

# KORNİŞ USULÜ TOZALTI KAYNAĞI İLE KAYNAK EDİLEN St37 MALZEMESİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE TERMAL ANALİZİ

*Ramadan SONCU\**

*Nurettin YAVUZ\*\**

*Rukiye ERTAN\*\**

**Özet:** Bu çalışmada, günümüzde yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden biri olan tozaltı kaynak işleminin termal analizi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan malzeme St37 olup, tozaltı kaynak yöntemi korniş pozisyonunda uygulanmıştır. Parça içerisindeki sıcaklık dağılımları ANSYS paket programı kullanılarak iki boyutlu geometride incelenmiştir. Parçanın kaynak bölgesi, ısı etkisi altında kalan bölge ve esas metal bölgesini kapsayan toplam altı farklı noktadaki zamana bağlı sıcaklık değişimini gösteren eğriler elde edilmiştir. Böylece korniş pozisyonunda tozaltı kaynağı ile kaynak edilen St37 malzemesi bir parçanın içerisindeki termal dağılımı zamana bağlı olarak elde edilmiştir. Dolayısıyla sıcaklıktan fazla etkilenen bölgelerde malzeme iç yapısında daha yüksek artık gerilmeler ve distorsiyonlar olacağı düşünüldükçe, bu bölgeler bu çalışma ile önceden tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Tozaltı ark kaynağı, St37, Termal analiz, Sonlu elemanlar yöntemi.

## Thermal Analysis with Ansys of the St 37 Material Welded with Submerged Arc Welding in Cornice Position

**Abstract:** In this study, the thermal analysis of the submerged arc welding operation one of the most widespread utilised joining process was investigated using the finite elements method. The material used in this study is St37 and the submerged arc welding was applied in cornice position. The changing of the temperature in material was examined in the two dimensional geometry with using ANSYS software program. The curves show the temperature changing related to the time totally from six different points including the welding zone, the zone under of the thermal effects and the base metal zone of the material was obtained. Thus thermal changing related to the time in a part of St37 material welded with submerged arc welding in cornice position was achieved. Consequently, considered that the residual stresses and the distortion could be higher at the structure of material in the zones affected excessively from the temperature, so these zones determined previously with this study.

**Key Words:** Submerged arc welding, St37, Heat effects, Finite element method.

## 1. GİRİŞ

Kaynak işlemi, günümüzde en yaygın olarak kullanılan birleştirme yöntemlerinden birisidir. Bu nedenle, kaynak edilmiş parçaların emniyetinin sağlanması birleştirmelerin kullanıldığı tüm yapının güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. (Polat, 2003)

Wen ve arkadaşlarının (2001) çeşitli kaynaklardan bildirdiğine göre kaynak işlemi, özellikle de ark kaynağı; plazma-metal etkileşimleri, metal-gaz/toz reaksiyonları, kaynak banyosu akışkan akışı, elektromanyetik hareket, faz dönüşümü, ısı transferi, kaynak metali kimyası, ısının tesiri altında kalan bölge mikroyapısı, artık gerilmeler, mekanik özellikler vb. gibi anlaşılması zor fiziksel, kimyasal ve mekanik olguların etkileşimini içeren kompleks bir prosestir. Önceleri, bu konuyla ilgilenen araştırmacılar ve bilim adamları çalışmalarının büyük bir kısmını kaynak fiziksel metalurjisi, kaynak metali

\* TOFAŞ - Türk Otomobil Fabrikaları A.Ş. Bursa.

\*\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa.

ve ısının tesiri altında kalan bölge mikroyapılarının karakterizasyonu ve kaynak prosesinin optimizasyonu konularına ayırırken; son zamanlarda nümerik simülasyon, kaynak prosesinin analizi ve optimizasyonuna yardımcı bir araç olarak artarak kullanılmakta ve özellikle kaynaktaki artık gerilme ve uzamaların belirlenmesinde uygulanmaktadır. (Wen S.W. ve diğ. 2001)

Murugan ve arkadaşları, 2001 yılında Hindistan' da AISI 304 tipi paslanmaz çeliklerde ve düşük karbonlu çeliklerde çok pasolu kaynak işlemi sonucunda meydana gelen sıcaklık dağılımı ve artık gerilmeler X-ışını difraksiyon yöntemi ile ölçmüştür. El ile yapılan çok pasolu ark kaynağı ile birleştirilmiş farklı kalınlıklardaki AISI 304 tipi paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çelik malzemelerde meydana gelen sıcaklık dağılımı ve artık gerilmeler gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kaynak işlemi neticesinde oluşan artık gerilme dağılımını incelemek için, kaynak işlemi sırasındaki sıcaklık dağılımını ölçmenin ve anlamının önemli olduğu belirtilmiştir (Murugan ve diğ., 2001. Michaleris ve Sun (1997) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, bir seri sonlu eleman simülasyonu ve deneyler yapılarak ısıl gerilme analizi yapılmıştır. Hesaplanan ısıl analizleri doğrulamak amacıyla deneysel çalışmalarda termokupl ölçümleri yapılmış ve meydana gelmesi tahmin edilen artık gerilmeleri doğrulamak amacıyla da delik delme yöntemi kullanılmıştır (Michaleris ve Sun, 1997). Diğer bir çalışmada ise (Prasad ve Narayanan, 1996), kaynaklı yapılarda meydana gelen artık gerilmelerin ve yapının dayanımının tespitinde kaynak işlemi sırasında sıcaklık ve soğuma sürelerinin analizlerinin esas alınması gerekliliği savunulmuş ve son yıllarda non-linear sıcaklığa bağlı mekanik özelliklere sahip sayısal yöntemlerin geliştirildiğinin önemi vurgulanmıştır.

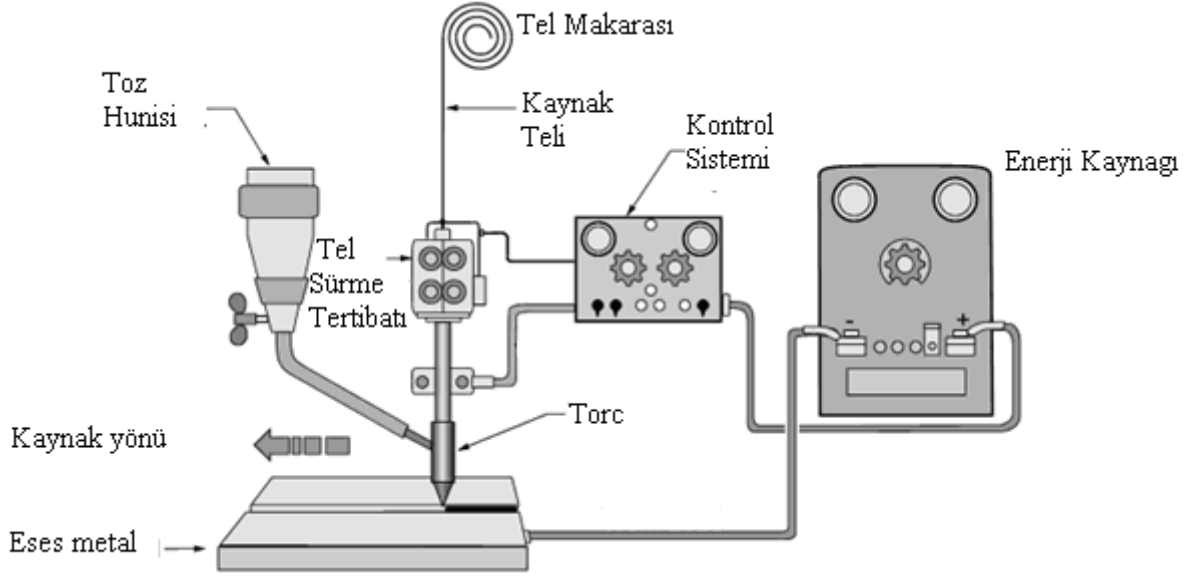
Kaynak işleminin kaynak bölgesine uyguladığı ısıl çevrim, bu bölgenin iç yapısını değiştirmekte ve dolayısıyla mekanik özellikleri farklı bir bölge ortaya çıkmaktadır. Isının tesiri altında bölge olarak adlandırılan bu bölgenin kaynak dikişinin etrafında birkaç milimetre genişliğinde bulunuşu, bu bölgeye sertlik ve metalografik muayene dışında diğer muayene usullerinin uygulanmasını imkansız kılmaktadır. Kaynağa uygulanan sıcaklığın dağılımı dolayısıyla çeşitli bölgelerde farklı sıcaklıklara kadar ısınmış ve soğumuş oldukça dar bir bölge olan ITAB içerisinde iç yapı bakımından teorik olarak homojen bir bölge mevcut değildir. Dolayısıyla bu kısmın özellikleri hakkında fikir sahibi olabilmek amacıyla simülasyon çalışmaları yapılmaktadır (Tülbentçi, 1984).

Bu çalışmada, korniş usulü tozaltı ark kaynağının St37 malzemesine uygulanması sonucunda zamana bağlı sıcaklık değişimi elde edilmiştir. Termal analizlerde ANSYS programı kullanılmıştır ve parça iki boyutlu geometride incelenmiştir. Yukarıda belirtilen bu konuda literatürde yapılmış olan araştırmalardan da görüldüğü üzere kaynak edilen parçalarda sıcaklık dağılımını tespit etmekle parçada meydana gelen artık gerilmeler ve distorsiyonlar da tahmin edilebilmektedir. Çünkü kaynak işlemi esnasında, yeni katılaştıran bölgeler, kaynak dikişinin diğer bölgelerinin büzülmesine karşı koyarlar ve parça üzerindeki bu bölgelerde artık gerilmeler meydana gelir. Dolayısıyla bu çalışma ile termal analizi gerçekleştirilen malzemenin gerilme dağılımı hakkında da fikir sahibi olunmuştur.

## 2. TOZALTI ARK KAYNAĞI YÖNTEMİ

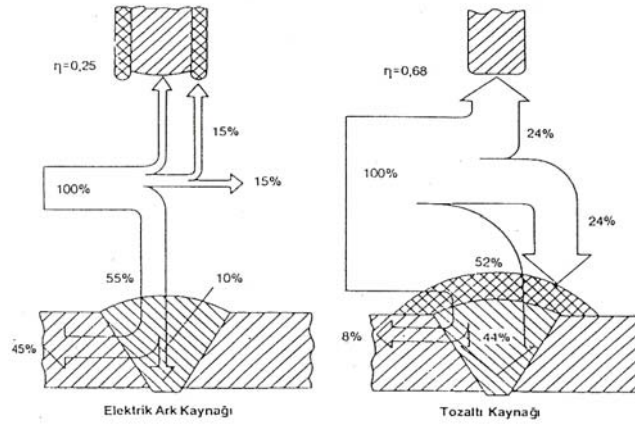
Günümüz endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmuş olan yüksek erime gücüne ve kaynak hızına sahip kaynak yöntemlerinin başında tozaltı kaynak yöntemi gelmektedir. 1933 yılından beri tanınan bir kaynak usulü olan tozaltı kaynağı özellikle İkinci Dünya Savaşından sonra gelişerek endüstride geniş ve önemli bir yer tutmuştur. Tozaltı kaynağı, temelde otomatik olarak kaynak yerine gelen çıplak tel elektrod ile iş parçası arasında oluşan arkı kullanan bir ark kaynağı prosesidir (Şekil 1). Bu yöntemde ark, kaynak yerine devamlı olarak dökülen koruyucu bir toz tabakası altında oluşur. Bu sebepten, bu yöntem tozaltı ark kaynağı olarak adlandırılmıştır.

Tozaltı ark kaynağının karakteristik özellikleri; kaynak süresi boyunca arkın örtülü bir ortam içinde oluşumu, işlemin sürekliliği, yüksek ergime verimi, kaynak dikiş kalitesinin yüksekliği ve uygulamada işlem parametreleri yönünden oldukça geniş bir çalışma serbestliğine sahip olduğu şeklinde belirtilebilir.



Şekil 1:  
Tozaltı kaynak makinesinin şematik gösterimi

Yöntemin derine işleme kabiliyeti iyi olduğundan daha dar ve daha az derin kaynak ağızları kullanılabilir. Bu daha az kaynak malzemesi kullanılması demektir. Kaynak akım şiddetinin yüksek olması nedeni ile bu yöntemde ağız açmadan bir paso ile 18 mm ve ağız açarak da iki paso ile 180 mm kalınlığındaki parçalar rahatlıkla kaynak edilebilir.



Şekil 2:  
Örtülü elektrodla Elektrik Ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağı ısı bilançosu (Anık, 2000).

Bu yöntemde, elektrik enerjisinin büyük bir bölümü kaynak için kullanıldığından (% 68) büyük bir enerji ekonomisi sağlanmaktadır. Şekil 2'de örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağı ve tozaltı ark kaynağındaki ısı bilançosu değerleri görülmektedir.

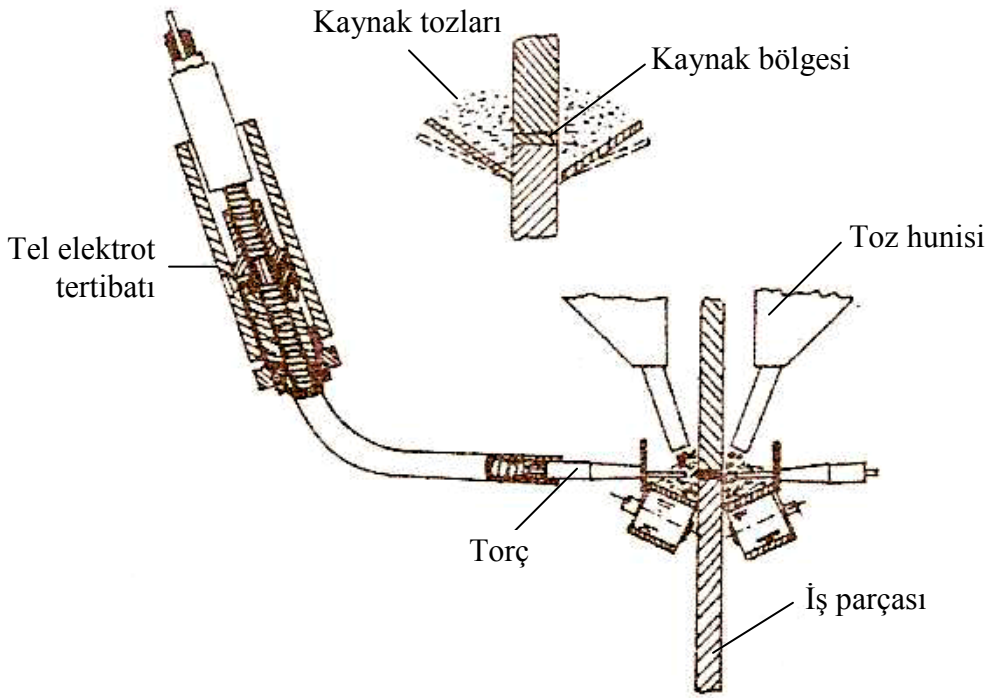
Tozaltı kaynak yönteminde ark, tozaltında yandığından sıçrama kaybı yoktur ve tel elektrot kullanıldığından kaçan kaybı da yoktur. Ayrıca yüksek nüfuziyet dolayısı ile daha fazla esas metal ergidiğinden, ek kaynak metali(elektrot) gereksinimi daha azdır.

Ergiyen tozlardan oluşan cüruf etkili bir şekilde dikişi havanın etkisinden korur, yavaş soğumayı sağlar. Dikişin yüzeyinin düzgün oluşmasını sağladığı gibi yanma çentikleri de olmaz. Neticede düzgün ve emniyetli bir dikiş elde edilir.

Bu yöntemde elektro–mekanik ayar ve kontrol sisteminin varlığı, kaynakçı faktörünü ortadan kaldırmaktadır. Kaynakçı, kaynak dikişi kalitesine etkiyen bir faktör olmadığından, bu yöntemde kaliteli işçiye gerek yoktur ve ayrıca kaynakçı bedenen de az yorulmakta ve dolayısı ile bu konu maliyeti de etkilemektedir.

Ark bölgesinde cüruf, arkın sürekliliğini çok iyi bir biçimde koruyabilmektedir. Bu konu özellikle yüksek akım şiddeti ve büyük kaynak hızlarının kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ark toz altında olduğundan zararlı ışınların etkisi olmaz. Gaz ve toz oluşumu da çok azdır. Bu nedenle özel koruyuculara gerek yoktur.(Kaluç, 2004)

Korniş veya saat üç usulü tozaltı kaynağı prensip şeması Şekil 3’de verilmiş olup tel ve parçanın konumu, akrep ve yelkovanın saat üçteki durumunu andırdığından bu usule böyle bir isim verilmiştir. Burada parça dikey ve dikiş ise yere paraleldir. Aynı anda parçanın iki tarafından birden kaynak yapılması mümkündür. Kaynak esnasında tozun dökülmesi için şekilde görüldüğü tarzda kaynak kafasıyla birlikte hareket eden özel kayışlar vardır. Bu usulün özellikle gemi inşaatında özel bir kullanım alanı vardır. Kaynak tek veya çok pasolu olarak yapılabilir. Kaynak ağızlarının dikkatli ve itinalı bir şekilde hazırlanması gerekir. Ağızlar tek taraflı veya çift taraflı yapılacak kaynağa göre V veya X tarzında hazırlanır.



Şekil 3:  
Korniş usulü tozaltı kaynağı şematik gösterimi (Anık, 2000).

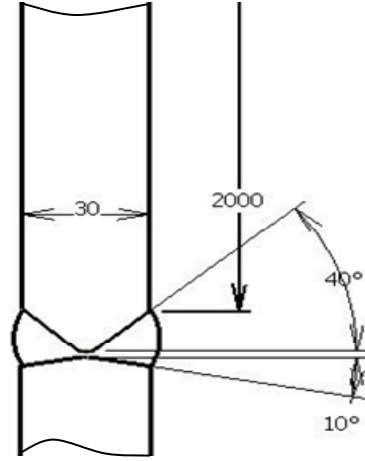
### 3. KORNİŞ USULÜ TOZALTI ARK KAYNAĞININ TERMAL ANALİZİ

Kaynak işleminin sonlu elemanlar yöntemi ile analizi yıllardır kaynak araştırmalarında en önemli konulardan birisi olmuştur. Analiz sonuçları, kaynak işlemlerindeki bazı karmaşık olguların fiziksel esaslarını açıklamakta kullanılabileceği gibi aynı zamanda kaynak parametrelerinin optimizasyonu için temel olarak da kullanılabilir. Kaynak işleminin analizinin en önemli yönlerinden birinin metalürjik değişimlerin modele girilmesi olduğu birçok araştırmacı tarafından kabul edilmiştir (Chana ve diğ., 2003).

Çalışmada kaynak edilecek parçaların modellenmesinde sonlu elemanlar modelinden yararlanılmıştır. St 37’den oluşan levhalar öncelikle bilgisayar destekli ortamda modellenmiş ve kaynak böl-

gelerinin termal analizi gerçekleştirilmiştir. Oluşan sıcaklık değerlerinin tayini için ANSYS sonlu elemanlar yazılım programında analiz sonuçlarından yararlanılmıştır.

Modellemede, öncelikle kaynaklı parça 2 boyutlu olarak geometrik ölçüleri tespit edilip kaynak dikişinin tozaltı ark kaynağı ile tek pasoda oluşturulduğu kabul edilmiştir. Şekil 4’de oluşturulan geometrik modelin ölçüleri mm cinsinden verilmiştir. Kullanılan St 37 malzemesinin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri Tablo I ve Tablo II’de verilmiştir.



Şekil 4:  
Yapının geometrik modeli (Tüm ölçüler mm'dir).

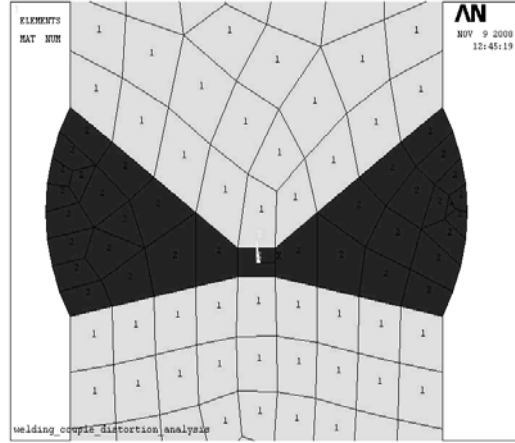
**Tablo I. St 37 malzemesinin kimyasal kompozisyonu.**  
([www.kozadokum.com/CeKimOzellikleri.htm](http://www.kozadokum.com/CeKimOzellikleri.htm))

C	Si	Mn	P	S	N
0,10-0,17	0,40	0,20-0,50	0,04	0,05	0,007

**Tablo II. Modellenen malzemenin ve kaynak metalinin mekanik özellikleri.**

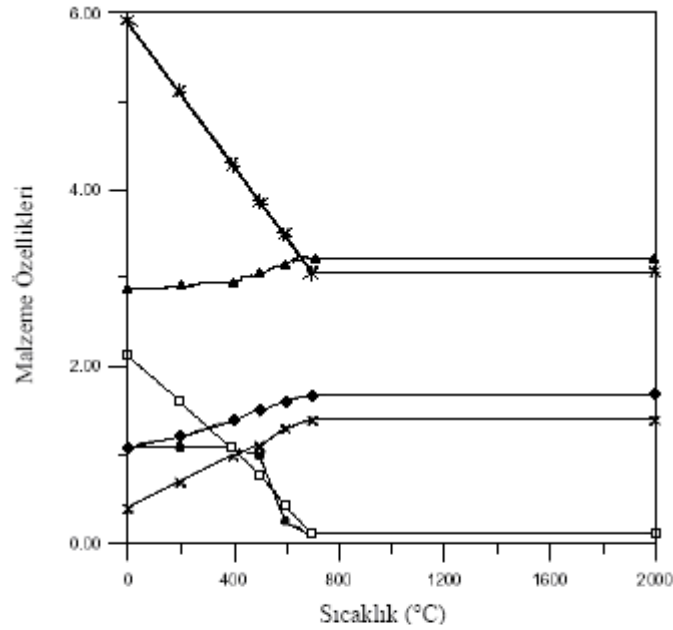
Malzeme özellikleri	Değeri
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	7841,72
Isı iletim katsayısı (W/m <sup>°K</sup> )	46,7
Özgül ısı (j/kg <sup>°K</sup> )	437,36
Poisson oranı	0,3
Elastiklik modülü (GPa)	210

Korniş usulü tozaltı ark kaynağı yapılmış modeli sonlu elemanlar yöntemiyle termal analizini gerçekleştirmek için iki boyutlu katı elementler (Plane 55) seçilmiş ve modelde 9070 düğüm ve 8053 eleman kullanılmıştır. Eleman seçiminde hassas bir analiz yapmak amacıyla Transient Thermal Solid (Quad 4 Node 55) elemanı seçilerek “mesh” yapılmıştır. Modelin elemanlara bölündükten sonraki görüntüsü Şekil 5’deki gibidir.



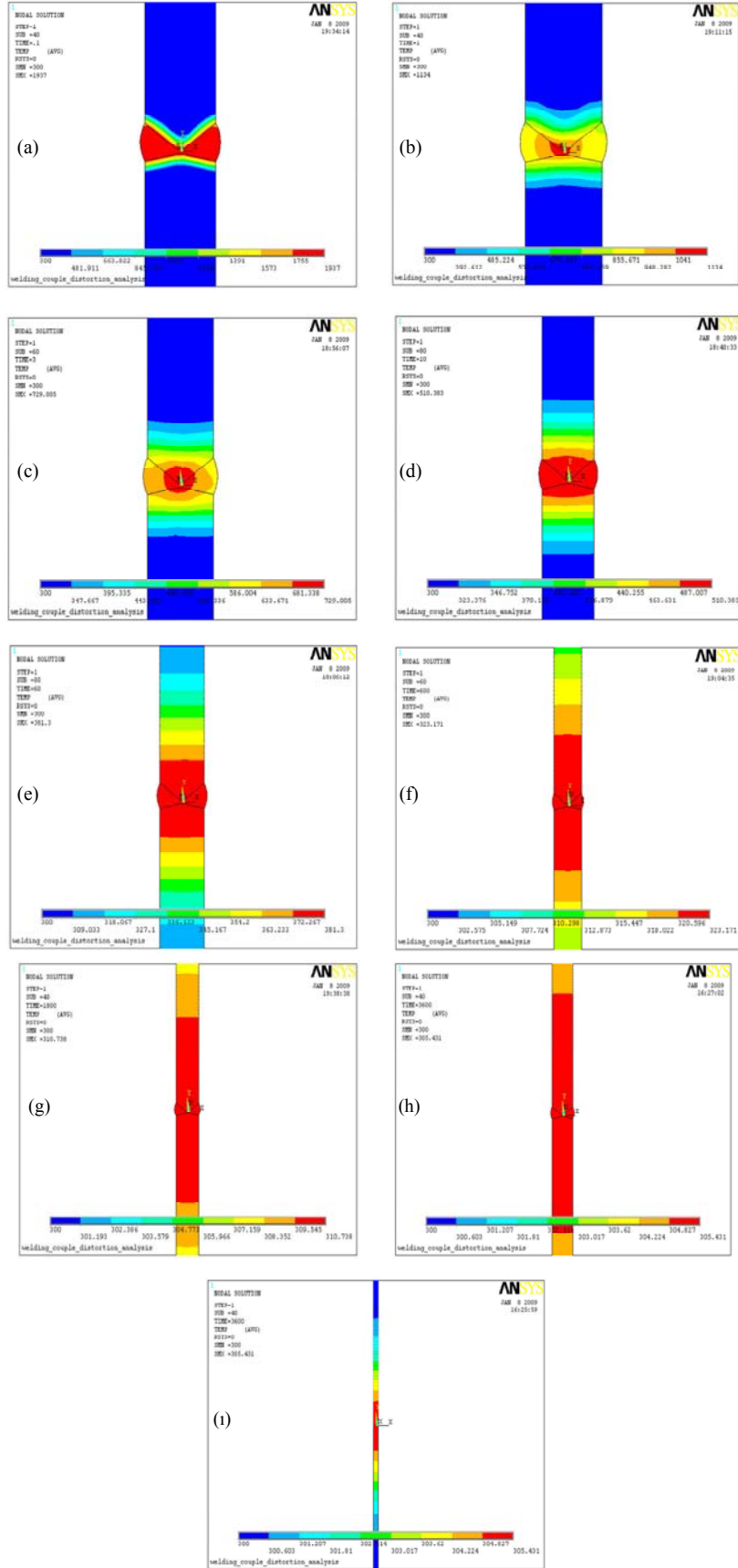
Şekil 5:  
Modelin elemanlara bölünmüş görüntüsü.

Malzeme özellikleri sıcaklığa bağlı olarak büyük oranda değiştiğinden programa sıcaklığa bağlı olarak değişen akma gerilmesi, elastiklik modülü, poisson oranı, genleşme katsayısı, ısı iletim katsayısı ve özgül ısı değerleri Şekil 6'daki gibi tanımlanır (Teng ve diğ., 2002). Sıcaklık artışıyla birlikte ısı iletim katsayısı, elastiklik modülü ve akma gerilmesinde düşüş, poisson oranı, genleşme katsayısı ve özgül ısıda artış meydana gelir. Bu değişim yaklaşık 700°C'ye kadar devam eder ve 700°C'den sonra sabit kalır. Kaynak işlemi esnasında kaynak metalinin sıcaklığa yaklaşık 1700°C'ye, esas metal de (özellikle kaynak metaline yakın olan bölgede) 700°C'ye ulaşabilmektedir ve malzeme özellikleri de büyük oranda değişmektedir.



Sembol	Özellik	Birim
•---σ <sub>y</sub>	Akma Mukavemeti	x10 <sup>8</sup> Pa.
□---E	Elastiklik Modülü	x 10 <sup>11</sup> Pa
◆---α	Genleşme Katsayısı	x 10 <sup>-3</sup> m/m K
△---ν	Poisson Oranı	x 10 <sup>-1</sup>
*---k	İletkenlik	x 10 W/m <sup>2</sup> K
x---c	Özgül ısı	x 10 <sup>2</sup> J/kg K

Şekil 6:  
Kaynak metali malzemesine ait sıcaklığa bağlı malzeme değerleri.

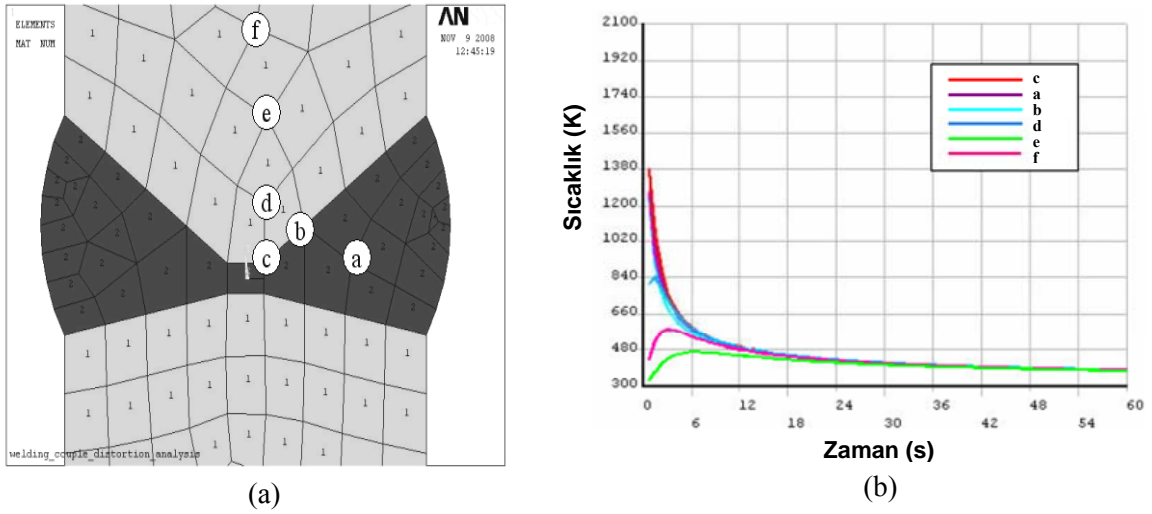


Şekil 7:  
Kaynak yapıldıktan (a) 0,1 sn; (b) 1 sn; (c) 3 sn, (d) 10 sn, (e) 1 dak, (f) 3 dak,  
(g) 10 dak, (h) 30 dak ve (i) 1 saat sonra parçadaki sıcaklık dağılımı.

Programda yapılan modelleme işleminden sonra malzeme özellikleri girilip model elemanlara bölünerek başlangıç şartları tespit edilmiştir. Buna göre kaynak metalinin başlangıç sıcaklığı 2100°K, esas metalinki 300°K ve ortam sıcaklığı 300°K olarak kabul edilmiştir. Bu tanımlamalardan sonra parçanın ısı analizi gerçekleştirilerek sonuçlar veri kayıt dosyasına kaydedilir.

Çalışmada yapılan analizler sonucunda zamana bağlı olarak kaynak bölgesinin durumu incelenmiştir. Şekil 7’de kaynak bölgesinin kaynak yapıldıktan 0,1 sn, 1 sn, 3 sn, 10 sn, 1 dak, 10 dak, 30 dak ve 1saat sonraki sıcaklık durumları hesaplatılmıştır. Böylece parçada kaynak sonrası meydana gelen soğumada esas parçanın bu ısı transferinden ne kadar etkilendiği gözlenmiştir. Şekil’den de görüldüğü üzere kaynak işlemi sonrasında çok hızlı bir ısı transferi gerçekleşmiştir. Sıcaklık kaynak bölgesinden esas parça doğru yayılarak çok büyük bir alanı etkilemiştir. Malzeme özellikleri de sıcaklığa bağlı olarak kaynak işleminden olumsuz etkilenmiştir. Kaynak yapıldıktan 0,1 sn sonraki maksimum sıcaklık 1937 K iken 1 saat sonraki sıcaklık 305 K’e (yaklaşık oda sıcaklığı) düşmüştür.

Parça içerisinde ve yüzeyinde homojen olmayan bir soğuma meydana gelmiştir. Yerel bölgelerde hızlı ısıtma ve soğuma, kaynaklı parçada artık gerilmelere neden olan ısı genleşme ve büzülme- lere yol açar ve bu gerilmeler sırasıyla çarpımalara neden olur. Şekil 8’de kaynak yapılan parçanın kesitinden alınan 6 farklı noktadaki zamana bağlı sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Kaynak işlemi yapıldıktan sonra ilk 6 sn’de çok hızlı bir soğuma gerçekleşmiştir. Sıcaklık düşüşü “c” ile gösterilen bölgede daha yavaş olmak üzere, parça yüzeyine doğru yaklaştıkça “a” bölgesinde artmıştır, “b” bölgesinde daha düşük soğuma hızı gözlenmiştir. Kaynak işlemi gereği oluşan yüksek sıcaklık kaynak yapılan bölgeden itibaren parçanın iç kısımlarına doğru bir ısı transferi gerçekleşir. Bundan en fazla etkilenen bölgeler kaynak metaline yakın olan bölgelerdir. Şekil 8(a)’da gösterilen “d” bölgesinde sıcaklık dağılımı Şekil 8(b)’deki gibi meydana gelmiştir. Kaynak işleminden çok kısa bir süre sonra (yaklaşık 1sn) bu bölgedeki sıcaklık yaklaşık 900°C’ye ulaşmıştır ve kaynak metaline ile aynı soğuma hızında soğumuştur. Esas metal üzerinde kaynak işleminde uygulanan sıcaklıktan en fazla etkilenen bölge bu bölgedir. Malzeme özellikleri de en fazla bu bölgede değişir ve kötüleşir.



Şekil 8:  
Kaynak bölgesinden alınan 6 farklı noktanın (a) parça üzerindeki yerleri ve (b) bu noktalardaki zamana bağlı sıcaklık dağılımı.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, St 37 malzemesine sahip bir parçanın korniş usulü tozaltı kaynak yöntemi ile kaynak edilmesi sonucunda parçada meydana gelen ısı dağılımı sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu dağılımın deneysel olarak ortaya çıkarılması, çok uzun ve zahmetli deney düzenekleri gerektirmektedir. Dolayısıyla sonlu elemanlar yöntemi analizi ile çok kısa sürede ve zahmetsizce yak-



laşık sonuçlara ulaşabilmek mümkündür. Analiz neticesinde elde edilen ısı çözümü sonuçları, parçalar-daki ısı dağılımının nasıl geliştiğini açık bir şekilde gösterir.

Kaynak işlemi neticesinde kaynaklı parçalar az ya da çok distorsiyona uğrarlar ve daima parça içerisinde artık gerilmeler kalır. Kaynak işleminden sonra oluşan gerilmeler parçanın emniyetine önemli ölçüde etki eder ve bu gerilmelerin tahmin edilmesinde ısı analiz sonuçları büyük önem taşı-maktadır. Parça üzerindeki zamana bağlı sıcaklık değişiminin yüksek olduğu bölgelerde artık gerilme-ler de yüksek olmaktadır. Yapılan çalışmada zamana bağlı ısı değişimlerinin en fazla olduğu bölgeler kaynak metali bölgesi ile ısı etkisi altında kalan bölge olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu bölge-lerde oluşan artık gerilmelerin yoğunluğu ve distorsiyon oranı fazladır. Kaynak yönteminin kontrolsüz bir şekilde yapılması durumunda belirtilen bu bölgelerde sıcak yırtılma ve çatlama gözlemek müm-kün olabilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Anık, S. (1975) *Kaynak Tekniği (Tozaltı Kaynağı ve Koruyucu Gazla Kaynak)*, İ.T.Ü. Makine Fakültesi Off-set Atölyesi, 2, 1-106 İstanbul.
2. Anık, S. (1991) *Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar*, Gedik Holding A.Ş. Yayınları.
3. Anık, S., Anık, E.S. ve Vural, M. (2000) *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
4. Benli, S. (2004) *Kaynaklı Parçalarda Oluşan Artık Gerilmelerin İncelenmesi*, Y.L. Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
5. Chana, W., Guob L. and Lib Z.X., (2003) Finite Element Modelling for Fatigue Stress Analysis of Large Suspension Bridges, *Journal of Sound and Vibration*, 261: 443-464.
6. Çiğdem, M. (1996) *İmal Usulleri*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
7. Kaluç, E. (2004) *Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, TMMOB/2004/356.
8. Michaleris, P. and Sun, X. (1997) Finite element analysis of thermal tensioning mitigating weld buckling distortion, *Welding Journal*, 451-457.
9. Murugan, S., Rai, S.K., Kumar, P.V., Jayakumar, T. and Raj, B. (2001) Temperature distribution and residual stresses due to multipass welding in type 304 stainless steel and low carbon steel weld pads, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 78, 307-317.
10. Polat, F.G., (2003) *Kaynak Edilmiş Parçaların Bilgisayar Destekli Mukavemet Analizleri*, Y.L. Tezi, Uludağ Üniversitesi
11. Prasad, N.S., Narayanan T.K.S. (1996) Finite element analysis of temperature distribution during arc welding using adaptive grid technique. *Welding Journal*, 123-128.
12. Teng, T.L., Chang, P.H. and Tseng, W.C. (2002) Effect of welding sequences on residual stresses, *Computers and Structures*, 81, 273-286
13. Wen, S. W., Hilton P. and Farrugia, D.C.J. (2001) Finite element Modelling of a Submerged Arc Welding Process, *Journal of Materials Processing Technology*, 119, 203-209.
14. [www.kozadokum.com/CeKimOzellikleri.htm](http://www.kozadokum.com/CeKimOzellikleri.htm)