarak çözülür (Kılıç ve Yiğit, 2004).

4.3 Isıl Analiz

Isı iletimi analizinin amaçlarından biri de bir ortamın sınırlarının maruz kaldığı koşullar sonucunda oluşan sıcaklık değişimi belirleyebilmektir. Eğer sıcaklık dağılımı biliniyorsa ortamın herhangi bir noktası ya da yüzeyinde ısı akısı Fourier Kanunu ile hesaplanabilir.

Bir malzemede sıcaklık en çok üç konum değişkeninin ve zamanın fonksiyonudur; eğer sıcaklık zamanın bir fonksiyonu ise bu tür problemler geçici rejim olarak adlandırılır ve sıcaklık dağılımında zamanın fonksiyonu (transient) olarak tanımlanır. Eğer sıcaklık zamanın fonksiyonu değil ise problem sürekli rejim olarak tanımlanır.

Herhangi bir geometri için enerji dengesi,

$$Q_x + \dot{q}Adx = Q_{x+dx} + \rho Adx \frac{\partial u}{\partial t} \quad (4.1)$$

Burada A x-eksenine dik doğrultudaki kesit alanı, Adx seçilen dilimin (kontrol hacminin) hacmi, Q (W/m^3) malzeme içinde birim hacimdeki enerji üretimi ρ yoğunluk, ρAdx seçilen dilimin kütlesi, $\partial u/\partial t$ kontrol hacminin birim kütlesi başına birim zamanda iç enerjisindeki değişimdir.

Kontrol hacmine birim zamanda transfer edilen ısı miktarı Q_x 'tir. Bu durumda kontrol hacminden birim zamanda transfer edilen ısı miktarı Q_{x+dx} 'in Taylor serisi açılımı ve serideki ilk iki terimi alınarak,

$$Q_{x+dx} = Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir. (4.1) eşitliği yeniden düzenlenirse

$$Q_x + \dot{q}Adx = Q_x + \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx + \rho Adx \frac{\partial u}{\partial t} \quad (4.3)$$

elde edilir. Gerekli sadeleştirmeler yapırsa

$$-\frac{\partial Q_x}{\partial x} dx + \dot{q}Adx = \rho Adx \frac{\partial u}{\partial t} \quad (4.4)$$

bulunur. (4.4) eşitliği geçici rejimde içinde enerji üretimi olan bir boyutlu ısı iletimi problemleri için genel ifadedir. Burada Fourier ısı iletim kanunu;

$$Q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.5)$$

h özgül entalpi, u özgül iç enerji, P basınç, v özgül hacim olmak üzere:

$$h = u + Pv \quad (4.6)$$

yazılabilir. (4.6) eşitliğinin diferansiyeli alınırsa:

$$du = dh - Pdv - v dP \quad (4.7)$$

Katılarda özgül hacmin ve basıncın değişimi ihmal edilecek düzeyde olduğu bilindiğine göre (4.7) eşitliği aşağıdaki forma indirgenir:

$$du = dh \quad (4.8)$$

özgül ısıların tanımından hareketle (4.8) eşitliği:

$$c_v dT = c_p dT \quad (4.9)$$

halini alır. Burada c_v sabit hacimde, c_p sabit basınçtaki özgül ısıları temsil etmektedir. Katılarda $c_v = c_p = c$ olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla iç enerjinin birim zamanda değişimi için;

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.10)$$

(4.5) ve (4.10) eşitliklerini (4.4)'te yerine yazarsak

$$-\frac{\partial}{\partial x} \left(-kA \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx + \dot{q}A dx = (\rho A dx) c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.11)$$

elde edilir. (4.11) eşitliğini Δx ile bölerek sadeleştirirsek

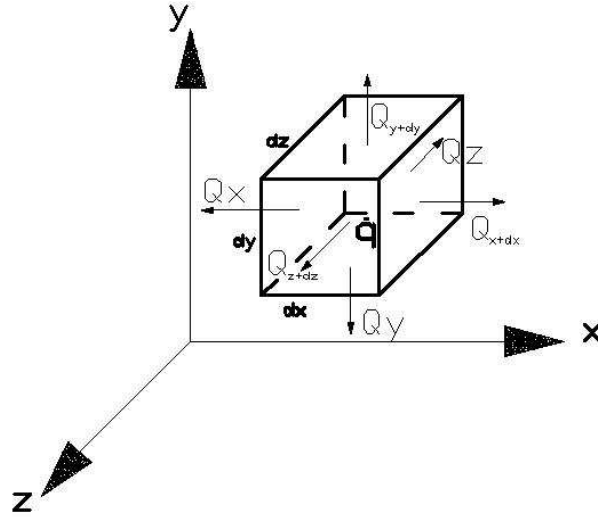
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.12)$$

denklemini elde edilir. (4.12) eşitliği geçici rejim içinde enerji üretimi olan bir boyutlu ısı iletimi problemleri için sıcaklığa bağlı olarak verilen genel ifadedir. Sabit ısı iletimi katsayısı için bu ifade:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{\rho c}{k} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.13)$$

formunu alır. Burada $\alpha (= k / \rho c)$ [m^2 / s] malzemenin ısıl yapısının katsayısıdır. (Kılıç ve Yiğit, 2004).

4.4 Kartezyen Koordinat Sisteminde Isı İletimi Genel Denklemi



Şekil 4.3 Kartezyen koordinat sisteminde kontrol hacmi.

Bir boyutlu sistem için bulunan sonuçları üç boyutlu duruma genişletirsek, Şekil 4.1'deki hacim elemanını ele alındığında enerji dengesi tek boyutlu durum için verilen ifadeye uygun olarak yazılırsa,

$$Q_x + Q_y + Q_z + \dot{q} dx dy dz = \left(Q_x \frac{\partial Q_x}{\partial x} dx \right) + \left(Q_y \frac{\partial Q_y}{\partial y} dy \right) + \left(Q_z \frac{\partial Q_z}{\partial z} dz \right) + \rho dx dy dz \frac{\partial u}{\partial t} \quad (4.14)$$

(4.14) eşitliğinde gerekli sadeleştirmeler yapılırsa

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} dx - \frac{\partial Q_y}{\partial y} dy - \frac{\partial Q_z}{\partial z} dz + \dot{q} dx dy dz = \rho dx dy dz \frac{\partial u}{\partial t} \quad (4.15)$$

(4.15) eşitliği elde edilir. Bu ifade kartezyen koordinatlarda en genel halde enerji dengesi eşitliğidir.

Fourier ısı iletim kanun her üç ekseninde yazılırsa,

$$Q_x = -k A \frac{\partial T}{\partial x} = -k(dydz) \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.16a)$$

$$Q_y = -k(dx dz) \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4.16b)$$

$$Q_z = -k(dx dy) \frac{\partial T}{\partial z} \quad (4.16c)$$

elde edilir. (4.16 a,b,c) ve (4.10) eşitlikleri (4.15) eşitliğinde yerine yazılırsa ve eşitlik (dz dy dz) hacmine bölünerek sadeleştirilirse:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.17)$$

elde edilir. (4.17) eşitliği kartezyen koordinat sisteminde geçici rejimde içinde enerji üretimi olan üç boyutlu ısı iletimi problemleri için sıcaklığa bağlı olarak verilen genel denklemdir. Sabit ısı iletim katsayısı için (4.17) eşitliği:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.18)$$

formunu alır. (4.18) eşitliği alternatif bir formda yazılırsa

$$\nabla^2 T + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.19)$$

∇^2 'ye Laplace operatörü veya Laplasyen denir. Kartezyen koordinatlardaki sistemindeki formu:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (4.20)$$

şeklinde verilmektedir (Kılıç ve Yiğit, 2004).

4.5 Mekanik Analiz

Kaynak işlemi süresince, esas metal ve kaynak metalinde katı hal fazı oluşmaz. Bu sebeple, toplam zorlanma diferansiyel formda üç zorlanma bileşeninden oluşur:

$$d\varepsilon_{ij} = d\varepsilon_{ij}^e + d\varepsilon_{ij}^p + d\varepsilon_{ij}^t \quad (4.21)$$

Buradaki $d\varepsilon_{ij}^e$ elastik zorlanma, $d\varepsilon_{ij}^p$ plastik zorlanma ve $d\varepsilon_{ij}^t$ ise termal zorlanma artışıdır. Elastik zorlanma artışı sıcaklığa bağlı elastisite modülü ve Poisson oranları ile Hook yasası kullanılarak hesaplanır. Termal zorlanma artışı ısıl genişleme katsayısı kullanılarak belirlenir. Plastik zorlanma artışı için ise Von-Mises akma kriteri, sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri ve doğrusal kinematik pekleşme kuralları ile belirlenir.

BÖLÜM BEŞ

PROBLEMİN TANITIMI

Bu çalışmada, ABAQUS programı kullanılarak kaynak işlemini tanımlayan çeşitli ısıl çevrimlerde üç farklı bağlantı modeli için doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Soğuma hızının bağlantılarda oluşan artık gerilmelere etkisi incelenmiştir. Ayrıca, yapısal bütünlük için en uygun çelik kolon-kiriş bağlantı modeli belirlenmiştir. Bu bölümde yapılan çalışmalar şöyle özetlenebilir:

Bölüm 5.1' de, analizlerde kullanılan EN normlarına uygun geniş başlıklı kiriş özellikleri tanımlanmıştır. Kullanılan çelik malzeme ve kaynak malzemesinin fiziksel özellikleri Bölüm 5.1.1'de, mekanik özellikleri Bölüm 5.1.2' de verilmiştir. Ark kaynağı sonrasında oluşan artık gerilmelerin hesabı yapıldığından malzeme özellikleri sıcaklığın fonksiyonu olarak göz önünde bulundurulmuş ve analizler bu özellikler dikkate alınarak yapılmıştır. İncelenen kolon-kiriş bağlantısının üç boyutlu katı modeli Bölüm 5.1.3'te verilmiştir.

Bölüm 5.2' de sınır şartları ve analizler sonrasında dikkati çeken kritik noktalar tanımlanmıştır. Parçanın ABAQUS programında belirlenen kaynak noktaları, yapısı ve sınır şartları Bölüm 5.2.1'de gösterilmektedir. Bölüm 5.2.2'de incelenen kritik yollar gösterilmiştir. Analizler sonrası kolon-kiriş bağlantılarında özellikle deprem esnasında kırılmanın gerçekleştiği ve çatlağın ilerlediği bölgeler dahil olmak üzere üç farklı yol (path) seçilmiş olup bu bölgeler daha detaylı incelenmiştir. Seçilen kritik üç bölge aşağıda tanımlanmıştır:

Yol I : Bağlantı noktasında kaynak sınırı üzerinde seçilmiştir. (Bölüm 5.2.2.1.)

Yol II : Bağlantı destek yüzeyi üzerinde seçilmiştir. (Bölüm 5.2.2.2.)

Yol III : Kolon boyunca yan yüzey üzerinde seçilmiştir. (Bölüm 5.2.2.3.)

Bölüm 5.3' de bağlantı modelleri gösterilmiştir. Standart kaynaklı kolon-kiriş bağlantısı (Model A), Çalışma I – Çalışma II – Çalışma III – Çalışma IV – Çalışma V – Çalışma VI olarak tanımlanan şartlarda incelenmiştir ve bu bağlantı tipi Bölüm

5.3.1' de gösterilmiştir. Kaynak boşlukları açılan Model B ve Model C bağlantı modelleri Bölüm 5.3.2 ve 5.3.3'te gösterilmiştir.

Bölüm 5.4' te ise incelenen bağlantı modellerine uygulanan ısı çevrimlerin zamana bağlı değişen sıcaklık grafikleri verilmiştir. Bağlantılara uygulanan altı farklı ısı çevrim ile kaynak prosesi simüle edilmiştir.

5.1 Malzeme Yapısı ve Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan ana metal çelik ile kaynak malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri aynı alınmıştır.

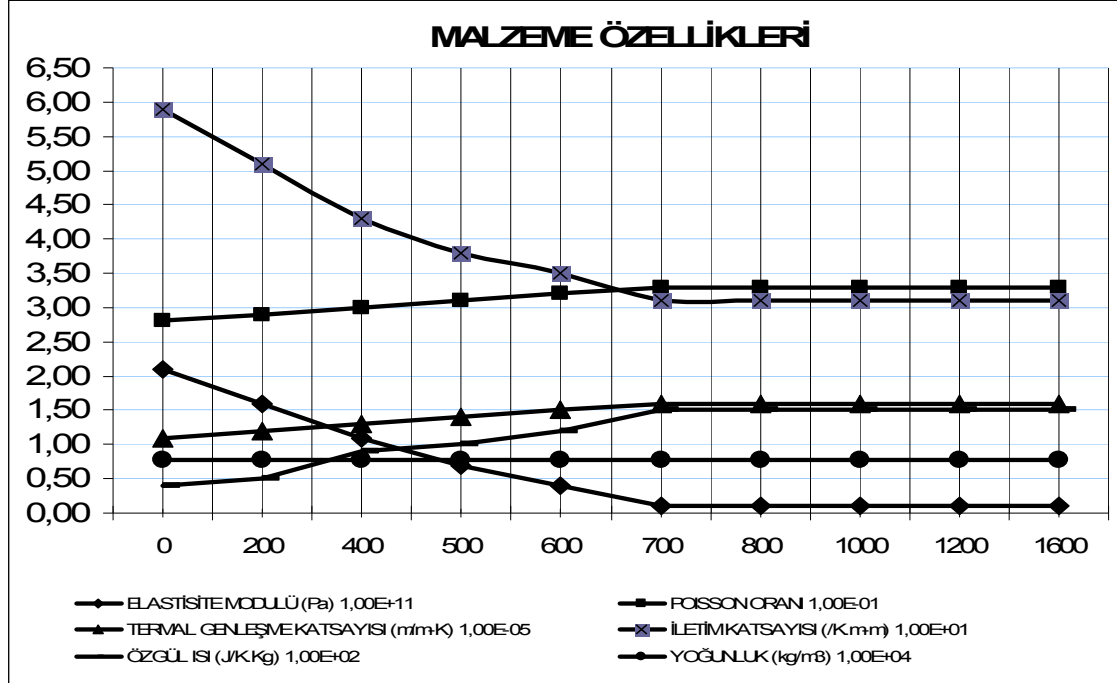
5.1.1 Malzemenin Fiziksel Özellikleri

Bu tezde kullanılan çelik malzemeye ve kaynak dolgusuna ait fiziksel özellikler şöyledir:

Katı haldeki yoğunluğu	: 7,86 g/cm ³
Sıvı haldeki yoğunluğu	: 6,98 g/cm ³
Ergime noktası	: 1811 °K, 1538 °C, 2800 °F
Kaynama noktası	: 3134 °K, 2861 °C, 5182 °F
Ergime ısısı	: 13,81 kJ/mol
Buharlaştırma ısısı	: 340 kJ/mol
Isı kapasitesi	: 25,10 (25 °C) J/(mol·K)

5.1.2 Malzemenin Mekanik Özellikleri

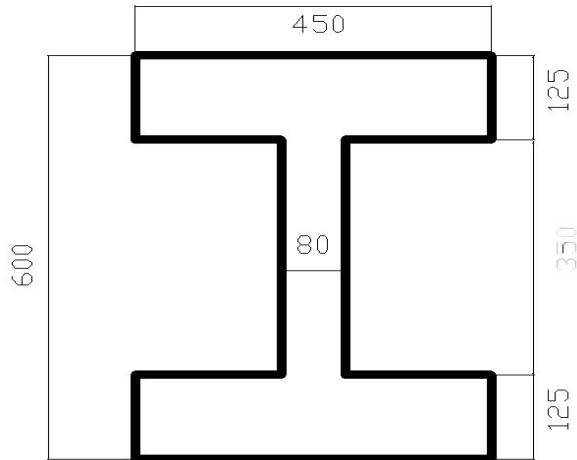
Malzemenin mekanik özellikleri Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



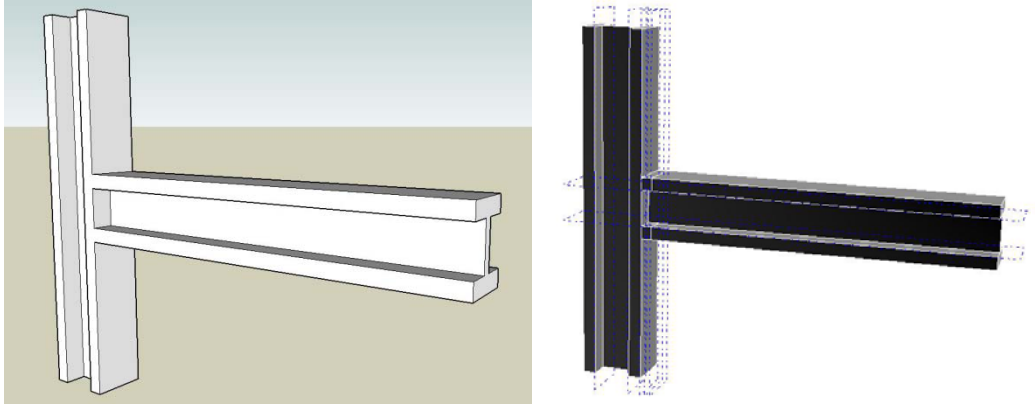
Şekil 5.1 Çeliğin sıcaklığa bağlı mekanik özellikleri, Tenga, T.L & Lin C.C. (1998).

5.1.3 Kolon-Kiriş Bağlantıları ve Boyutları

Kaynaklı çelik yapıların davranışları, tek başlarına çelik malzemesinin özellikleri ile belirlenemez. Şekil 5.2' de EN normlarına uygun I profil ölçüleri verilmiştir. Kaynaklı çelik kolon-kiriş bağlantısının katı modeli Şekil 5.3' te gösterilmektedir.



Şekil 5.2 EN normlarına uygun geniş başlıklı kiriş.



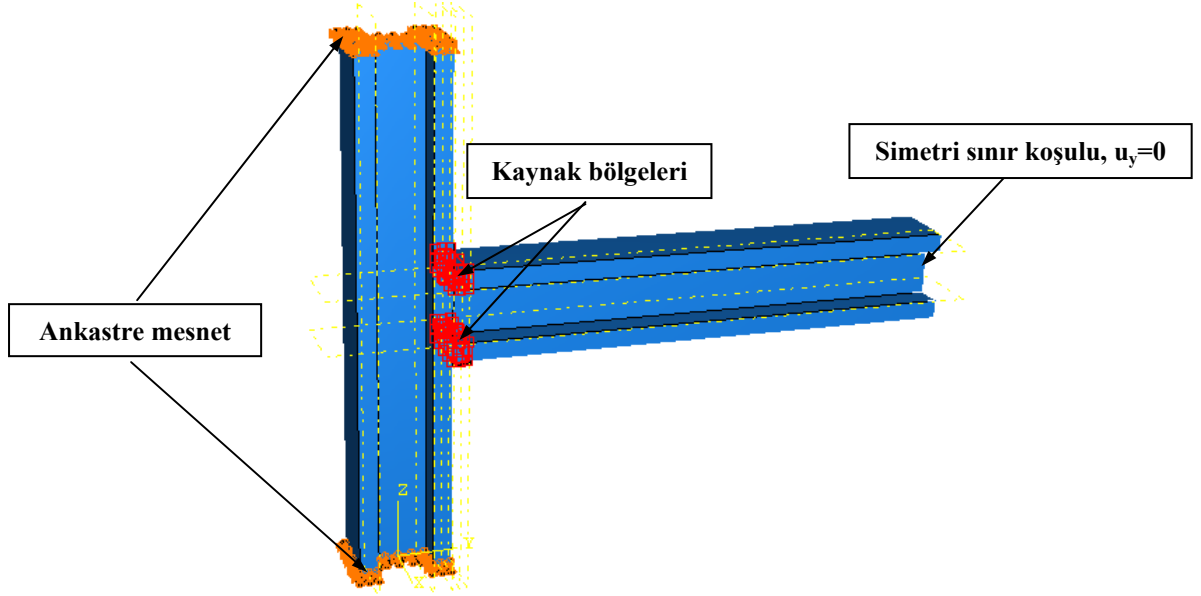
Şekil 5.3 Kaynaklı kolon-kiriş bağlantısı ve üç boyutlu katı modeli.

5.2 Sınır Şartları ve Kritik Noktalar

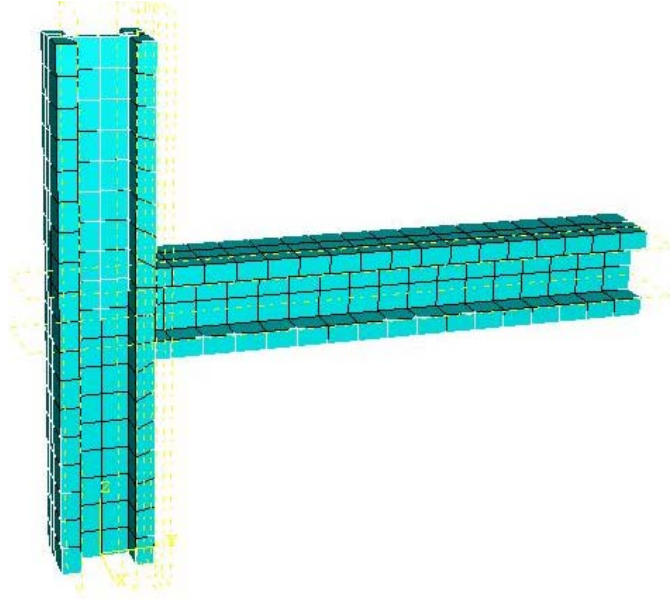
5.2.1 Parçanın Sınır Şartları ve Isıl Etki

Kaynak işleminin bağlantıda oluşturduğu artık gerilmelerin tespiti termo-mekanik sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler, sıcaklığa bağlı olarak değişen malzeme özellikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Isıl çevrimlerin oluşturulmasının ardından kaynak elemanlarının sıcaklıkla değişen özgül ısı, ısı taşınım katsayısı, elastisite modülü, ısıl genleşme katsayısı, Poisson oranı ve ısı iletim katsayısı verileri sıcaklığın fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Yoğunluk ise sıcaklıktan bağımsız olarak sabit kabul edilmiştir.

Sınır şartları ve ısıl etkinin uygulandığı bölgeler Şekil 5.4' te, çözüm ağı Şekil 5.5' te gösterilmektedir.



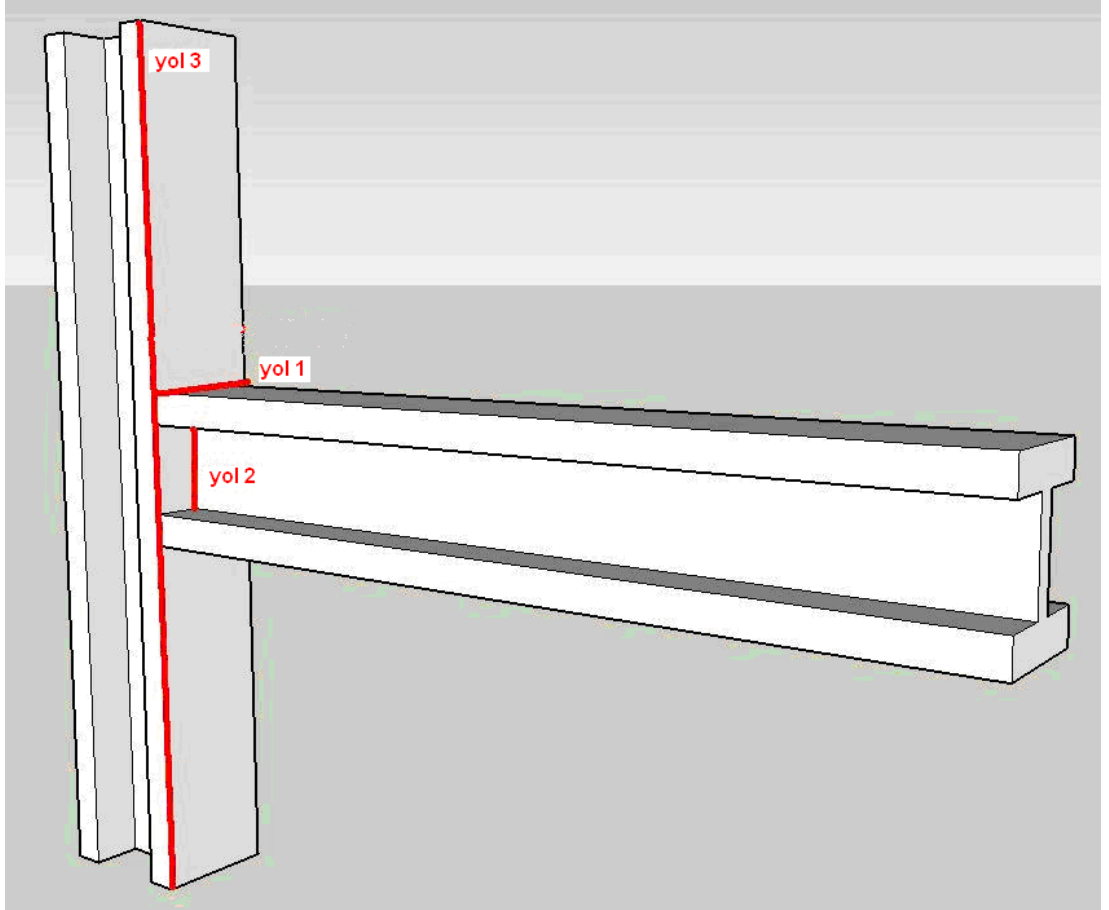
Şekil 5.4 Sınır koşulları.



Şekil 5.5 Çözüm ağı (mesh).

5.2.2 Kritik Yollar

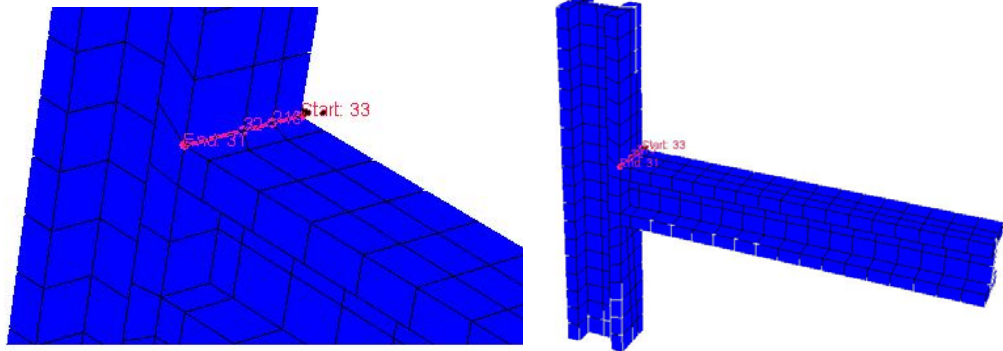
Doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizlerinin ardından kritik bölgeler tespit edilmiş, bu bölgelere ait artık gerilme değişimleri incelenmiştir. İncelenen kritik bölgeler, Yol I, Yol II ve Yol III olarak tanımlanmış olup Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Yol I, Yol II ve Yol III.

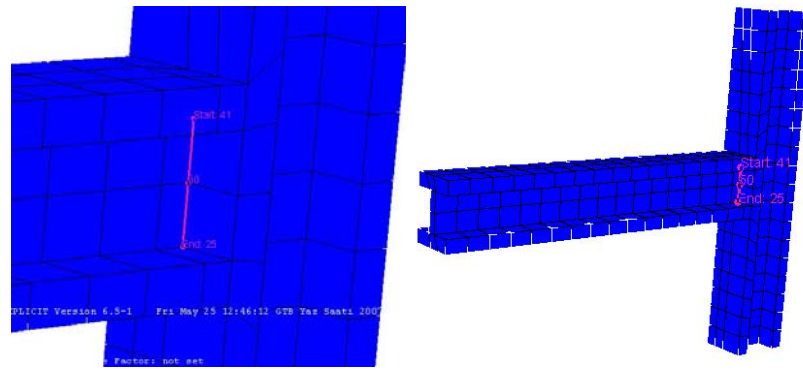
Analizlerin ardından bu bölgelerde oluşan artık gerilme değerlerinin diğer bölgelere oranla daha yüksek seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, literatürdeki çalışmalarda, özellikle çelik yapılarda beklenmeyen ani çökmelerinin yaşandığı 1994 Los Angeles ve 1995 Kobe depremlerinin ardından yapılan deprem sonrası incelemeler çatlağın bu bölgelerden ilerlediği ve yapının çökmesine sebep olduğunu göstermektedir.

5.2.2.1 Yol I



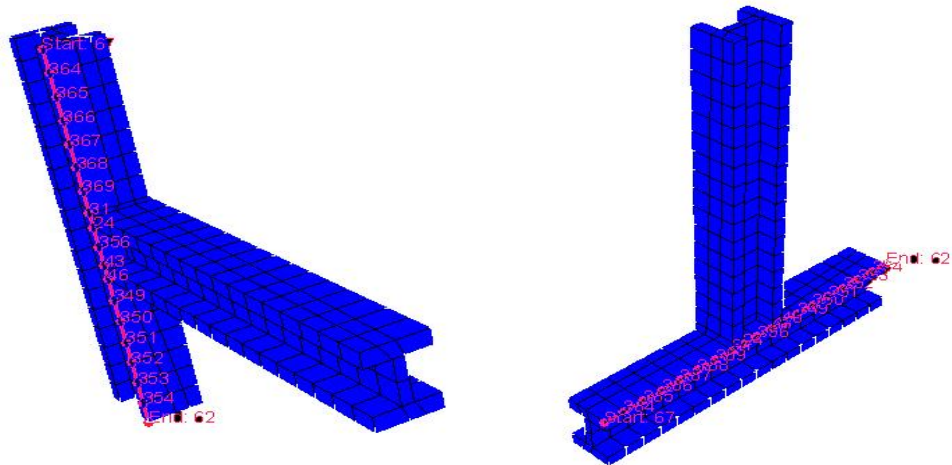
Şekil 5.7 Yol I.

5.2.2.2 Yol II



Şekil 5.8 Yol II.

5.2.2.3 Yol III

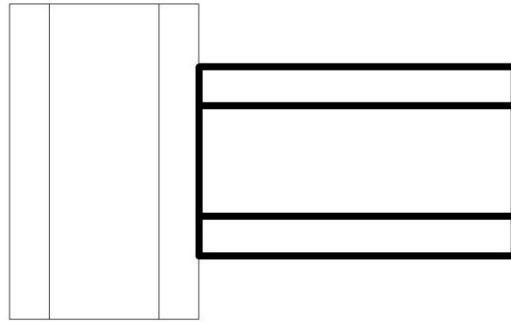


Şekil 5.9 Yol III.

5.3 Kolon-kiriş bağlantı modelleri

5.3.1 Standart Bağlantı (Model A)

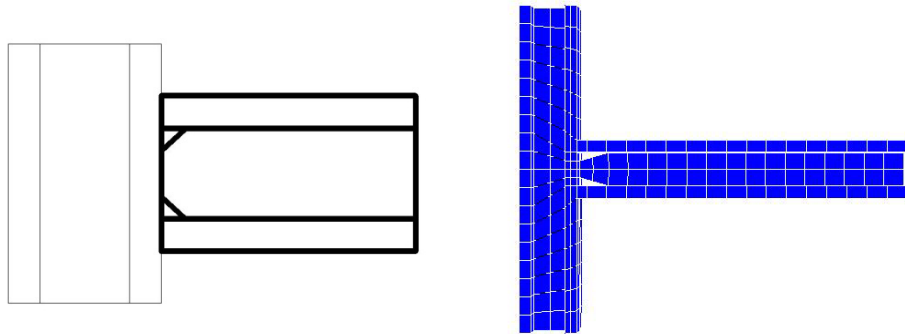
Bu tezde, üç farklı bağlantı modeli incelenmiş ve yapısal bütünlük açısından en uygun bağlantı belirlenmeye çalışılmıştır. İlk bağlantı tipi Model A olarak tanımlanmıştır. Bahsedilen standart bağlantı modeli Şekil 5.10' da görülebilir.



Şekil 5.10 Model A.

5.3.2 Üçgen Kaynak Boşluklu Bağlantı (Model B)

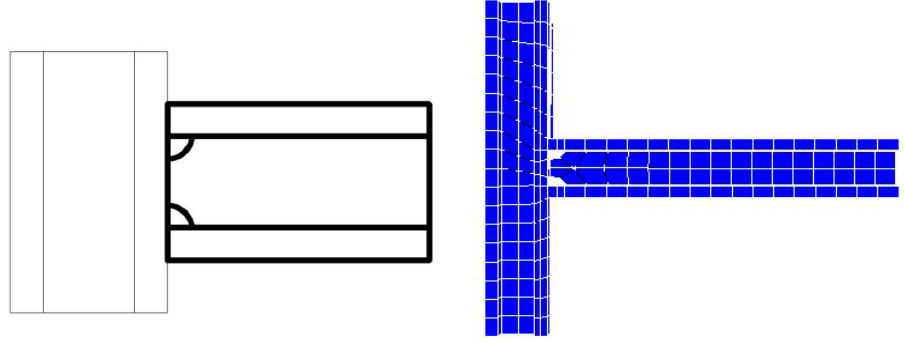
Bu bağlantı modelinde üçgen şeklinde kaynak iş boşluğu bırakılmıştır. Üçgen kaynak boşluklu kolon-kiriş bağlantı modeli Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.11 Model B.

5.3.3 Dairesel Kaynak Boşluklu Bağlantı (Model C)

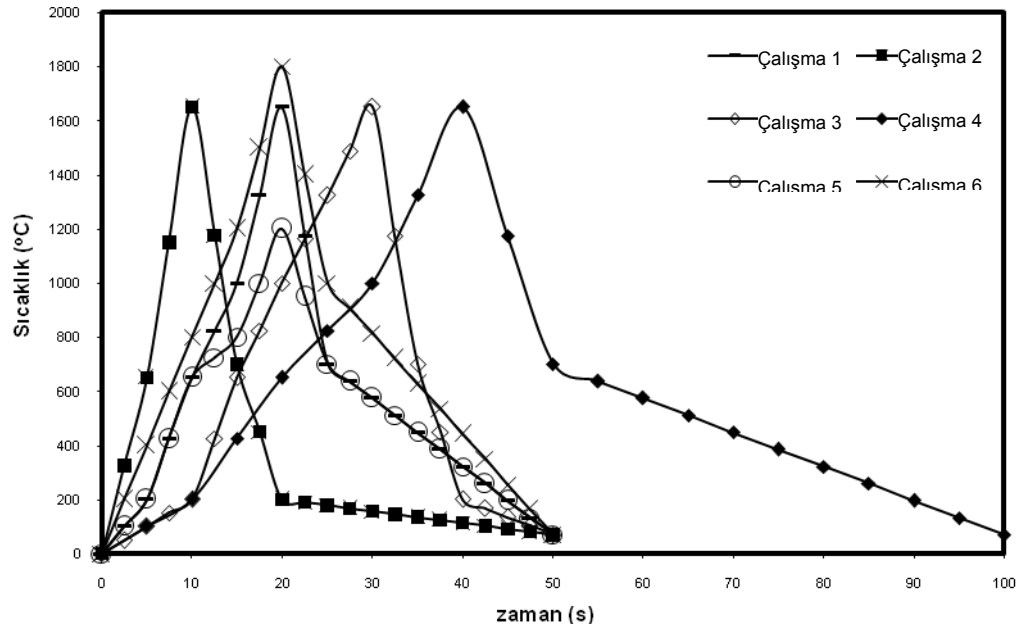
Dairesel kaynak boşluklu kolon-kiriş bağlantı modeli Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12 Model C.

5.4 Sıcaklık Zaman Grafiği

Doğrusal olmayan üç boyutlu sonlu elemanlar analizleri Şekil 5.13’ te gösterilen çeşitli ısıl çevrimler için gerçekleştirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi altı farklı durum için analiz yapılmış ve bunların artık gerilmeye etkileri araştırılmıştır.

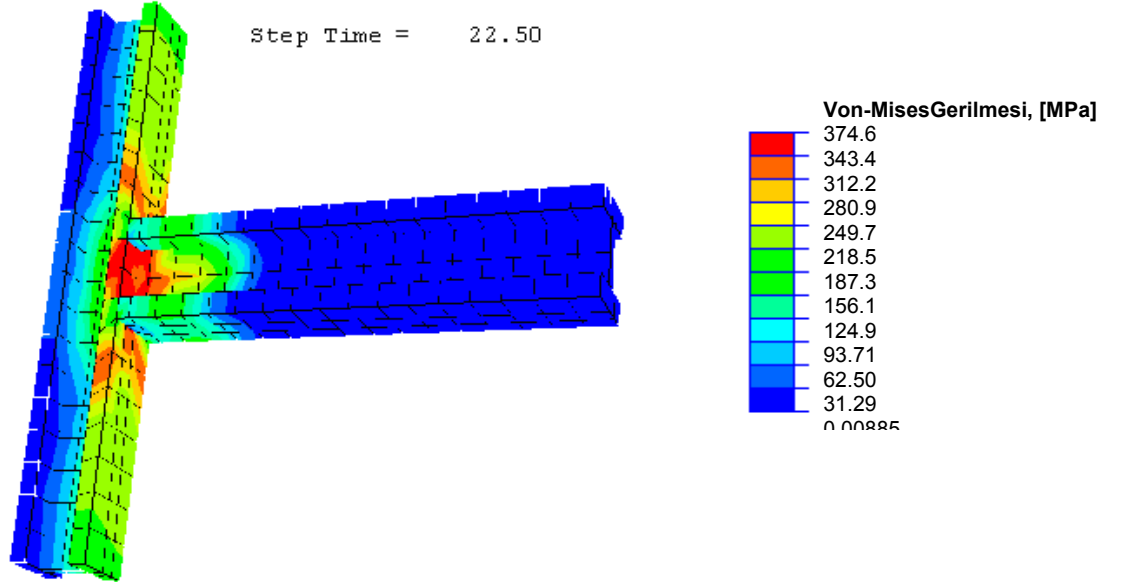


Şekil 5.13 Isıl çevrimler.

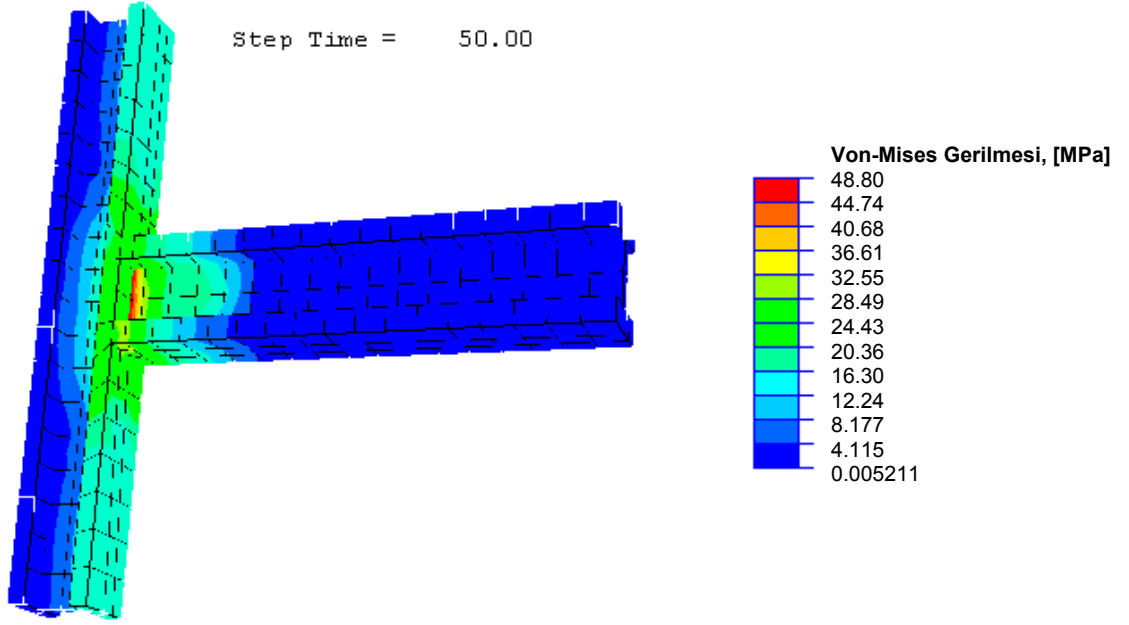
5.5 Sayısal Sonuçlar

Öncelikle üç farklı model için Çalışma 1 koşullarında sonlu elemanlar analizleri ABAQUS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.14 ve 5.15, Çalışma 1 koşullarında $t=22.5$ s ve $t=50$ s' de kolon-kiriş bağlantısı üzerinde oluşan artık gerilme dağılımını göstermektedir.

Şekil 5.14, en büyük gerilmelerin meydana geldiği $t=22.5$ s' deki kolon-kiriş bağlantısı üzerinde oluşan gerilme dağılımını göstermektedir. İki şekilde de görüldüğü gibi en büyük artık gerilmeler kaynak bölgesinde, kirişin flanş bölgelerinde ve bağlantı bölgesinin kolon ön flanş yüzeyinde oluşmaktadır. Bu bölgelerdeki artık gerilmeler oldukça kritik olup bir deprem anında gevrek kırılmayı tetikleyebilmektedirler. 1994 Los Angeles ve 1995 Kobe depremleri sonrasında çöken çelik yapılarda yıkıma bu bölgelerde gevrek kırılmaların neden olduğu belirlenmiştir. Artık gerilmeler üç boyutlu gerilme hali oluşturduğundan bağlantının istenen plastik deformasyon kapasitesini azaltmaktadır.

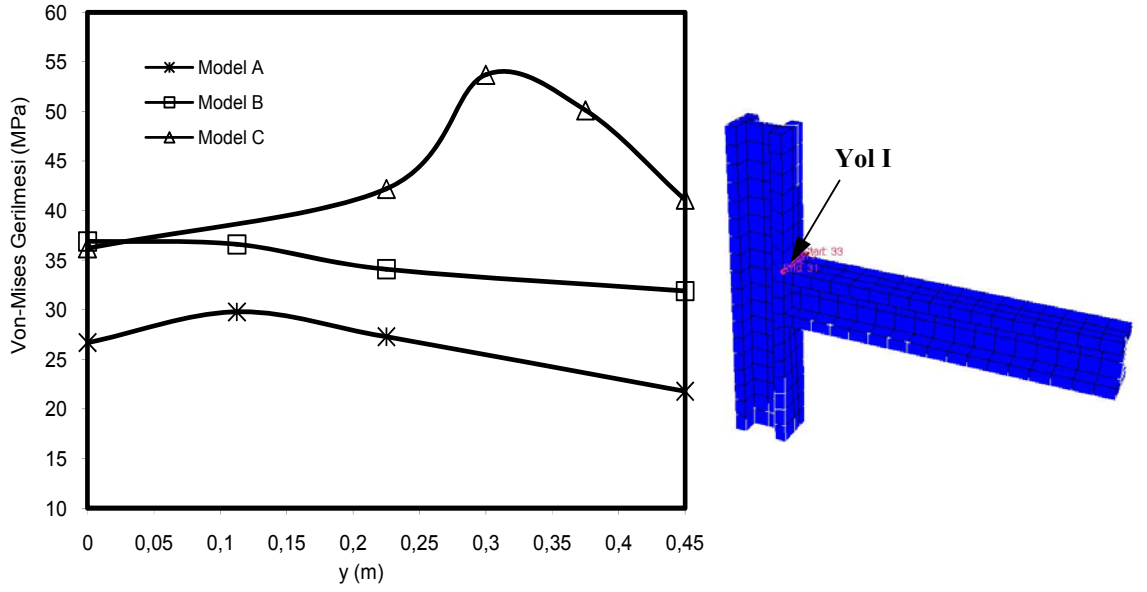


Şekil 5.14 $t=22.5$ s' deki von-Mises gerilme dağılımı.



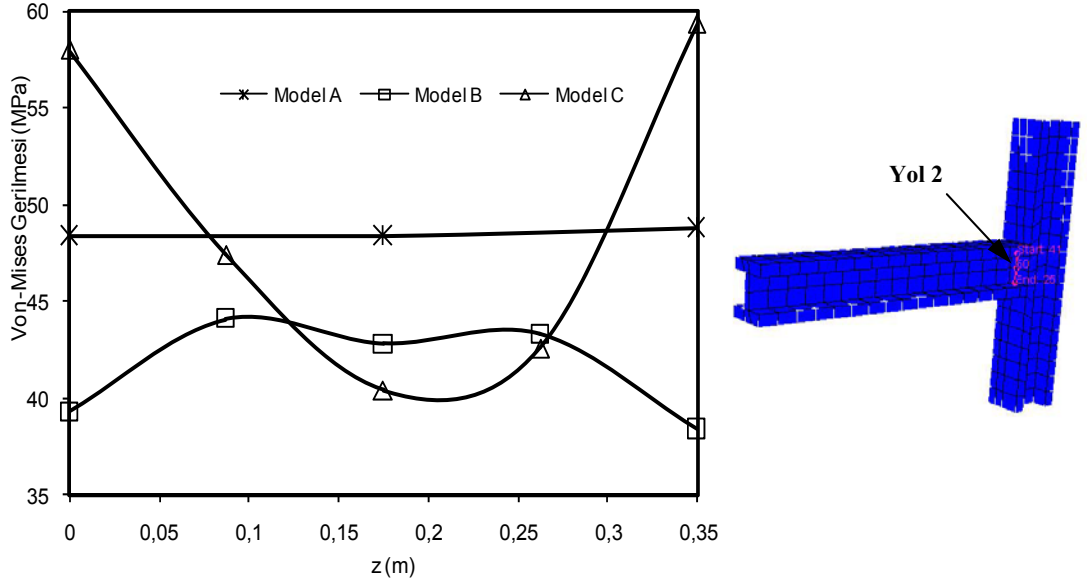
Şekil 5.15 $t=50$ s' deki von-Mises gerilme dağılımı.

Artık gerilme teorisine uygun olarak tüm parçalarda, kaynak dolgusunun üst ve orta yüzeylerinde yüksek artık gerilmeler oluşmakta ve kaynak metali ile esas metal birleşme yüzeylerinde ise çeki gerilmelerinden bası gerilmelerine ani yön değişimleri oluşmaktadır. Kaynak kökü ve kaynak dolgusu orta yüzeylerinde yüksek artık gerilmeler oluşmaktadır. Aynı şekilde kaynak metali ile esas metal birleşme yüzeylerinde artık gerilme değerlerinin yüksek olduğu saptanmaktadır. En büyük şekil değiştirmeleri esas metal ile kaynak metali arasındaki geçiş bölgelerinde ve kaynak dikişinin üst kısmı ile kaynak kökünde oluşmaktadır. Artık gerilmelerin yapısı parçanın geometrisine ve kaynak bölgesine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.



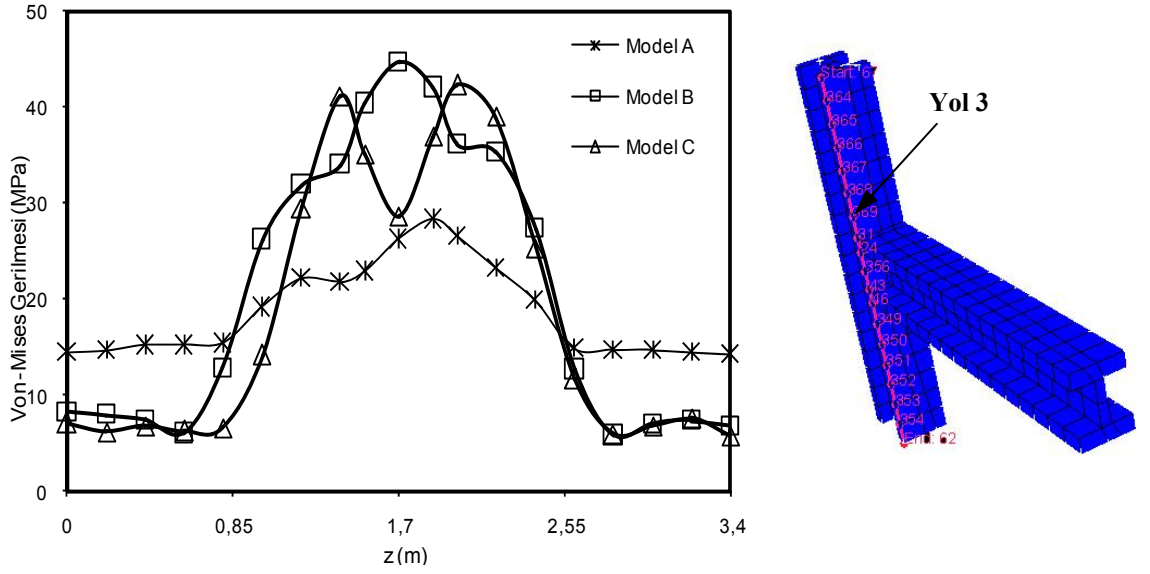
Şekil 5.16 Soğuma sonunda Yol I' deki von-Mises gerilmeleri.

Şekil 5.16 Çalışma 1' deki soğuma sonunda kaynak yolu olarak seçilen Yol I' de meydana gelen gerilme değişimini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi en düşük gerilmeler Model A olarak tanımlanan kaynak iş boşluğu bulunmayan bağlantıda oluşmuş ve yol boyunca hemen hemen sabit değerde kalmıştır. Model A' da $x=0.1$ m ve 0.15 m noktalarında en yüksek gerilmelere ulaşılmış; yani iç bölgelerde artık gerilme değerleri artmıştır. Model B' de bırakılan kaynak boşluğundan dolayı artık gerilmelerde artış saptanmıştır. Model C' de kaynak iş boşluğu geometrik olarak aynı noktadan başladığı için bu noktalarda gerilme değerleri aynı olmasına karşın iç bölgelerdeki gerilme değeri Model B' ye nazaran daha yüksektir. Bunu sebebi iş boşluğunun daha geniş olmasıdır. Standart bağlantıda oluşan artık gerilmeler yaklaşık 25 MPa değerinde iken dairesel kaynak iş boşluğunun kullanıldığı bağlantıda 55 MPa' a ulaşmaktadır. Bu durum bağlantının plastik deformasyon kapasitesini düşürebilmektedir. Sonuç olarak görülmüştür ki Yol I' de kaynak boşluğu bırakılmayan Model A' da oluşan artık gerilmeler, en düşük seviyelerde kalmış ve homojen bir gerilme durumu oluşmuştur. Model B' de bu bölgedeki gerilme dağılımı yaklaşık homojen olup buna karşın artık gerilmelerde geometrik yapı farkından ötürü artış saptanmaktadır.



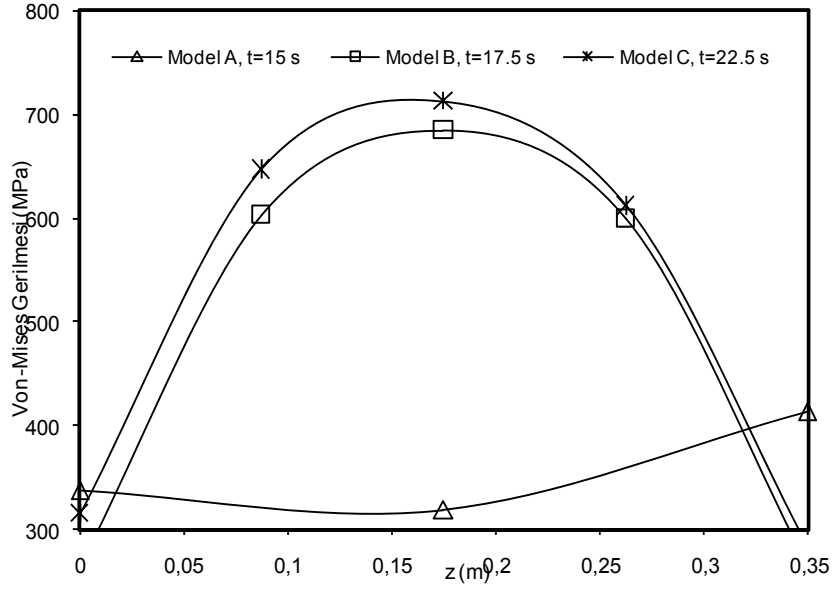
Şekil 5.17 Soğuma sonunda Yol II' deki von-Mises gerilmeleri.

Şekil 5.17' de tüm bağlantıların Yol II için seçilen koordinatlarında soğuma sonundaki artık gerilmelerin değişimi görülmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi Model A' nın uç noktalarında, kaynak bölgesine yakınlığından dolayı çok az bir gerilme artışı olmakta; ancak incelenen hattın genelinde sabit bir gerilme dağılımı görülmektedir. Model B' de ise uç noktalardaki gerilme değerlerindeki düşüş kaynak iş boşluklarında meydana gelen ısı transferinden kaynaklanmaktadır. Ancak, hattın genelinde homojen olmayan bir dağılım görülmekte, $x=0.1$ m ve $x=0.25$ m olduğu noktalarda gerilmelerde artış gözlemlenmekte ve bu gerilme kirisin orta noktasına doğru azalmaktadır. Model C' de ise gerilme dağılımı kararsızlık göstermektedir. Yol II' deki gerilmeler incelendiğinde Model A' daki homojen gerilme dağılımı ve Model B' deki düşük gerilme değerleri göz önünde bulundurulduğunda bu bağlantı tipleri kararsız yapı gösteren Model C' ye tercih edilmelidir.



Şekil 5.18 Soğuma sonunda Yol III' teki von-Mises gerilmeleri.

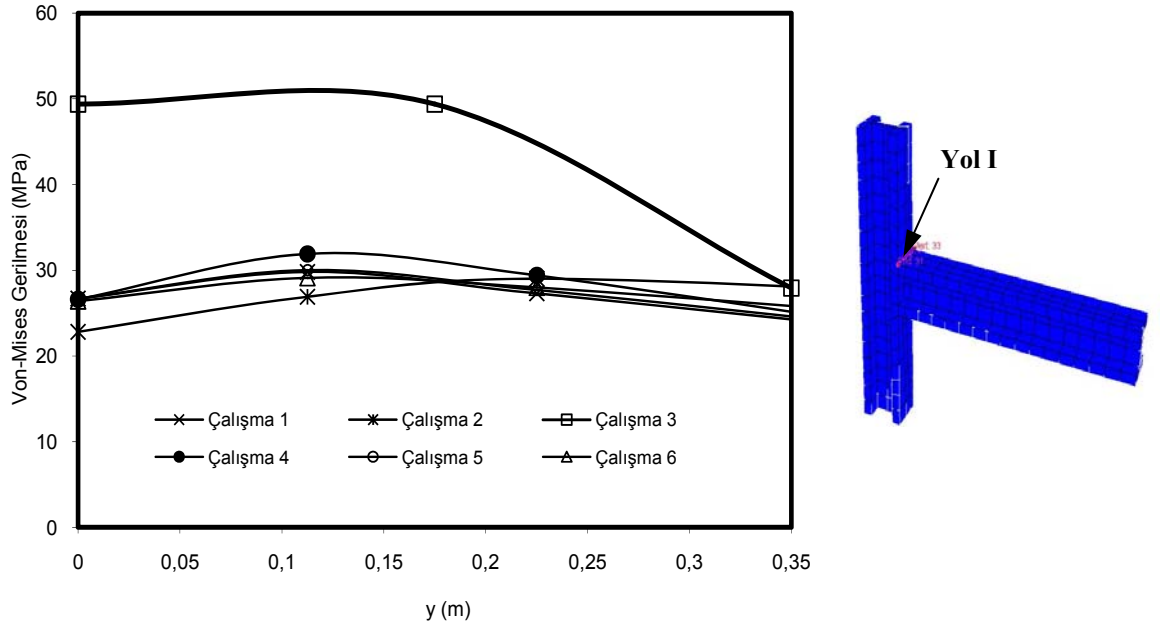
Şekil 5.18' de kolon üzerinde yer alan Yol III için Model A' da artık gerilmelerin orta noktaya doğru arttığı ve kaynağın etkisinin az olduğu bölgelere doğru gerilmelerde azalma olduğu gözlenmektedir. Üçgen kaynak boşluklu bağlantı şekli olan Model B' de ise gerilmeler kaynak bölgesi olan orta noktaya doğru artmakta ve gerilme dağılımı orta noktada maksimum olmaktadır. Dairesel kaynak iş boşluklu bağlantı olan Model C' de kaynak bölgesinde en büyük gerilmeler oluşmakta; Model B' nin aksine orta noktaya doğru azalmaktadır. Model B ve C' nin kolonları üzerinde kaynak bölgesinden uzaklaştıkça gerilmeler Model A' ya göre daha düşük değerlerde olmasına karşılık hattın geneli incelendiğinde bağlantı şekli olarak Model A' nın kullanımı daha uygun bir seçim olacaktır.



Şekil 5.19 Yol II' de oluşan en büyük von-Mises gerilmeleri.

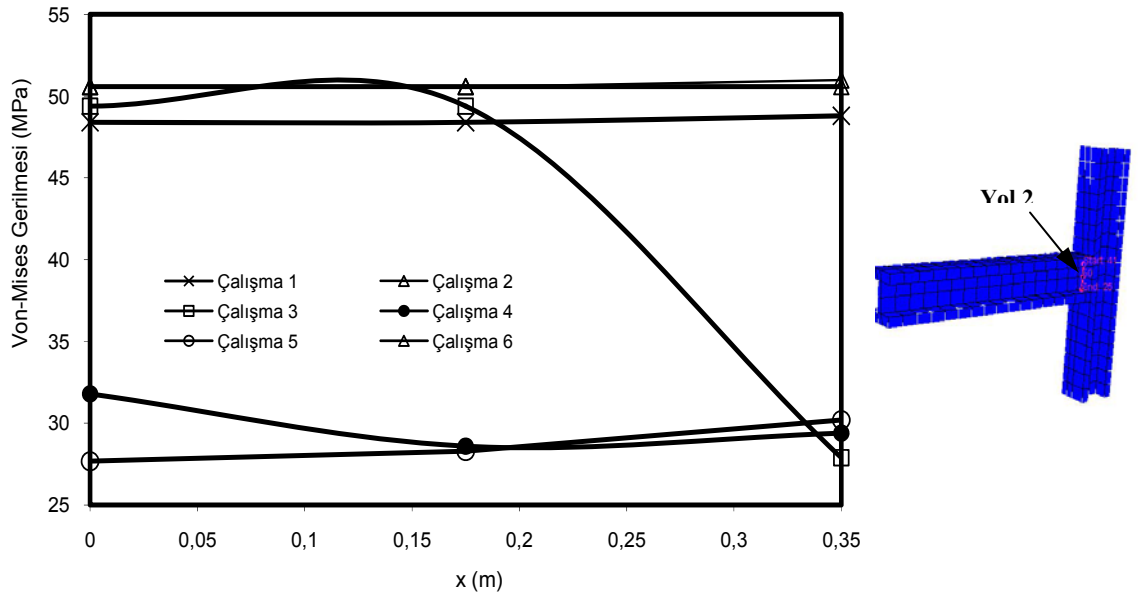
Şekil 5.19, Yol II' deki en büyük gerilme dağılımını ve bu gerilmelerin oluştuğu anları göstermektedir. Maksimum von-Mises gerilmeleri Model A, Model B ve Model C' de geometrik yapıdaki farklılıklardan ötürü farklı zaman dilimlerinde ortaya çıkmaktadır. Kaynak boşluğu olmayan parça ilk önce en büyük gerilme değerine ulaşmış ve bu modelde hat boyunca yaklaşık homojen gerilme dağılımı elde edilmiştir. Model B ve Model C' de ise gerilme değerleri birbirine yakın olup incelenen Yol II boyunca uç noktada 300 MPa civarında iken orta noktalarda 700 MPa' a kadar yükselmektedir. Kaynak uç noktalarında ısı transferinden ötürü gerilme değerleri düşük, orta bölgelerde oldukça yüksektir.

Analizler sonucunda Çalışma 1 koşullarında incelenen üç tip modelden en uygununun Model A olduğu anlaşılmaktadır. Isıl çevrimin etkilerinin ortaya konabilmesi amacıyla altı farklı kaynak simülasyonu Model A' ya uygulanmak suretiyle yapılmıştır.



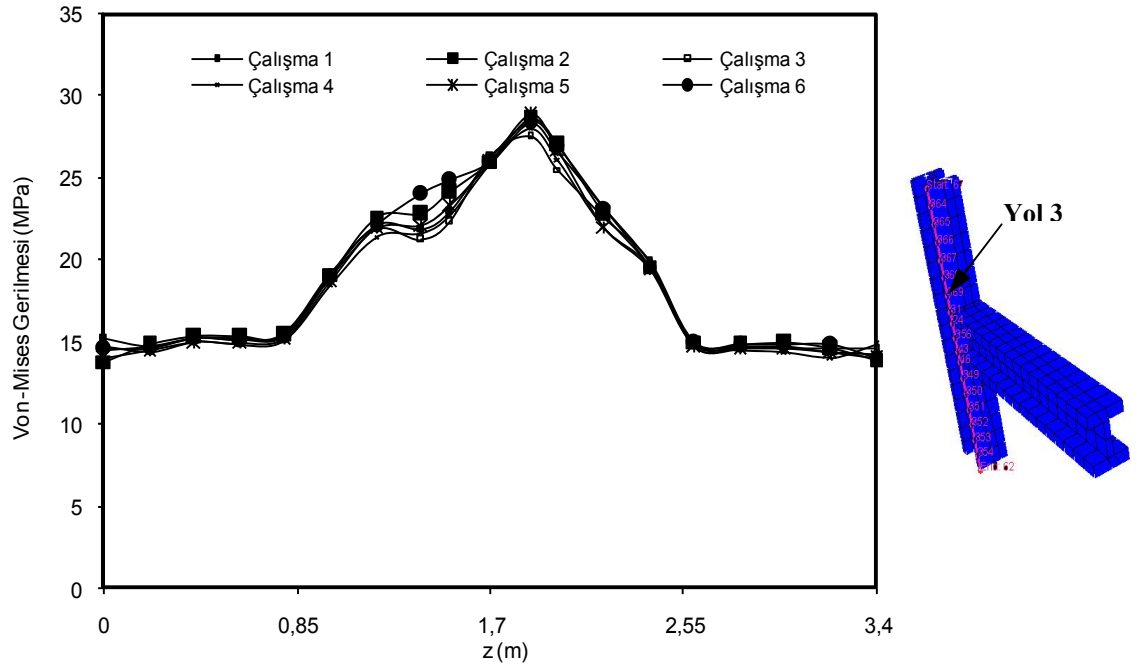
Şekil 5.20 Yol I' de soğuma sonunda oluşan artık gerilme dağılımı.

Şekil 5.20, Yol I' de oluşan artık gerilmelerin soğuma hızına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Soğuma başlangıcında malzemenin büzülmeğe karşı gösterdiği direnç, kaynak metaline yakın bölgelerde y eksenini boyunca yüksek mertebelerde artık gerilmelere neden olmaktadır. y-eksenini boyunca incelenen artık gerilmelerin, kaynak dolgusu ve kaynak metalini ile esas metal birleşme yüzeylerinde yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi Yol I' deki en büyük gerilmeler Çalışma 3 koşullarında meydana gelmektedir. Çalışma 3, soğuma zamanının en kısa olduğu durumdur. Diğer tüm ısıl çevrim durumları için gerilme değerleri birbirine yakın değerlerdedir.



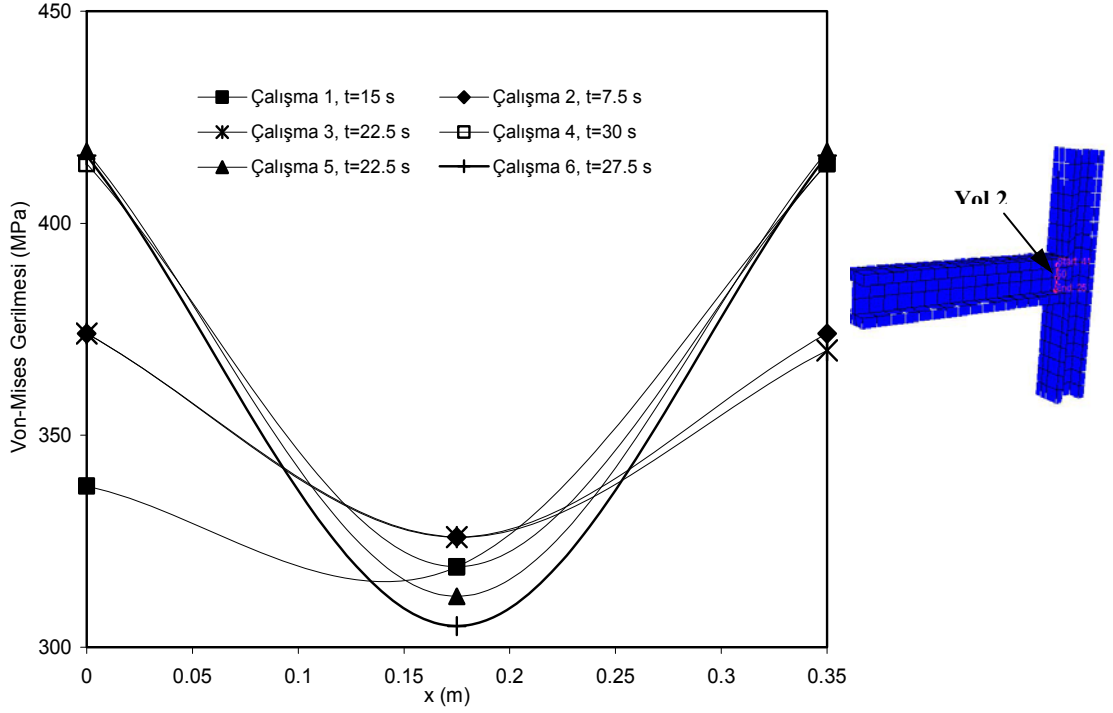
Şekil 5.21 Yol II' de soğuma sonunda oluşan artık gerilme dağılımı.

Şekil 5.21, Yol II' de oluşan farklı soğuma hızlarındaki artık gerilme değişimini vermektedir. Şekilde görüldüğü gibi en düşük artık gerilme durumu Çalışma 4 ve Çalışma 5' te meydana gelmekte ve yaklaşık 30 MPa civarında olan bu gerilmelerin değerleri hat boyunca çok fazla değişmemektedir. Çalışma 4, 50 s' de maksimum sıcaklığa (1650°C) ulaşıldığı ve 60 s soğuma süresinin olduğu durumdur. Çalışma 5 ise maksimum sıcaklığın 1200 °C olduğu durumdur.



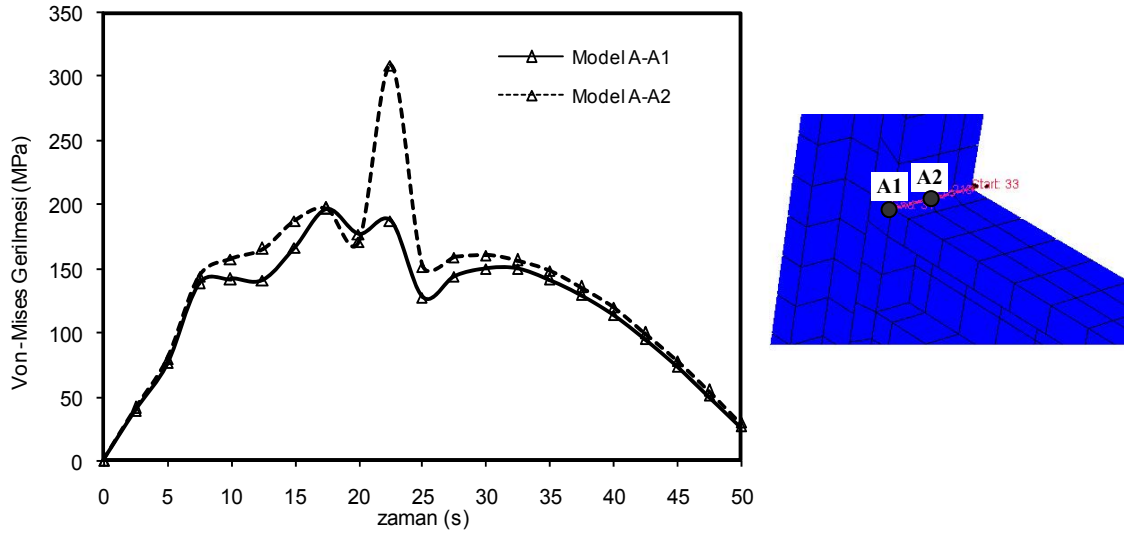
Şekil 5.22 Yol III' te soğuma sonunda oluşan artık gerilme dağılımı.

Şekil 5.22 tüm kaynak koşulları için Yol III' te meydana gelen artık gerilme değişimini göstermektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi Yol III boyunca maksimum gerilmeler kaynak bölgesinde oluşmakta ve soğuma hızına bağlı olarak büyük değişim gözlenmemektedir.



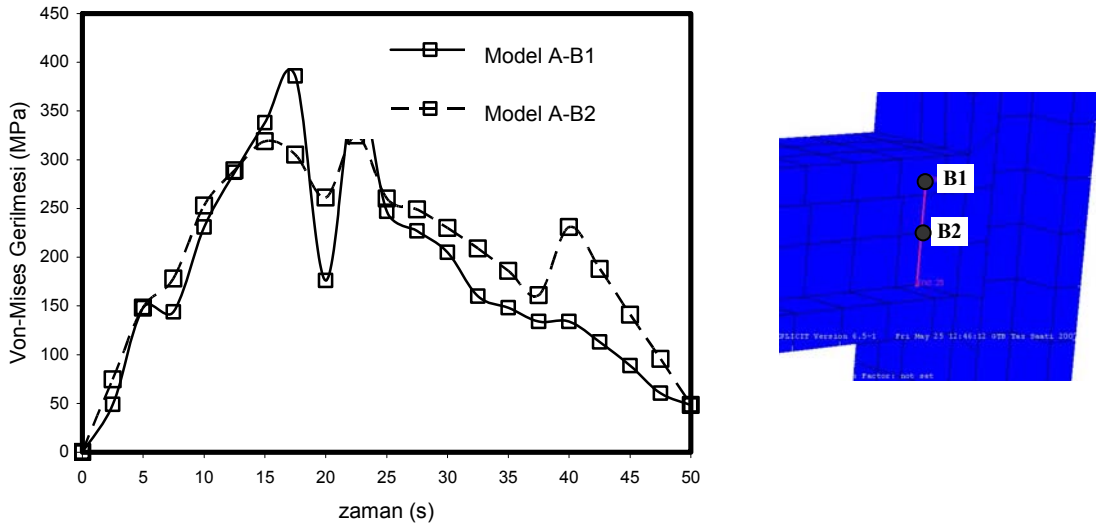
Şekil 5.23 Yol II' deki maksimum von-Mises gerilme değişimi ve oluştuğu anlar.

Şekil 5.23, kaynak işlemi esnasında oluşan en büyük von-Mises gerilmelerinin Yol II' deki değişimlerini ve hangi anlarda oluştuğunu göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi Çalışma 4, 5 ve 6 şartlarında gerilme değerleri kaynak bölgelerinde 415 MPa, Çalışma 1' de yolun başlangıcında 338 MPa, bitiminde 415 MPa, Çalışma 2 ve 3' te ise 374 MPa civarındadır. Kirişin orta bölgelerinde artık gerilme değerleri tüm kaynak şartlarında düşmektedir. Çalışma 2 ve 3 koşullarında hat boyunca oluşan gerilme farkının diğer çalışma durumlarına göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Daha önceki analizlerde gözlemlendiği gibi kaynak civarındaki noktalarda gerilme değerleri hattın orta noktasına göre daha yüksektir. Bunun nedeni ısı tesiri altında kalan kısımdaki sıcaklığın düzgün yayılamamasından kaynaklanmaktadır. Kaynak bölgesi, kaynak işlemi sırasında ergime sıcaklığına kadar ısı tesiri altında kalır. Ancak soğuma parçanın genelinde ve ısıtma hızına göre yavaş gerçekleşir. Bu nedenle kaynaklı parçalardaki soğuma dağılımı homojen olamaz ve kaynak işlemi boyunca yapısal değişiklikler ortaya çıkar.



Şekil 5.24 Yol I' deki artık gerilmelerin zamana bağlı değişimi.

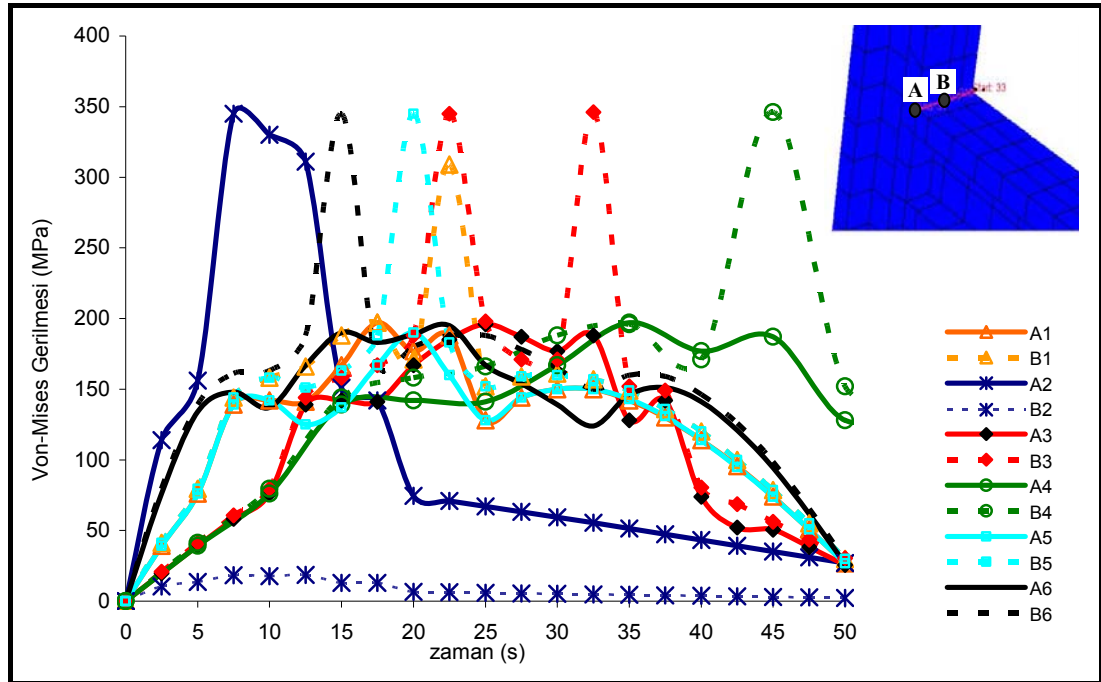
Şekil 5.24, Yol I' de bulunan iki farklı noktadaki artık gerilmelerin Çalışma 1 koşullarında zamana bağlı değişimini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi iç kısımlarda artık gerilmelerin değeri özellikle maksimum sıcaklığa ulaşıldığı $t=20$ s'yi geçtikten sonra oldukça yükselmektedir. A1 noktasında soğuma daha hızlı gerçekleştiği için burada oluşan gerilme değerleri daha düşüktür.



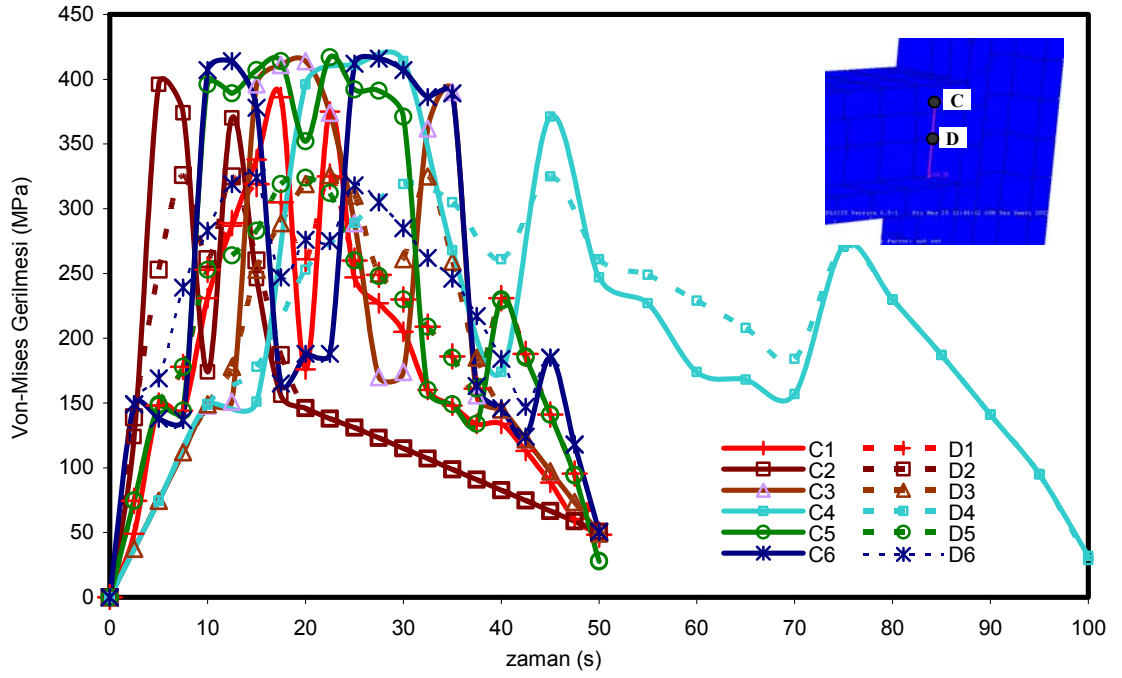
Şekil 5.25 Yol II' deki artık gerilmelerin zamana bağlı değişimi.

Şekil 5.25 ise Yol II' deki Çalışma 1 koşullarında ortaya çıkan artık gerilme değişimini göstermektedir. Burada ise özellikle kaynak bölgesi sınırı olan B1 noktasında gerilme değerleri bu yol üzerindeki en büyük değerlerine ulaşmaktadır.

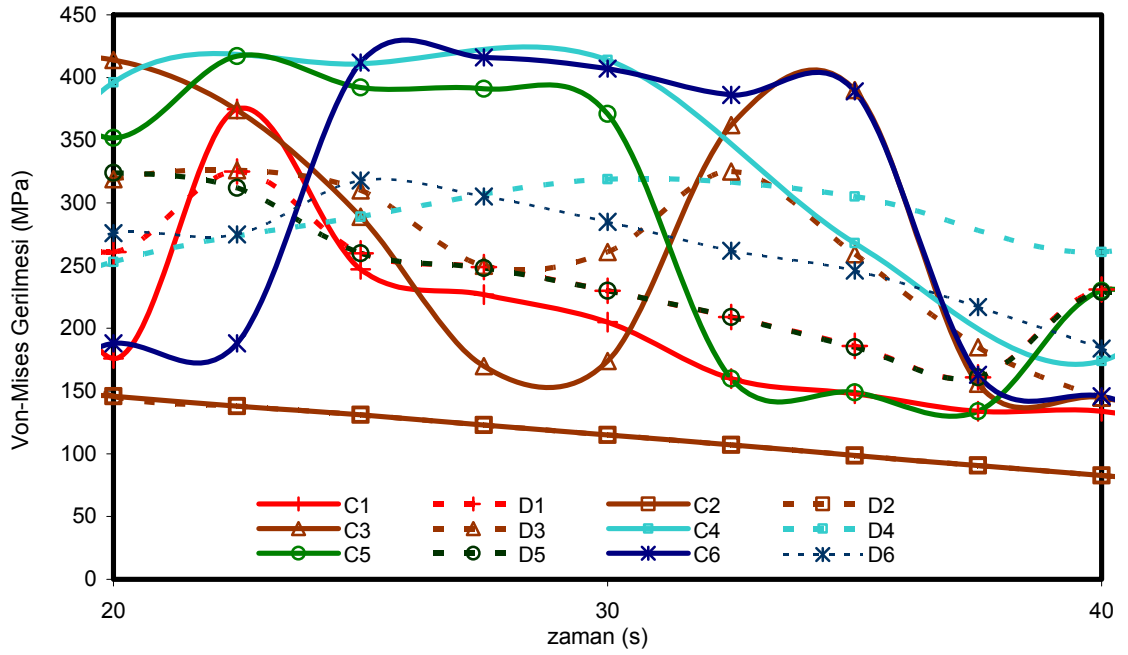
Şekil 5.26' da tüm ısıl çevrimlerin Yol I' de meydana gelen artık gerilmelere etkisini görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi en küçük gerilmeler soğuma hızının en yavaş olduğu, maksimum sıcaklığa en hızlı ulaşıldığı Çalışma 2' de meydana gelmektedir. Buna karşılık A noktasında tüm çevrimler için gerilme değerleri daha düşük seviyelerde iken sadece Çalışma 2' de A noktasındaki gerilme maksimum değerine ulaşır. Ancak soğuma sonunda artık gerilme değerleri diğerlerinden daha düşük seviyelerdedir.



Şekil 5.26 Yol I' de oluşan gerilmelerin ısıl çevrime bağlı değişimi.



(a)



(b)

Şekil 5.27 Yol II' de oluşan gerilmelerin ısıll çevrime bağlı değişimi a – b.

Yol II' de oluşan gerilmelerin ısıll çevrime bağlı olarak zamana göre değişimi Şekil 5.27' de görülebilir. Şekil 5.27.b, 20 s–40 s zaman diliminde oluşan gerilmelerin daha detaylı gösterimi için çizilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi Yol II' deki en düşük gerilmeler Çalışma 2 koşullarında meydana gelmektedir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, farklı ısı çevrimler için kaynak işlemleri sonucunda ortaya çıkan artık gerilmelerin karakteristiği incelenmiştir. Kolon-kiriş bağlantısı üzerindeki üç kritik bölgede oluşan gerilme değerleri bağlantı tipi ve farklı kaynak şartları için karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan üç boyutlu sonlu elemanlar analizleri için ABAQUS programı kullanılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, kaynak bölgesi, kaynak işlemi sırasında yüksek sıcaklıklara maruz kalmakta ve soğuma parçanın genelinde ve ısıtma hızına göre yavaş gerçekleştiğinden kaynaklı parçalardaki soğuma dağılımı homojen olmamaktadır ve kaynak işlemi boyunca yapısal değişiklikler ortaya çıkmaktadır.

Kaynak dolgusunun üst ve orta yüzeylerinde çok yüksek artık gerilmelerin varlığı görülmektedir. Bu gerilmelerin mertebeleri ve incelenen hat boyunca oranları bağlantı tipine ve ısı çevrime bağlı olarak değişim göstermektedir. Kaynak iş boşlukları artık gerilme değerlerini artırmakta olup kolon-kiriş bağlantısının yapısal bütünlüğünü olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Yüksek gerilme değerleri gevrek kırılma olasılığını artırmakta ve plastik deformasyon kabiliyetini düşürmektedir. Soğuma hızının yavaş olması halinde artık gerilme değerleri düşmektedir.

Analiz sonuçları göstermektedir ki artık gerilmeleri etkileyen en önemli faktörler arasında parçanın geometrisi, kaynak tekniği, uygulanan maksimum sıcaklık ve bu sıcaklığın etkidiği zaman diliminde parçanın ısı tesiri altında bıraktığı bölgelerdir. Kaynak yapılan parçaların geometrisi ve kaynağın tesir ettiği bölgeler artık gerilmeleri etkilemektedir. Artık gerilmeler deneysel olarak tespit edilebilmesine karşılık çok uzun ve zahmetli deney düzenekleri gerektirmektedir.

Artık gerilmelerin önlenmesindeki en önemli etken homojen olmayan deformasyonların azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılmasıdır. Bunun için kaynak işlemi sonunda oluşan artık gerilmelerin önceden tahmin edilebilmesi ve

kaynak konstrüksiyonunun dizaynı son derece önemlidir. Bilgisayar programları ve sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla kaynak işlemi neticesinde yapılarda veya makine elemanlarında oluşabilecek artık gerilmelerin seviyeleri önceden belirlenebilir. Geline bu nokta ışığında yapılan kaynak konstrüksiyonu tasarımları çok daha emniyetli ve ayrıca daha az maliyetli olacaktır.

Kaynak sırasında kritik bölgede oluşan gerilme değerleri, birbirine kaynaklanan iki malzemenin kalınlık oranları arttıkça büyümektedir. Malzemelerin kalınlıkları birbirine yakın olduğunda gerilme değerlerinde önemli oranlarda azalma meydana gelmektedir. İlk kaynak noktasından başlayarak farklı geçiş bölge uzunlukları ile gerilme değerleri önemli derecede düşmekte ve belirli bir kaynak uzunluğundan sonra gerilmeler aynı değerlerde kalmaktadır. Aynı zamanda kritik bölgeden uzaklaştıkça farklı geçiş uzunlukları için gerilme değerlerinde önemli değişimler gözlenmemiştir.

Kaynak işlemi daha fazla pasoda gerçekleştirilebilir. Kaynağın geometrisi ve flanş kalınlıkları değiştirilerek analizler tekrarlanabilir ve performans, maliyet ve işçilik açısından en elverişli bağlantıyı oluşturacak tasarım araştırılabilir. Bağlantının dayanımını arttıran çapraz takviye, kaplama levhaları ve cephe takviye levhaları gibi elemanların kullanıldığı modeller tasarlanabilir. Bunlara ek olarak giriş kesiti plastik mafsal oluşumunu destekleyecek şekilde belirli bölgelerden daraltılarak zayıflatılabilir.

KAYNAKLAR

- Barsoum, Z. (2008). *Residual stress analysis and fatigue of multi-pass welded tubular structures*. Engineering Failure Analysis, Article In Press.
- Benli S. (2004). *Kaynaklı parçalarda oluşan artık gerilmelerin incelenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Bölümü, Konstrüksiyon – İmalat Anabilim Dalı,
- Choa, J.R., Lee, B.Y. Moon Y.H. Ve Van Tyne, C.J. (2004). Investigation of residual stress and post weld heat treatment of multi-pass welds by finite element method and experiments. *Journal of Materials Processing Technology*. (1) 155–156, 1690–1695.
- Degarmo E, Black J, Kohser A. Wayne A, (2003). *Materials and processes in manufacturing*. (9nd. Ed.). Germany Wiley-Vch
- Deng D. ve Murakawa, H. (2005). *Numerical simulation of temperature field and residual stress in multi-pass welds in stainless steel pipe and comparison with experimental measurements*. 22 March 2005, <http://www.elsevier.com/>
- Elektrot kaynağının yay genişliği ve elektrot hızıyla ilgisi American Welding Society. (b.t.) 20.06.2007 <http://www.aws.org/w/a/>.
- Francis, D. (2002). *Welding simulations of aluminum alloy joints by finite element analysis*. Thesis Submitted To The Faculty Of The Virginia Polytechnic Institute And State University In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science In Aerospace Engineering.
- Jiang, W.C., Gong, J.M., Tang, J.Q., Chen, H Ve Tu, S.T. (2007). *3-D finite element analysis of the effect of welding residual stress on hydrogen diffusion in hydrogen contained environment*. Acta Metall. Sin. (Engl. Lett.). (Vol. 20 No. 5), 347-354.

- Matos, C.G. ve Dodds Jr, R.H. (2000). Modeling the effects of residual stresses on defects in welds of steel frame. *Connections Engineering Structures*. (22), 1103–1120.
- Kılıç ve Yiğit, (2004). *Isı Transferi*. (2. Baskı). Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü.
- Kocabıçak, Ü. (2000). *Makina tasarımında sonlu elemanlar yöntemi*. (2. Baskı). Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü.
- Lee, C.H. ve Chang, K.H. (2007). Numerical analysis of residual stresses in welds of similar. *Dissimilar Steel Weldments Under Superimposed Tensile Loads Computational Materials Science*, (40), 548–556.
- Matos C.G ve Dodds Jr R.H. (1999). *Modeling the effects of residual stresses on defects in welds of steel frame connections, received*. 17 February 1999, <http://www.elsevier.com/locate/engstruct/>.
- Örtülü Elektrot Kaynağı. (b.t.) 15.02.2007 <http://www.askaynak.com.tr/>.
- Tenga, T.L &, Lin C.C. (1998). *Effect of welding conditions on residual stresses due to butt welds*. 15 August 1998, <http://www.elsevier.com/>.
- Vural, M. (2003). *Materials and processes in manufacturing*. (9nd ed.). İstanbul, Wiley
- Vural M. ve Yalçın H. (2003). Finite element analysis of welded steel structures under earthquake loading. *Fifth National Conference on Earthquake Engineering. Istanbul, Turkey* (No: At-122), 1-5.
- Wu, C.S., Zhang, M.X., Li, K.H. Ve Zhang, Y.M. (2007) numerical analysis of double-electrode gas metal arc welding process. *Computational Materials Science*. (39), 416–423.

EKLER - ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Metal yüzeyinin gerçek durumu	5
Şekil 2.2 Elektrot kaynağının yay genişliği ve elektrot hızıyla ilgisi. A-Doğru kaynak yayları ve hızı; B- Düşük amper; C- Yüksek amper; D- Kısa kaynak yayları; E- Geniş kaynak yayları; F- Düşük kaynak hızı; G- Yüksek kaynak hızı (American Welding Society, AWS)	5
Şekil 2.3 Kaynağın genel koşulları	6
Şekil 2.4 Krater çatlağı	7
Şekil 2.5 Çatlak çeşitleri	7
Şekil 2.6 Eksik dolgu a-b-c	8
Şekil 2.7 Yetersiz ergime	8
Şekil 2.8 Yetersiz ergime a - b - c	8
Şekil 2.9 Çarpılma.....	9
Şekil 2.10 Gözenek	9
Şekil 2.11 Kaynak dikişinde taşma	9
Şekil 2.12 Kaynak olukları.....	9
Şekil 2.13 Cüruf kalıntılarının.....	9
Şekil 2.14 Kaynak dikiş türleri - 1	10
Şekil 2.15 Kaynak dikiş türleri - 2	10
Şekil 2.16 Köşe dikişleri	10
Şekil 2.17 Ağız hazırlığı	11
Şekil 2.18 Birleşim türlerinin oluşturulmasında kullanılan çeşitli yöntemler a-b-c-d-e-f.....	12
Şekil 2.19 Isı tesiri altındaki bölge grafiksel	13
Şekil 2.20 Isı tesiri altındaki bölge mikroskobik	14
Şekil 2.21 Eritme kaynağının yapısı ve ısı tesiri altındaki bölge.....	14
Şekil 2.22 Bir Eritme kaynağında tane yapısı ve mikroskobik bölgeler (AWS)	14
Şekil 3.1 Kaynak sonrası çarpılmalar a-b-c	16
Şekil 3.2 Dikişteki enine (T) ve boyuna (L) büzülmeden ortaya çıkan gerilmeler....	17
Şekil 3.3 Dikişteki enine, boyuna ve açısız çarpılmalar	18

Şekil 3.4 Dikiş doğrultusunda çekme.....	19
Şekil 3.5 Ergitme kaynaklı alın dikişinde boylamasına artık gerilmelerin şematik görünüşü ve artık gerilmelerin yönleri	20
Şekil 3.6 Alevle doğrultmanın şematik gösterimi.....	21
Şekil 3.7 Ters yönde ön çarpılma vererek çift taraflı kaynakla çarpılmaların önlenmesi.....	21
Şekil 4.1 Çözüm bölgesinin üçgen elemanlara bölünmesi.....	24
Şekil 4.2 Bir üçgen sonlu eleman ve düğüm noktaları.	24
Şekil 4.3 Kartezyen koordinat sisteminde kontrol hacmi	28
Şekil 5.1 Çeliğin sıcaklığa bağlı mekanik özellikleri.....	31
Şekil 5.2 EN normlarına uygun geniş başlıklı giriş	31
Şekil 5.3 Kaynaklı kolon-kiriş bağlantısı ve üç boyutlu katı modeli.....	32
Şekil 5.4 Sınır koşulları.....	33
Şekil 5.5 Çözüm ağı (mesh).....	33
Şekil 5.6 Yol I, Yol II ve Yol III.....	34
Şekil 5.7 Yol I.....	35
Şekil 5.8 Yol II.....	35
Şekil 5.9 Yol III	35
Şekil 5.10 Model A	36
Şekil 5.11 Model B	36
Şekil 5.12 Model C	37
Şekil 5.13 Isıl çevrimler	37
Şekil 5.14 $t=22.5$ s' deki von-Mises gerilme dağılımı.....	38
Şekil 5.15 $t =50$ s' deki von-Mises gerilme dağılımı.....	39
Şekil 5.16 Soğuma sonunda Yol I' deki von-Mises gerilmeleri	40
Şekil 5.17 Soğuma sonunda Yol II' deki von-Mises gerilmeleri.....	41
Şekil 5.18 Soğuma sonunda Yol III' teki von-Mises gerilmeleri	42
Şekil 5.19 Yol II' de oluşan en büyük von-Mises gerilmeleri	43
Şekil 5.20 Yol I' de soğuma sonunda oluşan artık gerilme dağılımı.....	44
Şekil 5.21 Yol II' de soğuma sonunda oluşan artık gerilme dağılımı.....	45
Şekil 5.22 Yol III' te soğuma sonunda oluşan artık gerilme dağılımı	46
Şekil 5.23 Yol II' deki maksimum von-Mises gerilme değişimi ve oluştuğu anlar ..	47

Şekil 5.24 Yol I' deki artık gerilmelerin zamana bağlı değişimi	48
Şekil 5.25 Yol II' deki artık gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	48
Şekil 5.26 Yol I' de oluşan gerilmelerin ısı çevrime bağlı değişimi.....	49
Şekil 5.27 Yol II' de oluşan gerilmelerin ısı çevrime bağlı değişimi a-b	50