

ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI (ERW) İLE DİKİŞLİ ÇELİK BORU ÜRETİMİNDE ŞEKİL DEĞİŞİM MİKTARI İLE BORULARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Dr. Öğr. Üyesi Şule Y. ŞİRİN
Kocaeli Üniversitesi, fsksirin@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Elektrik Direnç Kaynağı (ERW) ile dikişli çelik boru üretimi esas olarak, saç dilme, şekillendirme, kaynak ve kalibre aşamalarını içerir. Kaynak öncesi uygulanan form verme ve kaynak sonrası uygulanan kalibre işlemleri esas olarak, boru haline dönecek olan çelik saçlara uygulanan soğuk şekillendirme işlemidir. Kaynak öncesi uygulanan form verme ve kaynak sonrası uygulanan kalibre işlemleri esas olarak, boru haline dönecek olan çelik saçlara uygulanan soğuk şekillendirme işlemidir. Uygulanan soğuk şekil verme sonrası uygulanan deformasyon derecesine bağlı olarak malzemenin sertlik değeri ile akma ve çekme mukavemeti artarken süneklik ve tokluğu azalır. Akma mukavemetinin çekme mukavemetine oranı olarak tanımlanan akma oran değerinin üretimi tamamlanmış borularda en fazla 0,91 olması istenir. Akma oranının belirtilen bu değerin altında olması, borunun kullanım yerinde herhangi bir ısıl işleme gerek olmaksızın belirli bir oranda şekil vermenin yapabileceği anlamını taşımaktadır.

Yapılan deneysel çalışmada, S235 kalite düşük karbonlu çelik saçtan, ASTM A-500 standardına göre üretilen 50x50x4,7 mm boyutlarındaki yapı profili incelenmiştir. Söz konusu profil boru 4,71 mm kalınlığında, 186 mm ve 178 mm olmak üzere iki farklı bant genişliği kullanılarak üretilmiştir. Her iki farklı bant genişliği ile üretilen aynı boyuttaki profil borulardan, üretim sırasında hat boyunca, bantın malzemesi, kaynak noktası ve nihai profil boru olmak üzere üç farklı bölgeden numuneler alınarak hem bantın boruya dönüşümü sırasındaki mekanik özelliklerde ki değişim hem de şekil değişim miktarı ile boruların mekanik özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. 186 mm genişliğindeki banda toplam %8,1 şekil değişimi uygulanarak elde edilen profil borunun akma ve çekme mukavemeti sırası ile 356 N/mm² ve 396 N/mm² değerine yükselirken % kesit daralması %10,1'e düşmüştür. 178 mm genişliğindeki banda ise toplamda %6,2 şekil değişimi uygulayarak elde edilen profil borunun akma ve çekme mukavemeti sırası ile 346 N/mm² ve 389 N/mm² değerine yükselirken % kesit daralması %10,6'e düşmüştür. Bu değerlerden de görüldüğü üzere, şekil değişim miktarının artması ile birlikte mekanik özelliklerdeki artış da belirgin bir şekilde kendini göstermektedir. Her iki koşulda akma oranı sırası ile 0,89 ve 0,88 olup borunun kullanım yerlerinde şekillendirilebilmesine olanak vermektedir. Her iki bant genişliğinde de yaklaşık %1,7 düzeyinde bir kalınlık artışının olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler; ERW Boru, Bant genişliği, Şekil değişim miktarı, Mekanik özellikler.

RELATIONSHIP BETWEEN ELECTRIC RESISTANCE WELDING (ERW) AND THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE PIPES FOR SHAPED STEEL PIPE PRODUCTION

Dr. Öğr. Üyesi Şule Y. ŞİRİN
Kocaeli Üniversitesi, fksirin@kocaeli.edu.tr

ABSTRACT

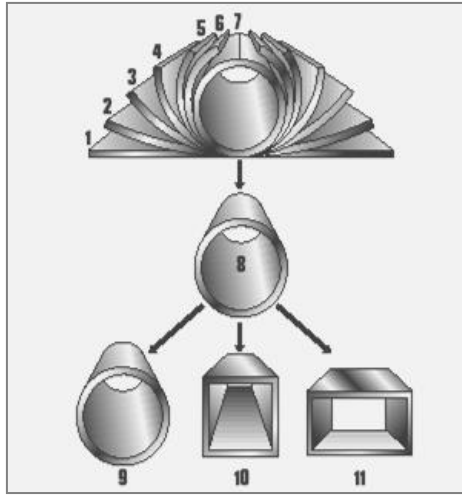
The production of welded steel pipes with Electric Resistance Welding (ERW) mainly involves the stages of slitting, shaping, welding and calibration. Forming, before welding and calibration, after welding processes applied are mainly cold forming processes applied to steel sheets that will turn into pipes. During the conversion of the steel strip to the pipe, as a result of the cold deformation applied, the change in the shape of the steel pipes occurs not only in the direction of elongation but also a certain increase in thickness. After the cold deformation, while the pipe is exposed to a certain elongation, it is exposed to a change in the form of a certain rate of thickness and the amount of increase in thickness increases with the increase in the applied deformation rate and the pipe thickness /diameter ratio. Depending on the degree of deformation applied after the cold forming, the hardness value of the material increases, accordingly, the ductility and toughness decreases while the yield and tensile strength increases. It is desired that the yield rate defined as the ratio of yield strength to the tensile strength should not be more than 0.91 in the pipes whose production is completed. If the flow rate is below this value, it means that a certain amount of shaping can be done at the place of use of the pipe without the need for any heat treatment.

In the experimental study, the structure profile of 50x50x4.7 mm produced from S235 quality low carbon steel sheet according to ASTM A-500 standard was examined. The mentioned profile pipe is produced with two different deformation ratios of 8.1% and 7.6%, using two different band widths, 186 mm and 178 mm. The profile pipe is produced using two different width of strips to obtain two different cold forming range. From the profile pipes obtained with two different cold forming range applied, samples are taken from three different regions , along the production line, the head of the tape, the welding point and the final pipe, between the change in mechanical properties during the conversion of the sheet to the pipe, and the mechanical properties of the pipes relationship is examined. The yield and tensile strength of the profile pipe, which was obtained by applying a total 8,1% deformation rate to the 186 mm strip width, increased to 356 N/mm² and 396 N/mm² respectively, while elongation decreased to 10,1%. On the other hand, for 6.2% deformation rate to the 178 mm strip width, the yield and tensile strength strip reach to 346 N/mm² and 389 N/mm² respectively, while the elongation decreased to 10.6%. It can be seen from these values, deformation rate increase results in increase in mechanical properties of the final product. In both conditions, the yield rate is 0.89 and 0.88, respectively. It is observed that there is a thickness increase of approximately 1.7% in both used strip widths.

Keywords; ERW Pipe, Strip width, Deformation rate, Mechanical properties.

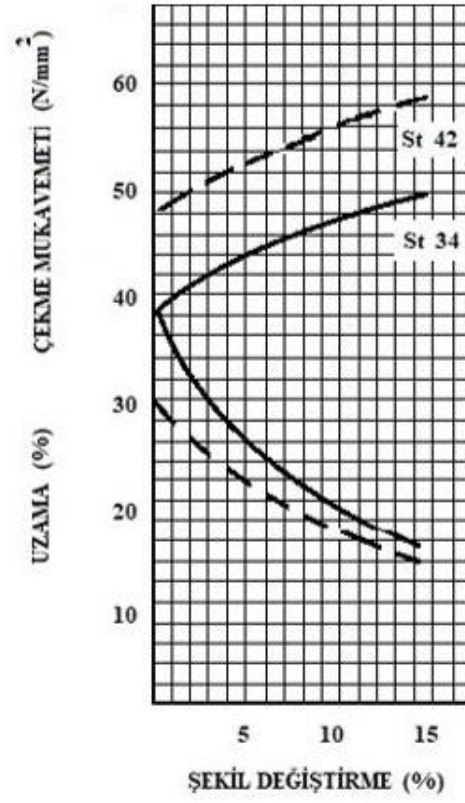
1. GİRİŞ

Elektrik Direnç Kaynağı (ERW) ile dikişli çelik boru üretimi esas olarak sırası ile saç dilme, şekillendirme, kaynak ve kalibre işlemlerini içerir [1]. Dilme makinasında, çelik rulo saçlar üretilecek olan boru dış çap ve et kalınlığı ölçülerine uygun bir genişlikte dilinir. Dilinmiş olan bu bantların boru makinasına yüklenmesinden sonra çeşitli form verme makaraları yardımı ile kıvrılarak, kaynak öncesi dairesel şekle getirilmesi işlemine genel olarak şekil verme adı verilir (Şekil.1) [2,3]. Kaynak noktasının hemen önüne yerleştirilen bir bobin (indüktör) yardımıyla yüksek frekans akımı oluşturarak bant kenarlarının kaynak noktasında ergimesi ve bunun hemen sonrasında kaynak baskı makaraları ile basıncın uygulanmasıyla kaynak işlemi gerçekleştirilir. Soğuyan kaynak dikişi bir dizi şekil verme makarası ve/veya kalibre gruplarından geçerek borunun çok hassas toleranslarda son kalibrasyon işleminin yapılması sağlanır. Kalibrasyon sonrası, boruların doğrusallığını arttırmak ve/veya yuvarlak boruyu dörtgen, elips, oval veya özel şekilli hale getirmek için Türk kafaları kullanılmaktadır.

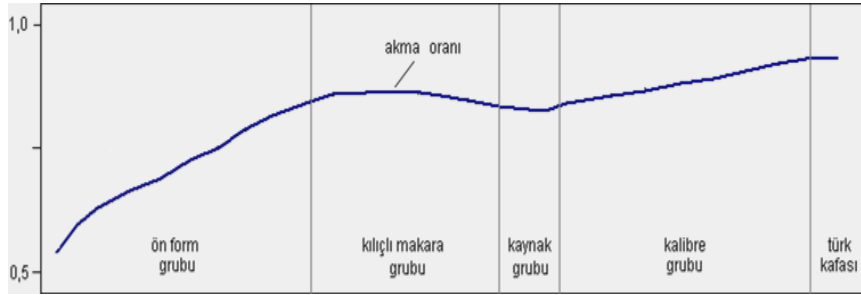


Şekil 1. Elektrik direnç kaynağı ile borudan profil oluşturmanın şematik gösterimi [2].

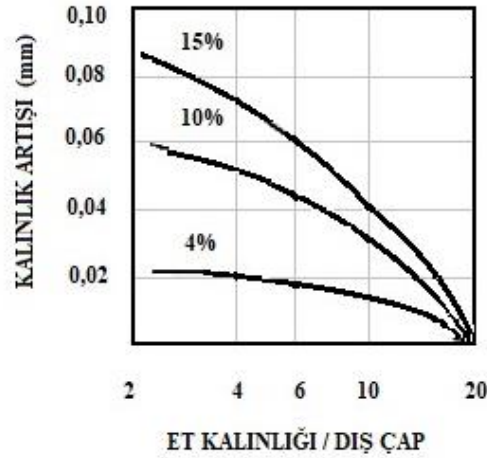
Kaynak öncesi uygulanan form verme ve kaynak sonrası uygulanan kalibrasyon işlemleri soğuk şekillendirme işlemleri olup düşük karbonlu çeliklerde şekillendirme miktarına bağlı olarak mekanik özelliklerindeki değişim Şekil 2’de verilmiştir. Deformasyon miktarı arttıkça, çekme mukavemetinin arttığı, kopma uzamasının ise azaldığı görülmektedir. Ayrıca deformasyon derecesi arttıkça malzemenin sertlik değerinin arttığı, sünekliğinin azaldığı da bilinmektedir [4]. Kaynak baskı grubunda kaynak sıcaklığının etkisi ile oluşan tavlamanın etkisiyle akma mukavemetinde az da olsa bir düşme olur. Kılıçlı makara ve kalibre grubunda ise bant basmaya zorlandığından akma mukavemeti artar. Akma mukavemetinin çekme mukavemetine oranı “akma oranı” olarak adlandırılır ve bitmiş boruda bu oranın max. 0,91 olması istenir. Söz konusu akma oranı değerinin 0,91 in altında olması herhangi bir ısıl işleme gerek kalmaksızın kullanım yerinde belirli bir oranda bükme işleminin yapılmasına olanak sağlar. Akma oranının azalması ile malzemenin tokluk özelliklerinde iyileşme olur [5]. Akma oranının boru üretim sürecindeki değişimi Şekil 3 ‘de verilmiştir. Boru üretim sürecinde uygulanan soğuk deformasyonla çelik borularda oluşan şekil değişimi sadece uzama yönünde gerçekleşmez, aynı zamanda belirli bir oranda kalınlık artışı da meydana gelir. Yani, soğuk deformasyon sonrası boru belirli bir oranda uzamaya maruz kalırken belirli bir oranda da kalınlık artışı şeklinde şekil değişimine maruz kalır. Uygulanan deformasyon oranının artması ve boru kalınlık/çap oranının küçülmesi ile birlikte kalınlıkta oluşan artış miktarı Şekil 4 ‘de verilmiştir.



Şekil 2. Şekil miktarına bağlı olarak malzeme mekanik özelliklerindeki değişim [4].



Şekil 3. Akma oranının form verme sürecindeki değişimi.



Şekil 4. Şekil miktarına bağlı olarak malzeme et kalınlığındaki değişim [4].




Bant genişliğinin hesaplanmasında, dilinmiş bant genişliği ile çevre ölçüsü farklı iki ayrı kavramdır. Dilinmiş bant genişliği form verme öncesi, yani dilmenin hemen sonrası bant genişliğini ifade eder. Çevre ölçüsü ise, kaynak hattındaki herhangi bir noktada, boru dış yüzey çevresi boyunca yapılan bir ölçümdür ve hat boyunca farklı değerlere sahiptir. İstenilen boru çapına uygun bant genişliğinin hesaplanmasında bant et kalınlığının etkisi nedeniyle hesaplamalar ortalama çap ile yapılmalıdır. Aksi halde, çapı aynı olan ama et kalınlığı farklı olan boru ya da profillerde hatalı sonuçlar elde edilebilir. Ortalama çap üretilen boru iç ve dış çapının toplamının yarısı yani dış çaptan et kalınlığının çıkarılması ile belirlenir. Profil borularda ise pofil çevresinin π sayısına bölümü ile elde edilen eş değer çap yardımı ile yapılır. Yuvarlak borularda nominal çap, borunun dış çapı olarak tanımlanır. Profillerde ise önce profilin dış çevresi hesaplanır daha sonra hesaplanan bu çevre değerinin π sayısına bölümü ile bu profile eşdeğer borunun nominal çap değeri bulunur. Aynı dış çap değerinde et kalınlığı azaldıkça kullanılan bant genişliği artar [6, 7]. Çap değerinin sabit kalması durumunda, borularda ortalama çevre değerini etkileyen tek faktör et kalınlığı iken, profillerde et kalınlığı ile birlikte radyüs değeri de oldukça büyük bir etkiye sahiptir. Profillerde köşe radyüsünün küçülmesi ile birlikte nominal çevre değeri artar. Her bir standart kendi kriterleri dâhilinde kenar ölçü tolerans ve köşe radyüslerinin max. sınır değerlerini vermektedir (Tablo 1). Örneğin, EN 10219-2 standardında max. radyüs değeri et kalınlığının 2,0 katı ile sınırlanmışken bu oran ASTM-A 500 'de 2,5 katına kadar çıkmaktadır.

Bant genişliği hesaplamasında, öncelikle üretilmesi planlanan boru ya da profilin nominal çapı, daha sonra kaynak çapı ve son adımda da bant genişliği hesaplanır (Tablo 2). Boru veya profilinin ölçülerine bağlı olarak bant genişliğinin hesaplama yöntemi ile kavram ve formüller aşağıdaki Tablo 3'de verilmiştir [8]. ERW borularda bant genişliği ile üretilen boru ebadına bağlı olarak oluşan şekillendirme miktarı, üretilecek olan boru veya profilin nominal çevresi ile kullanılacak olan bant genişliği miktarı baz alınarak hesaplanır.

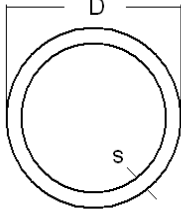
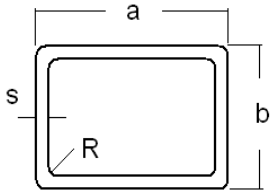
Tablo 1. Uluslararası bazı standartlarda et kalınlığına bağlı olarak izin verilen max. radyüs ölçüleri.

	$s \leq 2,5$	$s=3-4\text{mm}$	$s=5\text{mm}$
DIN 2395 / TS 6475	0,5.s	1,75.s	2,0.s
TS EN 10305*5	0,5.s	1,75.s	
EN 10219-2		2,0.s	
ASTM-A-500		2,5.s	

Tablo 2. Bant genişliğinin hesaplama yöntem adımları.

Sıra	İşlem	Gösterim	Şekil
1	Nominal çapının ve çevresinin hesaplanması	D_n, U_n	
2	Kaynak çapının ve çevresinin hesaplanması	D_s, U_s	
3	Bant genişliğinin hesaplanması	B	

Tablo 3. Boru ebadına bağlı olarak bant genişliğinin hesaplama yöntemi [6].

	Yuvarlak boru	Profil boru									
											
Nominal Çevre (U_n) Nominal Çap (D_n)	$U_n = \pi \cdot D_n$ $D_n = D$	$U_n = 2 \cdot (a+b) + R \cdot (2\pi - 8)$ $D_n = U_n / \pi$									
Ortalama Çap (D_{ort}) Ortalama Çevre (U_{ort})	$D_{ort} = D_n - s$ $U_{ort} = \pi \cdot D_{ort}$										
Kaynak Çapı (D_s)	$D_e = D_n$ $D_s = D_e \cdot K_1$	$D_e = 1,015 \cdot D_n$ $D_s = D_e \cdot K_1$									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>K₁</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$D_e \leq 25$</td> <td>1,030</td> </tr> <tr> <td>$25 < D_e \leq 40$</td> <td>1,025</td> </tr> <tr> <td>$40 < D_e \leq 50$</td> <td>1,020</td> </tr> <tr> <td>$D_e > 50$</td> <td>1,015</td> </tr> </tbody> </table>			K₁	$D_e \leq 25$	1,030	$25 < D_e \leq 40$	1,025	$40 < D_e \leq 50$	1,020	$D_e > 50$
	K₁										
$D_e \leq 25$	1,030										
$25 < D_e \leq 40$	1,025										
$40 < D_e \leq 50$	1,020										
$D_e > 50$	1,015										
Bant Genişliği (B)	$B = (D_s - s) \cdot \pi + (s \cdot K_2)$										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>K₂</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$s \leq 1$</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>$1 < s \leq 1,5$</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>$1,5 < s \leq 2,5$</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>$s > 2,5$</td> <td>1,0</td> </tr> </tbody> </table>			K₂	$s \leq 1$	2,0	$1 < s \leq 1,5$	1,5	$1,5 < s \leq 2,5$	1,2	$s > 2,5$
	K₂										
$s \leq 1$	2,0										
$1 < s \leq 1,5$	1,5										
$1,5 < s \leq 2,5$	1,2										
$s > 2,5$	1,0										
Şekil değiştirme miktarı (%ε)	$\% \epsilon = [(B - U_{nort}) / B] \cdot 100$										

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kimyasal bileşimi Tablo 4’de verilen S235 malzemeden farklı bant genişlikleri kullanarak ASTM A-500 standardına göre 50x50x4,71 mm ebatlı profil boru üretimi yapılmıştır.

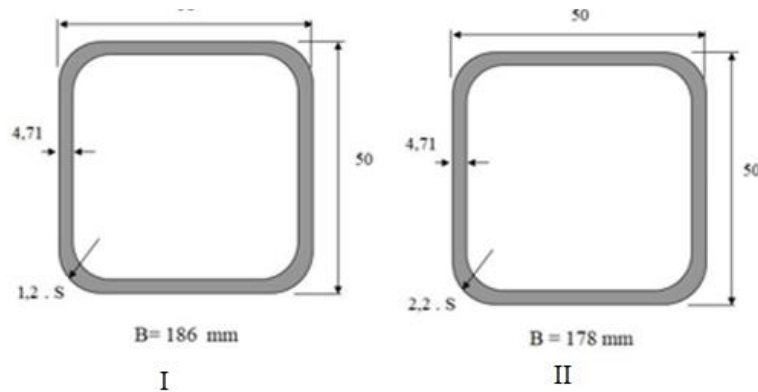
Tablo 4. Deneysel çalışmada kullanılan S235 malzemeye ait kimyasal bileşim (max. %).

C	Si	Mn	P + S	Cu + Ni + Cr	Al	Ceş
0,046	0,016	0,31	0,033	0,11	0,048	0,11

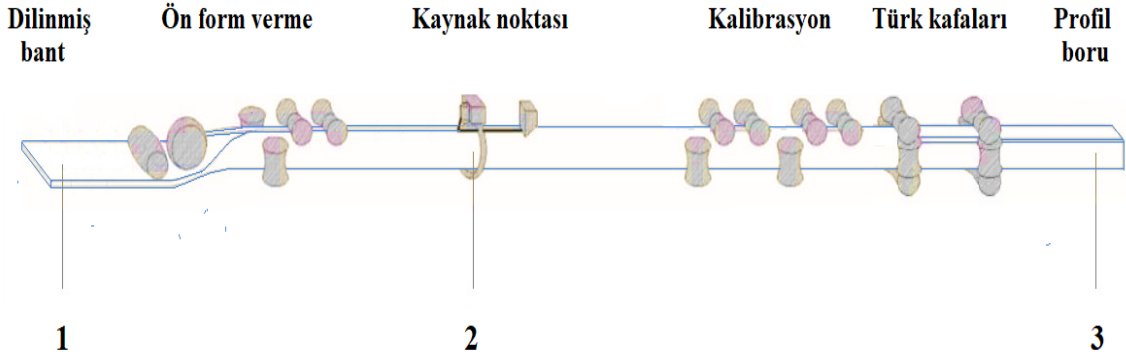
ASTM A-500 Standardında müsaade edilen max. köşe radyüs değeri et kalınlığının 2,5 katıdır (Tablo 1). Bu amaçla, profil köşe radyüsünün et kalınlığının 2,2 katı ve 1,2 katı olacak şekilde iki farklı bant genişliği ile çalışılmasına karar verilmiştir. Köşe radyüsünün et kalınlığının 2,2 katı olması durumunda, bant genişliğinin (B) hesaplaması aşağıda verilmiştir. Profilin köşe radyüsünün (R) et kalınlığının 1,2 katı yani 5,65 mm olması durumunda, Tablo 3’de gösterilen yöntemeye uygun olarak hesaplama yapıldığında bant genişliği 186 mm olarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}R &= 2,2 \cdot s = 4,71 \cdot 2,2 = 10,36 \text{ mm} \\U_n &= 2 \cdot (50+50) + 10,36 \cdot (2\pi - 8) = 182,2 \text{ mm} \\D_n &= 182,2 / \pi = 58,0 \text{ mm} \\D_{ort} &= 58,0 - 4,71 = 53,3 \text{ mm} \\U_{ort} &= 53,3 \cdot \pi = 167,5 \text{ mm} \\D_e &= 1,015 \cdot D_n = 1,015 \cdot 58,0 = 58,9 \text{ mm} \\D_s &= D_e \cdot K_1 = 58,9 \cdot 1,015 = 59,8 \text{ mm} \\D_{snom} &= D_s - s = 59,8 - 4,71 = 55,1 \text{ mm} \\U_{sort} &= 55,1 \cdot \pi = 173,1 \text{ mm} \\B &= (D_s - s) \cdot \pi + (s \cdot K_2) = (59,8 - 4,71) \cdot 3,1416 + (4,71 \cdot 1,0) = 178 \text{ mm}\end{aligned}$$

50x50x4,71 mm ebatlı profil boru üretiminde 4,71 mm kalınlığında ve 186 mm ve 178 mm olmak üzere iki farklı bant genişliğinde sac malzeme kullanılmış olup üretilen profil borular sırası ile I ve II olarak kodlanmıştır (Şekil 5). I ve II olarak kodlanmış, farklı genişliğe sahip iki bant grubu ile boru üretiminde bandın kendisi, kaynak noktası ve nihai profil boru olmak üzere üç noktadan 10 ‘ar adet numune alınmıştır (Şekil 6). Numuneler üzerinde hem çevre, çap ve kalınlık gibi boyutsal ölçümler yapılmış hem de mekanik özellikleri belirlemek için çekme deneyleri yapılmıştır. Böylelikle, bandın boruya dönüşümü sırasındaki mekanik değerlerindeki değişimi ile şekil değişim miktarı ile boruların mekanik özellikleri arasındaki ilişki incelenmiştir.



Şekil 5. Deneysel çalışma için üretilecek profil boru ölçüleri.



Şekil 6. Üretim hattı boyunca numune alınan noktaların gösterimi.

Seçilen iki farklı köşe radyüs değeri ile iki farklı bant genişliği kullanılarak üretilen borulardan, bantın kendisi, kaynak noktası ve nihai profil boru olmak üzere üç noktadan numuneler alınarak elde edilen çevre, çap ve kalınlık gibi boyutsal ölçümler Tablo 5’de verilmiş olup buradaki değerler 10 farklı numunede yapılan ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalamasıdır. Tablo 5 ‘de ki değerlerin yardımı ile her iki koşul altındaki gerçek şekil değiştirme miktarını (% ϵ) kolaylıkla hesaplamak mümkündür. Nominal dış çevre değerinden (U_n), nominal çap (D_n) değeri buradan da ortalama çap (D_{ort}) ve ortalama çevre (U_{ort}) değerleri bulunur. Daha önce de belirtildiği gibi, et kalınlığının etkisini görebilmek için hesaplamalar genellikle ortalama çap ve ortalama çevre üzerinden yapılır. Daha sonra da şekil değiştirme miktarı (% ϵ_I) hesaplanır;

$$D_n = U_n/\pi = 186/\pi = 59,20 \text{ mm}$$

$$D_{ort} = D_n - s = 59,20 - 4,79 = 54,42 \text{ mm}$$

$$U_{ort} = D_{ort} \cdot \pi = 54,42 \cdot \pi = 171 \text{ mm}$$

$$\% \epsilon_I = [(B - U_{ort})/B] \cdot 100$$

$$\% \epsilon_I = [(186 - 171)/186] \cdot 100$$

$$\% \epsilon_I = \% 8,1$$

Benzer şekilde 178 mm bant genişliği için toplam şekil değiştirme miktarı % $\epsilon_{II} = \% 6,2$ olarak hesaplanır. 186 mm ve 178 mm genişliğindeki bantların boruya dönüşümü sırasında, kaynak noktasındaki ve nihai profil borudaki akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % kesit daralması değerleri için 10 farklı numuneden ölçüm yapılmış ve sırasıyla Tablo 6 ve Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 5. Malzeme, kaynak noktası ve nihai profil borudaki et kalınlığı değişimi ile çevresel ölçü değerleri (mm).

Malzeme			Kaynak Noktası			Profil		
	Bant genişliği (mm)	Et kalınlığı (mm)		Et kalınlığı (mm)	Çevre ölçümü (mm)		Et kalınlığı (mm)	Çevre ölçümü (mm)
I	186	4,71	K_I	4,76	196	P_I	4,79	186
II	178	4,71	K_{II}	4,76	191	P_{II}	4,78	182

Tablo 6. 186 mm genişliğindeki saçtan üretilen profil boru mekanik özellikleri (N/mm²).

Malzeme			Kaynak Noktası				Profil				
	Rp	Rm	%A		Rp	Rm	%A		Rp	Rm	%A
M _{I-1}	231,6	330,3	22,2	K _{I-1}	331,6	374,8	12,5	P _{I-1}	343,4	384,8	12,2
M _{I-2}	242,3	359,2	22,3	K _{I-2}	327,6	384,5	14,4	P _{I-2}	365,3	415,1	9,3
M _{I-3}	239,6	331,1	24,2	K _{I-3}	330,0	388,6	11,8	P _{I-3}	355,0	401,0	13,4
M _{I-4}	237,8	327,6	24,0	K _{I-4}	333,8	360,8	14,6	P _{I-4}	353,9	395,5	9,2
M _{I-5}	216,6	320,4	28,7	K _{I-5}	335,9	352,6	16,1	P _{I-5}	344,2	382,3	11,4
M _{I-6}	217,9	334,2	24,8	K _{I-6}	316,3	405,8	14,0	P _{I-6}	348,5	388,4	9,8
M _{I-7}	244,5	351,2	21,4	K _{I-7}	328,3	401,7	14,4	P _{I-7}	359,6	398,7	9,3
M _{I-8}	264,0	364,2	22,7	K _{I-8}	324,3	386,7	17,5	P _{I-8}	378,8	413,0	7,8
M _{I-9}	226,3	342,3	25,8	K _{I-9}	323,0	378,4	17,3	P _{I-9}	356,5	388,7	10,0
M _{I-10}	230,7	349,7	24,5	K _{I-10}	326,0	386,5	16,9	P _{I-10}	354,1	390,2	9,0
M _{I-ort}	235	341	24,1	K _{I-ort}	328	382	15	P _{I-ort}	356	396	10,1

Tablo 7. 178 mm genişliğindeki saçtan üretilen profil boru mekanik özellikleri (N/mm²).

Malzeme			Kaynak Noktası				Profil				
	Rp	Rm	%A		Rp	Rm	%A		Rp	Rm	%A
M _{II-1}	231,6	330,3	22,2	K _{II-1}	329,0	397,6	14,6	P _{II-1}	351,2	393,3	11,7
M _{II-2}	242,3	359,2	22,3	K _{II-2}	336,0	394,5	16,4	P _{II-2}	347,3	391,4	10,1
M _{II-3}	239,6	331,1	24,2	K _{II-3}	328,4	376,3	16,2	P _{II-3}	343,1	386,1	11,6
M _{II-4}	237,8	327,6	24,0	K _{II-4}	321,1	393,3	16,4	P _{II-4}	337,2	382,4	12,2
M _{II-5}	216,6	320,4	28,7	K _{II-5}	309,1	385,4	15,2	P _{II-5}	350,4	395,5	13,0
M _{II-6}	217,9	334,2	24,8	K _{II-6}	327,7	358,8	15,7	P _{II-6}	337,8	386,9	8,8
M _{II-7}	244,5	351,2	21,4	K _{II-7}	336,0	375,6	15,5	P _{II-7}	347,4	392,0	8,9
M _{II-8}	264,0	364,2	22,7	K _{II-8}	327,6	358,7	17,6	P _{II-8}	346,9	389,9	10,1
M _{II-9}	226,3	342,3	25,8	K _{II-9}	312,1	377,9	16,6	P _{II-9}	344,6	384,7	9,3
M _{II-10}	230,7	349,7	24,5	K _{II-10}	316,5	377,4	16,2	P _{II-10}	353,7	390,7	10,5
M _{II-ort}	235	341	24,1	K _{II-ort}	324	380	16	P _{II-ort}	346	389	10,6

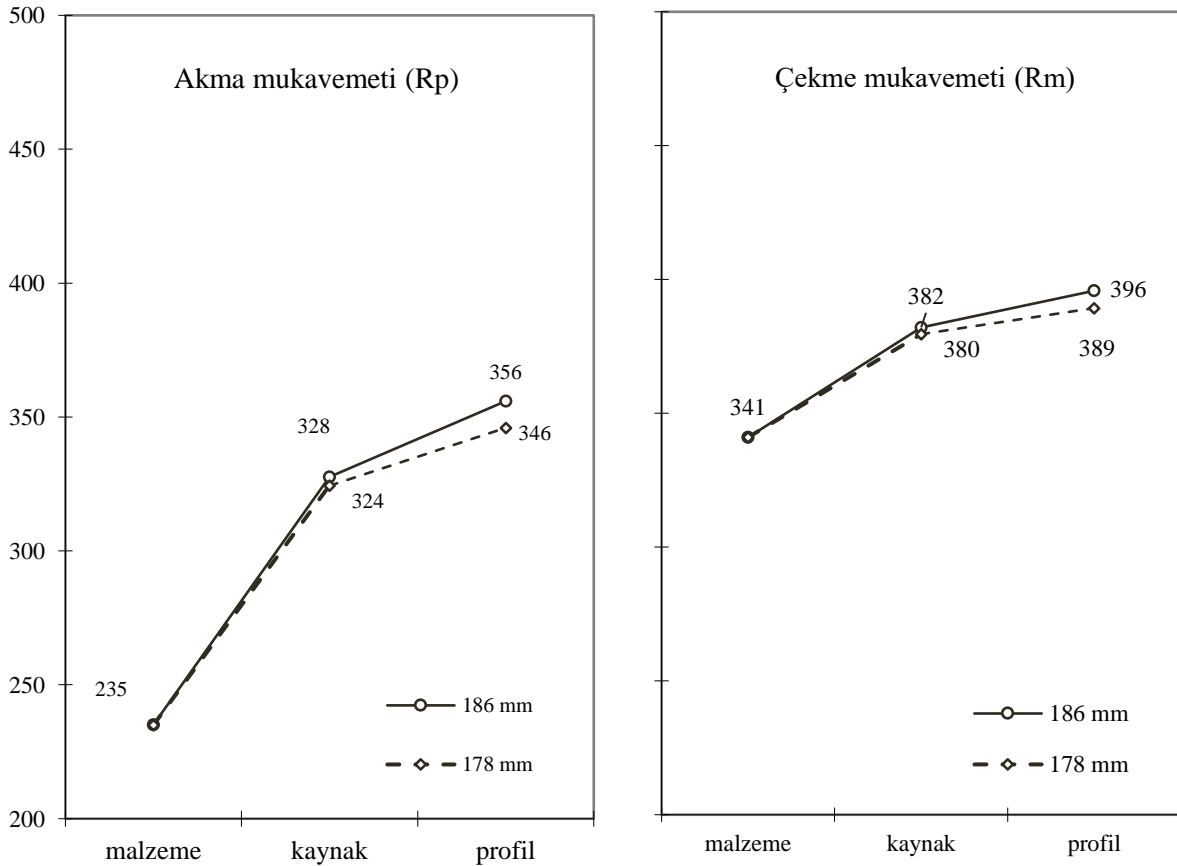
3. DENEYSEL SONUÇLAR

Elektrik Direnç Kaynağı (ERW) ile dikişli çelik boru üretiminde kaynak öncesi uygulanan form verme ve kaynak sonrası uygulanan kalibre işlemleri esas olarak, boru haline dönecek olan çelik saçlara uygulanan soğuk şekillendirme işlemleridir. Bandın boruya dönüşümü sürecinde uygulanan soğuk deformasyon miktarı bandın genişliğine bağlıdır. Kullanılan saç et kalınlığını dikkate alınarak uygun bant genişliğinin belirlenmesi son derece önemlidir. Böylece geniş bant kullanımından kaynaklanan aşırı deformasyonun önüne geçilerek, makinada aşırı ve orantısız güç kullanımının önüne geçileceği, makina ve aksamının aşırı zorlanmasından kaynaklandığı düşünülen bazı mekanik hasarlanmaların ve form verme makara aşınmalarının azalacağı düşünülmektedir.

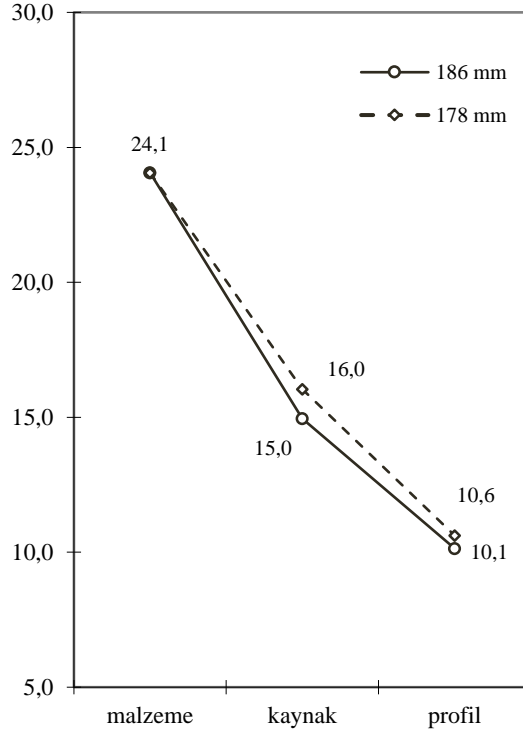
İki farklı köşe radyüs değeri ile 186 mm ve 178 mm olarak belirlenen iki farklı bant genişliği kullanılarak üretilen 50x50x4,71 mm ebatlı profil borularda yapılan ölçümler sonucu, 4,71 mm kalınlığında saç malzemenin kalınlığı boru formuna gelip kaynaklandığı noktada her iki bant genişliği için 4,76 mm olurken daha sonra yapılan kalibrasyon işleminde de sırası ile 4,79 mm ve 4,78 mm olduğu görülmüştür. Boru üretimi ile kullanılan her iki bant genişliğinde de, et kalınlığında yaklaşık 0,08 mm (~%1,7) düzeyinde bir artışın olduğu gözlenmiştir. Toplam şekil değiştirme miktarları % olarak (%ε) sırası ile %8,1 ve %6,2 olmuştur.

Tablo 6 ve 7 'den S235 kalite düşük karbonlu çeliğe ait akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % kesit daralması sırası ile 235 N/mm², 341 N/mm² ve % 24,1 olduğu görülmektedir. 186 mm genişliğindeki bantlardan profil üretiminde, kaynak noktasından hemen sonraki akma mukavemeti ve çekme mukavemeti sırası ile 328 N/mm² ve 382 N/mm² değerine yükselirken % kesit daralması %15'e düşmüştür. Kaynak sonrası uygulanan kalibre işlemi ile nihai profilin akma mukavemeti ve çekme mukavemeti sırası ile 356 N/mm² ve 396 N/mm² değerine yükselirken % kesit daralması %10,1 'e düşmüştür.

Benzer şekilde 178 mm genişliğindeki bantlardan profil üretiminde ise kaynak noktasından hemen sonraki akma mukavemeti ve çekme mukavemeti sırası ile 324 N/mm² ve 380 N/mm² değerine yükselirken % kesit daralması %16'ya düşmüştür. Kaynak sonrası uygulanan kalibre işlemi ile nihai profilde ise akma mukavemeti ve çekme mukavemeti sırası ile 346 N/mm² ve 389 N/mm² değerine yükselirken %kesit daralması %10,6 'a düştüğü görülmektedir. Her iki bant genişliği üretilen profil borulara ait her aşamadaki mekanik değerler ve değişimleri Şekil 7 ve Şekil 8 'de verilmiştir.



Şekil 7. Mekanik özelliklerin değişimi (N/mm²).

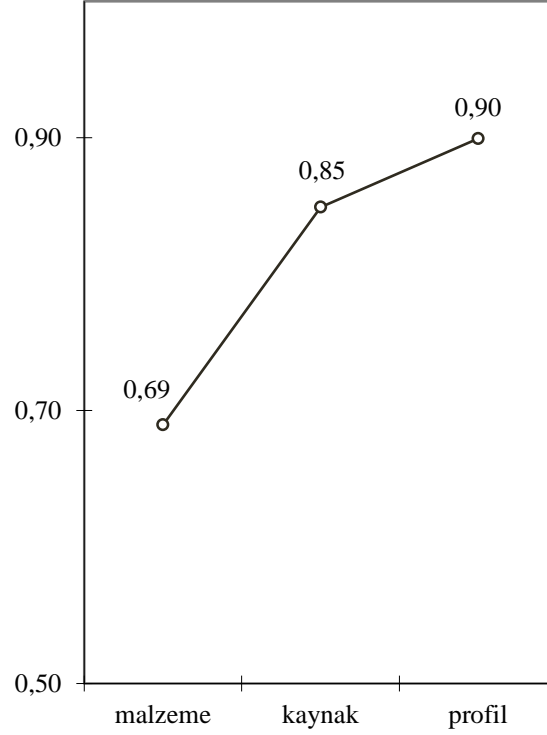


Şekil 8. Kopma uzaması (%A) değişimi

Akma mukavemetinin çekme mukavemetine oranı olarak tanımlanan akma oranı değerinin üretimi tamamlanmış borularda en fazla 0,91 olması istenir. Akma oranının belirtilen bu değerin altında olması, borunun kullanım yerinde herhangi bir ısıl işleme gerek olmaksızın belirli bir oranda kalıcı şekil vermenin yapabileceği anlamını taşımaktadır. Akma oranının azalması ile malzemenin tokluk özelliklerinde iyileşme olur. Malzemede 0,69 olan akma oranının kaynak noktasında 0,85 nihai profil boruda ise 0,89-0,90 seviyesinde olduğu görülmektedir. Akma oranı değerleri sınıra oldukça yakın olduğundan dilinmiş bant genişliğinin olması gerekenden daha büyük olması durumunda yani aşırı deformasyona ve sonucunda da nihai profil borunun mekanik özelliklerinde kötüleşme olabileceğini dikkate alınmalıdır. 186 mm ve 178 mm genişliğindeki iki farklı banttan üretilmiş profil boruların üretim hattı boyunca, bantın malzemesi, kaynak noktası ve nihai profil borudaki akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve akma oranı değerleri Tablo 8’de verilmiştir. Şekil 9’da görüldüğü gibi boru üretim hattında deformasyon miktarı arttıkça oranı değeri de artmaktadır.

Tablo 8. Boru üretim hattı boyunca akma ve çekme mukavemeti ile akma oranları.

Bant genişliği (mm)	Mekanik özellikler	Malzeme	Kaynak noktası	Profil boru
186	Akma Mukavemeti (Rp) N/mm ²	235	328	356
	Çekme Mukavemeti (Rm) N/mm ²	341	382	396
	Akma Oranı (Rp/Rm)	0,69	0,85	0,90
178	Akma Mukavemeti (Rp) N/mm ²	235	324	346
	Çekme Mukavemeti (Rm) N/mm ²	341	380	389
	Akma Oranı (Rp/Rm)	0,69	0,85	0,89



Şekil 9. Akma oranının (akma mukavemeti/çekme mukavemeti) değişimi.

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki verilmiştir;

1.Bandın boruya dönüşümü sürecinde uygulanan soğuk deformasyon miktarı üretilecek olan boru ebadı ile kullanılacak olan bandın genişliğine ve kalınlığına bağlıdır. Bu nedenle, bant genişliğinin belirlenmesi ve hesaplamaların doğru yöntem ile yapılması son derece önemlidir. Böylece geniş bant kullanımından kaynaklanan aşırı deformasyonun ve dolayısıyla makinada aşırı ve orantısız güç kullanımının önüne geçilerek, makina ve aksamının aşırı zorlanmasından kaynaklanan bazı mekanik hasarlanmaların ve form verme makara aşınmalarının azalacağı düşünülmektedir.

2.Bandın boruya dönüşümü sürecinde uygulanan soğuk deformasyon etkisi ile akma ve çekme mukavemetinin arttığı, kopma uzamasının ise azaldığı görülmektedir. Ayrıca, deformasyon derecesinin artması ile birlikte malzemenin sertlik değerinin arttığı, sünekliğinin azaldığı diğer bir deyişle, mekanik özelliklerindeki bozulmanın arttığı görülmüştür.

3.Boruya kullanım yerinde herhangi bir ısıtma işlemi gerek olmaksızın belirli bir oranda şekil vermenin yapılabilmesi için, akma mukavemetinin çekme mukavemetine oranı olarak tanımlanan ve deformasyon miktarı arttıkça artan “akma oranı” değerinin max. 0,91 olması gerekir. Olması gerekenden daha geniş bant kullanımı sonucunda nihai boru ve/veya profilin mekanik özelliklerinde de kötüleşme olacaktır. Bununda akma oranı değerinde kötüleşme yaratabileceği dikkate alınmalıdır.

4.Boru üretim sürecinde uygulanan soğuk deformasyonla çelik borularda oluşan şekil değişimi sadece uzama yönünde gerçekleşmez, aynı zamanda belirli bir oranda kalınlık artışı da meydana gelir. Yani, soğuk deformasyon sonrası boru belirli bir oranda uzamaya maruz kalırken belirli bir oranda da kalınlık artışı şeklinde şekil değişimine maruz kalır.

REFERANSLAR

1. Olson, J, Tube Mill Roll Design, Chicago Roll Company Yayını.
2. Steel Tube Institute, <http://www.steeltubeinstitute.org>.
3. Jinmao Jiang, Dayong Li, Yinghong Peng, Jianxin Li, Research on strip deformation in the cage roll-forming process of ERW round pipes, Journal of Materials Processing Technology 209 (2009) 4850–4856
4. Development and Progress of the Flexible Forming Mill, Nakata Manufacturing Corp. , Tube International, Nov-1994.
5. Toughness Properties of HFI Welded Pipe, Stolzen Berg, g. Mannesmann Röhrenwerke, 1988.
6. Kahraman Şirin, Yüksek Frekans İndüksiyon Kaynaklı Boru Üretiminde Proses Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Eylül 1997.
7. M.M. Kasaei, H. Moslemi Naeini, R. Azizi Tafti, M. Salmani Tehrani, Prediction of maximum initial strip width in the cage roll forming process of ERW pipes using edge buckling criterion, Journal of Materials Processing Technology, Volume 214, Issue 2, February 2014, Pages 190-199.
8. MTM Tube Mills Spa. , <http://www.mtmtubemills.com/>.