



**T-BAĞLANTILARDA KAYNAK EŞİĞİNDEKİ GERİLME YIĞILMASI
FAKTÖRÜNÜN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

**(INVESTIGATION OF WELD TOE STRESS CONCENTRATION FACTOR
FOR T-JOINTS BY FINITE ELEMENTS METHOD)**

Serdar KARAOĞLU*, Çiçek KARAOĞLU*

ÖZET/ABSTRACT

T-bağlantıların kaynak eşikindeki gerilme yığılma faktörleri sonlu elemanlar yöntemiyle, çekme ve eğilme yükleri altında incelenmiştir. En yaygın kullanılan kaynak açısı olan 45° değerinin kullanıldığı çalışmada, bağlantı genişliği (L), daima bağlantı plakası kalınlığının (t) iki katıdır. Bağlantı genişliğinin, ana plaka kalınlığına oranı: $L/T : 0,4 - 3,0$, eşik radüsünün, ana plaka kalınlığına oranı: ρ/T ise 0,01- 0,10 aralığında değiştirilmiştir. Analiz sonuçlarından, kaynaklı T-bağlantılarda eşik radüsünün artırılması ile gerilme yığılma faktörünün etkin bir şekilde azaltılabileceği tespit edilmiştir. Literatürdeki parametrik çalışmalarla karşılaştırıldığında, elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

The stress concentration factor (SCF) of T-butt weldments has been calculated by finite element method. The influence of weld toe transition radius on SCF has been analyzed under both tension and pure bending loading. A double 45° bevel, most widely used full penetration weld groove preparation angle, has been used in the attachment plate. As a result of this, the attachment width (L) is twice the attachment plate thickness (t) in all cases. The ratio of attachment width / primary plate thickness (L/T) has changed between 0,4 and 3,0, while weld toe radius / primary plate thickness ratio (ρ/T) has changed between 0,01 and 0,10. The result shows that it is possible to ease the stress concentration of T-butt welded joint effectively by increasing the weld toe transition radius. The proposed model has been proven by comparing the results with the recent parametric studies in the literature.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Gerilme yığılması faktörü, T-bağlantılar, Sonlu elemanlar yöntemi, Kaynak eşiği
Stress concentration factor, T-butt weldments, Finite elements method, Weld toe

1.GİRİŞ

Günümüzde çelik konstrüksiyonlarda yaygın olarak kullanılmakta olan kaynaklı birleştirmelerin, düzgün değişen veya rastlantısal çeşitli dinamik yüklemelere maruz kaldığı görülür. Boru hatları, krenler, gemiler, kara ve hava taşıtları, köprüler, basınçlı kaplar vb kaynaklı yapılar genelde yorulmaya uğrarlar. Kaynaklı bağlantıların doğası ile ilgili çeşitli faktörler, kaynaklı yapıların yorulma davranışını çok karmaşık hale getirir. Kaynak dikişinin kökünde; curuf kalıntısı, gaz gözeneği ve nüfuziyet azlığı, kaynak eşiğinde ise yanma oluşu gibi çentik etkisi yapan hatalar ortaya çıkabilir. Bu çatlak benzeri hatalarda veya kaynak geometrisindeki değişim sebebiyle özellikle kaynak kökünde ve kaynak eşiğinde gerilme yığılmaları ortaya çıkar. Sonuçta, malzeme veya lokal geometrik etkilerin oluşturduğu süreksizliklerde meydana gelen yüksek gerilmeler, kaynaklı bağlantıların hasar sürecinde önemli rol oynar. Köşe dikişlerinin kullanıldığı kaynaklı bağlantılarda çatlak başlangıcının özellikle kaynak kökü veya eşiğinde oluştuğu bilinmektedir. Kaynak işlemiyle oluşan artık gerilmeler de yorulma davranışına etki eder. Özellikle çeki türünden yüksek artık gerilmeler kaynaklı parçaların yorulma dayanımını önemli ölçüde düşürürler (Maddox, 1994).

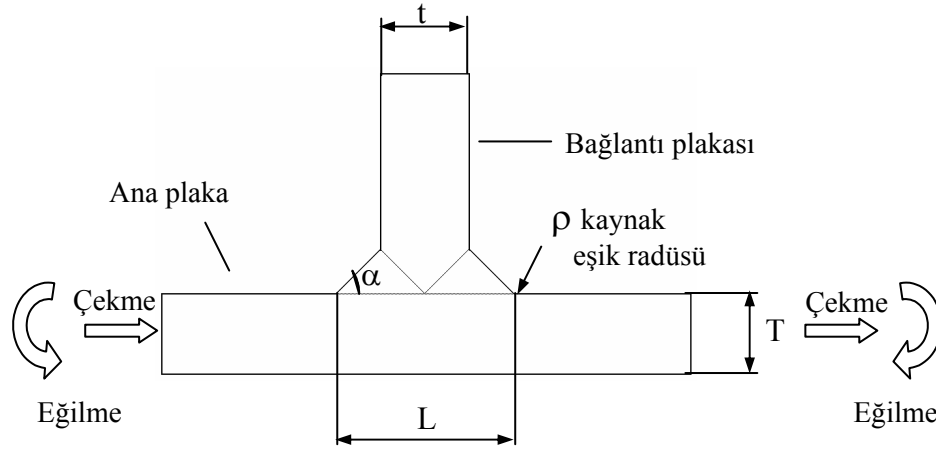
T bağlantılar, kaynaklı konstrüksiyonlarda çok kullanılan bağlantı tiplerindedir. Bunun yanında boru bağlantıları, boru-plaka bağlantıları gibi daha karmaşık bazı kaynaklı birleştirmeler de gerilme analizini kolaylaştırmak için bazen iki-boyutlu T-bağlantı şeklinde modellenirler (Nwosu ve Olowokere, 1995). Sonlu elemanlar paket programlarının gelişmesine paralel olarak, kaynaklı bağlantılarda lokal gerilme alanı yaklaşımıyla yorulma dayanımının tespitine yönelik teorik çalışmalar artmıştır (Tovo ve Lazzerin, 1999; Labesse ve Recho, 1999; Brennan vd., 1999; Brennan vd., 2000; Atzori ve Meneghetti, 2001; Lie vd., 2001, Wingerde vd.,2001).

Bu çalışmada, kaynaklı T bağlantılar, lineer elastik sonlu elemanlar gerilme analizi ile, çekme ve eğilme yükleri altında, değişik kaynak eşik radüsleri ve bağlantı genişlikleri için incelenmiştir. Böylece kaynaklı parçaların mekanik davranışına etki eden pek çok parametreden, kaynak eşik radüsünün ortaya çıkardığı mikro-geometrik etkiler araştırılmıştır. Çalışmada, kaynak eşiğindeki gerilme dağılımı ve gerilme yığılma faktörlerini belirlemek ve elde edilen sonuçları literatürdeki bazı parametrik bağıntılarda kullanarak sınamak ve karşılaştırmak amaçlanmaktadır.

2. SONLU ELEMANLAR GERİLME ANALİZİ

2.1.Çalışma Parametreleri

Kaynaklı T-bağlantılar, lineer elastik sonlu elemanlar gerilme analizi kullanılarak, çekme ve eğilme yükleri altında, değişik kaynak eşik radüsleri ve bağlantı genişlikleri için incelenmiştir. İncelenen T-bağlantının geometrisi ve yükleme durumu şematik olarak Şekil-1'de verilmiş olup, T-bağlantıyı tanımlayan parametreler Çizelge 1'de listelenmiştir. Kaynak açısı tüm bağlantılarda 45°'dir. Bunun sonucu olarak, kaynak bağlantısının genişliği (L), daima bağlantı plakası kalınlığının (t) iki katıdır. Kaynak eşiği radüsünün değerleri 0,2mm, 0,8 mm ve 2,0 mm olup, ana plaka kalınlığına oranlandığında (ρ/T) sırası ile 0,01-0,04 ve 0,10 değerlerine karşılık gelir. $\rho/T=0,01$ değerinin gerçekçi bir ekstrem olduğu kabul edilerek, $\rho/T=0$ değeri analizde kullanılmamıştır.



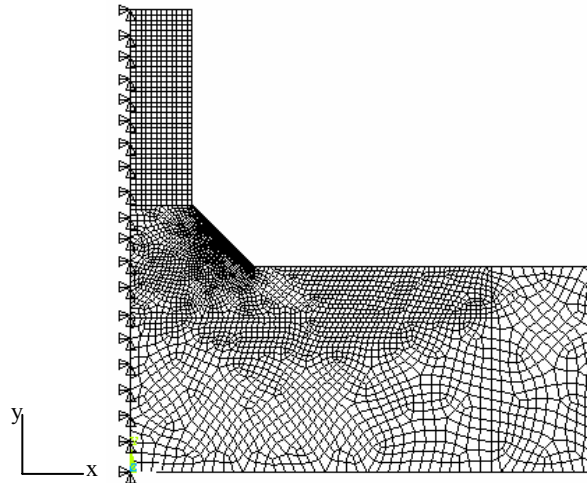
Şekil 1. İncelenen T-bağlantının geometrisi ve yükleme durumu

Çizelge 1. Kaynaklı T-bağlantının geometrik değerleri

T(mm)	t(mm)	L(mm)	L/T	T/t
20	4	8	0,4	5,00
	8	16	0,8	2,50
	12	24	1,2	1,67
	16	32	1,6	1,25
	20	40	2,0	1,00
	30	60	3,0	0,67

2.2. Modelleme ve Sınır Şartları

T bağlantılarının kaynak eşikindeki gerilme dağılımları, iki boyutlu düzlem gerilme sonlu elemanlar analizi ile gerçekleştirilmiştir. Tüm analizlerde ANSYS paket programı kullanılmıştır (Swanson Analysis Systems, 1994). Modelleme sekiz düğümlü dört köşeli isoparametrik elemanlar ile yapılmıştır. Kaynak eşikinin modellenmesinde daha küçük elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 2. Bağlantının sonlu elemanlar modeli

İncelenen bağlantılar, geometri ve yükleme şartları açısından düşey eksene göre simetrik olduğundan, sonlu elemanlar modelinde, simetrik bir yarısı göz önüne alınmıştır (Şekil 2). Sınır şartı olarak düşey eksen üzerindeki düğümlerde yer değiştirmeler kısıtlanmıştır.

Gerilme yığılması faktörü $K_t = \sigma_{FEM} / \sigma_n$ bağıntısından hesaplanmıştır. Burada σ_{FEM} sonlu elemanlar analiziyle bulunan kaynak eşiğindeki en yüksek gerilme, σ_n ise söz konusu yükleme durumu için kaynak eşiğindeki nominal gerilmeyi ifade etmektedir. Nominal gerilme; çekme yüklemesi durumunda

$$\sigma_n = F/A \quad (1)$$

Eğilme yüklemesi durumunda ise

$$\sigma_n = M(T/2) / I_z \quad (2)$$

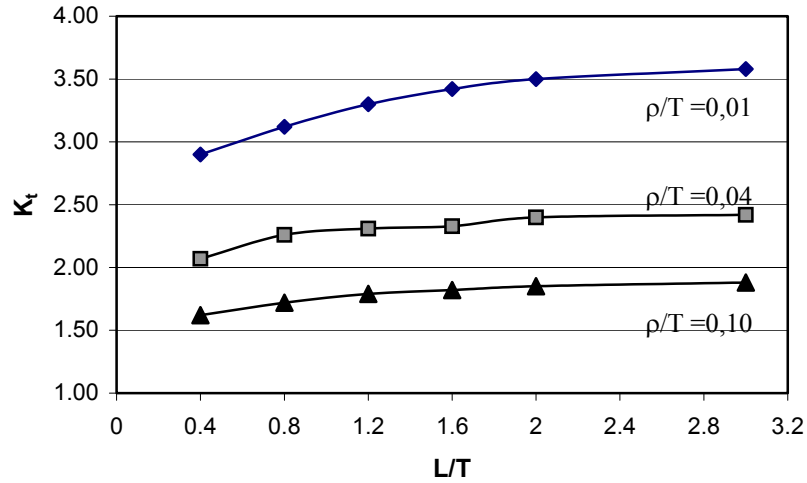
bağıntılarından hesaplanmıştır.

Burada F çekme kuvvetini, A kesit alanını, M kaynak eşiğindeki eğilme momentini, T ana plaka kalınlığını, I_z kesitin atalet momentini ifade etmektedir.

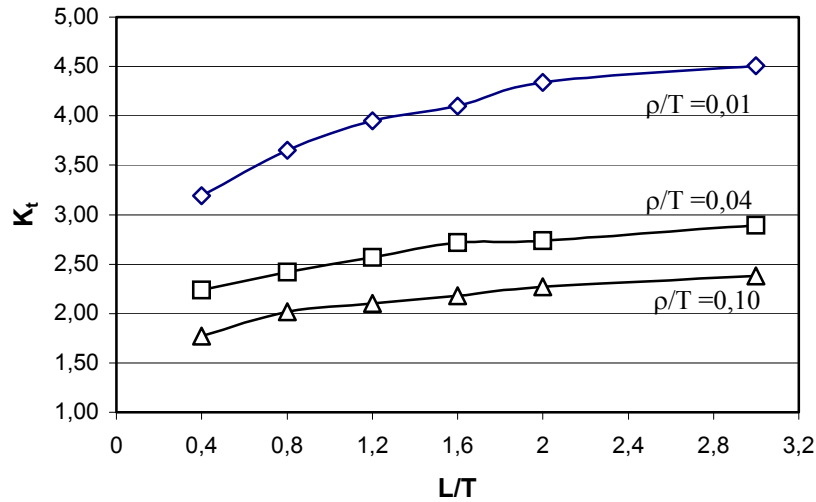
Modellemede, kaynaklanan plakalar ve kaynak metali isotropik malzemeler olarak kabul edilmiş, malzemeler için elastisite modülü $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa, Poisson oranı $\nu = 0,3$ alınmıştır.

3. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çekme ve eğilme yükleri için gerilme yığılma faktörlerinin L/T ve ρ/T ye göre değişimi Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Çekme durumunda gerilme yığılma faktörünün değişimi



Şekil 4. Eğilme durumunda gerilme yığılma faktörünün değişimi

Şekillerde görüldüğü gibi, her iki yükleme durumunda da kaynak eşiğindeki geçiş radüsü küçüldükçe, çentik etkisi ve dolayısıyla gerilme yığılması artmaktadır. Bu bölgedeki geçişin mümkün olduğunca yumuşak olması, bağlantının özellikle değişken yükleme altındaki dayanımını arttıracaktır. Bunun için kaynaklı imalat sırasında ve sonrasında söz konusu geçiş bölgesindeki gerilme yığılmasını azaltacak tedbirler alınmalıdır. Kaynak eşiğindeki paso için elektrot çapı, elektrot türü, akım şiddeti vb parametrelerin optimize edilmesi gerekir. Örneğin akım şiddetinin artması uygun bir profil için gereken akışkan bir kaynak banyosu verirken diğer taraftan tehlikeli bir kaynak hatası olan yanma oluklarının oluşumuna da yol açabilir. Kritik uygulamalarda, kaynak eşiğinin örneğin; uygun bir radüsle, yumuşak bir geçiş sağlayacak şekilde taşlanması gibi kaynak sonrası iyileştirme yöntemlerine baş vurulabilir.

Aynı eşik radüsüne sahip, aynı yüklemeye maruz kaynaklarda, bağlantı genişliği (L) arttıkça, gerilme yığılmasının da arttığı Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir. Bağlantı plakası kalınlığını ve bağlantı genişliğini gereğinden fazla arttırmanın dayanıma bir katkısı olmayacak, hatta zararı olacaktır.

4. DİĞER ÇALIŞMALARLA KARŞILAŞTIRMA

Burada incelenen geometriye sahip T-bağlantılar için yapılmış olan parametrik bir çalışmada çekme ve eğilme durumları için elde edilen ifadelerin basit formları şöyledir (Brennan vd., 2000).

$$K_t (\text{çekme}) = 1,027 + 0,271 \alpha^{0,216} (\rho/T)^{-0,47} (L/T)^{0,183} \quad (3)$$

$$K_t (\text{eğilme}) = 1,01 + 0,344 \alpha^{0,336} (\rho/T)^{-0,468} (L/T)^{0,233} \quad (4)$$

Bir başka parametrik çalışmada, gerilme yığılma faktörü için elde edilen bağıntılar ise şunlardır (Monahan, 1995).

$$K_t (\text{çekme}) = 1 + 0,388 \alpha^{0,37} (\rho/T)^{-0,454} \quad (5)$$

$$K_t (\text{eğilme}) = 1 + 0,512 \alpha^{0,572} (\rho/T)^{-0,469} \quad (6)$$

Bu denklemlerde; K_t söz konusu yükleme durumu için gerilme yığılma faktörünü, α kaynak açısını (radyan), ρ kaynak eşik radüsünü, T ise ana plaka kalınlığını ifade etmektedir.

Çalışmamızda tespit edilen gerilme yığılma faktörleri ile, yukarıda ifadeleri verilen parametrik bağıntılardan hesaplanan sonuçlar, kıyaslama amacıyla Çizelge 2’de listelenmiştir.

Çizelge 2. Hesaplanan gerilme yığılma faktörlerinin, literatürdeki bazı çalışmalarla karşılaştırılması ($\alpha=45^\circ$, $L/T=3$)

ρ/T	Çekme			Eğilme		
	Bu çalışma	Monahan	Brennan	Bu çalışma	Monahan	Brennan
0,01	3,58	3,87	3,77	4,51	4,87	4,55
0,04	2,42	2,53	2,45	2,89	3,02	2,86
0,10	1,88	2,01	1,96	2,38	2,31	2,21

5. SONUÇLAR

Kaynak tasarımının bilinen kurallarından biri, özellikle değişken yüklemeye maruz kalacak dikişlerin iç-bükey olarak çekilmesidir. Bu, gerilme yığılmasını azaltmaya yönelik bir önlemdir. Kaynak dikişinin makro geometrisinin yanında, özellikle kaynak eşiğinin mikro geometrisinin, lokal gerilme yığılmalarına etkisi büyüktür.

T-bağlantıların kaynak eşiğindeki gerilme yığılma faktörlerinin sonlu elemanlar yöntemiyle, çekme ve eğilme yükleri altında incelendiği bu çalışmada, kaynak eşik radüsünün artırılması ve/veya bağlantı boyutunun minimize edilmesi ile gerilme yığılma faktörünün etkin bir şekilde azaltılabileceği görülmüştür. Sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla uyumludur.

KAYNAKLAR

- Atzori B., Meneghetti G. (2001): “Fatigue Strength of Fillet Welded Structural Steels: Finite Elements, Strain Gauges and Reality”, Int.J.Fatigue, 23, p. 713-721.
- Brennan F.P., Dover W.D., Kare R.F., Hellier A.K. (1999): “Parametric Equations for T-Butt Weld Toe Stress Intensity Factor”, Int.J.Fatigue, 21, p. 1051-1062.
- Brennan F.P., Peleties P., Hellier A.K. (2000): “Predicting Weld Toe Stress Concentration Factors for T and Skewed T-Joint Plate Connections”, Int.J.Fatigue, 22, p. 573-584.
- Labesse F., Recho N. (1999): “Geometric Stress Level at the Weld Toe and Associated Local Effects”, Welding in the World, v 43, no 1, p. 23-32.
- Lie S.T., Lee C.K., Wong S.M. (2001): “Modelling and Mesh Generation of Weld Profile in Tubular Y-Joints”, J.of Constructional Steel Research, 57, p.547-567.
- Maddox S.J. (1994): “Fatigue Strength of Welded Structures”, 2nd edition, Abington Publishing.
- Nwosu D.I., Olowokere, D.O. (1995): “Evaluation of stress intensity factors for steel tubular T-joints using line spring and shell elements”, Eng. Failure Analysis, v2, n1, p. 31-44.
- Swanson Analysis Systems (1994): “Users Manual of ANSYS”, Procedures vol 1, USA.
- Tovo R., Lazzarin P. (1999): “Relationship Between Local and Structural Stress in the Evaluation of the Weld Toe Stress Distribution”, Int.J.Fatigue, 21, p. 1063-1078.
- Wingerde A.M., Packer J.A., Wardenier J. (2001): “Simplified SCF Formulae and Graphs for CHS and RHS K- and KK-Connections”, J.of Const.Steel Research, 57, p. 221-252.